



Le véhicule autonome : quel rôle dans la transition écologique des mobilités ?

Mars 2021

Une recherche menée par
LA FABRIQUE ECOLOGIQUE
sur commande du FORUM VIES MOBILES

Anahita Grisoni
Jill Madelenat

Synthèse

Depuis plusieurs années déjà, le véhicule autonome, aussi appelé véhicule automatisé, fait l'objet d'un engouement extraordinaire. Il est présenté comme le futur de la mobilité motorisée, que ce soit en termes de sécurité, de services et d'écologie et semble interroger la pertinence des transports collectifs traditionnels. Pourtant, de nombreuses questions persistent. Alors que cette innovation majeure pourrait définir l'avenir de la mobilité et dans un contexte où le secteur des transports fait face à l'urgence de réduire ses émissions de CO₂¹, le Forum Vies Mobiles a demandé à la Fabrique Écologique² d'évaluer la contribution réelle du véhicule autonome sur route (hors transport de marchandises)³ à la transition écologique à l'horizon 2050⁴.

Un objet complexe et polymorphe

L'idée de voiture sans conducteur apparaît aux États-Unis dans les années 1920, d'abord en réponse au fort taux de mortalité sur les routes puis, dans les années 1950, comme un moyen de libérer le temps du déplacement pour permettre aux familles de se retrouver. Aujourd'hui, les recherches sur le véhicule autonome portent sur de nombreux possibles, dont l'avenir dépendra des progrès technologiques et des choix économiques et politiques qui sont faits.

Un véhicule autonome sur route peut être un véhicule individuel ou partagé (voiture en autopartage, robot-taxi, navette autonome). Pensé dès sa genèse comme un véhicule électrique en raison de la convergence des temporalités liées à ces deux innovations, le véhicule autonome n'est pas en lui-même porteur de la motorisation thermique ou électrique, ni du recours à certains types d'énergie en particulier (gaz naturel, hydrogène, etc.). De nombreuses incertitudes persistent encore sur les types de motorisations et d'énergie auxquelles il pourra avoir recours.

On distingue actuellement cinq niveaux d'autonomie, dont les deux premiers sont en réalité des assistances à la conduite déjà largement diffusées dans le parc automobile actuel. Ce n'est qu'à partir du niveau 3 que l'on peut parler de véritable conduite autonome, mais celle-ci est limitée à certaines conditions (par exemple sur autoroute) et le conducteur doit être en permanence en mesure de reprendre le contrôle. Le niveau 4 désigne l'autonomie complète sous certaines conditions météorologiques et dans certaines zones géographiques, tandis que le niveau 5, encore très largement hors de portée, désigne l'autonomie complète en toutes conditions. Ainsi, le véhicule

¹ En France, la Stratégie Nationale Bas Carbone de 2015 fixe des objectifs revenant à une division par 33 des émissions du secteur des transports d'ici 2050.

² L'étude de la Fabrique Écologique repose sur des entretiens avec des acteurs de la recherche, des experts, au sein des ministères et des collectivités et sur une revue de la littérature grise et savante, technique et théorique sur le véhicule autonome.

³ L'étude s'est concentrée sur le transport de voyageurs sur route et non sur le transport ferré (train et métro autonomes) ou le transport de marchandises (camions autonomes).

⁴ Délai que s'est fixé la France pour diminuer par 33 ses émissions de gaz à effet de serre du transport par rapport à 1990.

autonome, loin d'être une technologie de rupture, est développé selon une logique incrémentale d'adaptation d'un véhicule classique.

Pour assurer la conduite autonome, les véhicules doivent être dotés de multiples équipements (caméras, radars et lidars, logiciels informatiques) leur permettant de détecter leur environnement immédiat et plus lointain, d'analyser ces informations et de prendre des décisions. Les cartographies haute définition, continuellement mises à jour, permettent de compléter les informations enregistrées par les capteurs. Le déploiement des véhicules autonomes requiert également un haut niveau de connectivité pour assurer la communication des véhicules entre eux et avec l'infrastructure, ou pour une supervision à distance, ce qui nécessitera probablement le déploiement de la 5G.

Des investissements massifs

Face à de telles exigences technologiques, des investissements colossaux sont nécessaires, d'abord dans le domaine de la recherche et du développement. En France, des dizaines de millions d'euros ont été investis dans des expérimentations⁵. À l'échelle internationale, une étude du cabinet *The Brookings Institution* estime à 80 milliards de dollars les investissements en faveur du véhicule autonome entre 2015 et 2017, essentiellement en R&D. Alors qu'aujourd'hui, une grande partie de ces investissements est portée par les acteurs privés, le coût de déploiement des infrastructures nécessaires à la circulation des véhicules autonomes (marquage au sol, panneaux de signalisation, équipement numérique, aménagement de voies séparées, etc.) constituera une nouvelle dépense qui devrait incomber principalement aux États et aux collectivités.

Une compétition mondiale répondant avant tout à des stratégies économiques

La recherche-développement sur le véhicule autonome est portée depuis plusieurs années par une intense compétition mondiale entre différents acteurs.

Les acteurs traditionnels de l'industrie automobile, les constructeurs (Renault et Peugeot pour la France) et leurs équipementiers y voient l'occasion de renouveler le système de la voiture en vendant des véhicules équipés de toujours plus de fonctionnalités. Les grandes entreprises du numérique (Google, Uber, etc.) visent l'autonomie totale qui leur permettrait d'assurer leur contrôle sur la valeur ajoutée liée à la production et à la circulation des données. Le véhicule autonome, en libérant le temps de la conduite, serait aussi l'occasion pour ces acteurs de proposer de nouveaux services numériques à bord. Pour ces acteurs privés comme pour certains acteurs publics (opérateurs de transport, collectivités), le développement du véhicule autonome permettrait de réduire les coûts d'exploitation en supprimant ou en délocalisant des emplois ; en supprimant le poste d'un conducteur, le coût du service pourrait être réduit de 60% à 70%.

Enfin, les États se sont également lancés dans la course internationale au développement du véhicule autonome, aujourd'hui dominée par les États-Unis et la Chine. L'enjeu pour l'Europe est de renforcer sa présence sur les différents marchés liés au véhicule autonome (cartographie numérique,

⁵ Par exemple, le programme EVRA (Expérimentation du Véhicule Routier Autonome) finance 16 expérimentations à hauteur de 40 millions d'euros. La Région Ile-de-France a prévu quant à elle de dépenser 100 millions d'euros pour devenir la première Région française en termes de développement du véhicule autonome.

composants électroniques, 5G, etc.) et de donner un second souffle aux industries automobiles nationales. Dans ce contexte, la France affiche l'ambition de devenir « le pays le plus en pointe sur l'accueil des véhicules autonomes » (rapport Idrac⁶). Sa stratégie vise d'abord à préserver son industrie automobile, deuxième employeur du pays, mais porte également un modèle de société. Le véhicule autonome serait un moyen de lutter contre les inégalités sociales et territoriales en se focalisant sur trois enjeux prioritaires : les territoires ruraux, les publics exclus de la mobilité qui ne peuvent pas acheter ou utiliser une voiture et la non-concurrence avec les modes actifs (marche et vélo).

Le rapport Idrac présente également le véhicule autonome comme une alternative écologique car il serait électrique, permettrait une conduite plus efficiente car plus fluide, pourrait être plus léger grâce à de meilleures performances de sécurité et favoriserait le report modal en étant complémentaire aux transports en commun. Pour déployer sa stratégie, la France s'appuie sur des consortiums regroupant différents acteurs publics et privés et sur des expérimentations dans différents territoires, permettant aux collectivités de s'engager dans la course au véhicule autonome.

Des conséquences écologiques potentiellement catastrophiques

Trois scénarios sont aujourd'hui envisagés pour le développement du véhicule autonome : celui d'une mobilité individuelle avec des voitures à usage privé, porté par les constructeurs automobiles ; celui d'une mobilité à la demande s'appuyant sur des flottes de robots-taxis, porté par les acteurs du numérique ; celui enfin d'une mobilité collective avec des navettes autonomes, porté par les acteurs publics (collectivités et opérateurs de transport).

Outre les impacts environnementaux considérables liés au développement en masse de véhicules high-tech, le scénario de mobilité individuelle risque de s'accompagner d'un accroissement de l'étalement urbain et des inégalités sociales face à la mobilité, puisque les véhicules privés ne seront probablement accessibles qu'à la frange aisée de la population.

Le scénario de mobilité à la demande pourrait également accroître les inégalités sociales (tarification privée) et territoriales (développement selon la rentabilité des territoires), ainsi que la congestion routière s'il ne fait que s'ajouter au trafic routier actuel. Ces effets-rebonds, pointés par les nombreuses études⁷ qui ont analysé les conséquences écologiques du déploiement des véhicules autonomes, pourraient être à l'origine d'une évolution de la consommation d'énergie du parc automobile qui pourrait au pire tripler, au mieux diminuer de moitié. Mais c'est sans compter l'impact énergétique lié aux énormes quantités de données qui seront échangées entre les véhicules⁸,

⁶ Idrac, Anne-Marie. 2018. « Développement des véhicules autonomes - Orientations stratégiques pour l'action publique ».

⁷ Saujot, Brimont et Sartor, 2017, « Comment accélérer la mobilité durable avec le véhicule autonome ? », Issue Brief n°02/17, IDDRI ; Wadud, MacKenzie et Leiby, 2016, "Help or hindrance? The travel, energy and carbon impacts of highly automated vehicles". Transportation Research Part A: Policy and Practice 86 (avril) : 1-18 ; Brown, Repac, Gonder, 2013, "Autonomous Vehicles Have a Wide Range of Possible Energy Impacts", NREL/PO-6A20-59210, NREL, University of Maryland ; Stephens, Gonder, Chen, Lin, Liu, Gohlke, 2016, "Estimated Bounds and Important Factors for Fuel Use and Consumer Costs of Connected and Automated Vehicles", NREL/TP-5400-67216. National Renewable Energy Lab (NREL), Golden, CO (United States) ; etc.

⁸ Sachant qu'un véhicule connecté pourrait produire jusqu'à 1Go par seconde, un Français pourrait produire en moyenne **1,3 millions de Go par an**.

nécessitant très probablement la 5G, ou encore les émissions de CO₂ liées à la production, l'installation, la maintenance, le renouvellement et la gestion des déchets d'un ensemble d'objets et d'infrastructures sur route ou embarqués.

Le troisième scénario, celui du développement de navettes autonomes pour le transport collectif des voyageurs, pourrait permettre des usages vertueux, mais son déploiement (mise au point de la technologie, développement d'infrastructures, etc.) risque de préparer le terrain pour un développement massif des usages les moins vertueux. Restreindre le développement du véhicule autonome à sa zone de pertinence nécessiterait une régulation très forte de la puissance publique qui pour le moment, délaisse les usages les plus vertueux : en France, sur les 16 expérimentations de l'appel à projet national EVRA (Expérimentation du Véhicule Routier Autonome), seules deux ont porté sur la mobilité collective dans les territoires ruraux, alors même que ces derniers sont présentés comme étant les plus pertinents d'un point de vue écologique (limiter l'autosolisme) et social (lutter contre l'enclavement des territoires les moins bien desservis en transports en commun).

Un déploiement en décalage avec l'urgence climatique

Elon Musk, PDG de Tesla, a promis un véhicule autonome capable de circuler en toutes circonstances, pluie, neige, brouillard, nuit, sur tous les territoires et en présence de piétons et de cyclistes pour fin 2021. Pourtant la législation internationale qui entrera en vigueur en janvier 2021, adoptée par 58 des pays de l'ONU, dont la France, imposera aux véhicules autonomes de niveau 3⁹ transportant jusqu'à 8 personnes des conditions de circulation très éloignées de ce discours. Un véhicule ne pourra circuler qu'avec un conducteur assis et attaché, à une vitesse ne dépassant pas les 60 km/h sur des voies dont les deux sens de circulation seront séparés par une barrière physique et desquelles piétons et cyclistes sont absents. Reste à savoir dans quelles conditions les véhicules de niveau 4 et 5 seront autorisés à circuler.

En tout état de cause, les acteurs non industriels, que ce soient les chercheurs (CNRS) ou les pouvoirs publics (rapport Idrac), n'envisagent pas un déploiement massif de véhicules complètement autonomes avant 2050, c'est-à-dire après l'échéance fixée par la Stratégie Nationale Bas Carbone (SNBC) pour atteindre la neutralité carbone. Le véhicule autonome ne peut donc clairement pas contribuer valablement à la course contre le changement climatique dans laquelle sont engagés les pays d'ici 2030¹⁰ et 2050.

Alors que le développement du véhicule autonome et le déploiement des infrastructures nécessaires à sa mise en circulation exigent des investissements considérables non seulement privés mais aussi, à l'avenir, publics (développement, adaptation des infrastructures, etc.)¹¹, le rapport de la Fabrique Écologique pour le Forum Vies Mobiles démontre que sa contribution à la décarbonation de la mobilité ne peut être au mieux que marginale et que son déploiement massif ne pourra pas se faire

⁹ On distingue aujourd'hui 5 niveaux d'autonomie dont les deux premiers sont des assistances à la conduite. On parle de réelle autonomie (dans certaines conditions) à partir du niveau 3, le niveau 5 désignant l'autonomie en toutes conditions.

¹⁰ L'Union Européenne s'est engagée en décembre 2020 à réduire d'au moins 55% ses émissions globale de CO₂ d'ici 2030.

à temps pour atteindre la neutralité carbone en 2050. Pire, sa diffusion risque à l'inverse d'augmenter fortement les émissions de CO2 liées au transport si on comptabilise non seulement celles liées à la circulation de la nouvelle flotte mais aussi celles attachées à sa production et à la multitude de données qu'elle générera.

Cette situation est symptomatique d'une forme de schizophrénie des pouvoirs publics qui articulent difficilement enjeux économiques, sociaux et écologiques. Pourtant, une approche transversale permettrait une appréhension globale des enjeux liés à la mobilité et pourrait ouvrir la voie à de nouveaux leviers moins coûteux et plus efficaces, réalistes et inclusifs.

Dans une perspective écologique, il est donc utile et urgent d'inciter l'État français à concevoir, investir et déployer un nouveau système de mobilité combinant transports collectifs ferrés (autonomes ou non) et routiers, voitures légères et *low-tech*, modes actifs, voire à repenser l'aménagement du territoire pour permettre d'éviter les déplacements carbonés inutiles.

Table des matières

Synthèse	2
Avant-propos du Forum Vies Mobiles	9
Introduction	11
1. Définition et état des lieux	14
1.1 Quelques éléments historiographiques sur le développement du véhicule autonome	14
1.2 Définition du véhicule autonome et niveaux d'autonomie.....	17
1.3 Fonctionnement d'un véhicule autonome.....	20
1.4. La réglementation internationale encadrant le déploiement des véhicules autonomes de niveau 3.....	27
Conclusion de la Partie 1	28
2. Les acteurs et leurs stratégies d'expérimentation	30
2.1 Les acteurs publics et privés impliqués dans le développement du véhicule autonome à l'échelle internationale, européenne et française	30
2.1.1 L'échelle internationale	30
2.1.2 L'échelle européenne.....	40
2.1.3 L'échelle française.....	42
L'État, entre stratégie industrielle et discours écologique sur le véhicule autonome	42
2.2 Les expérimentations françaises.....	56
2.2.1 L'appel à projet « Expérimentation du véhicule routier autonome » comme illustration de la stratégie française du déploiement du véhicule autonome	56
2.2.2 Les expérimentations d'infrastructures routières et numériques.....	68
Conclusion de la Partie 2	70
3. Scénarios de développement, système socio-technique et conséquences écologiques	72
3.1 Scénarios et horizons de développement	72
3.1.1 Scénarios de développement : territoires, acteurs, utilisateurs, et modèles économiques.....	72
3.1.2 Horizon de développement et compatibilité avec les enjeux climatiques	82
3.2 Les impacts écologiques directs et indirects du développement de la mobilité autonome.....	87
3.3 Au-delà des impacts énergétiques : le système socio-technique	94
3.3.1 La production d'électricité (ou de carburants)	95
3.3.2 Les enjeux autour de la protection des données	96

3.3.3 La nécessaire adaptation des infrastructures routières, et de l'urbanisme et de la connectivité.....	98
3.3.4 La nécessité de partenariats publics-privés et d'investissements colossaux....	106
3.3.5 Derrière la question technique, l'enjeu du coût du travail.....	107
Conclusion de la Partie 3	109
Conclusion générale.....	112
Bibliographie.....	117
Glossaire.....	119

Avant-propos du Forum Vies Mobiles

La voiture domine notre système de mobilité. Nous avons façonné nos villes et les territoires pour elle en y imposant ses infrastructures, ses normes et sa vitesse. Nous avons relégué les autres modes (marche, vélo...) et usages (jeux, flânerie...) sur une portion congrue de la chaussée en lui dédiant l'essentiel de l'espace public (routes, places de stationnement, parkings...). Mais désormais ses externalités négatives (pollution locale, émissions de gaz à effet de serre, accidentologie, congestion, nuisances sonores, ...) sont unanimement dénoncées. Par la société civile d'abord. Elles commencent aussi à être prises en compte par les pouvoirs publics, en particulier en ville.

Dans ce contexte, le véhicule autonome est présenté comme une nouvelle étape dans l'« ère automobile » où les dernières innovations high tech apporteraient des remèdes à tous ces maux.

Les avancées de Google ou d'Uber et les annonces des constructeurs américains, européens ou encore asiatiques fascinent le monde entier et mobilisent intensément les médias. Les investisseurs, les gouvernements et les collectivités se mobilisent en sa faveur, soucieux de ne pas prendre de retard. Électrique, partagé, permettant une conduite fluide et optimisée, le véhicule autonome apporterait des solutions à la congestion et aux problèmes environnementaux dus au système automobile. Par ailleurs, d'un côté la fiabilité des systèmes connectés permettrait une réduction des accidents de la route et libérerait le temps de conduite au profit des loisirs ou du travail et de l'autre, en permettant l'accès à un véhicule à de nombreuses personnes qui ne sont pas en mesure de conduire aujourd'hui (personnes à mobilité réduite, jeunes sans permis), l'autonomie pourrait participer à la lutte contre les inégalités de mobilité et cela quel que soit le territoire, urbain, périurbain ou rural où il serait déployé. En un mot, le véhicule autonome dessine un futur où l'automobile ne serait plus un problème et redeviendrait émancipatrice.

Le Forum Vies Mobiles¹² a voulu évaluer la réalité des discours véhiculés par les pouvoirs publics, les entreprises et les médias et a confié à la Fabrique Écologique une étude pour répondre aux questions suivantes :

- *Le véhicule autonome permet-il de réussir la transition nécessaire vers des mobilités plus durables, à l'heure où la Stratégie Nationale Bas Carbone française prévoit d'ici 2050 de diviser par 33 les émissions de gaz à effet de serre du transport, qui représentent aujourd'hui 30% des émissions en France ? Pourra-t-il être déployé à temps pour cela ?*

¹² **Le Forum Vies Mobiles** est le think tank de la mobilité soutenu par SNCF. Au cœur des modes de vie contemporains, la mobilité soulève des problèmes environnementaux et ne correspond pas pleinement aux aspirations des individus. L'ambition du Forum Vies Mobiles est d'imaginer des mobilités désirées et plus durables. Dans cette perspective, il finance et encadre des recherches nationales et internationales, mène des enquêtes et diffuse des connaissances pour que chacun puisse comprendre les choix collectifs auxquels nous sommes confrontés et agir en conséquence.

- *Au prix de quels investissements (coûts de développement du véhicule, remise à niveau des infrastructures, déploiement de la 5G, etc.) et de quels risques (contrôle des données, disparition d'emplois, etc.) cette transition s'opèrerait-elle ?*

Alors que les citoyens sont prêts à accueillir le véhicule autonome à condition qu'il ne soit pas qu'un produit de luxe se substituant à la voiture individuelle et qu'ils attendent des pouvoirs publics qu'ils soient les garants de l'utilité sociale du véhicule autonome, au service d'usages partagés et inclusifs et en complément des transports en commun¹³, *est ce que le véhicule autonome, tel qu'il est envisagé aujourd'hui, peut répondre à leurs aspirations ?*

En s'appuyant sur un tour d'horizon des documents officiels, de la littérature grise et de la littérature scientifique traitant de la question ainsi que sur une série d'entretiens, la Fabrique Écologique s'est attachée à comprendre ce qu'est le système véhicule autonome et le cadre juridique qui va délimiter son développement. L'étude décortique le véhicule autonome dans toutes ses dimensions : histoire, technique, acteurs impliqués dans son développement (constructeurs, acteurs du numérique, États, etc.) et replace cette innovation dans le cadre de la stratégie politique et économique de la France.

Elle propose ensuite une analyse fine des divers scénarios de développement du véhicule autonome, les investissements qu'il requiert, les impacts que son déploiement aura sur la gestion des données et la question de l'emploi.

Il ressort de cette recherche que *le potentiel du véhicule autonome pour participer à la transition mobilitaire vers des modes de vies plus désirés et durables est loin d'être aussi évident qu'il n'y paraît. Ne faudrait-il pas en tirer les conséquences sans attendre ?*

¹³ <https://fr.forumviesmobiles.org/projet/2018/01/08/debat-citoyen-demain-des-vehicules-sans-conducteur-dans-nos-vies-12292>

Introduction

« On peut dire aujourd’hui que les technologies du numérique y sont partout présentes : dans la conception et la production des matériels, où les méthodes de simulation numérique sont largement utilisées pour offrir aux usagers des niveaux de sécurité et de fiabilité toujours plus élevés ; dans le fonctionnement de ces matériels pour la détection des défaillances et des pannes et pour améliorer les méthodes de maintenance ; dans les systèmes d’exploitation et de gestion des systèmes de transport où l’usager peut à peine imaginer le travail effectué dans les back-offices pour le recueil et le traitement des données, le contrôle et la diffusion des informations de trafic ; enfin dans les relations entre les gestionnaires de transports et les usagers, avec l’information temps réel et plurimodale, la facilitation des accès aux transports, notamment par le développement de la télé-billettique ou le télépéage autoroutier. »

Ces quelques lignes de l’introduction du numéro spécial de la revue « Les cahiers du numérique » sur les « transports intelligents », paru en 2001, soulignent avec enthousiasme l’extension de l’outil numérique à l’ensemble de la chaîne de fonctionnement des véhicules. 20 ans plus tard, les avancées parcourues dans la numérisation rapide des engins de transport désignés comme « véhicule autonome » illustrent cette vision du monde dans laquelle la connectivité étendue et l’intelligence artificielle des machines représentent un réel progrès pour les sociétés humaines. Aujourd’hui, le véhicule autonome est présenté par les pouvoirs publics comme le pas successif à la voiture électrique dans la marche vers la mobilité durable. Promettant une conduite sobre en énergie et un changement de la relation individuelle à la propriété des moyens de transport, le véhicule autonome et surtout, les incertitudes qu’il suscite, invitent à questionner les dimensions matérielles de ces avancées hypothétiques.

Cette étude vise dans une première partie, à aller au bout des éléments de définition, en précisant ce que recouvre la notion d’autonomie, en revenant sur les usages qui sont envisagés sur les équipements nécessaires au fonctionnement du véhicule autonome, aussi bien à l’intérieur du véhicule qu’en termes d’infrastructures routières et numériques.

La seconde partie présente et analyse les acteurs impliqués dans le développement du véhicule autonome, à l’échelle internationale, européenne et française. Elle analyse également les expérimentations menées en France.

Dans quelle mesure et à quelle(s) condition(s) le véhicule autonome peut-il participer à la transition écologique du secteur des transports ? C’est la double question à laquelle tente de répondre la troisième partie de cette étude. Pour cela, trois scénarios de développement du véhicule autonome sont présentés et analysés. Alors que le discours des pouvoirs publics et des industriels sur le véhicule autonome met en avant les vertus écologiques qui lui sont associées, de nombreuses études insistent au contraire sur l’incertitude concernant les performances écologiques de la mobilité autonome, et sur le fait cette dernière pourrait au contraire dégrader fortement le bilan carbone des transports.

Au-delà des aspects énergétiques, le déploiement de la mobilité autonome est conditionné par la mise en place d'un système socio-technique nécessitant l'une adaptation substantielle des infrastructures routières et numériques, de coûteux investissements sous la forme de partenariats public-privés. Ce déploiement soulève de nombreuses questions juridiques, s'inscrit dans une compétition internationale et dissimule une volonté d'optimiser les coûts liés à la masse salariale dans le développement d'une offre de mobilité.

Méthodologie

Cette étude réalisée par La Fabrique Ecologique se base sur la lecture de la littérature grise et savante, technique et théorique consacrée au véhicule autonome. Parallèlement à la sélection et à l'étude des éléments de bibliographie, plusieurs entretiens semi-directifs de type informatif ont été réalisés avec des acteurs engagés dans la réalisation et la mise en place du véhicule autonome : responsables politiques nationaux, cadres d'entreprises du secteur automobile, chercheurs impliqués dans des programmes de développement idoines, etc. Ces entretiens ont pour objet de recueillir d'une part les connaissances de ces acteurs en matière d'avancement du véhicule autonome mais aussi de comprendre les visions du monde qui animent ces choix.

Les personnes interrogées sont les suivantes :

- Vincent Abadie, expert ADAS et véhicule autonome chez PSA
- Sylvain Belloche, Cerema, responsable de l'activité véhicule autonome
- Jean-Bernard Constant, responsable numérique pour la communauté de communes Coeur de Brenne
- Michèle Guilbot, directrice de recherche HDR en droit, directrice adjointe du Laboratoire Mécanismes d'accidents, Département Transport-Santé-Sécurité, Université Gustave Eiffel (ex-Ifsttar)
- François Jarrige, maître de conférence en histoire contemporaine à l'Université de Bourgogne
- Cécile Lagache, Hervé Philippe et Arantxa Julien, DGITM, mission innovation, numérique et territoires
- Florent Laroche, économiste des transports au LAET CNRS
- Christian Long, prospectiviste en mobilité
- Stéphane Rabatel, président VedecomTech

Périmètre de l'étude

Le périmètre de cette étude n'inclue que le transport de passagers. Le transport de marchandises en est donc exclu. Ce dernier fait néanmoins l'objet de nombreuses applications pour le véhicule

autonome. Les liens sont étroits entre les problématiques liées à la mobilité autonome des passagers et celles des marchandises. D'une part, les travaux scientifiques et les avancées technologiques appliqués au véhicule autonome s'appliquent aussi bien au transport de passagers que de marchandises. Ainsi, les programmes de recherche et développement peuvent servir aussi bien l'un que l'autre. D'autre part, l'argumentaire qui sous-tend le développement du transport autonome de personnes sous-tend également celui du transport autonome de marchandises. Par exemple, et comme développé plus loin, l'argument d'un coût moindre de transport permis par l'autonomisation se retrouve aussi bien dans le développement d'un service de transports en commun autonome que dans celui des transports de marchandises. Enfin, les conséquences écologiques et sociales sont déterminées par des mécanismes et des dynamiques semblables. Ainsi, si le transport de marchandises ne fait pas partie du périmètre de l'étude, il est cependant nécessaire de garder à l'esprit les interdépendances entre le transport autonome de marchandises et le transport autonome de passagers.

