Mobilité routière automatisée

Séminaire à destination des collectivités locales

30 septembre 2022

Dossier bibliographique de contexte

1. **Mobilité autonome : position de l'Union des transports publics**
2. **Mobilité autonome : position de l'Union internationale des transports publics**
3. **Scénarios de déploiement de la mobilité routière automatisée : rapport du Victoria Institute**
4. **Véhicule autonome et Grand Paris : note de l'agence d'urbanisme**
5. **Approches françaises, japonaise et coréenne de la mobilité routière automatisée : rapport du Korea Institute of Science and Technology**
6. **Conduite automatisée, villes et régions : rapport de l'association européenne POLIS**
7. **Intégration de la mobilité routière automatisée dans les plans de mobilité urbaine durable : plateforme européenne sur les plans de mobilité urbaine durable**
8. **Base de connaissance européenne ARCADE**
9. **Guide d'évaluation des expérimentations et projets pilotes – FESTA**
10. **Approche autrichienne**
11. **Approche au Royaume-Uni**
12. **Approche aux Etats-Unis : programme coopératif - NHCRP**
13. **Approche aux Etats-Unis : coalition des Etats - CAT**
14. **Domaine d'emploi des véhicules automatisés et rôle des collectivités locales**
15. **Liens avec les enjeux de stationnement**

UTP
Union des Transports Publics et ferroviaires
POSITION
ADOPTÉE LE 14 OCTOBRE 2021

Services de mobilité autonome et MaaS : des innovations au service de la mobilité durable

Comme toutes crises, la pandémie Covid-19 va accélérer les évolutions sociétales et tout particulièrement la mobilité. Enjeux environnementaux, défis sociétaux, transformations des déplacements du quotidien, restructurations des offres de service, nouveaux besoins, nouvelles règlementations : les années à venir s'annoncent comme des années charnières menant vers de nouveaux systèmes de mobilité durable.

Une des grandes spécificités de ces nouveaux systèmes de mobilité consistera à positionner chaque mode, partagé ou individuel, comme un maillon de la chaine de mobilité globale d'un territoire, au service du voyageur et de l'environnement. L'ère du « chacun pour soi » et du silotage des modes s'achève et s'ouvre sur l'ère de la complémentarité multimodale. Les nouvelles technologies, tels le MaaS ou le véhicule autonome partagé, seront alors les outils pour réussir cette nouvelle mobilité durable pour tous.

- **Pour l'UTP, les enjeux environnementaux et les enseignements de la crise COVID-19** doivent permettre de redéfinir les facteurs de réussite de la multimodalité au service d'une mobilité durable efficace pour les territoires et pertinente pour les voyageurs.

RÉÉQUILIBRER L'USAGE DE LA VOIRIE : LE PREMIER PAS VERS LA MOBILITÉ DURABLE

Avant la crise, près de 40% des déplacements domicile/travail de moins de 5 km étaient effectués par des autosolistes[1] dans les villes françaises, hors Île-de-France. Bien que ces trajets puissent se faire facilement avec des modes alternatifs à l'autosolisme (vélo, marche, transports publics, ...) et que la congestion, la pollution et les risques pour la santé soient des maux unanimement reconnus, la crise sanitaire a encore amplifié le phénomène.

Mais peut-il en être autrement ? L'automobile a été au cœur du développement des infrastructures depuis des décennies, encouragée par une image de liberté, de modernité et d'identité personnelle que semble revêtir le seul objet « automobile ». Dans la plupart des villes européennes, 50 à 60 % de l'espace public est ainsi dévolu à l'automobile, y compris en stationnement. Il est alors évident, dans l'esprit du voyageur, d'utiliser le mode le plus adapté aux infrastructures mises à sa disposition : la voiture.

Pour changer les comportements vers une mobilité plus durable, les piétons, les cyclistes et les utilisateurs des différents modes des transports publics doivent avoir la même perception de simplicité, de fluidité et de tranquillité d'esprit qu'ont pu avoir les automobilistes en leur temps. De fait, le rééquilibrage de la place accordée aux différents modes sur la voie publique s'avère une priorité absolue.

1. La crise sanitaire va-t-elle rebattre les cartes de la mobilité en faveur de l'autosolisme ? - FlashMob n°1 d'après étude UTP-CEREMA, UTP, sept. 2020.

Services de mobilité autonome et MaaS : des innovations au service de la mobilité durable

- **Investis depuis longtemps dans la mobilité durable, l'UTP et ses adhérents** plaident pour un renforcement des liens entre urbanisme, aménagement du territoire et mobilité et pour un rééquilibrage du poids accordé aux différents modes en circulation.

- **Pour l'UTP, reconquérir des espaces urbains** en diminuant la densité automobile est un enjeu prioritaire pour apaiser la ville.

L'enjeu fondamental des territoires consiste à redonner de la fluidité, de l'espace[2] et du temps au voyageur, quel que soit son mode de transport, mais toujours dans le respect de l'environnement. Des piétons aux robots taxis, des vélos aux bus à haut niveau de service, de la voiture particulière aux navettes autonomes, chaque mode doit pouvoir, en toute complémentarité et en toute sécurité, trouver sa place sans jamais nuire au bon fonctionnement des autres. Il s'agit de trouver le juste équilibre entre besoins de mobilité, capacité de la voirie, spécificités d'usages de chaque mode et intérêt général.

Dans ce contexte, les potentialités des nouvelles technologies de l'information et de l'autonomie seront déterminantes. Ces technologies aideront les décideurs à redéfinir des stratégies globales de mobilité de façon systémique, créant des passerelles entre mobilité individuelle et mobilité partagée, entre mobilité des voyageurs et mobilité des marchandises, entre mobilité physique et mobilité numérique. Le défi est grand : il nécessitera des différents modes une meilleure complémentarité, accessibilité et flexibilité en fonction des usages du voyageur, mais aussi de la pertinence opérationnelle et environnementale de chacun d'eux.

- **Les adhérents de l'UTP sont prêts à relever le défi de la mobilité durable** et mettent à disposition leurs expertises, leurs savoir-faire et leur expérience au service des stratégies globales des mobilités des territoires.

SERVICES DE MOBILITÉ AUTONOME ET MaaS : LES MAILLONS MANQUANTS POUR OPTIMISER LES MAILLAGES TERRITORIAUX EXISTANTS

Pour optimiser les flux de mobilité tout en minimisant l'impact sur l'environnement, les nouveaux systèmes de mobilité durable vont créer une nouvelle répartition des espaces de la voirie.

À l'échelle d'un territoire, l'impact environnemental ne doit pas être analysé en incrémentant l'impact isolé de chaque mode, mais par une approche systémique et multimodale. Chaque déploiement d'un mode particulier vient ainsi contribuer à une stratégie globale des mobilités afin d'en démultiplier l'impact environnemental. À titre d'exemple, l'électromobilité représente déjà en France près de 40 % des voyages en transport collectif grâce aux 29 réseaux urbains qui ont déployé le mode tramway ou métro. Mais si aucun report des autosolistes vers cette technologie n'était encouragé, puis observé, alors le bilan carbone de la stratégie globale des mobilités de ces 29 territoires pourrait s'avérer relativement médiocre malgré les efforts et les très bons résultats de l'électromobilité partagée. Il s'agit donc bien d'avoir une approche systémique, car multimodale, pour aborder la notion de bilan carbone d'un territoire.

Pour élaborer une stratégie globale des mobilités où chaque mode devient complémentaire des autres il convient de s'affranchir du silotage qui a pu exister dans la conception, dans le développement et dans l'utilisation des différents modes. Les conséquences de ce silotage ne sont pas anecdotiques : pour le voyageur, il est aujourd'hui très compliqué de comprendre ce que le territoire lui propose en termes de maillage multimodal et d'en extraire une simplicité d'utilisation qui relèguerait l'autosolisme au rang des comportements obsolètes.

Dans ce contexte, comment simplifier les choses tout en partant d'un existant déjà opérationnel ? Comment les services mobilités autonomes et le MaaS peuvent y contribuer, et que peut-on d'attendre de ces nouvelles technologies face aux enjeux environnementaux et aux besoins des territoires ?

- **Pour l'UTP et ses adhérents, le développement de nouvelles technologies n'est pas une fin en soi.** L'intégration de nouvelles technologies doit s'appuyer et servir l'existant : c'est un savoir-faire cultivé par les opérateurs de transports depuis des décennies.

- **L'intégration des technologie autonome et MaaS ouvre de nouvelles perspectives de mobilité durable** entièrement dévolues au bénéfice des territoires, du voyageur et de l'environnement.

2. Pour rappel, 200 personnes en mobilité en milieu urbain, c'est l'équivalent de 175 voitures (soit 2400 m² au sol), de 3 bus (soit 150 m² au sol) ou encore de 200 vélos (soit 300 m² au sol).

LES SERVICES DE MOBILITÉS AUTONOMES PARTAGÉES ET CONNECTÉES : DES CATALYSEURS MULTIMODAUX EXTRÊMEMENT PERFORMANTS

Dans les années à venir, les mobilités autonomes partagées et connectées vont offrir de nouvelles perspectives, en matière de couverture du territoire, mais aussi en termes de réactivité et de flexibilité de l'offre face à la fluctuation de la demande.

L'offre de service pourra s'adapter en temps réel à la demande pour une meilleure fluidité du trafic et une plus grande performance environnementale.

L'association des mobilités autonomes partagées et connectées avec le maillage des mobilités partagées et des mobilités actives, leur faible empreinte carbone, leur haut niveau de qualité de service, leur flexibilité et leur gabarit adapté en feront des catalyseurs multimodaux extrêmement performants. Les services de mobilité autonome permettront, dans un premier temps, de créer du lien entre les différents modes et services existants au sein d'un territoire pour permettre l'éclosion d'un véritable système alternatif à l'autosolisme.

Les premiers usages permettront ainsi de drainer les voyageurs vers des pôles multimodaux en assurant les premiers et derniers kilomètres d'un trajet, de desservir des zones fermées aux véhicules individuels polluants (centre-ville, zone touristique, pôle universitaire, zone hospitalière...), de relier deux pôles en voies protégées avec les premiers véhicules à haut niveau de service (d'un pôle de stationnement vers un centre-ville, d'une gare vers un pôle d'activités ; de l'hypercentre vers une zone touristique, de loisir ou aéroportuaire, ...).

Par leur capacité à créer du lien entre les différents modes et services existants, les premiers services de mobilité autonome joueront donc le rôle essentiel de catalyseur permettant la transition d'un système multimodes à déploiement siloté vers un système multimodal à déploiement complémentaire.

- **Pour l'ensemble des opérateurs de transports, les nouveaux services de mobilité partagée autonome** offrent des perspectives inédites en matière de réactivité et de flexibilité de l'offre face aux fluctuations de la demande. Dès les premiers usages, ces nouveaux services ouvriront la voie d'un système de mobilité multimodale, simple, efficace et durable.

Dans un second temps, quand les espaces de la voirie commenceront à être apaisés et que la technologie aura continué à se perfectionner, une gamme élargie de véhicules autonomes permettra de déployer des lignes à haut niveau de service totalement nouvelles, de construire des offres de services à la demande ou de robot taxi, de créer des lignes éphémères pour un évènement sur des amplitudes horaires extrêmement larges, ou encore de contribuer à l'autonomie de certaines personnes en difficulté dans l'exercice de la mobilité (aînés, personnes à mobilité réduite, ...).

LES TECHNOLOGIES DE L'INFORMATION ET LE MAAS : LES GRILLES DE LECTURE ET D'USAGE DE LA MULTIMODALITÉ

Les technologies de l'information, et le MaaS en particulier, seront déterminantes dans l'accessibilité et l'organisation de la mobilité pour le voyageur, mais aussi dans le développement de comportements de mobilité inter et multimodaux.

Le MaaS permettra aux autorités organisatrices de la mobilité (AOM) de rendre les différentes offres de mobilité plus lisibles, plus accessibles, plus complémentaires et interconnectées au service d'une meilleure multimodalité et d'une mobilité plus fluide.

De la conception d'un billet multimodal à l'obtention de services complémentaires, de la détermination de l'itinéraire le plus rapide à la construction d'un itinéraire optimisé en fonction des contraintes et souhaits du voyageur, le MaaS va ouvrir le maillage territorial à la compréhension du voyageur : connaitre le maillage d'un territoire et les alternatives à l'autosolisme est le premier pas vers un changement de comportement.

Pour autant, cette grille de lecture ne pourra être opérationnelle que si des systèmes alternatifs à l'autosolisme ont été mis en place de façon performante, mais aussi, à condition que les territoires aient su rester maitres des stratégies globales de mobilité. À l'ère du numérique, certain GPS privés ont su démontrer avec brio combien « la donnée » concernant l'usage des mobilités pouvait permettre d'influer sur les stratégies individuelles de mobilité, parfois aux dépends de la sécurité et de l'environnement.

- **Déjà très investis dans le cadrage et l'intégration de la technologie MaaS, les opérateurs de transports publics** mettent à disposition leur savoir-faire reconnu en matière de service public pour défendre et organiser un maillage du territoire en faveur de l'intérêt général.

LA MAÎTRISE DES DONNÉES PAR LES AUTORITÉS ORGANISATRICES DE MOBILITÉ (AOM) : UNE NÉCESSITÉ ABSOLUE

L'intégration par les opérateurs de transport de la chaine technologique permettant le déploiement du MaaS est un processus qui est déjà bien avancé. Mais pour se projeter sur des scénarii de développement durable de la mobilité, il y a un autre préalable incontournable : les Autorités Organisatrices de Mobilité (AOM) doivent avoir la maîtrise des données permettant la compréhension des mobilités du quotidien, afin de construire des stratégies globales en adéquation avec les réalités et les besoins de leur territoire.

Si le législateur, à travers l'article 28 de la Loi d'Orientation des Mobilités ou l'article 109 de la Loi Climat et Résilience, permet d'œuvrer dans ce sens, il faudra aller bien au-delà pour permettre au territoire la conception de systèmes de mobilité durable, pertinents et donc acceptables par les voyageurs. Dans le cas contraire, il appartiendra aux seules sociétés privées de réguler les flux de mobilité, non plus en fonction de l'intérêt général, mais en fonction des intérêts commerciaux d'entreprises déportées du territoire. Ainsi, la complémentarité des modes pour une mobilité durable et la compréhension de cette complémentarité passe par la maîtrise de cet élément intangible mais essentiel : la donnée.

Pour l'UTP et les opérateurs de transport, intégrateurs des nouvelles technologies, la mobilité durable ne restera qu'au stade du concept si les AOM n'ont pas la pleine information des réalités des mobilités d'aujourd'hui. Cette réalité passe par la maitrise des données de mobilité de leur territoire.

Les enjeux environnementaux et sociétaux rendent caduque l'opposition entre les modes et leur technologie : ils obligent à les rendre plus complémentaires, dans leur fonction et leur temporalité d'usage, dans leur utilisation de l'espace public (qu'ils soient mobiles ou en stationnement), mais aussi dans la progression de leur développement. Dans cette phase de transition, les apports des MaaS et des véhicules autonomes partagés aux systèmes existants de mobilité seront fondamentaux. Une stratégie cherchant à réduire l'usage déraisonnable de modes fortement carbonés (comme l'autosolisme sur de courtes distances) impliquera le développement des mobilités partagées (tels que les transports publics, l'autopartage, le covoiturage, ...) et le développement des mobilités actives (tels que le vélo [3], la marche, les engins de déplacement personnel, ...). Ces développements, soutenus par les technologies du véhicule autonome (venant créer le lien multimodal aux maillages existants) et du MaaS (venant rendre lisible le maillage et les alternatives de mobilités), offrent un potentiel de décarbonation des territoires sans équivalent : plus de 50 % de l'autosolisme courte distance pourrait ainsi être résorbé [1] rapidement. Si cette perspective est enthousiasmante, elle reste conditionnée par un enjeu qui dépasse l'élaboration de stratégie de mobilité : la maîtrise de la donnée par les territoires.

3. Articulation entre transports publics et vélos : la clef d'une mobilité apaisée et durable- Position de l'UTP, UTP, déc. 2020.

CONTACTS

Claude Faucher
Délégué général de l'UTP
cfaucher@utp.fr
+33 (0)1 48 74 73 67

Stéphanie Lopes d'Azevedo
Département Affaires économiques, techniques et prospective
slazevedo@utp.fr
+33 (0)1 48 74 73 31

Hubert Richard
Département Affaires économiques, techniques et prospective
hrichard@utp.fr
+33 (0)1 48 74 73 23

Dominique Fèvre
Département Valorisation et Communication
dfevre@utp.fr
+33 (0)1 48 74 73 46

L'UTP. L'Union des Transports Publics et ferroviaires (UTP) est l'organisation professionnelle des entreprises de transport public.
L'UTP représente près de 170 entreprises de transport urbain, soit 100 000 salariés et une trentaine d'entreprises de la branche ferroviaire, soit 160 000 salariés répartis sur le territoire français.
Elle négocie les conventions collectives de branches, représente la profession et défend les intérêts collectifs des adhérents.

Conception graphique : A noir , www.anoir.fr

UITP ADVANCING PUBLIC TRANSPORT

POLICY BRIEF

AUTONOMOUS VEHICLES: A POTENTIAL GAME CHANGER FOR URBAN MOBILITY

INTRODUCTION

Imagine providing affordable, sustainable and convenient mobility options to all citizens including less mobile persons, the elderly, children and people living in suburban or rural areas. Autonomous vehicles (AVs) can help to build that future.

A NEW CHANCE FOR AN EVER-PRESENT PUBLIC TRANSPORT SYSTEM

Cities play a crucial role as engines of the economy, as places of connectivity, creativity and innovation. The arrival of driverless autonomous vehicles represents a unique opportunity for a fundamental change in urban mobility and could lead to healthier, more competitive and greener cities - but only if public authorities and public transport companies take an active role now and integrate AVs into an effective public transport network. If employed as shared 'robo-taxis' and mini-buses as well as used to reduce car ownership through more effective car-sharing schemes, driverless AVs could dramatically enhance public transport. This paper details the challenges ahead and outlines a way forward for the introduction of autonomous vehicles in our cities.

Indeed, a future with autonomous and connected vehicles can have various outcomes depending on how they are to be regulated and used. Will they lead to even more cars on the road, more urban sprawl and more congestion? Or will they contribute to shaping sustainable and liveable cities, the regaining of urban space, less vehicles on the road and a higher quality of life?

Imagine providing affordable, sustainable and convenient mobility options to all citizens including less mobile persons, the elderly, children and people living in suburban or rural areas. Imagine these mobility solutions opening the way for decarbonisation, to enable your city to regain valuable urban space to be reallocated to green zones, economic activities or affordable housing and to provide flexible, around the clock on-demand transport that is safe and cost-efficient. Autonomous vehicles can help to build that future.

© Ruter As, M2016 / Placebo Effects

© Balonchi / Shutterstock

Which future will you choose?

LESS TRAFFIC, 80% FEWER CARS

Recent studies by MIT (New York), ITF (Lisbon) and the VDV (Stuttgart) have shown that it would be possible to take every citizen to their destination with at least 80% fewer cars!

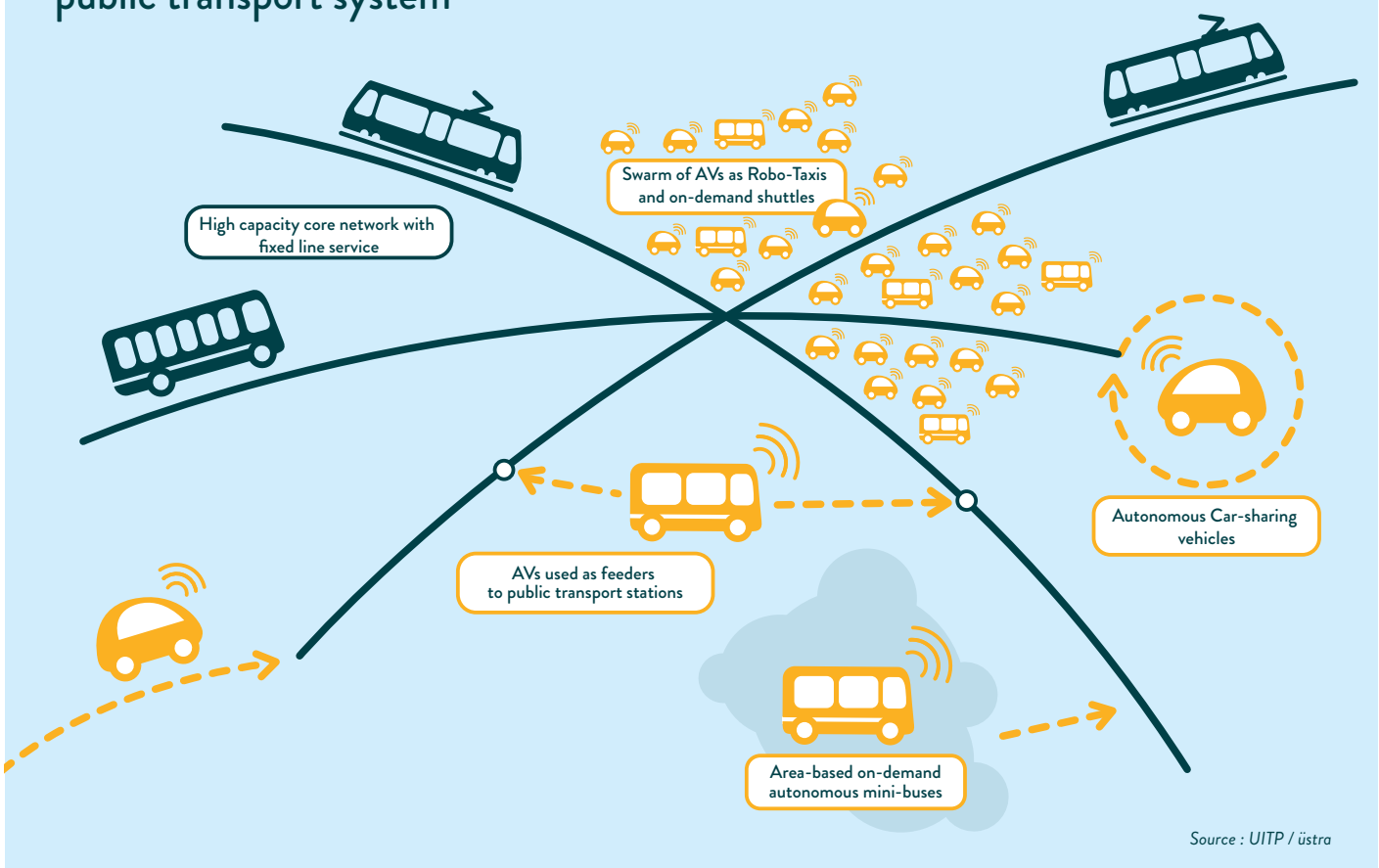
Removing four out of every five cars would have a significant positive impact for cities and affects not only the environment, traffic efficiency, and parking but also frees up a lot of urban space. In many cities, on-street parking accounts for a vast amount of land, which could be freed for other uses. Fewer cars would also lower the cost of building and maintaining roads and generate less noise whilst having a smaller environmental impact.

Driving patterns of vehicles could be algorithmically optimised, but most importantly: self-driving vehicles would also provide much safer roads as today 1.2 million worldwide a year die in automobile-related deaths and 90% of the accidents are due to human error.

BUT this will only happen if AVs are introduced in fleets of driverless shared autonomous vehicles of different sizes reinforcing an efficient high capacity public transport network supporting walking and cycling.

Indeed, the above-mentioned studies clearly state that these results are only obtained if autonomous vehicles are shared and they complement an efficient high-capacity public transport system. Public transport is and remains the only solution able to fulfil the lion's share of trips by using a minimum amount of space in dense urban environments and enabling people to travel in a time-efficient manner.

Possible applications of autonomous vehicles (AVs) as part of a diversified public transport system

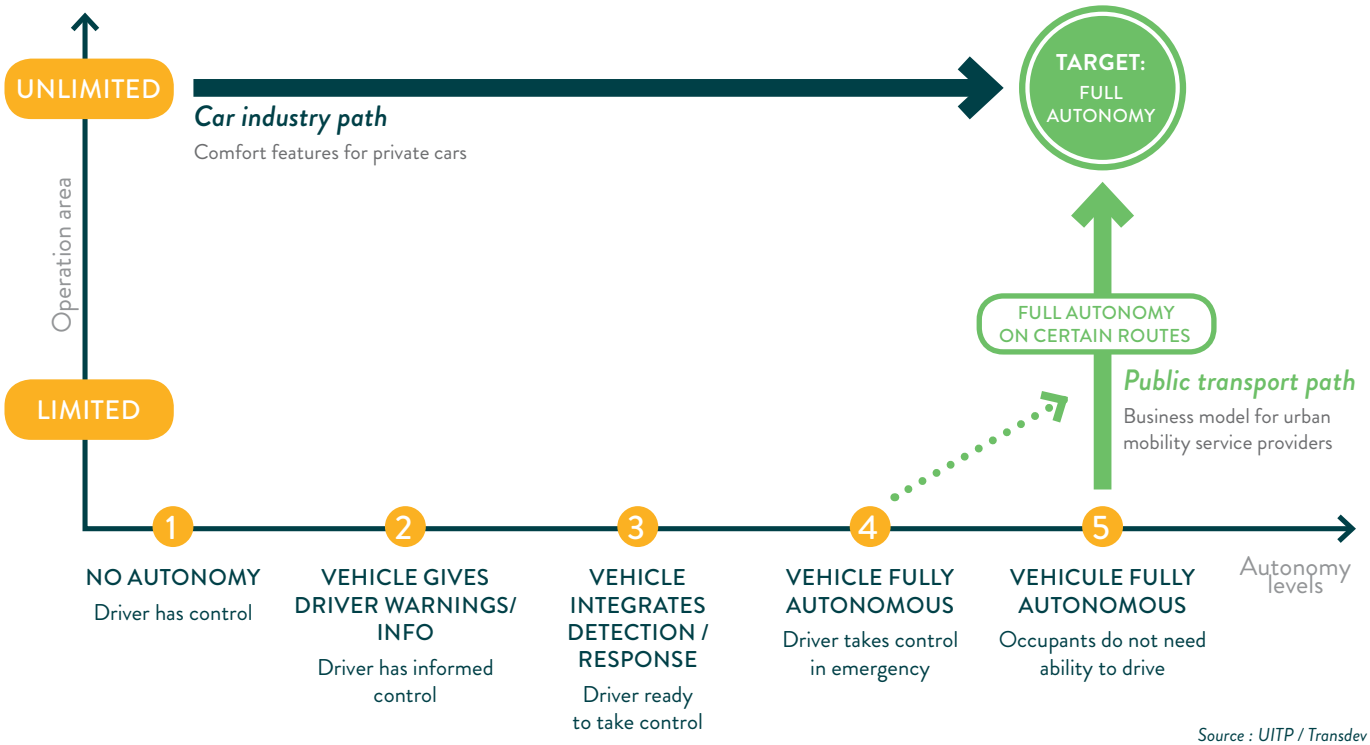


Source : UITP / üstra

The decisive factors that will determine the realisation of the above vision are the shared usage of AVs in fleets and the use of fully driverless operation. If fully automated operation cannot be accomplished, AVs will NOT be able to form a new mode of transport and thus could NOT enhance existing public transport. Therefore cities and countries must actively shape the introduction of AVs now to prepare the authorisation of driverless operation. An integrated effort of all authorities concerned (mobility, road safety, urban planning, traffic control, etc.) must be put in place. Otherwise we will miss the chance for a fundamental change in urban mobility and end up in a scenario where vehicle automation will even further increase the amount of private car and vehicle miles travelled with all the associated negative externalities.

2016 has seen many trials of autonomous vehicles of different sizes and things are moving very fast as – according to various estimations - fully autonomous cars are predicted to become available in the early 2020s.

Public transport offers the quickest development path to full autonomy because it can start operating in a limited area



Source : UITP / Transdev

© Carpostal

Since June 2016, Swiss operator Carpostal – Postauto operates two electric autonomous shuttles for passengers in the city centre of Sion on a 1.5km circuit. Carpostal-Postauto aims to test the public acceptance, the integration of autonomous shuttles in pedestrian zones as well as offering additional services where no public transport services existed before.

© Keolis / Denis Pollard

For Keolis, AVs are a groundbreaking innovation, transforming the city. In Lyon, an autonomous shuttle service has been running on the banks of the river Saône since September 2016, providing easy access to businesses, as well as dining, entertainment, and shopping areas. Designed with intermodality in mind, the shuttle service is situated just a few metres from the tram stops serving the Confluence eco-district.

Although it seems clear that AVs are coming, we do not know yet how they will be rolled out as this also largely depends on how they will be regulated. **The following SWOT analysis shows the strengths, weaknesses, opportunities and threats that shared AVs represent for the future of our cities:**

Strengths

- Provide additional efficient public transport services (high frequency or on demand) during extended operating hours at lower cost
- Social inclusion: more mobility options for all (elderly people, disadvantaged communities, children, less populated areas)
- Solutions for Last-Mile, Door-2-Door, neighbourhood- and feeder services,
- Chance for decarbonisation: introduction of e-mobility
- A chance to re-frame how public transport is used and viewed by the public
- AVs as car- and ride-sharing will reduce parking pressure and car traffic

Weaknesses

- Ability of the public sector to invest in new technologies, lack of speed for innovation and lack of skilled workforce
- Direct services with smaller vehicles could weaken mainline public transport services, walking, cycling
- Significant change only through higher vehicle occupancy
- Special vehicle equipment and development needed for public ride-sharing services (wide doors, room for luggage, communication eg. vehicle to passenger, passenger to control center...)
- Most car-owners are not used to car- and ridesharing and will not accept these forms of car-use naturally
- So far, low speed, low capacity and very "cautious" driving behaviour

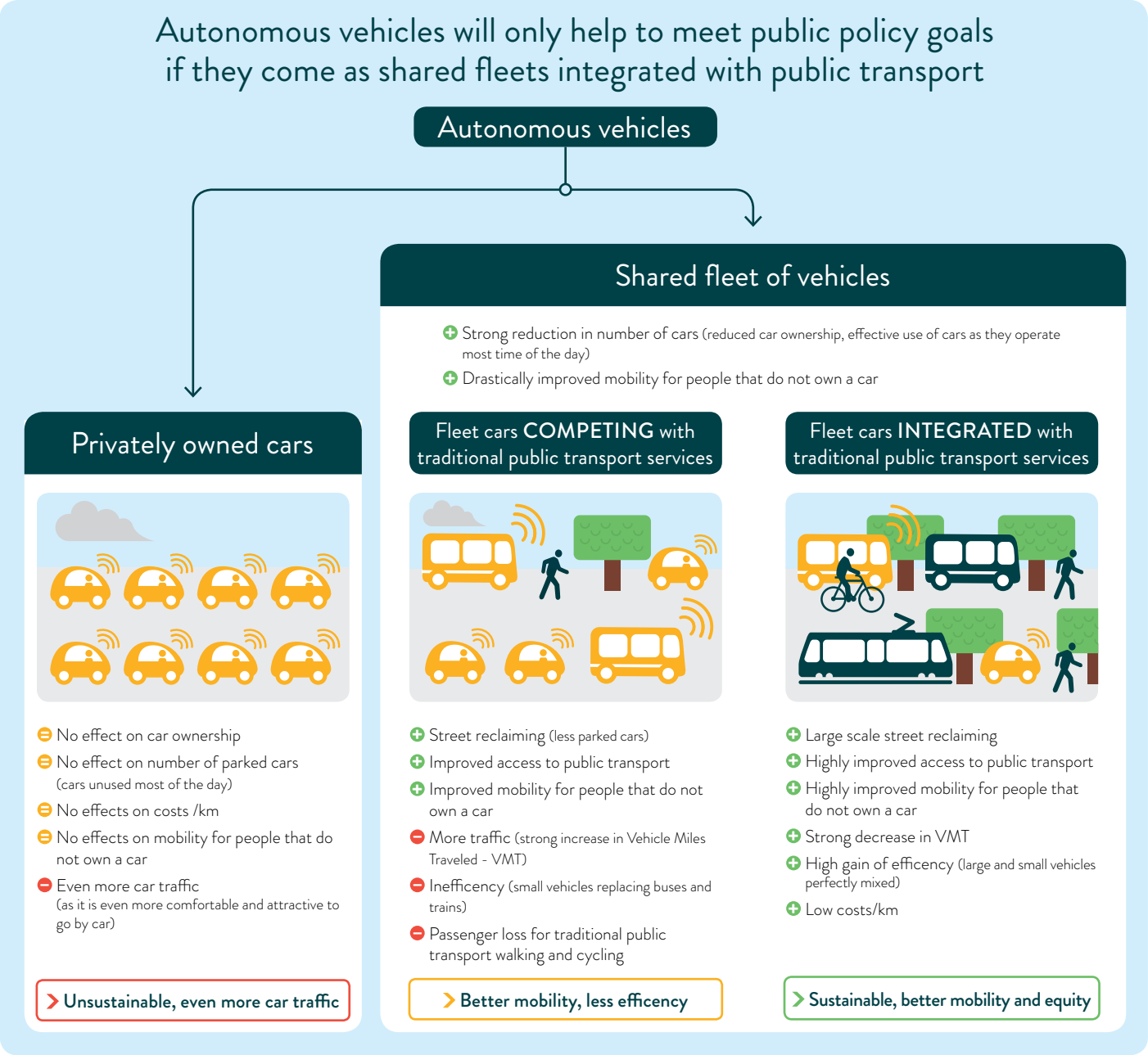
Opportunities

- Chance for public transport to become a real mobility provider and the digital integrator with all the opportunities of the value of data, CRM & traffic control
- Enhanced planning of mobility infrastructure
- Chance for new business model for urban mobility, for instance through time-sensitive pricing instead of flat rate
- Increase in jobs with more customer-oriented functions (proactive mobility assistant instead of invisible bus driver?)
- Chance to implement Mobility as a Service Platforms
- AVs as carsharing-cars as a door-opener to increase the number of shared trips
- Regaining urban space through reduced parking needs and shared use of AVs

Threats

- Limits in technology or lack of public acceptance could prevent driverless operation within the foreseeable future
- Traffic volume increase through empty AV cars
- Private cars being replaced by private AVs, making congestion more bearable leading to additional car ownership and urban sprawl
- Reduction in number of driver/chauffeur jobs
- AVs as robo-taxis are a business opportunity for private firms (Uber, Google, Amazon, car-manufacturers). This could lead to the privatisation of urban transport services with a loss of influence for public authorities
- Uncertainty on Life Cycle Costs (LCC), providers, monopolistic or competitive markets, etc.

Now is the time to start preparing the right regulatory framework for AVs to ensure they will serve cities' policy objectives. With current traffic rules, AVs will be seen as comfortable private cars that could well drive around empty to avoid paying parking charges, increasing car traffic and urban sprawl. Public transport, walking and cycling would lose market share and doing nothing is therefore not an option.



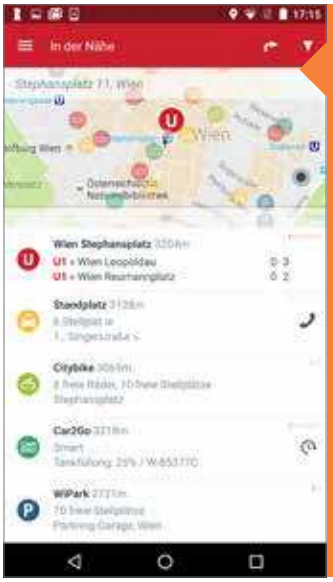
Source : UITP / Martin Röhrleef

Ensuring safe, green, accessible, affordable, equitable and inclusive mobility to citizens are the principles of any city or region. New technologies should be used to help cities reach these policy goals. Therefore, the role of authorities must be to build a regulatory framework to ensure AVs bring benefits to cities and that the above principles are respected. Cities will only be able to shape the future mobility market if they get involved now.

As mentioned before, autonomous vehicles offer the opportunity to provide more public transport options to people and in locations where it was difficult or impossible before because of high operational costs. Shared autonomous 'robo-taxis' and on-demand shuttles will be very cost-efficient since there will be no driver costs and they could solve first- and last mile issues, act as feeders to public transport trunk lines or offer door-to-door mobility. They will be part of a versatile and highly efficient integrated public transport system where citizens will be able to choose the best mobility option through an integrated multimodal mobility platform offering mobility as a service ('MaaS').

© üstra

In February 2016, üstra launched its *Mobility Shop* that offers multimodal registration, routing, booking and invoicing in Hannover, Germany. It is a major step towards becoming a true multimodal provider that offers Mobility as a Service (MaaS) to its customers now and in the future.



© Wiener Linien

In spring 2017 in Vienna, the mobility app WienMobil will offer simple and convenient access via the Wiener Linien app not only to bus, tram and metro services but to all publicly available mobility services such as e-loading stations, parking garages, taxis, Citybike, car sharing, car rental and many more. The result is a one-stop mobility shop that, in addition to accessing real-time information, enables the user not only to buy tickets, but also to book, reserve and pay for other combined transport.

Obviously there are still many questions related to liability, insurance and technology that need to be solved but the introduction of driverless autonomous vehicles has a huge impact on the planning and the investment needed for sustainable urban mobility in the future and this calls for action now to ensure the right decisions are taken.

ENCOURAGING SHARED MOBILITY

The first point is to ensure autonomous vehicles are shared and that people are ready for this idea of sharing and switching between different modes of transport. Therefore, **all forms of shared mobility, mainly car- and ride-sharing, need to be actively promoted and incentivised as of today.** Tax incentives for shared rides or shared ownership of vehicles, shared vehicle zones, promotional campaigns, priority parking places, promotion of pilot projects...: preparing our citizens for shared autonomous vehicles in the future goes hand in hand with more car- and ride-sharing today. Measures to limit single car occupancy need to be taken as well as measures to avoid having empty private autonomous cars on the roads.

CREATING A BALANCED INTEGRATED MULTIMODAL MOBILITY OFFER

The second point is to ensure that these fleets of shared AVs are integrated into a complete mobility solution with high capacity public transport as a backbone in densely utilised areas to fulfil the lion's share of trips complemented by walking and cycling.

In order to become really attractive and form a credible alternative to (autonomous) car ownership, the different sustainable modes need to be coordinated, planned and delivered in an integrated way. From a physical perspective (coordinated network planning, stations, urban planning, and algorithmic optimisation of autonomous fleets) but also from an information perspective: a one-stop-mobility shop acting as a personal mobility assistant offering travel information, booking and ticketing.

The creation of multimodal mobility platforms offering Mobility as a Service is the way to connect urban mobility services now and in the future.