1. Définition et état des lieux

1.1 Quelques éléments historiographiques sur le développement du véhicule autonome

Loin de représenter une lubie contemporaine, le véhicule autonome s'inscrit dans l'histoire longue de l'ère industrielle. Pour l'historien Kröger (2016), les origines de cette utopie remontent aux années 1920, soit à un siècle. L'idée de voiture sans conducteur serait apparue aux Etats-Unis, comme conséquence d'une réflexion poussée quant à l'important taux de mortalité sur les routes à cette époque (environ 200 000 personnes sur la décennie, dont une grande majorité de piétons). Face à ces accidents associés à des erreurs humaines, la volonté de créer une « conduite technologique » plus sécurisée et sécurisante a émergé. A l'époque, deux technologies laissent croire à une possible automatisation de la conduite : le *Airplane Stabilizer*, créé en France, aujourd'hui considéré comme le premier mode « pilote automatique » des avions, et les technologies radio, développées aux Etats-Unis, qui ont permis de contrôler par les fréquences la position et le déplacement d'engins.

Le premier essai de véhicule autonome eu lieu le 5 août 1921 aux Etats-Unis. Il ne s'agissait pas réellement d'autonomie, le véhicule étant contrôlé par radiofréquences depuis une voiture militaire à 30 mètres du véhicule concerné : on parle plutôt de *remoted-control* (commande déportée). Plusieurs autres essais similaires ont eu lieu entre 1930 et 1950, au cours desquels la commande déportée se fait sur des distances plus importantes¹⁴. Depuis cette époque, l'armée américaine s'est très largement mobilisée sur ces projets ; elle est d'ailleurs responsable des principales avancées du secteur.¹⁵ Très suivis par la presse, ces essais ont participé à de nombreuses campagnes de prévention sur la sécurité routière.

En effet, durant ces deux décennies, le véhicule autonome a été décrit par la presse comme un appareil fantasmagorique, venu tout droit futur. Ce discours était également entretenu par les écrits de nombreux auteurs nord-américains, par des films ou des publicités vantant la sécurité retrouvée grâce à ces appareils. D'autres auteurs et d'autres sources se montrent plus critiques et n'hésitent pas à remettre en question ouvertement les supposés bienfaits du véhicule autonome pour la sécurité des utilisateurs.

¹⁴ Comme en 1933 par exemple, où la voiture fut dirigée depuis un avion en vol

¹⁵ Le rôle primordial de l'armée américaine dans le développement du véhicule autonome reste à noter : la DARPA (Defense Advanced Research Project Agency), agence du département de la défense dédiée à la R&D, met en place à partir de 2004 des compétitions auxquelles participent les chercheurs des grandes universités américaines et dont le but est de concevoir des prototypes de véhicule autonome pouvant aller le plus loin possible. Ces compétitions ont véritablement stimulé les travaux de recherche et développement autour du véhicule autonome. Plusieurs éléments indispensables au fonctionnement actuel des véhicules ont été conçus par les équipes des concours du Darpa Grand Challenge. Plusieurs participants aux différentes éditions de la course ont fait partie des premières recrues de Waymo, la filiale de Google dédiée au véhicule autonome.

Au-delà des questions de sécurité routière, le rêve de l'autonomie semble correspondre à un mouvement général d'aménagement du territoire. A la suite de la Grande Dépression et avec le soutien du gouvernement étasunien, des compagnies pétrolières et automobiles américaines se lancent dans la construction des « villes du futur ». Épaulées par des ingénieurs, urbanistes, architectes, elles créent des villes, et surtout des routes, adaptées aux véhicules autonomes. Lors de l'Exposition Universelle de New York en 1939, le modèle d'autoroutes du futur pour véhicules autonomes développé par Shell et maqueté grandeur nature (soit 3000 mètres carrés de « ville ») par General Motors est exposé. *Futurama* remporte un succès phénoménal : les visiteurs se croient immergés dans les années 1960, date imaginée de cette nouvelle réalité. Cette expérience interactive inspirera pour longtemps de nombreux artistes, qui exposeront à leur tour des visions futuristes (notamment à travers la science-fiction).

La Seconde Guerre mondiale a stoppé net les projets de véhicules du futur, les financements allant en priorité à la production de chars militaires. A la fin du conflit, l'utopie du véhicule autonome revint pourtant avec force sur le devant de la scène : les technologies militaires utilisées durant la guerre pouvaient dorénavant avoir un usage civil (GPS, systèmes de radiofréquences plus modernes, etc.). Malgré les innovations technologiques, les modèles proposés à l'époque sont toujours conformes à la voiture traditionnelle : le conducteur est assis devant un volant, à côté du passager ; les sièges sont inclinés dans les positions classiques, etc....

Dans les années 1950, la famille devient un argument de taille pour le développement de la voiture autonome, en raison de l'intensification des modes de vie et de la consommation de masse qui se développe : les journées de travail sont plus longues, les distances sont plus larges à parcourir ; par voie de conséquence, chaque moment de liberté doit être associé aux loisirs. Dans cette perspective, les longs trajets en voiture doivent donner à la famille la possibilité de se recentrer et de passer du temps ensemble.

C'est pourquoi, à partir des années 1955, de nombreux prototypes sont développés avec succès. Les modèles changent, le tableau de bord se transforme en tableau de commande, une manette permet de diriger à minima le véhicule... De nouveaux procédés apparaissent : le *Tempomat* ou régulateur de vitesse est perçu comme un immense progrès. A mesure que le procédé devient de plus en plus concret, c'est la perception même du véhicule autonome qui change et se recentre sur la responsabilité individuelle du conducteur.

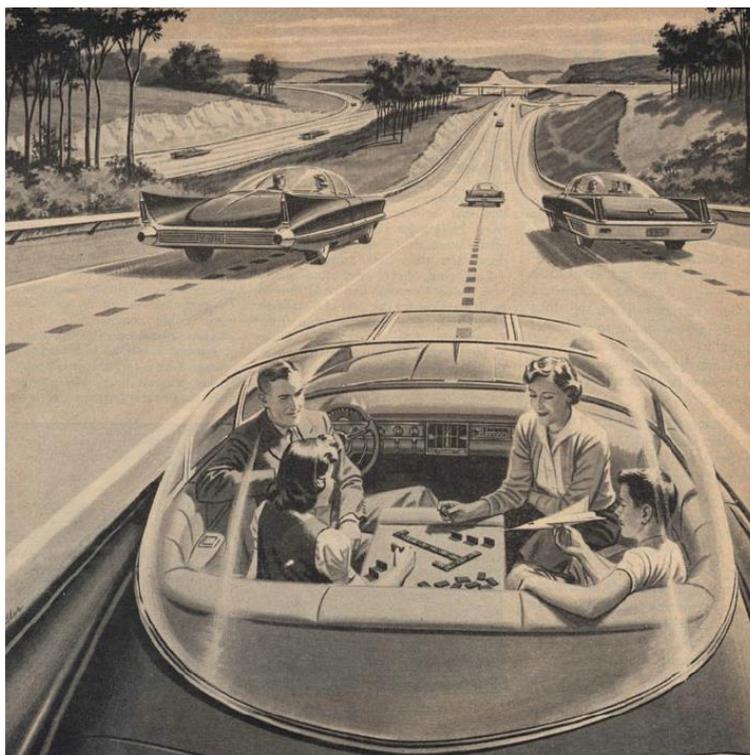


Figure 1- Image de promotion d'un véhicule autonome en 1956 Source : Kröger (2016)

Alors que, dans les années 60, la littérature, la presse et le cinéma sont toujours très attachés aux véhicules autonomes, on observe un changement d'orientation notable : petit à petit, l'idée de machines qui prendraient le pas sur la vie humaine, d'un monde robotisé et sans âme ni contrôle effraie le public. Plusieurs films transforment ces « bêtes technologiques » en des monstres destructeurs, à mesure que la question de l'automatisation et de la place des technologies dans la vie courante sont remise en cause. De leur côté, les milieux académiques et industriels commencent également à se distancier du projet : pour ces professionnels, le fossé entre technologie et faisabilité économique est devenu abyssal. De plus, le secteur automobile doit également faire face à de nouvelles contraintes environnementales et de sécurité. Dans les années 1970 c'est le Japon, grâce à des entités indépendantes du secteur automobile et sa coopération avec les Etats-Unis, qui devient leader du projet véhicule autonome. De nombreuses expériences sont faites, avec parfois de nouveaux concepts.

Dans les années 1980, le développement de composants micro-électroniques relancent la recherche sur le véhicule autonome. En Allemagne, BMW est à la pointe de la technologie sur ces questions : ordinateur embarqué, multiples caméras, processeurs électroniques, radar de vitesse, perception 3D... Dans les années 1980-1990, l'Union européenne finit par débloquer des fonds pour un programme de recherche européen sur le véhicule autonome : en 1994, le premier véhicule autonome « moderne » parvient à conduire de façon automatique sur plus de 1000 kilomètres et sur trois voies autour de Paris (trafic dense et pointe d'accélération à 130 km/h). Il s'agit du premier essai

en conditions réelles véritablement concluant. Une expérience similaire est menée en 1995 aux Etats-Unis. Tous ces essais ont popularisé le véhicule autonome dans nos cultures : aujourd'hui le concept fait pleinement partie des imaginaires cinématographiques, entre autres.

L'entretien mené avec l'expert en prospective Christian Long recentre la réflexion sur le contexte d'émergence du véhicule autonome en France, impulsé par l'Etat. A la fin des années 1990, l'un des enjeux était notamment le transport des marchandises arrivant en cargo au Havre depuis la Chine. Plutôt que de mettre en circulation des trains de marchandises, l'idée est venue de réserver une voie sur l'autoroute A13 afin de faire circuler des camions autonomes. Dans le tournant des années 2000, deux briques technologiques ont permis de faire ressurgir l'idée du véhicule autonome : la cartographie numérique et les avancées en matière de connectivité.

1.2 Définition du véhicule autonome et niveaux d'autonomie

En 2016, la Commission d'Enrichissement de la langue française donnait la définition suivante du véhicule autonome : « *véhicule connecté qui, une fois programmé, se déplace sur la voie publique de façon automatique sans intervention de ses utilisateurs* »¹⁶. Le véhicule connecté est quant à lui défini par la même commission comme un « *véhicule automobile doté de technologies lui permettant d'échanger en continu des données avec son environnement* ». Les deux définitions s'articulent donc, puisque la Commission considère que le véhicule autonome est connecté.

Comme le précise Michèle Guilbot, directrice de recherche en droit à l'Institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux (IFSTTAR), « *l'autonomie suppose une capacité décisionnelle et une indépendance de l'action de la part du système, basées certes sur des programmations et des processus d'apprentissage initiaux mais aussi sur l'auto-apprentissage. L'autonomie suppose la présence d'une véritable intelligence artificielle capable de gérer elle-même son interaction avec l'environnement, c'est-à-dire sans répondre de manière automatique à une situation préprogrammée* » (CVT Athena, 2017).

Cette définition théorique regroupe en réalité différents degrés d'autonomie, relatives à divers modes de conduite. En 2014, la *Society of Automotive Engineers (SAE)*, une organisation internationale regroupant scientifiques et ingénieurs, a proposé une classification des véhicules autonomes, qui constitue aujourd'hui la grille de référence pour les pouvoirs publics et les constructeurs. Cette classification contient 5 niveaux d'autonomie.

Le niveau 1 désigne l'automatisation de certaines fonctions : régulateur de vitesse, freinage automatique d'urgence, etc. Le conducteur reste disponible et présent, la voiture ne prend aucune

¹⁶ Commission d'enrichissement de la langue française. Vocabulaire de l'automobile, JORF du 11 juin 2016, texte n°111.

décision seule. La plupart des voitures neuves vendues aujourd'hui sont de niveau 1. Certaines fonctions automatisées sont même obligatoires, telles que le système d'antiblocage des roues (ABS).

Le niveau 2 désigne l'automatisation de plusieurs fonctions simultanément. Le véhicule peut gérer l'accélération et le freinage, se maintenir sur une voie ou encore offrir une assistance pour se garer. Il n'a en revanche pas conscience de l'ensemble de son environnement et là encore, le conducteur doit rester disponible et présent. A l'heure actuelle, aucun constructeur ne commercialise en Europe de véhicule au-delà du niveau 2 d'autonomie, même si certains cultivent l'ambiguïté pour des motifs commerciaux. Tesla, l'un des principaux promoteurs du véhicule autonome au niveau international, affirme que son modèle est équipé d'un logiciel *autopilot* qui offre un « *plein potentiel pour la conduite autonome* ». La justice allemande, saisie par le Centre de protection contre la concurrence déloyale, vient de déclarer que cette dénomination constituait « *des actes commerciaux trompeurs* »¹⁷. Le constructeur américain doit donc retirer ses informations trompeuses de tous ses supports de communication. Cette affaire illustre bien l'importance des enjeux de définition de l'autonomie des véhicules, ainsi que de la concurrence entre différents constructeurs, pris dans la course au monopole du marché mondial.

Le niveau 3 désigne la conduite autonome limitée. C'est à partir de ce niveau que l'on peut réellement parler d'autonomie, le niveau 1 et 2 désignant plutôt une aide à la conduite automobile (*Advanced Driver Assistance Systems, ou ADAS* en anglais). Les véhicules sont capables d'analyser leur environnement et de prendre des décisions en fonction de son évolution. Au niveau 3, la conduite autonome est limitée à certaines conditions (par exemple sur autoroute) et le conducteur doit être en permanence en mesure de reprendre le contrôle.

Le niveau 4 désigne l'autonomie complète sous certaines conditions, qui sont des limitations à certaines zones géographiques et des conditions météorologiques. Le système de robot-taxis développé par Waymo, filiale de Google dédiée au développement du véhicule autonome (*cf infra*), est une illustration du niveau 4 d'autonomie.

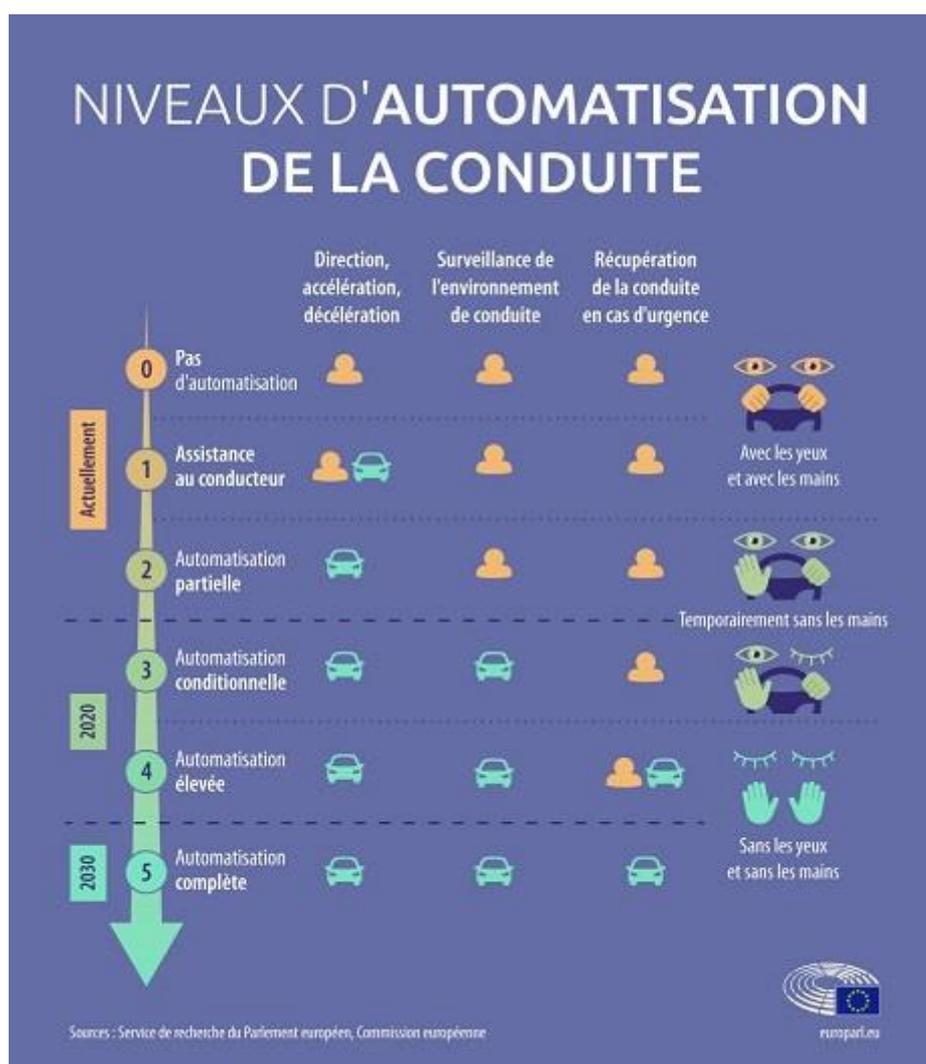
Enfin, le niveau 5 désigne l'autonomie complète en toute condition.

La figure 2 résume les différents niveaux d'autonomie tels que définis par le SAE.

¹⁷ <https://news-24.fr/un-tribunal-de-munich-decide-que-tesla-a-induit-les-consommateurs-en-erreur-sur-le-pilote-automatique-et-le-fsd/>

Cette déclinaison selon différents niveaux d'autonomie met en évidence une logique d'amélioration incrémentale de l'autonomie des véhicules. Alors que ce processus le véhicule autonome est souvent présenté comme une technologie de rupture, on constate au contraire qu'il s'agit plutôt de l'adaptation progressive d'un véhicule classique. Cette logique d'amélioration incrémentale semble être guidée par plusieurs facteurs. D'une part, le développement de l'autonomie est contraint par les

Figure 2: Les différents niveaux d'autonomie selon le SAE



connaissances scientifiques et techniques. Les améliorations se font donc au rythme des avancées techniques. D'autre part, l'ajout progressif d'options d'aide à la conduite s'inscrit dans une perspective générale d'amélioration de la sécurité routière à partir des véhicules. Les constructeurs sont soumis aux normes européennes et nationales ainsi qu'à la pression des utilisateurs pour minimiser le nombre d'accidents, ce qui explique que certains équipements d'assistance soient

désormais obligatoires pour les véhicules neufs. Dès 2022, tous les véhicules vendus dans l'Union européenne devront être équipés d'un système de freinage automatique¹⁸. Les niveaux plus élevés d'autonomie cherchent donc à répondre à certaines évolutions réglementaires. Au fil des années, les véhicules sont devenus de plus en plus confortables ce qui, venant s'ajouter à la limitation de vitesse, génèrerait, selon l'expert, ennui et frustration. Ce constat prend tout son sens dans un contexte où les lignes de train à grande vitesse concurrencent l'automobile pour les trajets longue distance. L'autonomie du véhicule apporterait une réponse à cette contrainte réglementaire de la vitesse, qu'elle compenserait en apportant un confort supplémentaire. Enfin, les nouveaux équipements d'aide à la conduite semblent être une réponse aux nouveaux usages, en premier lieu celui du *smartphone*. L'assistance embouteillage permet d'éviter les accidents entre un véhicule et celui qui le précède, ce type d'accident très fréquent est un révélateur de l'usage du smartphone au volant.

Si le développement de l'autonomie s'appuie sur la voiture individuelle traditionnelle, les usages envisagés et actuellement expérimentés ne se limitent pas au véhicule particulier. Ainsi, en plus de la voiture particulière, le véhicule autonome regroupe également les voitures traditionnelles dont l'usage est partagé, ainsi que les navettes autonomes. La terminologie « véhicule autonome » désigne donc les voitures autonomes ainsi que les navettes autonomes, les voitures autonomes peuvent être particulières ou partagées. Les véhicules partagés peuvent être une offre de transport public ou bien un système d'autopartage ou de robot-taxis privés. Les parties 2 et 3 reviennent plus en détails sur ces différents développements et usages du véhicule autonome.

1.3 Fonctionnement d'un véhicule autonome

La conduite autonome conditionnée à la présence à bord de nombreux capteurs et d'un logiciel de conduite intelligent

Afin de pouvoir détecter son environnement, le véhicule autonome doit être équipé de nombreux capteurs. A l'heure actuelle, plusieurs options s'affrontent. La plupart des constructeurs combinent aujourd'hui trois types de capteurs : les caméras, les radars et les lidars¹⁹. Il est en effet nécessaire d'assurer la « redondance » de l'information par le biais de l'utilisation de différents capteurs s'appuyant sur différentes techniques, afin d'assurer l'accès à l'information même en cas de défaillance d'un capteur ou de conditions particulières (luminosité, conditions météorologiques, circulation, etc.). De plus, chaque technologie présente des domaines de fonctionnement optimal différents (portée très courte ou longue distance, fonctionnement de nuit, sensibilité à la pluie, etc.),

¹⁸ https://www.lepoint.fr/automobile/ue-les-vehicules-neufs-devront-tous-etre-equipés-du-freinage-d-urgence-16-04-2019-2307974_646.php

¹⁹ Tesla, l'un des leaders de la construction de véhicules autonomes individuels (*cf infra*) affirme qu'il est possible de se passer du lidar, qui est volumineux et coûteux

ce qui nécessite une combinaison de ces technologies pour garantir un fonctionnement en toute condition.

Les caméras frontales permettent de détecter les éléments situés devant le véhicule, tandis que les caméras latérales situées tout autour de la voiture permettent de regarder au sol et les côtés. Elles permettent de détecter des voitures, motos, vélos et piétons, ainsi que le marquage au sol. Les caméras frontales vont également servir à lire les panneaux de signalisation. Mais le fonctionnement de la caméra peut être limité dans l'espace ou par les conditions météorologiques (soleil éblouissant, pluie intense, brouillard, etc.). En outre, la caméra peut ne pas faire la distinction entre un véritable objet et une ombre.

Le lidar est un système de détection laser. Tout comme la caméra, il permet de détecter les objets environnants (infrastructures, piétons, voitures, etc.). Il permet de mesurer les distances entre le véhicule et l'objet par l'étude de la vitesse de propagation de l'onde émise par le lidar. La portée est de plusieurs dizaines de mètres, voire au-delà d'une centaine pour certains modèles de lidar. Le fonctionnement du lidar est également limité à certaines conditions météorologiques, puisque les gouttes de pluie peuvent être considérées comme des objets pouvant brouiller le signal.

Le radar sert également à détecter des objets, et notamment les plus lointains. Il se base sur l'émission et la réception d'ondes radio. Le temps écoulé entre l'émission et la réception de l'onde permet de déterminer la distance de l'objet. Le radar permet également de connaître la vitesse des véhicules environnants. Il offre l'avantage de fonctionner la nuit puisqu'il n'a pas besoin de lumière pour être opérationnel. En général, les véhicules sont équipés de plusieurs radars de différentes portées.

Les ultrasons permettent de collecter des informations sur les objets situés à très courte portée du véhicule. Le fonctionnement s'appuie sur l'émission d'une onde sonore qui va être renvoyée par les objets environnants. Comme les ondes laser et radio, cela permet de déterminer la distance de ces objets.

La figure 3 résume les principaux capteurs nécessaires à la conduite autonome. Il s'agit d'un schéma théorique, mais le schéma fourni par Waymo et disponible sur son site internet est très proche.

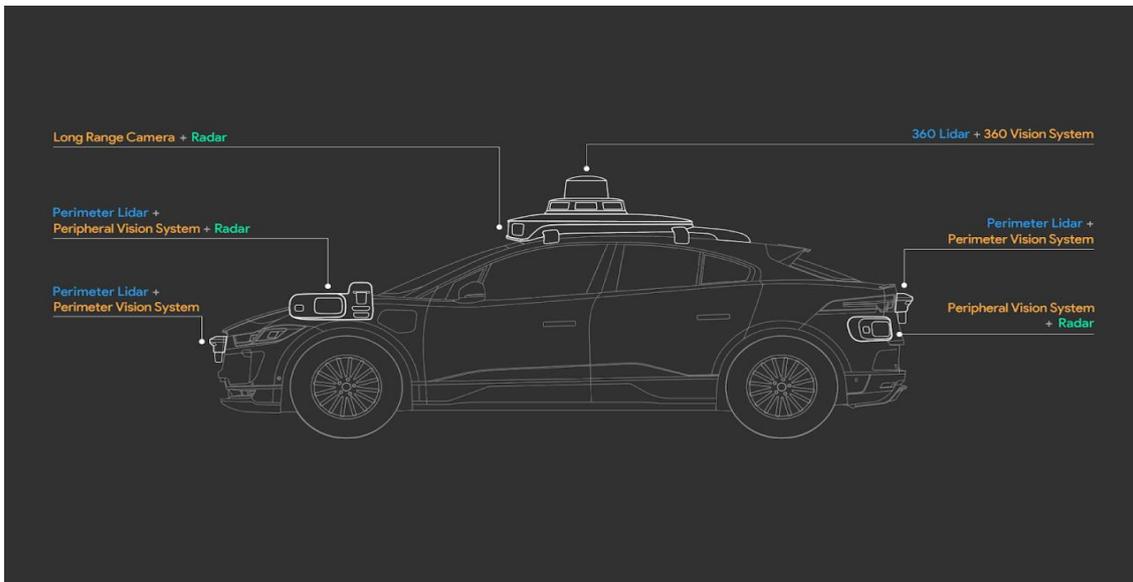
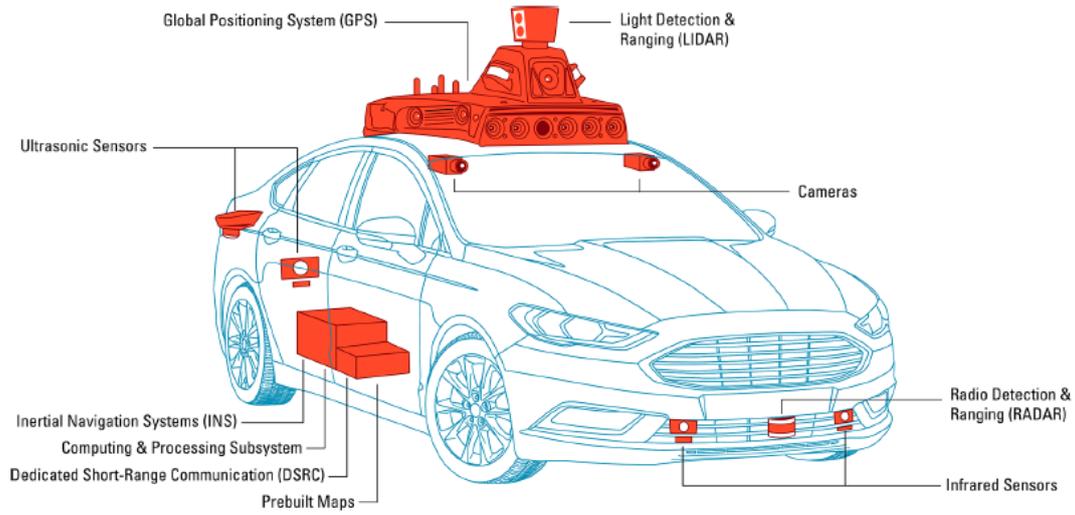


Figure 3 - (a) Schéma théorique représentant les équipements permettant la conduite autonome

Source : Taiebat et al. (2018)

(b) Schéma présentant les équipements des voitures Waymo

Source : Waymo

En plus des nombreux capteurs permettant au véhicule de détecter son environnement, il est nécessaire d'installer un logiciel permettant de traiter ces informations et de les transformer en décision (changer de trajectoire, freiner ou accélérer, etc.). Le logiciel sert à fusionner, analyser et interpréter les données fournies par les nombreux capteurs, et à anticiper la trajectoire des objets environnant à partir des observations enregistrées par ces capteurs. Afin de prendre la « bonne décision » à partir des informations qui lui ont été fournies, l'intelligence artificielle a besoin d'être entraînée. Elle est donc soumise à un nombre très important de situations où on lui dit ce qu'elle doit faire. Elle est capable d'apprendre et de retenir les choix réalisés. Afin d'entraîner l'intelligence artificielle, il est nécessaire d'effectuer plusieurs milliards de km²⁰. Une partie est réalisée réellement, l'autre est réalisée virtuellement. Un communiqué récent de Waymo indique par exemple qu'une journée de simulation correspond à l'équivalent d'un siècle de conduite, soit plus d'un million de km par jour de simulation. L'entreprise affirme avoir ainsi parcouru l'équivalent de 15 milliards de miles en simulation (24 milliards de km)²¹.