Public transport authorities and operators are experts in organising urban mobility solutions: allow them to lead the transition and take the lead in the coordination of tomorrow's mobility. Moreover, public transport already has experience in the automation of transport services thanks to the automation of metro lines. Indeed, in 2016 there were 803km of automated metro in operation in 37 cities worldwide. This trend is growing as by 2025, automated metro lines are expected to total over 2,300km globally.

Walking, cycling and shared autonomous fleets are excellent options to provide door-to-door transport or act as feeders, but on their own they are not a substitute for public transport, primarily as they lack the capacity to cater for the sheer volumes required in densely utilised urban spaces.

In many cities, public transport companies are leading the transition to offer multimodal mobility to their citizens through partnerships with shared mobility providers such as car- and bike-sharing and they are testing new services with autonomous shuttles. They are also providing Mobility as a Service-platforms to provide combined mobility to their customers and these platforms will also ensure the integration of shared AVs into a complete mobility solution in the future.

AV STRATEGY OF A PUBLIC TRANSPORT OPERATOR: TRANSDEV

Transdev aims to offer innovative mobility solutions and excellent service to its customers. Autonomous vehicles hence were a natural choice since they are flexible in terms of timing and geographical coverage, economical, clean and offer many development opportunities.

"We're convinced of the potential that autonomous vehicles have to extend our current range of services. We're aiming high, and thinking practically. This means going through a key initial stage, on which we are focusing all our energy right now: consolidating our expertise by capitalising on the success of the first operations such as Civaux with Navya and Ladoux with Easymile." Yann Leriche, Chief Performance Officer, Transdev.

© Transdev - Jean-François Deroubaix

AV STRATEGY OF A PUBLIC TRANSPORT AUTHORITY: LTA

In Singapore, the Land Transport Authority (LTA) considers AV technology an opportunity to help achieve the 2013 Singapore Land Transport Masterplan that aims to promote public transport as the mode of choice. It will help address the challenge of the manpower crunch and AV fleet coordination and control infrastructure will facilitate efforts to improve the reliability of public transport services. On the service provision side, it will offer first- and last-mile connectivity as well as on-demand services through a demand-responsive fleet of shared autonomous vehicles. A massive effort is underway to build up public transport, walking and cycling infrastructure and rally around a car-lite Singapore.

Therefore, Singapore is preparing itself through trials to integrate autonomous vehicles into the public transport network once they are ready.

© LTA

RECOMMENDATIONS

How to get from 0.5 % of shared mobility to 50-60%?

- Public authorities need to take an active role in the roll out of AVs so that they meet policy objectives:
  - Measures to limit single car occupancy: road pricing (to the advantage of high occupancy vehicles), parking management, shared vehicle zones…
  - Measures to avoid empty private AVs idling on the road
  - Urban planning measures:
    - regain urban space from parking facilities to be allocated to other uses
    - integrated urban & mobility planning
    - prevent urban sprawl, rethink urban planning with autonomous shuttles
  - Provide integrated mobility platforms (MaaS) as whoever controls the platform controls the travel behaviour and require all public mobility services to join
  - Regarding data, ensure the different urban mobility services can communicate and are not closed systems
  - Make tendering/concessions for shared AV fleets
  - Any new mobility service should be evaluated against modal split objectives and ensure a better quality of urban life before being supported
  - Promote shared vehicle use in all forms through promotion and tax incentives
- Allow the use of shared driverless autonomous vehicles on public roads, at least in trials to test how to best use them in the mobility eco-system
- Let public transport operators and shared-fleet mobility operators test AVs and take advantage of innovation – adapt regulation to allow testing of autonomous vehicles to be integrated into the public transport offer
- Enlarge the competences of public transport authorities to all urban mobility services
- Support research to understand citizens' acceptance of autonomous vehicles and contribute to create confidence
- Prepare for the consequences on jobs as some driver/chauffeur jobs could disappear and other jobs requiring specific skills will be needed. How will the transition be managed?
- Developments take time: start now because the future is coming
- Boost synergies between public transport & private shared mobility actors

Encouraging shared mobility now will pave the way for the shared use of shared AVs in the future!

This is an official **Policy Brief** of UITP, the International Association of Public Transport. UITP has over 1,400 members in 96 countries throughout the world and represents the interests of key players in this sector. Its membership includes transport authorities, operators, both private and public, in all modes of collective passenger transport, and the industry. UITP addresses the economic, technical, organisation and management aspects of passenger transport, as well as the development of policy for mobility and public transport world-wide.

This Policy Brief was prepared by the Combined Mobility Platform

A digital version is available on Mobi+

JANUARY | 2017

UITP ADVANCING PUBLIC TRANSPORT

Rue Sainte-Marie 6, B-1080 Brussels | Belgium | **Tel** +32 (0)2 673 61 00 | **Fax** +32 (0)2 660 10 72 | info@uitp.org | **www.uitp.org**

© UITP - All rights reserved - Responsible Publisher : Alain Flausch, Rue Sainte Marie 6, B-1080 Brussels- Legal deposit: D/2017/0105/1

Mise en œuvre des véhicules automatisés

Implications pour la planification des transports

Source : Todd Litman, Victoria Transport Policy Institute, 9 août 2022

Le Victoria Transport Policy Institute est un groupe de réflexion canadien qui cherche à améliorer la planification des transports et la politique des transports. L'institut est un organisme de recherche indépendant dédié au développement de solutions innovantes et pratiques aux problèmes de transport.

Ce rapport a été traduit de l'anglais. Les termes « autonomous vehicles » ont été traduits par « véhicules automatisés » dans la plupart des cas et « véhicules autonomes » dans une projection long terme.

Résumé

Ce rapport explore les impacts de l'automatisation (également appelée conduite automatisée ou sans conducteur) des véhicules et ses implications pour la planification des transports. Il étudie la rapidité avec laquelle ces véhicules sont susceptibles de se développer et d'être déployés sur la base de l'expérience acquise avec les technologies automobiles précédentes ; leurs avantages et coûts probables ; comment ils affecteront les activités de la conduite ; et leurs impacts sur la l'infrastructure routière, sur le stationnement et la planification du transport en commun. Cette analyse indique que les véhicules totalement automatisés (dit de niveau 5), capables de fonctionner sans conducteur, pourraient être disponibles dans le commerce et autorisés à être utilisés dans certaines juridictions d'ici la fin des années 2020, mais auront initialement des coûts élevés et des performances limitées.

Certains cas d'usage, tels que la mobilité particulière pour les usagers aisés, pourraient apparaître dans les années 2030 mais la plupart des impacts, y compris la réduction du trafic et de la congestion des zones de stationnement, la mobilité particulière des personnes à faible revenu (et donc la réduction du besoin de transport en commun), l'amélioration de la sécurité, la réduction de la consommation d'énergie et la réduction de la pollution, ne seront significatifs que lorsque les véhicules automatisés deviendront courants et abordables, probablement dans les années 2040 à 2060, et certains avantages peuvent nécessiter des voies dédiées aux véhicules automatisés, ce qui soulève des problèmes d'équité sociale.

Table des matières

Table des matières

Résumé exécutif ... 3
Introduction ... 7
Modèles opérationnels de véhicules automatisés ... 8
Coûts et bénéfices ... 9
Réduction du stress du conducteur, amélioration de la productivité et de la mobilité ... 9
Coûts de propriété et d'exploitation ... 9
Sécurité routière et santé publique ... 12
Coûts externes ... 14
Impacts sur l'équité sociale ... 15
Équité horizontale en matière de subventions ... 15
Coûts du trafic externe ... 16
Équité horizontale par rapport à l'espace routier ... 16
Équité verticale par rapport aux capacités et aux besoins ... 16
Équité verticale en matière de revenus – abordabilité ... 16
Résumé des bénéfices et coûts ... 18
Impacts sur les déplacements ... 20
Prédictions de développement et de déploiement ... 25
Expérience à partir du déploiement des technologies passées ... 27
Prédictions de déploiement ... 29
Impacts sur la planification ... 32
Conception de la chaussée ... 32
Tarification du transport ... 32
Gestion des trottoirs ... 32
Planification du stationnement ... 32
Besoins en transport en commun ... 33
Autres tendances affectant les demandes de déplacements ... 33
Conflits potentiels et solutions ... 38
Conclusions ... 40
Références ... 43

Résumé exécutif

De nombreux décideurs et professionnels se demandent comment les véhicules automatisés affecteront les déplacements futurs, et donc le besoin d'infrastructures routières, de parkings et de services de transport en commun, et quelles politiques publiques peuvent minimiser les problèmes et maximiser les avantages de ces nouvelles technologies. Ce rapport explore ces questions.

Les optimistes prédisent que d'ici 2030, les véhicules automatisés seront suffisamment fiables, abordables et communs pour remplacer la plupart des conducteurs humains, offrant d'énormes économies et avantages. Cependant, il y a de bonnes raisons d'être sceptique. La plupart des prédictions optimistes sont faites par des professionnels de l'industrie automobile, ayant des intérêts financiers, sur la base de technologies telles que les appareils photo numériques, les smartphones et les ordinateurs personnels. Ils ont tendance à ignorer les obstacles importants au développement de véhicules automatisés et à exagérer les avantages futurs.

Il existe une incertitude considérable concernant le développement des véhicules automatisés, les avantages et les coûts, les impacts sur les déplacements et la demande des consommateurs. Des progrès considérables sont nécessaires avant que les véhicules automatisés puissent fonctionner de manière fiable en trafic urbain mixte, en cas de fortes pluies et neiges, sur des routes non goudronnées et non cartographiées, et là où l'accès sans fil n'est pas fiable. Des années de tests et d'approbations réglementaires seront nécessaires avant qu'ils ne soient disponibles sur le marché dans la plupart des juridictions. Les premiers véhicules automatisés disponibles dans le commerce seront probablement coûteux et limités en performances. Ils introduiront de nouveaux coûts et risques qui limiteront les ventes. De nombreux automobilistes hésiteront à payer des milliers de dollars supplémentaires pour des véhicules qui seront parfois incapables d'atteindre une destination en raison du mauvais temps ou de routes non cartographiées.

La figure 1 illustre les coûts d'utilisation pour le consommateur, des véhicules automatisés. Ils sont susceptibles d'être plus chers que les véhicules particuliers conventionnels et que les transports en commun, mais moins chers que les services de covoiturage[1] et les taxis conventionnels. Les véhicules automatisés partagés seront moins chers mais moins pratiques et confortables que les véhicules automatisés particuliers, de sorte que de nombreux ménages, en particulier dans les banlieues et les zones rurales, posséderont des véhicules automatisés.

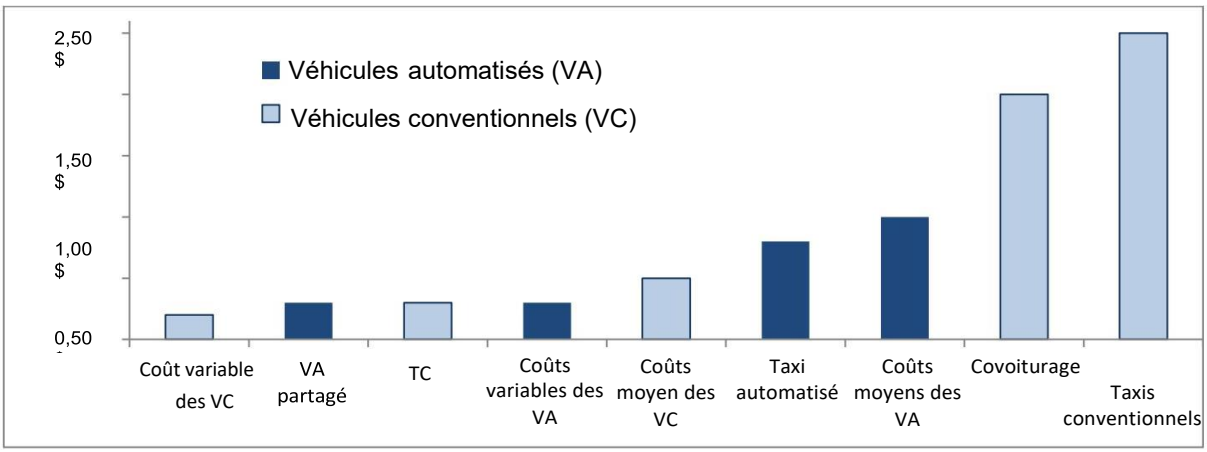


Figure 1 : Comparaison des coûts – Les véhicules automatisés sont susceptibles de coûter moins chers que les véhicules conventionnels individuels et que les transports en commun, mais plus que les taxis conventionnels et les services de covoiturage.

[1] Contrairement aux services de véhicules partagés, les coûts de propriété de véhicule du covoiturage ne sont pas nuls, bien que réduits par rapport à la mobilité individuelle.

Les véhicules automatisés auront divers avantages et coûts, y compris de nombreux coûts externes (coûts imposés à d'autres personnes). Tous ces impacts doivent être pris en compte lors de leur planification.

	Avantages	Coûts/inconvénients
Internes (impacts usagers)	*Réduction du stress du conducteur et augmentation de la productivité : les automobilistes peuvent se reposer, travailler pendant le trajet.* *Mobilité permise pour les non-conducteurs : une mobilité plus indépendante pour les non-conducteurs peut réduire la charge des automobilistes en termes de transport et les subventions des transports en commun.* *Réduire les frais des chauffeurs pour les compagnies (compagnies de taxis et services de transports).*	*Augmentation des coûts d'un véhicule : nécessite un équipement, des services et des frais supplémentaires pour le véhicule.* *Risques supplémentaires pour l'usager : accidents supplémentaires causés par des défaillances du système, des pelotons, des vitesses de circulation plus élevées, une prise de risque supplémentaire et une augmentation du nombre total de déplacements en véhicule.* *Sécurité de données personnelles réduite : vulnérable aux attaques (cyber) et à des données sensibles telles que la localisation et le partage de données.*
Externes (impacts sur les autres usagers de la route)	*Sécurité renforcée : réduction du risque d'accidents et des coûts liés aux assurances, réduction de la conduite à haut risque.* *Augmentation de la capacité et réduction des coûts : gain en efficacité du trafic, réduction de la congestion et les coûts des infrastructures.* *Réduction des coûts de stationnement : réduction de la demande de stationnement.* *Réduction de la consommation d'énergie : augmentation de l'efficacité énergétique et réduction des émissions.* *Soutien la mobilité partagée : pourrait faciliter l'autopartage et le covoiturage, en réduisant la possession totale de véhicules et les déplacements (ainsi que les coûts associés).*	*Augmentation des coûts des infrastructures : peut nécessiter des niveaux de service plus élevés de l'infrastructure.* *Risques additionnels : augmentation du risque pour les autres usagers et utilisation malveillante possible.* *Augmentation de la congestion : augmentation des trajets effectués, de la pollution associée et contribue à l'étalement urbain, ce qui entraîne de nouveaux coûts.* *Problèmes d'équité sociale : réduction des options de mobilité abordables, y compris les mobilités douces et les services de transport en commun.* *Perte d'emplois : notamment des chauffeurs.* *Prise en charge limitée des autres solutions : les prédictions optimistes de la conduite automatisée peuvent décourager d'autres amélioration et stratégies de transports.*

Tableau 1 : Avantages et coûts potentiels des véhicules automatisés – Les véhicules automatisés peuvent offrir divers avantages et coûts, y compris des impacts externes sur les autres usagers (et non utilisateurs).

Les véhicules durent plus longtemps, coûtent plus cher, imposent des coûts externes plus importants et sont plus fortement réglementés que la plupart des autres biens de consommation. Par conséquent, les technologies automobiles mettent plus de temps à pénétrer les marchés que la plupart des autres

secteurs. Il faudra probablement des décennies pour que les véhicules automatisés dominent les achats et les flottes de véhicules neufs, et certains automobilistes pourraient résister à leur utilisation.

De manière optimiste, les véhicules automatisés seront sûrs et fiables d'ici 2025, et pourraient être commercialisés dans de nombreux domaines d'ici 2030. S'ils suivent le modèle des technologies des véhicules conventionnels, au cours des années 2030 et probablement des années 2040, ils seront coûteux et leurs performances limitées, parfois incapables d'atteindre une destination souhaitée ou nécessitant une intervention humaine lorsqu'ils rencontrent des situations inattendues. Les clients seront des automobilistes et des entreprises fortunés au kilométrage annuel élevé. Dans un avenir prévisible, la plupart des ménages à revenu modeste et faible continueront d'utiliser des véhicules conventionnels.

Les véhicules automatisés partagés (taxis automatisés) et le covoiturage (services de micro-transit) pourraient être largement disponibles d'ici les années 2030. Les véhicules partagés ont des coûts d'exploitation modérés et offrent une commodité et un confort modérés. Ils devraient être moins chers que les services actuels de taxis et de VTC, mais offrir un service de moindre qualité puisqu'aucun chauffeur ne sera disponible pour assister les passagers, assurer la sécurité ou nettoyer les véhicules. La répartition des véhicules sera parfois lente et imprévisible, en particulier dans les zones suburbaines et rurales. Les trajets partagés auront les coûts les plus bas, mais le moins de commodité et de confort. En raison de leurs coûts de main-d'œuvre élevés et de leurs itinéraires prévisibles, les cars et les camions de fret sont particulièrement adaptés à un fonctionnement automatisé, et pourraient devenir communs dans les années 2030 et 2040.

La figure ci-dessous illustre ces projections de pénétration du marché et d'avantages. Cela indique qu'il faudra probablement attendre 2045 avant que la moitié des nouveaux véhicules ne soient automatisés, 2060 avant que la moitié de la flotte de véhicules ne soit automatisés, et peut-être plus longtemps en raison de défis techniques ou des préférences des consommateurs. L'automatisation de niveau 4 (capable de fonctionner de manière automatisée dans un domaine d'emploi précis, comme sur des chaussées à voies séparées) peut réduire le stress du conducteur et augmenter la productivité, mais la plupart des avantages nécessitent une automatisation de niveau 5 (capable de fonctionner de manière autonome dans toutes les conditions sans intervention d'un conducteur) afin que les véhicules puissent transporter les non-conducteurs et voyagent à vide pour prendre ou déposer des passagers.

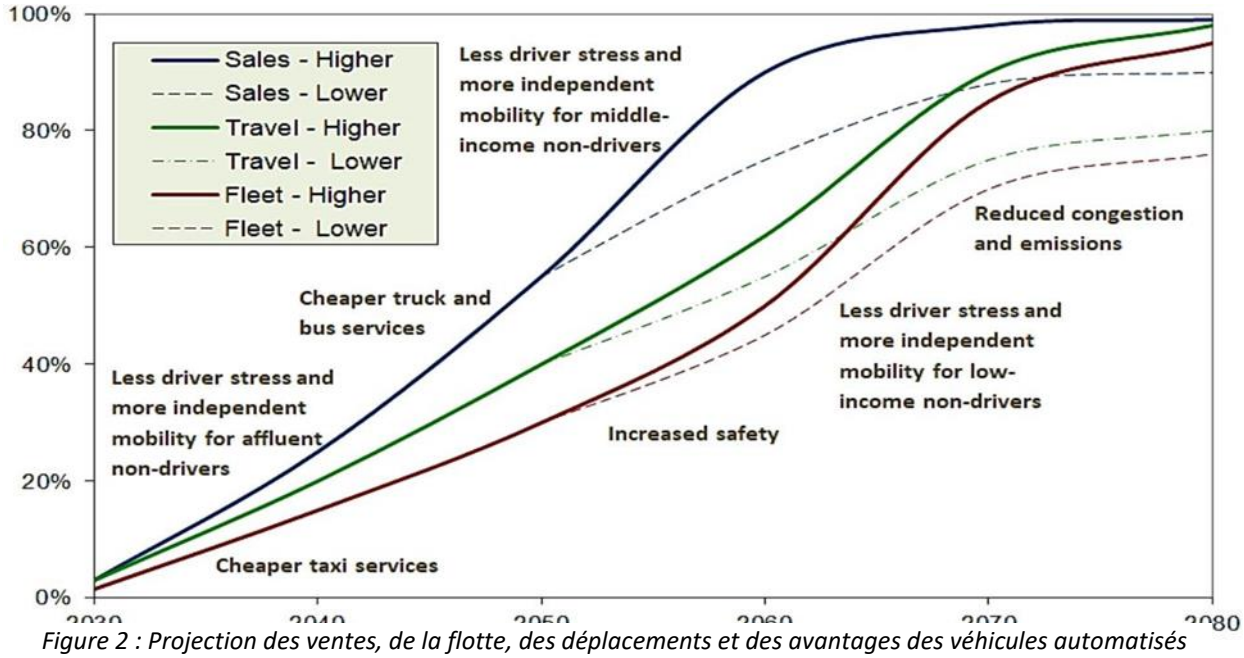


Figure 2 : Projection des ventes, de la flotte, des déplacements et des avantages des véhicules automatisés

Cette analyse suggère qu'il faudra au moins attendre 2045 avant que la moitié des nouveaux véhicules soient automatisés, et 2060 avant que la moitié de la flotte de véhicules ne soit automatisée. Un déploiement beaucoup plus rapide nécessitera la mise au rebut de nombreux véhicules autrement fonctionnels mais non automatisés. Certains avantages, tels que la réduction du stress du conducteur et la mobilité particulière des personnes aisés par ailleurs non conductrices, peuvent se produire lorsque les véhicules automatisés sont relativement coûteux et rares. Cependant, la plupart des cas d'usage, tels que la mobilité particulière pour les populations à revenu modéré et les services de taxis et de covoiturage abordables, ne peuvent être significatifs que s'ils deviennent courants et abordables. Certains avantages, tels que la réduction de la congestion, nécessiteront des voies réservées pour permettre la circulation en pelotons.

De nombreuses prévisions supposent que la plupart des véhicules automatisés seront électriques, qui auront de faibles coûts de carburant mais nécessitent des batteries coûteuses, qui n'ont actuellement aucune taxe sur le carburant. L'intégration des coûts de remplacement des batteries et des frais d'utilisation de l'infrastructure augmentent les coûts d'exploitation des véhicules électriques pour qu'ils soient similaires à ceux des véhicules à carburant fossile.

Une question de planification importante est de savoir si les véhicules automatisés augmenteront ou réduiront les déplacements totaux des véhicules et les problèmes de circulation associés. Cela pourrait aller dans les deux sens. En augmentant les déplacements des personnes non motorisées, en augmentant la commodité et le confort des déplacements, en réduisant les coûts d'exploitation des véhicules, en générant des déplacements à vide et en encourageant les trajets sur de plus longues distances et un développement plus étendu, ils peuvent augmenter les déplacements totaux. Ces déplacements supplémentaires offrent des avantages marginaux au consommateur, et comme les déplacements imposent des coûts externes importants, une grande partie de cette augmentation de déplacements est susceptible d'être économiquement inefficace : ses avantages pour l'utilisateur seront inférieurs aux coûts supplémentaires totaux. Alternativement, le fonctionnement automatisé peut faciliter le partage de véhicules, permettant aux ménages de réduire la possession de véhicules et les déplacements. Cela suggère que les véhicules automatisés augmenteront les déplacements dans les zones suburbaines et rurales et les réduiront dans les zones urbaines. Leurs impacts nets dépendront des politiques de transport et d'aménagement du territoire. Avec les politiques actuelles, les déplacements et l'étalement des véhicules devraient augmenter de 10 à 30 %. Une tarification plus efficace et une gestion de la voirie qui favorise les véhicules partagés peuvent réduire les déplacements des véhicules et les problèmes associés.

Un autre problème crucial est la mesure dans laquelle les avantages potentiels peuvent être obtenus lorsqu'une partie seulement des déplacements est automatisée. Certains avantages, tels qu'une mobilité améliorée pour les personnes aisées non motorisées, peuvent se produire lorsque les véhicules automatisés sont rares et coûteux, mais de nombreux avantages potentiels, tels que la réduction de la congestion et des émissions, exigent que les véhicules fonctionnent de manière automatisée dans des voies dédiées.

La mise en œuvre de véhicules automatisés n'est qu'une des nombreuses tendances susceptibles d'affecter les demandes et les impacts futurs en matière de transport, et pas nécessairement la plus importante. Leurs impacts ultimes dépendent de la manière dont les véhicules automatisés interagissent avec d'autres tendances, telles que le passage des véhicules individuels aux véhicules partagés. Les véhicules automatisés ne provoqueront un « changement de paradigme » que si cette technologie entraîne des changements importants des véhicules particuliers vers des véhicules partagés et crée davantage de report modal.

Les professionnels du transport ont un rôle important à jouer dans le développement et le déploiement de véhicules automatisés.

Introduction

La planification nécessite de prévoir les conditions de déploiement et les besoins imminents. De nombreux décideurs et professionnels (planificateurs, ingénieurs et analystes) se demandent comment les véhicules automatisés affecteront les futures demandes de déplacement, et donc le besoin d'infrastructures routières, de stationnements et de services de transport en commun, et quelles politiques publiques peuvent minimiser leurs risques et maximiser leurs bénéfices (APA 2016 ; Berrada et Leurent 2017 ; Grush et Niles 2018 ; Guerra 2015 ; Kockelman et Boyles 2018 ; Larco 2022 ; Milakis, van Arem et van Wee 2017 ; Shaheen, Totte et Stocker 2018 ; Sperling 2017).

Il existe une incertitude considérable sur ces questions. Les optimistes prédisent, sur la base de l'expérience des innovations technologiques précédentes telles que les appareils photo numériques, les téléphones intelligents et les ordinateurs personnels, que les véhicules autonomes seront bientôt suffisamment fiables et abordables pour remplacer l'humain, offrant d'énormes économies et avantages (Johnston et Walker 2017 ; Keeney 2017 ; Kok et al. 2017). Cependant, il y a de bonnes raisons d'être sceptique face à de telles affirmations.

Les prévisions optimistes négligent souvent des obstacles et des coûts importants. De nombreux problèmes techniques doivent être résolus avant que les véhicules totalement automatisés puissent fonctionner de manière fiable dans toutes les conditions (Knight 2020 ; Leonard, Mindell et Stayton 2020 ; Norton 2021). Ils nécessiteront des années de tests et d'approbations réglementaires pour progresser sur ce que les technologues appellent l'échelle du niveau de maturité technologique (TRL), d'une idée à une disponibilité commerciale complète (McLeod 2021), et au fil du temps devenir abordables et attrayants pour les consommateurs. Les véhicules à moteur sont coûteux, durables et hautement réglementés, de sorte que les nouvelles technologies automobiles mettent généralement des décennies à pénétrer les flottes.

La conduite automatisée peut créer de nouveaux problèmes : une panne d'appareil photo, de téléphone ou d'ordinateur peut être frustrante mais rarement mortelle ; les défaillances des systèmes des véhicules à moteur peuvent être frustrantes et mortelles pour les occupants et les autres usagers de la route. En conséquence, les véhicules automatisés prendront probablement plus de temps à se développer et offriront des avantages nets moindres que ne le prédisent les optimistes.

Cela a des implications politiques importantes (Papa et Ferreira 2018 ; Speck 2017). Les véhicules dépendent des infrastructures publiques et peuvent imposer des coûts externes importants, et nécessitent donc plus de planification et de réglementation que la plupart des autres technologies. Par exemple, de nombreux avantages prédits des véhicules automatisés, y compris la réduction de la congestion et de la pollution, nécessitent des voies réservées pour permettre la conduite en peloton. De plus, les véhicules automatisés peuvent être programmés pour prioriser les besoins de usagers comme par exemple maximiser la vitesse de trajet et le confort des passagers, ou les bénéfices collectifs comme la minimisation du temps d'attente et des risques pour l'ensemble des usagers de la route. Les décideurs politiques doivent décider s'il faut construire des voies spéciales pour véhicules automatisés, quelle tarification leur associer et comment réglementer leur fonctionnement afin de maximiser les avantages totaux (Zipper 2021).

Ce rapport explore ces questions. Il étudie, sur la base de l'expérience des technologies de véhicules précédentes, la rapidité avec laquelle les véhicules automatisés sont susceptibles d'être développés et déployés, évalue de manière critique leurs avantages et leurs coûts, et discute leurs impacts probables sur les déplacements et leurs implications dans me cadre de la planification des transports.

Modèles opérationnels de véhicules automatisés

La figure 3 décrit les 6 niveaux d'automatisation. Nombreux des avantages prédits nécessitent le niveau 5, qui permet aux véhicules de transporter des personnes (non détentrices du permis de conduire) et des biens dans tous les environnements de conduite.

Figure 3 : Niveaux d'automatisation (SAE J3016) – La société des ingénieurs de l'automobile (SAE) définit 6 niveaux d'automatisation.

Tableau 2 : Comparaison des modèles de conduite

	Véhicule conventionnel particulier	Véhicule automatisé particulier	Véhicule automatisé partagé	Véhicule automatisé pour le covoiturage
	Le conducteur possède ou loue un véhicule qu'il conduit.	*Le foyer possède ou loue un véhicule automatisé.*	*Un taxi automatisé offre un service privé.*	*Un véhicule automatisé est utilisé pour plusieurs passagers.*
Avantages	Bas coûts. Toujours disponible. Laisser des affaires dans le véhicule. Fierté de la propriété.	Très pratique. Toujours disponible. Laisser des affaires dans le véhicule. Fierté de la propriété.	Les usagers peuvent choisir les véhicules qui correspondent à leur besoin. Service porte à porte.	Coûts totaux les plus faibles. Minimise la congestion, les risques, la pollution et les émissions
Inconvénients	Requiert un permis de conduire et la gestion du stress.	Coûts élevés. Les usagers ne peuvent pas choisir des véhicules différents pour différents usages. Augmentation potentielle du nombre de déplacements et des coûts associés.	Les usagers doivent attendre les véhicules. Services limités (pas de conducteurs pour aider les passagers et assurer la sécurité).	Commodité et confort à moindre vitesse, en particulier dans les zones d'étalement urbain.
Usagers cibles	Résidents modestes et à revenus modérés des zones rurales et suburbaines.	Résidents aisés des zones rurales et suburbaines.	Utilisateurs à faible kilométrage annuel.	Résidents urbains à faible revenus.

Coûts et bénéfices

Cette section décrit les avantages et les coûts des véhicules automatisés.

Réduction du stress du conducteur, amélioration de la productivité et de la mobilité

Les véhicules automatisés peuvent réduire le stress et l'ennui des conducteurs et augmenter leur productivité. Il peut s'agir de bureaux mobiles et de chambres, comme illustré ci-dessous, permettant aux passagers de se reposer ou travail en voyage (WSJ 2017). Cela réduit les coûts unitaires de temps de trajet (coût par heure). Cependant, pour des raisons de sécurité, les occupants doivent porter leur ceinture de sécurité, restreindre l'utilisation des lits dans les véhicules et, comme tout espace confiné, l'intérieur des véhicules est susceptible de devenir encombré et sale (Broussard 2018).
Les véhicules automatisés peuvent introduire de nouveaux stress et inconforts. Les voyageurs peuvent ressentir de « l'anxiété » si les véhicules sont parfois incapables d'atteindre les destinations souhaitées, par exemple, en raison de fortes pluies ou de neige, ou si une zone ne dispose pas d'une cartographie détaillée pour un fonctionnement autonome (Grush 2016). Les taxis autonomes et les services de micro-transit seront moins chers que les taxis conventionnels avec conducteur humain, mais offriront une qualité de service inférieure car il n'y aura pas de chauffeurs pour aider à transporter les colis ou assurer la sécurité des passagers. Pour minimiser les coûts de nettoyage et de vandalisme, la plupart des surfaces seront en acier inoxydable et en plastique, et des caméras de sécurité surveilleront les passagers, mais ils peuvent toujours rencontrer les déchets, les taches et les odeurs des occupants précédents (Broussard 2018). Les trajets autonomes partagés (micro-transit) obligent les passagers à partager l'espace avec des étrangers, et chaque prise en charge ou dépose supplémentaire peut imposer des retards, réduisant la vitesse et la fiabilité.

Les véhicules automatisés peuvent offrir une mobilité indépendante aux personnes qui, pour une raison quelconque, ne peuvent ou ne doivent pas conduire. Cela profite directement à ces voyageurs et, en améliorant leur accès à l'éducation et aux opportunités d'emploi, peut augmenter leur productivité et réduire le fardeau du chauffeur pour les membres de leur famille et leurs amis. D'autre part, des prévisions optimistes sur les avantages des véhicules autonomes pourraient amener certaines collectivités à réduire leur soutien aux services de transport en commun, ce qui pourrait réduire les options de mobilité pour les non-conducteurs (Creger, Espino et Sanchez 2019). Le fait de réserver des voies d'autoroute aux pelotons de véhicules automatisés peut réduire la capacité des voies, ce qui nuit aux occupants des véhicules.

Coûts de propriété et d'exploitation

Les véhicules automatisés nécessitent divers équipements et services résumés dans l'encadré ci-dessous.

Les défaillances (dysfonctionnements) pouvant être mortels, les véhicules automatisés ont besoin de composants robustes et redondants, installés et entretenus par des spécialistes, ce qui augmente les coûts de maintenance. Actuellement, un ensemble d'accessoires de véhicules en option, tels que le démarrage à distance, l'aide au maintien dans la voie et les caméras de sécurité, coûtent généralement plusieurs milliers de dollars et les abonnements aux services de navigation et de sécurité, tels que OnStar et TomTom, coûtent entre 150 et 750 dollars par an. La mise à niveau du pilote automatique de base de Tesla vers le Full Self-Drive (FSD), qui offre un fonctionnement automatisé dans certaines conditions, coûte jusqu'à 12 000 $. Les propriétaires de véhicules devront probablement s'abonner à des mises à jour logicielles fréquentes et à des services de cartographie de navigation. Les capteurs avancés du système d'aide à la conduite (caméras, radar et lidar) doublent environ les coûts des dommages mineurs liés aux collisions, ajoutant généralement 3000 $ à la facture de réparation (AAA 2018), ce qui suggère que les véhicules automatisés, par leurs capteurs multiples, augmenteront les coûts de réparation des véhicules.

Tableau 3 : Equipements des véhicules automatisés et exigences du service – Les véhicules automatisés, en particulier ceux qui sont partagés, vont entraîner des coûts supplémentaires

Tout véhicule automatisé	Véhicule automatisé partagé
• Capteurs (optique, radar, laser, infrarouge, …) • Contrôle automatisé (freinage, signaux, direction, …) • Logiciels, serveurs et alimentation • Réseau de communication V2V courte portée, accès Internet pour la cartographie, les logiciels et leurs mises à jour et rapports de circulation • Souscription aux mises à jour des logiciels et cartes de navigation • Entretien des composants critiques, réparation et tests	• Répartition et gestion de flotte • Administratif et assurances • Bénéfices commerciaux • Sécurité • Fréquence de nettoyage et de réparation • Délais d'attente et circulation à vide des véhicules

Certains optimistes prédisent que le véhicule électrique automatisé coûtera moins de 5 $ par km pour fonctionner, mais c'est probablement une sous-estimation. Les batteries des véhicules doivent être remplacées environ tous les 100 000 km, ce qui coûte actuellement entre 3 00 et 15000 $, soit 3 à 10 $ par véhicule-km. Cela peut diminuer avec les innovations de production, mais probablement pas beaucoup puisque la plupart des automobilistes choisissent des batteries plus grandes et plus sophistiquées pour maximiser les performances. Les véhicules électriques ne paient actuellement aucune taxe sur le carburant ; les frais d'utilisation de la route avec recouvrement des coûts ajouteraient 5 à 10 $ par véhicule-km. L'intégration de ces facteurs augmente les coûts d'exploitation des véhicules électriques à 10-25 $ par km, comme pour les véhicules à carburant fossile.

Que sont les frais d'utilisation d'une route efficiente ?

Des redevances d'utilisation de la route permettent de récupérer les coûts imputés à l'infrastructure, avec des frais supplémentaires pour la congestion, les accidents et les dommages causés par la pollution imposés aux autres usagers. Les dépenses publiques pour les infrastructures routières totalisent environ 250 milliards de dollars par an, ce qui couvre environ 3200 milliards de véhicules-km, soit une moyenne d'environ 8 c$ par mile (FHWA 2016) ; les tarifs optimaux sont des tarifs un peu moins élevés pour les véhicules légers et plus élevés pour les véhicules lourds qui imposent des coûts routiers plus élevés. En heure de pointe, des frais de décongestion de 5 à 25 c$ par km sont généralement nécessaires pour réduire les volumes de trafic à la capacité de la chaussée. De plus, tous les frais d'émission des véhicules électriques devraient être basés sur la distance afin que les conducteurs paient en fonction de la quantité qu'ils conduisent et des coûts qu'ils imposent.

L'expérience des innovations précédentes, telles que les transmissions automatiques et les airbags, suggère que la capacité de la conduite automatisée ne sera initialement disponible que sur les modèles plus chers et qu'il faudra probablement des décennies pour devenir la norme sur les modèles moins coûteux.

Certains partisans soutiennent que les assurances et les économies de carburant compenseront ces coûts (Intellias 2018), mais cela semble peu probable. Par exemple, si la conduite automatisée réduit les frais d'assurance collision de moitié, les économies annuelles de 300 à 500 $ ne représenteraient que 10 à 20 % des coûts supplémentaires estimés. Les économies de carburant sont également susceptibles d'être faibles ou négatives en raison de l'équipement supplémentaire, des véhicules plus grands servant de bureaux mobiles, induisent des déplacements supplémentaires pour les véhicules.

En conséquence, la conduite automatisée ajoutera probablement plusieurs milliers de dollars au prix d'achat des véhicules neufs, ainsi que des centaines de dollars en coûts annuels supplémentaires d'entretien, de réparation, de mises à jour logicielles et d'abonnement à la cartographie. Cela ajoutera quelques milliers de dollars de dépenses annualisées, au moins pendant les premières décennies de leur disponibilité commerciale, jusqu'à ce que la concurrence et la dépréciation rendent ces technologies disponibles sur des modèles moins couteux et des véhicules d'occasion. Cela suggère que,

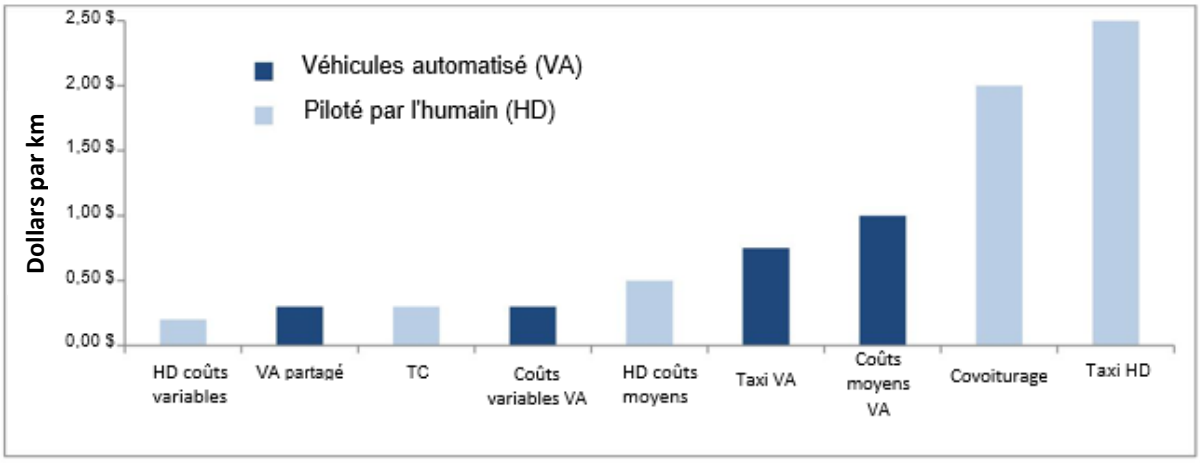
dans un avenir prévisible, les coûts des véhicules automatisés particuliers seront probablement en moyenne 0,80 $ à 1,20 $ par véhicule-km, ce qui pourrait éventuellement baisser à 0,60 $ - 1,00 $ par km à mesure que la technologie devient disponible dans des modèles moins onéreux. Les véhicules automatisés partagés (taxis autonomes) coûteront probablement 0,50 $ à 1,00 $ par véhicule-km, et les trajets autonomes partagés coûteront probablement 0,20 - 0,40 $ par passager-km (Nunes et Hernandez 2020). C'est moins couteux que les taxis conventionnels (1,50 $ à 3,00 $ par km), mais plus cher que les coûts d'exploitation d'un véhicule personnel ou les tarifs de transport en commun (20 à 40 c$ par passager-km).