Le matériel informatique à embarquer est donc conséquent. La puissance de calcul permettant de faire fonctionner l'intelligence artificielle est très élevée. De même pour les capacités de stockage des données. En effet, les nombreux capteurs présents génèrent de très nombreuses données : selon les sources et selon les niveaux d'autonomie considérés, les estimations oscillent entre 5 et 32 TB de données générées par jour. Si l'on s'appuie sur cette dernière estimation, cela signifie une capacité de 960 TB pour stocker les données pendant une durée d'un mois avant de les effacer, car pour des raisons de responsabilité juridique en cas d'accident, il est nécessaire de stocker les données à bord du véhicule pendant un certain laps de temps (*cf infra*).

Au-delà des équipements à bord, la nécessité d'infrastructures de transport intelligent et de connectivité

Si les nombreux capteurs décrits précédemment sont nécessaires au fonctionnement du véhicule autonome, ils ne sont pas suffisants pour garantir une mobilité autonome fluide et efficace. La connectivité entre les véhicules entre eux (*vehicle to vehicle, V2V*) ou entre les véhicules et l'infrastructure (*vehicle to infrastructure, V2I*) ainsi que la cartographie sont éléments incontournables.

La connectivité facilite amplement le développement du véhicule autonome. Cela apparaît clairement dans la définition du véhicule autonome de la Commission d'enrichissement de la langue française. Les véhicules connectés ne sont pas nécessairement autonomes. Les véhicules les plus récents actuellement en vente sont déjà connectés. Ils peuvent générer des données qui sont utilisées pour suivre les performances des véhicules et améliorer la maintenance lors de la révision des véhicules. La connectivité permet également d'obtenir des informations sur les conditions de circulation

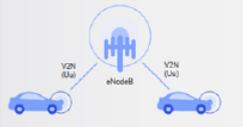
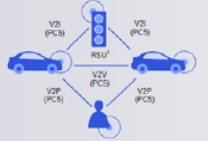
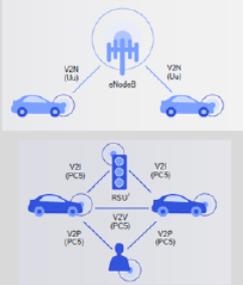
²⁰ <https://www.lespritsorcier.org/dossier-semaine/la-voiture-autonome/>

²¹ <https://blog.waymo.com/2020/04/off-road-but-not-offline--simulation27.html>

(accidents, travaux, conditions météorologiques, etc.). Elle permettrait également aux pouvoirs publics de « *connecter des données à grande échelle sur le parc, notamment des données anonymisées sur la consommation moyenne de carburant en condition réelle* » (Commission européenne, 2018). Suite au *Dieselgate* qui a révélé la fraude organisée par Volkswagen consistant à truquer les résultats des tests de consommation énergétique des véhicules, les pouvoirs publics souhaitent sans doute utiliser d'autres voies pour mesurer les performances des véhicules.

Si le véhicule connecté n'est pas encore autonome, l'ensemble des acteurs impliqués dans le véhicule autonome considère que les véhicules autonomes sont connectés. Pour la Commission européenne ces engins seront « *capables de coordonner leurs manœuvres, en utilisant le support actif de l'infrastructure et en permettant une gestion véritablement intelligente du trafic en vue d'une fluidité et d'une sûreté optimales de la circulation* ». L'institution ajoute qu'« *à partir de 2020, la technologie 5G émergente élargira considérablement l'assortiment de moyens de communication, en fournissant des services plus complexes et améliorés* ». D'après Florent Laroche, économiste des transports au CNRS, la 5G est la condition nécessaire au développement des offres de robots-taxis. Il s'agit de flottes de taxis autonomes (*cf infra*). Un très haut niveau de connectivité est nécessaire, non pas pour piloter la trajectoire des véhicules, mais pour coordonner la flotte à l'échelle de son périmètre de fonctionnement (faire coïncider géographiquement l'offre et la demande de trajets, optimiser les trajets des véhicules, gérer les dysfonctionnements, etc.).

Il importe de distinguer deux modes de communication qui permettent aux véhicules connectés d'échanger des informations : les communications « directes » de courte portée (entre 500m et 1km) se basant sur la bande de fréquence des 5,9 GHz et les communications de longue portée qui utilisent les réseaux cellulaires des opérateurs mobiles. Les deux modes de communication peuvent co-exister au sein d'un même véhicule. La Figure 4 caractérise les différentes technologies. Leur déploiement et leur exploitation sont assurées par des acteurs différents.

	Bandes des opérateurs mobiles	Bande 5,9 GHz	Bande des opérateurs mobiles + bande 5,9 GHz
Technologies	2G, 3G, 4G, bientôt 5G	ITS-G5 (dérivé du Wi-Fi)	C-V2X (Cellular Vehicle-to-Everything)
Mode de communication	Vehicle-to-Network	Vehicle-to-Vehicle Vehicle-to-Infrastructure Vehicle-to-Pedestrian	Vehicle-to-Network Vehicle-to-Vehicle Vehicle-to-Infrastructure Vehicle-to-Pedestrian
			

Source des schémas : Qualcomm

Figure 4 - Technologies de communication des véhicules entre eux et entre les véhicules et l'infrastructure Source : ARCEP (2019)

Selon l'ARCEP (2019), la 5G permet, par comparaison avec la communication courte distance, « d'accéder à des débits plus élevés, ouvrant la voie à davantage de services (accès à internet à des fins de divertissement, signalisation de points d'intérêt, activation à distance du moteur, localisation en cas de vol, etc.), à des communications sur de plus longues distances entre véhicules, et une garantie de non brouillage ». L'institution affirme également que « la connectivité des véhicules permet d'augmenter l'attractivité de ces derniers sur plusieurs points. Tout d'abord, elle permet d'offrir de nouveaux services dits « sous le capot » tels que la maintenance ou la sécurité. Ensuite, elle permet d'offrir une plus grande gamme de fonctionnalités et de loisirs, dites « sous l'habitacle » à destination des conducteurs ».

La cartographie haute définition permet quant à elle de compléter les informations enregistrées par les différents capteurs. D'après Christian Long, consultant chez Stratys, elle fait même partie, à côté des innovations techniques sur la connectivité, des briques technologiques supplémentaires qui ont fait ressurgir le rêve du véhicule autonome. Le principe est le même que les cartographies fournies par les célèbres applications telles que Google Maps., mais le niveau de précision est beaucoup plus élevé (voies, signalisation, etc.). Les cartographies HD doivent être mises à jour continuellement, contrairement aux applications de cartographies actuelles qui ne sont mises à jour que quelques fois par an. TomTom, entreprise spécialisée sur la cartographie numérique, développe son propre véhicule autonome dans le but de produire une cartographie numérique HD compatible avec les exigences de

la conduite autonome. Son véhicule collecte chaque jour 61 milliards de données de trajet²². L'Union européenne mène de nombreuses actions en faveur du développement d'une cartographie ultra-performante (*cf infra*).

Pour pouvoir actualiser instantanément ces éléments, la cartographie a besoin des informations communiquées par les autres véhicules et par les infrastructures routières. Par exemple, les gestionnaires d'autoroutes peuvent communiquer avec les véhicules connectés sur l'emplacement des travaux en cours. Les travaux sont signalés par de nombreux panneaux plusieurs centaines de mètres en amont. Si pour une quelconque raison ces panneaux ne sont pas enregistrés par les capteurs à bord du véhicule autonome, le gestionnaire d'infrastructures, qui connaît parfaitement l'emplacement de ses travaux, peut transmettre l'information *via* la cartographie haute définition. Les infrastructures peuvent également fournir des informations sur les conditions de trafic ou encore les accidents. Enfin, elles permettent de guider la trajectoire des véhicules dans des périmètres particuliers, comme c'est par exemple le cas à l'approche de la gare de péage de Saint-Arnoult (*cf Encadré 1*).

Le projet d'expérimentation d'infrastructures de transports intelligents SCOOP@F, mené en France entre 2014 et 2019 (*cf* Partie 2), permet d'illustrer différents cas d'usages de communication entre les véhicules autonomes et l'infrastructure :

- l'optimisation du trafic : les véhicules communiquent sur leur vitesse, leur position et leur direction. Un opérateur réceptionne ces données ; il est capable d'anticiper les congestions et de communiquer des itinéraires alternatifs aux automobilistes.
- l'information sur travaux routiers : les gestionnaires d'infrastructures connaissent la date et le lieu des travaux qu'ils peuvent communiquer aux automobilistes.
- le freinage d'urgence : un véhicule freinant de manière brutale peut communiquer cette information aux véhicules environnant et éviter ainsi un accident.
- message d'alerte déclenché par l'utilisateur : un véhicule accidenté stationné sur la bande d'arrêt d'urgence peut communiquer sa position aux autres automobilistes ainsi qu'à l'infrastructure.

Encadré 1 - Exemple de communication entre les véhicules autonomes et une infrastructure autoroutière

Le péage de Saint-Arnoult

PSA et Vinci Autoroutes mènent une expérimentation commune sur le péage de Saint-Arnoult (Yvelines), qui est la plus grande gare de péage d'Europe. D'après un expert de Vinci, l'infrastructure (ici la gare de péage) « a un rôle essentiel dans la mesure où elle va transmettre au véhicule la

²² <https://www.usine-digitale.fr/article/ifa-2019-tomtom-cree-son-propre-vehicule-autonome-pour-mieux-tester-ses-services-de-cartographie.N881705>

trajectoire qu'il va devoir suivre pour se rendre vers la bonne gare de péage ». Le véhicule autonome « reçoit électroniquement cette trajectoire ». L'information d'ouverture de passage est transmise également par l'infrastructure ».

Afin de rendre possible la communication entre le péage et le véhicule, trois voies du péage de Saint Arnoult ont été équipées d'une nouvelle antenne Unité Bord de Route (UBR).

A propos de cette expérimentation, Pierre Coppey, le président de Vinci autoroutes, déclare que *« pour que les véhicules de demain soient réellement autonomes, il faut qu'ils soient connectés à des infrastructures intelligentes, que nous sommes en train d'inventer. La collaboration entre constructeurs automobiles et opérateurs de mobilité est de ce point de vue essentiel ».*

Carla Gohin, directrice de l'innovation chez PSA, déclare que *« cette expérimentation illustre le potentiel apporté par la communication en temps réel entre le véhicule et l'infrastructure routière ».*

Sources : Communiqué de presse Vinci Autoroutes et groupe PSA du 12 juillet 2017²³ et reportage vidéo publié par Vinci autoroute²⁴

1.4. La réglementation internationale encadrant le déploiement des véhicules autonomes de niveau 3

Au-delà des définitions par niveau d'autonomie et des possibilités techniques offertes par les technologies embarquées et les infrastructures, le véhicule autonome est également défini juridiquement.

À l'échelle internationale, l'ONU est en charge de la réglementation portant sur le véhicule autonome. La Convention internationale sur la sécurité routière de Vienne, datant de 1968, impose la présence d'un conducteur à bord du véhicule. Les travaux récents de l'ONU visent à modifier cette convention pour permettre les expérimentations de véhicules autonomes. En mars 2016, un amendement précise que *« les systèmes de conduite automatisée seront explicitement autorisés sur les routes, à condition qu'ils soient conformes aux règlements des Nations Unies sur les véhicules ou qu'ils puissent être contrôlés voire désactivés par le conducteur ».*

²³ https://corporate.vinci-autoroutes.com/sites/default/files/2017-07/CP%20VINCI%20Autoroutes-PSA%20-%20P%C3%A9age_V%C3%A9hicule%20autonome.pdf

²⁴ https://www.youtube.com/watch?v=V_6ouFiLazw

En juin 2020, une cinquantaine de pays membres de l'ONU ont adopté un nouveau règlement concernant les véhicules autonomes de niveau 3. Les constructeurs automobiles devront se plier aux exigences de ce règlement, qui a été élaboré dans le cadre du Forum mondial pour l'harmonisation des réglementations sur les véhicules, une plateforme intergouvernementale qui définit les exigences techniques appliquées par le secteur automobile dans le monde entier. Les 53 pays signataires sont issus des continents africains, asiatiques et européens. Les Etats-Unis ne font pas partie du Forum. En revanche, si les constructeurs étatsuniens souhaitent vendre leurs produits dans un pays signataire du règlement, ils devront se conformer aux exigences de l'accord. Ce règlement entrera en vigueur dès janvier 2021. Parmi les mesures qu'il prévoit, on trouve les suivantes :

- le conducteur doit être assis sur son siège avec sa ceinture de sécurité ;
- le système de conduite autonome ne peut s'activer que sur les routes où les cyclistes et les piétons ne cohabitent pas avec les voitures ;
- les routes doivent être séparées par une barrière physique entre les deux sens de circulation ;
- le système de sécurité autonome ne peut s'activer à plus de 60 km/h ;
- les écrans multimédias utilisés pour le divertissement doivent se déconnecter immédiatement dès lors que le conducteur reprend le contrôle du véhicule ;
- des capteurs doivent être installés pour garantir la disponibilité du conducteur (clignements des yeux, mouvements de la tête et du corps, etc.) ;
- le véhicule doit disposer d'une boîte noire « système de stockage de données pour la conduite automatisée ».

Ce nouveau règlement, auquel devra se conformer la France, est d'une importance cruciale pour les avancées prochaines du véhicule autonome. Certaines mesures phare telles que la limitation de vitesse à 60 km/h ou l'obligation de séparer les routes par une barrière physique sont des règles qui vont contraindre les expérimentations et les développements futurs du véhicule autonome. Si ces règles ne concernent pour le moment que le niveau 3 d'autonomie, elles laissent supposer que des mesures tout aussi contraignantes devront être mises en place pour les niveaux 4 et 5.

Conclusion de la Partie 1

La vocation de cette partie est d'aller au bout des éléments de définition du véhicule autonome dans un contexte où des solutions techniques mal définies telles que « l'hydrogène », les « biocarburants » ou encore « l'avion vert » envahissent le débat public sur la transition écologique. Le flou qui entoure ces « innovations » laisse à distance les questions qu'il faudrait pourtant se poser : comment fonctionnent-elles ? Où sont produits les composants ? Quelle quantité d'énergie est-elle requise pour leur fonctionnement ? Quelles sont les modifications des infrastructures, du territoire ou des comportements induites par leur mise en œuvre ? Qui les financera ? A quelle échéance seront-elles matures ? Réduiront-elles ou au contraire renforceront-elles des inégalités ?

Si les réponses à ces questions sont apportées dans les parties 2 et 3, la partie 1 a permis de préciser ce que l'on entendait par véhicule autonome.

Premièrement, le véhicule autonome ne désigne pas un objet technique stable mais bien une continuité d'améliorations incrémentales de la voiture traditionnelle. L'autonomie est segmentée en 5 niveaux. Les niveaux 1 et 2 sont déjà commercialisés et représentent avant tout des aides à la conduite : freinage d'urgence, maintien d'une vitesse donnée sur autoroute, etc. Le niveau 3 permet une automatisation partielle de la conduite. Les niveaux 4 et 5 désignent quant à eux une autonomie complète, respectivement dans des conditions particulières et en toute condition.

Deuxièmement, le véhicule autonome se caractérise par les technologies sur lesquelles il repose pour pouvoir circuler sans intervention humaine. De nombreux capteurs embarqués permettent d'analyser l'environnement et de générer des quantités astronomiques de données qui sont ensuite traitées par l'intelligence artificielle en charge de la conduite autonome. Ces capteurs doivent être complémentaires pour pouvoir enregistrer chaque événement quelles que soient les conditions météorologiques ou de circulation. Les technologies utilisées sont donc variées : caméras 3D, radars, lidars, etc. Les données générées sont ensuite traitées par le logiciel de conduite autonome pour être transformées en consigne de trajectoire ou de vitesse. Ces données sont également communiquées à d'autres véhicules autonomes ou à l'infrastructure routière pour augmenter la quantité et donc la fiabilité de l'information. Cette redondance de l'information est la condition nécessaire à l'automatisation de la conduite, et elle a également un coût puisqu'il faut équiper le véhicule et le territoire de nombreux capteurs dont la fabrication et le fonctionnement ont un impact écologique majeur.

Troisièmement, la définition du véhicule autonome ne saurait être opérationnelle sans sa dimension juridique. Celle-ci est particulièrement importante puisqu'elle permet d'encadrer les possibilités techniques des véhicules par des règles fondées non plus sur des lois de la physique mais sur des décisions politiques. Historiquement, la convention de Vienne qui encadre la conduite des véhicules n'avait pas envisagé le cas d'un engin sans chauffeur. Les pays négocient donc actuellement pour élaborer le futur cadre de la conduite autonome. En juin 2020, une soixantaine de pays ont élaboré dans le cadre onusien une réglementation contraignante pour les véhicules de niveau 3. Les pays signataires de cette réglementation, dont les Etats-membres de l'Union européenne, le Japon ou la Corée du Sud, ne pourront accueillir sur leur territoire que des véhicules répondant à des règles strictes telles que la présence obligatoire du conducteur au volant et avec sa ceinture de sécurité, une vitesse maximale de 60km/h, l'obligation de circuler sur une chaussée séparée par une barrière centrale ou encore la présence d'une boîte noire permettant de stocker les données générées par la conduite automatisée. Cette réglementation limite donc pour l'instant fortement les usages des véhicules autonomes de niveau 3.

2. Les acteurs et leurs stratégies d'expérimentation

La partie précédente a montré que le concept de véhicule autonome rassemble une diversité d'objets et d'usages. D'abord, la notion d'autonomie telle que retenue par le SAE recouvre en réalité plusieurs niveaux d'autonomie. Ensuite, les choix technologiques varient en fonction des constructeurs et des pratiques. Enfin, les utilisations potentielles des véhicules autonomes sont variées et rassemblent une diversité d'acteurs, de territoires et d'applications et sont limitées par les réglementations. La partie 2 présente les différents types d'acteurs impliqués dans le développement du véhicule, à l'échelle internationale, européenne et française. Elle analyse également les expérimentations menées en France sur le véhicule autonome et ce qu'elles révèlent du futur de la mobilité et des jeux d'acteurs.

2.1 Les acteurs publics et privés impliqués dans le développement du véhicule autonome à l'échelle internationale, européenne et française

2.1.1 L'échelle internationale

Les enjeux géopolitiques de la confrontation entre plusieurs modèles de développement

La course à l'autonomisation des véhicules rappelle que la France a un rôle à jouer en matière de construction automobile à échelle mondiale. Ainsi, l'un des objectifs premiers semble être de vouloir maintenir l'industrie automobile française à flots, comme le constate ici l'économiste Florent Laroche : « *au niveau de l'Etat on est plutôt suiveur car on voit bien que le modèle est en train de bouger et qu'il y a une crise existentielle des secteurs auto, indépendamment de l'automatisation. Les constructeurs européens sont en danger de mort, ils sont désespérés, à cause de la concurrence internationale. Le marché est en Chine, en Inde et en Afrique* ». Dès lors, l'enjeu est d'occuper une place de choix dans la course à la technologie où les Européens sont vite devancés par la Chine et les Etats-Unis.

Dans cette guerre des mondes, les grandes puissances s'affrontent. D'après Jean-Bernard Constant, « *si l'industrie automobile française perd des guerres que sont le véhicule électrique et le véhicule autonome, on n'aura plus d'industrie automobile en France et on va dépendre d'autres régions du monde et on voit bien que ça pose des problèmes en cas de confinement* ». Au-delà de la question industrielle et économique, se pose en effet le problème du contrôle des données. D'après Christian Long, les Etats ou les entreprises qui n'auront pas développé de technologies numériques vont devoir payer des rentes.

Ces enjeux de compétition internationale face à la Chine et les Etats-Unis sont assumés par les pouvoirs publics, qui les mettent en scène. En effet, lors du Sommet européen pour le plan de relance post-covid (20/07/2020), Bruno Le Maire déclare souhaiter « *que ces États arrivent à dépasser leurs intérêts nationaux pour comprendre qu'il y a un intérêt général européen qui est d'avoir nos propres technologies, notre propre intelligence artificielle face à la Chine et aux États-Unis, nos propres technologies pour le véhicule autonome* »²⁵. « *Est-ce qu'entre la Chine et les Etats-Unis, il y a encore au XXIème siècle l'Europe, oui ou non, c'est ce qui se joue à Bruxelles* ».

Le rôle central des acteurs du numérique et des plateformes dans la course internationale au développement du véhicule autonome

L'essor du véhicule autonome a été marqué par l'arrivée de nouveaux acteurs sur le marché de la mobilité. A ce titre, on peut citer les GAFAM (Google, Apple, Facebook, Amazon, Microsoft) qui investissent actuellement des milliards de dollars sur cette nouvelle technologie.

La place du numérique dans les mobilités actuelles a permis à de nouveaux acteurs de rentrer sur le terrain, en modifiant les rapports de force. En effet, à l'heure actuelle, l'équipement représente 80 à 90 % de la valeur d'un véhicule, tandis que le logiciel pour le véhicule de niveau 1 ou 2, ne représente que 10 à 20 % de la valeur. Certaines études estiment que la valeur de l'équipement pourrait chuter à 40 % de la valeur, celle du logiciel représenterait 40 % du véhicule, et le contenu²⁶ pourrait représenter 20 % (IAU, 2019).

Cette configuration explique l'arrivée de nouveaux acteurs sur le marché des véhicules, tels que Google, Uber, ou Amazon. Certains, comme Google, disposent d'une forte expérience dans le domaine du numérique ou de la cartographie. D'autres, tels que Uber, disposent déjà d'un service de mobilité partagée, qu'ils cherchent à rendre autonome. Enfin, d'autres, à l'instar d'Amazon, sont des leaders sur le marché du commerce en ligne et ont un intérêt évident à l'automatisation de la livraison de leurs produits. Ces acteurs disposent en outre d'une capacité d'investissement élevée, nécessaire pour mener à bien la recherche et développement dans la technologie autonome. Enfin, ce qui les différencie des constructeurs traditionnels est leur modèle économique (pour ce qui concerne Tesla et Uber), qui « *repose sur des promesses, et n'est toujours pas rentable* » (Florent Laroche).

En plus d'investir le champ du véhicule autonome, ces acteurs du numérique visent à devenir des incontournables de la mobilité sous toutes ses formes. Ils se sont d'ores et déjà lancés sur le marché des vélos et des trottinettes électriques en libre-service. Par exemple, Uber a fait l'acquisition en 2018 de Jump, une start-up de vélos en libre-service, pour une valeur de 200 millions de dollars²⁷. Deux ans plus tard, la firme envoyait à la décharge des dizaines de milliers de vélos, sa flotte étant devenue

²⁵ <https://www.ouest-france.fr/europe/ue/sommet-europeen-un-accord-possible-et-necessaire-sur-le-plan-de-relance-affirme-bruno-le-maire-6912379>

²⁶ L'autonomie permettrait à de nouveaux usages au sein de véhicules d'émerger : de nouvelles applications de divertissement, de télétravail, un service de réservation, de paiement en ligne.

²⁷ <https://www.fastcompany.com/90510167/uber-just-trashed-thousands-of-electric-bikes>

déficitaire²⁸. Pour Florent Laroche, ces investissements sur ce segment de marché n'est pas sans lien avec le véhicule autonome. En effet, les trottinettes électriques sont des objets beaucoup moins chers que le véhicule autonome, mais leur arrivée dans les grandes villes permet à ces acteurs d'observer la réaction des utilisateurs, habitants et élus, d'identifier les besoins législatifs et d'introduire les mobilités connectées dans l'imaginaire collectif. Cela permet donc d'effectuer des tests grandeur nature pour un coût relativement faible.

Les compétences techniques qu'exige le développement d'un produit tel que le véhicule autonome sont si nombreuses (fabrication d'un engin roulant, création d'une intelligence artificielle, production de nombreux capteurs, édition d'une cartographie numérique, connectivité, stockage des données, etc.) que la plupart des acteurs créent des partenariats. La seule structure à avoir internalisé toutes ces compétences est le constructeur américain Tesla.

La Figure 5 représente les différents partenariats mis en place entre les acteurs du véhicule autonome, ainsi que les fusions et les investissements. Le schéma date de 2017 et depuis, d'autres fusions et partenariats ont eu lieu. Cependant, il donne à voir la diversité de l'écosystème « véhicule autonome ». Sans visée l'exhaustivité, l'Encadré 2 dresse le portrait de certains acteurs phare du véhicule autonome chez les GAFAM et autres géants du numériques.

²⁸ <https://reporterre.net/Uber-balance-des-dizaines-de-milliers-de-velos-Jump-a-la-decharge>

Encadré 2 – Portraits d'acteurs du numérique impliqués dans le véhicule autonome

Waymo est la filiale de **Google** dédiée au développement du véhicule autonome. Elle travaille à la fois sur des véhicules de transports de passagers, à travers la production d'un véhicule individuel autonome et la mise en place d'un service de robot-taxis, *Waymo One*, et sur des véhicules de transports de marchandises, *Waymo Via*. La firme affirme avoir fait parcourir plus de 30 millions de km à ses véhicules dans plus de trente villes, ainsi que des milliards de km parcourus en simulation. Son service de robot-taxis fonctionne déjà dans la banlieue de Phoenix, et compte 1500 clients, 600 véhicules en fonctionnement et 100 000 courses réalisées²⁹. Elle développe à la fois son propre véhicule, la « Google Car », et installe son logiciel de conduite autonome sur les véhicules d'autres constructeurs. Plusieurs partenariats ont été mis en place avec Fiat, Jaguar Land Rover, Renault Nissan Mitsubishi ou encore Volvo. Pour son service de transports de marchandises autonomes, Waymo s'est déjà associé avec UPS et Walmart, spécialiste de la grande distribution. Début 2020, Waymo a réalisé une nouvelle levée de fonds de 3 milliards de dollar, en ouvrant son capital à des investisseurs externes.

Amazon, leader mondial du commerce en ligne, s'est fait discret ces dernières années sur le véhicule autonome. L'intérêt est pourtant évident puisqu'il pourrait automatiser une partie, voire à termes la totalité, du transport et de la livraison de marchandises. Mais en juin 2020, Amazon a fait l'acquisition de l'entreprise Zoox, spécialisée dans la conception de logiciels de conduite autonome et de véhicules autonomes, pour une valeur estimée à environ 1 milliard de dollars. En septembre 2020, Zoox a reçu l'autorisation de tester ses véhicules autonomes sur route ouverte et sans opérateur de sécurité à bord de la part de l'Etat de Californie. Cette autorisation n'est valable que dans certains quartiers de Foster City, et seuls deux véhicules sont concernés. Les véhicules sont capables de circuler dans différentes conditions météorologiques (faible pluie ou brouillard) à une vitesse maximale de 72km/h³⁰. Elle devient la 4^{ème} entreprise à obtenir une telle autorisation dans cet Etat. Au-delà du transport de marchandises, certaines sources estiment qu'Amazon ambitionne de se positionner également sur un service de robot-taxis³¹. Amazon avait déjà apporté plus de 500 millions de dollars à la start-up Aurora, dédiée au véhicule autonome.