Certaines études estiment des coûts inférieurs. Par exemple, Kok et al. (2017) prédisent que les véhicules autonomes électriques partagés coûteront moins de 10 ¢$ par km, suffisamment bon marché pour que de nombreux trajets puissent être financés par la publicité, mais ces estimations ignorent les coûts tels que le nettoyage et les réparations de vandalisme, les déplacements à vide, les assurances (beaucoup supposent des primes d'assurance inférieures de 90 %), et les frais d'utilisation des infrastructures, et sont donc probablement sous-estimées.

Nettoyage et réparations – des coûts souvent négligés
Bien que la plupart des passagers de taxis autonomes soient susceptibles d'être courtois et responsables, certains seront probablement désordonnés et quelques-uns seront malveillants. Pour décourager les abus, les intérieurs des taxis autonomes seront des services en métal dur et en plastique, avec des caméras de surveillance, qui peuvent réduire mais ne peuvent pas éliminer ces problèmes, de sorte que les véhicules auront parfois des ordures, des odeurs désagréables ou des dommages. Les taxis autonomes devront probablement être nettoyés tous les 5 à 15 trajets, ainsi que subir des réparations occasionnelles. En supposant 5 à 10 $ par nettoyage, cela ajoutera 0,33 à 2,00 $ par voyage, en plus du temps de déplacement et des coûts vers les stations de nettoyage.

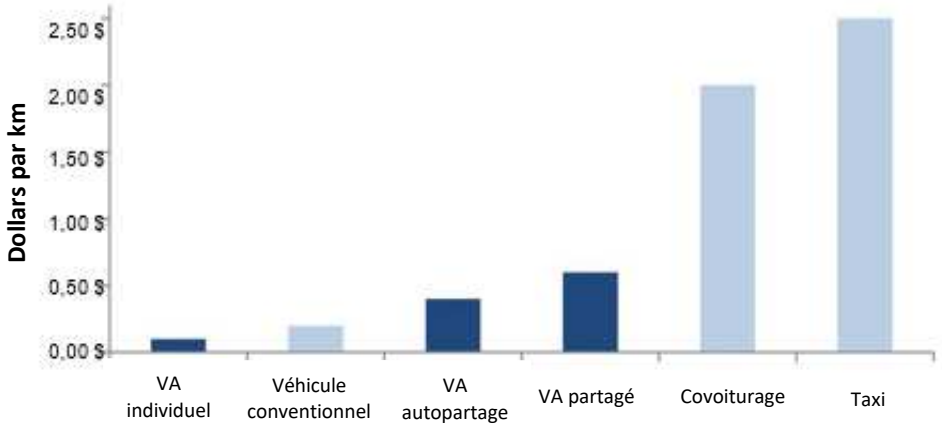
Les véhicules automatisés peuvent permettre des économies particulièrement importantes pour les véhicules utilitaires, tels que les camions de fret et les bus, en raison de leurs coûts de main-d'œuvre élevés. Cependant, cela n'éliminera pas nécessairement le besoin de travailleurs à bord, car de nombreux véhicules de livraison nécessitent un opérateur pour décharger les marchandises, et les bus peuvent encore avoir besoin de conducteurs pour assurer les services aux passagers et la sécurité.

Figure 4 : Comparaison des coûts (AAA 2017, Bösch et al. 2017, Johnson et Walker 2017, Keeney 2017, Litman 2021, Stephens et al. 2016 – Les véhicules automatisés sont susceptibles de coûter plus cher que les véhicules particuliers conventionnels et les transports en commun mais moins que les taxis conventionnels et les services de covoiturage.



Les figures 4 et 5 comparent les estimations des coûts d'utilisation. Les coûts moyens sont ce que les voyageurs prennent en compte lorsqu'ils décident d'acheter un véhicule ; les coûts d'exploitation (variables) sont ce que les propriétaires de véhicules prennent en compte lorsqu'ils décident comment effectuer un trajet particulier. Les véhicules électriques automatisés seront probablement moins chers à exploiter que la plupart des véhicules actuels. Les véhicules automatisés partagés seront moins chers que les services de taxi et de covoiturage, mais plus chers que les coûts d'usage du véhicule particulier. Ils sont susceptibles d'augmenter le nombre total de déplacements en véhicule et les coûts pour les propriétaires de véhicules automatisés, mais de réduire les déplacements et les coûts pour ceux qui passent de la propriété à l'autopartage et conduisent moins d'environ 6000 km par an.

Figure 5 : Coûts variables - Bien que les véhicules sont chers à l'achat, ils sont relativement peu couteux à l'usage, avec des coûts d'exploitation moyennés à environ 20 c$ au km. C'est plus qu'un véhicule électrique automatisé mais moins qu'un véhicule automatisé en autopartage, que le covoiturage et les services de taxi.



Les politiques publiques affecteront ces coûts. Les gouvernements pourraient imposer de nouvelles redevances aux usagers de la route pour récupérer les coûts d'infrastructure et réduire les problèmes de circulation, ce qui augmenterait les coûts d'exploitation des véhicules électriques et rendrait les déplacements en véhicule partagé plus attrayants.

Sécurité routière et santé publique

Les optimistes affirment que, comme environ 90 % des accidents impliquent une erreur humaine, les véhicules automatisés réduiront les taux d'accident et les coûts de 90 % (Kok et al. 2017ÿ; McKinsey 2016), mais cela néglige les risques supplémentaires que ces technologies peuvent introduire (Hsu 2017 ; ITF 2018 ; Kockelman et al. 2016 ; Koopman et Wagner 2017 ; Ohnsman 2014).

- *Défaillances matérielles et logicielles*. Les systèmes électroniques complexes échouent souvent en raison de faux capteurs, de signaux déformés et d'erreurs logicielles. Les véhicules automatisés auront certainement des défaillances (dysfonctionnements) qui contribuent aux accidents, bien que leur fréquence soit difficile à prévoir (Dawn Project 2022).
- *Piratage malveillant*. Les technologies de conduite automatisée peuvent être manipulées pour l'amusement ou le crime.
- *Augmentation de la prise de risque*. Lorsque les voyageurs se sentent plus en sécurité, ils ont tendance à prendre des risques supplémentaires, appelés comportement compensatoire ou compensation des risques. Par exemple, les passagers de véhicules automatisés pourraient réduire l'utilisation de la ceinture de sécurité et les autres usagers de la route pourraient être moins prudents (Millard-Ball 2016), ce qui est décrit comme une sur-confiance envers la technologie (Ackerman 2017).
- *Risques des pelotons*. De nombreux avantages potentiels, tels que la réduction de la congestion et des émissions de polluants, nécessitent la formation de pelotons (véhicules circulant à proximité

les uns des autres à grande vitesse sur des voies réservées), ce qui peut introduire de nouveaux risques, tels que des conducteurs humains rejoignant les pelotons et une gravité accrue des accidents.

- *Augmentation de la demande*. En améliorant la commodité et le confort, les véhicules automatisés pourraient augmenter la demande et donc l'exposition aux accidents (Trommer et al. 2016 ; WSJ 2017).
- *Risques supplémentaires pour les autres usagers*. Les véhicules automatisés peuvent avoir des difficultés à détecter et à interagir avec les piétons, les cyclistes et les 2RM (PBIC 2017).
- *Réduction des investissements dans les stratégies de sécurité conventionnelles*. La perspective des véhicules automatisés pourrait réduire les efforts futurs pour améliorer la sécurité des conducteurs (Lawson 2018).
- *Coûts de réparation des véhicules plus élevés en raison d'équipements supplémentaires*. Des capteurs et des systèmes de contrôle supplémentaires, ainsi qu'un contrôle de qualité accru, sont susceptibles d'augmenter considérablement les coûts de réparation après collision (AAA 2018).

Ces nouveaux risques entraîneront probablement des accidents supplémentaires, de sorte que les véhicules automatisés n'atteindront pas vraiment les réductions d'accidents de 90 % que prédisent certains. Après avoir analysé les facteurs de risque d'accident de la circulation, Mueller, Cicchino et Zuby (2020) ont conclu que les véhicules automatisés pourraient prévenir jusqu'à 34 % des accidents, et plus si la technologie élimine toutes les infractions au code de la route, mais moins de 90 %. Sivak et Schoettle (2015a) conclut que les véhicules automatisés auront des taux d'accidents similaires à ceux d'un conducteur moyen, et que le nombre total d'accidents pourrait augmenter à l'arrivée du trafic mixte. Le pilote automatique et le logiciel « *Full Self-Driving* » de Tesla ont été accusés d'avoir causé de nombreux accidents et décès (Siddiqui, Lerman et Merrill 2022). Groves et Kalra (2017) soutiennent que le déploiement de véhicules automatisés est justifié même s'ils ne réduisent les taux d'accident que de 10 %, mais que le nombre total d'accidents pourrait augmenter si le déploiement augmente la demande. Par exemple, s'il réduit les taux d'accidents par kilomètre de 10 % mais que la demande augmente de 12 %, le nombre total d'accidents, y compris les risques pour les autres usagers de la route, augmentera.

Les véhicules automatisés sont vulnérables aux actes malveillants. Des chercheurs ont démontré que l'ajout de marques semblables à des graffitis à un panneau d'arrêt en bordure de route amenait le logiciel à lire un message inexact.

« Limite de vitesse 45 km/h » (Eykholt, et al. 2018). Il y aura une course entre les pirates et les concepteurs de logiciels pour le contrôle des véhicules automatisés, ce qui augmentera les coûts et les risques.

Les véhicules automatisés ont actuellement des taux de défaillances opérationnelles élevés. Une étude a révélé que le logiciel de conduite automatisé de Tesla échouerait à un test de conduite normal car il enregistre en moyenne une erreur de manœuvre toutes les trois minutes et une erreur critique toutes les dix minutes (Dawn Project 2022). En 2019, les meilleurs tests de véhicules automatisés ont enregistré des reprises en main tous les 16666 km, mais la plupart étaient plus fréquents (Hyatt 2020). Ces exemples indiquent que les technologies des véhicules automatisés ne sont pas prêtes pour un large déploiement.

Les véhicules automatisés partagés peuvent réduire les accidents en offrant des alternatives plus abordables aux conducteurs à haut risque. Les efforts visant à réduire la conduite à haut risque, tels que les permis de conduire progressifs, les tests spéciaux pour les conducteurs âgés et les campagnes contre les conducteurs aux facultés affaiblies, peuvent être plus efficaces et publiquement acceptables si les groupes concernés disposent d'options de mobilité pratiques et abordables. Par exemple, les parents pourraient acheter des véhicules automatisés pour leurs adolescents et les usagers pourraient utiliser des véhicules automatisés après avoir bu de l'alcool ou pris de la drogue.

De nombreux facteurs affecteront ces impacts, y compris la façon dont les véhicules sont programmés et comment ils affectent la demande de transport. Par exemple, pour augmenter la vitesse de déplacement, les véhicules automatisés pourraient être programmés pour prendre plus de risques et de raccourcis dans les quartiers ; pour minimiser la congestion, ils pourraient être programmés pour rouler plus lentement et éviter les routes congestionnées. Par exemple, le logiciel de conduite automatisée de Tesla permet aux conducteurs de choisir un mode de fonctionnement plus rapide et « affirmé » qui enfreint fréquemment le code de la route (Wilson 2022).

Le dilemme du trolley

« Le dilemme du trolley » fait référence à divers scénarios que les éthiciens utilisent pour déterminer qui devrait être protégé d'un véhicule incontrôlable, par exemple, s'il doit être dirigé pour tuer moins plutôt que plus, plus âgé plutôt que jeune, ou plus plutôt que les personnes moins socialement responsables. Bien que tous les conducteurs de véhicules puissent être confrontés à ces compromis, les décisions des conducteurs humains sont généralement spontanées, tandis que celles prises par les véhicules automatisés sont explicitement programmées. Cela soulève une question éthique de politique publique : qui devrait décider de la manière dont les véhicules sont programmés lorsqu'il s'agit de faire des compromis sur les risques.

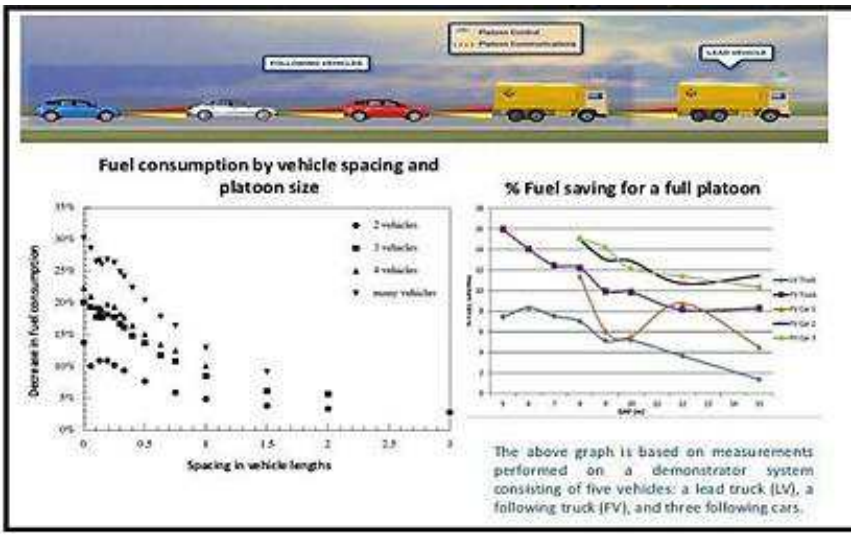
Par exemple, les véhicules automatisés doivent-ils fonctionner dans les limites de vitesse légales ou pour correspondre aux vitesses moyennes de circulation sur une chaussée ? Comment doivent-ils hiérarchiser les risques pour les occupants des véhicules par rapport aux risques pour les autres usagers de la route ? Comment un véhicule automatisé doit-il réagir face à des conditions inattendues ? Pour protéger les autres usagers de la route et minimiser les autres coûts externes, les organisations professionnelles devraient fournir des conseils sur la manière dont les véhicules automatisés devraient être programmés pour compenser les coûts et les risques, et les gouvernements devraient établir des réglementations pour garantir que les véhicules automatisés sont programmés.

Sohrabi, Khreis et Lord (2020) ont identifié 32 voies par lesquelles les véhicules automatisés peuvent affecter la santé publique, dont 17 sont négatives et 8 sont positives. Afin de maximiser les avantages pour la santé, ils recommandent des politiques de gestion de la demande de transport pour favoriser les véhicules automatisés électriques partagés et empêcher l'augmentation du nombre total de déplacements en véhicule.

Coûts externes

Les optimistes prônent que la conduite automatisée va réduire considérablement les coûts externes, incluant la congestion, les coûts de stationnement, les risques d'accidents et les émissions de polluants, mais ces impacts sont incertains (Eddy et Falconer 2017 ; Rodier 2018 ; TRB 2019). Dans de nombreuses circonstances, ils peuvent augmenter certains coûts externes. Par exemple, s'ils sont programmés pour maximiser la sécurité et le confort des passagers afin qu'ils puissent se reposer ou travailler tout en voyageant, ils réduiront la vitesse de la circulation. À moins d'être mis en œuvre avec des incitations efficaces de gestion de la demande, ils sont susceptibles d'augmenter le nombre total de déplacements, les problèmes de circulation et l'étalement urbain, ce qui pourrait augmenter la congestion totale, les accidents, la pollution et d'autres coûts (Nadafianshahamabadi, Tayarani et Rowangould 2021). Certains avantages nécessitent des voies réservées aux pelotons (Guhathakurta et Kumar 2019 ; Heaslip et al. 2020), qui sont coûteuses et réalisables uniquement sur certaines autoroutes, et peuvent nécessiter des panneaux spéciaux, des marquages routiers, des signaux et des transpondeurs qui ajoutent des coûts (Lawson 2018). Les véhicules automatisés et partagés auront besoin de stations d'accueil et de zones d'embarquement des passagers (Marsden, Docherty et Dowling 2020 ; Zhang et Wang 2020).

Figure 6 : Platooning sans conducteur - De nombreux avantages proposés pour les véhicules automatisés, notamment la réduction de la congestion, de la consommation de carburant et des émissions, nécessitent un de développer la conduite en pelotons : plusieurs véhicules connectés circulant à proximité les uns des autres à des vitesses relativement élevées, de préférence avec un poids lourd en tête. Cela nécessite des voies d'autoroute dédiées.



Les optimistes supposent souvent que la plupart des véhicules automatisés seront électriques, ce qui réduit mais n'élimine pas les émissions polluantes, car une grande partie de l'électricité est générée par des combustibles fossiles émetteurs de pollution (Larco, et al. 2018 ; Reighmuth 2020), et les véhicules électriques produisent des émissions de particules provenant de l'usure des freins, des pneus et de la route, qui constituent un risque majeur pour la santé, en particulier dans les zones urbaines denses (Air Quality Expert Group 2020).

Les impacts globaux dépendront de la manière dont les véhicules automatisés sont conçus et réglementés. S'ils sont programmés pour un maximum de prudence et de confort des passagers, ils conduiront lentement et s'arrêteront fréquemment lorsqu'ils seront confrontés à des conditions inattendues, ce qui réduira la vitesse de la circulation et entraînera des retards (Le Vine, Zolfaghari et Polak 2015). S'ils sont programmés pour maximiser les vitesses de déplacement, ils peuvent augmenter les risques pour les autres usagers de la route et emprunter des raccourcis dans les quartiers.

Impacts sur l'équité sociale

Les véhicules automatisés sont susceptibles d'avoir divers impacts sur l'équité sociale, comme résumé ci-dessous.

Équité horizontale en matière de subventions

Un principe économique de base est que les marchés (un système de transport peut être considéré comme un marché de la mobilité) sont plus efficaces et équitables si les prix (ce que les consommateurs paient pour utiliser un bien) reflètent les coûts de production de ce bien, ou décrit différemment, les consommateurs généralement « obtiennent ce pour quoi ils paient et paient pour ce qu'ils obtiennent », à moins que les subventions ne soient spécifiquement justifiées.

Pour réduire la congestion, les risques d'accident, la consommation d'énergie et les émissions de polluants, les véhicules automatisés nécessitent des voies de circulation dédiées, et les véhicules électriques reçoivent actuellement d'importantes subventions à l'achat et sont exonérés des frais d'utilisation de l'infrastructure que les utilisateurs de véhicules à combustibles fossiles paient par le biais des taxes sur les carburants. Par conséquent, sans nouveaux systèmes de tarification de recouvrement des coûts, les véhicules électriques automatisés pourraient recevoir des subventions inéquitables.

Coûts du trafic externe

Les coûts externes de la circulation (congestion, retard des piétons, coûts des routes et des installations de stationnement, risque d'accident et émissions polluantes que les déplacements imposent aux autres) sont inéquitables.

Les optimistes prédisent que les véhicules électriques automatisés réduiront ces coûts, mais leurs impacts réels sont incertains et dépendront s'ils induisent une augmentation de la demande et des politiques publiques. S'ils disposent de voies réservées, les véhicules automatisés pourraient augmenter le débit de véhicules, mais dans la plupart des cas, leurs impacts sur la congestion seront probablement mitigés. Ils sont susceptibles de réduire les accidents causés par une erreur humaine, mais introduiront de nouveaux risques, notamment des défaillances matérielles et logicielles, le piratage malveillant, une prise de risques accrue si les autres usagers de la route se sentent plus en sécurité et une exposition supplémentaire causée par l'augmentation de la demande. Les véhicules électriques automatisés devraient réduire mais pas éliminer les émissions de polluantys par rapport aux véhicules à carburant fossile. Ces avantages peuvent être partiellement compensés si la conduite automatisée augmente le nombre total de déplacements.

Équité horizontale par rapport à l'espace routier

L'espace routier est une ressource rare et précieuse. L'équité horizontale exige de donner la priorité aux véhicules économes en espace, tels que les vanpools et les autobus, afin que leurs passagers ne soient pas retardés par les embouteillages causés par les utilisateurs de modes à fort encombrement, tels que les véhicules particuliers à faible taux d'occupation.

Les véhicules automatisés privés sont susceptibles d'avoir de faibles taux d'occupation. Comme décrit précédemment, sans tarification routière efficace, il sera souvent moins cher pour les automobilistes de programmer leurs voitures automatisé pour faire le tour du pâté de maisons ou rentrer chez eux, afin d'éviter de payer pour le stationnement hors voirie, ce qui contribuera encore plus à la congestion du trafic.

Pour maximiser l'équité, les routes publiques devraient être gérées et tarifées de manière à favoriser les modes économes en espace, y compris les taxis automatisés partagés et l'autopartage, et à limiter les volumes de trafic à la capacité des routes. Cela sera de plus en plus important à mesure que les véhicules automatisés deviendront plus courants, ce qui augmentera la demande de déplacements potentielle.

Équité verticale par rapport aux capacités et aux besoins

Cela suppose que les politiques de transport devraient favoriser les personnes ayant des besoins spéciaux, telles que les personnes handicapées ou à mobilité réduite, les familles avec enfants, les voyageurs transportant des bagages ou les non-conducteurs situés dans des zones dépendantes de l'automobile.

Les véhicules automatisés pourraient offrir une mobilité plus indépendante aux personnes souffrant de certains handicaps, tels que pour les malvoyants, et en raison de leurs coûts inférieurs, les taxis automatisés pourraient constituer une option abordable pour les non-conducteurs pour certains trajets.

Équité verticale en matière de revenus – abordabilité

Cette perspective suppose que les politiques publiques devraient favoriser les plus pauvres par rapport aux plus riches et augmenter les options de transport abordables, en particulier pour accéder aux services et activités essentiels (soins de santé, services de base, éducation, emplois, …).

Au cours des deux ou trois prochaines décennies, la capacité de conduite automatisée devrait augmenter les coûts annuels de quelques milliers de dollars, à environ 10000 dollars par véhicule et par an, pour payer les abonnements matériels et logiciels supplémentaires, la maintenance et la cartographie. Les taxis automatisés coûteront probablement entre 0,50 $ et 1,00 $ par km, ce qui est moins cher que les taxis conventionnels mais plus cher qu'une voiture personnelle conventionnelle.

Cela suggère que les véhicules automatisés personnels ne seront pas abordables pour les ménages à faible revenu, et les politiques qui favorisent leur utilisation, telles que les voies réservées, seront régressives. Les services de taxi automatisés peuvent augmenter l'abordabilité par rapport à la possession d'un véhicule personnel pour les personnes qui parcourent relativement peu de kilomètres annuels. Le transport abordable est généralement défini comme coûtant moins de 15 % du budget de dépenses total d'un ménage, de sorte qu'un ménage de dépenses annuelles de 40000 $ (deuxième quintile de revenu) peut se permettre de dépenser jusqu'à 6000 $ par an en transport, ce qui ne peut payer qu'environ 5000 déplacements en taxi automatisé (équivalent à un km parcouru par trajet) par an et pour chacun des deux adultes d'un ménage.

Cela implique que la plupart des ménages à revenu faible ou moyen ne pourrait bénéficier que de véhicules automatisés dans le cadre d'un mode de vie multimodal ; les véhicules automatisés ne les aideront pas à payer un nombre important de kilomètres parcourus par an généralement nécessaires pour vivre dans un environnement interurbain à rural.

En résumé, les véhicules automatisés sont susceptibles de soutenir certains objectifs d'équité mais en contredisent d'autres. Les véhicules automatisés peuvent offrir une mobilité indépendante à certains groupes défavorisés, tels que les personnes ayant une déficience visuelle, et peuvent réduire les coûts d'exploitation des taxis et des transports en commun, ce qui augmente l'abordabilité pour les personnes qui parcourent moins de 5000 km par an environ. La mobilité particulière automatisée sera coûteuse, de sorte que les subventions pour leur utilisation auront tendance à être injustes et régressives.

Les véhicules automatisés pourraient réduire l'abordabilité et l'équité, et nuire globalement aux non-conducteurs, s'ils induisaient des déplacements et un étalement supplémentaire des véhicules, ce qui augmenterait les coûts externes (congestion, coûts d'infrastructure, risque d'accident et émissions de polluants imposées à d'autres personnes), ou s'ils augmentaient la dépendance à l'automobile et l'étalement urbain, qui réduirait les options de transport abordables.

Résumé des bénéfices et coûts

Le tableau ci-dessous compare les coûts et les avantages de divers types de véhicules.

	Véhicule conventionnel particulier	Véhicule automatisé particulier	Véhicule automatisé partagé	Véhicule automatisé pour le covoiturage
Coûts monétaires	Coûts fixes faibles (en particulier les véhicules d'occasion), variabilité modérée	Coûts fixes élevés, faible variabilité des coûts	Coûts fixes minimaux, variabilité des coûts modérée	Coûts fies minimaux, faible variabilité des coûts
Commodité	Forte : un véhicule individuel est toujours disponible	Forte : les usagers ont leur propre véhicule avec les équipements choisis	Modérée : les véhicules mettront souvent quelques minutes à arriver, permet un trajet porte-à-porte	Modérée : le ramassage des passagers prendra souvent quelques minutes, ne permet pas de trajet porte-à-porte
Confort	Faible à modérée, dépendant des conditions de circulation	Fort : les utilisateurs ont leur propre véhicule avec des équipements choisis	Modéré : les véhicules partagés peuvent être détériorés et salis	Faible (la plus) :les utilisateurs partagent le véhicules avec des étrangers
Coûts externes (congestion, équipements, accidents et environnement)	Modérés à élevés	Elevés : susceptible d'augmenter les kilomètres parcourus	Modérés : pourrait augmenter les kilomètres parcourus dans certaines circonstances et les réduire dans d'autres	Faibles : pourrait réduire les kilomètres parcourus et les coûts associés
Equité sociale et impacts (inéquité)	Modérée à élevée : inéquitable	Modérée à élevée : faible équité	Modérée à faible : impacts mixtes	Faible (la plus) : meilleure équité
Usages les plus appropriés	Résidents à revenus modérés et faibles et résidents ruraux.	Résidents aisés et résidents ruraux	Utilisateurs urbains et interurbain	Utilisateurs urbains

Tableau 4 : Comparaison des coûts - Les types de véhicules varient en termes de coûts, de commodité et de confort, et donc leurs impacts varient sur les kilomètres parcourus

Fulton, Compostella et Kothawala (2020) effectuent une analyse similaire des facteurs monétaires et non monétaires qui affectent les décisions de déplacement, notamment le temps de trajet, le stress, la commodité, la fiabilité et les préférences concernant la conduite et le partage de véhicules.

Bien sûr, ces impacts dépendront des caractéristiques spécifiques du véhicule. Les véhicules plus gros et plus rapides ont tendance à être plus coûteux que les véhicules plus petits et à vitesse réduite, et les véhicules électriques ont pour l'instant des coûts d'exploitation inférieurs à ceux des véhicules à carburant fossile. Les coûts financiers sont susceptibles d'être beaucoup plus élevés au cours de la première ou des deux premières décennies de commercialisation des véhicules automatisé, et devraient diminuer à mesure où la technologie devient disponible dans des modèles moins chers, et éventuellement dans des véhicules d'occasion.

Le tableau 5 résume les avantages et les coûts des véhicules automatisés, classés selon qu'ils sont internes (affectent les utilisateurs) ou externes (affectent les autres usagers). Les impacts totaux dépendront de la façon dont ils affectent les déplacements : s'ils stimulent davantage la conduite, les coûts externes sont susceptibles d'augmenter, mais s'ils contribuent à réduire les déplacements, les coûts totaux devraient diminuer.

Tableau 5 : Potentiels avantages et inconvénients en termes de coûts de la mobilité automatisée

	Avantages	Coûts/inconvénients
Internes (impacts usagers)	*Réduction du stress du conducteur et augmentation de la productivité : les automobilistes peuvent se reposer, travailler pendant le trajet.* *Mobilité permise pour les non-conducteurs : une mobilité plus indépendante pour les non-conducteurs peut réduire la charge des automobilistes en termes de transport et les subventions des transports en commun.* *Réduire les frais des chauffeurs pour les compagnies (compagnies de taxis et services de transports).*	*Augmentation des coûts d'un véhicule : nécessite un équipement, des services et des frais supplémentaires pour le véhicule.* *Risques supplémentaires pour l'usager : accidents supplémentaires causés par des défaillances du système, des pelotons, des vitesses de circulation plus élevées, une prise de risque supplémentaire et une augmentation du nombre total de déplacements en véhicule.* *Sécurité de données personnelles réduite : vulnérable aux attaques (cyber) et à des données sensibles telles que la localisation et le partage de données.*
Externes (impacts sur les autres usagers de la route)	*Sécurité renforcée : réduction du risque d'accidents et des coûts liés aux assurances, réduction de la conduite à haut risque.* *Augmentation de la capacité et réduction des coûts : gain en efficacité du trafic, réduction de la congestion et les coûts des infrastructures.* *Réduction des coûts de stationnement : réduction de la demande de stationnement.* *Réduction de la consommation d'énergie : augmentation de l'efficacité énergétique et réduction des émissions.* *Soutien la mobilité partagée : pourrait faciliter l'autopartage et le covoiturage, en réduisant la possession totale de véhicules et les déplacements (ainsi que les coûts associés).*	*Augmentation des coûts des infrastructures : peut nécessiter des niveaux de service plus élevés de l'infrastructure.* *Risques additionnels : augmentation du risque pour les autres usagers et utilisation malveillante possible.* *Augmentation de la congestion : augmentation des trajets effectués, de la pollution associée et contribue à l'étalement urbain, ce qui entraîne de nouveaux coûts.* *Problèmes d'équité sociale : réduction des options de mobilité abordables, y compris les mobilités douces et les services de transport en commun.* *Perte d'emplois : notamment des chauffeurs.* *Prise en charge limitée des autres solutions : les prédictions optimistes de la conduite automatisée peuvent décourager d'autres amélioration et stratégies de transports.*

Certains avantages, tels que la réduction du stress du conducteur et l'augmentation de la productivité, pourraient arriver avec l'automatisation de niveau 4 (capable de fonctionner de manière autonome dans certaines conditions, telles que des routes à chaussées séparées par temps clair), mais la plupart des avantages nécessitent une automatisation de niveau 5 (capable de fonctionner de manière autonome dans toutes les conditions), ce qui permet aux véhicules de transporter des non-conducteurs et de rouler à vide.

Impacts sur les déplacements

Un facteur clé dans cette analyse est la façon dont le fonctionnement automatisé affectera les déplacements (Circella et Hardman 2022 ; Miller et Kang 2019 ; Nunes et al. 2021). Le tableau suivant résume les potentielles répercussions.

Tableau 6 : Impacts potentiels de l'automatisation sur les déplacements – les véhicules automatisés pourraient affecter les véhicules kilomètres parcourus de plusieurs manières.

Augmentation des déplacements	Diminution des déplacements
Augmentation des véhicules kilomètres parcourus par les non-conducteurs. Voyage à vide des véhicules pour récupérer les passagers, livrer des marchandises et se rendre aux entrepôts pour la maintenance. La réduction les coûts d'exploitation (grâce à l'électrification) augmente les véhicules kilomètres parcourus. A long terme, encourage un développement plus tentaculaire et une réduction des services de transport public	Des services de véhicules partagés plus pratiques permettent aux ménages de réduire la possession de véhicules, ce qui tire parti de la réduction des déplacements. Les bus automatisés, et les services de desserte du dernier kilomètre, améliore l'offre de transport en commun. La réduction du risque d'accidents et des emplacements de stationnement font de la ville un espace plus attractif.

Les véhicules automatisés peuvent augmenter les déplacements (véhicules kilomètres parcourus) des non-conducteurs. En augmentant le confort des passagers et la productivité, le fonctionnement automatisé peut rendre les trajets longue distance, y compris les trajets domicile/travail, plus supportables, ce qui augmenterait les déplacements et l'étalement urbain. Les véhicules électriques coûtent environ la moitié du prix de fonctionnement des véhicules à combustible fossile comparables. Parce qu'ils coûtent plus cher à posséder mais moins à conduire que les véhicules actuels, ils incitent encore plus les propriétaires de véhicules à maximiser leurs déplacements annuels en véhicule afin de tirer le meilleur parti de ces importants investissements fixes.

Cela est susceptible d'augmenter le nombre de véhicules kilomètres parcourus, en particulier pour les propriétaires de véhicules automatisés en interurbain et environnement rural (Nunes et al. 2021). Jiang, He et Ma (2022) estiment que les véhicules automatisés sont susceptibles d'augmenter le nombre total de déplacements en véhicule d'environ 10 %. Une étude a révélé que les conducteurs qui utilisaient la technologie de pilote automatique semi-autonome de Tesla parcouraient près de 5000 km par an de plus que ceux qui ne le faisaient pas, car le confort accru et la réduction du stress les rendaient plus disposés à s'asseoir dans la circulation et à faire plus de trajets longue distance (Circella et Hardman 2022). Une autre étude a révélé que les familles bénéficiant de services de chauffeur gratuits augmentaient leurs déplacements en véhicule de 80 %, avec une grande augmentation des déplacements sur de plus longues distances et à faible taux d'occupation (Harb, et al. 2018).

D'autre part, en offrant des services de transport en commun et de taxi plus efficaces et abordables, en améliorant les conditions de marche et de vélo et réduisant les besoins de stationnement, les véhicules automatisés partagés pourraient encourager le partage de véhicules et l'urbanisation. Par conséquent, les impacts totaux sur les déplacements dépendent de la proportion de ménages qui choisissent des emplacements urbains plutôt qu'interurbains ou ruraux, et de la proportion qui partage plutôt que de posséder des véhicules automatisés.

Les optimistes prédisent que les taxis autonomes et partagés remplaceront bientôt la plupart des véhicules particuliers (ITF 2014 ; Keeney 2017). Par exemple, Kok et al (2017) ont prédit que « d'ici 2030, dans les 10 ans suivant l'approbation réglementaire des véhicules entièrement automatisés, 95 % des voyageurs kilomètres parcourus américains seront desservis en *transport as a service* (TaaS), par

des opérateurs qui détiendront et exploiteront des flottes de véhicules électriques automatisés, prodiguant aux passagers des hauts niveaux de service, plus rapides et extrêmement surs à un prix jusqu'à 10 fois moins cher que le véhicules particuliers aujourd'hui.

Cependant, de nombreux voyageurs ont de bonnes raisons de posséder plutôt que de partager des véhicules :

- *Commodité*. Les automobilistes gardent souvent des objets dans leur véhicule, notamment des sièges d'auto, des outils, des outils, du matériel de sport et fournitures d'urgence.
- *Rapidité et fiabilité*. Dans des conditions optimales, les taxis et les VTC arrivent quelques minutes après avoir été appelés, mais peuvent prendre beaucoup plus de temps, en particulier en heures de pointe, pour les types de véhicules spéciaux (pour transporter plusieurs passagers ou un fauteuil roulant) et dans les zones interurbaines et rurales.
- *Coûts*. Le partage de véhicules est généralement rentable pour les automobilistes qui conduisent moins de 6000 km par an. Les personnes qui vivent dans les zones interurbaines et rurales, qui se déplacent généralement en voiture ou qui, pour d'autres raisons, parcourent des kilomètres annuels élevés choisiront probablement de posséder un véhicule individuel.
- *Statut*. Beaucoup de gens sont fiers de leur véhicule et de leur capacité de conduite, et préfèrent donc être propriétaires véhicules individuel.

Les trajets partagés ont des coûts inférieurs mais moins de commodité et de confort, car les trajets prennent plus de temps pour récupérer les passagers, ne peuvent généralement pas offrir de service porte-à-porte et les passagers doivent voyager dans des espaces confinés avec des étrangers. La répartition des véhicules ajoute des retards et de l'incertitude, en particulier dans les zones interurbaines et rurales où une prise en charge en taxi automatisé peut prendre 10 à 20 minutes. Le partage de véhicules génère des voyages à vide (déplacement de véhicule sans passager) par exemple, lors du chargement des passagers. Plus de 40 % des déplacements actuels en covoiturage se font en tête-à-tête (Henao et Marshall 2018). Si les services de partage deviennent courants dans une zone, le déplacement seul ou à deux pourrait diminuer mais ne peut pas disparaître, en particulier dans les zones interurbaines et rurales où les destinations sont dispersées.

Le tableau 7 compare les voyageurs et les trajets les plus adaptés aux différents véhicules.

Conduite humaine	Automatisation individuelle	Automatisation partagée
Conducteurs à revenu faible à moyen, qui ont acheté des véhicules anciens ou d'occasion. Les automobilistes qui préfèrent conduire leur propre véhicule pour leur plaisir ou pour une meilleure sécurité perçue. Les utilisateurs qui placent une forte valeur dans la propriété.	Les utilisateurs qui placent une valeur forte au confort de conduite. Les automobilistes qui conduisent moins de 6000 km par an. Les automobilistes qui laissent souvent des équipements, des outils ou des accessoires spéciaux dans leur véhicule.	Les trajets actuellement réalisés en taxi ou en véhicules partagés. Les trajets utilitaires généralement réalisés avec un véhicule qui parcourt moins de 6000 km par an. Les résidents urbains. Les personnes qui veulent gagner plus d'argent que de temps.

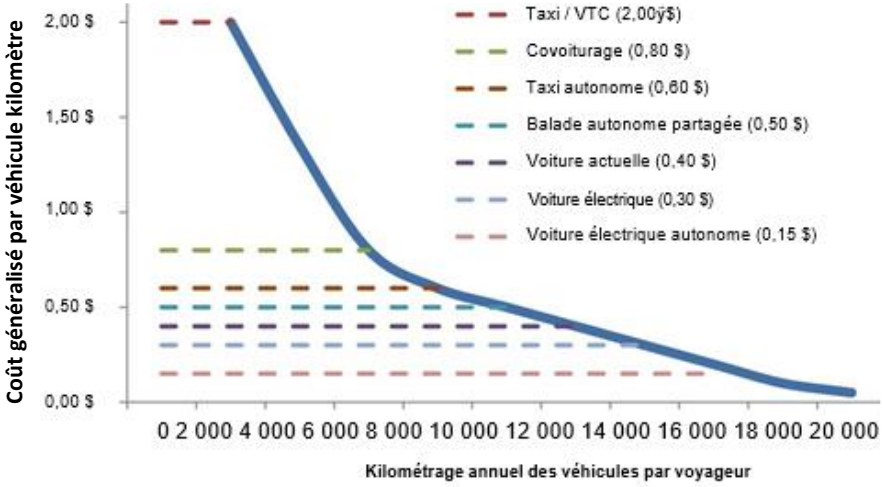
Tableau 7 : Trajets et utilisateurs les plus adaptés - Certains utilisateurs ont des profils qui correspondent plus à la mobilité individuelle et d'autres à la mobilité partagée.

Une façon de prédire les impacts des véhicules automatisés sur les déplacements consiste à examiner comment ils affectent les coûts généralisés, qui comprennent les dépenses d'exploitation des véhicules et les coûts de temps de trajet. À mesure que ces coûts diminuent, les gens ont tendance à voyager davantage. Le taxi et le covoiturage coûtent généralement environ 2,00 $ par km, les voitures à essence actuelles environ 20 c$ par km et les voitures électriques environ 5 c$ par km, en ne tenant compte que des coûts d'exploitation à court terme du véhicule (carburant et usure des pneus). Les chauffeurs

évaluent généralement leur temps à 20 – 40 % proportionnellement à leur salaire, soit environ 20 c$ par minute ; les véhicules automatisés réduiraient probablement les coûts de temps de déplacement d'environ la moitié, jusqu'à environ 10 c$ par minute. Les véhicules partagés ajoutent des coûts de temps de trajet lorsque les passagers attendent les véhicules.

La figure 8 compare ces coûts sur une courbe de demande de déplacements, qui illustre comment les prix affectent les déplacements en véhicule. Les trajets en taxi et en covoiturage sont relativement coûteux, de sorte que les personnes qui dépendent de ces modes ont tendance à générer relativement peu de véhicules-kilomètres. L'autopartage, les taxis automatisés et les trajets automatisés sont moins chers que les taxis, mais plus chers et moins pratiques que les véhicules particuliers, ce qui entraîne des déplacements annuels modérés par les personnes qui en dépendent. Les propriétaires de voitures conventionnelles à combustible fossile parcourent généralement environ 10000 km par an, et les propriétaires de voitures électriques sont susceptibles de conduire un peu plus en raison de leurs faibles coûts de carburant. Les propriétaires de véhicules électriques automatisés sont susceptibles d'augmenter les déplacements en raison de leurs faibles coûts de carburant et de temps de déplacement.

Figure 7 : Courbe du coût généralisé (monétaire et temps) en fonction de la demande de déplacement



Alors que les coûts généralisés diminuent, les déplacements augmentent. Actuellement, les automobilistes conduisent en moyenne 10000 km par an. Les utilisateurs de taxis automatisés sont susceptibles de voyager moins en raison de coûts monétaires plus élevés et une commodité plus faible, les propriétaires de véhicules automatisés sont susceptibles de voyager plus en raison des coûts de circulation plus faibles et d'une commodité plus élevée.

Bien sûr, ces coûts et les réponses des consommateurs sont difficiles à prévoir et dépendront d'autres facteurs, notamment de la qualité des services de mobilité disponibles, des conditions d'aménagement du territoire et des préférences individuelles. Cependant, il est prudent de prédire que les personnes qui dépendent de véhicules automatisés partagés voyageront en moyenne moins, et ceux qui possèdent un véhicule automatisé électrique personnel voyageront plus qu'ils ne le feraient avec des véhicules conventionnels, à combustible fossile et non automatisés. Les politiques publiques peuvent influer sur la quantité de déplacements générés par ces modes en affectant leurs coûts financiers et en temps de trajet, par exemple, par le biais de redevances sur le carburant et les usagers de la route, et de stratégies de gestion des routes qui rendent les véhicules partagés plus pratiques et plus rapides à utiliser.

Une enquête auprès de 1000 adultes américains a révélé que beaucoup ne s'attendent pas à ce que les véhicules automatisés affectent de manière significative leurs déplacements, mais ceux qui le déclarent sont beaucoup plus susceptibles de prédire une augmentation de leurs déplacements qu'une diminution (Fleming et Singer 2019). Sivak et Schoettle (2015b) estiment que répondre aux demandes de déplacement latentes des non-conducteurs pourrait augmenter le nombre total de déplacements en véhicule jusqu'à 11 %. Trommer et al. (2016) prédisent que les véhicules automatisés augmenteront le nombre total de déplacements de 3 à 9 %. Taiebat, Stolper et Xu (2019) prédisent que les véhicules automatisés augmenteront les déplacements moyens des ménages de 2 à 47 %, les augmentations les plus importantes étant enregistrées pour les groupes à revenu élevé.

Le tableau ci-dessous résume les impacts des déplacements.

Type de trajet	Impacts des véhicules automatisés	Part des trajets
Camions de marchandises	Particulièrement adapté pour les trajets de longue distance de fret et logistique, en raison des coûts de mains d'œuvre élevés et des environnements restreints, la plupart du temps sur route à chaussées séparées.	10%
Petites livraisons et entreprises	Le corps de métier portant des équipements (plombiers, technicien informatique) dans leur véhicule, sont susceptibles de détenir leur propre véhicule automatisé. Les compagnies de livraison pourraient utiliser des véhicules automatisés pour réduire les coûts. Cela pourrait augmenter le nombre de déplacements en voiture.	5 %
Transports publics	Particulièrement adapté pour les transports en commun, en raison des coûts de personnels élevés. Facilite les petites dessertes par des services fréquents et à la demande.	Actuellement 2 % mais pourrait augmenter
Trajets personnels de longue distance (> 50 km)	Particulièrement adapté pour les trajets personnels de longue distance, en raison de l'ennui. Pourrait augmenter le nombre de trajets longue distance.	Actuellement 20 % mais pourrait augmenter
Trajets interurbains et ruraux	Les résidents aisés des zones interurbaines et rurales sont susceptibles d'acheter des véhicules particuliers automatisés et d'augmenter les trajets réalisés en voiture. Les résidents ayant des plus faibles revenus sont susceptibles de continuer à conduire leur véhicule conventionnel particulier ou d'utiliser la mobilité automatisée partagée, ce qui pourrait réduire le nombre de déplacements effectués.	50 %
Trajets urbains	De nombreux utilisateurs sont susceptibles de passer de la voiture individuelle aux services de mobilité automatisée, ce qui est susceptible de faire diminuer le nombre de déplacements en voiture.	20 %
Non-conducteur	Les non-conducteurs sont susceptibles d'augmenter leur trajets en véhicule.	2 à 4 % mais en augmentation

Tableau 8 : Impacts des véhicules automatisés sur la demande de transport

Les scénarios suivants illustrent l'impact des véhicules automatisés sur les déplacements des différents utilisateurs :

Jake est riche et malvoyant. Il achète un véhicule automatisé dès qu'il est disponible. *Impacts* : les véhicules automatisés permettent à Jake de conserver une mobilité indépendante, ce qui augmente ses déplacements en véhicule.

Bonnie vit et travaille en banlieue. Elle peut se rendre à la plupart de ses destinations à vélo, mais possède une voiture pour des déplacements occasionnels. Lorsque les services de taxi automatisés deviennent disponibles, elle renonce à son véhicule personnel. *Impacts* : les véhicules automatisés permettent à Bonnie d'éviter d'être propriétaire d'un véhicule et de réduire ses déplacements en véhicule.

Melisa et Johnny recherchent pour une nouvelle maison. Les véhicules automatisés leur permettent d'envisager des maisons plus éloignées car Melisa peut se reposer et travailler tout en se déplaçant. *Impacts* : les véhicules automatisés permettent à Melisa et Johnny de choisir une maison en milieu interurbain, ce qui a augmenté leurs déplacements en véhicule.

Garry est un conducteur responsable lorsqu'il est sobre mais dangereux lorsqu'il est ivre. Des véhicules automatisés abordables lui permettent d'éviter ce risque. *Impacts* : des véhicules automatisés d'occasion abordables permettent à Garry d'éviter la conduite sous l'emprise d'alcool, ce qui réduit les risques d'accident, mais augmente la propriété de son véhicule et ses déplacements.

Le tableau 9 résume les impacts de ces différents scénarios. Dans la plupart de ces scénarios, les véhicules automatisés augmentent les déplacements en véhicules.

	Bénéfices pour les usagers	Impacts sur les déplacements	Coûts externes
Jake (aisé et malvoyant)	Mobilité indépendante pour les non-conducteurs	Augmentation du nombre de trajets effectués en véhicules et les coûts externes	Augmentation des coûts de stationnement et d'infrastructure
Bonnie (voyageuse multimodal)	Gain du coût du véhicule	Réduction de la propriété individuelle et des déplacements	Réduction des coûts de stationnement et d'infrastructure
Melisa and Johnny (famille en milieu interurbain)	De meilleures options de localisation d'habitation	Augmentation de la propriété individuelle et des déplacements effectués en véhicule	Augmentation des coûts de stationnement et d'infrastructure
Garry (conducteur à haut risque)	Evite la conduite en état d'ivresse et les risques associés	Moins de risque pour la sécurité, plus de déplacements effectués	Augmentation des coûts de stationnement et d'infrastructure

Tableau 9 : Résumé des scénarios présentés - La disponibilité des véhicules automatisés peut avoir des effets directs et indirects.

Cela suggère qu'avec les politiques actuelles, les véhicules automatisés sont susceptibles d'augmenter le nombre total de déplacements en véhicule de 10 à 30 %, voire davantage, ce qui augmenterait la congestion et les coûts d'infrastructure routière, ainsi que les risques d'accident et les émissions de polluants, selon le type de déplacements qui augmenteraient. Les politiques publiques affecteront ces impacts (Miller et Kang 2019). Si les politiques rendaient les véhicules automatisés particuliers abordables et attrayants, par exemple, parce que les véhicules électriques payaient des redevances minimales d'utilisation de l'infrastructure et que les véhicules automatisés avaient des voies réservées, le nombre total de déplacements en véhicule serait susceptible d'augmenter. S'ils se voyaient facturer des redevances d'efficacité de l'utilisation de l'infrastructure et que les routes avaient des voies réservées aux véhicules à forte occupation, les trajets partagés deviendraient plus attrayants, réduisant le nombre de déplacements en véhicule.

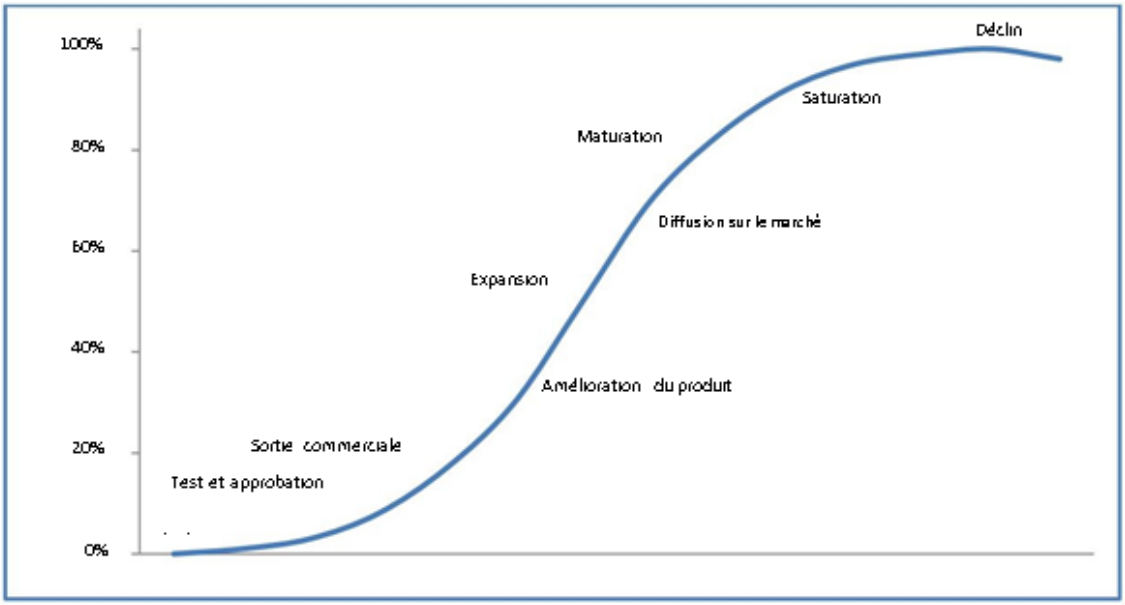
Ces déplacements supplémentaires en véhicule tendent à procurer de petits avantages marginaux, puisqu'il s'agit de déplacements auxquels les usagers renoncent le plus volontiers si leurs coûts augmentent. Pour évaluer ces avantages, les économistes utilisent la règle de la moitié, qui stipule que les avantages des déplacements supplémentaires valent la moitié de l'économie totale par trajet (Litman 2021, « Evaluating Transportation Benefits» ; Banque mondiale 2005). Par exemple, si une réduction de coût de 10 ¢$ par km a amené un automobiliste à parcourir 1000 véhicules-km supplémentaires, l'avantage net peut être évalué à 50 $, calculé à (10 x 1000) / 2 = 50 $). Étant donné que les déplacements en véhicule imposeraient des coûts externes importants, notamment augmenteraient la congestion, les coûts d'infrastructure et éventuellement les accidents et les émissions de polluants, une grande partie des déplacements supplémentaires serait susceptible d'être économiquement inefficace ; les avantages supplémentaires seraient inférieurs aux coûts supplémentaires.

Prédictions de développement et de déploiement

Les nouvelles technologies suivent généralement un modèle de développement en courbe en S, comme l'illustre la figure 8.

Un concept initial connaît généralement le développement, les tests, l'approbation, la commercialisation, l'amélioration du produit, l'expansion du marché, la différenciation, la maturation et finalement la saturation et le déclin. La technologie des véhicules automatisés suivra probablement ce modèle.

Figure 4 : Courbe en S des innovations - La plupart des innovations suivent un modèle de déploiement prévisible, souvent appelé la courbe en S des innovations.



En 2015, l'expert sur les véhicules automatisés Chris Urmson a prédit que son fils n'aurait jamais besoin d'un permis de conduire parce que la conduite automatisée serait omniprésente au moment où il atteindrait l'âge de conduire en 2019, mais lorsque cette année arrivera, il prédit un modèle plus modeste, « *hundreds or maybe thousands of self-driving vehicles on the road within five years* » (The Economist 2019).

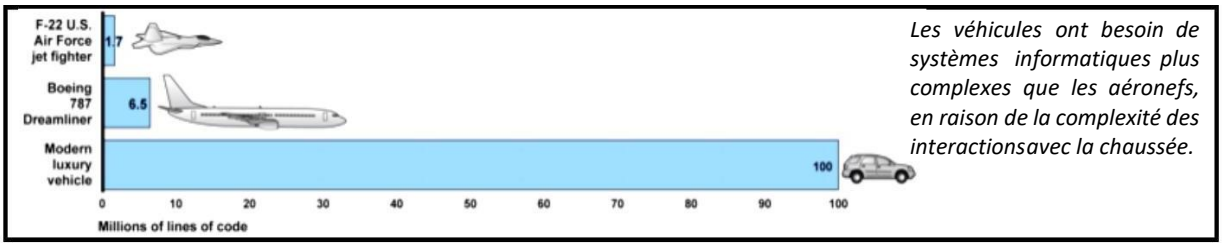
Les véhicules automatisés sont actuellement en phase de développement et de test ; ils se classent à 6 sur l'échelle à 10 niveaux de maturité technologique (*Technology Readiness Level)* (McLeod 2021). Ils auront besoin de beaucoup plus d'améliorations techniques, de tests en conditions réelles, d'approbations réglementaires et de développement commercial pour devenir fiables, largement disponibles et abordables, et donc courants dans le parc de véhicules. Étant donné que les véhicules peuvent imposer des coûts externes importants, notamment des risques de congestion et d'accident, ils sont soumis à des normes de test et de réglementation plus élevées que la plupart des autres technologies telles que les ordinateurs personnels et les téléphones portables.

De nombreux véhicules actuels sont équipés de technologies de niveaux 2 et 3 telles que le régulateur de vitesse, les avertissements de danger et le valet de parking automatisé. Plusieurs entreprises testent des véhicules de niveau 4 en conditions limitées (CPUC 2020). Bien que certains véhicules puissent désormais atteindre jusqu'à 95 % d'opérabilité (les véhicules peuvent atteindre 95 % de la destination souhaitée), il est de plus en plus difficile d'atteindre des taux plus élevés (Leonard, Mindell et Stayton 2020 ; Wharton 2017). Le pilote automatique de Tesla offre un fonctionnement automatisé dans des conditions limitées, mais son bilan de sécurité est critiqué par les experts (Dawn Project 2022) et son déploiement a été ralenti après avoir causé des accidents mortels (Hawkins 2017). Des progrès techniques importants seront nécessaires avant que les véhicules puissent fonctionner de manière autonome dans toutes les conditions de circulation, y compris les fortes pluies et la neige, et sur des

routes non cartographiées ou non goudronnées (Simonite 2016).

La conduite d'un véhicule sur la voie publique est complexe en raison de la fréquence des interactions avec des objets souvent imprévisibles, notamment les nids-de-poule, les véhicules, les piétons, les cyclistes et les animaux. En conséquence, les véhicules automatisés nécessitent des logiciels beaucoup plus complexes que les aéronefs (figure 9). La production d'un tel logiciel est difficile et coûteuse, et il est certain qu'il comporte des erreurs. Il y aura presque certainement des défaillances du système, certaines causant de graves accidents.

Figure 5 : Comparaison des codes des logiciels de véhicules automatisés et de l'aéronautique



On considère un défi. Pour des raisons de sécurité, il est conseillé aux automobilistes de conduire prudemment, ce qui signifie anticiper les risques potentiels, tels que les animaux sauvages et les enfants joueurs. Pour ce faire, les véhicules automatisés auront besoin d'une base de données qui catégorise, par exemple, les bouches d'incendie comme à faible risque, les animaux domestiques en laisse comme à risque moyen et les animaux sauvages, comme les kangourous, comme à haut risque. De plus, les enfants s'habillent parfois de costumes d'animaux et les adolescents de variantes de zombies. La plupart des conducteurs peuvent comprendre ces risques. Si on met en garde, « Méfiez-vous des adolescents vêtus de costumes de kangourou zombie », vous pourriez probablement comprendre la menace puisque vous aussi étiez autrefois un jeune joueur, mais un ordinateur serait déconcerté : une situation aussi inhabituelle a peu de chances d'être dans sa base de données, donc le véhicule aurait soit mal catégorisé le risque, peut-être traiter les amateurs de divertissement costumés comme des victimes blessées d'un accident ou une foule émeute, soit se serait arrêté et aurait attendu les instructions humaines. Ces systèmes peuvent apprendre par eux-mêmes, et pourraient donc comprendre ces comportements et costumes s'ils deviennent courants, mais ne peuvent pas anticiper de nouvelles conditions, et chaque nouvel ensemble d'instructions augmentera encore la complexité du système et donc les risques et retards potentiels.

Il est possible que ce développement, ces tests et cette approbation supplémentaires ne nécessitent que quelques années, mais si la technologie s'avère peu fiable et dangereuse, par exemple, si les véhicules automatisés continuent de provoquer des accidents très médiatisés, cela pourrait prendre plus de temps (Bhuiyan 2017). Il est probable que différentes juridictions imposeront des exigences différentes en matière d'essais, d'approbation et d'exploitation, ce qui entraînera des taux de déploiement variables.

Outre les progrès technologiques, le déploiement du marché dépend de la demande des consommateurs : la volonté de payer des utilisateurs pour une mobilité autonome. Les enquêtes indiquent des préoccupations importantes des consommateurs (Schoettle et Sivak 2014). Les usagers seront confrontés à l'anxiété d'accès si leur véhicule ne peut pas atteindre toutes les destinations souhaitées (Grush 2017).

Bien que les optimistes prédisent que la plupart des véhicules fonctionneront de manière autonome d'ici 2030 (Johnston et Walker 2017 ; Keeney 2017 ; Kok et al. 2017), la plupart d'entre eux ont des intérêts financiers dans les industries des véhicules automatisés et fondent leurs prévisions sur l'expérience des technologies électroniques telles que les appareils photo numériques, les smartphones et les ordinateurs personnels plutôt que les innovations en matière de véhicules à moteur. Par exemple, le rapport largement cité « Rethinking Transportation 2020-2030 » a été écrit

par ReThink, « un groupe de réflexion indépendant qui analyse et prévoit la vitesse et l'ampleur des perturbations technologiques et leurs implications dans la société ». *Mobility As-A-Service: Why Self-Driving Cars Could Change Everything*, a été publié par ARK Investment Management et rédigé par un analyste qui n'a apparemment que peu d'expérience en matière d'innovation dans les transports. *Automotive Revolution - Perspective Towards 2030: How the Convergence of Disruptive Technology-Driven Trends Could Transform the Auto Industry*, a été publié par la société de gestion d'entreprise McKinsey. Bien que leurs prédictions soient souvent nuancées – les véhicules autonmatisés pourraient (en anglais « *could* » et « *might* ») tout changer – leurs conclusions sont souvent présentées avec une certitude injustifiée.

Ces rapports sont principalement orientés vers les investisseurs et se concentrent donc sur les potentiels de vente des véhicules automatisés, mais la plupart des décisions politiques et de planification dépendent de la part de véhicules automatisés dans la flotte et du nombre total de déplacements. La plupart des nouvelles technologies de véhicules sont initialement disponibles en option sur des modèles plus chers et les automobilistes achètent rarement de nouveaux véhicules simplement pour obtenir une nouvelle technologie, de sorte que les innovations mettent généralement des décennies à pénétrer pleinement les flottes. Les optimistes affirment que les avantages seront suffisamment importants pour justifier la suppression prématurée de véhicules dépourvus de capacité de conduite autonome, mais cela semble peu probable dans des hypothèses réalistes de leurs avantages et de leurs coûts.

La plupart des experts objectifs prédisent que l'automatisation de niveau 5 nécessitera de nombreuses années supplémentaires pour le développement et les tests (Mervis 2017). Par exemple, le directeur du Michigan Mobility Transformation Center, Huei Peng, a déclaré que « *it may be decades before a vehicle can drive itself safely at any speed on any road in any weather* » (Truett 2016). De même, le PDG du Toyota Research Institute, Gill Pratt, a déclaré que la conduite autonome *« is a wonderful goal but none of us in the automobile or IT industries are close to achieving true Level 5 auyonomy »* (Ackerman 2017). La directrice du laboratoire de véhicules autonomes d'Uber, Raquel Urtasun, a déclaré : « *Having self-driving cars at a smaller scale, on a small set of roads, we are failry close… Nobody has a solution to self-driving cars that is reliable and safe enough to work everywhere* » (Marowits 2017). L'expert en intelligence artificielle Yoshua Bengio a déclaré : « *I think people underestimate how much basic science still needs to be done before these cars or such systems will be able to anticipate the kinds of unusual, dangerous situations that can happen on the road* » (Marowits 2017).

La section suivante utilise l'expérience des technologies de véhicules précédentes pour fournir des prévisions réalistes du développement et du déploiement des véhicules automatisés.

Expérience à partir du déploiement des technologies passées

Les technologies précédentes des véhicules peuvent aider à prévoir le déploiement des véhicules automatisés.

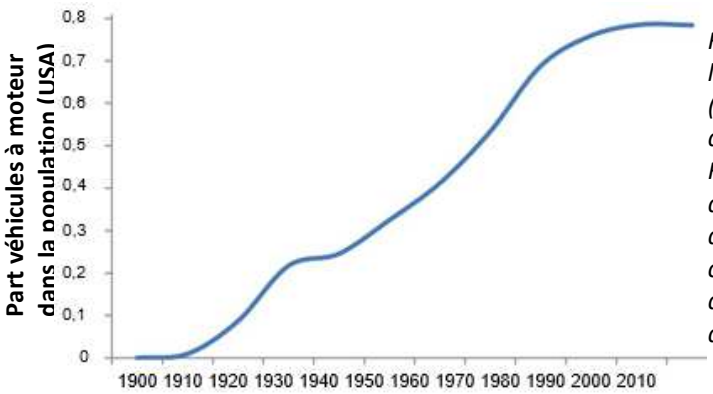


Figure 6 : Propriété automobile en fonction de la population aux Etats-Unis depuis 1900 (FHWA 2016) – Bien que la production de masse de l'automobile a commencé en 1908 avec la Ford Model T, cela a pris des décennies pour devenir le moyen de transport principal. Ce n'est qu'à partir de 1960 que les ménages ont commencé à posséder une voiture et ce n'est qu'après 1980 que le marché a commencé à arriver à saturation.

La production automobile de masse a commencé en 1908 avec la Ford Model T. Dans les années 1920, les villes connaissaient de la congestion et des parkings saturés, et dans les années 1930, les véhicules étaient plus nombreux dans les ménages, mais le système de transport est resté mixte, la plupart des gens dépendant de la marche, du vélo et des transports en commun en plus de leur voiture. Ce n'est qu'après les années 1960 que la plupart des adultes ont eu un véhicule particulier, et ce n'est qu'après les années 1980 que le marché n'a été saturé.

Ci-dessous d'autres exemples de développement et de déploiement de technologies de véhicules :

- *Transmissions automatiques* (Healey 2012). Développées pour la première fois dans les années 1930, il a fallu attendre les années 1980 pour qu'elles deviennent fiables et abordables. Lorsqu'elles sont facultatives, elles coûtent généralement entre 1000 $ et 2000 $ supplémentaires. Elles sont inclues dans 90 % des véhicules neufs en Amérique du Nord, et 50 % en Europe et en Asie.
- *Airbag* (Dirksen 1997). Introduit pour la première fois en 1973. Au départ, un produit coûteux et parfois option dangereuse (ils ont causé des blessures et des décès), mais sont devenus moins chers et plus sûrs, ont été standardisés sur certains modèles à partir de 1988, et mandaté par la réglementation fédérale américaine en 1998.
- *Véhicules hybrides* (Berman 2011). Ceux-ci sont devenus disponibles dans le commerce en 1997 mais étaient initialement peu fiables et coûteux. Leurs performances se sont améliorées, mais ils augmentent généralement le prix des véhicules d'environ 5000 $. Entre 2010 et 2020, ils représentaient 2 à 3 % des ventes de véhicules.
- *Verrouillag e/ déverrouillage à distance, diagnostics, freinage d'urgence et services de navigation*. OnStar est devenu disponible en 1997, TomTom en 2002. Ces services coûtent généralement entre 150 et 750 dollars par an.
- *Systèmes de navigation des véhicules* (Lendino 2012). Les systèmes de navigation pour véhicules sont devenus disponibles en tant qu'accessoires coûteux au milieu des années 1980. Au milieu des années 1990, les systèmes installés en usine sont devenus disponible sur certains modèles pour environ 2000 $. Les performances et l'usage se sont améliorés depuis, et les prix ont baissé à environ 500 $ pour les systèmes installés en usine et à moins de 200 $ pour les systèmes portables. Ils sont standard dans de nombreux modèles plus chers. Les applications de navigation automobile, telles que Google Maps et Waze, sont disponibles gratuitement ou moyennant des frais modiques.
- *Véhicules électriques* (Wikipédia « Histoire des véhicules électriques »). Les voitures électriques à batterie se sont développées à la fin des années 1800, mais étaient rares pendant la majeure partie du XXe siècle. Dans les années 1990, les principaux fabricants ont produit des modèles améliorés, tels que l'EV1 de General Motors, et d'ici 2020, de nombreuses entreprises vendaient des voitures électriques de haute qualité. Malgré ces progrès, seulement 1 % environ des ventes totales de véhicules sont électriques et les modèles performants sont chers.

Tableau 10 : Résumé du déploiement des technologies de véhicules

Technologie	Cycle de déploiement	Coût d'obtention	Part de marché (saturé)
Transmissions automatiques	50 ans (1940-1990)	1500 $	90 % aux USA, 50 % dans le monde
Airbag	25 ans (1973-1998)	Quelques centaines de dollars	100 % en raison du mandat fédéral
Véhicules hybrides	+25 ans (1990-2015)	5000 $	Incertain. Actuellement autour de 4 %
Services et équipements	15 ans	400 $ par an	5 à 10 %
Systèmes de navigation	+30 ans (1985-2015+)	500 $ et décroit rapidement	Incertain, probablement plus de 8 %
Véhicules électriques	+100 ans	10000 $ (haute qualité)	Probablement + 80 %

Étant donné que les technologies de véhicules automatisés sont plus complexes et coûteuses que ces technologies, leur acceptation et leur intégration sur le marché prendront probablement plus de temps (Lavasani et Jin 2016). Les nouveaux véhicules deviennent plus durables, ce qui réduit la rotation de la flotte. En conséquence, les nouvelles technologies automobiles nécessitent normalement trois à cinq décennies pour pénétrer 90 % des flottes de véhicules. Le déploiement peut être plus rapide dans les pays en développement où les flottes sont en expansion et dans les zones où les exigences d'inspection des véhicules sont strictes, comme le système du Japon. Le kilométrage annuel a tendance à diminuer avec l'âge du véhicule : les véhicules parcourent en moyenne environ 15000 km la première année, 10000 km la 10ème année et 5000 km la 15ème année, de sorte que les véhicules de plus de dix ans représentent environ 50 % des flottes de véhicules mais seulement 20 % du kilométrage (ORNL 2012, tableau 3.8).

Prédictions de déploiement

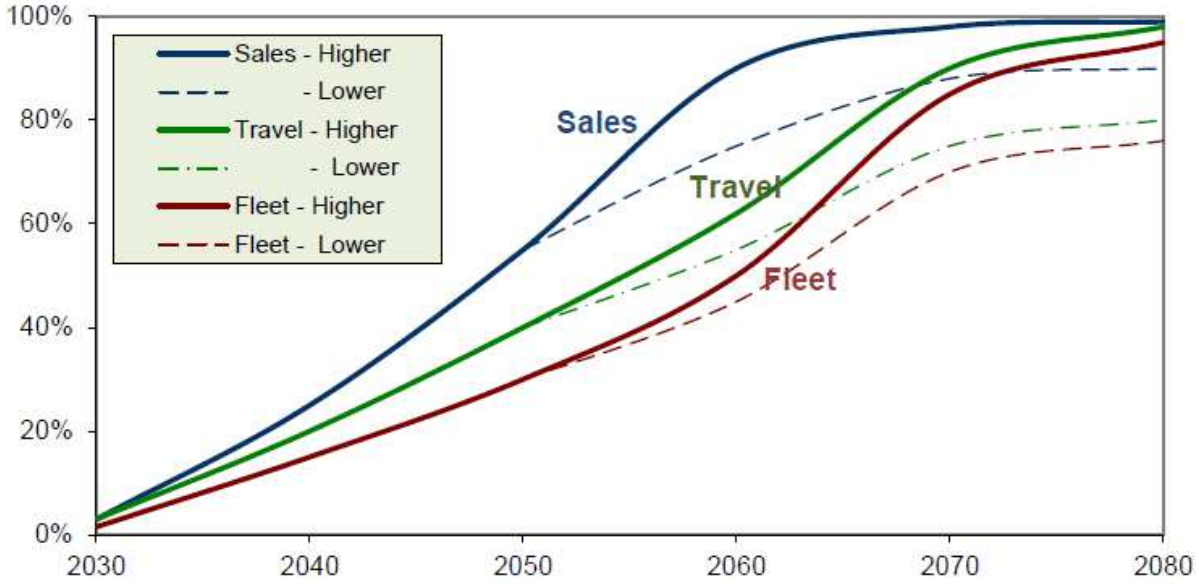
Le tableau 11 utilise l'analyse précédente pour prédire les ventes, la flotte et le taux de pénétration des véhicules automatisés, en supposant que les véhicules de niveau 5 deviennent disponibles dans le commerce à la fin 2020 mais sont initialement chers et ont des performances limitées. Au cours de leur première décennie, seule une minorité de nouveaux véhicules sont susceptibles d'être entièrement automatisé, les parts de marché augmentant à mesure que leurs performances s'améliorent, que les prix baissent et que les consommateurs gagnent en confiance. D'ici 2045, jusqu'à la moitié des ventes de véhicules neufs pourraient être automatisés, mais sans obligation, la saturation du marché prendra probablement plusieurs décennies, et certains automobilistes continueront peut-être à choisir des véhicules à conduite humaine en raison des coûts et des préférences. Ces résultats sont à peu près cohérents avec les estimations d'autres chercheurs (Grush 2016 ; Lavasani et Jin 2016 ; Simonite 2016), bien qu'ils soient plus lents que les prévisions optimistes de certains experts de l'industrie (Kok et al. 2017ÿ; McKinsey 2016).

Etape	Décennie	Nouvelle part	Flotte	Trajet
Développement et test	2020	0 %	0 %	0 %
Disponible à prix élevés	2030	2-5 %	1-2 %	1-4 %
Disponible à prix modéré	2040	20-40 %	10-20 %	10-30 %
Disponible à prix faible	2050	40-60 %	20-40 %	30-50 %
Equipements standards inclus dans la plupart des véhicules	2060	80-100 %	40-60 %	50-80 %
Saturation (tout le monde le voudra)	2070	?	?	?
Requis pour tous les véhicules nouveaux et en circulation	?	100 %	100 %	100 %

Tableau 11 : Projections de la pénétration des véhicules automatisés sur le marché

La figure 11 illustre ces taux de déploiement, y compris les estimations supérieures et inférieures.

Figure 7 : Prédictions de vente de véhicules automatisés, flotte et déplacements (à partir du tableau 9) – si les véhicules automatisés suivent le développement des technologies précédentes, cela prendra trois décennies pour qu'ils soient majoritaires sur le marché des ventes, et une ou deux décades de plus pour qu'ils dominent les déplacements effectués, et même lorsque le marché arrivera à saturation, une portion des déplacements continuera certainement à être réalisés à bord de véhicules conventionnels, ce qui est représenté en lignes pointillées



En raison de leurs coûts de main-d'œuvre élevés et de leurs conditions de déplacement prévisibles, les véhicules utilitaires (camions de fret et bus long-courriers et services de taxi locaux) sont susceptibles de s'automatiser en premier. Cependant, les chauffeurs commerciaux fournissent des services tels que l'assistance et la sécurité des passagers, le déchargement, la surveillance et l'entretien, de sorte que certains emplois d'opérateurs de véhicules changeront mais ne disparaîtront pas.

Une mise en œuvre beaucoup plus rapide nécessiterait un développement, un déploiement et une rotation de la flotte plus rapides que le modèle observé pour les technologies de véhicules précédentes. Par exemple, pour que la plupart des déplacements en véhicule soient automatisés d'ici 2045, presque tous les véhicules produits après 2035 devraient être automatisés, les taux d'achat de nouveaux véhicules et les dépenses devraient augmenter de manière significative afin que le roulement de la flotte qui prend normalement trois décennies puisse se produire en une seule, et de nombreux véhicules autrement fonctionnels seraient mis au rebut simplement parce qu'ils n'ont pas de capacité de conduite automatisée.

Les services de mobilité partagée, tels que l'autopartage et le covoiturage, réduisent déjà la possession de véhicules et la demande de stationnement dans certaines situations (DeLuca 2018). Les véhicules automatisés pourraient accélérer ces tendances, mais comme décrit précédemment, en dehors des zones urbaines denses, ils sont peu pratiques et inefficaces, et il est donc peu probable qu'ils remplacent la majorité des déplacements en véhicule privé dans les zones interurbaines et rurales où vivent actuellement la plupart des Américains.

Les facteurs suivants affectent la vitesse de déploiement des véhicules automatisés :

- **La rapidité du développement technologique**. Des technologies de niveau 4 (véhicules capables de fonctionner de manière automatisée dans des conditions limitées) sont actuellement disponibles, mais d'importants progrès technologiques sont nécessaires avant que les véhicules puissent fonctionner de manière autonome dans tous les environnements. Un fonctionnement fiable de niveau 5 pourrait être disponible dans cinq ans ou nécessiter encore 25 ans.
- **Essais et approbation réglementaire**. Les normes d'essai et d'approbation sont actuellement en

cours de développement, mais plusieurs années supplémentaires pourraient être nécessaires pour que ces normes soient adoptées dans la plupart des juridictions, et un délai supplémentaire sera nécessaire pour les tests à grande échelle.

- **Coûts différentiels**. Les véhicules automatisés nécessitent des équipements et des services supplémentaires qui augmentent les coûts. Dans un avenir prévisible (une à trois décennies), le fonctionnement automatisé ne sera disponible que dans de nouveaux véhicules relativement coûteux, ce qui ajoutera des milliers de dollars de dépenses annuelles par rapport aux véhicules conventionnels. Des coûts différentiels élevés réduiront la proportion de nouveaux véhicules dotés de cette technologie, ce qui réduira la vitesse de pénétration de la flotte.
- **Préférences des consommateurs en matière de voyage et de logement et pratiques de développement.** Actuellement, la plupart des ménages nord-américains vivent dans des communautés dépendantes de l'automobile et possèdent des véhicules privés. Le partage de véhicules automatisés est plus approprié pour les ménages qui vivent dans des communautés plus multimodales où ils parcourent moins de 6000 km annuels environ en automobile. Par conséquent, les déplacements en véhicules automatisés partagés deviendront plus courants si de nombreux ménages sont en mesure de se déplacer dans des communautés multimodales. L'acceptation par les consommateurs pourrait être réduite par des craintes pour la sécurité, des préoccupations en matière de confidentialité ou des préférences, ce qui fait qu'une partie importante des déplacements en véhicule reste effectuée en véhicules conventionnels même après la saturation du marché.
- **Qualité du service et prix abordables**. Si les taxis autonomes sont pratiques, confortables et abordables, de nombreuses personnes pourraient passer de la possession au partage de véhicules. Cependant, s'ils sont peu fiables, inconfortables ou coûteux, davantage de ménages continueront à posséder des véhicules.
- **Politiques publiques**. La mise en œuvre pourrait être accélérée si les politiques publiques encourageaient le développement et l'achat de véhicules, si la tarification des routes et du stationnement et la gestion des chaussées favorisaient les véhicules partagés, si les voies d'autoroute étaient dédiées à la conduite en peloton, si les politiques de développement permettaient un développement plus intercalaire, si un fonctionnement automatisé était requis pour les nouveaux véhicules ou si les gouvernements soutenaient la mise au rebut une grande partie des véhicules autrement fonctionnels car ils manquent de capacité de conduite automatisés.