Uber, pionnier et leader des VTCs, travaille également à la conception de logiciels de conduite autonome, pour des raisons évidentes. Uber ne capte aujourd'hui qu'entre 20 et 25 % des revenus générés par les courses, le reste allant aux chauffeurs. En autonomisant la conduite, Uber récolterait 100 % du prix de la course, et pourrait également baisser ses prix afin d'augmenter la demande. A l'heure actuelle, Uber s'allie avec des constructeurs automobiles traditionnels, tels que Volvo, dont il équipe les véhicules de son logiciel de conduite autonome afin de produire un service de robot-taxis. Ces véhicules circulent d'ores et déjà dans plusieurs villes des Etats-Unis. Les essais ont été brutalement stoppés en 2018 après qu'un accident impliquant un véhicule autonome Uber a causé

²⁹ <https://www.caradisiac.com/voiture-autonome-le-point-sur-waymo-puissante-machine-de-guerre-de-google-183949.htm>

³⁰ <https://www.usine-digitale.fr/article/zoox-amazon-peut-tester-ses-vehicules-autonomes-sans-operateur-de-securite-en-californie.N1006819>

³¹ <https://theautomobilist.fr/vehicule-autonome-amazon-se-payee-zoox/>

la mort d'une piétonne. En janvier 2020, Uber annonçait le lancement de ses véhicules dans la ville de Washington pour la fin de l'année. Ces véhicules équipés de nombreux capteurs, circuleraient dans le but de récolter un très grand nombre de données, permettant de réaliser une cartographie précise de la ville, dans le but de lancer à termes un service de robot-taxis. D'autres villes sont déjà le terrain d'expérimentations pour les véhicules Volvo/Uber : San Francisco, Dallas, Toronto et Pittsburg. L'ancien PDG de Uber déclarait en 2016, à propos de la concurrence exercée par Waymo : « *Si nous ne sommes pas premier ex-aequo, alors le premier sortira un réseau de VTC bien moins cher ou d'une bien meilleure qualité que celui de Uber, et Uber n'aura plus de raison d'être* »³². Les coûts de R&D de Uber ATG (Advanced Technologies Group), qui concernent principalement le véhicule autonome, se seraient élevés à 457 millions de dollars en 2018³³. D'autres sources évoquent le chiffre de 900 millions de dollars depuis 2015³⁴. La crise du Covid-19 a particulièrement affecté Uber, qui a annoncé en mai 2020 le licenciement d'un quart de ses effectifs, soit plus de 6000 personnes et devoir réorganiser certaines de ses activités, notamment au détriment du véhicule autonome³⁵. En décembre 2020, Uber décide de vendre sa division véhicule autonome Uber ATG à l'entreprise Aurora tout en investissant 400 millions de dollars dans la start-up, ce qui représente une participation de 26 % au capital de la start-up³⁶

Les constructeurs traditionnels : à la conquête de nouveaux marchés

Les constructeurs traditionnels, notamment américains, asiatiques et européens, investissent également le champ du véhicule autonome, sous différentes formes : partenariats avec des start-up ou des entreprises du numérique qui se concrétisent souvent par l'installation des équipements nécessaires à la conduite autonome (logiciel de conduite, capteurs) sur leurs véhicules, acquisition d'entreprises ou participation à leur capital, expérimentations, etc.

Volkswagen a créé la société Volkswagen Autonomy (VWAT) qui souhaite mettre en place une voiture de niveau 4 d'ici à 2025 en zone urbaine avec des vans et des taxis automatisés. La société a également annoncé en juillet 2019 une coopération avec Ford dans le domaine du véhicule autonome. Ils prévoient un investissement de 2.6 milliards de dollars de Volkswagen dans Argo AI, la filiale de développement des VA de Ford. En contrepartie, Argo AI va collaborer pour la mise en place de la branche utilitaire autonome de Volkswagen. Volkswagen développe la voiture e ID-Vizzion, la première voiture autonome de niveau 5.

³² <https://www.businessinsider.com/travis-kalanick-interview-on-self-driving-cars-future-driver-jobs-2016-8?IR=T>

³³ <https://www.journaldunet.com/economie/transport/1423748-voiture-autonome-le-dur-retour-a-la-realite-d-uber/>

³⁴ <https://www.presse-citron.net/uber-un-milliard-dollars-sortir-voiture-autonome/>

³⁵ <https://www.wsj.com/articles/uber-cuts-3-000-more-jobs-shuts-45-offices-in-coronavirus-crunch-11589814608>

³⁶ <https://www.usine-digitale.fr/article/pourquoi-uber-vend-sa-division-vehicule-autonome-a-la-start-up-aurora.N1037644>

General Motors a acheté l'entreprise Cruise en 2016 pour se lancer dans la course au véhicule autonome. Cruise GM a été valorisé au prix de 19 milliards de dollars en 2019. L'entreprise a présenté en janvier 2020 une navette taxi autonome (Cruise Origin), de la taille d'un SUV ou d'un monospace. Les expérimentations menées par Cruise restent limitées géographiquement et ne dépassent pas le niveau 4. En 2018, Cruise déclarait que sa flotte de VA avait parcouru 1 337 430 km.

BMW a ouvert en 2018 le BMW Group Autonomous Driving Campus près de Munich avec près de 1800 ingénieurs qui travaillent sur le véhicule autonome. L'entreprise a également mis en place une vaste flotte d'essai BMW Personal CoPilot avec la voiture BMW i3 qui est rendu autonome pour les niveaux 1 à 3 ; et la iNEXT qui sera lancée en 2021 avec un niveau d'autonomie de 4 à 5. En termes de calendrier, BMW souhaite commercialiser des véhicules autonomes de niveau 3 en Chine d'ici à 2021 et mettre en place un projet de robot-taxis de niveau 4 à partir de 2021.

Toyota a réalisé divers investissements dans le véhicule autonome : 400 millions de dollars dans la start-up chinoise Pony.ai , 500 millions dans les robot-taxis d'Uber, lancement d'une co-entreprise avec Softbank , 600 millions de dollars dans la société chinoise de VTC Didi Chuxing. L'entreprise collabore avec Momenta (spécialiste dans la cartographie haute définition). Elle participe au projet européen L3Pilot pour préparer le terrain à une application grande échelle de conduite autonome. Elle porte également le projet d'une navette de niveau 4 pour déplacer les athlètes dans le village olympique des Jeux Olympiques de Tokyo.

Tesla, plus connu en tant que constructeur de véhicules électriques, est un des leaders de la voiture individuelle autonome. Depuis 2020, la firme est devenue l'entreprise automobile la plus cotée en Bourse (224 milliards de dollars). Elle équipe ses véhicules de fonctions d'aide à la conduite. Les véhicules qu'elle commercialise atteignent le niveau 2 d'autonomie. Le PDG de Tesla, Elon Musk, a annoncé qu'un véhicule de niveau 5 serait prêt à la fin de l'année 2020, en précisant que l'approbation réglementaire serait la grande inconnue. Comme nous l'avons vu dans la première partie, l'une des stratégies de Tesla porte sur les effets d'annonce.

Les constructeurs français participent également à cette compétition internationale.

Renault a réalisé ces dernières années plusieurs partenariats, pour différents objectifs. En 2016, l'entreprise s'associe avec le groupe Sanef (concessionnaire d'autoroute) pour étudier le comportement des véhicules autonomes à l'approche des péages et zones de travaux. En Juillet 2017, Renault acquiert l'activité R&D française d'Intel portant sur les logiciels embarqués. Elle fait également l'acquisition de 35 % d'une joint-venture, Autonomous Vehicle Simulation (AVS), avec Oktal, filiale de Sogclair, entreprise française d'ingénierie en aéronautique et simulation basée à Toulouse. L'objectif est de continuer à apporter des technologies de pointe pour favoriser le développement des essais de véhicules autonomes dans un environnement virtuel³⁷. Via cette joint-venture Renault a investi 25 millions d'euros dans un simulateur destiné à la voiture autonome³⁸. En

³⁷ https://group.renault.com/wp-content/uploads/2017/11/renault_actu_digital_71.pdf.

³⁸ <https://www.usine-digitale.fr/article/renault-investit-25-millions-d-euros-dans-un-simulateur-pour-la-voiture-autonome.N584088>.

2018, elle participe à une levée de fonds de Alliance Ventures (fonds de capital-risque de Renault-Nissan-Mitsubishi) et devient le principal investisseur de WeRide.ai (anciennement JingChi.ai), leader chinois de la conduite autonome, pour un investissement de 52M€³⁹. En juin 2019, elle passe un accord exclusif avec Waymo, afin de développer Renault EZ-Go qui livre des colis dans Paris, sans chauffeur, grâce à un logiciel développé par Waymo. L'alliance Renault-Nissan et Waymo annoncent un "accord exclusif" pour développer "tous les aspects relatifs aux services de mobilité autonome pour le transport des personnes et la livraison de biens, en France et au Japon"⁴⁰. En octobre 2019, la Région Île-de-France annonce la mise en place d'un futur « service de mobilité autonome » entre l'aéroport CDG et La Défense. Pour arriver à ses fins la région s'est rapprochée de Nissan-Renault-Mitsubishi et Waymo. Le service doit être opérationnel avant les Jeux Olympiques de Paris en 2024⁴¹. En Juillet 2020, Renault et PSA ont initié une nouvelle collaboration. Ils participent à un projet commun sous l'égide de Vedecom dont le but est de créer un standard d'homologation des véhicules autonomes sur le territoire français et qui pourra être poussé à l'échelle européenne. L'équipementier Valeo y est également associé, ainsi que Navya et Transdev pour les navettes autonomes⁴². Le 30 juillet 2020, Renault subit la perte nette la plus lourde de son histoire avec 7,3 milliards d'€ au premier semestre⁴³. Cela pourrait avoir des conséquences sur les capacités d'investissement du groupe dans la R&D autour du véhicule autonome. A l'inverse PSA a enregistré un bénéfice net de 595 millions d'€ sur la même période⁴⁴.

Ce dernier est le premier constructeur à avoir reçu les autorisations pour faire rouler ses démonstrateurs en mode autonome sur routes ouvertes en France et en Europe depuis 2015. Il est également le premier constructeur à avoir obtenu les autorisations françaises pour réaliser des expérimentations en mode « autonome » avec des conducteurs « non experts ». Ces essais ont débuté en mars 2017. En janvier 2019, il devient le premier constructeur automobile français à obtenir les autorisations pour tester la conduite autonome sur route ouverte en Chine (Chongqing). A l'heure actuelle, plus de 170 000 kilomètres ont été parcourus en mode autonome sur voies rapides en Europe, et près de 10 000 kilomètres en Chine. Par comparaison, Waymo annonce avoir réalisé plus de 30 millions de kilomètres avec ses véhicules dans différentes villes.

Il est également difficile de trouver des chiffres précis sur les investissements consacrés uniquement au véhicule autonome. Le budget de R&D 2018 total s'élève à 3,6 milliards d'€, soit 5% du budget du

39

https://www.institutparisregion.fr/fileadmin/NewEtudes/Etude_1804/rapport_Vehicule_autonome_et_role_des_pouvoirs_publics_7_mai2019.pdf.

⁴⁰ https://www.bfmtv.com/economie/entreprises/industries/voiture-autonome-renault-et-nissan-vont-developper-des-robotaxis-avec-waymo-une-filiale-de-google_AN-201906200024.html.

⁴¹ <https://www.numerama.com/business/560835-rejoindre-laeroport-en-voiture-autonome-cest-le-defi-de-renault-et-google-pour-les-jeux-olympiques-de-paris.html>.

⁴² <https://www.journaldunet.com/economie/automobile/1492757-frappes-par-le-coronavirus-renault-et-psa-s-allient-un-peu-dans-le-vehicule-autonome/>

⁴³ https://www.lemonde.fr/economie/article/2020/07/30/renault-annonce-une-perte-nette-record-de-7-3-milliards-d-euros-au-premier-semestre_6047676_3234.html.

⁴⁴ <https://www.20minutes.fr/economie/2831619-20200730-renault-annonce-perte-historique-73-milliards-euros-premier-semestre-2020>.

groupe, avec une augmentation de 24,7% par rapport à 2017, ce qui le classe au 12^{ème} rang mondial⁴⁵. Tout comme son concurrent Renault, PSA participe à de nombreux projets en partenariats avec d'autres acteurs. En 2017, l'entreprise participe au projet L3Pilot d'une durée de quatre ans. Ce projet européen dispose d'une enveloppe globale de 68 millions d'euros dont la moitié provient de la Commission européenne. L'objectif est de tester et valider la conduite autonome comme un moyen de transport efficace et sécurisé. Les tests sont réalisés sur routes ouvertes dans plusieurs pays d'Europe pour évaluer les aspects techniques, les comportements de conduite, l'acceptation des utilisateurs, l'impact sur le trafic et la sécurité dans diverses conditions de conduite (urbain, routes et autoroutes)⁴⁶. En Avril 2018, les véhicules du groupe sont équipés de fonctions de conduite autonome de niveau 3 « *eyes off* » (*sans surveillance visuelle dans des conditions définies et avec reprise en main du conducteur en cas de demande du système*) et circulent sur routes ouvertes en France dans le cadre du projet européen L3Pilot. En Juillet 2019, PSA et VINCI Autoroutes testent de nouvelles fonctionnalités du véhicule autonome à Saint-Arnoult-en-Yvelines (France), dans la continuité de l'expérimentation réalisée en juillet 2017. Les situations de conduite testées mettent en œuvre une communication plus poussée entre le véhicule autonome et l'infrastructure afin d'accroître la capacité du véhicule à adapter sa conduite lors de situations exceptionnelles ou complexes. Les résultats de ces expérimentations alimenteront les travaux de standardisation menés dans différents projets collaboratifs impliquant les 2 groupes : C-Roads ou le Projet SAM. Deux situations sont testées : le passage en mode autonome d'une zone de circulation temporairement modifiée en raison de travaux à la mise en sécurité du véhicule (« *safe stop* ») et la possibilité de diriger le véhicule sur une zone refuge, en cas de non reprise en main du véhicule par le conducteur dans une situation particulière.

En mars et novembre 2019, Carlos Tavares, le PDG de PSA, a affirmé que le groupe français arrêterait le développement de la conduite autonome au-delà du niveau 3 pour des raisons de coût trop élevé pour le constructeur et pour le client. Carlos Tavares explique : « *Compte tenu du coût additionnel de la technologie, le coût de la voiture devient tel que celui qui peut se la payer n'est de toutes les façons pas derrière le volant, mais plutôt sur la banquette arrière* »⁴⁷. Pour autant, le groupe PSA continue de travailler sur les niveaux 4 ou 5, mais dans le cadre de la mobilité partagée à l'instar des navettes ou robot-taxi. Une vision qui semble être partagée par des acteurs comme Waymo ou Uber⁴⁸.

En dehors de ces deux piliers de l'industrie automobile française, deux start-up spécialisées dans le développement de navettes autonomes sont intéressantes à étudier, notamment parce qu'elles sont impliquées dans plusieurs expérimentations du programme EVRA et dans d'autres expérimentations à l'étranger.

⁴⁵ https://www.assurland.com/assurance-blog/assurance-auto-actualite/le-groupe-volkswagen-garde-la-premiere-place-en-r-d-automobile_134978.html

⁴⁶ Conduite autonome : faisons le point sur le sujet ! Dans : *Groupe PSA* [en ligne]. [s. d.]. [Consulté le 30 juillet 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.groupe-psa.com/fr/actualites/corporate/faisons-point-vehicule-autonome/>

⁴⁷ <https://www.auto-moto.com/actualite/high-tech/voiture-autonome-psa-jette-leponge-207495.html>.

⁴⁸ <https://www.usine-digitale.fr/article/des-vehicules-autonomes-de-niveau-4-et-5-oui-mais-uniquement-pour-la-mobilite-partagee-selon-carlos-tavares.N908979>.

EasyMile est fondé en 2014. Il s'agit d'une start-up toulousaine spécialisée en robotique, en intelligence artificielle et en modélisation dynamique qui conçoit des logiciels permettant d'équiper toute structure roulante. EasyMile a déjà déployé sa technologie autonome dans 24 pays, sur des campus ou dans des environnements à trafic mixte. En janvier 2017, Easy Mile a levé 14 millions d'€ auprès d'investisseurs, dont Alstom. En septembre 2018 BPI France a investi 6,5 millions d'€ dans Easy Mile.

L'entreprise Navya a également été créée en 2014. Elle est spécialisée dans le développement des systèmes de conduite autonome. Son activité consiste à délivrer des solutions de mobilité autonome à ses partenaires pour transformer leur système de transport de personnes ou de biens.

La navette *Autonom Shuttle*, 100% autonome, sans conducteur et électrique, a été lancée en septembre 2015 pour le transport de passagers sur le premier et le dernier kilomètre. En 2015, Postbus- Car Postal, au nom des Postes Suisses, a été le 1er client du Groupe en commandant 2 navettes autonomes pour son site suisse de Sion. En 2016, les groupes Keolis et Valeo devenaient actionnaires de Navya. En septembre 2016, cette dernière a lancé, en coopération avec Keolis, Navly, le 1er service de navettes autonomes, dans le quartier lyonnais de Confluence. Entre juillet et décembre 2017, Navya, Keolis et Ile de France Mobilités ont mis conjointement en place des navettes autonomes sur 3 parcours fixes du quartier de La Défense. En novembre 2017, le Groupe a présenté son robot-taxi pour 6 passagers, l'*Autonom Cab* en phase de test dans plusieurs pays. En Juillet 2018, elle est introduite en bourse sur le marché Euronext Paris. Elle lève 38 millions d'euros par émission d'actions nouvelles. En Août 2018, elle signe un accord de financement de 30 millions d'euros avec la Banque Européenne d'Investissement. Mais la même année, le chiffre d'affaire de Navya s'établit entre 17 et 19 millions d'euros, en nette progression sur un an, mais loin de l'objectif de 30 millions d'euros fixé lors de son introduction en bourse. Le titre ne vaut déjà plus que le tiers de son prix d'introduction⁴⁹. En Juin 2019, l'entreprise signe un protocole d'accord avec ESMO Corporation, partenariat stratégique visant le marché d'Asie du Nord-Est (Corée du Sud, Japon, Chine). Au 31 décembre 2019, près de 160 exemplaires ont été commercialisés aux États-Unis, en France, en Allemagne, en Suisse, au Japon et en Australie. L'entreprise développe également le Tracteur AUTONOM® TRACT destiné au transport de marchandises⁵⁰. En Juillet 2020, Navya lance un service de navettes en autonomie complète de niveau 4, sans opérateur de sécurité à bord. Depuis le 22 juin, le service se lance progressivement au sein du Centre National de Tir Sportif (CNTS) de Châteauroux, en partenariat avec Keolis⁵¹.

⁴⁹ <https://www.tradingsat.com/navya-FR0013018041/actualites/navya-introduit-en-bourse-en-juillet-navya-avertit-deja-sur-ses-objectifs-839001.html>.

⁵⁰ Vision. Dans : NAVYA [en ligne]. [s. d.]. [Consulté le 31 juillet 2020]. Disponible à l'adresse : <https://navya.tech/fr/equipe/vision/>.

⁵¹ NAVYA_CP_Lancement_Evo_09072020_VDEF_7b378.pdf [en ligne]. [s. d.]. [Consulté le 31 juillet 2020]. Disponible à l'adresse : https://www.navya-corp.com/images/NAVYA_CP_Lancement_Evo_09072020_VDEF_7b378.pdf.

2.1.2 L'échelle européenne

L'implication de l'Union européenne dans le développement du véhicule autonome prend plusieurs formes. Il peut s'agir d'orienter la recherche, de réglementer, de piloter et de financer des expérimentations ou encore de favoriser le développement d'outils (cartographie numérique) ou d'infrastructures nécessaires au fonctionnement du véhicule autonome à l'échelle européenne.

En 2016, la déclaration d'Amsterdam, la déclaration d'Amsterdam, les États-membres ont appelé l'Union européenne à développer une stratégie européenne sur le véhicule autonome, à adapter si nécessaire le cadre réglementaire de l'UE, à promouvoir conjointement des politiques de recherche et développement et à développer des systèmes de transports intelligents coopératifs. En 2016 également, l'Union européenne a adopté plusieurs stratégies permettant le développement de la 5G⁵² et les systèmes de transports intelligents coopératifs⁵³. Trois cadres de travail ont été mis en place depuis 2016 (IAU, 2019) :

- les travaux GEAR 2030 de la DG GROW qui visent à formuler des recommandations réglementaires pour le développement du véhicule autonome et connecté ;
- les travaux menés par la DG MOVE portant sur les systèmes de transport intelligents coopératifs (C-ITS) ;
- les travaux de la DG CONNECT réunissant les acteurs de l'automobile et des télécommunications.

L'Union Européenne intervient également en finançant des programmes de recherche ou d'expérimentation sur le véhicule autonome. Il peut s'agir de financer des expérimentations sur les systèmes de transport intelligents (STI) (cf 2.2), ou des projets de recherche, tels que les programmes de recherche H2020. Pour la période 2014-2020, un budget total de 300 millions d'euros du programme H2020 a été alloué pour soutenir les projets de recherche et d'expérimentation des véhicules autonomes (Commission européenne, 2018), le budget total du programme H2020 étant de 79 milliards d'euros sur la période 2014-2020. Pour la prochaine période, la Commission européenne souhaite proposer que la recherche sur la mobilité connectée et automatisée « reste une priorité dans le prochain programme-cadre de recherche et d'innovation » (Commission européenne, 2018).

L'un des projets financé dans le cadre du programme H2020 est projet *Avenue (Autonomous vehicle to evolve to a new urban experience)*⁵⁴, d'une durée de 4 ans et dont le budget atteint 22 millions d'euros, qui réunit 16 partenaires européens répartis dans 7 pays⁵⁵ : des universités et centres de recherche, des industriels et des opérateurs de transports publics. Les expérimentations consistent à déployer une flotte de minibus autonomes dans les services de transports de 4 grandes villes

⁵² « Un plan d'action pour la 5G en Europe, communication de la Commission européenne

⁵³ Communication de la Commission européenne sur les systèmes de transports intelligents coopératifs

⁵⁴ <https://h2020-avenue.eu/>

⁵⁵ https://h2020-avenue.eu/wp-content/uploads/2019/04/un_projet_europeen_prepare_larrivee_des_vehicules_autonomes_en_ville.pdf

européennes : Lyon, Genève, Luxembourg et Copenhague. En dehors du financement des expérimentations, ce programme de recherche permet également à différents acteurs de coopérer dans le domaine du véhicule autonome. L'objectif affiché est de « *démontrer que les véhicules autonomes seront la solution pour le transport public de l'avenir* ». L'enjeu central assumé dans le communiqué de presse est bien de « *démontrer que l'Europe peut devenir leader mondial dans ce domaine* »⁵⁶. L'Union européenne finance également des programmes d'expérimentations pour les transports routiers automatisés. Pour la période 2018-2020, un appel à projet d'un budget de 130 millions d'euros permet de financer des projets d'expérimentations des véhicules individuels autonomes, mais également des expérimentations de fret et des services de mobilité partagées dans les zones urbaines (Commission européenne, 2018). D'autres projets de recherche, dont le budget n'est pas spécifié, permettent de travailler sur différentes problématiques soulevées par le développement du véhicule autonome, telles que l'acceptabilité de la technologie ou les relations hommes-machines. Pour un budget de 50 millions d'euros, la Commission européenne finance des expérimentations d'utilisation de la 5G pour la mobilité autonome.

D'autres financements sont liés plus ou moins indirectement au véhicule autonome. Le mécanisme pour l'interconnexion en Europe, d'un budget de 443 millions d'euros permettant de lever près d'1.2 milliards d'euros d'investissements totaux, a donné lieu à la numérisation de l'infrastructure de transports routiers européen, ce qui contribue à rendre possible l'automatisation de la mobilité (Commission européenne, 2018).

Enfin, dans son rapport « En route vers la mobilité automatisée : une stratégie de l'Union européenne pour la mobilité du futur », la Commission européenne illustre son soutien financier à travers quelques exemples :

- le projet L3pilot, d'un montant de 36 millions d'euros permet de tester de nombreux usages des voitures autonomes particulières ;
- le projet 5GCar est un grand projet de recherche et d'innovation permettant de développer les usages de la technologie 5G au service de la mobilité autonome ;
- le projet Ensemble, financé par l'Union européenne à hauteur de 20 millions d'euros, vise à normaliser les protocoles de communication entre camions pour permettre la circulation de peloton.

L'Union européenne vise également à développer un réseau de « corridors transfrontaliers 5G paneuropéens », à la suite d'une lettre d'intention des Etats-membres (2017) promouvant le développement de la 5G pour la mobilité connectée et automatisée. Elle souhaite également mobiliser son système Galileo, le GPS européen pour la cartographie numérique.

En résumé, il est difficile d'estimer avec précision le soutien financier apporté par l'Union européenne à la mobilité autonome car il est diffus. Les quelques dépenses données à titre d'exemple ne sont pas

⁵⁶ https://h2020-avenue.eu/wp-content/uploads/2019/04/dossier_de_presse_avenue.pdf

exhaustives mais permettent d'illustrer le rôle de l'Union européenne dans le développement du véhicule autonome. En considérant la place occupée par l'industrie automobile à l'échelle européenne, on comprend l'importance pour l'Union de se positionner comme leader du véhicule autonome. D'après l'Association des Constructeurs Européens Automobiles (ACEA), le secteur de l'automobile emploie 14,6 millions de personnes en Europe, soit 6,7 % de l'emploi total et a généré un excédent commercial de 74 milliards d'euros en 2019⁵⁷. Les industriels et les pouvoirs publics européens et nationaux visent à préserver et étendre le marché automobile européen, à l'heure où les pionniers dans le domaine du véhicule autonomes sont avant tout américains et chinois et où les nouveaux marchés automobiles sont principalement dans les pays émergents. De plus, le développement des véhicules autonomes aura des retombées sur d'autres secteurs économiques pour lesquels l'Union Européenne est déjà en pointe (semi-conducteurs, cartes numériques, etc.). La Commission européenne estime que le nouveau marché des véhicules autonomes pourrait rapporter des recettes dépassant 620 milliards d'euros d'ici 2025 pour l'industrie automobile et 180 milliards d'euros pour le secteur électronique (Commission européenne, 2018).

2.1.3 L'échelle française

L'État, entre stratégie industrielle et discours écologique sur le véhicule autonome

L'entretien de Cécile Lagache, Hervé Philippe et Arantxa Julien, à l'initiative de l'atelier « Vie robomobile » (cf Encadré 3) lancé par le ministère de la Transition Ecologique et Solidaire (MTES), est précieux pour comprendre l'émergence politique du sujet autour des mobilités autonomes au niveau de l'État et surtout son évolution à partir de 2014: « *le premier réflexe a été de penser: ce sera le prolongement de notre industrie automobile, sa résurrection ou sa nouvelle ère. En matière d'emplois, cela avait été très sérieusement discuté à Bercy au temps de M. Montebourg qui avait lancé une réflexion sur le véhicule autonome dans la réindustrialisation de la France* »

Dès 2013, Arnaud Montebourg, alors ministre du redressement productif, lance une réflexion sur le véhicule autonome dans le cadre de la réflexion autour de la « Nouvelle France industrielle ». Cette approche industrielle a été complétée par d'autres sujets de préoccupation : visions sociales, approche sécuritaire, démocratisation des bénéfices liés à cette expérimentation, concurrence internationale, répondant aux besoins des politiques publiques nationales relatives au changement climatique, social et économique, ainsi qu'à l'aménagement du territoire. Cette réflexion a donné lieu à une stratégie élaborée par le Ministère de la transition écologique et solidaire (MTES) mais aussi par le ministère de l'Economie et des Finances, publiée en mai 2018. Aujourd'hui, l'atelier « Vie robomobile » s'attache à interroger la faisabilité et la désirabilité du véhicule autonome en laissant le champ des interrogations ouvert, bien qu'il n'ait qu'une valeur consultative.

⁵⁷ https://www.acea.be/uploads/publications/ACEA_Pocket_Guide_2020-2021.pdf

Encadré 3– L’atelier « Vie robomobile »

Les objectifs affichés de l’atelier « Vie robomobile » sont d’établir une vision transversale entre les différents domaines impliqués dans la robomobilité, d’adopter une démarche prospective co-construite qui définit des trajectoires collectives vers un futur souhaitable, et d’alimenter les politiques publiques dans le champ des mobilités et de l’aménagement du territoire.

Il s’agit d’une démarche pérenne susceptible de durer entre 10 et 20 ans qui permettra de fédérer, de partager et de mettre en synergie et en réseau les acteurs de la robomobilité.

L’atelier a été conçu et constitué par la Direction Générale des Infrastructures, des Transports et de la Mer (DGITM) et la Direction de la Recherche et de l’Innovation (DRI) du ministère de la Transition Ecologique et Solidaire (MTES) et du ministère des Transports (MT), associés à la Direction Générale de l’Aménagement, du Logement et de la Nature (DGALN), à travers le Plan Urbanisme Construction Aménagement (PUCA), ainsi qu’à l’Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de l’Aménagement et des Réseaux (IFSTTAR) et au Laboratoire Aménagement Economie Transports (LAET). Ce comité de pilotage est appuyé par le cabinet Stratys, spécialisé en prospective et stratégie publiques.

Les participants de l’atelier sont des employés du ministère de l’écologie, des chercheurs, des représentants des collectivités, des industriels de l’automobile, des correspondants internationaux, des opérateurs de transports, des associations et des think tanks.

Pour Hervé Philippe, chargé de mission Véhicules autonomes et intelligence artificielle, « *le ministère est pleinement engagé dans le pilotage et le suivi de la stratégie nationale pour le développement du véhicule autonome. L’atelier prospectif « la Vie Robomobile », est complémentaire, c’est une structure de questionnement et de réflexion à beaucoup plus long terme sur les impacts sociétaux de la généralisation des mobilités automatisés. Ce n’est ni un espace de controverse, ni un espace de soutien à la filière, mais un lieu qui élargit le débat, fait participer tout le monde et a vocation à préparer l’intégration de ces nouvelles mobilités »*

C’est notamment le MTES qui est en charge de définir un calendrier et un cadre législatif pour autoriser la circulation des véhicules autonomes, prévue à partir de 2022. Dans cette perspective, des structures telles que Stratys, cabinet de conseil en prospective appliquée à la stratégie, ont pour fonction d’appuyer le ministère dans ses travaux sur ces questions en élargissant les considérations aux enjeux sociaux et écologiques. Cet accompagnement grand angle est également la posture évoquée par le Cerema, établissement public destiné à la recherche sur le véhicule autonome. Pour cette structure, il s’agit d’accompagner le développement du véhicule autonome vers un projet de société intégrant et écologique. L’ambition de l’Etat et des structures privées et publiques qui

l'accompagnent dans la mise en place de cette nouvelle technologie semble donc dépasser très clairement la question industrielle et englober, à proprement parler, une vision quant à un modèle de société. Les documents de communication à disposition mettent en avant les priorités du pouvoir central : en améliorant les conditions de mobilité des publics exclus et l'intégration des territoires ruraux, il semblerait que l'État entende faire du véhicule autonome le bras armé de la lutte contre les inégalités sociales et territoriales, remises au goût du jour par la crise des gilets jaunes. Christian Long confirme cette vision, puisque selon lui, les pouvoirs publics distinguent trois enjeux prioritaires liés au développement du véhicule autonome : les territoires ruraux, les publics exclus qui ne peuvent pas acheter ou utiliser une voiture, et la non-concurrence avec les modes actifs (marche et vélo).

Plusieurs dates clés structurent l'action de l'État en faveur du développement du véhicule autonome. En 2014 est publiée la feuille de route Nouvelle France Industrielle pour le développement du véhicule autonome. La même année, le GISVA est mis en place pour délivrer des autorisations d'expérimentations. Il en délivra 80 en 4 ans. En 2018 est publiée la stratégie nationale pour le développement du véhicule autonome. Entre 2014 et 2018 sont également expérimentés des systèmes de transports intelligents (STI), en partenariat avec des constructeurs, des gestionnaires d'infrastructures, des collectivités et parfois leurs équivalents dans d'autres pays européens. Ces STI peuvent servir au développement du véhicule autonome. La partie 2.2 revient plus précisément sur ces expérimentations.

En 2018, l'Ademe lance l'appel à projet EVRA financé à hauteur de 42 millions d'euros par l'État. Des structures publiques comme le Cerema ou l'Ifsttar accompagnent les expérimentations en précisant le cadre et les enjeux, en fournissant des conseils et en capitalisant sur les retours d'expériences. Le Cerema est impliqué dans une grande partie des expérimentations menées à ce jour.

En 2019, deux lois structurantes pour le développement du véhicule autonome sont adoptées : la loi Pacte et la loi LOM (*cf infra*).

La lecture de la stratégie de développement du véhicule autonome est très enrichissante puisqu'elle permet de comprendre le rôle joué par la puissance publique. Il est tout d'abord rappelé que l'objectif de la stratégie est « *de faire de la France le pays le plus en pointe sur l'accueil des véhicules autonomes* ». Les dix actions phares identifiées et listées dans ce document permettent de comprendre la diversité des rôles joués par la puissance publique dans la création d'un environnement favorable au déploiement du véhicule autonome. Il s'agit tout d'abord de faire évoluer les réglementations nationales et internationales : code de la route, convention de Vienne, réglementations portant sur la gestion des données, sur la responsabilité en cas d'accident, etc. D'autre part, il s'agit de permettre les expérimentations, en rassemblant les acteurs de la filière et les collectivités locales, et en apportant un soutien financier. Il peut également s'agir de développer ou d'adapter des infrastructures (routières, de réseaux de données). Enfin, des espaces de réflexion comme l'atelier « Vie robomobile » cherchent à anticiper les conséquences des véhicules autonomes sur l'ensemble de la société.

Cette stratégie de développement du véhicule autonome s'appuie sur le rapport coordonné par Anne-Marie Idrac, Haute responsable pour la stratégie de développement du véhicule autonome, intitulé « Développement des véhicules autonomes ; orientations stratégiques pour l'action publique ». D'après ce rapport, « *la sécurité routière constitue l'enjeu majeur sur lequel le véhicule automatisé est attendu* » même si, précisent-ils, « *l'impact global sur la sécurité apparaît encore peu documenté* ». Récemment, une étude de l'Insurance Institute for Highway Safety estimait en effet que seulement un tiers des accidents pourraient être évités grâce au véhicule autonome⁵⁸.

En plus de ses atouts sur les enjeux de sécurité routière, le véhicule autonome est perçu comme une alternative pour offrir des solutions de mobilités aux territoires et aux personnes qui en sont traditionnellement exclus. Dans le communiqué de presse accompagnant le lancement du programme EVRA, le véhicule autonome est présenté comme « *une réponse structurante pour apporter des solutions de mobilité à tous et partout, en particulier en milieu rural* ».

Le rapport Idrac présente également le véhicule autonome comme une alternative écologique. Plusieurs raisons sont évoquées pour mettre en avant les atouts environnementaux du véhicule autonome. Premièrement, la conduite autonome serait plus efficace du point de vue énergétique que la conduite humaine, car plus fluide. Deuxièmement, les pouvoirs publics comptent sur la motorisation électrique (ou à hydrogène) du véhicule autonome, ce qui n'est pourtant pas une propriété intrinsèque du véhicule. En effet, le rapport précise que « *ces technologies se développeront en même temps que les nouvelles motorisations alternatives* ». Troisièmement, l'amélioration des performances en matière de sécurité permettraient de réduire le poids des véhicules, une grande partie étant liée à la sécurité et à la résistance aux chocs, et donc leur consommation énergétique. Pourtant, le rapport ajoute que « *ces effets pourraient être masqués par la montée en gamme du véhicule* », ce qui est observé depuis de nombreuses années pour les véhicules thermiques classiques, l'amélioration de l'efficacité énergétique du bloc moteur étant systématiquement contrebalancée par l'augmentation de la taille, du poids ou du nombre d'équipements, la dernière illustration étant le développement massif des SUV qui constitue la deuxième source de croissance des émissions françaises des GES⁵⁹ ces dix dernières années derrière le secteur aérien. Enfin, le véhicule autonome, en s'inscrivant dans la complémentarité avec les réseaux de transports en commun existants, serait un levier de report modal au bénéfice de ces derniers et au détriment de la voiture individuelle : « *un enjeu majeur du développement des véhicules automatisés réside dans la synergie possible avec le développement de l'usage partagé des véhicules et la fourniture de services de transports collectifs aux interstices du transport public urbain « massifié » (rabattements sur les gares, desserte de zones peu denses, services en heures creuses) ou en zones rurales* ».

Pourtant, quelques lignes plus loin, le même rapport nuance les bénéfices supposés du véhicule autonome sur la réduction de l'usage des véhicules : « *l'impact sur la demande de mobilité et le partage modal est lui-même potentiellement majeur, mais incertain. [...] Le paramètre déterminant*

⁵⁸ <https://www.usine-digitale.fr/article/etude-quel-impact-auront-vraiment-les-vehicules-autonomes-sur-les-accidents-de-la-route.N972281>

⁵⁹ <https://www.wwf.fr/sengager-ensemble/relayer-campagnes/stop-suv>

porte sur l'utilisation, donc la valeur du temps dégagé par la disponibilité du conducteur et la réduction de la congestion. Certains travaux de recherche évaluent la baisse de la valeur ressentie du temps de parcours à - 50 % voire - 80 %. Ainsi, l'amélioration du confort de conduite devrait améliorer significativement l'attractivité du monde automobile (individuel), en soi et par rapports aux transports collectifs. Par conséquent, cette amélioration pourrait générer une augmentation de la congestion pour les trajets pendulaires domicile-travail et/ou un renforcement de l'étalement urbain ».

Enfin, il termine : *« on peut se poser la question de savoir si le développement des fonctions de valet-parking n'aura pas un impact sur l'offre de stationnement, ce qui pourrait là aussi constituer un élément supplémentaire de recours au mode individuel de déplacement, avec donc le risque d'engendrer une augmentation des trajets à vide, à l'heure où l'autopartage est promu ».*

Ainsi, ces extraits du rapport Idrac (2018) montrent que tous les risques de consommation accrue d'énergie engendrée par le véhicule autonome ont été identifiés par les pouvoirs publics, tous comme les opportunités de réduction de cette consommation. Pourtant, le gouvernement et certaines collectivités continuent de promouvoir cette technologie, car *« ces effets négatifs [en lien avec l'amélioration de l'attractivité du véhicule individuel] ne sont pas de nature à contraindre l'évolution technologique ni les choix de cas d'usage ou de services par les acteurs de marchés mais doivent faire l'objet d'une vigilance des pouvoirs publics »* (Idrac, 2018).

Alors que le discours des pouvoirs publics sur le véhicule portait jusqu'à présent principalement sur la sécurité routière et l'inclusivité (des personnes et des territoires), le récent plan de relance a été l'occasion d'orienter la communication sur les prétendues vertus écologiques du véhicule autonome. Au-delà du discours, cela s'est concrètement traduit par un plan d'orientation stratégique de la filière et des investissements très conséquents sur cette technologie.

Le président Emmanuel Macron a annoncé une *« transition écologique au cœur du plan de soutien à l'automobile »*. Le gouvernement a annoncé *« soutenir la filière automobile française qui doit aussi être accompagnée pour réussir les deux révolutions technologiques les plus importantes depuis l'invention du moteur à explosion : celle du véhicule électrique et du véhicule autonome »*, afin de *« produire les véhicules propres de demain »*. Pour cela, il a annoncé la création du Fonds d'avenir pour l'automobile, doté de 1 milliards d'euros, destiné à la modernisation et la numérisation des chaînes de production, à la transformation écologique de la filière et à l'innovation. Ce milliard d'euros sera réparti entre 600 millions d'euros d'investissements en fonds propres pour la consolidation de la filière, 200 millions d'euros pour la modernisation et la décarbonation de l'outil productif, et 150 millions d'euros d'aide à la R&D et l'innovation du secteur⁶⁰. A la suite de ces annonces, le premier comité d'orientation pour la recherche automobile et mobilité (CORAM) a réuni les principaux acteurs de la filière automobile et les pouvoirs publics, afin de préciser la feuille de route technologique de la filière automobile et de valider les axes stratégiques d'investissement. Ces derniers concernent, à court terme, le développement des composants stratégiques pour la fabrication des véhicules électriques et hybrides rechargeables, et à moyen terme, les systèmes à hydrogène pour la mobilité

⁶⁰ <https://www.economie.gouv.fr/covid19-soutien-entreprises/mesures-plan-soutien-automobile>

ainsi que le véhicule autonome et connecté⁶¹. Concrètement, cela s'est traduit par un soutien à hauteur de 250 millions d'euros pour 2020 de 27 projets, dont certains portent sur le véhicule autonome⁶² :

- le projet porté par une entité réunissant Vedecom, System X (*cf infra* pour la présentation de ces deux structures), le groupe PSA, Renault ainsi que des tiers français, dont l'objectif est le développement d'une « *bibliothèque de scénarios pour validation de la conduite automatisée et autonome* ». Ce projet vise « *à mettre sur le marché hexagonal puis européen et international dès 2022 un ensemble de services numériques pour la validation des véhicules autonomes et automatisés et à renforcer la position et souveraineté stratégique française dans ce domaine* » ;
- le projet « *sécurité Active et Mobilités Autonomes (SAMBA)* » porté par Valeo, en partenariat avec Safran, Twinsheel, l'INRIA et des sous-traitants français, dont l'objectif est la conception de systèmes intelligents de sécurité active pour le véhicule autonome et la viabilité technologique et l'usage des nouvelles mobilités partagées ;
- le projet « *matériaux et écoconception innovants pour une carrosserie intelligente* », qui est défini comme « *nécessaire à l'émergence des véhicules électriques et connectés* » et qui offre « *une transparence optique et électromagnétique, liberté de design et performances sécuritaires optimales* ».

Enfin, le 2 juin 2020, le gouvernement publiait ses priorités technologiques de la filière automobile et mobilité⁶³, qui s'inscrivent dans une « *double révolution écologique et numérique* ». Pour le gouvernement, « *l'automobile du futur sera propre, plus connectée, automatisée et partagée, mieux intégrée dans l'espace public urbain et dans les territoires, ainsi que dans des systèmes de mobilité où elle formera avec d'autres modes de transport (collectifs, actifs, etc.) des compositions intermodales et des hybridations innovantes, alliant produits et services* ».

Le véhicule autonome, outil de compétitivité territoriale pour les collectivités locales

Le développement du véhicule autonome ne peut se passer d'un engagement fort de la part des territoires, notamment en termes de coûts d'aménagement. Si la plupart des collectivités territoriales sont plutôt dubitatives, et en position d'attente d'après Christian Long, plusieurs territoires en Europe ont choisi d'entrer dans la course au véhicule autonome, en intégrant souvent des acteurs industriels présents sur le territoire. C'est notamment le cas de Göteborg, siège du constructeur suédois Volvo⁶⁴.

Intégrer le véhicule autonome aux solutions de mobilité à travers des expérimentations devrait représenter aujourd'hui un atout en termes de compétitivité territoriale. Pour certains, le véhicule

⁶¹ https://minefi.hosting.augure.com/Augure_Minefi/r/ContenuEnLigne/Download?id=D2CF1BC7-08BE-4D6A-B21B-836COC0781AE&filename=2228%20-%20CORAM.pdf

⁶² https://www.entreprises.gouv.fr/files/files/industrie/coram_liste_projets_version_finale_10h27.pdf

⁶³ https://www.entreprises.gouv.fr/files/files/industrie/feuille_de_route_pfa_version_finale_10h27.pdf

⁶⁴ <https://www.lefigaro.fr/flash-eco/2016/09/06/97002-20160906FILWWW00143-volvo-fait-un-pas-de-plus-vers-la-voiture-autonome.php>

autonome est une alternative à d'autres infrastructures de transport perçues comme plus coûteuses - comme le métro pour les collectivités désireuses de rester attractives.

Les collectivités apportent également la connaissance du territoire. Elles peuvent donc choisir d'intégrer le véhicule autonome à leur offre de transport public, dans la mesure où elles parviennent à respecter le cadre juridique de déploiement du véhicule autonome. Elles peuvent en parallèle mettre en place des politiques favorables au développement du véhicule autonome (politique de stationnement, voies dédiées, etc.).

Les collectivités territoriales (départements et régions) sont responsables de l'entretien d'une grande partie (98%) des infrastructures routières. Si le véhicule autonome nécessite la mise à niveau de ces infrastructures, les collectivités auront donc un rôle important à jouer dans le financement de l'adaptation des infrastructures. La région Ile-de-France a d'ores et déjà annoncé un financement de 100 millions d'euros pour « *faire de l'Ile-de-France la vitrine des mobilités de demain* ». Une première somme de 5,5 millions d'euros a été voté en 2018 pour réaliser des aménagements sur les autoroutes et grands axes francilien : « *la mise à niveau des chaussées et de la signalisation et le déploiement de connectivité (unités de bord de route, unités embarquées dans les véhicules du gestionnaire routier, systèmes centraux) pour faciliter le traitement des situations critiques identifiées* ». Sur son site internet, la région déclare que « *les 100 millions d'euros serviront principalement à financer la mise en place de voies dédiées, équipées de systèmes informatiques, sur les autoroutes franciliennes - en partenariat avec l'État, qui en est propriétaire – et sur certaines routes gérées par les départements, pour permettre la circulation de flottes de 20 à 40 véhicules autonomes. Les axes concernés sont l'A1 entre Paris et Roissy, l'A6 entre Paris et Orly, l'A4 pour la desserte de Marne-la-Vallée, l'A13 jusqu'à Saint-Quentin-en-Yvelines, l'A86 entre l'A1 et la Défense, l'A12, la RN12* »⁶⁵.

Les collectivités peuvent avoir plusieurs intérêts à développer le véhicule autonome. En ce qui concerne les territoires urbains et péri-urbains, les enjeux sont ceux d'attractivité dans un contexte de compétition territoriale. Il peut s'agir d'attirer les habitants à la recherche d'un certain cadre de vie où la place des mobilités plus « vertes » est importante. Il peut également s'agir de faire venir les entreprises à forte valeur ajoutée. Les enjeux de l'expérimentation menée à Rouen sont clairement énumérés par le Président de la Métropole lors d'un évènement de présentation dont la vidéo est disponible sur le site de Transdev. Pour lui, l'objectif « *évidemment c'est d'être dans les premiers, c'est toujours important pour un territoire d'envoyer le signal qu'il ose, qu'il met en place des accompagnements qui permet à de belles entreprises, comme Renault, La Matmut ou Transdev de se positionner sur les marchés d'avenir* ». Les enjeux d'attractivité sont ainsi clairement énoncés. « *Pour nos habitants, c'est évidemment la perspective de nouveaux modes de déplacement qui, c'est ce qu'on vise en tout cas, pourraient demain leur faciliter la vie, puisqu'au fond, l'ajustement permanent entre les besoins de mobilité de nos habitants et les dispositifs publics qui sont mis à leur disposition est au fond depuis des années dans toutes les métropoles françaises ou dans le monde au cœur des réflexions* ». Là encore, les enjeux de compétitivité territoriale sont évidents. Les habitants seraient

⁶⁵ <https://www.iledefrance.fr/mobilites-100-millions-deuros-pour-faire-de-lile-de-france-la-1re-region-mondiale-des-vehicules>

de plus en plus exigeants sur leur demande de mobilité et les collectivités doivent répondre à leurs besoins pour rester dans la compétition métropolitaine. Le PDG de Transdev, Thierry Mallet, présent également à l'évènement, complète : « *Notre objectif c'est effectivement de faire de Rouen pas simplement une plateforme d'expérimentation mais tous ensemble, avec tous les partenaires, et notamment les partenaires du technopôle du Madrillet, d'en faire un centre d'excellence de la mobilité autonome* ». C'est également ce que déclare le président de Vichy Communautés au journal local : « *Cette expérimentation va nous permettre de montrer que l'on est un territoire d'innovation et que l'innovation n'a pas seulement lieu dans les grandes métropoles* ». La compétition territoriale et les enjeux de d'attractivité sont évidents dans les propos de l' élu. L'expérimentation pilotée par la métropole de Nantes implique elle aussi plusieurs entreprises de la région nantaise⁶⁶. A propos des financements alloués par la région Ile-de-France pour la mise à niveau des infrastructures de transport pour le fonctionnement des véhicules autonomes, la région déclare que « *les Jeux olympiques et paralympiques de Paris 2024 offriront une vitrine pour montrer le savoir-faire français en la matière* ».

Les collectivités rurales répondent d'une autre manière à cette exigence d'attractivité, comme le laisse entendre Jean-Bernard Constant, responsable de l'expérimentation sur le seul territoire réellement rural, Coeur de Brenne. Pour lui, il s'agit d'apporter une réponse au déclin démographique de la commune en attirant de nouveaux habitants. Pour cela, il faut développer une offre de services connectés, qui commence par la mise en place d'un espace de co-working et de l'outil numérique « Brenne-Box » et qui se poursuit par la mise en place d'une navette autonome (*cf infra*).

Les industriels français : les partenariats publics-privés et les consortiums au service de l'émergence d'une filière

Les activités de R&D et les expérimentations autour du véhicule autonome sont très souvent menées par des consortiums d'acteurs publics et privés. Qu'il s'agisse des 16 expérimentations du programme EVRA (*cf infra*) ou des expérimentations de STI (*cf infra*), toutes réunissent plusieurs industriels, les collectivités et les pouvoirs publics nationaux, à l'échelle française et parfois européenne.

Le partenariat public privé (PPP) représente la clé de voûte du modèle français en la matière, autour de projets coopératifs dans lesquels sont engagés tous les acteurs de la construction automobile, mais aussi ceux de la route, des infrastructures et de nombreux services de l'Etat, en tant que financeurs ou, parfois, comme participants.

En ce qui concerne les réponses à l'appel à projet EVRA de l'Ademe, seuls les consortiums étaient éligibles. L'expérimentation pilotée par la communauté de communes Coeur de Brenne a par exemple rassemblé la région Centre-Val de Loire, le Conseil départemental de l'Indre, les entreprises Eiffage

⁶⁶ <https://metropole.nantes.fr/actualites/2019/deplacements-stationnement/navette-autonome>

(en tant qu'aménageur), Berthelet (en tant qu'opérateur), et Navya (le constructeur de la navette autonome).

En dehors des consortiums ayant répondu au projet EVRA, deux instituts de recherche portants sur la mobilité du futur, Vedecom et System X, rassemblent eux aussi une grande partie des acteurs de la filière :

- Vedecom se présente comme l'« *institut français de recherche partenariale publique-privée et de formation dédiée aux mobilités durables : écologiques, autonomes et partagées* ». Il rentre dans la catégorie des Instituts pour la transition énergétique, dont la « *finalité première est le développement industriel et /ou de services par le regroupement et le renforcement des capacités de recherche publiques et privées.* » Il doit « *se positionner sur de nouveaux marchés* ». Trois domaines de recherche sont considérés : l'électrification, le véhicule autonome, et les nouvelles solutions de mobilité. Parmi les membres fondateurs, on retrouve des constructeurs automobiles (PSA et Renault), des entreprises de la technologie et des équipementiers (Safran, Valeo), des universités, écoles d'ingénieurs et instituts de recherche publics (université de Versailles Saint Quentin en Yvelines, IFSTTAR, IFP Energies nouvelles, Estaca, Esigelec, Cetim). Le réseau des donateurs reflète l'écosystème élargi des nouvelles mobilités : énergéticiens (EDF), infrastructures autoroutières et BTP (Vinci Autoroutes), équipementiers (Michelin, Continentals), assureurs (Fédération française de l'assurance, Matmut), entreprises des communications (Nokia), etc. Le tout co-financé par des acteurs publics (Agence Nationale de la Recherche, programme Investissement d'avenir, soutien du Conseil départementale des Yvelines, Région Ile-de-France, Commission européenne).
- SystemX a été créé en 2012 dans le cadre du programme d'investissement d'avenir. Il s'agit d'un « *institut thématique interdisciplinaire qui développe des filières économiques liées à son domaine au travers d'un partenariat stratégique public-privé équilibré* ». La mobilité et le transport autonome est l'un des axes de recherche de cet institut. Parmi les partenaires, on retrouve les mêmes groupes d'acteurs que pour l'institut Vedecom.

Cette collaboration entre les acteurs publics et privés se décline avant tout en termes de risques. L'ensemble des données relatives à la sécurité doit être mise en commun. Le partage d'expériences concerne également le partage des véhicules dans le contexte des différents « business model ».

Cette mise en commun n'est pas propre à la France ; on relève, à l'international, d'autres partenariats du même type impliquant essentiellement les acteurs privés par exemple entre certains constructeurs et des fournisseurs de technologie, type Waymo. Le cas de Tesla représente une exception dans la capacité du constructeur à intégrer au processus de production l'ensemble des composants nécessaires à réaliser le véhicule autonome (*cf supra*).

Ce modèle de mutualisation des données et des expériences, poussé à l'extrême dans le contexte français relève d'une forte dimension contrainte. En effet, il s'agit avant tout de favoriser l'efficacité du produit et de réaliser des économies sur les investissements colossaux et les risques que requière le développement de l'ensemble de la technologie autonome. La construction d'un véhicule autonome requiert en outre de très nombreuses compétences dans des domaines très variés. Certains acteurs, tels que les start-up Easymile ou Navya relèvent du domaine de la « *consumers electronics* » mais ne disposent pas des connaissances nécessaires en matière de fabrication automobile à grande échelle.

La mutualisation des compétences est nécessaire, car aucun des acteurs ne dispose de toutes les compétences nécessaires au développement d'un véhicule autonome. Son témoignage concernant les constructeurs automobiles est particulièrement intéressant car il permet de mettre en lumière les contradictions ou les limites propres à ces acteurs. En effet, d'après l'un des experts interrogés, le modèle économique de l'industrie automobile implique une production de masse pour atteindre la rentabilité : « *Le constructeur automobile, faire du service, il ne sait pas faire. Son business model, c'est de vendre le plus grand nombre de véhicules en faisant une machine à photocopier des centaines de milliers de véhicules à l'identique. Faire du service, soit imaginer que le support véhicule n'est qu'un support pour une offre de service différente, ça ne l'intéresse pas. Si vous lui répondez qu'un véhicule autonome il va en vendre 5000, 10 000, 20 000 il va vous répondre moi je ne suis pas rentable à moins de 80 000 par an dans le monde* ». L'industrie automobile porte donc en elle une contradiction majeure pour le développement du véhicule autonome. Comment rendre rentable pour les constructeurs automobiles un produit qui d'une part nécessite des investissements majeurs en R&D et en infrastructures et qui d'autre part ne pourra être vendu qu'en un nombre limité d'exemplaires pour satisfaire les contraintes écologiques ? Le développement actuel de voitures traditionnelles n'est rentable pour les constructeurs que si les quantités vendues sont très importantes. Or, cette logique est censée être encore plus forte dans le cas du véhicule autonome puisque le coût de production sont encore plus élevés que pour les véhicules traditionnels.