Impacts sur la planification

Les véhicules automatisés posent divers problèmes de planification (Taeihagh et Lim 2018).

Conception de la chaussée

Les véhicules automatisés pourraient nécessiter de nouvelles caractéristiques de conception de la chaussée telles que des marquages de voie améliorés, des panneaux conçus pour être lus électroniquement et des répéteurs sans fil dans les tunnels pour fournir un accès Internet. La conduite automatisée pourrait permettre des voies de circulation plus étroites, mais pour accueillir les camions et les bus, des réductions importantes ne sont possibles que sur des voies spéciales limitées à la circulation automobile. À mesure que les véhicules automatisés se répandraient, les gouvernements seraient invités à dédier des voies d'autoroute à leur utilisation, pour permettre la conduite en pelotons. De même, les véhicules automatisés pourraient éliminer le besoin de feux de circulation, mais cela ne serait faisable que dans les zones où tout le trafic de véhicules ne serait automatisé. Pour encourager le passage des déplacements des véhicules à faible taux d'occupation aux véhicules à taux d'occupation élevé dans les corridors encombrés, les gouvernements pourraient devoir établir davantage de voies prioritaires pour les voies à haut taux d'occupation.

Tarification du transport

Comme décrit précédemment, avec les politiques actuelles, les véhicules électriques automatisés seraient susceptibles d'augmenter les déplacements et les problèmes de circulation, généralement de 10 à 30 %, en réduisant le temps de trajet et les coûts d'exploitation des véhicules, en stimulant l'étalement urbain et en augmentant les déplacements à vide. De plus, les véhicules électriques ne paient actuellement aucun droit d'utilisation de la route, ce qui est injuste. Pour résoudre ces problèmes, les gouvernements devront imposer de nouvelles redevances, qui pourraient inclure une combinaison de redevances d'utilisation de la route de 4 à 8 c$ par véhicule-km, plus une tarification de décongestion de 5 à 30 c$ par véhicule-km en cas de congestion (Simoni, et al. 2019).

Gestion des trottoirs

Pour faciliter le partage de véhicules, les villes devront gérer les bordures de trottoir afin de faciliter le chargement et le déchargement des passagers (Marsden, Docherty et Dowling 2020 ; OCDE/ITF 2018). Cela implique de dégager des zones d'embarquement des passagers, ou de gérer le stationnement sur rue pour augmenter le chiffre d'affaires afin qu'au moins une place inoccupée soit généralement disponible à proximité de chaque destination.

Planification du stationnement

Les véhicules automatisés pourraient affecter les futures demandes de stationnement de plusieurs façons (Chai, et al. 2020 ; González-González, Nogués et Stead 2020 ; Marsden, Docherty et Dowling 2020 ; Zhang et Kaidi Wang 2020). Les véhicules automatisés électriques nécessiteront des parkings spéciaux avec des bornes de recharge électriques et des services de nettoyage et d'entretien des véhicules. Les optimistes prédisent que les véhicules automatisés réduiront considérablement les demandes et les coûts de stationnement. Le passage des véhicules privés aux véhicules partagés pourrait réduire la possession totale de véhicules et les besoins de stationnement, et les propriétaires de véhicules individuels pourraient programmer leurs voitures pour qu'elles rentrent chez elles après avoir déposé des passagers, bien que cela augmenterait la congestion et ajouterait des retards et de l'incertitude quant au moment où les passagers pourraient être récupérés. La plupart des voyageurs voudront probablement que leurs véhicules soient disponibles en quelques minutes, ce qui nécessitera un stationnement à moins d'un km ou deux de leur destination. Cela pourrait permettre plus de stationnement hors site et des parkings partagés, réduisant mais pas éliminant les demandes de stationnement urbain.

Besoins en transport en commun

Les véhicules automatisés pourraient affecter les demandes de transport en commun de plusieurs façons.

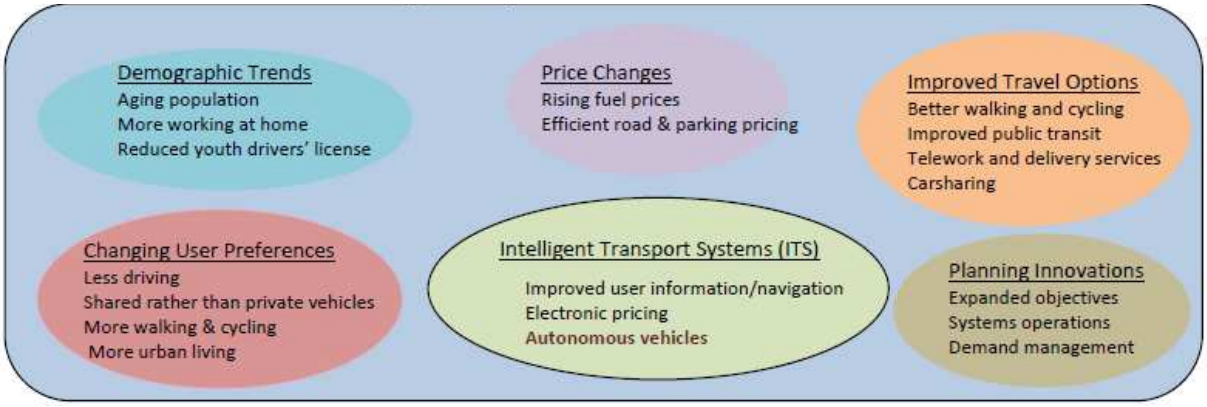
- Etant donné que la main-d'œuvre représente la majorité des coûts d'exploitation du transport en commun, les technologies automatisées pourraient réduire considérablement les coûts des services de transport en commun. Avec un budget donné, les agences de transport en commun pourraient offrir un service plus fréquent en utilisant des véhicules plus petits et, dans certaines situations, avoir des itinéraires flexibles qui amèneraient les passagers plus près de leurs destinations (transport adapté).
- Des services de taxi moins chers pourraient offrir une mobilité pratique aux non-conducteurs, que ce soit de porte à porte ou en tant que desserte des arrêts de bus et des gares. Cela devrait être particulièrement efficace dans les zones suburbaines et rurales où le transport en commun conventionnel est inefficace.
- Ils pourraient réduire la demande de transport en commun conventionnelle, ce qui réduirait les revenus, la rentabilité et le soutien politique, ce qui se traduirait par une qualité de service réduite. Étant donné que le transport adapté nécessiterait plus d'espace routier et d'énergie que le transport en commun, le passage du transport en commun aux véhicules automatisés serait susceptible d'augmenter la congestion routière, les accidents et les émissions de polluants.

Certains partisans affirment que les véhicules automatisés éliminent le besoin de services de transport en commun conventionnels, mais un transport en commun à grande capacité sera toujours nécessaire sur les principaux corridors de desserte, et les technologies automatisées peuvent soutenir le transport en commun en réduisant les coûts d'exploitation et en améliorant l'accès aux arrêts et aux gares (ITF 2014 ; TRB 2017). Pour éviter les problèmes potentiels, de nombreux experts recommandent aux gouvernements d'imposer une tarification routière efficace, de développer des voies réservées aux véhicules à occupation multiple et d'améliorer les services de transport en commun dans les couloirs de circulation congestionnés afin de limiter la circulation, la congestion et maintenir l'efficacité du système de transport en commun.

Autres tendances affectant les demandes de déplacements

Le développement de véhicules automatisés n'est qu'une des nombreuses tendances qui affecteront les futures demandes de transport et les besoins de planification, comme l'illustre la figure 21. Les changements démographiques, les préférences des consommateurs, les prix, les technologies de l'information, les options de mobilité et d'autres innovations en matière de planification peuvent avoir des impacts plus importants que véhicules dans un avenir prévisible.

Figure 8 : Facteurs affectant la demande de transport et les coûts - Les véhicules automatisés sont l'un des nombreux facteurs affectant la future demande de transport



Certains avantages, tels que la réduction du stress du conducteur, pourraient survenir avec l'automatisation de niveau 2 à 4, mais la plupart des avantages nécessiteraient une automatisation de niveau 5, et certains ne se produiraient que lorsqu'ils sont partagés ou s'ils ont des voies dédiées. La matrice suivante résume les avantages offerts par divers types de VA.

Tableau 12 : Avantages des véhicules automatisés

Types de véhicules automatisés	Mobilité pour les non-conducteurs	Réduction du stress du conducteur	Economies utilisateur	Sécurité des occupants	Avantages externes
Niveau 1 à 4 – usage individuel		X		?	
Niveau 5 – usage individuel	X	X		X	?
Véhicules automatisés partagés	X		X		X
Véhicules automatisés covoiturage	X		X		X
Voies réservées aux véhicules automatisés			X		?

Le tableau 13 présente une chronologie des problèmes de planification des véhicules autonomes.

Problème	Analyse requise	Politique requise	Période
Sécurité et fiabilité	Evaluer la fiabilité et la sécurité. Etablir un cadre réglementaire.	Définir les performances, les exigences de tests et en matière de données pour l'exploitation des véhicules automatisés sur les routes publiques.	2030-2030
Impacts sur les déplacements	Enquêter sur les changements de déplacements, les avantages possibles en termes de coûts.	Gestion de transports pour réduire la congestion, les accidents et les émissions.	2020-2040
Impacts locaux sur la circulation des véhicules	Enquêter sur les changements sur les véhicule à moteurs et les impacts.	Tarifier pour décongestionner, restreindre l'accès à certains véhicules, donner la priorité aux véhicules à fort taux d'occupation et mettre en place des politiques qui favorisent l'autopartage.	2020-2040
Sécurité	Enquêter sur les nouveaux risques, les impacts des accidents en particulier sur les autres usagers de la route.	Réguler les véhicules automatisés pour assurer la sécurité de tous les usagers de la route. Tarifer et gérer les routes pour la sécurité	2020-2060
Mobilité pour les non-conducteurs	Etudier la disponibilité et la fiabilité des véhicules automatisés pour les non-conducteurs.	Mettre en place des politiques qui assurent que les véhicules automatisés servent aux personnes à mobilité réduite et aux faibles revenus.	2020-2030
Impacts sur le partage de	Etudier la qualité des services de mobilité partagée et le	Réguler et encourager la mobilité automatisée partagée et en	2030-2040

véhicules	covoiturage.	covoiturage.	
Impacts sur les émissions et la consommation	Analyser les types de carburant et leur consommation. Analyser les impacts sur les déplacements.	Encourager l'efficacité énergétique et les véhicules électriques. Réfléchir la tarification et la gestion des routes pur minimiser les déplacements .	2030-2060
Stationnement et chargement des passagers	Etudier les impacts sur la propriété individuelle et l'usage, et sur le besoins de parking et de chargement.	Réduire des besoins en parking et aménager efficacement les parking et les trottoirs.	2040-2050
Conception de la route	Analyser les impacts sur le trafic routier et les besoins en conception.	Changer la conception de l'infrastructure. Considérer la création de voies dédiées pour les VA. Déterminer son prix et sa tarification.	2050-2070
Planifier le trafic mixte	Analyser les conflits entre les VA et les autres usagers.	Développer des politiques et des équipements pour minimiser les conflits et les risques.	2040-2060
Mandater les véhicules automatisés	Etudier les avantages potentiels de mandats.	Si les avantages sont conséquents, restreindre les véhicules conventionnels et rendre obligatoires les VA.	2060-2080

Tableau 8 : Problèmes de planification des VA – ce tableau identifie les divers besoins et exigences pour achever les objectifs de planification des VA

Étant donné que les piétons et les cyclistes sont difficiles à percevoir pour les capteurs et moins prévisibles que les véhicules conventionnels, les véhicules automatisés pourraient créer des risques particuliers aux usagers vulnérables. Le Centre d'information sur les piétons et les cyclistes (*Pedestrain and Bicycle Information Center*) identifie dix risques que les véhicules automatisés pourraient imposer aux piétons et aux cyclistes et comment ceux-ci pourraient être minimisés (PBIC 2017). Appleyard et Riggs (2018) identifient des principes de planification pour s'assurer que les véhicules automatisés respecteraient le principe de « bien vivre ensemble » de la communauté en améliorant le comportement de conduite (vitesses plus lentes et capacité accrue à céder et à s'arrêter), en améliorant les conditions de marche et de vélo et en réduisant les besoins de stationnement.

Les avantages du véhicule automatisé dépendront des politiques publiques. Le tableau suivant compare les résultats optimistes et pessimistes des politiques de véhicules automatisés.

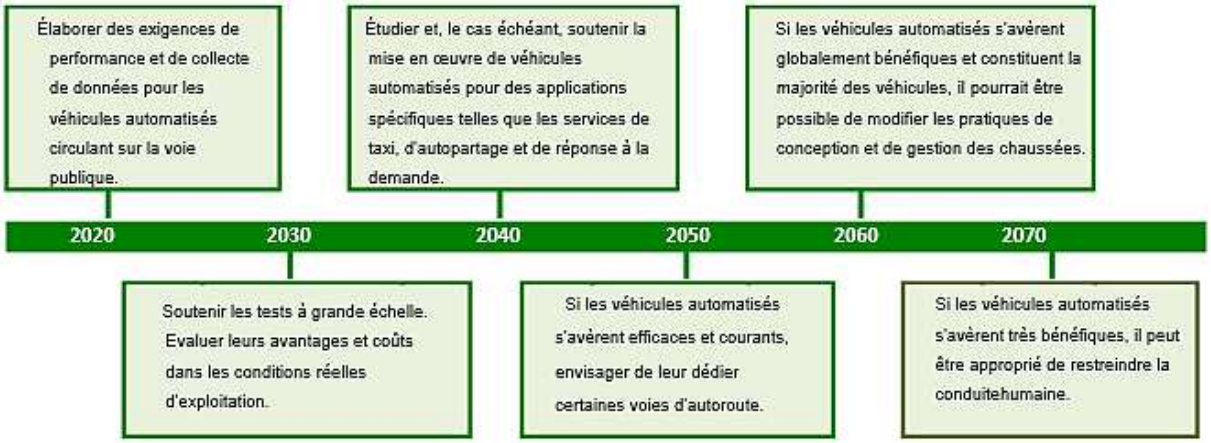
Problème	Résultat optimiste	Résultat pessimiste
Partage	Les politiques encouragent le partage de véhicules.	Les VA sont perçus comme des biens de luxe et individuels.
Inclusion sociale	Les politiques conçues pour maximiser la fiabilité et l'accessibilité des VA s'assurent qu'ils sont largement disponibles.	Les VA sont uniquement fiables et disponibles pour les utilisateurs privilégiés (aisés).
Développement durable	Les politiques de déploiement des VA supportent le développement durable.	Les politiques de VA donnent peu de considérations aux objectifs environnementaux.
Transport en	Les politiques publiques encouragent les	Les politiques publiques se focalisent

commun	transports en commun, en finançant et favorisant les véhicules partagés.	trop sur les VA et oublient de promouvoir les transports publics.
Gestion multimodale	Les VA sont programmés pour minimiser les risques et les retards pour les autres usagers.	Les VA sont programmés pour favoriser ses occupants avant les autres usagers.
Réseau de données	Les réseaux de données sont conçus pour maximiser l'efficacité globale du système de transport et sa durabilité.	Les réseaux de données sont conçus pour maximiser les profits, des informations confidentielles sont vendues.
Gestion de données sensibles	Les données personnelles sont manipulées avec précautions pour l'intérêt général.	Une quantité abondantes de données personnelles collectées par les VA sont utilisées à des fins commerciales.
Stationnement	Les zones de stationnement sont converties bâtiments, infrastructures de transport et espaces verts.	Les politiques de stationnement restent telles qu'elles sont, de sorte que le stationnement continue de consommer des terrains précieux.
Accès au trottoir	L'accès au trottoir est géré efficacement pour desservir les passagers des véhicules partagés ainsi que d'autres utilisations.	L'espace en bordure de rue est encombré et dangereux, et d'autres personnes (piétons et cyclistes) sont lésées.
Utilisation du territoire	Les zones urbaines deviennent des lieux de vie plus attrayants. Les politiques de transport favorisent la qualité de vie.	Le foncier urbain est géré pour accueillir les déplacements de VA, au détriment des autres groupes sociaux.
Planification des transports	La planification des transports est multimodale et favorise les modes économes en ressources.	La planification des transports favorise les VA, par exemple, avec des voies réservées et des frais d'utilisation peu élevés.

Tableau 9 : Résultats optimistes et pessimistes - les véhicules automatisés soulèvent de nombreux problèmes de politiques publiques et de planification

Le calendrier ci-dessous résume les exigences de planification des véhicules autonomes.

Figure 9 : Calendrier de planification des véhicules automatisés



Impacts du service de taxi automatisés

En 2017, Waymo et Uber ont commencé à tester des taxis sans conducteur dans la région de Phoenix, en Arizona (Bergen 2017; Lee 2017). Quelques mois plus tard, la mort d'un piéton a mis le programme en attente, mais il a rapidement été rétabli.

Phoenix a été choisie car elle a un climat doux, des rues larges et relativement peu de piétons. Les véhicules sont relativement lents. Un développement et des tests supplémentaires sont nécessaires avant que la technologie ne puisse s'étendre aux villes où les conditions météorologiques et où la congestion sont plus graves, et son expansion dépendra de la rentabilité du service, ce qui nécessitera une confiance et une satisfaction élevées des consommateurs, ainsi que des réductions de coûts. En conséquence, il faudra probablement plusieurs années avant que les services commerciaux de taxis automatisés soient largement disponibles.

Les taxis desservent principalement les déplacements urbains locaux lorsque les voyageurs n'ont pas de véhicule individuels, ce qui représente une part mineure du total des déplacements. Pour réduire significativement les déplacements en véhicule et les coûts associés, les taxis automatisés doivent devenir peu coûteux, omniprésents et intégrés à d'autres options de mobilité afin que les ménages puissent réduire leur possession de véhicules et s'appuyer sur des véhicules partagés. Cela peut être accéléré par des politiques publiques qui découragent la possession de véhicules privés et encouragent le partage, comme la réduction de l'offre de stationnement, les voies réservées aux véhicules à taux d'occupation élevé et les aires d'embarquement pratiques pour les passagers.

Cela est conforme aux prévisions selon lesquelles, au cours des années 2020, les véhicules automatisés auront une disponibilité et des performances limitées. Si la technologie s'améliore et devient abordable et fiable, de sorte que les services de taxi automatisés deviennent rentables, ils pourraient s'étendre pour desservir davantage de zones et de types de déplacements. Cependant, jusqu'à ce que la plupart des ménages passent de la possession de véhicules à des services de mobilité partagée, et jusqu'à ce qu'une plus grande proportion de ménages vivent dans des quartiers compacts et multimodaux, les taxis automatisés n'affecteront qu'une petite partie du total des déplacements et n'apporteront que de modestes avantages à la communauté.

Conflits potentiels et solutions

Il existe des conflits potentiels entre les objectifs des utilisateurs et ceux de la communauté dans la conception et la programmation des véhicules automatisés. Par exemple, s'ils sont programmés pour maximiser le confort des passagers, ils peuvent réduire la vitesse de la circulation, et s'ils sont programmés pour protéger les occupants, ils peuvent augmenter le risque d'accidents pour les autres usagers de la route. Certains avantages (réduction de la congestion et éventuellement des émissions polluantes) nécessitent des voies réservées aux véhicules automatisés, ce qui soulève des problèmes d'équité, de tarification et d'application.

Il existe également des conflits de planification potentiels. En augmentant le nombre total de déplacements en véhicule, en encourageant un développement dispersé et en remplaçant le transport en commun, les véhicules automatisés pourraient exacerber les problèmes de congestion, d'étalement urbains et d'inégalité. Les véhicules partagés réduisent la demande de stationnement mais augmentent le besoin d'installations de chargement des passagers (OECD/ITF 2018). Certaines organisations d'intérêt public ont élaboré des lignes directrices pour optimiser les avantages des véhicules automatisés (Fulton, Mason et Meroux 2017 ; Kaohsiung EcoMobility Festival 2017). L'encadré ci-dessous résume un exemple.

Principes de mobilité partagée pour des villes durables (www.sharedmobilityprinciples.org)

1. Planifier ensemble nos villes et leur mobilité.
2. Donnez la priorité aux personnes plutôt qu'aux véhicules
3. Soutenir l'utilisation partagée et efficace des véhicules, des voies, des bordures et des terrains
4. S'engager avec les parties prenantes.
5. Promouvoir l'équité.
6. Diriger la transition vers une énergie propre et renouvelable.
7. Soutenir des frais d'utilisation équitables dans tous les modes.
8. Viser les avantages publics via les données ouvertes.
9. Travailler à l'intégration et à la connectivité transparente.
10. Dans les zones urbaines denses, les véhicules autonomes ne devraient opèrent dans des flottes partagées.

Les stratégies suivantes peuvent aider à maximiser les avantages des véhicules automatisés et à minimiser leurs coûts sociaux (Larco, et al. 2018 ; González-González, Lynott 2018 ; Nogués et Stead 2020 ; Schlossberg, et al. 2018 ; TRB 2017 ; WEF 2020) :

- Mettre l'accent sur les objectifs sociaux tels que l'efficacité et l'équité du système de transport.
- Tester et réglementer les nouvelles technologies pour la sécurité et l'efficacité.
- Assurer une collecte, un stockage et un partage responsables des données clés, telles que les déplacements en véhicule et les conflits pour mesurer les impacts positifs et négatifs. Encourager l'interopérabilité des systèmes de données et des plateformes.
- Exiger que les véhicules automatisés soient programmés en fonction d'objectifs éthiques et communautaires.
- Mettre en œuvre des politiques, telles qu'une tarification efficace et la priorité des véhicules dans le trafic, pour favoriser les trajets de plus grande valeur et les déplacements plus économes en espace, et pour limiter les volumes de trafic de véhicules à des niveaux optimaux.
- Veiller à ce que les services automatisés partagés soient abordables et desservent les personnes ayant des besoins particuliers.
- Intégrer les services automatisés partagés dans les systèmes de transport multimodaux, par exemple, pour fournir un accès du dernier kilomètre aux stations de transport en commun et pour réduire les voies de circulation afin que plus d'espace routier soit

disponible pour les pistes cyclables, les trottoirs et les espaces verts.

- Incorporer une conception universelle qui s'adapte aux personnes ayant des besoins et des capacités spéciales.
- Utiliser les réductions de la circulation automobile pour réaménager les rues et améliorer l'habitabilité urbaine.
- Réduire les minimums de stationnement et le stationnement public pour profiter des véhicules partagés. Utilisation réduite le stationnement doit augmenter les densités urbaines et les espaces verts.
- Évolution efficace des prix pour éviter un étalement inefficace.

Conclusions

Beaucoup de gens se demandent dans combien de temps les véhicules automatisés aideront à résoudre les problèmes de transport. Les optimistes prédisent que d'ici 2030, les véhicules automatisés seront suffisamment fiables, abordables et courants pour remplacer la plupart des véhicules conventionnels, offrant d'énormes économies et avantages. Cependant, il y a de bonnes raisons d'être sceptique. La plupart des prédictions optimistes sont faites par des personnes ayant des intérêts financiers dans l'industrie, sur la base de l'expérience des technologies telles que les appareils photo numériques, les téléphones intelligents et les ordinateurs personnels. Ils ont tendance à ignorer les obstacles importants au développement de véhicules automatisés et à exagérer les avantages futurs.

Il existe une incertitude considérable concernant les impacts des véhicules automatisés sur la demande, les avantages, les coûts et les déplacements. La conduite d'un véhicule sur la voie publique est compliquée en raison des interactions fréquentes avec des animaux, des personnes et des véhicules souvent imprévisibles. Des progrès considérables sont nécessaires avant que les véhicules automatisés puissent fonctionner de manière fiable dans le trafic urbain mixte, en cas de fortes pluies et neiges, sur des routes non goudronnées et non cartographiées et avec un service sans fil peu fiable. Des années de tests et d'approbations réglementaires sont nécessaires avant qu'ils ne soient disponibles sur le marché dans la plupart des juridictions. Les premiers véhicules automatisés disponibles dans le commerce risquent d'être chers, limités dans leurs performances et introduiront de nouveaux risques. Ces contraintes limiteront les ventes. De nombreux automobilistes hésiteront à payer des milliers de dollars supplémentaires pour des véhicules qui seront parfois incapables d'atteindre une destination en raison du mauvais temps ou de routes non cartographiées. Les véhicules durent plus longtemps, coûtent plus cher, imposent des coûts externes plus importants et sont plus fortement réglementés que la plupart des autres biens de consommation, de sorte que les nouvelles technologies automobiles tardent à pénétrer les marchés. Il faudra probablement des décennies pour que la plupart des véhicules soient automatisés, et certains automobilistes pourraient leur résister.

De manière optimiste, les véhicules automatisés de niveau 5 seront sûrs et fiables d'ici 2025. Quelques années supplémentaires seront nécessaires pour les tests et l'approbation réglementaire, de sorte que d'ici 2030, les véhicules automatisés pourraient être disponibles dans le commerce et autorisés à fonctionner dans de nombreux domaines. S'ils suivent le modèle des technologies de véhicules précédentes, au cours des années 2030 et probablement des années 2040, ils seront coûteux et limités en performances, parfois incapables d'atteindre une destination souhaitée ou nécessitant une intervention humaine lorsqu'ils rencontrent des situations inattendues. Les clients comprendront des automobilistes fortunés au kilométrage annuel élevé et des entreprises qui utilisent des véhicules pour transporter du matériel et des marchandises. Dans un avenir prévisible, la plupart des ménages à revenu modeste et faible continuera d'utiliser des véhicules conventionnels. Ce sera probablement les années 2050 que les véhicules automatisés seront abordables pour la plupart des automobilistes à revenu moyen et faible.

Les véhicules automatisés partagés (taxis autonomes) et le covoiturage (services de micro-transit) sont testés dans certaines juridictions, mais il faudra probablement attendre les années 2030 avant qu'ils ne soient largement disponibles. Les véhicules partagés ont des coûts d'exploitation modérés et offrent une commodité et un confort modérés. Ils devraient être moins chers que les services actuels de taxi et de covoiturage, mais offrir moins de service car aucun chauffeur ne sera disponible pour assister les passagers, assurer la sécurité ou nettoyer les véhicules. La répartition des véhicules sera parfois lente et imprévisible, en particulier dans les zones moins denses. Les trajets partagés ont les coûts les plus bas, mais le moins de commodité et de confort en raison de la collecte des passagers et des retards, ils ne peuvent pas fournir de service porte-à-porte et les passagers doivent partager des espaces confinés avec des étrangers. En raison de ces limitations, les véhicules et les trajets partagés serviront principalement les déplacements urbains et il est peu probable qu'ils dominent les déplacements interurbains et ruraux.

Cette analyse suggère qu'il faudra au moins 2045 avant que la plupart des véhicules soient automatisés, et plus longtemps avant qu'ils ne soient abordables. Un déploiement beaucoup plus rapide nécessitera la mise au rebut de la plupart des véhicules autrement fonctionnels qui manquent de capacité de conduite automatisée. Certains avantages, tels que la réduction du stress du conducteur et la mobilité indépendante des non-conducteurs aisés, pourraient se produire lorsque les véhicules automatisés seront relativement coûteux et rares. Cependant, la plupart des avantages, tels que la mobilité indépendante pour les non-conducteurs à revenu modéré, ne pourraient être significatifs que s'ils devenaient courants et abordables, et certains avantages, tels que la réduction de la congestion et des émissions, nécessiteraient des voies réservées pour permettre le peloton. Leurs impacts sur l'équité sociale sont mitigés, ils sont susceptibles de réduire certains coûts externes mais d'en augmenter d'autres, et ils peuvent bénéficier à certains groupes défavorisés mais nuire à d'autres, en particulier s'ils induisent des déplacements supplémentaires en véhicule et un étalement. Les taxis automatisés et les services de micro-transport en commun peuvent offrir une plus grande efficacité et des avantages en termes d'équité, en particulier si les politiques publiques favorisent les déplacements en véhicule partagé, avec une tarification de décongestion et des voies réservées aux véhicules à forte occupation.

De nombreuses prévisions supposent que la plupart des véhicules automatisés seront électriques, qui ont de faibles coûts de carburant mais nécessitent des batteries coûteuses et ne paient actuellement aucune taxe sur le carburant. L'intégration des coûts de remplacement des batteries et des frais d'utilisation efficaces de la route augmente les coûts d'exploitation des véhicules électriques pour qu'ils soient similaires à ceux des véhicules à carburant fossile. En raison de leurs coûts de main-d'œuvre élevés et de leurs itinéraires prévisibles, les bus et camions automatisés pourraient devenir courants assez rapidement, mais nombre de ces véhicules auront encore besoin d'employés à bord pour assurer l'assistance aux passagers, la sécurité, le chargement et le déchargement.

La figure ci-dessous illustre la pénétration du marché et les prévisions de bénéfices. L'autonomie de niveau 4 (capable de fonctionner de manière automatisée dans des conditions limitées, comme sur des autoroutes à chaussées séparées) pourrait réduire le stress du conducteur et augmenter la productivité, mais la plupart des avantages nécessiteraient une autonomie de niveau 5 (capable de fonctionner de manière automatisée dans toutes les situations) afin que les véhicules puissent transporter les non-conducteurs et voyagent à vide pour prendre ou déposer des passagers. Certains avantages, tels que la mobilité indépendante pour les non-conducteurs aisés, pourraient se produire alors que les véhicules automatisés sont chers et rares, mais la plupart des avantages exigent qu'ils soient abordables et courants, ce qui prendra des décennies.

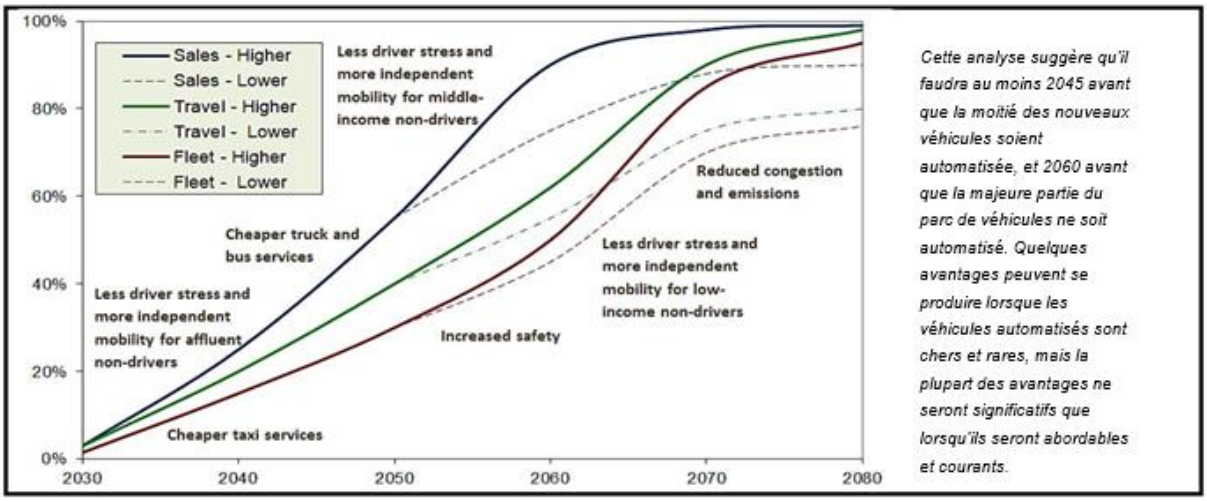


Figure 10 : Projections des ventes, du parc, des déplacements et des avantages des véhicules automatisés

Une question importante pour la planification est de savoir si les véhicules automatisés augmenteront ou réduiront les déplacements totaux des véhicules et les problèmes de circulation associés. Cela pourrait aller dans les deux sens. En augmentant les déplacements en véhicule des non-conducteurs, en augmentant la commodité et le confort des déplacements, en réduisant les coûts d'exploitation des véhicules, générant des déplacements à vide et encourageant les déplacements sur de plus longues distances et un développement plus étendu, ils peuvent augmenter les déplacements en véhicule. Ces déplacements supplémentaires en véhicule offre des avantages marginaux au consommateur, et comme les déplacements en véhicule impose des coûts externes importants, une grande partie des déplacements supplémentaire en véhicule est susceptible d'être économiquement inefficace : ses avantages pour l'utilisateur seront inférieurs aux coûts supplémentaires totaux. Alternativement, le fonctionnement automatisé pourrait faciliter le partage de véhicules, permettant aux ménages de réduire la possession de véhicules et les déplacements réalisés. Cela suggère que les véhicules automatisés seraient susceptibles d'augmenter les déplacements dans les zones interurbaines et rurales et les réduire dans les zones urbaines. Leurs impacts nets dépendront des politiques de transport et d'aménagement du territoire. Avec les politiques actuelles, les déplacements et l'étalement des véhicules devraient augmenter de 10 à 30 %. Une tarification plus efficace et une gestion de la voirie qui favorise les véhicules partagés pourraient réduire les déplacements des véhicules et les problèmes associés.

Un autre problème crucial est la mesure dans laquelle les avantages potentiels pourraient être obtenus lorsqu'une partie seulement des déplacements en véhicule sont automatisés. Certains avantages, tels qu'une mobilité améliorée pour les non-conducteurs aisés, peuvent se produire lorsque les véhicules automatisés sont rares et coûteux, mais de nombreux avantages potentiels, tels que la réduction de la congestion et des taux d'émission, la réduction des feux de circulation et de la largeur des voies, exigent que les véhicules fonctionnent de manière automatisés dans des voies dédiées.

Certaines organisations d'intérêt public ont élaboré des lignes directrices pour optimiser les avantages des véhicules automatisés. Celles-ci mettent l'accent sur des objectifs sociaux tels que la sécurité et l'efficacité globales du système, et la gestion de la demande de transport pour limiter les déplacements des véhicules en fonction de la capacité des routes et favoriser les véhicules à fort taux d'occupation par rapport aux véhicules à faible occupation.

La mise en œuvre de véhicules automatisés n'est qu'une des nombreuses tendances susceptibles d'affecter les demandes et les impacts futurs en matière de transport, et pas nécessairement la plus importante. Leurs impacts ultimes dépendent de la manière dont les véhicules automatisés interagiront avec d'autres tendances, telles que le passage des véhicules privés aux véhicules partagés. Les véhicules automatisés ne changeront probablement pas la donne pendant la majeure partie de notre vie et ne provoqueront un « changement de paradigme » que si cette technologie entraîne de forts reports modaux des véhicules privés vers les véhicules partagés et crée davantage de communautés multimodales.

Les professionnels du transport ont un rôle important à jouer dans le développement et le déploiement de véhicules automatisés. Ils doivent prévoir comment les nouvelles technologies et les nouveaux services sont susceptibles d'affecter les besoins en matière de routes, de stationnement et de transport en commun, et comment réagir pour minimiser les problèmes et maximiser les avantages totaux. Ils peuvent aider à définir les normes qu'ils doivent respecter pour circuler légalement sur la voie publique. Ils devraient évaluer leurs avantages et leurs coûts et élaborer des politiques pour maximiser les avantages nets et veiller à ce que leur déploiement soutienne les objectifs communautaires stratégiques.

Références

AAA (annual reports), Your Driving Costs, American Automobile Association (http://newsroom.aaa.com); at https://publicaffairsresources.aaa.biz/YDC/html5/index.html.

AAA (2018), Advanced Driver Assistance Systems (ADAS) Repair Costs, Fact Sheet, AAA News Room (https://newsroom.aaa.com); at https://bit.ly/39JO6CI.

Evan Ackerman (2017), "Toyota's Gill Pratt on Self-Driving Cars and the Reality of Full Autonomy," Spectrum, International Institute of Electrical Engineers (www.ieee.org); at https://bit.ly/2FJYJax.

Air Quality Expert Group (2020), Non-Exhaust Emissions from Road Traffic, UK Department for Environment, Food and Rural Affairs (https://uk-air.defra.gov.uk); at https://bit.ly/2Ufin64.

APA (2016), Autonomous Vehicles: Knowledgebase Collection, American Planning Association (www.planning.org); at www.planning.org/knowledgebase/autonomousvehicles.

Bruce Appleyard and William Riggs (2018), 10 Principles Toward More Sharing and Less Sprawl: A Manifesto for Street Livability, Health, and Humanity in the Era of Driverless Cars, Planetizen (www.planetizen.com); at www.planetizen.com/features/96769-10-principles-toward-more-sharing-and-less-sprawl.

Jaâfar Berrada and Fabien Leurent (2017), "Modeling Transportation Systems involving Autonomous Vehicles: State of the Art," Transportation Research Procedia, Vol. 27, pp. 215-221 (https://bit.ly/2IK9iwO).

Brad Berman (2011), History of Hybrid Vehicles, Hybrid Cars (www.hybridcars.com); at https://bit.ly/2z9aSEg.

Patrick Bösch, et al. (2017), Cost-based Analysis of Autonomous Mobility Services, Working Paper 1225, Institute for Transport Planning and Systems (www.ivt.ethz.ch); at https://bit.ly/3glVlpW.

Meredith Broussard (2018), "The Dirty Truth Coming for Self-Driving Cars: Trash. Odors. Bodily Fluids. Will Autonomous Rideshares be Ready for our Mess?" Slate (https://slate.com); at https://slate.me/2Ls9IrI.

Huajun Chai, et al. (2020), The Impacts of Automated Vehicles on Center City Parking Demand, National Center for Sustainable Transport (https://ncst.ucdavis.edu); at https://bit.ly/2CxLAEc.

Tay Hong Chuen, et al. (2013), Autonomous Vehicles, MT5009; at https://bit.ly/2RTGdS7.

Giovanni Circella and Scott Hardman (2022), Driverless Cars Won't be Good for the Environment if They Lead to More Auto Use, The Conversation (https://theconversation.com); at https://bit.ly/3gkmrgO.

CPUC (2020), Autonomous Vehicle Pilot Permits Issued, California Public Utilities Commission (www.cpuc.ca.gov/avcissued).

Hana Creger, Joel Espino and Alvaro S. Sanchez (2019), Autonomous Vehicle Heaven or Hell? Creating a Transportation Revolution that Benefits All, Greenlining (http://greenlining.org); at https://bit.ly/2W710ab.

Angela DeLuca (2018), *Ending the Search for Parking*, Urbanism Next (https://urbanismnext.uoregon.edu); at https://bit.ly/2q6uTWD.