Les autres acteurs de la mobilité font face à d'autres contraintes qui les obligent à s'associer avec l'ensemble de la filière. Les acteurs tels que la RATP ou Transdev sont capables de produire des nouvelles offres de mobilité mais ne sont pas en mesure de produire un véhicule. L'électronique de pointe nécessaire au fonctionnement des véhicules autonomes est produite par un nombre limité d'équipementiers spécialisés (caméras, lidars, radars, etc.) y

Au-delà de la simple question technologique, le modèle du partenariat public privé systématique est décrit par certains acteurs comme un véritable atout, à travers une capacité à mettre les connaissances, les risques et les investissements en commun. Reste à savoir si ce vœu pieux se vérifie dans le contexte des expérimentations réalisées sur les territoires.

Le véhicule autonome pour les constructeurs automobiles : entre sauvegarde de la mobilité individuelle et nouveaux marchés du transport collectif

Les industriels impliqués dans le développement du véhicule autonome reprennent à leur compte l'idée d'une mobilité durable, inclusive et au service des territoires développée par les pouvoirs publics. Derrière cette unanimité se cachent en réalité des stratégies différentes. Les constructeurs automobiles traditionnels semblent vouloir perpétuer le modèle de la propriété privée de la voiture individuelle et voient dans le véhicule autonome une façon de préserver leur quasi-monopole sur la mobilité. Les nouvelles start-ups de la mobilité autonome développent des navettes autonomes destinées aux transports collectifs au service des opérateurs de transport en commun et des collectivités.

Le constructeur Renault a identifié trois solutions pour « *renforcer sa position de pionnier et de leader de la mobilité durable pour tous [...] : le véhicule électrique, l'économie circulaire et les véhicules autonomes sans chauffeurs* »⁶⁷ afin de répondre aux 3 « *enjeux majeurs identifiés* » que sont « *la lutte contre le réchauffement climatique (réduire les émissions de GES), la préservation des ressources naturelles (optimiser leur utilisation et réutilisation) et la santé (réduire les émissions polluantes)* »⁶⁸. Renault travaille sérieusement sur le véhicule autonome depuis 2012. En ce qui concerne les efforts de R&D dédiés spécifiquement à ce produit, il est difficile d'obtenir des chiffres. Le budget de R&D total était de 3,5 milliards d'euros en 2018, en hausse de 19 % par rapport à 2017, soit 6 % de son chiffre d'affaires.

En termes de communication, Renault met en avant « *du temps retrouvé grâce à la conduite autonome* ». L'entreprise propose une nouvelle expérience de voyage automobile, plus agréable, moins stressante, plus productive et sécurisée ». Elle met en avant deux produits de concept-cars, qui donne une « *certaine idée du future* ». Symbioz est un véhicule autonome de niveau 4. L'entreprise met en avant l'idée de lieu de vie, la voiture n'est plus un simple moyen de locomotion mais une extension du foyer. La voiture est comparée à un « *salon roulant* ». La conduite manuelle est optionnelle, elle ne relève plus que du « plaisir ». Le nom « symbioz », n'est pas anodin : « *votre maison recharge automatiquement votre voiture et votre voiture est capable de combler les besoins en électricité de votre maison* »⁶⁹. Ce premier produit est entièrement dédié à la conduite individuelle. Le deuxième produit présenté est le EZ-GO Concept, dédié au transport collectif et urbain. Il est présenté comme « *la première incarnation d'une mobilité autonome, connectée et partagée à l'aide d'une motorisation électrique, sans volant ni conducteur* ». C'est un robot véhicule, cette fois-ci non pas une extension de la maison, mais un « *morceau de ville* »⁷⁰. Au moment de sa présentation, au salon de Genève en 2018, Renault imaginait pouvoir faire rouler EZ GO en ville dès 2022. Cependant, alors que la réglementation internationale concernant les véhicules de niveau 3 impose la présence d'un conducteur et limite la circulation des véhicules aux routes délimitées par une barrière physique

⁶⁷ <https://group.renault.com/nos-engagements/respect-de-lenvironnement/>

⁶⁸ <https://group.renault.com/innovation/services-de-mobilite/>

⁶⁹ <https://www.renault.fr/concept-cars/symbioz.html>

⁷⁰ <https://www.renault.fr/concept-cars/ez-go.html>

entre les deux sens de circulation et aux espaces où piétons et cyclistes ne cohabitent pas avec les voitures, on peut se demander si un véhicule de niveau 4, avec un niveau d'autonomie supérieur, pourra réellement se déployer conformément au cadre juridique que sera en vigueur à sa sortie. La communication de PSA autour du véhicule autonome s'articule autour du programme « *Autonomous Vehicle for ALL* », dont l'objectif est de concevoir une « *voiture autonome simple et intuitive qui offre une expérience de conduite sûre et confortable* ». Le programme est constitué d'un ensemble de technologies d'assistance à la conduite qui doit mener à terme à la voiture autonome. La page dédiée au véhicule autonome sur le site du constructeur montre à la fois les avancées incrémentales sur le véhicule autonome de PSA, et l'imaginaire que le constructeur souhaite développer autour du véhicule autonome, avec les mots-clés « *gain de sécurité* », « *simplification du quotidien* », « *liberté de mouvement* », « *bien-être* », « *nouvelles expériences* », « *optimisation du temps* », ou « *mobilité pour tous* ».

Des fonctions d'assistance à la conduite sont déjà disponibles sur plusieurs modèles du Groupe : Peugeot 208, 308, 2008, Traveller, Peugeot 3008, Citroën C4 Picasso, C3 et Spacetourer en Europe ; Peugeot 4008 et Citroën C6 en Chine. Depuis 2018, certaines fonctions de niveau 2 ont été lancées sur DS 7 CROSSBACK et PEUGEOT 508 comme le *connected pilot* (gestion autonome de la vitesse et de la trajectoire), le *park pilot* (le véhicule se gare tout seul), *night vision* (identifier les obstacles la nuit), *driver attention monitoring* (système qui surveille l'état d'attention du conducteur). Le groupe estime qu'en 2024, des fonctions de conduite autonome de niveau 3 permettront de déléguer complètement la conduite au véhicule. A l'heure actuelle, 23 prototypes du niveau 2 au niveau 5 sont exploités par le groupe et ses partenaires.

La communication des start-up françaises de navettes autonomes est relativement différente.

Les principaux axes de communications d'EasyMile portent sur le désenclavement des régions rurales, la desserte des zones urbaines moins denses, ou encore le transport de personnes âgées. L'objectif affiché est de répondre par le transport collectif aux besoins individuels de mobilité, en s'inscrivant dans la filière nationale et en tenant compte des contraintes environnementales, avec un niveau de confort comparable à celui d'une voiture et une sécurité maximale. La technologie proposée par Easy Mile ne se cantonne pas à la seule navette autonome en milieu urbain, elle peut s'étendre aux zones portuaires, aux aéroports, aux sites industriels.

Easy Mile a notamment conçu une navette autonome nommée EZ10 qui peut accueillir 15 personnes. Depuis sa commercialisation en 2016, elle est testée en conditions réelles dans plusieurs pays : de l'université de Lausanne, au Jardin botanique de Singapour en passant par le bois de Vincennes. EasyMile expérimente une navette autonome dans le cadre du programme EVRA, celle de l'oncopôle

de Toulouse. L'expérimentation a commencé en février 2020, et dans les phases suivantes il n'y aura plus d'opérateurs à bord ^{71 72}.

Easy Mile développe également des produits à destination de l'industrie. Il s'agit du TractEasy adapté aux aéroports et aux sites industriels. L'entreprise mène déjà un partenariat avec TLD, fournisseur d'équipements aéroportuaires de piste, afin d'automatiser ses tracteurs, et avec PSA, qui l'utilise dans son usine de Sochaux pour transporter les pièces détachées entre la zone fournisseurs et les lignes d'assemblage. TractEasy a été reconnu comme la meilleure solution de véhicule guidé autonome (AGV) de l'année en juillet 2020⁷³.

En France, on constate donc que les constructeurs automobiles ont emboîté le pas des concurrents étrangers sur le développement du véhicule autonome. Il n'en demeure pas moins que l'impulsion a été donnée par les pouvoirs publics, dans une logique d'accompagnement et de soutien financier au développement de ces nouveaux produits. L'enjeu principal de cet engagement entraînant le public et le privé semble être de maintenir à flots l'industrie automobile française face à la concurrence internationale, notamment américaine, chinoise et allemande.

La stratégie de développement de la mobilité propre est claire sur ce point. Elle déclare que « *le développement du véhicule autonome représente un enjeu considérable pour l'industrie automobile. Ce secteur constitue le deuxième employeur de la France. Les cadres d'expérimentation sont vitaux pour la compétitivité de cette industrie* ». Cette politique de soutien s'organise essentiellement sur la base de l'encadrement des expérimentations par les pouvoirs publics, davantage que par les investissements. Pour Christian Long, les quelques dizaines de millions d'euros octroyés par l'Etat pour tester la mise en œuvre du véhicule autonome ne représente qu'une portion congrue des investissements nécessaires effectués par le privé.

S'il est vrai que les constructeurs français, à l'instar de PSA, commencent à miser sur le marché de la mobilité collective, il n'en demeure pas moins que leur stratégie reste classique et porte essentiellement sur le véhicule autonome, pensé comme voiture individuelle, sous le régime de la propriété privée ou de la location longue durée. Dans cette configuration, se pose la question de la clientèle cible.

Pour le coordinateur numérique du territoire rural Cœur de Brenne coordonnant l'une des réponses à l'appel à projet EVRA, cette stratégie tombe à côté, car l'équipement nécessaire à l'automatisation rend les véhicules inabordables pour la plupart des ménages. La voiture autonome particulière telle qu'elle serait conçue aujourd'hui serait donc inaccessible aux segments de la population pouvant s'engager dans l'achat d'un véhicule bas ou moyen de gamme : « *Quand on a une Mercedes de 80 000 € à l'achat, on s'adresse toujours au même public, quand on a une Zoé à 16 000€, si on ajoute 20 000€ on double le prix du véhicule. Les industriels auraient tout intérêt à réfléchir le véhicule comme nous on le fait, comme véhicule de transport dans les zones rurales : c'est un vrai budget à prendre*

⁷¹ https://www.ecologique-solaire.gouv.fr/sites/default/files/9918029_D%C3%A9veloppement-VA_Vdef2.pdf.

⁷² <https://toulouse.latribune.fr/innovation/recherche-et-developpement/2019-08-26/oncopole-la-navette-easymile-testee-des-fevrier-2020-826383.html>.

⁷³ <https://easymile.com/easymiles-autonomous-tow-tractor-leads-industry-with-ifoy-award-win/>.

car il n'est pris par rien du tout, énormément de services derrière qui peuvent être faits plus localement, et la supervision qui demande une technicité plus pro que ce qu'ils pourraient mettre en place, à la hauteur d'un territoire de type département, région ou flotte par un industriel. Or, ils ne font pas cette démarche. Si vous parlez à Renault, ils visent à être concurrent de Tesla et Mercedes, pas d'un véhicule de transport ».

Ces propos sont confirmés par Florent Laroche, chercheur au CNRS et spécialiste de l'économie des transports. Le modèle économique choisi par les constructeurs automobiles est celui du véhicule individuel, mal dimensionné pour le véhicule collectif. Pour le chercheur, le choix de la motorisation électrique et l'automatisation progressive du système est pensée par les constructeurs comme un atout visant à rendre la voiture individuelle attractive.

Les stratégies de développement du véhicule autonome mettent en lumière une forte tension entre d'un côté, les exigences concurrentielles des constructeurs automobiles et de l'autre les besoins des territoires et des populations dans l'hexagone. Face à cette tension, les pouvoirs publics semblent se positionner comme véritables chefs d'orchestre du développement de cette technologie.

Au-delà des constructeurs automobiles, une myriade d'acteurs impliqués dans le développement du véhicule autonome

Le nombre d'acteurs impliqués dans le développement du véhicule autonome est très important et ne fait pas l'objet ici d'une énumération exhaustive.

Les gestionnaires d'infrastructures routières et autoroutières travaillent en collaboration avec les constructeurs automobiles afin d'identifier les besoins d'adaptation de leurs infrastructures et d'y répondre. L'exemple du péage de Saint-Arnoult cité précédemment illustre cette collaboration. Vinci Autoroute a adapté sa gare de péage en permettant à l'infrastructure de communiquer aux véhicules une trajectoire à suivre, puis en permettant aux barrières de se lever automatiquement. Certaines infrastructures, comme cela vient d'être imposé par le règlement de l'ONU devront présenter une séparation physique entre les deux voies. Le gestionnaire devra donc mettre à niveau ces routes. Enfin, il peut être nécessaire de positionner des capteurs et émetteurs sur les bords de routes afin de communiquer avec le véhicule. C'est le cas évoqué plus haut par le porteur de projet de la communauté de commune Coeur de Brenne, ou encore celui du gestionnaire d'autoroutes évoqué précédemment qui dispose des connaissances en temps réel sur son réseau (travaux, accidents, embouteillages) et peut les communiquer au véhicule autonome.

Les acteurs traditionnels des transports en commun (RATP, SNCF, Transdev, etc.) sont stratégiquement intéressés par le développement du véhicule autonome, puisqu'ils peuvent incorporer ce mode de déplacement dans leur offre de transport. On constate que la plupart de ces acteurs participent à l'appel à projet EVRA (*cf infra*). C'est par exemple le cas de la RATP qui expérimentera un service de véhicules autonomes permettant de connecter l'hôpital de la Pitié Salpêtrière au réseau de transport existant, ou une navette autonome dans le Bois de Vincennes. Dans le même temps, ces acteurs

peuvent également se sentir menacés à termes par la concurrence que pourrait exercer les véhicules autonomes individuels ou les services de robots-taxis.

Les entreprises – en tant qu’employeurs- peuvent également jouer un rôle dans le développement des véhicules autonomes, en permettant à leurs salariés de choisir ce mode de transport pour les trajets domicile-travail. C’est par exemple le cas d’Arval, filiale de BNP Paribas, dont le siège est situé à Rueil-Malmaison, à environ 1km de la gare de RER la plus proche, qui a mis en place un service privé de navettes autonomes qui relie les bureaux de l’entreprise à la station de RER. L’expérimentation menée au sein du technopôle de Sophia Antipolis (*cf infra*) illustre également les usages que pourraient avoir les entreprises regroupées dans une même zone pour la mobilité de leurs salariés et leurs clients.

Les assureurs auront également un rôle important à jouer, en proposant une offre compatible avec le régime juridique de responsabilité. La Matmut est par exemple impliquée dans l’expérimentation qui a lieu à Rouen (*cf infra*) et fait partie des partenaires de Vedecom (*cf supra*).

2.2 Les expérimentations françaises

Depuis plusieurs années, les pouvoirs publics et les industriels se sont lancés dans différents programmes d’expérimentation du véhicule autonome. Dès 2014, le groupement inter-service pour le véhicule autonome (GISVA) est mis en place, regroupant différentes directions du ministère de la Transition écologique, du ministère de l’Intérieur et du ministère de l’Economie et des Finances. La mise en place du GISVA répondait au besoin des industriels de développer un cadre leur permettant de mener des expérimentations en situation réelle. Entre décembre 2014 et juin 2018, le GISVA a délivré plus de soixante autorisations d’expérimentations, dont 23 pour l’année 2017, ce qui marque une accélération dans les demandes d’expérimentation (Brouhard, Saujot, et Brimont 2018). Ailleurs, on trouve le chiffre de 80 expérimentations, pour un total de 200 000 km cumulés⁷⁴.

2.2.1 L’appel à projet « Expérimentation du véhicule routier autonome » comme illustration de la stratégie française du déploiement du véhicule autonome

En 2018, l’appel à projet Expérimentation du véhicule routier autonome (EVRA), piloté par l’Ademe, est lancé dans le cadre du Programme d’investissement d’avenir (PIA). En effet, la stratégie nationale de développement du véhicule autonome, introduite en mai 2018, a relevé l’importance des expérimentations pour le développement du véhicule autonome. L’analyse de ce programme d’expérimentation permet d’illustrer les enjeux du développement des véhicules autonomes, en

⁷⁴ https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/9918029_D%C3%A9veloppement-VA_Vdef2.pdf

identifiant les acteurs et les territoires impliqués et en comparant les usages expérimentés avec le discours des pouvoirs publics.

Le site du ministère de l'écologie précise que l'expérimentation doit « *permettre à la fois de développer les usages et la connaissance de ces systèmes par les citoyens et les acteurs de territoires, et de construire le futur cadre de régulation, notamment en termes de validation et de sécurité* ». Les enjeux ne sont donc pas simplement techniques, puisqu'il s'agit de rendre visible le véhicule autonome auprès des citoyens et des acteurs locaux, ainsi que d'identifier les besoins juridiques. De plus, les expérimentations se font autour de consortiums réunissant une pluralité d'acteurs. Seuls les consortiums étaient éligibles à l'appel à projet. Or, d'après Brouhard, Saujot, et Brimont (2018), « *le développement de la mobilité autonome nécessite en effet de nouvelles formes de gouvernance de la mobilité, et les expérimentations vont être le lieu idéal pour apprendre à construire de nouvelles formes de collaboration entre acteurs* ».

L'appel à projet EVRA concerne à la fois la mobilité individuelle et collective, et principalement les transports de passagers, même si une expérimentation concerne le transport de marchandises. Les véhicules expérimentés doivent être commercialisables dès 2022.

Deux consortiums ont répondu à l'appel à projet, ce qui correspond à 16 cas d'expérimentations :

- Le projet SAM (Sécurité et acceptabilité de la conduite et de la mobilité autonome) est conduit par la plateforme automobile (PFA). Il réunit à lui seul 13 des 16 expérimentations. Il dispose d'un budget de 110 millions d'euros, dont 75 apportés par les partenaires et 35 millions par l'État. Il mobilisera, d'après les lauréats, plus de 500 000 utilisateurs et près de 100 véhicules⁷⁵. Il réunit 11 industriels (Alstom, Cofiroute, EasyMile, Keolis, PSA, groupe RATP, Renault, SNCF, Transdev, Twinswheel, Valeo) et 9 partenaires pour assurer la méthodologie et réaliser les évaluations (Cerema, ForCity, IFP Energies Nouvelles, IGN, Le LAB, ENPC/LVMT, SystemX, UTAC CERAM et Vedecom). Plusieurs de ces partenaires sont des établissements publics.
- Le projet ENA (expérimentations des navettes autonomes), conduit par l'IFSTTAR, regroupe trois expérimentations de navettes autonomes. Ce dernier représente un budget global de 15,8 millions d'euros, dont plus de 6,45 millions de subventions.

Le soutien financier de l'État s'élève à 42 millions d'euros pour l'appel à projet EVRA, sur un budget total de 120 millions d'euros, soit 35 %. A cela s'ajoutent les contributions des collectivités locales concernées par les expérimentations, ce qui conduit à des dépenses totales s'élevant à 200 millions d'euros (MTES, 2019).

⁷⁵ <https://pfa-auto.fr/2019/04/25/110-millions-de-100-vehicules-500-000-utilisateurs-13-territoires/>

	Pilotage	Lieu	Type de territoire	Type de mobilité	Budget ⁷⁶
1	PSA et Renault (SAM)	Ile de France	Urbain et péri-urbain	Mobilité individuelle	
2	Valeo (SAM)	Paris	Urbain	Mobilité individuelle	
3	PSA (SAM)	Nantes Carquefou	Péri-urbain	Transport collectif	
4	RATP et Renault (SAM)	Paris	Urbain	Hybride (véhicule personnel et transport collectif)	5 ⁷⁷
5	RATP (SAM)	Bois de Vincennes	Urbain	Mobilité collective (navettes autonomes)	
6	RATP (SAM)	Saint-Rémy les Chevreuses	Rural	Transport collectif	
7	Transdev et Renault (SAM)	Paris-Saclay	Péri-urbain	Hybride (navette autonome et véhicules partagés à la demande/desserte plateau de Saclay)	16 ⁷⁸
8	Transdev et Renault (SAM)	Rouen	Péri-urbain	Hybride (navette autonome et véhicules partagés à la demande/ desserte technopole)	11 ⁷⁹
9	Transdev (SAM)	Vichy	Urbain	Transport collectif (navette autonome)	
10	Keolis (SAM)	Rennes	Urbain	Transport collectif (navette autonome)	
11	Keolis (SAM)	Clermont-Ferrand	Urbain	Transport collectif	2,8 ⁸⁰
12	Easymile (SAM)	Toulouse	Péri-urbain	Transport collectif (desserte oncopole depuis parking)	
13	Twinswheel constructeur de droïdes (SAM)	Montpellier	Urbain	Livraison de marchandises	
14	Communauté d'agglomération de Sophia Antipolis (ENA)	Sophia Antipolis	Péri-urbain	Transport collectif (desserte technopole)	
15	Nantes métropole (ENA)	Nantes	Péri-urbain	Transport collectif (desserte aéroport)	
16	Communauté de communes Coeur de Brenne (ENA)	Indre	Rural	Transport collectif	

⁷⁶ En millions d'euros

⁷⁷ <https://www.journaldunet.com/economie/transport/1423679-ratp-vehicules-autonomes-paris-rive-gauche/>

⁷⁸ <https://www.lesechos.fr/2017/03/des-voitures-autonomes-a-saclay-169719>

⁷⁹ <https://www.lci.fr/high-tech/des-voitures-autonomes-a-l-assaut-des-rues-de-rouen-renault-zoe-2091624.html>

⁸⁰ Le projet a finalement été annulé : https://www.lamontagne.fr/clermont-ferrand-63000/actualites/experimentations-de-vehicules-autonomes-finalement-ce-sera-sans-clermont-ferrand_13547218/

Le tableau 1 synthétise les différentes caractéristiques des expérimentations menées. On constate que seulement 2 expérimentations sur 16 concernent les territoires ruraux : une expérimentation menée par la RATP à Saint-Rémy-les-Chevreuses, qui n'est pas réellement une commune enclavée puisqu'elle est au moins desservie par le RER B, et celle pilotée par la communauté de communes Cœur de Brenne, située dans l'Indre. L'Île-de-France est la zone qui concentre le plus d'expérimentations. En ce qui concerne le type de mobilité, une grande majorité des projets portent sur le transport collectif de passagers ou bien sur un service à la demande de véhicules partagés. Ce constat est nuancé par l'une des personnes interrogées qui déclare qu'en effet, au nombre d'expérimentations, le projet SAM porte plus sur une offre de transport collectif, mais qu'en termes budgétaires, la balance pencherait plutôt du côté de la mobilité individuelle. Il est malheureusement difficile d'obtenir les budgets par type d'expérimentation. Sur les trois projets du consortium ENA, qui porte spécifiquement sur les navettes autonomes, seule l'expérimentation pilotée par Cœur de Brenne concerne le transport public de passagers pour des besoins de déplacement variés, qui concerne l'ensemble des habitants du territoire, sur un parcours total de 22,3km qui relie les cinq communes du territoire. Les deux autres portent sur des besoins spécifiques. L'expérimentation menée sur le campus de Sophia Antipolis vise à développer une desserte à partir d'une station de bus vers plusieurs entreprises privées du technopôle, au service des employés et des visiteurs, sur une distance de 1 km. L'expérimentation pilotée par Nantes Métropole vise à améliorer la desserte de l'aéroport, en connectant le terminus de la ligne de tramway à l'aéroport, sur une distance de 2,4 km, et vise à terme à remplacer une ligne de bus déjà en service (cf dossier de presse du projet ENA⁸¹).

Officiellement, l'accent est mis sur la mobilité collective, rurale et péri-urbaine, puisque dans la description de l'appel à projet disponible sur le site du ministère, il est écrit que ces expérimentations doivent permettre « *de développer des services de navettes autonomes en milieu rural et péri-urbain, afin d'apporter des alternatives à la voiture individuelle ou d'améliorer les déplacements domicile-travail* ». Dans le communiqué de presse accompagnant la sélection des candidats ayant remporté l'appel à projet, il est précisé que la mobilité autonome est un « *axe structurant de [la] politique de mobilité, en particulier pour apporter des réponses aux territoires et aux situations qui ne bénéficient pas aujourd'hui de solutions efficaces de transports publics* ».

⁸¹ https://www.ifsttar.fr/fileadmin/redaction/5_ressources-en-ligne/Communication/Espace_presse/Dossiers_de_presse/DP_ENA_septembre_2019.pdf

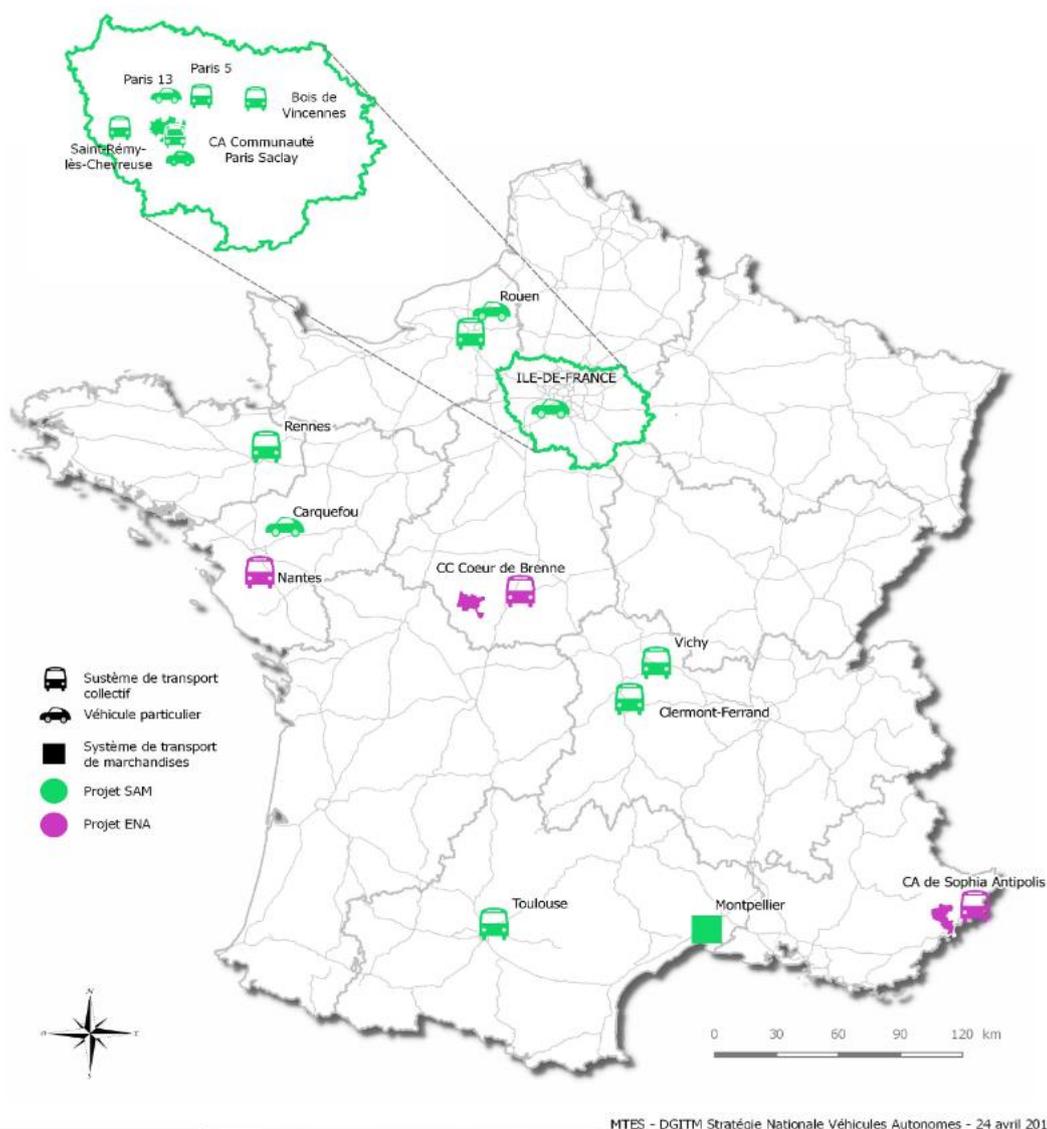


Figure 6: Territoires d'expérimentation du programme EVRA

On constate qu'il y a un écart important entre le discours, qui valorise les territoires ruraux et l'inclusivité, et la réalité des expérimentations, qui portent principalement sur des projets urbains ou péri-urbains. De même, alors que l'accent est mis sur la dimension collective, une plus grande partie du budget serait probablement consacrée à la mobilité individuelle. La figure 6 représente les différents lieux d'expérimentation du véhicule autonome dans le cadre du projet EVRA.