Stephen Dirksen (1997), *Air Bags: History of American Technology*, Bryant University Community Web (http://web.bryant.edu/~ehu/h364proj/sprg_97/dirksen/airbags.html).

Dawn Project (2022), *Tesla Full Self-driving Safety Analysis*, The Dawn Project: Making Computers Safe for Humanity (https://dawnproject.com); at https://bit.ly/3rlvh4q.

The Economist (2019), "Driverless Cars are Stuck in a Jam," 10 October (www.economist.com); at www.economist.com/leaders/2019/10/10/driverless-cars-are-stuck-in-a-jam.

John Eddy and Ryan Falconer (2017), *A Civil Debate: Are Driverless Cars Good for Cities?*, Doggerel (http://doggerel.arup.com); at https://bit.ly/3Hl2sdX.

Kevin Eykholt, et al. (2018), "Robust Physical-World Attacks on Deep Learning Models," *Cryptography and Security* (https://arxiv.org/abs/1707.08945).

Fehr & Peers (2014), *Effects of Next-Generation Vehicles on Travel Demand & Highway Capacity*, Fehr and Peers (www.fehrandpeers.com); at www.fehrandpeers.com/fpthink/nextgenerationvehicles.

FHWA (2018), *Highway Statistics*, Federal Highway Administration (www.fhwa.dot.gov); at www.fhwa.dot.gov/policyinformation/statistics.cfm.

Kelly Fleming and Mark Singer (2019), *Energy Implications of Current Travel and the Adoption of Automated Vehicles*, National Renewable Energy Laboratory; at www.nrel.gov/docs/fy19osti/72675.pdf.

Lew Fulton, Jacob Mason and Dominique Meroux (2017), *Three Revolutions in Urban Transportation*, UC Davis and ITDP (www.itdp.org); at www.itdp.org/publication/3rs-in-urban-transport.

Lewis Fulton, Junia Compostella and Alimurtaza Kothawala (2020), *Estimating the Costs of New Mobility Travel Options: Monetary and Non-Monetary Factors*, National Center for Sustainable Transportation (https://escholarship.org/uc/itsdavis_ncst); at (https://doi.org/10.7922/G20R9MN8).

GAO (2016), *Vehicle Cybersecurity: DOT and Industry Have Efforts Under Way, but DOT Needs to Define Its Role in Responding to a Real-world Attack*, GAO (www.gao.gov); at https://bit.ly/1ruZi09.

GM (2020), *OnStar Services* (www.onstar.com).

Esther González-González, Soledad Nogués and Dominic Stead (2020), Parking Futures: Preparing European Cities for the Advent of Automated Vehicles, *Land Use Policy*, Vo. 90 (doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.05.029).

David G. Groves and Nidhi Kalra (2017), *Enemy of Good: Autonomous Vehicle Safety Scenario Explorer*, Rand Corporation www.rand.org); at www.rand.org/pubs/tools/TL279.html.

Bern Grush (2016), *Driverless Cars Ahead: Ontario Must Prepare for Vehicle Automation*, Residential and Civil Construction Alliance of Ontario (RCCAO); at https://bit.ly/2DFNNwy.

Bern Grush and John Niles (2018), *The End of Driving: Transportation Systems and Public Policy Planning for Autonomous Vehicles*, Elsevier (www.elsevier.com/books/the-end-of-driving/niles/978-0-12-815451-9).

Erick Guerra (2015), "Planning for Cars that Drive Themselves: Metropolitan Planning Organizations, Regional Transportation Plans, and Autonomous Vehicles," *Journal of Planning Education and Research*, pp. 1–15 (DOI: 10.1177/0739456X15613591); at http://bit.ly/1RqcBaZ.

Subhrajit Guhathakurta and Amit Kumar (2019), "*When and Where are Dedicated Lanes Needed under Mixed Traffic of Automated and Non-Automated Vehicles for Optimal System Level Benefits?*," Center for Transportation, Equity, Decisions and Dollars (https://ctedd.uta.edu); at https://bit.ly/3lgxA6l.

Mustapha Harb, et al. (2018), "Projecting Travelers into a World of Self-Driving Vehicles," *Transportation*, Vol. 45, pp. 1671-1685 (https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11116-018-9937-9).

Mark Harris (2014), "FBI Warns Driverless Cars Could Be Used As 'Lethal Weapons'" *The Guardian* (www.theguardian.com), 16 July 2014; at https://bit.ly/1p7fQU6.

Andrew Hawkins (2017), "Tesla's Autopilot is Supposed to Deliver Full Self-Driving, So Why Does it Feel Stuck in the Past?," *The Verge* (www.theverge.com); at https://bit.ly/2Fmtfed.

James R. Healey (2012), "Stick Shifts Popular Again, Despite Lower Gas Mileage," *USA Today*, 30 April (www.usatoday.com); at https://bit.ly/2FoFPdc.

Kevin Heaslip, et al. (2020), *Assessment of Capacity Changes Due to Automated Vehicles on Interstate Corridors*, Virginia Transportation Research Council (www.virginiadot.org); at https://bit.ly/3Aghf71.

Jennifer Henaghan (2018), *Preparing Communities for Autonomous Vehicles*, American Planning Association (www.planning.org); at https://bit.ly/2piKBhX.

Alexandro Henao and Wes Marshall (2018), "The Impact of Ridehailing on Vehicle Miles Traveled," *Transportation* (https://doi.org/10.1007/s11116-018-9923-2).

Jeremy Hsu (2017), "When It Comes to Safety, Autonomous Cars Are Still 'Teen Drivers,'" *Scientific American* (www.scientificamerican.com); at http://bit.ly/2j9gFPT.

Kyle Hyatt (2020), *Toyota had the Most Autonomous Vehicle Disengagements*, Road Show (www.cnet.com); at www.cnet.com/roadshow/news/2019-california-self-driving-disengagement-report-baidu-waymo-cruise.

Intellias (2018), *How a Self-Driving Car Could Save You Money*; at https://bit.ly/36ZVBDD.

ITF (2014), *Urban Mobility: System Upgrade*, International Transport Forum (www.internationaltransportforum.org) and Corporate Partnership Board; at https://bit.ly/2JJrWUo.

ITF (2018), *Safer Roads with Automated Vehicles?* International Transport Forum (www.itf-oecd.org); at www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/safer-roads-automated-vehicles.pdf.

Qinhua Jiang, Brian Yueshuai He and Jiaqi Ma (2022), "Connected Automated Vehicle Impacts in Southern California Part-II: VMT, Emissions, And Equity, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*,
Vo. 109 (https://doi.org/10.1016/j.trd.2022.103381).

Charlie Johnston and Jonathan Walker (2017), *Peak Car Ownership: The Market Opportunity for Electric Automated Mobility Services*, Rocky Mountain Institute (www.rmi.org); at http://bit.ly/2rhJRNi.

Kaohsiung EcoMobility Festival (2017), *Kaohsiung Strategies for the Future of Urban Mobility*, EcoMobility Festival (www.ecomobilityfestival.org); at https://bit.ly/2OMwsDD.

Tasha Keeney (2017), *Mobility-As-A-Service: Why Self-Driving Cars Could Change Everything*, ARC Investment Research (http://research.ark-invest.com); at http://bit.ly/2xz6PNV.

Irem Kok, et al. (2017), *Rethinking Transportation 2020-2030: Disruption of Transportation and the Collapse of the Internal-Combustion Vehicle & Oil Industries*, RethinkX (www.rethinkx.com); at http://bit.ly/2pL0cZV.

Kara Kockelman, et al. (2016), *Implications of Connected and Automated Vehicles on the Safety and Operations of Roadway Networks*, University of Texas Center for Transportation Research (http://ctr.utexas.edu); at http://library.ctr.utexas.edu/ctr-publications/0-6849-1.pdf.

Kara Kockelman and Stephen Boyles (2018), *Smart Transport for Cities & Nations: The Rise of Self-Driving & Connected Vehicles*, The University of Texas at Austin (www.caee.utexas.edu); at https://bit.ly/3gDpEaa.

Philip Koopman and Michael Wagner (2017), "Autonomous Vehicle Safety: An Interdisciplinary Challenge," *IEEE Intelligent Transportation Systems*, Vol. 9, No. 1; at http://ieeexplore.ieee.org/document/7823109.

Will Knight (2020), "Snow and Ice Pose a Vexing Obstacle for Self-Driving Cars," *Wired Magazine*; at www.wired.com/story/snow-ice-pose-vexing-obstacle-self-driving-cars.

Nico Larco, et al. (2018), *AVs in the Pacific Northwest: Reducing Greenhouse Gas Emissions in a Time of Automation*, Urbanism Next Center (https://urbanismnext.uoregon.edu): at https://bit.ly/2MHIXix.

Nico Larco (2022), *The Road Ahead for Automated Vehicles*, U.S. House of Representatives Committee on Transportation & Infrastructure Director, Urbanism Next Center, University of Oregon (www.urbanismnext.org); at https://docs.house.gov/Committee/Calendar/ByEvent.aspx?EventID=114362.

Mohammad Lavasani and Xia Jin (2016), "Market Penetration Model for Autonomous Vehicles on the Basis of Earlier Technology Adoption Experience," *Transportation Research Record* 2597, pp. 67–74 (DOI: 10.3141/2597-09).

Steve Lawson (2018), *Tackling the Transition to Automated Vehicles, Roads that Cars Can Read Report III*, European Road Assessment Association (www.eurorap.org); at https://bit.ly/2IrYTTQ.

Scott Le Vine, Alireza Zolfaghari and John Polak (2015), "Autonomous Cars: Tension Between Occupant-Experience and Intersection Capacity," *Transportation Research C* (doi.org/10.1016/j.trc.2015.01.002).

John J. Leonard, David A. Mindell and Erik L. Stayton (2020), *Autonomous Vehicles, Mobility, and Employment Policy*, MIT Work of the Future (https://workofthefuture.mit.edu); at https://bit.ly/3eTRWeA.

Jamie Lendino (2012), "The History of Car GPS Navigation," *PC Magazine (*www.pcmag.com), 16 April; at www.pcmag.com/article2/0,2817,2402755,00.asp.

Todd Litman (2021), *Transportation Cost and Benefit Analysis*, Victoria Transport Policy Institute (www.vtpi.org/tca).

Todd Litman (2013), "The New Transportation Planning Paradigm," *ITE Journal* (www.ite.org), Vo. 83, No. 6, pp. 20-28, 2013; at www.vtpi.org/paradigm.pdf.

Todd Litman (2014), "Ready or Waiting," *Traffic Technology International* (www.traffictechnologytoday.com), January, pp. 36-42; at www.vtpi.org/AVIP_TTI_Jan2014.pdf.

Todd Litman (2017), Presentation to the Canadian Standing Senate Committee on Transport and Communication Concerning Connected and Self-driving Vehicles (http://bit.ly/2u2Grhe).

Todd Litman (2021), New Mobilities: Smart Planning for Emerging Transportation Technologies, Island Press (https://islandpress.org/books/new-mobilities).

Jana Lynott (2018), Creating the Transportation System We Want: Building Blocks for the Road Ahead, AARP Public Policy Institute (www.aarp.org); at https://bit.ly/2Xg3PpN.

Marowits (2017), "Self-driving Ubers Could Still be Many Years Away, Says Research Head," CTV News (www.ctvnews.ca); at http://bit.ly/2Dl48Y7.

Greg Marsden, Iain Docherty and Robyn Dowling (2020), "Parking Futures: Curbside Management in the Era of 'New Mobility' Services," *Land Use Policy*, Vol. 91 (doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.05.031).

McKinsey (2016), *Automotive Revolution* (www.mckinsey.de); at https://bit.ly/2zYBTfG.

Peter McLeod (2021), *Technology Readiness Level Scale Explained*, Prospect IP (www.prospectip.com); at www.prospectip.com/technology-readiness-level-scale-explained.

Jeffrey Mervis (2017), "Are We Going Too Fast on Driverless Cars?," *Science Magazine (*www.sciencemag.org); at www.sciencemag.org/news/2017/12/are-we-going-too-fast-driverless-cars.

Dimitris Milakis, Bart van Arem and Bert van Wee (2017), "Policy and Society Related Implications of Automated Driving: A Review of Literature and Directions for Future Research," *Journal of Intelligent Transportation Systems*, Vol. 21, No. 4, pp. 324–348; at https://bit.ly/2zSSOgZ.

Adam Millard-Ball (2016), "Pedestrians, Autonomous Vehicles, and Cities," *Journal of Planning Education and Research*, pp. 1-7 (DOI: 10.1177/0739456X16675674); at https://bit.ly/2hhYrxV.

John S. Miller and Di Kang (2019), *Ways to Consider Driverless Vehicles in Virginia Long-Range Travel Demand Models*, Virginia Transport. Res. Council (www.virginiadot.org/vtrc); at https://bit.ly/33C5VBM.

Alexandra S. Mueller, Jessica B. Cicchino and David S. Zuby (2020), *What Humanlike Errors Do Autonomous Vehicles Need to Avoid to Maximize Safety?*, Insurance Institute for Highway Safety (www.iihs.org); at www.iihs.org/topics/bibliography/ref/2205.

Razieh Nadafianshahamabadi, Mohammad Tayarani and Gregory Rowangould (2021), "A Closer Look at Urban Development Under the Emergence of Autonomous Vehicles, *Journal of Transport Geography*, Vo. 94 (https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2021.103113).

NCHRP (2018), *Impacts of Connected Vehicles and Automated Vehicles on State and Local Transportation Agencies*, National Cooperative Highway Research Program (http://trb.org); at https://bit.ly/2dwWddo.

NHTSA (various years), *Automated Vehicles*, National Highway Traffic Safety Administration (www.nhtsa.gov); at https://one.nhtsa.gov/Research/Crash+Avoidance/Automated+Vehicles.

Peter Norton (2021), *Autonorama: The Illusory Promise of High-Tech Driving*, Island Press (https://islandpress.org); at https://bit.ly/3JCo9bm; Michael Lewyn review https://bit.ly/3QnutWk.

Ashley Nunes and Kristen D. Hernandez (2020), "Autonomous Taxis & Public Health: High Cost or High Opportunity Cost?, *Transportation Research Part A*, Vo. 138, pp. 28-36 (doi.org/10.1016/j.tra.2020.05.011).

Ashley Nunes et al. (2021), "Estimating the Energy Impact of Electric, Autonomous Taxis: Evidence from a Select Market," *Environmental Research Letters* (https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac1bd9).

OECD/ITF (2018), *The Shared-use City: Managing the Curb*, Organization for Economic Cooperation and Development and the International Transport Forum (www.itf-oecd.org); at https://bit.ly/2B8hLqG.

Alan Ohnsman (2014), "Automated Cars May Boost Fuel Use, Toyota Scientist Says," *Bloomberg Press*, 16 July 2014 (www.bloomberg.com); at https://bloom.bg/2mDkmAu.

ORNL (annual reports), *Transportation Energy Book*, Oak Ridge National Lab (www-cta.ornl.gov/data).

Enrica Papa and António Ferreira (2018), "Sustainable Accessibility and the Implementation of Automated Vehicles," *Urban Science*, Vo. 2/1 (doi:10.3390/urbansci2010005); at https://bit.ly/2DHjZQz.

PBIC (2017), *Automated and Connected Vehicles, Pedestrians, and Bicyclists*, Pedestrian and Bicycle Information Center (www.pedbikeinfo.org); at www.pedbikeinfo.org/AV.

David Reighmuth (2020), *Are Electric Vehicles Really Better for the Climate? Yes. Here's Why*, Union of Concerned Scientists (https://blog.ucsusa.org); at https://bit.ly/2ZPLku3.

Caroline Rodier (2018), *Travel Effects and Associated Greenhouse Gas Emissions of Automated Vehicles*, UC Davis Institute for Transportation Studies (https://ncst.ucdavis.edu); at https://bit.ly/3iJVlB5.

Shelley Row (2013), "The Future of Transportation: Connected Vehicles to Driverless Vehicles…What Does It Mean To Me?" *ITE Journal* (www.ite.org), Vol. 83, No. 10, pp. 24-25.

SAE (2014), *Levels of Driving Automation Are Defined in New SAE International Standard J3016*, Society of Automotive Engineers (www.sae.org); at www.sae.org/misc/pdfs/automated_driving.pdf.

Bruce Schaller (2017), *Empty Seats, Full Streets: Fixing Manhattan's Traffic Problem*, Schaller Consulting (http://schallerconsult.com); at http://schallerconsult.com/rideservices/emptyseats.pdf.

Susan Shaheen, Hannah Totte and Adam Stocker (2018), *Future of Mobility White Paper*, ITS Berkeley; at https://escholarship.org/uc/item/68g2h1qv.

Shared Mobility Principles for Livable Cities (www.sharedmobilityprinciples.org). Principles to guide decision-makers and stakeholders toward the best outcomes for new mobility options.

Marc Schlossberg, et al. (2018), *Rethinking the Street in an Era of Driverless Cars*, Urbanism Next Research (www.urbanismnext.com); at www.urbanismnext.com/s/Rethinking_Streets_AVs_012618-27hcyr6.pdf.

Brandon Schoettle and Michael Sivak (2014), *A Survey Of Public Opinion About Autonomous And Self-Driving Vehicles*, Transportation Research Institute, University of Michigan (www.umich.edu/~umtriswt).

Brandon Schoettle and Michael Sivak (2016), *Motorists' Preferences for Different Levels of Vehicle Automation*, Transportation Research Institute, University of Michigan (www.umich.edu/~umtriswt).

Faiz Siddiqui, Rachel Lerman and Jeremy B. Merrill (2022), "Teslas Running Autopilot Involved in 273 Crashes Reported Since Last Year," Washington Post (www.washingtonpost.com); at www.washingtonpost.com/technology/2022/06/15/tesla-autopilot-crashes.

Michele D. Simoni, et al. (2019), *Congestion Pricing in a World of Self-Driving Vehicles: An Analysis of Different Strategies in Alternative Future Scenarios*, TRB Annual Meeting; at https://bit.ly/3Kn1EqS.
Tom Simonite (2016), "Prepare to be Underwhelmed by 2021's Autonomous Cars," *MIT Technology Review* (www.technologyreview.com); at https://bit.ly/2PZxH6X.

Michael Sivak and Brandon Schoettle (2015a), *Road Safety with Self-Driving Vehicles*, Sustainable Worldwide Transportation Program (www.umich.edu/~umtriswt), University of Michigan.

Michael Sivak and Brandon Schoettle (2015b), *Potential Impact of Self-Driving Vehicles on Household Vehicle Demand and Usage*, Sustainable Worldwide Transportation Program (www.umich.edu/~umtriswt).

Soheil Sohrabi, Haneen Khreis and Dominique Lord (2020), "Impacts of Autonomous Vehicles on Public Health: A Conceptual Model and Policy Recommendations," *Sustainable Cities and Society*, Vo. 63 (https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102457); at https://bit.ly/3fCbOWs.

Jeff Speck (2017), *Autonomous Vehicles*, United Conference of Mayors; at https://bit.ly/2BE9tcG.

Daniel Sperling (2017), *Three Revolutions: Steering Automated, Shared, and Electric Vehicles to a Better Future*, Island Press (https://islandpress.org).

T. Stephens, et al. (2016), *Estimated Bounds and Important Factors for Fuel Use and Consumer Costs of Connected and Automated Vehicles, Technical Report*, National Renewable Energy Laboratory (www.nrel.gov); at www.nrel.gov/docs/fy17osti/67216.pdf.

Araz Taeihagh and Hazel Si Min Lim (2018), "Governing Autonomous Vehicles: Emerging Responses for Safety, Liability, Privacy, Cybersecurity, and Industry Risks," *Transport Reviews*, at https://bit.ly/2DYQaLd.

Morteza Taiebat, Samuel Stolper and Ming Xu (2019), "Forecasting the Impact of Connected and Automated Vehicles on Energy Use: A Microeconomic Study of Induced Travel and Energy Rebound," *Applied Energy*, Vol. 247, pp 297-308 (https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.03.174).

Stefan Trommer, et al. (2016), *Autonomous Driving: The Impact of Vehicle Automation on Mobility Behaviour*, Institute of Transport Research (www.ifmo.de); at http://bit.ly/2kIAOOQ.

TRB (2017), *Strategies to Advance Automated and Connected Vehicles*, Transportation Research Board (www.trb.org); at www.nap.edu/download/24873.

TRB (2019), *Socioeconomic Impacts of Automated and Connected Vehicles*, European Commission and the Transportation Research Board (www.trb.org); at www.trb.org/Publications/Blurbs/178576.aspx.

Wharton (2017), *The Road Ahead for Connected Vehicles*, Wharton School of Management (http://wharton.upenn.edu); at http://whr.tn/2BqKIuT.

Kea Wilson (2022), *Why Tesla Can Program Its Cars to Break Road Safety Laws*, StreetBlog USA (https://usa.streetsblog.org); at https://bit.ly/3fGTmMg.

WSJ (2017), "Why Your Next Car May Look Like a Living Room," *Wall Street Journal* (www.wsj.com); at http://on.wsj.com/2tlCvYp.

WEF (2020), *Guidelines for City Mobility: Steering Towards Collaboration*, World Economic Forum (www.weforum.org/reports/guidelines-for-city-mobility-2020)
World Bank (2005), *A Framework for the Economic Evaluation of Transport Projects* (www.worldbank.com) ; at https://bit.ly/2wPF7Sg.

Wenwen Zhang and Kaidi Wang (2020), "Parking Futures: Shared Automated Vehicles and Parking Demand Reduction Trajectories in Atlanta," *Land Use Policy*, Vo. 91 (doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.04.024).

David Zipper (2021), *When Cities Say No to New Transportation Technology*, City Lab (www.bloomberg.com/citylab); https://bloom.bg/3ioMpSL.

Déploiement de la mobilité routière automatisée et connectée

Séminaire national collectivités locales – 30 septembre 2022

Fiche : véhicules autonomes : quel avenir dans le Grand Paris ?

Source : APUR, 2018[1]

Les véhicules autonomes apparaissent comme une innovation technologique pouvant transformer le futur des villes. Avec la perspective de transports sûrs, efficaces et accessibles, la mobilité autonome promet non seulement une révolution des modes de déplacement intégrant d'autres modèles économiques, mais également un nouveau mode de vie urbain. Ces avantages sont loin d'être encore garantis. La recherche montre que l'arrivée des véhicules autonomes pourrait s'accompagner de nombreux impacts négatifs. Si l'essor de la mobilité partagée introduit une rupture positive dans les systèmes de transport, il s'accompagne aussi d'effets négatifs, comme l'essor de la mobilité individuelle et du nombre de déplacements, qui pourraient exacerber les phénomènes de congestion et de changement climatique. Concernant l'horizon de mise en service des véhicules autonomes, les rapports d'experts divergent autour d'un large éventail de dates : certains assurant que des niveaux élevés de technologie autonome se généraliseront au cours des deux prochaines années, les autres affirmant qu'une autonomie totale ne pourra jamais être pleinement atteinte. Il existe aujourd'hui une occasion unique de réfléchir aux évolutions du système de mobilité en lien avec les innovations technologiques. À cette fin, cette note, issue d'une étude plus large réalisée par l'Apur[2] en 2018 en lien avec le MIT, s'efforce d'apporter un éclairage sur le cas du Grand Paris au regard du développement des véhicules autonomes. Alors que le gouvernement français autorisera dès 2019, les tests de véhicules autonomes sans conducteur sur routes nationales, le territoire du Grand Paris a déjà vu se multiplier les expérimentations dans ce domaine depuis deux ans.

Des expérimentations pour une mobilité durable dans le Grand Paris

Un nombre croissant d'expérimentations ont lieu dans le monde et en France, autour d'une diversité de véhicules: drones, robotaxis, camions, navettes… Ces expérimentations n'ont pas pour seule fin les progrès technologiques; elles visent également à confronter la société civile à cette technologie, afin de faire évoluer son acceptabilité et de permettre aux acteurs publics de mieux comprendre les potentiels et les impacts d'une telle mobilité. Dans le Grand Paris, en complément des tests déjà menés, d'autres pistes de réflexion, déjà engagées ou qui restent à étudier, identifient des sites intéressants de poursuite d'expérimentations.

- Sur les pôles de mobilité et de logistique déjà identifiés :
  - sur le village olympique et paralympique « Pleyel-Bords de Seine » qui devrait accueillir des navettes autonomes.
  - dans les quartiers d'innovation urbaine (Paris Rive Gauche et Paris Nord) mais aussi sur le site logistique de Rungis Sogaris.
- Sur une partie du réseau des autoroutes et le boulevard périphérique: la consultation internationale sur le devenir du périphérique et des autoroutes urbaines du Grand Paris qui a été lancée à l'été 2018 par le Forum métropolitain sera l'occasion de réfléchir sur les « autoroutes intelligentes de demain », intégrant les véhicules autonomes à trois horizons: 2024 en lien avec les voies olympiques, 2030 et 2050. Quatre équipes internationales sont sélectionnées en septembre 2018 pour aboutir à une exposition à l'été 2019.

[1] https://www.apur.org/fr/nos-travaux/vehicules-autonomes-avenir-grand-paris

[2] Apur, Atelier parisien d'urbanisme, association à but non lucratif créée en 1967 et réunissant 29 partenaires est un lieu d'étude partagé et prospectif multiscalaire. Il documente, analyse et imagine les évolutions urbaines et sociétales concernant Paris, les territoires et la Métropole du Grand Paris

- Sur les quais de Seine: les expérimentations pourraient se développer le long de ce site iconique et notamment sur les quais hauts.
- Dans les territoires à demande de mobilités spécifiques comme les zones aéroportuaires de Roissy et Orly, les zones d'activités et d'emplois (le CBD de La Défense, la plateforme logistique MIN Rungis - Sogaris, le parc du Millénaire, les quartiers de Paris Rive Gauche ou de Paris Nord…).
- Dans les grands espaces verts comme les bois de Boulogne et Vincennes et le parc Georges Valbon.

Vers une approche partagée

Les bénéfices possibles des véhicules autonomes en matière de mobilité doivent être bien identifiés afin de pouvoir accompagner les expérimentations et les technologies à venir:

- l'amélioration de la sécurité routière;
- la diminution de la congestion;
- la réduction de la demande en stationnement;
- le développement des transports publics par une offre complémentaire telle que les navettes autonomes;
- des nouveaux services dans les zones peu denses, mal desservies ou fonctionnant en horaires décalés;
- des modèles économiques plus flexibles comme le « platooning », un système d'agglomération de véhicules en convois et de desserte à la demande;
- des solutions pour la logistique et les services urbains dont la collecte des ordures ménagères; • l'entretien des infrastructures par échanges d'informations avec les véhicules, l'environnement et l'usager.

Il ressort de cette étude un certain nombre d'orientations, qui pourraient être partagées entre les acteurs publics et privés, avec l'objectif d'encadrer et d'accompagner l'innovation technologique:

- la prise en compte de l'exemplarité en matière de durabilité et d'environnement;
- le soutien aux véhicules autonomes les plus capacitaires, collectifs ou partagés y compris sur autoroute, et leur bonne articulation avec les transports en commun;
- le développement de services de mobilité (MaaS) et de portails voyageurs intégrés (billettique, réservation, flexibilité…);
- des réflexions pour un partage et une gestion de la rue visant une plus grande cohabitation des modes selon les différentiels de vitesse (piéton à moins de 10 km/h, vélos et véhicules légers à moins de 20 km/h, véhicules partagés et transports publics à moins de 30 km/h);
- l'optimisation du stationnement, sur rue comme en ouvrage, et la livraison à partir de centres urbains de redistribution intelligents (valet, robot, drone…);
- l'équipement des autoroutes et des espaces publics en « infrastructures connectées » (capteurs de chaussée, panneaux, feux tricolores…) en lien avec la production de cartographies numériques ;
- le soutien au développement d'Open data, aux réseaux robustes d'échange et de flux de données (ITS G5, 4G/5G, Wifi, Lifi…) et aux systèmes de recharge électrique (borne, induction dynamique…).

Ces réflexions s'inscrivent dans une étude plus complète[3] sur la technologie et la réglementation des véhicules autonomes. Au travers d'une analyse réglementaire du contexte français, d'un aperçu des développements technologiques sur les véhicules et les infrastructures, ainsi que d'études de cas faisant références, cette approche croisée permet un aperçu des avantages et des défis accompagnant l'arrivée des véhicules autonomes pour l'avenir des grandes métropoles.

[3] www.apur.org/fr/nos-travaux/impacts-benefices-possibles-vehicules-autonomes-contexte-international-cas-grand-paris

Déploiement de la mobilité routière automatisée et connectée

Séminaire national collectivités locales – 30 septembre 2022

Fiche : approches française, japonaise et coréenne de la mobilité routière automatisé ; aperçu des points communs et des différences[1]

Source : Korea Institute of Science and Technology Evaluation and Planning, 2020

Les véhicules automatisés devraient transformer considérablement le paysage de l'industrie automobile mondiale et l'utilisation des véhicules dans notre société. Les gouvernements de nombreux pays ont mis en œuvre des initiatives nationales pour le développement et le déploiement des véhicules automatisés. Cette étude analyse de manière comparative les politiques du véhicule automatisé nationales en Corée, au Japon et en France.

Les similitudes d'approche entre la Corée, le Japon et la France sont principalement les suivantes :

(1) Le véhicule automatisé a été sélectionné comme domaine stratégique national avec un plan d'investissement en R&D à grande échelle.

(2) L'une des raisons les plus importantes pour le gouvernement de développer les véhicules automatisés est de promouvoir la compétitivité industrielle et de créer des emplois.

(3) Les ministères en charge de l'industrie, des transports et des technologies de l'information et de la communication, ainsi que l'agence nationale de police, sont principalement impliqués dans la formulation des politiques de développement et de déploiement des véhicules automatisés. Le rôle principal est passé d'un ministère en charge de l'industrie à un ministère en charge du transport parce que l'infrastructure routière et les changements dans les systèmes de transport sont devenus des sujets de plus en plus importants à mesure que les technologies ont progressé vers le déploiement des véhicules automatisés.

Les différences à noter sont principalement les suivantes :

(1) Objectifs du développement des véhicules automatisés

- France : améliorer la mobilité pour les trajets domicile-travail, avec un accent sur les zones faiblement peuplées autour des grandes villes.
- Japon : améliorer la mobilité des personnes âgées et des zones rurales, qui manquent de services de transport public, étant donné que le vieillissement de la population et le dépeuplement progressent dans tout le pays (voir l'encadré ci-dessous).
- Corée : promouvoir la croissance industrielle et créer de nouveaux emplois.

(2) Stratégie d'innovation : tech-push versus demand-pull

- La France adopte une approche "demand-pull ", c'est-à-dire qu'elle s'attache à rendre les véhicules automatisés socialement acceptables.
- La Corée, en revanche, adopte une approche axée sur la technologie, en s'attachant à rendre la technologie mature.
- Le Japon adopte une approche mixte, en se concentrant à la fois sur la technologie et sur les applications, étant donné la force de son industrie automobile et le vieillissement et la diminution de sa population.

[1] https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02562482/document

(3) Spécificités des expérimentations et pilotes de véhicules automatisés :

- France et Japon : très actifs dans les tests de navettes automatisées avec de nombreux programmes pilotes.
- Corée : très peu de programmes pilotes de navettes automatisées

(4) Activité de réglementation internationale

- Parmi les trois pays, la France est la plus active dans la formulation de normes/réglementations internationales, suivie du Japon puis de la Corée.

(5) Lien avec la connectivité

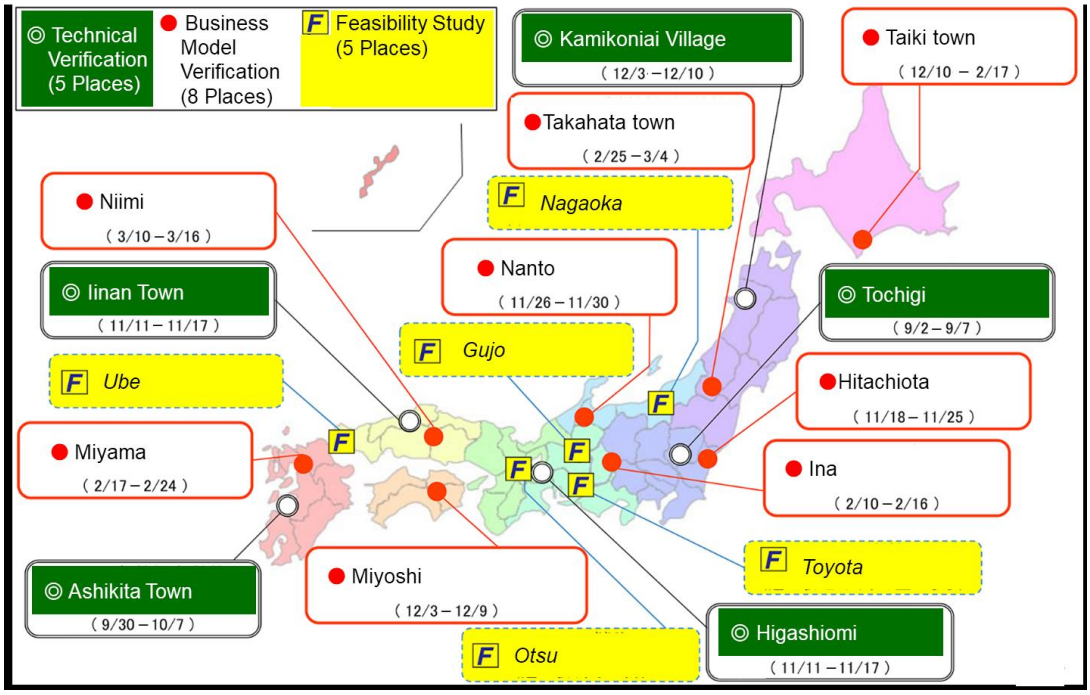
- La France travaille sur le lien entre véhicules automatisés et connectés. Ainsi, les plans de développement des C-ITS sont menés en parallèle aux plans de développement des véhicules automatisés. Cette préférence est relativement peu marquée dans la stratégie sur les véhicules automatisés de la Corée.

Encadré : pilotes de véhicules automatisés et vieillissement de la population dans les zones reculées au Japon

La stratégie japonaise retient, parmi ses défis principaux, la ***question du vieillissement de la population*** au Japon, qui a des impacts à la fois sur la disponibilité de la main d'œuvre pour les transports publics, et sur les nouveaux besoins spécifiques de mobilité, à la fois pour les personnes et les marchandises, ***en particulier dans les zones reculées***, comme les zones montagneuses.

En 2017, le MLIT a lancé des pilotes de services de transport automatisés dans les ***régions montagneuses*** (Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism [MLIT], 2018). Ces pilotes visaient à tester des services de mobilité automatisés centrés à partir d'une base de desserte locale, tels que des aires de services en bord de route, afin de sécuriser les flux de personnes et de logistique dans la région de moyenne montagne adjacente où la population vieillit. Les pilotes visaient à la fois la vérification des performances technologiques et la faisabilité du service et du modèle économique afférent.

Un total de 18 territoires à travers le Japon a été sélectionné, et des services pilotes ont été mis en œuvre dans 13 localités entre septembre 2017 et mars 2018, dont certains ont été prolongés. Seules les personnes présélectionnées pouvaient utiliser les véhicules. Quatre types de véhicules ont été utilisés pour ces pilotes.



Localisation des pilotes de navettes automatisée au Japon, 2019

Déploiement de la mobilité routière automatisée et connectée

Séminaire national collectivités locales – 30 septembre 2022

Fiche : automatisation des transports routiers : enjeux pour les villes et les régions – POLIS, 2018[1]

Principaux enjeux devant retenir l'attention des villes et des régions

Même si le déploiement à grande échelle des véhicules entièrement automatisés (VA) n'est pas attendu avant plusieurs années, les autorités locales devraient dès maintenant anticiper et chercher à influencer les développements.

A. Planification et formulation des politiques publiques

Les investissements réalisés aujourd'hui le sont pour des décennies. Les autorités locales cherchent à s'assurer que les décisions prises aujourd'hui tiennent compte des évolutions futures du secteur des transports, de la démographie et de l'offre et de la demande de déplacements. Il existe de nombreuses incertitudes autour de l'automatisation, notamment le calendrier de développement, et les types d'usages, ce qui rend difficile d'anticiper quand et comment s'y préparer. L'impact est susceptible d'aller au-delà du domaine des transports (fret ; aménagement du territoir). Malgré ces incertitudes, les autorités locales ont la possibilité de réfléchir à la manière dont l'automatisation permettrait d'atteindre leurs objectifs de transport et aux politiques publiques pour y parvenir.

B. Approche holistique de l'automatisation

Une grande partie des développements de l'automatisation se concentrent actuellement sur la technologie et le véhicule particulier. Il est nécessaire d'accorder une plus grande attention aux impacts potentiels sur la politique de mobilité durable et aux cas d'usage où l'automatisation peut apporter une contribution positive aux objectifs de transport durable. La plupart des autorités de transport ne souhaitent pas voir des véhicules particuliers automatisées ou des flottes de mobilité partagée éroder le service de transport public à grande capacité qui fonctionne bien. Cependant, il est possible de construire une offre de transport combinant une grande capacité et des modes individuels, qui réponde aux demandes des usagers et aux objectifs d'accessibilité, d'inclusion et de qualité de vie. Il s'agit d'un débat que les autorités de transport devraient organiser, en collaboration avec les principales parties prenantes telles que les constructeurs automobiles, les fournisseurs de technologie et les prestataires de services de transport.

C. S'assurer de la durabilité des comportements de mobilité

Les autorités sont méfiantes vis-à-vis du potentiel effet des véhicules automatisés qui pourrait être d'augmenter le nombre de déplacements et de kilomètres parcourus, en particulier au vu des politiques actuelles visant à promouvoir les modes durables de transport public, la marche et le vélo. Les autorités locales doivent aujourd'hui réfléchir aux mesures à prendre pour minimiser ce risque. L'arrivée des véhicules automatisés peut dans ce contexte, justifier une accélération des mesures, destinées à développer l'usage des transports publics, du vélo, de la marche ou des véhicules partagés.

[1] https://www.polisnetwork.eu/wp-content/uploads/2019/06/polis_discussion_paper_automated_vehicles.pdf

D. Gestion du changement

Les impacts de l'automatisation et de la connectivité des véhicules, et les nouvelles opportunités de marché qui en découlent, pourraient transformer radicalement l'offre et les comportements de mobilité, ce qui aura un impact sur la demande d'espace routier et l'exploitation des infrastructures routières. Ces évolutions devraient par ailleurs accélérer la « servicisation » des transports routiers, et accélérer les évolutions déjà en cours sur l'autopartage et le covoiturage.

Le rôle du gestionnaire routier est déjà en train d'évoluer, avec la multiplication des services d'information. Une connectivité et une automatisation accrues pourraient altérer la capacité du gestionnaire à gérer le trafic de façon dynamique. Ces modifications des rôles et des responsabilités doivent être envisagées dès maintenant. Il est important que les autorités de transport ne se contentent pas de s'adapter aux nouvelles réalités, mais contribuent à l'élaboration de ce nouveau cadre.

E. Sécurité et sûreté

Les systèmes automatisés devront être conçus de manière à assurer la sécurité. Ceci peut résulter en une conduite très prudente. Ainsi, les véhicules automatisés – et leurs occupants – pourraient devenir des cibles potentielles d'incivilités. Les approches devront tenir compte de ce type d'interactions avec les tiers. De plus, il convient d'attacher une importance particulière aux risques de cybersécurités.

La personne responsable du véhicule devra être identifiée pour chaque trajet, en cas d'accident de la route, afin de s'assurer que le véhicule reste sur les lieux, qu'il puisse être évacué sur instruction de la police et que la police de la circulation puisse considérer/examiner les éléments résultant de l'accident.

Recommandations

a. La conscience des enjeux du développement des véhicules automatisés par les autorités de transport municipales et régionales devrait être accrue afin qu'elles commencent à réfléchir aux politiques nécessaires pour garantir que les impacts de ce développement seront positifs.

b. Un dialogue structuré est nécessaire entre les autorités de transport, l'industrie et les fournisseurs de services sur le déploiement des services, les questions techniques mais également sur le partage des données et la gouvernance.

c. La recherche doit être approfondie sur l'impact des véhicules automatisés en l'environnement urbain.

d. Les niveaux national et européen devraient accorder une attention particulière aux objectifs de mobilité durable dans l'élaboration du cadre réglementaire des véhicules automatisés et encourager la recherche et la coopération multipartite.

Déploiement de la mobilité routière automatisée et connectée

Séminaire national collectivités locales – 30 septembre 2022

Fiche : intégration de la mobilité routière automatisée dans les plans de mobilité urbaine durable

Source : plateforme européenne sur les plans de mobilité urbaine durable - 2019[1]

Bien que le développement de la mobilité coopérative, connectée et automatisée (CCAM) progresse rapidement, les effets réels de cette transition dépendront de la façon dont ce développement s'intègre dans les processus existants de planification de la mobilité urbaine durable.

La plupart des autorités locales européennes font face à de nombreuses incertitudes quant à l'introduction de la CCAM. Certains se demandent si la mise en œuvre de la CCAM tiendra les promesses de réduction de la demande d'espace routier, d'amélioration de la mobilité pour tous et d'amélioration de la sécurité, ou au contraire pourrait amplifier les problèmes de mobilité urbaine auxquels les villes sont déjà confrontées et entraîner une augmentation du nombre de kilomètres parcourus, de l'étalement urbain et des niveaux de congestion.

Analyser comment la mobilité connectée et automatisée pourrait affecter l'ensemble des composantes de la mobilité urbaine durable constitue est un enjeu-clé dans les stratégies de déploiement. Or, de nombreuses collectivités sont dépassées par l'ampleur des incertitudes entourant le déploiement de la CCAM, ce qui se traduit par une dangereuse forme d'inertie. Les autorités locales doivent jouer un rôle central dans le traitement des complexités et des incertitudes éviter cette inertie, avec des approches de planification proactives. La planification de l'introduction de la CCAM le plus tôt possible, permet de minimiser les impacts négatifs potentiels. Les mesures en faveur du partage des véhicules et de la voirie sont prioritaires pour éviter à l'avenir un développement de l'automatisation vers des véhicules individuels en autosolisme, qui pourrait entraîner des conflits entre les utilisateurs de véhicules automatisés et les autres usagers de la route, en raison de besoins opposés de planification et de gestion de l'espace public.

Cela nécessite notamment :

- Une connaissance de la technologie sous-tendant l'automatisation des véhicules, des différents usages fonctionnels et des modèles commerciaux de la CCAM
- Une bonne compréhension des impacts des scénarios de déploiement sur le trafic, la qualité de vie et les parties prenantes impliquées dans la planification des transports locaux.

L'approche stratégique de la planification de la mobilité urbaine durable, constitue un cadre de référence utile dans ce contexte, mais soulève diverses questions (cf. encadré ci-dessous) :

- Plan pour une mobilité durable dans la "ville fonctionnelle"
  - Comment les structures institutionnelles et de gouvernance des collectivités locales doivent-elles évoluer pour faire face à la CCAM ?
  - A quel niveau institutionnel aborder la CCAM pour répondre efficacement au défi ?
  - Comment définir la « ville fonctionnelle » ?
  - Comment prendre en compte le fait que des actions sont nécessaires à des niveaux supérieurs (national, régional), notamment concernant les comportements de déplacement ?
- Développer une vision à long terme et un plan de mise en œuvre clair
  - Comment mettre en place des mesures et des politiques de gestion du déploiement de la CCAM, alors qu'il y a tant d'incertitudes sur le déroulement de ce déploiement ?
  - Comment l'automatisation s'aligne-t-elle sur les objectifs institutionnels et sur la vision de la ville ?
  - Comment la qualité de vie, y compris l'équité et l'accessibilité, dans les villes pourrait-elle être affectée par la CCAM ? Que peuvent faire les villes pour atténuer les problèmes potentiels ?

[1] https://www.eltis.org/sites/default/files/road_vehicle_automation_in_sustainable_urban_mobility_planning_0.pdf

- Évaluer les performances actuelles et futures
  - Comment les villes peuvent-elles développer des scénarios de référence pour le déploiement de la CCAM ?
  - Comment considérer/évaluer les effets de la CCAM sur les flux de trafic et la demande de déplacements ?
  - Comment peut-elle être modélisée ; quelles difficultés d'évaluation ?
- Développer tous les modes de transport de manière intégrée
  - Comment la CCAM est-elle liée et affecte-t-elle chaque mode de transport, et quels changements pourrait-elle apporter à la mobilité et à l'accessibilité urbaines ?
  - Comment évaluer les interactions des véhicules automatisés avec les véhicules conventionnels et les autres usagers de la route, dans un environnement routier mixte ?
  - Comment cela affecte-t-il les modèles commerciaux/d'exploitation des autres modes de transport (tant publics que privés) ?
- Coopérer au-delà des frontières institutionnelles
  - Comment les structures institutionnelles des collectivités locales/régionales doivent-elles évoluer pour faire face à la CCAM ?
  - Quels sont les modèles de coopération et de gouvernance prometteurs pour aborder la CCAM, compte tenu de l'importance croissante de la disponibilité et de la gestion des données ?
- Impliquer les citoyens et les parties prenantes concernées
  - Comment faciliter un dialogue social participatif sur un sujet aussi complexe et technique avec tant d'incertitudes ?
  - Comment permettre une discussion efficace/bénéfique autour de l'automatisation, compte tenu des faibles niveaux de sensibilisation et de connaissance du sujet, et de la complexité de la gestion des ambiguïtés associées ?
  - Quelles sont les parties prenantes qui devraient être impliquées dans la planification de la CCAM et des nouveaux services de mobilité, par exemple les prestataires de services CCAM ? Et comment les autorités devraient-elles s'engager avec eux ?
  - Comment les nouveaux marchés peuvent-ils répondre efficacement aux besoins des citoyens ?
- Organiser le suivi et l'évaluation
  - Compte tenu du degré élevé d'incertitudes, comment considérer la CCAM dans l'évaluation des transports aujourd'hui ?
  - Quels indicateurs mesurent-ils le mieux l'impact de la CCAM, en fonction des objectifs politiques de chaque ville ?
- Assurer la qualité
  - Comment planifier efficacement et prendre des décisions éclairées sur un sujet incertain et encore en développement ?
  - Comment anticiper les innovations (avant même leur déploiement) ?
  - Comment s'assurer que le déploiement de la CCAM et les services de mobilité qui en découlent sont conformes aux objectifs globaux de planification de la mobilité urbaine durable ?

Compte-tenu de ces diverses questions, et du caractère encore peu mature de la thématique, plusieurs pistes sont de nature à favoriser l'engagement des collectivités dans une démarche d'intégration de l'automatisation dans les plans de mobilité urbaine durable :

- Définir l'engagement initial
- Mettre en place des structures de travail dédiées
- En savoir plus sur les expériences précédentes
- Utiliser une approche participative dès le début
- Analyser la situation, les problèmes et les opportunités de mobilité, en intégrant les solutions CCAM au panel de solutions possibles
- Définir la vision, les stratégies et les scénarios ; évaluer les avantages et les risques attendus
- Évaluer les ressources nécessaires et disponibles
- Identifier et négocier les arrangements institutionnels nécessaires
- Convenir d'objectifs mesurables

Déploiement de la mobilité routière automatisée et connectée

Séminaire national collectivités locales – 30 septembre 2022

Fiche : base de connaissance européenne ARCADE

ARCADE est une action de coordination financée par le programme Horizon 2020 de la Commission européenne, visant à établir un dialogue entre les parties prenantes de tous les secteurs sur le déploiement de la conduite connectée, coopérative et automatisée (CAD) en Europe et au-delà. Elle vise notamment :

- La coopération entre les parties prenantes européennes et internationales.
- La coordination des efforts et initiatives de recherche et d'innovation, ainsi que les activités de coopération internationale.
- Les synergies et la recherche de consensus sur les scénarios de déploiement et les besoins de recherche pour la conduite connectée et automatisée.
- Les change de connaissances et d'expériences issues des activités de recherche et d'expérimentation aux niveaux national, européen et international.

Au-delà du consortium lui-même (cf. ci-dessous 1), ARCADE fédère un réseau de parties prenantes sur la conduite automatisée et connectée, à travers l'organisation d'ateliers réguliers et la co-organisation, avec la Commission européenne, des conférences EUCAD. Ce réseau permet d'échanger des connaissances et des expériences, de créer des synergies et d'adopter une approche commune du développement, des tests et de la validation de la conduite connectée et automatisée. Dans ce contexte, ARCADE consolide la base européenne de connaissances de la conduite connectée et automatisée, dont la structure est la suivante :

Thèmes	***Sous-thème***
Projet de R&I	- Description du projet - Enseignements tirés - Sites d'essai
Domaines thématiques	- Besoins politiques et réglementaires, harmonisation européenne - Évaluation socio-économique et durabilité - Validation de la sécurité et contrôle technique - Sensibilisation des utilisateurs, acceptation par les utilisateurs et la société et éthique, formation des conducteurs - Infrastructure numérique et physique - Facteurs favorables à la technologie embarquée - Big Data, IA et leurs applications - Nouveaux services de mobilité, économie partagée et modèles commerciaux - Facteurs humains - Connectivité - Déploiement, production et industrialisation - Fret et logistique
Règlements et politiques	- Niveau national - Niveau européen - Au niveau mondial
Stratégies et plans d'action	*(de niveau Etat ou européen, ou d'une filière)*
Normes	- Organismes de normalisation - Collection de normes - Ressources et publications - Lacunes et recommandations - Contribution des projets européens à la normalisation de la CAO

Directives et méthodologies d'évaluation	- FESTA - Cadres d'évaluation d'impact - Catalogues Wiki - Boîte à outils pour les matériaux de test et d'évaluation de la conduite automatisée - Modélisation de la dynamique du système des impacts de la CAO - Liste de surveillance des projets de méthodologie - Lacunes à combler dans la méthodologie d'évaluation commune
Partage des données	- Méthodologie - Cadre de travail - Diffusion - Catalogue de données - Stockage et accès - Dépôts électroniques - Anonymisation - Formats de données communs
Glossaire	
Actualités, évènements	
Blog VIP	
FAQ	

Encadré : composition du consortium d'Arcade

COMMISSION EUROPÉENNE

PROGRAMME HORIZON 2020

SUJET D'APPEL DT-ART-02-2018 : SOUTIEN AUX ACTIVITÉS DE RÉSEAUTAGE ET D'ANALYSE D'IMPACT POUR L'AUTOMATISATION ROUTIÈRE

Aligning Research & Innovation for Connected and Automated Driving in Europe

Traduction FR DGITM

Micro-FESTA pour les projets pilotes CCAM

Niveau de diffusion publique	Public
Auteur(s) principal(s)	Yvonne Barnard (Université de Leeds), Sami Koskinen (VTT), Isabel Wilmink (TNO), Laura Sanz (IDIADA), Antonio Mesones (IDIADA)
Statut	Définitif
Version	2.0, août 2021
Mots-clés Mobilité connectée	Coopérative et automatisée, Méthodologie d'évaluation, Projets pilotes, Essais opérationnels sur le terrain, FESTA

Traduction FR	V01, septembre 2022 (FR/DGITM/DMR/TUD/VA - A. Audigé)

This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No 824251

Table des matières

Abréviations 3
Résumé 4
1. Introduction 5
1.1. Le besoin de Micro-FESTA 5
1.2. ARCADE 6
2. La méthodologie FESTA 7
2.1. FESTA V 7
2.2. La nécessité d'une méthodologie commune 8
3. Micro-FESTA 9
3.1. Préparation (preparing) 9
3.2. Utilisation (using) 10
3.3. Analyse (analysing) 11
3.4. Rendre les données et les résultats disponibles pour les autres 12
4. Recommandations supplémentaires pour les petits projets pilotes CCAM 13
4.1. Buts 13
4.2. Tests et analyses 13
4.3. Partage 13

Traduction FR/DGITM

This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No 824251

Abréviations

Thème	Description
ARCADE	Projet UE H2020-DT-ART-2018-2019/H2020 CSA Aligner la recherche et l'innovation pour les technologies connectées et Conduite automatisée en Europe, numéro GA 824251 (Aligning Research and innovation for Connected and Automated Driving in Europe)
CCAM	Mobilité connectée, coopérative et automatisée (connected, cooperative and automated mobility)
FOT	Test opérationnel sur le terrain (field of test)

Traduction FR/DGITM

This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No 824251

Résumé

Ce document présente Micro-FESTA, une méthodologie compacte pour soutenir les petits projets pilotes de mobilité connectée, coopérative et automatisée (CCAM).

Micro-FESTA est basé sur le manuel FESTA, plus complet. Les petits projets pilotes, ciblés par Micro-FESTA, peuvent ne pas avoir la portée ou les ressources nécessaires pour justifier l'utilisation de la méthodologie complète FESTA.

FESTA traite des tests à grande échelle en lien avec les questions de recherche afin d'évaluer scientifiquement les avantages sociétaux d'un système testé. Dans le cadre des FOT, les utilisateurs essayent les systèmes dans leur vie quotidienne sur une période de plusieurs mois.

Ce niveau de tests n'est pas nécessairement la cible des projets pilotes. Les tests pourraient être liés à des petites zones opérationnelles en raison des coûts d'infrastructures et d'exigences ne pouvant durer qu'une courte période à la fois. Cependant, les petits projets pilotes peuvent offrir une contribution significative à la collecte de connaissances sur les effets de l'automatisation routière.

Les principes généraux sur lesquels repose la méthodologie FESTA, ainsi que ses recommandations pratiques, sont adaptés pour les petits projets. FESTA propose un cadre avec des définitions, des catégories et des exemples élaborés. Il fournit des listes de contrôle utiles pour toutes les phases d'un projet d'essai sur le terrain et aborde les meilleures pratiques des projets passés. FESTA a déjà été utilisé avec succès dans des projets pilotes de différentes tailles, fournissant à la fois une structure scientifique et des méthodes efficaces pour exécuter les tests.

Ce document donne un aperçu des principales étapes de la méthodologie FESTA (complète) et des rôles dans les tests à petite échelle. Ce document peut également être utilisé comme une première introduction à la méthodologie FESTA complète.

Traduction FR/DGITM

This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No 824251

1. Introduction

1.1. Le besoin de Micro-FESTA

De nombreux projets se sont récemment lancés pour tester mobilité connectées et automatisées (CCAM). Les tests de conduite automatisés se ramifient progressivement des pistes d'essai à un public plus large. Les projets vont de grandes opérations de terrain européennes test aux pilotes à petite échelle. Ce document cible les efforts à plus petite échelle, principalement géré par quelques organisations et se déroulant dans une seule ville.

Afin de soutenir l'évaluation des systèmes avancés d'aide à la conduite et d'autres véhicules technologies de l'information et de la communication, la méthodologie FESTA pour les FOT a été développé en 2008 et mis à jour plusieurs fois. Cependant, FESTA se concentre sur les FOT de grande échelle, et pour les petits projets pilotes, une version plus condensée a été jugée utile. Une première version de Micro-FESTA a été publiée (en anglais) en 2016. Une mise à jour (en anglais) a eu lieu en 2021. Ce document est une traduction réalisée en 2022 du document produit en 2021.

Les petits projets pilotes n'ont pas la portée ou les ressources nécessaires pour tirer pleinement parti des approches FESTA (complet). Au lieu de considérer d'abord une large carte des impacts potentiels à l'échelle de la société et questions de recherche connexes, comme dans FESTA et les efforts à l'échelle de l'UE, les petits projets sont généralement définis avec quelques objectifs pratiques et opérationnels, qui peuvent être assez vagues. Les projets pilotes ciblent généralement une approche « apprendre en faisant » (learning by doing), maximisent le nombre d'utilisateurs ou la durée de leurs tests, tirent le meilleur parti de leurs ressources. Outre la collecte des résultats des tests, les projets visent également à promouvoir les nouvelles technologies et à les faire découvrir à un plus large public. La portée des tests doit être choisie de manière à ce que les tests puissent fonctionner sans problème et une bonne expérience utilisateur et un bon support peuvent être obtenus.

Les petits projets pilotes peuvent apporter une contribution intéressante à la collecte de connaissances sur les effets de l'automatisation routière. Les tests nationaux et locaux traitent souvent de problèmes pratiques de déploiement qui peuvent ne pas figurer dans les programmes de recherche au niveau de l'UE, compte-tenu de la granularité.

Il y a cependant plusieurs questions que tous les projets devraient aborder :

Premièrement, il y a la question de savoir pourquoi vouloir connaître les impacts des CCAM pour les questions politiques et stratégiques. Il faut évaluer ce que voudraient faire les décideurs politiques et les parties prenantes avec les résultats. La connaissance des impacts est nécessaire pour que plusieurs parties prenantes puissent prendre des décisions où investir, savoir quoi subventionner, savoir quoi autoriser et ce qui devrait être interdit. Du côté de l''industrie, ces connaissances les aident à élaborer des plans d'affaires et à déterminer comment ces nouvelles technologies et services peuvent être déployé.

Deuxièmement, se pose la question de savoir quand nous sommes convaincus que les résultats positifs et négatifs sont dignes de confiance, c'est la question de la preuve. Il y a plusieurs réponses à cela :

Nous pourrions examiner l'acceptation par les utilisateurs et la société. L'automatisation répond-elle aux besoins des utilisateurs et leurs préférences ? Le grand public est-il prêt à adopter ces nouveaux modes de transport et à changer leur mobilité ? L'automatisation contribuera-t-elle à améliorer l'habitabilité des villes et des régions ?

Traduction FR/DeIM

This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No 824251

Une autre façon de répondre à la question consiste à examiner le côté commercial : les modèles industriels visant le profit, les gouvernements doivent-ils subventionner le développement technologique et la mise en œuvre ?

Des vérifications de preuves scientifiques peuvent être réalisées : peut-on trouver des preuves que les promesses concernant, par exemple, l'amélioration de la sécurité ou de la mobilité sont tenues ? Cela nous amène à la question suivante : comment étudions-nous les effets, en d'autres termes, la question de la méthodologie à adopter.

Les projets pilotes et les FOT partagent en effet les principaux éléments méthodologiques : définition du ou des tests, mise en place de la collecte des données, recrutement des utilisateurs, analyse des données et prise en compte des résultats avec les parties prenantes. L'utilisation de FESTA peut stimuler les projets pilotes dans de nombreuses phases. En particulier, la réutilisation d'outils et de modèles existants et l'apprentissage des meilleures pratiques peuvent considérablement accélérer la préparation des tests. FESTA propose un cadre scientifique avec ses méthodes, ses catégories et définitions. Il fournit des directives pratiques pour chaque étape du test et aide à définir une configuration claire et, espérons-le, obtenir des résultats valides et faciles à comprendre.

Ce document présente les points clés de la méthodologie FESTA et explique comment ils peuvent bénéficier aux petits projets. Micro-FESTA peut également être utilisé comme document d'entrée pour les personnes qui sont nouvellement impliqués dans l'évaluation des systèmes automatisés et auront à appliquer la méthode FESTA complète.

1.2. ARCADE

Ce document a été réalisé par le consortium ARCADE. ARCADE est une Coordination et Action de soutien dans le cadre du programme Horizon 2020 Défis sociétaux – intelligents, verts et transport intégré – Grant Agreement Number 824251. La mission d'ARCADE est de coordonner la recherche de consensus entre les parties prenantes pour un déploiement rationnel et harmonisé des systèmes de conduite connectée et automatisée (CAD : connected and automated driving) en Europe et au-delà. ARCADE soutient l'engagement de la Commission européenne, des États membres européens et l'industrie à développer une approche commune du développement, des tests, de la validation et déploiement des CCAM en Europe et au-delà.

ARCADE implique 23 partenaires de 11 États membres de l'UE, 55 partenaires associés (accords signés au 1er juin 2020) et de nombreux abonnés (newsletter, autres intérêts, adhésion workshops), formant conjointement le réseau CAD d'experts européens et d'acteurs du secteurs public, industriel et de la recherche, avec un rayonnement international. Les partenaires associés peuvent être des organisations du secteur privé ou public, de la recherche, des associations d'acteurs ou experts individuels. ARCADE a débuté le 1er octobre 2018 pour une durée de trois ans.

Traduction FR/DGITM

This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No 824251

2. La méthodologie FESTA

2.1. FESTA V

Le manuel FESTA s'appuie sur l'expérience et les connaissances de nombreux FOT passés. La dernière version de FESTA est accessible sur :

https://www.connectedautomateddriving.eu/methodology/festa/.

Les FOT sont définis comme :

Une étude entreprise pour évaluer une fonction, ou des fonctions, dans des conditions normales d'exploitation, dans des environnements de circulation routière généralement rencontrés par les participants, en utilisant une méthodologie d'étude afin d'identifier les effets et les avantages réels.

La première version du manuel a été créée par l'action de soutien européenne FESTA (Field opErational teSt supporT Action, action de soutien des FOT, 2007-2008). Le manuel a depuis été fréquemment mise à jour par la communauté FOT-Net et a fait l'objet d'un suivi des actions de coordination et de soutien par CARTRE et ARCADE.

Le manuel donne des conseils pratiques sur la façon de mettre en place et de mener des FOT et sur la façon d'analyser les résultats. Il propose et préconise une approche systématique axée sur la recherche. La méthodologie FESTA est résumée par la schématisation FESTA V présentée en figure 1.

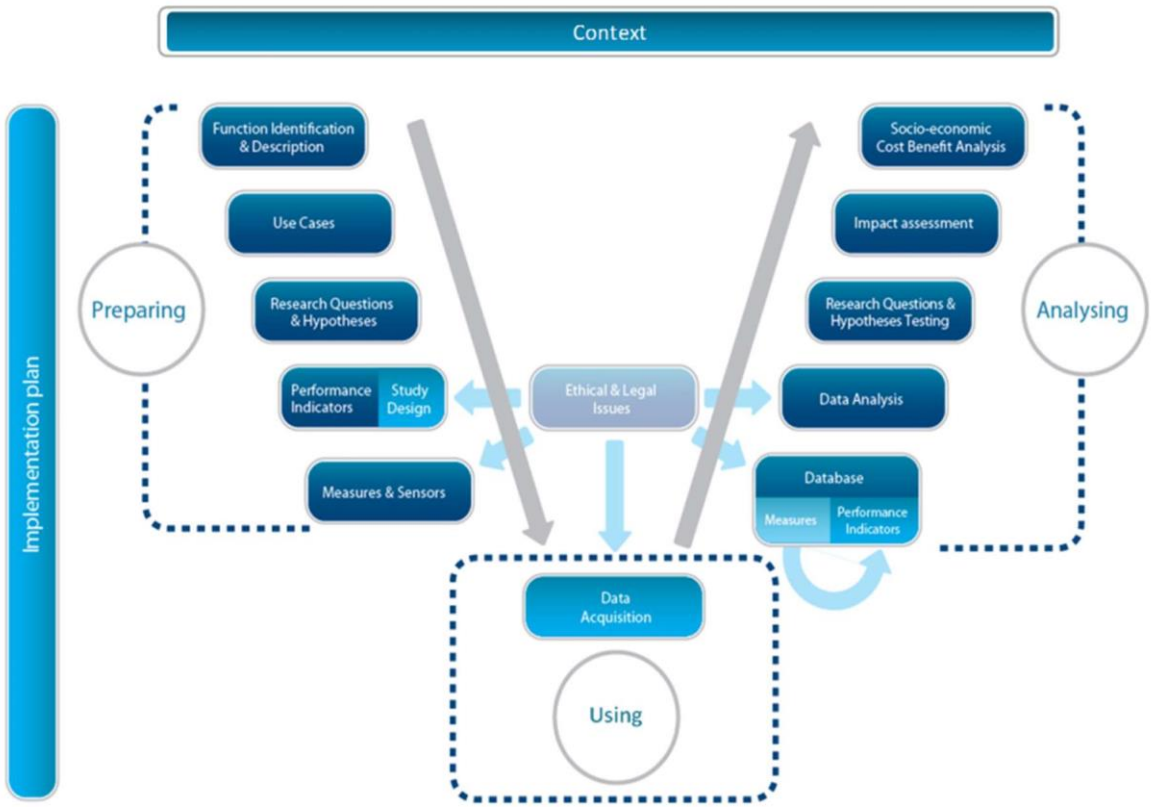


Figure 1 : FESTA V

This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No 824251

PRÉPARATION (PREPARING) : Les étapes sur le côté gauche du FESTA V soulignent que la recherche doit commencer de la compréhension des systèmes testés et de la définition des principales questions de recherche. Communément les questions de recherche prioritaires convenues et les plans et méthodes de test sont essentiels pour une collaboration efficace entre partenaires. Clarifier les objectifs et engager l'équipe dès le début se révèle rentable en fin de projet.

Les questions de recherche conduisent à des besoins en données et à des indicateurs de performance connexes, et à la manière de collecter ces éléments.

UTILISER (USING) : Gérer des flottes de véhicules et recruter des sujets de test afin de collecter des données est une étape importante. Les données doivent être exemptes d'erreurs majeures et bien documentées pour étayer l'analyse post par plusieurs personnes. En outre, il faut assurer la sécurité et la confidentialité des sujets de test et maintenir confidentialité concernant les secrets commerciaux des produits testés. Avant que les tests ne puissent vraiment commencer, une phase de pré-test (pilotage) est nécessaire pour s'assurer que tout fonctionnera correctement et sans accroc.

ANALYSER (ANALYSING) : Les données de mesure, les observations et les entretiens sont utilisés pour conclure sur les questions et les hypothèses de recherche. Les effets identifiés dans les tests sont également pris en compte dans une perspectives plus larges de la société et des parties prenantes. Les résultats sont à mettre à l'échelle : qu'est-ce qui changerait, si le nouveau système ou service testé gagne en popularité, par exemple. Enfin, une analyse coûts-avantages peut clarifier la valeur monétaire des avantages identifiés par rapport aux coûts.

2.2. La nécessité d'une méthodologie commune

Une méthodologie commune adoptée par les projets présente des avantages majeurs, permettant de comparer des résultats entre les FOT, fournissant un vocabulaire commun et améliorant la communication entre les acteurs impliqués dans les FOT. La méthodologie FESTA n'est pas rigide ; elle est adaptable et maintenue en vie par l'échange d'expériences et les leçons apprises des projets ayant utilisé la méthodologie. Pour les études d'automatisation, une méthodologie commune est importante, car les parties prenantes ne sont pas seulement intéressées par les résultats des projets individuels, mais aussi par les connaissances sur les impacts plus larges que l'automatisation.

La méthodologie FESTA met fortement l'accent sur la définition des questions de recherche et hypothèses, inspirées des domaines d'impact traditionnels des technologies d'information et de communication des véhicules : sécurité, mobilité, environnement et efficacité. Avec de nouvelles fonctions permettant de nouveaux concepts et services de mobilité, les zones d'impact deviennent plus larges. Les couvrir nécessite de considérer plusieurs questions de recherche d'intérêt pour les parties prenantes.

Dans les années à venir, de nouvelles méthodes seront développées pour évaluer différents aspects des CCAM. Ce document peut fonctionner comme un aperçu concis de la méthodologie FESTA, permettant de percevoir facilement quels éléments généraux et lignes directrices de FESTA sont utiles et où l'innovation et de nouvelles méthodes sont nécessaires.

Traduction FR/DGITM

This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No 824251

3. Micro-FESTA

Le manuel FESTA (complet) dans lequel la méthodologie est décrite en détail se compose d'environ 200 pages. Comme la méthodologie a été développée pour les FOT à grande échelle, elle est probablement trop détaillée pour les débutants ou pour de petits projets. Cependant, il y a beaucoup d'informations pratiques du manuel qui sont utiles pour atteindre certaines étapes d'un projet. Le manuel notamment comprend le plan de mise en œuvre FOT (FOTIP : FOT Implementation Plan), qui peut servir de liste de contrôle. Il met en évidence les principales activités et tâches qui devraient normalement être entreprises pour mener à bien le projet et demeurer sensibilise aux problèmes critiques.

L'approche Micro-FESTA utilise les trois phases principales du FESTA V et définit leurs utilisations dans des projets pilotes :

1. Préparation (preparing) :
   - Définir le pilote : définir les fonctions, les cas d'utilisation, les questions de recherche et hypothèses
   - Préparation du pilote : détermination des indicateurs de performance, conception de l'étude, mesures et capteurs, et recruter des participants
2. Utilisation (using) :
   - Conduite opérationnelle du pilote : collecte de données
3. Analyse (analysing) :
   - Analyser les données : Stocker et traiter les données, analyser les données, répondre aux questions de recherche
   - Détermination de l'impact : évaluation de l'impact et scénarios de déploiement, analyse coûts-avantages

3.1. Préparation (preparing)

Définir le pilote : définir les fonctions, les cas d'utilisation, les questions de recherche

Dans la première étape, le pilote est défini. Les principales questions à aborder sont ce qui sera évalué et comment cela sera-t-il fait ? Les sous-étapes suivantes peuvent être distinguées :

a. Sélection des **fonctions** à tester : définir si certaines fonctions (automatisées) sont testées, ou le fonctionnement de l'ensemble du véhicule et/ou du service automatisé.
b. Définir les **cas d'usage et les situations** dans lesquelles ces fonctions opèrent : définir dans quelles conditions et situations le véhicule conduit de manière automatisée.
c. Identifier les **questions de recherche** : quelles sont les questions auxquelles le pilote doit répondre. La définition des questions de recherche est généralement un processus difficile et itératif, car de nombreux des questions autour de l'automatisation peuvent être posées, mais toutes les questions ne peuvent pas être résolues par un seul pilote. L'implication des parties prenantes est cruciale dans la priorisation : quel type de questions pensent-ils être de la plus haute priorité? Les questions de recherche sont étroitement liées aux domaines d'impact qui intéressent le pilote, tels que la sécurité, la mobilité, l'efficacité, l'environnement, le modèle économique ou le fonctionnement technique. Les projets industriels peuvent mettre en évidence des changements dans les pratiques et les processus de travail plutôt que dans l'efficacité du trafic. Les projets doivent avoir une orientation claire pour guider le travail et engager l'équipe et les parties prenantes.

Traduction FR/DGITM

This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No 824251

Préparation du pilote : Détermination des indicateurs de performance, conception de l'étude, mesures et capteurs et recruter des participants

Dans cette étape, le pilote est préparé. La principale question est de savoir comment mettre en place le pilote afin de pouvoir répondre aux questions de recherche ? Il est souvent nécessaire de revenir à l'examen des questions de recherche. Les sous-étapes suivantes peuvent être distinguées :

a. Définir des **indicateurs et des mesures de performance** : définir quels indicateurs doivent être utilisé pour répondre aux questions de recherche et comment les mesurer. Par exemple, l'indicateur de performance pourrait être un degré élevé d'acceptation par les utilisateurs, mesuré avec questionnaire d'acceptation de la technologie. Les exemples d'indicateurs de performance sont largement disponibles dans les publications d'évaluation d'impact et FESTA.
b. Définir le **design de l'étude**, ou en d'autres termes, les procédures à suivre : déterminer les aspects pratiques du pilote, où se déroulera le pilote, pour combien de temps, qui doit être impliqué. Le « combien de temps » et le « combien » doivent être pris en compte pour définir les données à récolter et suffisamment de données doivent être prévues pour l'analyse. Les aspects éthiques et juridiques doivent être pris en considération : tels que la sécurité, la confidentialité et bonnes pratiques de recherche. Si des autorisations sont nécessaires, anticiper les temps nécessaires qui peuvent être longs.
c. Définir les **outils et les capteurs** : quels types d'outils et de capteurs doivent être utilisés pour les mesures? Ceux-ci pourraient par exemple être des capteurs dans le véhicule collectant des données sur les performances de conduite, des vidéos pour étudier l'interaction avec les autres usagers de la route, ou des instruments qualitatifs tels que des questionnaires utilisateurs. Pour les petites études, il est important de déterminer quelles données peuvent être collectées dans les limites des ressources disponibles, de préférence en utilisant des produits existants.
d. Définir et recruter les **participants** : qui sont les utilisateurs à impliquer dans le pilote ? Le recrutement n'est pas une mince affaire, surtout si l'échantillon d'utilisateurs doit être équilibré ou un groupe cible spécifique est recherché (par exemple, les familles). Un formulaire de consentement doit être préparé pour les participants afin de convenir de l'utilisation des données personnelles et des précautions de sécurité. Il est recommandé d'utiliser les modèles et les listes de contrôle existants, mais les conseils juridiques seront généralement requis pour finaliser les formulaires. Néanmoins, les formulaires doivent demeurer brefs et facilement lisibles.

3.2. Utilisation (using)

Conduite du pilote : Collecte de données

Lorsque la conception pilote est terminée, les données peuvent être collectées conformément au plan. Les sous-étapes suivantes peuvent être distinguées :

a. **Pré-tester toutes les procédures** : même avec le pilote le plus soigneusement défini, des difficultés invisibles a priori peuvent survenir. Essayer le pilote en conditions réelles est essentiel pour savoir ce qui marche et où des améliorations doivent être apportées. Des tests préalables appropriés garantissent que tout est prêt à exécuter le pilote. En particulier lors des tests de systèmes prototypes et services, affiner l'expérience utilisateur et la configuration et la stabilité du système pourraient durer plusieurs mois, car il s'agit peut-être de la première tentative d'opérations de longue durée. C'est bien d'être critique lors des essais, car la mauvaise expérience utilisateur n'est l'objectif de personne. Lors des pré-tests, les méthodes de gestion et d'évaluation des données doivent également être testées : des exemples de

Traduction FR/DGITM

This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No 824251

calculs doivent être fait pour s'assurer que les données collectées peuvent produire des résultats.

b. **Réaliser le(s) test(s), collecter les données** : les procédures de test sont maintenant exécutées selon le plan avec de vrais utilisateurs. Gardez un journal sur ce qui s'est passé pendant le pilote et les problèmes rencontrés : tout ce qui peut affecter l'analyse des données ultérieurement. Par exemple, les conditions météorologiques ou de circulation extrêmes, ou les pannes de système. Les changements de versions du système testé sont également importants à documenter. Les grands changements à l'essai des systèmes doivent en particulier être évités pendant les tests principaux pour éviter des difficultés inutiles dans l'analyse des données, plus tard, lors des comparaisons.

3.3. Analyse (analysing)

Analyser les données : Stocker et traiter les données, analyser les données, répondre aux questions de recherche

L'ensemble de données collectées est analysé afin de pouvoir répondre aux questions de recherche. Les sous-étapes suivantes peuvent être distinguées :

a. **Stockage et gestion des données** : les données doivent être stockées de manière sûre et sécurisée en tenant compte des règles de protection des données et de la vie privée (RGPD). Même dans les petits projets, les ensembles de données peuvent devenir volumineux et plusieurs organisations peuvent être impliquées. Il est recommandé prendre en compte les aspects de gestion des données dès le début du projet : potentiel d'utilisation de services cloud, nécessité d'accords, droits d'accès, etc. Le format des journaux de données doit être considéré du point de vue des outils d'évaluation disponibles qui pourraient rendre le travail plus facile et des analyses plus complètes.
b. **Documenter** les données : il est important que suffisamment de détails sur les données et les étapes de post-traitement soient documentées pour être utilisées plus tard et par d'autres personnes que celles qui a collecté les données.
c. **Calcul des indicateurs** : Avec les CCAM, les ensembles de données peuvent être volumineux et complexes à traiter. Un logiciel de calcul des indicateurs paramétrable à partir des fichiers journaux peut devoir être requis. Les véhicules automatisés peuvent avoir besoin de fonctionnalités de journalisation qui fournissent des informations binaires sur la situation (par exemple, la détection des piétons) qui simplifieront le traitement des données. Les grands projets de recherche financés par des fonds publics mettent à disposition certains outils et formats de données, qui valent la peine d'être considérés.
d. **Analyser** les données : selon le type de données et les questions auxquelles il faut répondre les données doivent être analysées à l'aide de méthodes statistiques et/ou descriptives. Des spécialistes peuvent être requis pour effectuer ces traitements.
e. **Répondre aux questions de recherche et présenter les résultats** : l'analyse des données apportera des réponses aux questions de recherche posées et devront être présentées sous une forme compréhensible pour les non-experts, en particulier les parties prenantes.