Les territoires urbains

Une grande partie des expérimentations retenues dans le cadre de l'appel à projet EVRA concerne des territoires urbains et péri-urbains (14 sur 16), la limite étant parfois floue entre les deux types de territoires. L'objectif affiché est de remplacer la voiture individuelle par une mobilité partagée. Les

véhicules autonomes sont supposés compléter le système de transport en commun présent, voire à terme le remplacer.

C'est par exemple le cas de l'expérimentation menée dans le 13^e arrondissement de Paris et pilotée par la RATP (expérimentation n°4), qui vise à développer une offre hybride de véhicules personnels (4 véhicules) à la demande et de transports collectifs (2 navettes) permettant de relier l'hôpital de la Pitié-Salpêtrière au réseau de transports existant avec une desserte fine du quartier. Les bénéficiaires potentiels sont les usagers de l'hôpital, des personnes pouvant ne pas être en mesure de conduire ou d'utiliser des modes actifs pour rejoindre les transports en commun. L'opération est menée en partenariat avec Mobileye, filiale d'Intel, qui fournit le logiciel de conduite autonome.

Dans une ville de plus petite taille, Vichy (Allier), l'expérimentation menée consiste à faire circuler une navette autonome Easymile, qui cohabite avec les modes doux (vélos et piétons) mais sur une voie séparée des véhicules motorisées, sur une distance de 1,2km (expérimentation n°9). Le trajet parcouru s'insère dans le réseau local de transport en commun. Il permet de relier deux pôles de services. La navette autonome utilisée est fabriquée par Ligier (fondateur d'Easymile) qui est une entreprise vichyssoise, ce qui permet de faire le lien avec les enjeux d'attractivité évoqués précédemment.

A Clermont-Ferrand, le transporteur français Keolis aurait dû expérimenter un circuit de 3km en centre-ville, à l'aide 3 navettes EasyMile (expérimentation n°11). La métropole a décidé de se retirer « *parce que le coût était trop important pour une expérimentation* »⁸². En dehors de ces expérimentations dans les rues des villes, une expérimentation menée par Valeo étudie un système de stationnement intelligent et autonome à Issy-les-Moulineaux, dans un parking souterrain (expérimentation n°2). L'automobiliste dépose son véhicule devant le parking, et le véhicule est capable de trouver une place de parking et de se garer tout seul.

En plus des 16 expérimentations menées dans le cadre du projet EVRA, d'autres expérimentations ont déjà eu lieu⁸³, dont une dans le centre-ville d'Autun (Saône-et-Loire)⁸⁴. Cette expérimentation a donné lieu à une enquête menée par le CEREMA, attestant d'une satisfaction à 90% des utilisateurs anecdotiques. Or, ce travail n'interroge pas le report modal, soit sur les besoins réels du territoire et sur l'efficacité de cette alternative. Dans le contexte du centre-ville d'Autun, la navette autonome répond à une nouvelle activité – le renforcement du tourisme – et à une augmentation projetée de la mobilité due à cette nouvelle activité, mais semble n'offrir aucune piste quant aux besoins des résidents de la ville ou des alentours, a fortiori des populations vulnérables. Au-delà de la question du besoin et de l'efficacité, cette expérimentation pose la question de « l'acceptabilité » par les résidents. L'enquête menée par le CEREMA révèle une tension quant au trajet effectué par la navette autonome, qui s'octroie un espace jusque-là réservé aux résidents et usagers habituels. D'une manière générale, le sujet de l'insertion du véhicule autonome sur l'espace public tel qu'il est perçu

⁸² https://www.lamontagne.fr/clermont-ferrand-63000/actualites/experimentations-de-vehicules-autonomes-finalement-ce-sera-sans-clermont-ferrand_13547218/

⁸³ Pour rappel 80 autorisations d'expérimentations ont été délivrées entre 2014 et 2018

⁸⁴ <https://france3-regions.francetvinfo.fr/bourgogne-franche-comte/tourisme-navette-chauffeur-visiter-ville-autun-1448761.html>

par les populations, usagers potentiels comme riverains, résidents, citoyens, etc. est posé en ces termes. C'est cette notion qui est mise à l'honneur dans les documents de communication des pouvoirs publics comme dans les entretiens de personnes en charge de la mise en place du véhicule autonome, au détriment de termes tels que la concertation ou la consultation, qui prévoient, notamment dans la loi SRU, une participation des citoyennes et des citoyens en amont du projet, et non une fois que celui-ci est déjà décidé. Or, les premiers résultats des expérimentations révèlent déjà des dissensions autour de l'installation de cette nouvelle technologie, pouvant être perçue comme liberticide, comme le souligne ici Sylvain Belloche du CEREMA : *« contrairement à ce qu'on pense, les personnes âgées sont beaucoup plus acceptantes de ces technologies parce qu'elles ne semblent pas évaluer la problématique de respect de la vie privée autant que d'autres catégories : sur un des territoires partenaires, Sophia Antipolis, les personnes âgées n'ont aucun frein à utiliser le service parce qu'elles n'ont pas la même connaissance du fonctionnement de la technologie, l'essentiel pour elles est que ce service leur est utile; les plus réfractaires c'est justement les jeunes qui disent «on va me piquer mes data ».*

Les territoires péri-urbains et les sites privés

Les territoires péri-urbains semblent être des espaces privilégiés pour accueillir les expérimentations du véhicule autonome. Qu'il s'agisse du dernier km ou de trajets plus longs, les solutions actuellement mises à l'épreuve consistent à proposer une alternative au véhicule individuel en couvrant les distances éloignant les lieux de résidence ou les zones d'activité (technopôle, campus étudiant, aéroport) de pôles d'infrastructures de transports déjà existants. Plusieurs expérimentations du dispositif EVRA se déroulent sur ce type de territoire polymorphe.

L'expérimentation menée par Transdev et Renault sur le plateau de Saclay, depuis la gare de Massy et sur une voie un site propre jusqu'au campus regroupant écoles d'ingénieurs, universités, centres de recherche et entreprises (expérimentation n°7) en est un exemple. Les utilisateurs de ce service sont les étudiants, les enseignants, les chercheurs, les salariés et les personnels administratifs fréquentant le campus. Il s'agit d'une expérimentation hybride mêlant navette autonome et véhicule individuel partagé et à la demande.

L'expérimentation menée à Rouen, « Rouen Normandy Autonomous Lab » prend une forme similaire, est elle aussi pilotée par Transdev et Renault, en partenariat avec la métropole de Rouen, la région Normandie et la Matmut, grand assureur français dont le siège social est situé à Rouen (expérimentation n°8). Il s'agit de relier le terminus du tramway à la technopole du Madrillet (5000 étudiants, 2500 emplois, « *la plus grande concentration de matière grise du Nord-Ouest de la France* » d'après le président de la métropole) à Saint-Etienne de Rouvray. 4 Zoé Renault autonomes seront disponibles à la demande, depuis une application pour smartphone, et complétées par une navette autonome. Trois parcours seront testés, pour un total de 10km. Les deux autres parcours devraient inclure un quartier d'habitation et un centre commercial.

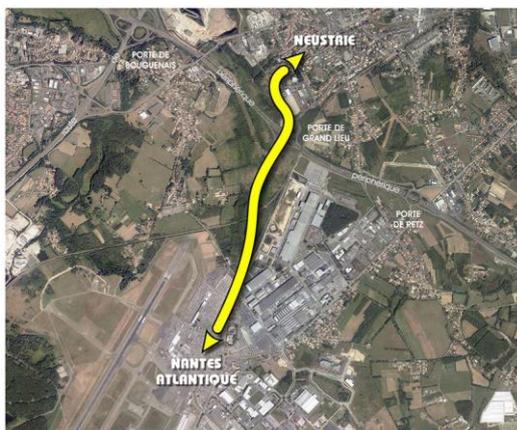
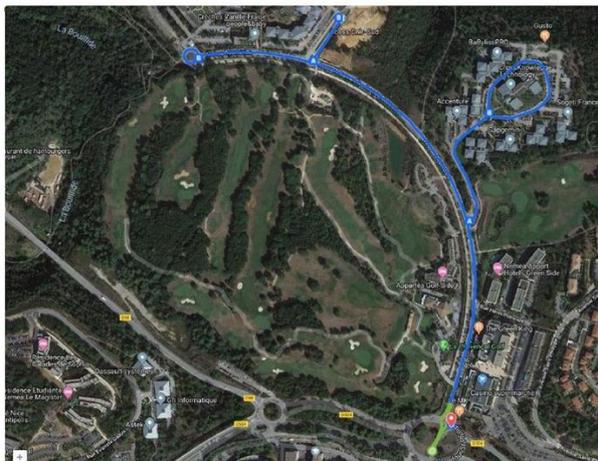


Figure 7: Parcours du véhicule autonome reliant le terminus de tramway à l'aéroport de Nantes

Source : <https://metropole.nantes.fr/actualites/2019/deplacements-stationnement/navette-autonome>

A Nantes, deux expérimentations sont menées. La première (Navway), menée dans le cadre du projet ENA et pilotée par Nantes Métropole, consiste à relier le terminus du tramway à l'aéroport à l'aide de quelques navettes autonomes sur une distance de 2,4 km (expérimentation n°15). La deuxième, orchestrée par PSA et en partenariat avec la SNCF dans le cadre du projet SAM, vise à transporter jusqu'à 300 personnes en heure de pointe sur une distance de 7km d'un côté à l'autre du périphérique sur le parcours d'une ancienne voie ferrée, entre Nantes Est et Carquefou (expérimentation n°3

Le projet de la communauté d'agglomération de Sophia-Antipolis (CASA) consiste également à relier le terminus d'une ligne de bus aux entreprises de la technopole, à l'aide deux navettes, sur une distance d'un km (expérimentation n°14).



Le site d'expérimentation retenu est l'Avenue de Roumanille, dans le quartier Saint Philippe de la commune de Biot, au cœur de Sophia Antipolis. © CASA

Figure 8: Parcours de la navette autonome expérimentée à Sophia-Antipolis

Source : <https://france3-regions.francetvinfo.fr/provence-alpes-cote-d-azur/alpes-maritimes/antibes/etat-lance-experimentation-navettes-autonomes-sophia-antipolis-1659884.html>

A Toulouse, une navette autonome relie les bâtiments de l'Oncopole à son parking, distant d'un km (expérimentation n°12). L'opération est menée par Easymile, qui est une entreprise locale.

A Vincennes, la RATP expérimente la desserte du bois à l'aide de trois navettes Easymile et 2 navettes Navya (expérimentation n°5).



Figure 9: Parcours du véhicule autonome expérimenté à Toulouse

A Saint-Rémy-Lès-Chevreuse, l'expérimentation menée par la RATP vise à relier la gare de RER à un parking distant de 4 km (expérimentation n°6). L'objectif est de permettre aux automobilistes de se garer afin de prendre les transports en commun au détriment de leur voiture.

A Rennes (expérimentation n°10), le transporteur français Keolis expérimente 4 navettes (2 Navya et 2 Easymile) sur un circuit de 2,6 km (6,2 dans un second temps), au sein du campus de l'Université de Rennes 1 (Beaulieu). Le circuit est complémentaire à l'offre de transport en commun de la métropole de Rennes.

A l'exception de l'expérimentation menée à Sophia-Antipolis, qui vise à atteindre la vitesse de 50km/h, les véhicules expérimentés à Nantes, à Toulouse roulent tous à faible vitesse (entre 10 et 20 km/h).

Selon les arguments avancés par les porteurs de projet, il s'agit avant tout de remplacer la voiture en offrant une solution de mobilité collective, ce qui répondrait à une partie des exigences des pouvoirs publics en matière d'utilité du véhicule autonome. Néanmoins, cette concentration des efforts sur des territoires marqués par une forte densité des activités économiques, comme c'est le cas de presque tous les sites, du plateau de Saclay, au technopôle de Rouen en passant par Sophia Antipolis ou l'aéroport de Nantes, laisse douter de l'accès des populations les plus fragiles à cette technologie. Dans cette perspective, il semblerait que le véhicule autonome favoriserait en priorité le déplacement collectif de personnes résidant en milieu péri-urbain et souhaitant se rendre sur leur lieu de travail.

Sur un autre registre, l'Institut d'aménagement et d'urbanisme déplore que « *sur les 16 expérimentations, 13 concernent des navettes dédiées à des usages de niche [...]. Une seule expérimentation, menée en Ile-de-France sur des voies à chaussées séparées (2x2 voies, autoroutes) par PSA et Renault, concerne les voitures autonomes [...]. On est encore très loin des expérimentations menées sur des flottes de voitures autonomes aux États-Unis par Waymo, Uber et autre GM* ».

En dehors de ces expérimentations de navettes autonomes ou de véhicules individuels partagés et à la demande, une seule expérimentation concerne les véhicules individuels à usage privé. Il s'agit de l'expérimentation menée conjointement par PSA et Renault sur différentes routes d'Ile-de-France qui font circuler plusieurs de leurs véhicules pour des roulages massifs (50 000km) sur des routes à chaussée double. L'objectif est de tester la sécurité et les performances des véhicules en conditions réelles.

Les territoires ruraux

Le développement du véhicule autonome dans les collectivités rurales présente un certain nombre de difficultés, malgré la volonté affichée par les pouvoirs publics de mettre la priorité sur le désenclavement des zones rurales et la réduction des inégalités territoriales. A ce titre, le cas du territoire Cœur de Brenne, seul territoire rural lauréat dépendant du consortium ENA, est emblématique (expérimentation n°16). Situé au cœur du Parc naturel régional (PNR) de la Brenne, marqué par des zones humides justifiant son surnom de « pays aux mille étangs », cette toute petite collectivité a une densité moyenne de 12 habitants au km². Dès le début des années 2000 cette

collectivité territoriale regroupant 11 communes s'est distinguée par plusieurs politiques mises en place visant à mettre le numérique au cœur de la vie des habitants.

La difficulté première de ce territoire est de nature démographique : il s'agit avant tout d'éviter l'exode rural des populations actives entre 30 et 44 ans afin de maintenir de l'activité et des services. Une autre difficulté du territoire concerne l'absence totale de solutions de mobilité collective, à l'exception d'un réseau de cars (REMI) et d'une ligne de taxi essentiellement destinée aux besoins médicaux. Dans ce contexte, l'expérimentation vise à mettre en place 2 navettes autonomes de 9 places au printemps 2022 permettant de relier entre eux les 11 centres bourgs disposant chacun d'un ou plusieurs services, dont un espace de coworking, le premier en milieu rural inauguré dans l'hexagone. L'ambition est de mettre en place une ligne de transport à ramassage régulier toutes les demi-heures, répondant aux nombreux besoins du territoire. D'après Jean-Bernard Constant, responsable numérique pour la communauté de communes Cœur de Brenne, « *au-delà de l'effet waou, innovant, de la curiosité, si on avait sur notre territoire quelque chose de pérenne, gratuit, avec une amplitude convenable, ce serait vraiment une solution [...]. Si en plus de ça, on a un affichage dynamique à l'intérieur du véhicule autonome, avec une information qui va présenter le témoignage de personnes « green » qu'on a fait sur notre ITV, donner la météo, permettre un transport de médicament de la maison de santé à la pharmacie ou d'emmener tel colis de tel marchand à tel endroit là ça devient beaucoup plus intéressant* ».

L'architecte de ce projet regrette le manque d'adaptation des prototypes de véhicule autonome à la réalité rurale. Le cadre du consortium ENA ne nourrit pas un objectif de recherche et développement visant à faire évoluer les véhicules en fonction des besoins des territoires, mais pose des questions tournées vers l'acceptabilité et l'usage des populations. « *Les constructeurs n'ont pas du tout pensé le business model du véhicule autonome sur la ruralité alors que c'est le seul endroit où il y a zéro concurrence* » et insiste sur la différence de points de vue entre le politique et les constructeurs automobiles. D'après Jean-Bernard Constant, les difficultés sont avant tout d'ordre technique ; elles concernent la circulation des véhicules autonomes : impossibilité de fixer des lidars en l'absence de mobilier urbain sur les routes, prévalence de routes de campagne à une voie rendant la circulation des navettes difficiles, mais aussi la nature même des navettes existantes. Mais elles sont aussi d'ordre juridique : pour les véhicules de niveau 3, l'interdiction de l'activation de la conduite autonome au-delà de 60km ou l'obligation d'avoir une barrière physique entre les deux sens de circulation rend très improbable le déploiement de ces véhicules en milieu rural où la plupart des routes ne disposent pas de séparation physique entre les deux sens de circulation et où le réseau routier à une voie n'est pas adapté à la circulation des véhicules lents.

Le résultat de cette expérimentation est, par conséquent, peu satisfaisant, car la vitesse de la navette est limitée à 25km/h, pour des routes où la vitesse maximale autorisée est de 80km/h. La navette autonome est par conséquent très lente, alors que le territoire présente un certain nombre d'avantages permettant une circulation rapide, et offre également des facilités en termes de centrale de lavage, d'espaces de parking, etc.

Limitée par la technologie et par le caractère contraint du consortium⁸⁵, l'expérimentation semble pour l'instant n'être qu'à moitié satisfaisante : « *actuellement on réfléchit à mettre des modules tout au long de la route pour que la navette puisse se repérer dans son espace. On travaille sur des objets connectés qui vont être à l'intérieur de la route ou à côté de la route [...] Ce sont des réflexions qu'on doit mener sur les deux ans, des aboutissements technologiques qu'il faut avoir pour la faire circuler. En termes d'investissement nous n'avons pas grand-chose, en termes de législation, on voit bien qu'on est à la traîne* ».

Pour l'initiateur du projet, cette absence de considération de la part des constructeurs pour les territoires ruraux reflète une véritable erreur de stratégie, qu'il relie à des épisodes politiques récents et centraux : « *les deux événements que sont les gilets jaunes et le coronavirus ont montré qu'il y a un intérêt à ne pas oublier les territoires ruraux. Tant parce qu'il y a une population existante (soit on fait comme les USA, on abandonne une zone à la nature et on empêche les gens de venir s'y installer, soit on veut maintenir le peu de vie qu'il y a et il faut un minimum de service). La mobilité en fait partie, c'est vraiment un enjeu* ».

Ces propos sont confirmés par l'économiste des transports Florent Laroche, résidant lui aussi dans un territoire rural enclavé. Pour le chercheur, l'installation de la fibre représentait l'enjeu majeur des récentes élections municipales, dans la mesure où elle signifiait pour les électeurs la possibilité d'un véritable accès aux pôles d'activités et de services.

Ces deux témoignages montrent que les liens sont étroits entre besoin de mobilité et numérisation d'un certain nombre de tâches ou d'activités professionnelles. En effet, le rapport du défenseur des droits Jacques Toubon publié en 2019 mettait en avant l'enjeu des inégalités d'accès aux services publics engendrées par la dématérialisation de ces services. Ce rapport révèle que 13 millions de personnes en France ne disposent pas d'accès aisé aux TIC (technologies de l'information et de la communication) et recommande que des guichets physiques, des administrations mais également d'autres guichets tels que ceux de la SNCF soient maintenus partout. La réduction des équipements publics, ceux qui peuvent être dématérialisés comme ceux qui ne le peuvent pas (hôpitaux) contraignent les habitants à se déplacer toujours plus loin pour bénéficier de ces services. Avec parfois des conséquences dramatiques pour la santé de l'enfant ou de la mère. En 20 ans, 40 % des maternités ont en effet disparu, et le nombre de femmes en âge de procréer vivant à plus de 45 minutes d'une maternité a plus que doublé⁸⁶.

Alors que la numérisation est souvent l'une des causes de la disparition des services publics, le numérique est également souvent promu comme l'une des solutions de désenclavement, en permettant de se déplacer plus facilement, grâce au véhicule autonome, voire en développant de nouvelles possibilités, telles que la télé-médecine mise en avant par les promoteurs de la 5G. De même, l'augmentation des possibilités de télétravail pour une partie de la population est perçue par la communauté de communes Cœur de Brenne comme une opportunité d'attirer de nouveaux

⁸⁵ « *Les expérimentateurs imposent plein de choses : un opérateur avec pause le midi et arrêt le soir ; deux navettes qui vont tourner dans tous les sens pour amener les gens d'un point A à un point B* »

⁸⁶ <https://reporterre.net/La-fermeture-des-maternites-symbole-de-l-abandon-des-petites-villes>

habitants, à condition de leur offrir un certain nombre de services numériques, d'où l'installation d'un espace de co-working, de la Brenne Box et aujourd'hui du véhicule autonome. L'épidémie du coronavirus et l'expérience du confinement ont brutalement augmenté la place du télétravail, sans doute de manière irréversible. Cela pourrait enclencher une dynamique d'exode urbain où les territoires ruraux accueilleraient ces travailleurs qui ont la possibilité d'exercer leur travail à distance. Ce phénomène peut être analysée comme une *greentrification*, ou gentrification rurale, c'est-à-dire « *un processus de recomposition sociale et résidentielle issu de l'implantation de nouvelles populations mieux pourvues en divers types de capital que la moyenne des ménages antérieurement installés* » (Collectif, 2020). La greentrification se distingue de la gentrification par le fait que la nature et les paysages jouent un rôle majeur dans l'installation des nouveaux résidents.

2.2.2 Les expérimentations d'infrastructures routières et numériques

En parallèle des expérimentations de véhicules autonomes, les différents pays et acteurs impliqués dans le développements de ces véhicules expérimentent également des systèmes de transports intelligents (STI). La France fait partie des leaders européens et mondiaux des systèmes de transport STI coopératifs, notamment grâce aux projets expérimentaux menés. [SCOOP@F](#) associe Renault et PSA ; il est cofinancé par l'Union européenne. D'autres projets concernent également les STI coopératifs. Sans visée l'exhaustivité, on peut citer les programmes d'expérimentation suivants : C-roads FR, C-roads Plaform (5ans, 14 partenaires, 14,5 millions d'euros de budget), Intercor (3 ans, 16 partenaires français, belge, hollandais et anglais, 30 millions d'euro de budget), Sic-commun, InDID (4,5 ans, 24 partenaires, 21,5 millions d'euros de budget dont 10 millions de subvention de l'Union Européenne⁸⁷)⁸⁸. Plusieurs projets de recherche se concentrent spécifiquement sur l'utilisation de la 5G pour les STI ont été identifiés : 5G Croco, 5G Carmen, 5Gcar, 5G Drive, 5G Mobix. Certains sont européens et ont fait l'objet de financement dans le cadre du dispositif H2020. Le projet [SCOOP@F](#) permet d'illustrer ces expérimentations. Il s'agit d'un projet mené entre 2014 et 2019 visant à déployer un système pilote de transport intelligent. basé sur l'échange d'informations entre les véhicules connectés (V2V) et les véhicules et les infrastructures de transport (V2I). D'après le site internet du projet, les véhicules étaient « *équipés de capteurs qui détectent des évènements (route glissante, choc, freinage brusque, ...) et d'unités embarquées qui transmettent l'information aux véhicules en amont (V2V) ainsi qu'au gestionnaire (V2I) via des unités de bord de route. Le gestionnaire peut aussi transmettre des informations (chantiers ...) aux unités embarquées dans les véhicules (I2V)* ».

Pour cela, 3000 véhicules équipés sont déployés sur 2000 km de routes répartis en 5 sites : Ile-de-France, A4, Isère, rocade de Bordeaux et Bretagne.

⁸⁷ <https://www.bordeaux-inp.fr/fr/dossier-28-le-projet-indid-infrastructure-digitale-de-demain>

⁸⁸ http://www.cotita.fr/IMG/pdf/Les_projets_de_mobilite_autonome_et_connectee.pdf

Le projet, coordonné par le Ministère de l'Écologie, réuni de nombreux partenaires publics et privés :

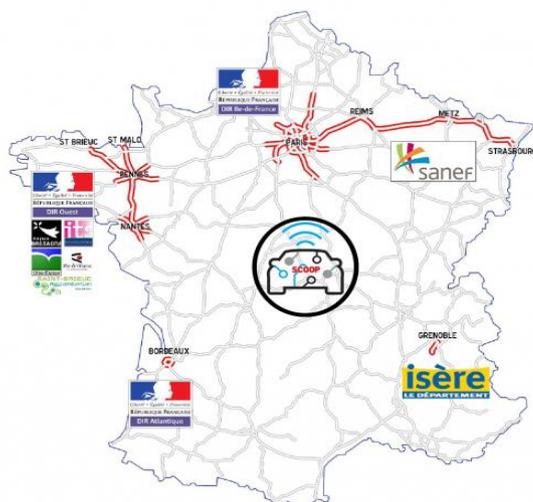


Figure 10 - Expérimentations d'infrastructures numériques intelligentes au sein du projet SCOOP

Source : <http://www.scoop.developpement-durable.gouv.fr/les-5-sites-pilotes-scoop-a4.html>

des collectivités locales (département de l'Isère, des Côtes d'Armor et d'Ille et Vilaine, l'agglomération de Saint-Brieux, la région Bretagne), des gestionnaires routiers (la direction des routes d'Île de France, la direction interdépartementale des routes Atlantique, la direction interdépartementales des routes Ouest, Sanef), les constructeurs PSA et Renault, des universités et centres de recherche (Cerema, Ifsttar, GIE Renault PSA, Institut Mines-Télécom Paristech, Université de Reims Champagne Ardenne), des entreprises des télécoms (Orange, IDnomic). Il a également une forte dimension européenne, étant donné que son financement provient à 50 % de l'Union européenne, que des expérimentations ont été menées en Autriche, en Espagne et au Portugal, et que des partenariats ont été mis en place avec des entreprises et des institutions européennes⁸⁹.

⁸⁹ <http://www.scoop.developpement-durable.gouv.fr/presentation-du-projet-scoop-a29.html>

Conclusion de la Partie 2

La deuxième partie de la présente étude a permis d'identifier les acteurs impliqués dans le développement du véhicule autonome, aux échelles internationales, européennes et nationales. A l'échelle internationale, les enjeux géopolitiques liés développement du véhicule autonome sont majeurs. Les Etats-Unis, l'Union Européenne et la Chine incarnent autant de visions du véhicule autonome, et les conséquences économiques pour les industries nationales de l'automobile sont considérables, ces dernières étant largement soutenues par les États étant donné leur poids dans le PIB et l'emploi. Cette compétition entre puissances économiques et entre constructeurs automobiles voit également apparaître de nouveaux concurrents : les acteurs du numérique et des plateformes, qui sont aujourd'hui les leaders dans le développement du véhicule autonome. L'ONU joue quant à elle le rôle de régulateur à l'échelle internationale en produisant la réglementation censée encadrer le développement et l'utilisation des véhicules autonomes. L'Union européenne joue également un rôle majeur, notamment dans le financement de la R&D, mais également dans l'adaptation du cadre réglementaire, ou encore dans le développement des infrastructures nécessaires au fonctionnement des véhicules autonomes, telles que les routes ou les outils de cartographie numérique. A l'échelle nationale, l'État français se veut le promoteur de la stratégie industrielle et du discours écologique sur le véhicule autonome. Depuis quelques années, il organise par des lois, des appels à expérimentations et des subventions le développement du véhicule autonome. Les collectivités territoriales s'impliquent également et voient dans les expérimentations un outil au service de la compétitivité territoriale. Les industriels surfent à la fois sur cette dernière et sur la prétendue vertu écologique associée au véhicule autonome pour développer leurs produits. Depuis quelques années, ils s'organisent au sein de consortiums et de partenariats publics-privés pour faire émerger la filière.