Détermination de l'impact : Analyse d'impact et scénarios de déploiement, analyse socio-économique coûts-bénéfices

La dernière phase consiste à déterminer les impacts plus larges que le pilote et comment les résultats pourraient être utilisés pour développer des modèles économiques. Des résultats d'analyse de données clairs sont attendus : identifier les changements, avantages, inconvénients. Les étapes suivantes peuvent être suivies :

Traduction FR/DGITM

This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No 824251

a. **Mise à l'échelle des résultats** : déterminer ce que signifient les résultats pour une utilisation plus large du système ou service dans d'autres domaines. Cette évaluation nécessite généralement des données statistiques détaillées (par exemple, données sur les accidents, chiffres de performance) concernant l'état actuel des choses. Les impacts plus larges des effets précédemment identifiés peuvent être extrapolés à l'aide de divers modèles et méthodes : au moins en utilisant des simulations, des modèles mathématiques et des mécanismes d'impact (un changement dans quelque chose entraîne des changements ailleurs, effet papillon), l'analyses de scénarios futurs (diverses options peuvent être envisagées, par exemple des années cibles, des taux de pénétration de la flotte, du soutien à la réglementation) et les approches instantanées (ce qui changerait si le système était immédiatement mis en service). Quel que soit la méthode choisie, il est important que les étapes logiques et les hypothèses utilisées dans la mise à l'échelle restent transparents. Même au niveau où les hypothèses ou les facteurs utilisés pourraient être réexaminés ultérieurement, si de meilleures estimations devenaient disponibles.
b. **Analyse coûts-bénéfices** : comparer les coûts et les avantages du déploiement du service. Il peut-être mesuré en termes monétaires mais aussi en termes qualitatifs.
c. Effectuer une **analyse des parties prenantes** : définir qui bénéficiera potentiellement du déploiement des systèmes et quels sont les avantages pour ce groupe. Considérez les rôles des différentes parties prenantes. Les parties prenantes peuvent être des pouvoirs publics, des industriels (fabricants et prestataires de services) et des utilisateurs finaux. Il peut être utile d'organiser des ateliers avec les parties prenantes, présentant et discutant des résultats et des potentiels impacts, avantages. Cette étape est importante en fin de projet pour les déploiements objectifs, mais la participation des parties prenantes est également nécessaire au début et pendant projet pour assurer l'adhésion des parties prenantes.
d. Développer **des modèles commerciaux et de déploiement** : avec les parties prenantes, déterminer comment le système ou le service peut être déployé à l'avenir, qui aura à investir pour réaliser une utilisation plus large ou mettre le système ou le service sur le marché. Envisager les actions à entreprendre par les parties prenantes et pour développer les feuilles de route.

3.4. Rendre les données et les résultats disponibles pour les autres

Afin de pouvoir contribuer à une vision plus large de l'impact de l'automatisation des routes, les recommandations suivantes doivent être prises en considération :

- **Partage des données** : rendre les données disponibles pour des recherches ultérieures, en veillant à ce que ces données soient *anonymisées* et non-confidentielles. Rechercher une collaboration gagnant-gagnant, par exemple avec partenaires académiques, pour obtenir plus de résultats d'analyse à partir du même ensemble de données.
- **Documenter** la conception de l'étude, le processus de collecte de données, les données et les résultats de manière à ce que d'autres puissent comprendre ce qui a été fait et soient en mesure de le réutiliser les informations. Il est également utile de documenter les principaux enseignements tirés de l'organisation des tests et des recommandations pour de futurs projets similaires.
- **Faire connaître** les résultats et les principaux documents à un public plus large. C'est le rôle des pilotes et des FOTs de fournir les premiers résultats concrets de l'utilisation des nouvelles technologies et de présenter les mesures à prendre avant un déploiement complet.

Traduction FR/DGITM

This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No 824251

4. Recommandations supplémentaires pour les petits projets pilotes CCAM

Il y a des leçons à tirer des projets pilotes menés ces dernières années, y compris les petits projets. Dans cette section, nous donnons une courte liste de recommandations qui peuvent être utiles pour de nouveaux projets. Trois types de recommandations peuvent être distinguées, liées à (i) la définition des objectifs au début du projet, (ii) la définition et la réalisation des tests, et (iii) le partage des résultats avec d'autres.

4.1. Buts

- Fixez des objectifs clairs pour le projet pilote et clarifiez les rôles des partenaires.
- Trouver un bon équilibre entre le développement technologique et l'identification des enjeux sociétaux/industriels avantages.
- Recueillir des informations sur les systèmes et les fonctions à piloter également à partir des perspectives d'évaluation et de test par les utilisateurs (par exemple, quels types d'accidents et d'opérations pourraient avoir un impact). Soyez clair sur la maturité de la technologie et la préparation pratique.

4.2. Tests et analyses

- Considérez le rôle de l'infrastructure et les liens vers d'autres systèmes : connectés et automatisés, les systèmes nécessitent souvent le soutien d'autres systèmes ou certains changements numérique ou physique des infrastructures pour atteindre leur véritable potentiel (par exemple, une meilleure vitesse ou fluidité du trafic).
- Définir un ensemble limité de questions de recherche explicites. Concentrez-vous sur l'aspect pratique, mais gardez à l'esprit qu'avec un effort supplémentaire relativement faible, on peut parfois mesurer plus.
- Étudier le rôle des données de base : si l'on souhaite identifier comment l'automatisation a modifié une situation, il doit y avoir beaucoup de données sur la façon dont les choses se passaient auparavant. Les expériences portent le plus souvent sur avant-après, sans-avec, désactivé-activé. Sans préjudice des foui où il n'y a tout simplement pas de situation de référence.
- Commencer à réfléchir dès le début pour savoir si et comment les résultats peuvent être étendus. Quel type de données est disponible pour le travail, quelles méthodes pourraient être utilisées ?
- Examiner si les résultats peuvent être utilisés dans des modèles de simulation et/ou de trafic, afin de faciliter la mise à l'échelle. Les modèles de simulation existants sont-ils suffisamment détaillés et qu'est-ce qui jouerait le rôle des simulations, quels efforts seraient nécessaires ?
- La documentation à toutes les étapes est essentielle pour obtenir des résultats utiles pour l'avenir.

4.3. Partage

- Une représentation multipartite est généralement nécessaire. Développer une stratégie de communication avec les parties prenantes et le grand public.
- Lorsque vous travaillez avec des partenaires privés, certaines données, résultats et méthodes peuvent être partagés, mais pas tout. Pousser à la collaboration améliore souvent les résultats du projet, même si des accords de non-divulgation sont nécessaires. Sachez que ceux-ci peuvent prendre un certain temps pour être finalisés.
- Apprendre des autres projets et consulter des experts en évaluation. La base de connaissance européenne *Connected and Automated Driving* est un bon point de départ : https://www.connectedautomateddriving.eu/

Traduction FR/DGITM

This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No 824251

Déploiement de la mobilité routière automatisée et connectée

Séminaire national collectivités locales – 30 septembre 2022

Fiche : approche autrichienne d'animation et de partage de connaissances

L'Autriche s'est dotée d'une stratégie nationale de développement du véhicule automatisé et connecté (plan d'action 2019-2022), qui définit un plan d'actions à mener pour le développement d'une mobilité automatisée contrôlée et orientée. Le Ministère en charge (climat, énergie, environnement, mobilité, innovation et technologie) a, dans ce contexte, confié à AustriaTech, organisme technique et scientifique public, la mission d'appuyer le cadre règlementaire et d'animer l'éco-système. Dans ce cadre, plusieurs dispositions ou outils d'animation ou de diffusion développés peuvent présenter un intérêt particulier :

- Le groupe de travail sur les financements innovants, qui réunit les acteurs, notamment locaux, autour des besoins de financement ; la première phase du travail a notamment conduit à prioriser les cas d'usage (cf. encadré ci-dessous).
- Une base de données sur les projets en cours (« Austrias Autonomous Mobility Ecosystem Landscape »), animée par le cluster automobile :
  - https://www.automobil-cluster.at/themen/icm/landkarte-autonomes-fahren
- L'obligation d'appliquer à l'automatisation, les principes prévalant pour l'élaboration des plans de mobilité urbaine durable, lorsque l'automatisation s'y intègre (dont : implication des citoyens et des usagers ; vision à long terme ; évaluation des performances actuelles et futures ; développement de tous les modes de transport ; approche inclusive ; coopération inter-collectivités ; suivi et évaluation ; management de la qualité).
- Le rapport annuel d'avancement, qui présente, outre les évolutions règlementaires, une liste des projets de recherche, d'expérimentation ou de déploiement (cf. encadré ci-dessous).

Encadré 1

Groupe de travail sur l'application des financements innovants aux véhicules automatisés et connectés

L'innovation est encouragée en Autriche par différents instruments, dont les IÖB (marchés publics innovants). Le groupe de travail mis en place s'intéresse à l'application de ces outils pour la mise en œuvre de solutions de mobilité automatisée. Il associe les différentes parties prenantes dans le domaine de la mobilité automatisée et l'utilisation des marchés publics innovants. Le premier rapport (2021), centré sur les cas d'usage, vise à alimenter les discussions entre les parties prenantes pour les étapes suivantes. Ces travaux ont permis de préciser les cas d'usage et les types d'exigences lors de la mise en œuvre des services dans les domaines suivants :

- services de transport routier automatisé de personnes ;
- infrastructure numérique comme condition préalable au transport routier automatisé de marchandises ;
- services municipaux (engins de travail automatisés).

a) Service de transport routier automatisé de personnes

En termes de services de transport routier de personnes, ont été identifiés : le valet de parking automatisé, la desserte entre centre urbain et périphérie (trafic pendulaire), les services ferroviaires automatisés sur les lignes secondaires, le service à la demande pour la desserte des premiers et derniers kilomètres, la desserte des pôles générateurs de flux (centres commerciaux, zones industrielles), l'utilisation en milieu rural, le transport de passagers en zone fermée (campus universitaire, aéroport, centre commercial).

b) Infrastructure numérique comme condition préalable au transport routier automatisé de marchandises

Les travaux dans ce domaine se sont concentrés sur la question du transit de poids lourds et du transport de marchandises en ville, afin d'identifier les besoins en infrastructure numérique comme condition préalable au trafic de marchandises automatisé en ville. Les cas d'usage identifiés dans ce contexte sont : les équipements d'infrastructure, C-ITS, transport de marchandises par rail, l'interface entre le chargement et le déchargement (port, aéroport), la possibilité de combinaison (par exemple collecte des déchets avec livraison de colis), le robot de livraison dans les milieux peu denses, le marquage des conteneurs de transport, les points de retrait pour la desserte du dernier kilomètre dans la ville, les point de transbordement entre les véhicules utilitaires légers et les vélos cargos, la gestion des zones de chargement, l'itinéraire intelligent, le transport par drones (y.c. pour l'approvisionnement de zones isolées), le transport pendulaire entre deux zones industrielles, l'utilisation des trajets à vide des entreprises de transport, le processus de transbordement automatisé.

c) Automatisation des engins utilisés dans le cadre du service public

Ce domaine d'usage est assez spécifique tout en regroupant un ensemble très divers d'engins utilisés dans le service public, qui pourraient être automatisés, notamment les engins de travaux publics, le chargement-déchargement des véhicules de BTP, l'entretien et le nettoyage de la voirie et des espaces verts, la collecte des déchets, l'accès aux sites difficiles d'accès ou dangereux.

Encadré 2 :

Rapport annuel d'avancement de la stratégie sur le véhicule automatisé et connecté - exemple 2021

Ce rapport illustre une modalité de partage de connaissances sur le développement du véhicule automatisé, sous forme d'un bilan annuel des actions législatives et réglementaires, des projets locaux, nationaux et européens.

a) Cadre règlementaire

Rappel de l'évolution de l'Ordonnance pour la conduite automatisée (AutomatFarhV) en 2019, élargissant les cas d'usage possibles pour des expérimentations :

- transport de personnes : véhicules automatisés homologués de vitesse maximale 50 km/h ;
- transport de marchandises : véhicule automatisé homologués de vitesse maximale 50 km/h et non homologués de vitesse maximale 30 km/h
- valet de parking dans des parking à plusieurs étages ou dans des parcs de stationnement de vitesse maximale 10 km/h avec une personne dans le voisinage du véhicule ;
- engins de travaux à moins de 10 km/h avec personne à l'extérieur à proximité directe.

L'ordonnance prévoit également l'obligation d'analyse des risques et de démonstration de sécurité de l'itinéraire, ainsi que la formation spécifique des opérateurs, au-delà des compétences du permis de conduire.

b) Rappel du besoin d'intégrer l'automatisation dans les plans de mobilité urbaine durable

c) Aperçu des projets en cours

DigiTrans : environnement de tests dans la région de la Haute-Autriche, dont la piste d'essais a été agrandie en 2021 et comprend maintenant des infrastructures hautement numérisées 5G/C-ITS, un carrefour giratoire à quatre entrées, des marquages au sol haute performance, une structure en acier de l'extérieur ; dans la deuxième phase d'expansion, une zone urbaine sera créée.

ALP. Lab : en plus de réaliser des tests réels pour l'automatisation et en particulier sur les fonctions de conduite, le laboratoire réalise des tests sur la collecte et l'agrégation de données ; création en 2021 du service en ligne « ECO-System-Plattform » : offre des données, d'outils et de services pour des projets de R&D.

Auto.Bus – Seestadt : projet, financé par le BMK pour 4 ans, entre le réseau de transports de Vienne (Wienen Linien) et des partenaires de recherche sur le développement des minibus automatisés sans conducteur à bord) + travaux sur les capteurs des navettes (caméras, lidar + connectivité).

Digibus Austria : projet lancé dans le cadre de la mobilité du futur par le BMK (fini en 2021), pour évaluer l'effet de différents scénarios d'intégration d'une navette automatisée dans un système de transport global ; cas d'usage pour la desserte du dernier kilomètre.

SURAAA – Smart Urban Region Austria Alps Adriatic (projet Horizon2020 SHOW depuis 2021) : navettes automatisées Navya depuis 2017 – tests en semaine pour les habitants, gratuit – 2.2 km, 7 arrêts, fréquence de 20 min. Coopération avec le projet CATAPULT : tests auprès d'écoliers et de personnes âgées.

Bike2CAV : projet en cours (2020 – 2023) financé par le BMK pour protéger les usagers vulnérables sur la base de solutions de connectivité afin d'aider à la détection des collisions avec les piétons, vélos, mais aussi plus généralement vise à améliorer la détection et la reconnaissance de l'environnement.

DAVEMoS Knowledge Pool : lancement officiel en 2021 – bibliothèque en ligne avec 64 concepts sélectionnés pour l'automatisation et la numérisation du trafic (incluant le transport routier de personnes et de marchandises, les applications de méga données et le transport intégratif).

AM inklusive ! : centré sur les problématiques d'inclusion.

Symul8 ; lex2vehicle et DIGEST : dans le cadre d'une coopération transfrontalière entre l'Autriche, l'Allemagne et la Suisse (DACH-Verkehrsinfrastrukturforschung), trois projets traitent de l'infrastructure connectée depuis 2020 pour la conduite coopérative, connectée et automatisée

d) Participation à des initiatives et projets internationaux

AWARD (All Weather Autonomous Real logistics operations and Demonstrations) a débuté en 2021 et financé par H2020, réunissant 29 partenaires de 12 pays -> fret automatise dans des conditions météorologiques extrêmes (forte pluie, chutes de neige) ;

CATAPULT – Policies for inclusive autonomous mobility solutions for cities, lancé en 2021 et financé dans le cadre de l'appel à projets ENUAC, réunissant 4 partenaires (Autriche, Belgique et Suède) -> prendre en compte les populations souvent sous-représentées dans les études de transport public (jeunes enfants et personnes âgées) et comprendre leurs besoins -> les résultats seront intégrés dans les recommandations politiques en 2022 ;

AVENUE21 : projet sur les effets de l'automatisation des mobilités pour créer un avenir respectueux de l'environnement ;

L3 Pilot : terminé en 2021 et financé par H2020, dans lequel 14 partenaires ont été impliqués -> conduite sur autoroute, en trafic dense et dans la circulation urbaine (tests) ;

HI-Drive : financé par H2020 et débuté en 2021 en tant que projet suite du L3 Pilot, impliquant 40 partenaires de 14 pays -> amélioration des technologies des véhicules intelligents pour couvrir un plus grand nombre d'environnements de circulation et étendre les ODD ;

ENSEMBLE (ENabling SafE Multi-Brand pLatooning for Europe) : financé par H2020 et prolongé jusqu'à mars 2022 -> pelotons de camions sur les routes européennes à l'aide de véhicules de différents constructeurs.

Déploiement de la mobilité routière automatisée et connectée

Séminaire national collectivités locales – 30 septembre 2022

Fiche : outils de partage d'information et de connaissances au Royaume-Uni

CCAC (Centre pour les véhicules connectés et autonomes)
https://www.gov.uk/government/organisations/centre-for-connected-and-autonomous-vehicles

Le Centre pour les véhicules connectés et autonomes (CCAV) est une unité conjointe du ministère de l'Economie, de l'Énergie et de la Stratégie industrielle (BEIS) et du ministère des Transports (DfT). Créé en 2015, le CCAV est une unité experte qui travaille avec l'industrie et le monde universitaire pour le développement des véhicules connectés et autonomes au Royaume-Uni.

Le CCAV élabore des réglementations, soutient l'innovation et les compétences et fait participer le public. Il anime l'expertise provenant des secteurs publics, privé et universitaire.

Le CCAV dispose, sur sa page internet, d'une base de commentaire organisée ainsi :

- Stratégie et réglementation
- Actualités et communications
- Recherche et statistiques
- Documents de politique générale et consultations

ZENZIC – www.zenzic.io

Zenzic a été créé par le gouvernement et l'industrie britanniques pour accélérer l'écosystème des véhicules connectés et de la conduite automatisée du Royaume-Uni. Il réunit des représentants de l'industrie, du gouvernement et du monde universitaire.

Les activités ou livrables de Zenzic portent sur les domaines suivant :

- *Feuilles de route*
    - Feuille de route de Zenzic, autour de 10 priorités principales :
        - Création d'un environnement d'essai virtuel pour le CAM Testbed UK
        - Normes et formats de données communs pour les communications
        - Exigences en matière de données à destination et en provenance des véhicules et de l'infrastructure.
        - Méthodes d'essai et de validation convenues pour l'ADS
        - Méthodes test des systèmes d'IA et de machine learning
        - Numérisation de la signalisation
        - Truck platoning
        - Nouveaux processus pour la conception de véhicules CAM
        - Normes et taxonomie des environnements numériques
        - Taxonomie du domaine d'emploi (ODD)

- Feuille de route pour la simulation à l'horizon 2030 : Cette feuille de route de divers secteurs, issue d'un travail réunissant équipementiers, start-ups, autorités de certification, fournisseurs de matériel et de logiciels, organismes de recherche publics, consultants et fournisseurs de services, fournit des recommandations dans :

    1. le jumeau numérique national
    2. le partage de modèles de simulation entre les parties prenantes ;
    3. la simulation et la certification

- *Financements de l'innovation* : Zenzic travaille avec Innovation UK et le Centre pour les véhicules connectés et autonomes (CCAV) pour organiser des appels à projets, pour le développement des véhicules connectés et autonomes regroupés au sein du CAM Testbed UK (cf. ci-dessous).
- *Animation de l'écosystème du CAM Testbed UK*, qui réunit l'industrie, le gouvernement et les universités

- *Partenariats avec des pays et des entreprises* en matière de normes, de sécurité et de compétences

Innovation UK – réseau de partage de connaissances KTN

Innovation UK est l'agence nationale pour l'innovation du Royaume-Uni. Elle dispose notamment d'un réseau de transfert de connaissances (KTN) et elle soutient également les dispositifs dits « catapultes », centres de technologie et d'innovation indépendants à but non lucratif, notamment en ce qui concerne la conduite automatisée et connectée, les lieux connectés, les applications de semi-conducteurs composés, l'innovation et l'adoption de technologies numériques.

Le centre de transfert de connaissances (KTN) **https://ktn-uk.org/** vise à aider les acteurs à trouver des partenaires, des collaborateurs et une expertise, sous forme d'un réseau d'entreprises, d'universitaires et de financeurs qui créent des communautés thématiques. Il fournit principalement des informations actualisées sur les opportunités de financement, l'actualité technologique, les événements. KTN édite une page web sur les véhicules automatisés :

https://ktn-uk.org/transport/autonomous-vehicles/

Déploiement de la mobilité routière automatisée et connectée

Séminaire national collectivités locales – 30 septembre 2022

Fiche : stratégies de déploiement des véhicules automatisés et connectés pour les autorités locales des transports aux Etats-Unis

Source : NCHRP Report 845, Advancing Automated and Connected Vehicles: Policy and Planning Actions for State and Local Transportation Agencies[1]

Le programme fédéral de recherche sur les routes aux Etats-Unis (NHCRP) a lancé en 2015 un projet destiné à appuyer les autorités locales (Etats, métropoles et communes) dans la préparation du déploiement de la mobilité routière automatisée et connectée. Cette fiche présente une synthèse du rapport de 2017, qui, bien que déjà daté, fournit un aperçu des thématiques alors identifiées comme sensibles pour les autorités locales envisageant d'adopter des stratégies de déploiement.

Expérimentations de véhicules automatisés le cadre : les expérimentations constituent une étape critique pour maîtriser les risques de sécurité. Le principal obstacle à la mise en œuvre est l'adoption d'une législation, qui doit s'appuyer sur une volonté politique.

Formation des conducteurs : les référentiels et programmes de formation des conducteurs seront essentiels à la sécurité d'utilisation des véhicules automatisés et connectés. Les évolutions de la formation devront tenir compte des obstacles à la mise en œuvre sont principalement d'ordre opérationnel ; la modification des exigences en matière de formation des conducteurs et de délivrance du permis de conduire pour les véhicules de niveau 3 nécessitera une restructuration importante de la formation des conducteurs ainsi que des exigences et des examens du permis de conduire. Les véhicules de niveau 4/5 pourraient éventuellement conduire à l'élimination de la formation des conducteurs, de l'examen et du permis de conduire tels qu'ils existent actuellement. Spécificités du déploiement des différents à court terme.

Sensibilisation du public aux avantages et aux risques : Les technologies de conduite automatisée et connectée sont susceptibles d'apporter d'immenses avantages sociétaux mais posent également de nouveaux risques, qui doivent tous deux être portés à la connaissance du grand public pour garantir l'acceptation du marché ainsi qu'un fonctionnement sûr. Les campagnes d'éducation du public sont coûteuses et complexes. Leur efficacité et leur capacité à obtenir un résultat sociétal positif seront déterminées par la crédibilité de celui qui communique et la perception par le récepteur de la nécessité et de la validité du message. L'élaboration de messages fiables constituera un obstacle majeur, étant donné les incertitudes liées au déploiement, aux avantages et aux inconvénients de la technologie.

Subventionnement de l'utilisation des services de transport routier automatisé partagés : si l'on se base sur ce qui se passe actuellement avec les sociétés de VTC ou d'autopartage, une stratégie visant à encourager ces services à adopter des véhicules automatisés n'est pas nécessaire puisque la demande pour ces services est fortement déterminée par le marché. Toutefois, une stratégie incitant ces acteurs à la fourniture de services de premier et de dernier kilomètre et à desservir des populations ciblées pourrait être efficace pour obtenir des résultats sociétaux positifs. Les obstacles se situeront au niveau de la mise en œuvre - la réaffectation des subventions aux transports publics pour ces services et l'opposition politique de certains secteurs dépendant des chauffeurs (cf. taxis et les services de livraison).

[1] https://nap.nationalacademies.org/download/24872

Mise en œuvre d'avantages « transport en commun » pour les usagers : les incitations financières aux usagers pour l'usage des transports en commun ou de covoiturage sont en général moins efficaces que l'extension des services ou l'amélioration de leur qualité pour l'utilisateur. Ce type d'incitations à l'usage pourrait cependant être plus efficace pour les services de transport automatisé partagé en raison de la flexibilité des origines et des destinations desservies, mais les caractéristiques du service resteraient déterminantes. Le principal obstacle à la mise en œuvre est le besoin d'adapter les programmes actuels d'avantages pour le transport en commun.

Tarification de l'usage des routes : les applications de tarification sont actuellement mises en œuvre sous de nombreuses formes à travers les États-Unis. Les redevances d'utilisation des routes se sont avérées efficaces pour atteindre des objectifs spécifiques liés à la réduction de la congestion et de la pollution. L'opposition publique et politique à leur mise en œuvre dépasse largement la problématique du véhicule automatisé.

Investissement dans l'infrastructure de connectivité : la mise en place de l'infrastructure physique et numérique nécessaire pour prendre en charge les applications V2V et V2I se heurte à la disponibilité dès que les investisseurs attendent des preuves concrètes du retour sur investissement, qui n'est toujours pas clair. Un autre enjeu consiste à préciser quelles données seront librement accessibles aux organismes publics et s'ils pourraient les monétiser pour couvrir une partie du coût de l'infrastructure de connectivité.

Priorité aux véhicules automatisés et connectés sur les voies réservées : les bénéfices collectifs de la circulation de certaines catégories de véhicules sur des voies réservées peuvent être importants, selon les conditions de mise en œuvre. S'agissant des véhicules automatisés et connectés, l'objectif serait spécifiquement d'accroître la pénétration sur le marché des véhicules concernés, ce qui relève d'un choix local des exploitants routiers.

Priorité aux feux : il est peu probable que cette politique soit déterminante pour l'augmentation de la pénétration du marché, car les avantages en termes de temps de parcours seront minimes. Elle pourrait également avoir pour effet négatif de réduire la priorité accordée au transport en commun.

Accès au stationnement : le stationnement prioritaire pour les véhicules automatisés et connectés n'aura probablement aucun effet sur la pénétration du marché. La capacité d'un véhicule automatisé à se garer lui-même constituera probablement un déterminant plus fort. Si elle était mise en œuvre, cette stratégie réduirait la disponibilité des places de stationnement pour les véhicules non automatisés, ce qui susciterait l'opposition du grand public.

Partenariats public-privé (PPP) : ces outils pourraient faciliter l'adoption et la pénétration du marché en créant des écosystèmes d'innovation. Au-delà, pour le déploiement d'un service, ces outils sont généralement perçus comme un mécanisme coûteux de financement ; le préalable consiste donc en l'identification du financement approprié pour soutenir le segment du marché visé, en fonction de ses spécificités et sa maturité.

Déploiement de la mobilité routière automatisée et connectée

Séminaire national collectivités locales – 30 septembre 2022

Fiche : plateforme d'échanges d'expériences – CAT coalition - aux Etats-Unis

La cooperative Automated Transportation Coalition (CAT) constitue le point focal de collaboration pour les départements et agences au niveau fédéral, des Etats et local, les universités et l'industrie sur les questions techniques et stratégiques liées au déploiement national de véhicules connectés et automatisés : https://transportationops.org/CATCoalition

La CAT est animée par l'American association of states officials on highways and transportation (AASHTO - cf. www.transportation.org), ITS America et l'Institute for transportation engeneers (ITE-association de professionnels du transport - cf. www.ite.org).

La coalition regroupe des représentants des gestionnaires d'infrastructures, des constructeurs et équipementiers automobiles, des fournisseurs de technologies et de services dans la mobilité et le numérique.

Les travaux de la coalition CAT sont conduit au sein de sept groupes de travail, qui fusionnent les groupes préexistants au sein du programme sur les véhicules connectés et automatisés (CAV ELT) et de la coalition pour le déploiement de la connectivité des véhicules et d'infrastructures (V2I DC) :

- Le groupe de travail sur les politiques publiques et la réglementation a pour objectif de créer un dialogue ouvert sur les sujets politiques, législatifs et réglementaires liés au transport automatisé coopératif. Les membres comprennent des dirigeants et des cadres supérieurs des départements des transports (DOT) des États et des collectivités locales, des constructeurs et équipementiers automobiles, des entrepreneurs privés et des associations. Les activités de ce groupe couvrent :
    - définition des besoins en matière de recherche pour la coordination et l'harmonisation entre les États de la législation sur les véhicules automatisés
    - législation sur les systèmes automatisés : point de vue académiques extérieurs aux décideurs politiques
    - termes communs des systèmes de conduite automatisée utilisés dans la législation
    - opportunités et mécanismes de financement pour les déploiements des systèmes de transport routier automatisé (cf. synthèse de l'enquête sur les pratiques de financement locales ci-après).
    - thèmes clés de la réglementation sur le « truck platooning »

- Le groupe de travail sur la planification, qui anime et soutient la discussion sur les approches de planification du déploiement des transports routiers automatisés et connectés au niveau de l'État et au niveau local

- Le groupe de travail Infrastructure/Industrie, qui soutient la recherche précompétitive relative à l'exportation des infrastructures et la gestion des trafics dans le contexte de développement des véhicules automatisé et connectés

- Le groupe de travail sur les initiatives stratégiques, qui pilote des « défis ciblés » (ex : synchronisation des feux ; flottes captives connectés pilotes (Connected Fleet Challenge))

- Le groupe de travail sur les ressources, qui se concentre sur l'identification des besoins de développement des compétences et des métiers

- Le groupe de travail consacré aux besoins des recherches et de normalisation dans les communications V2I sur la recherche et les normes

- Le forum des propriétaires-exploitants d'infrastructures et des fabricants d'équipements de la route, consacré aux besoins d'échanges de données entre les véhicules et l'infrastructure

La coalition CAT anime un ***centre d'échange d'informations sur les cadres d'action*** en matière de transport automatisé, destiné à présenter un ensemble représentatif de cadres réglementaires ou statistiques (environ 30 disponibles, principalement au niveau des États), et à repérer les pratiques notables et transférables.

Encadré : Initiatives locales de financement de la conduite automatisé et connectée

(source : enquête CAT coalition - juin 2019)

- 25 États et 2 collectivités locales ont répondu à l'enquête
- 63% des agences ont des postes dédiés au soutien/à la direction des initiatives/programmes CAT/CAV
- Le nombre moyen d'employés dédiés à la CAT/CAV dans les agences est de 3 (Californie et Minnesota = 7)
- Les unités correspondantes sont soit positionnées comme " unités stratégiques ", soit au sein des unités d'exploitation du trafic
- La plupart des programmes CAT/CAV sont financés par des programmes existants
- Peu d'agences (14%) ont recours à des financements innovants ou à des partenariats public-privé ; lorsqu'elles le font, elles choisissent plutôt des financements issus du secteur des télécoms et du numérique
- Les obstacles ou les défis liés à la présentation d'une proposition compétitive dans le cadre des possibilités de subventions fédérales (ou autres) sont :
  - Identification des possibilités de co-financement fédéral - Etats
  - Capacités du personnel (compétences et/ou disponibilité)
  - Complexité des critères et des exigences en matière de subventions
  - Identification d'opportunités de partenariat viables (privées ou publiques)
- Les principaux cas d'utilisation visés sont :
  - Connexion et synchronisation des feux de circulation aux véhicules
  - Applications ou projets de données ouvertes/partage de données
  - Utilisation de drones aériens pour les fonctions de maintenance et de gestion du patrimoine routier
  - Navettes automatisées à faible vitesse

Déploiement de la mobilité routière automatisée et connectée

Séminaire national collectivités locales – 30 septembre 2022

Fiche : rôle des États et des collectivités locales dans la définition des domaines d'emploi des véhicules automatisés

Source : Rand, août 2020[1]

Un domaine de conception opérationnel (ODD) est une description des conditions dans lesquelles un véhicule automatisé est conçu pour fonctionner en sécurité. Cela doit inclure des exigences sur l'environnement (par exemples si les véhicules ne peuvent fonctionner qu'en conditions météorologiques favorables, sur autoroutes, pas dans les rues à sens unique, …), les manœuvres (par exemple pas de tourne à gauche), les zones particulières des villes et les implications des conducteurs. Le domaine de conception fonctionnelle définit où le véhicule autoamtisé peut circuler à partir des capacités du système de conduite automatisé.

Nombreux sont ceux qui prévoient que les développeurs commenceront par un ODD étroitement défini, puis l'élargiront au fur et à mesure que leur système automatisé gagnera en compétences. Les descriptions des ODD sont un élément clé de la sécurité des véhicules automatisés. Si les ODD sont pertinents pour les niveaux 1 à 3, ils deviennent centraux au niveau 4, car un véhicule automatisé de niveau 4 est entièrement automatisé (et est censé fonctionner sans conducteur humain) dans son ODD et ne fonctionne pas de manière automatisée en dehors de son ODD.

Il n'existe pas de politique nationale en matière d'ODD, et comme l'ODD est en partie lié aux caractéristiques d'un lieu spécifique, une telle politique peut ne pas avoir de sens. Il s'agit plutôt d'un domaine où les politiques locales et étatiques doivent avoir la priorité. Une politique ODD locale et étatique pourrait être utile. En particulier :

- le département des véhicules à moteur de Californie demande déjà aux demandeurs d'expérimentations de décrire leur ODD. D'autres États pourraient vouloir faire de même. Les États et les collectivités locales sont ainsi informés des endroits où les véhicules automatisés sont susceptibles de circuler. L'État et les collectivités locales peuvent vouloir travailler avec les concepteurs sur le niveau de détail de l'ODD qu'il est utile de divulguer. Par exemple, il peut être judicieux de divulguer les conditions générales de l'ODD sans nécessairement spécifier les paramètres précis (par exemple, une pluie légère par rapport à la divulgation de la taille acceptable des gouttelettes).
- les États et les collectivités locales pourraient s'engager activement auprès des concepteurs autour de l'ODD, en fournissant aux entreprises des informations sur la localisation afin de faciliter l'entrée des concepteurs, de minimiser les surprises et de les aider à savoir à quoi s'attendre ; les tenir au courant des activités planifiées qui sont liées à l'ODD, telles que les congrès, la construction de routes ; et leur procurer les informations des changements de l'infrastructure en temps réel (fermeture de voie à cause d'un accident, état de la chaussée en conditions météorologiques défavorables, …).
- Les Etats et les collectivités locales pourraient vouloir désigner des zones clés comme des zones interdites des ODD. Les zones d'école, particulièrement quand les cours commencent ou se terminent, et les zones hospitalières autour des services d'urgence lorsque les ambulances arrivent avec des comportements de conduite non prédictibles font partie de ces zones.

[1] https://www.rand.org/blog/2020/08/how-state-and-local-governments-might-consider-approaching.html

Il n'existe actuellement aucune méthode universelle de description des ODD en termes de taxonomie ou de niveau de détail. Mais une description commune de comprendre des ODD pourrait faciliter la communication avec les décideurs et les consommateurs. Le niveau de détail peut varier en fonction du public : par exemple, si les concepteurs considèrent que les fortes pluies (un terme qui peut par ailleurs être subjectif et spécifique à une région) font référence à une pluie dont la taille et la densité des gouttelettes sont spécifiques, les décideurs peuvent n'avoir besoin que de savoir que pour un développeur donné, les fortes pluies sont en dehors des ODD, et les consommateurs n'ont besoin que de savoir que le véhicule automatisé peut s'arrêter ou être conduit à distance par un conducteur humain situé ailleurs en cas de forte pluie. Les nouvelles lignes directrices de l'*Automated Vehicle Safety Consortium* sur le niveau de détail et de définition de la terminologie ODD peuvent faciliter la communication entre développeurs et gouvernements.

Étant donné qu'aucun véhicule automatisé sans restrictions d'ODD n'existe ou n'est prévu dans un avenir proche, les ODD seront essentiels pour faire des véhicules automatisés une solution commerciale viable une réalité. Étant donné que l'exploitation des véhicules automatisés devrait être limitée à des zones spécifiques dans un avenir prévisible, l'établissement de compétences minimales pour l'exploitation d'une zone, ou la description de ce à quoi s'attendre par les localisations, pourrait faciliter l'entrée des concepteurs dans de nouvelles zones, réduire le temps nécessaire pour tester chaque nouvelle zone et garantir un seuil minimum spécifique à la localisation. Les autorités locales et étatiques pourraient travailler en étroite collaboration avec les concepteurs pour faciliter l'entrée et l'exploitation, tout en maintenant la sécurité publique.

Déploiement de la mobilité routière automatisée et connectée

Séminaire national collectivités locales – 30 septembre 2022

Fiche : développement de la conduite automatisée : enjeux pour les politiques de stationnement

Source : How Will Autonomous Vehicles Change Local Government Budgeting and Finance ? Case Studies of On-Street Parking, Curb Management, and Solid Waste Collection – National Institute for Transportation and Communities, May 2019[1]

Le rapport d'étude porte principalement sur les effets de l'automatisation sur la gestion locale du stationnement, en lien avec l'accélération de l'offre de VTC permise par l'automatisation (ce rapport traite aussi de l'organisation de la collecte de déchets, ce volet n'est pas présenté dans cette fiche[2]).

L'étude considère que l'automatisation va accélérer le développement de l'offre de transport à la demande de type VTC, en améliorant sa performance et diminuant ses coûts. L'étude utilise divers modèles reliant l'utilisation des VTC et le recours au stationnement (parkings et voie publique), à partir de données sur la ville de Seattle. Ces modèles convergent pour conclure que le développement de l'offre de VTC (automatisés) diminuera la demande globale de stationnement (1 trajet en VTC supplémentaire diminue le recours au stationnement en ville de 0,01 %). Les effets sont néanmoins contrastés en fonction de la longueur des trajets : les trajets courts diminuent très fortement le recours au stationnement ; les effets des trajets longs sont plus contrastés en fonction des zones. Les zones et horaires de dépose ont tendance à voir la demande de stationnement augmenter (+0,2 % par trajet en VTC supplémentaire). Les zones d'emport / dépose vont se concentrer à proximité des points de génération de trafic, notamment en zone dense, ce qui peut générer des conflits d'usage avec le stationnement classique sur la voie publique, et les autres usages (voies réservées bus ou modes doux). L'automatisation va ainsi accélérer ce phénomène déjà observé avec le développement des VTC.

Ces effets prévisibles conduisent à examiner plusieurs leviers d'action en matière de stationnement :

- Créer des espaces flexibles en fonction des besoins
- Donner la priorité à l'emport / dépose de passagers par rapport au stationnement dans certaines zones où le transport à la demande (automatisé) est très emprunté,
- Expliciter les arbitrages et optimiser la coexistence entre les espaces d'emport /dépose et d'autres utilisations de la voirie (pistes cyclables ou des voies réservées aux transport en commun).
- Spécialiser davantage (et éventuellement de façon dynamique) les zones de stationnement sur la voie publique et optimiser leur répartition (spatiale et temporelle) entre :
    - celles dédiées à l'emport / dépose de très court terme, consacrées aux passagers, dont la fréquentation devrait augmenter avec l'augmentation des services de VTC automatisés
    - celles dédiées au co-voiturage, dont les temps d'utilisation peuvent être plus longs ;
    - celles dédiées aux livraisons urbaines (dont e-commerce), dont la densité / localisation devrait tenir compte d'une distance raisonnable de marche des livreurs ;
    - celles dédiées au stationnement pour les achats dans les commerces ou pour les loisirs, qui pourraient bénéficier de la baisse de la demande de parkings, en y étant réorientées.

[1] https://nitc.trec.pdx.edu/research/project/1174/How_Will_Autonomous_Vehicles_Change_Local_Government_Budgeting_and_Finance%3F_A_Case_Study_of_Solid_Waste%2C_Drop-off/Pick-up_Zones%2C_and_Parking

[2] L'étude relative aux coûts de la collecte d'ordures ménagères conclue, à partir d'études de cas de villes en Caroline du Nord, à des réductions de coûts de 30 % à 60 % à long terme, sans suppression néanmoins d'équipes humaines, mais au travers d'accélérations et de sécurisation des tâches. L'automatisation présente des enjeux majeurs en termes de formation des personnels, qui seraient alors appelés à des tâches de pilotage d'engins automatisés, très différentes des tâches manuelles actuellement conduites. La réduction des coûts serait naturellement fortement liée au rythme de renouvellement des véhicules.