La deuxième partie présente également une série d'expérimentations menées sur le territoire national. L'étude de ce programme d'expérimentations porté par le Ministère de l'écologie et impliquant l'ensemble des acteurs impliqués dans le développement du véhicule autonome (constructeurs, gestionnaires d'infrastructures routières, entreprises de transports, collectivités, universités et établissements publics) permet de saisir les formes que pourraient prendre à l'avenir la mobilité autonome du véhicule autonome et fait notamment apparaître un écart important entre le discours porté par les politiques publiques et la réalité des expérimentations. En effet, le discours officiel sur la mobilité autonome met en avant la mobilité partagée au service des territoires ruraux. En pratique, sur les seize expérimentations étudiées, une seule concerne véritablement un territoire rural et présente un potentiel d'inclusivité.

« Peu de technologies sont autant prometteuses dans l'amélioration de notre quotidien, accessibles et respectueux de l'environnement en ce qui concerne le transport » a récemment déclaré le directeur général d'Uber. Favoriser la mobilité durable, réduire les inégalités sociales et territoriales, susciter l'acceptabilité : les objectifs politiques du véhicule autonome tels que présentés par les pouvoirs publics dans la stratégie nationale de développement du véhicule autonome sont également très ambitieux. Or, l'état des lieux réalisé dans cette partie ne permet pas d'affirmer avec certitude que toutes les expérimentations, et toutes les stratégies vont dans ce sens. Si Tesla ou Audi, fleurons de l'avancée technologique en matière d'automatisation, investissent tous leurs efforts sur la voiture individuelle, il n'en demeure pas moins que les constructeurs français travaillent eux aussi en partie au développement d'une mobilité individuelle pas nécessairement moins coûteuse en énergie et surtout très exclusive.

En effet, si une voiture autonome de niveau 5 ou même de niveau 3, permettrait d'améliorer considérablement le confort du conducteur sur des longs trajets, de surcroît dans le contexte des limitations de vitesse en cours, il s'agirait sans conteste d'un produit de luxe réservé à des personnes aux revenus très élevés.

Du côté du public, l'accent est mis sur l'intérêt d'un véhicule autonome collectif, assurant une offre de transports en commun publique et ouverte à tous, afin de répondre à des objectifs de développement durable. Cette posture peut être résumée par cet extrait d'entretien mené auprès de l'expert du CEREMA : *« ce qui a réellement du sens en termes de développement durable, c'est le transport partagé, à minima en commun, à vocation publique et c'est ce qui peut intéresser les territoires »*.

Pourtant, les expérimentations en cours révèlent, comme on l'a vu, de nombreux dysfonctionnements en termes d'adaptation aux besoins des personnes, de catégories vulnérables de la population et des territoires ruraux, pourtant désignés comme étant prioritaires. D'un côté, se pose la question de la vitesse : les navettes autonomes seront-elles assez rapides pour concurrencer les voitures individuelles et représenter une alternative plébiscitée par les personnes ? Pour Christian Long, cela est possible à condition qu'elles circulent sur des voies réservées, ce qui n'est pas sans poser des problèmes de partage de l'espace public. De l'autre, si le véhicule autonome promet de favoriser l'accès des personnes non autonomes aux zones denses en termes d'activités et de services, on peut s'interroger sur la faisabilité d'un système aggravant forcément une fracture numérique déjà forte. En effet, en France, d'après l'INSEE, une personne sur six n'utilise pas internet et plus d'un usager sur trois manque de compétences numériques de base.

Cette partie a permis de mettre en évidence la forte tension entre le discours des pouvoirs publics et des industriels sur les prétendues vertus écologiques et sociales du véhicule autonome et les expérimentations réellement menées. La partie suivante, qui analyse le système socio-technique nécessaire au fonctionnement du véhicule autonome, révèle un contraste encore plus important entre le fantasme d'un véhicule autonome au service de la mobilité durable et le très probable scénario d'une entreprise énergivore, polluante, consommatrice de ressources et d'espaces, excluante, coûteuse et risquée pour les libertés publiques.

3. Scénarios de développement, système socio-technique et conséquences écologiques

Alors que les parties précédentes étaient majoritairement à vocation descriptive, en partant de l'état actuel du véhicule autonome, de l'ensemble des acteurs et des territoires qui s'inscrivent dans les projets d'expérimentations du véhicule autonome, la partie 3 est plus exploratoire. Elle tente d'identifier les développements possibles du véhicule autonome, en analysant les scénarios de développement qui ont été étudiés dans la littérature, les conséquences écologiques de ces différents scénarios et en explorant plus largement le système socio-technique sur lequel repose le développement du véhicule autonome.

3.1 Scénarios et horizons de développement

3.1.1 Scénarios de développement : territoires, acteurs, utilisateurs, et modèles économiques

Comme l'indiquent Le Gallic et Aguilera (2019), « *personne n'a encore véritablement une idée précise de ce que seront les véhicules autonomes, en particulier ce que seront leurs modèles économiques, s'ils seront plutôt individuels ou plutôt partagés, quels constructeurs et opérateurs le proposeront, ou encore comment ils seront articulés avec les systèmes actuels de transport* ». C'est la raison pour laquelle de nombreux travaux tentent depuis plusieurs années d'élaborer des scénarios de développement du véhicule autonome, considérés ici comme des configurations possibles dans lesquelles le véhicule autonome pourrait fonctionner. Ces scénarios peuvent s'intéresser au type de territoire (rural, urbain, péri-urbain), au type d'utilisateurs (résidents, salariés d'une entreprise, citadins, personnes ayant des revenus élevés, technophiles, personnes âgées, etc.), aux acteurs impliqués (collectivités, grandes entreprises du numériques, start-up locales, etc.), aux offres développées (robot-taxis, navette publique, flotte de voitures à la demande, etc.) et à la gouvernance sous-jacente (partenariat public-privé, monopole public, etc.). Les principaux travaux recensés identifient à peu de choses près les trois mêmes scénarios de développement d'une offre de mobilité autonome que sont les navettes autonomes pour le transport collectif, les flottes de robots-taxis et les voitures individuelles à usage privé. Ces trois scénarios sont des archétypes sur lesquels s'appuient l'exercice de prospective. Il est évidemment possible que des d'autres situations voient le jour. En outre, les trois possibilités envisagées ne sont pas mutuellement exclusives. Il est par exemple possible de faire cohabiter une flotte de robot-taxis en centre-ville avec des navettes autonomes pour le péri-urbain et des véhicules individuels pour les usages récréatifs.

L'analyse menée ici s'appuie principalement sur les travaux de Saujot, Brimont, et Sartor (2018), de Le Gallic et Aguilera (2019) et ceux menés par la Fondation pour l'évaluation des choix technologiques et centre de compétence des- Académies suisses des sciences (2020). Ces travaux, parmi les plus récents, sont eux même la synthèse de nombreuses études.

L'académie suisse des sciences considère dans son étude que les scénarios étudiés se distinguent notamment par le degré d'intervention des pouvoirs publics. Saujot, Brimont, et Sartor (2018) supposent eux aussi un lien entre implication des différents acteurs et l'émergence de tel ou tel scénario. Les auteurs étudient le scénario d'une mobilité autonome privée et individuelle, portée par les constructeurs automobiles, le scénario d'une mobilité autonome collective, portée par les collectivités locales et les opérateurs publics de transports dans le but de renforcer l'offre de transport public, et le scénario d'une offre privée de robot-taxis à la demande développée par les acteurs du numérique. Les travaux de Le Gallic et Aguilera (2019) suivent le cadre conceptuel des modes de vie, ce qui permet de questionner les impacts des différents scénarios de développement de la mobilité autonome au sens large. Les auteurs considèrent en effet six composantes : les choix relatifs à l'habitat et à la composition du ménage, les choix relatifs au travail et aux revenus, les pratiques d'équipement et le rapport aux technologies, les activités pratiquées au quotidien, les pratiques relatives aux vacances et séjours et les pratiques de mobilité et le rapport à l'espace. Le corpus qu'ils mobilisent est composé de 107 éléments (articles scientifiques, rapports, présentations lors de conférences, etc.).

La voiture autonome individuelle

Saujot, Brimont, et Sartor (2018) fournissent une bonne description de ce que pourrait être le développement du véhicule autonome dans ce scénario. Tout d'abord, le développement s'appuierait sur une régulation de type « économie de marché ». Les infrastructures seraient publiques (les routes), l'investissement serait public (subventions) et privé (constructeurs), le marketing serait centré sur le prestige et la liberté (cf. Figure 5). La progression vers un véhicule de niveau 5 se ferait de manière incrémentale, en fonction des progrès technologiques, de la demande des ménages et de l'évolution du cadre juridique de déploiement du véhicule autonome. Les pouvoirs publics et les constructeurs cherchent à préserver l'industrie automobile et à maintenir une place centrale à l'automobile dans la société. Les auteurs précisent également que les acteurs du numérique s'impliquent dans ce développement en offrant des services de mobilité ou des services à l'intérieur du véhicule, et mettent en place des partenariats avec les constructeurs traditionnels. L'évolution se faisant de manière incrémentale, les véhicules autonomes cohabiteraient nécessairement avec les véhicules traditionnels, ce qui pousse les constructeurs à exiger auprès des pouvoirs publics certaines modifications de l'infrastructure routière, telles que la mise en place de voies dédiées aux véhicules autonomes. Les véhicules autonomes individuels seraient sans doute, au moins les premiers temps, réservés aux personnes aisées. En effet, le surcoût estimé est important. Les évaluations de ce surcoût varient entre 20 000€ et 100 000€ par véhicule.

Ce scénario est à la fois le moins mis en avant par les pouvoirs publics dans sa communication, tout en couvert par un certain nombre d'expérimentations encadrés par ces mêmes pouvoirs publics. C'est celui qui est le plus étudié dans la littérature. En effet, sur les 107 articles analysés par Le Gallic et Aguilera (2019), plus de la moitié s'y réfèrent.

Selon l'analyse par le cadre conceptuel des modes de vie mobilisé par Le Gallic et Aguilera (2019), un tel scénario provoquerait de nombreux changements à différentes échelles, en supposant le niveau 5 d'autonomie. Le premier est l'accès à la mobilité individuelle pour les personnes qui en sont actuellement exclues : les jeunes et les personnes sans permis, les personnes âgées et les personnes ne pouvant pas conduire pour des raisons de santé ou de handicap. Le second, majeur, est la possibilité offerte par le fait de ne pas avoir à conduire en se déplaçant. Les automobilistes pourraient mener de nouvelles activités à bord (travail, loisirs, repos), ce qui aurait pour conséquence de provoquer une nouvelle organisation des activités du quotidien. Il est également possible que l'autonomie du véhicule libère son propriétaire d'activités requérant sa présence à bord (aller faire les courses, aller chercher les enfants à l'école, etc.).

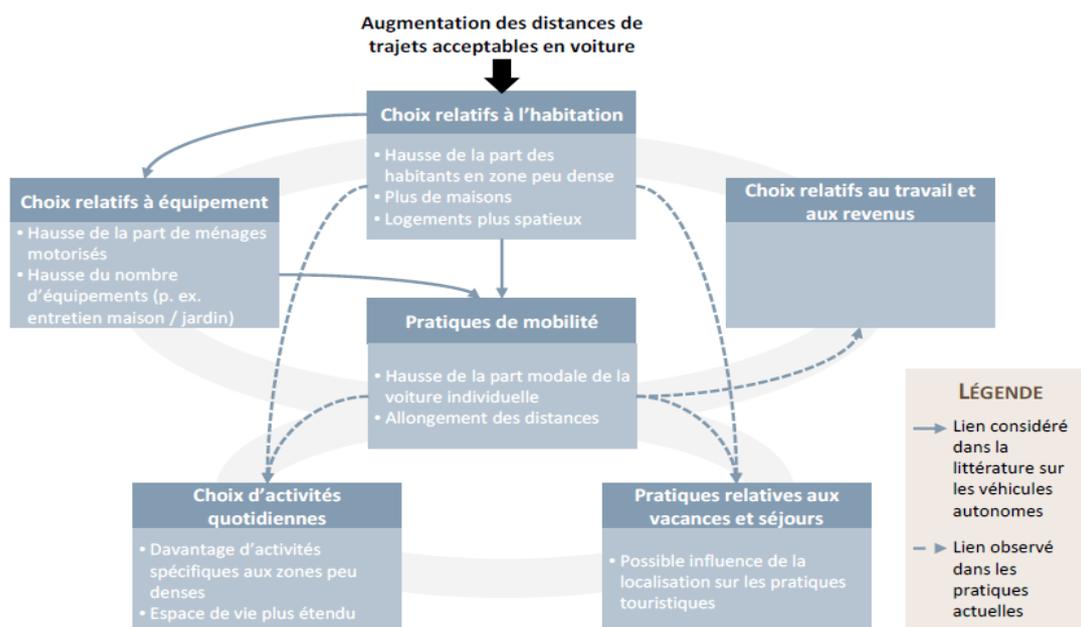


Figure 11: Synthèse des effets sur les modes de vie de l'automobilité autonome

Source :Le Gallic et Aguilera (2019)

Ces changements liés à la structure même des activités quotidiennes pourraient avoir de nombreux impacts sur d'autres dimensions du mode de vie. En effet, on peut imaginer que le fait de parcourir plus de kilomètres pour se déplacer devient moins contraignant lorsque l'on peut pratiquer une activité à bord, ou se reposer. De même, certains trajets peuvent se faire sans le conducteur à bord,

ce qui supprime une contrainte. Les auteurs anticipent ainsi un étalement urbain, une proportion plus grande de maisons individuelles, une taille moyenne des logements plus grande, un espace de vie plus étendu ou encore de nouvelles pratiques de loisirs. La figure 10 illustre l'ensemble des effets de l'augmentation des distances de trajets acceptables en voiture sur les différentes composantes des modes de vie.

Un certain nombre d'études s'accordent sur le caractère inutile voire néfaste de la voiture autonome individuelle (cf. 3.2). Les pouvoirs publics mettent rarement en avant les bénéfices induits par la voiture autonome, mais promeuvent au contraire le véhicule autonome au service des transports en commun. Or, les technologies nécessaires au fonctionnement de véhicules autonomes demandent de tels efforts d'investissements en R&D et mobilisent un nombre si élevé d'acteurs que l'on peut imaginer qu'une fois la technologie mature, elle s'appliquera également à la mobilité individuelle. Comme dans l'industrie automobile en général, il sera alors nécessaire de produire en masse pour faire baisser les coûts. C'est ce qu'anticipe le PDG de Transdev lorsque, à l'occasion de la présentation du Rouen Normandy Autonomous lab (l'expérimentation menée à Rouen) en novembre 2017, il déclare : « *notre vision, c'est que les véhicules autonomes vont plutôt démarrer dans le domaine du transport public avant d'envahir le domaine du véhicule à usage privé* »⁹⁰.

Ainsi, il paraît difficilement concevable qu'un développement de la mobilité autonome au service des transports en commun n'entraîne pas mécaniquement, sauf régulation très forte, un développement de la voiture autonome individuelle.

Un service de robots taxis en zone urbaine

Ce scénario envisagé par Saujot, Brimont, et Sartor (2018) ressemble d'ores et déjà à ce qui se développe aux Etats-Unis. Les auteurs décrivent que « *de nombreuses expérimentations sont menées avec des robot-taxis (d'abord avec des conducteurs puis sous une simple supervision à distance) dans les métropoles et dans différents cas d'usage (aéroports, sites fermés, zones piétonnes, sites propres existants, etc.). La technologie autonome parvenant à maturité, ces offres de service se développent plus ou moins rapidement selon les contextes et les conditions d'opération et ces acteurs expriment des demandes aux pouvoirs publics et commencent à négocier (ex. accès aux voies réservées aux bus et navette autonome)* ».

Dans ce scénario, l'utilisateur serait le client d'une entreprise privée. En plus de payer pour le service, il fournirait également une partie de ses données à l'entreprise.

Ce scénario soulève plusieurs questions. D'une part, le tarif du service serait choisi par l'entreprise. Il est possible que le prix d'un robot-taxi ne soit pas abordable pour une partie de la population, plus ou moins large en fonction de la tarification pratiquée. Ce scénario pose également la question de la

⁹⁰ <https://www.youtube.com/watch?v=5ybsrv8duZQ>

gouvernance et de la gestion des données personnelles, qui risquent d’être exploitées par les acteurs du numérique proposant l’offre de mobilité autonome.

Pour l’économiste Florent Laroche, ce scénario est celui qui est le plus probable. Les acteurs impliqués dans les offres de robots-taxis seront les géants du numériques. Dans ce scénario, il n’y aura plus de chauffeur à bord de ces véhicules. En revanche, il y aura certainement encore besoin d’opérateurs derrière des écrans pour coordonner la flotte de véhicules et intervenir en cas de dysfonctionnement. Selon lui, un tel scénario nécessite indéniablement le déploiement de la 5G. Or, dans une telle configuration, le très haut niveau de connectivité pourrait permettre de délocaliser les opérateurs dans un pays où la main d’œuvre, relativement qualifiée pour pouvoir gérer une flotte de véhicules à distance, est moins chère. On peut dès lors imaginer, comme nous le suggère Florent Laroche, « une flotte de robots-taxis destinée aux cadres des grandes métropoles occidentales pilotée à distance par des travailleurs en Inde ».

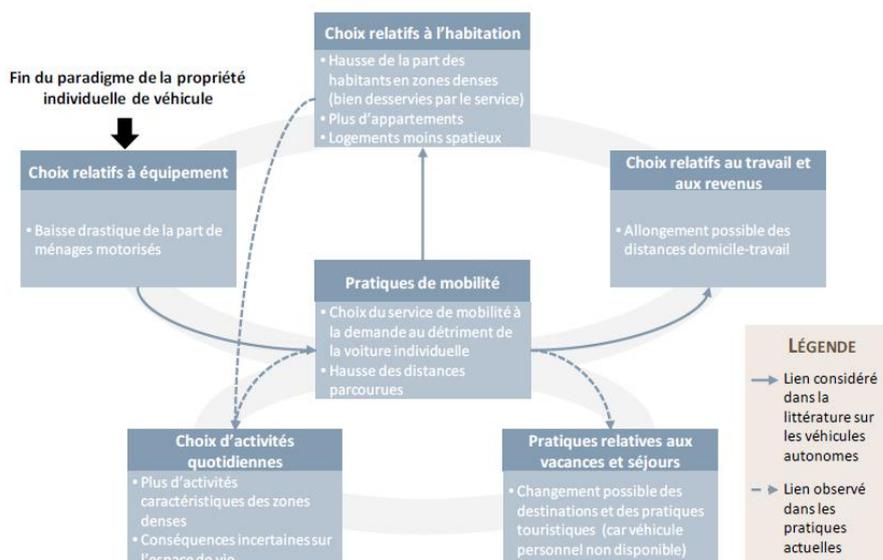


Figure 12: Synthèse des effets de la fin du paradigme de la propriété individuelle sur les modes de vie

Source :Le Gallic et Aguilera (2019)

Le Gallic et Aguilera (2019) ont appliqué leur analyse selon le cadre conceptuel des modes de vie à ce scénario de développement de la mobilité autonome. Tout comme pour l’automobilité autonome, l’utilisation d’un service de robots-taxis augmente les distances jugées acceptables pour les trajets du quotidien, pour les mêmes raisons, à savoir la possibilité d’utiliser son temps de conduite pour d’autres activités. En revanche, le fait de partager son taxi avec d’autres usagers rend moins désirable sur ce point précis l’utilisation d’un robot-taxi relativement à une voiture individuelle. Les effets seraient donc moins forts que dans le cas d’une automobilité individuelle. La figure 10 s’applique

donc, dans une moindre mesure, au scénario de la mobilité autonome à la demande. La deuxième conséquence de l'utilisation d'un service de mobilité autonome à la demande est la fin de la propriété individuelle du véhicule. Les effets sont presque contraires à ceux engendrés par l'augmentation des distances acceptables. En effet, le fait de ne plus disposer d'un véhicule personnel implique de devoir vivre à proximité du service de robot-taxis, et donc très probablement en zone dense. Cela aurait pour conséquences une augmentation de la part des ménages vivant en appartement et des logements moins spacieux. La figure 11 illustre l'effet de la fin du paradigme de la propriété individuelle du véhicule.

En outre, les services de robots-taxis, de même d'ailleurs que les véhicules autonomes individuels, pourraient, selon le coût d'usage, venir concurrencer les transports en commun existants. L'ampleur de cet effet n'est pas documentée par les auteurs.

Des navettes autonomes pour le transport collectif

Il s'agit du modèle qui est le plus souvent mis en avant dans la communication des pouvoirs publics.

Pour Saujot, Brimont, et Sartor (2018), ce scénario suppose une régulation de type « économie administrée » : l'investissement est public, l'offre est planifiée, des infrastructures dédiées sont développées, le marketing est centré autour des valeurs des services publics. L'argumentaire mobilisé repose sur une amélioration de l'attractivité des transports en commun et sur l'extension des services de transports à des zones où il y en a peu. Les enjeux de réduction de la place de la voiture individuelle sont mis en avant. Les compétences des collectivités leur permettent de mettre en place des expérimentations, notamment en site propre ou sur des voiries réservées. Dans ce scénario, l'utilisateur serait un usager d'un service public local.

L'Académie suisse des sciences, qui a également étudié le scénario d'un transport public autonome, met en avant le besoin d'une intervention forte de l'État pour faire émerger ce modèle. Elle distingue deux situations différentes. Dans le premier cas, il y aurait des services de transports collectifs aussi bien en zone urbaine que rurale. L'infrastructure nécessaire serait coûteuse et complexe. Afin de garantir la fluidité du trafic, la conduite automatique deviendrait obligatoire. Les véhicules individuels n'auraient le droit que circuler que lorsque le trafic est faible, ce qui découragerait leur utilisation. Dans le deuxième cas, l'usage du véhicule autonome serait individuel en périphérie, et collectif au centre. Les pouvoirs publics incitent par des avantages commerciaux à la mise en circulation de transports collectifs autonomes. Les véhicules en question pourraient également être utilisés pour le transport de marchandises afin d'optimiser le nombre de trajets à vide. En dehors des centres-villes, les pouvoirs publics réglementent moins et c'est donc le transport individuel qui se développe.

D'après Saujot, Brimont, et Sartor (2018), « *au fur et à mesure que l'acteur public développe ces offres de mobilité autonome, une pluralité d'acteurs privés proposent des offres innovantes de mobilité autonome ou demandent l'ouverture des marchés publics afin de pouvoir les mettre en oeuvre* ». Dans ce cas, les investissements initiaux sont supportés par le secteur public au bénéfice des acteurs privés.

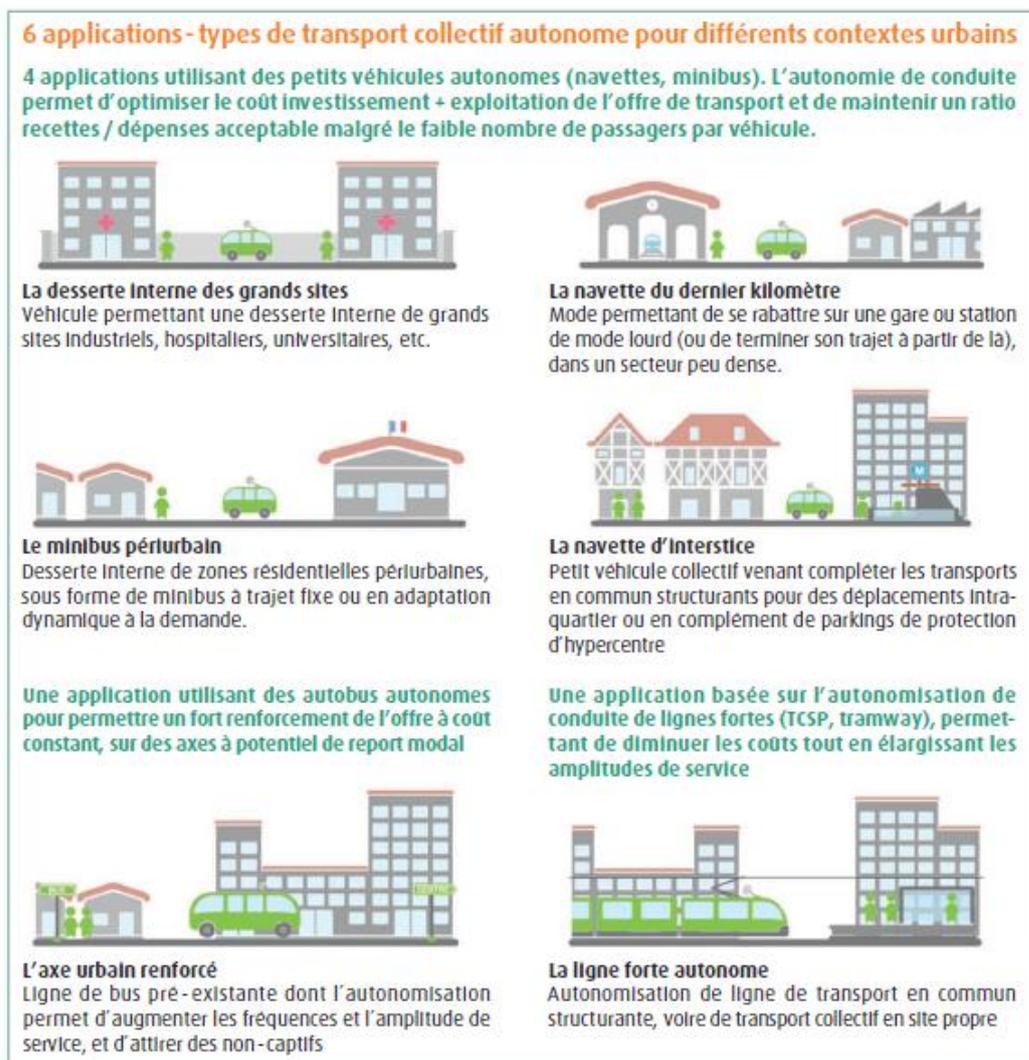


Figure 13: Cas d'usage de la navette autonome

Source : atelier robomobile

L'atelier « Vie robomobile » s'est également penché sur les usages possibles du véhicule autonome pour le transport collectif. La figure 12 illustre les différents cas identifiés. Les deux premiers cas sont particulièrement représentés au sein des expérimentations du programme EVRA.

Le Gallic et Aguilera (2019) ont appliqué leur grille d'analyse des modes de vie à ce type de scénario. Plus précisément, ils ont étudié la « mobilité autonome à la demande au service des modes alternatifs à la voiture ». Il s'agit de services à la demande visant à favoriser l'intermodalité avec des offres de transports en commun et les modes actifs. C'est le cas de nombreuses expérimentations du programme EVRA, qui mettent à disposition des navettes autonomes ou une flotte de véhicules à la

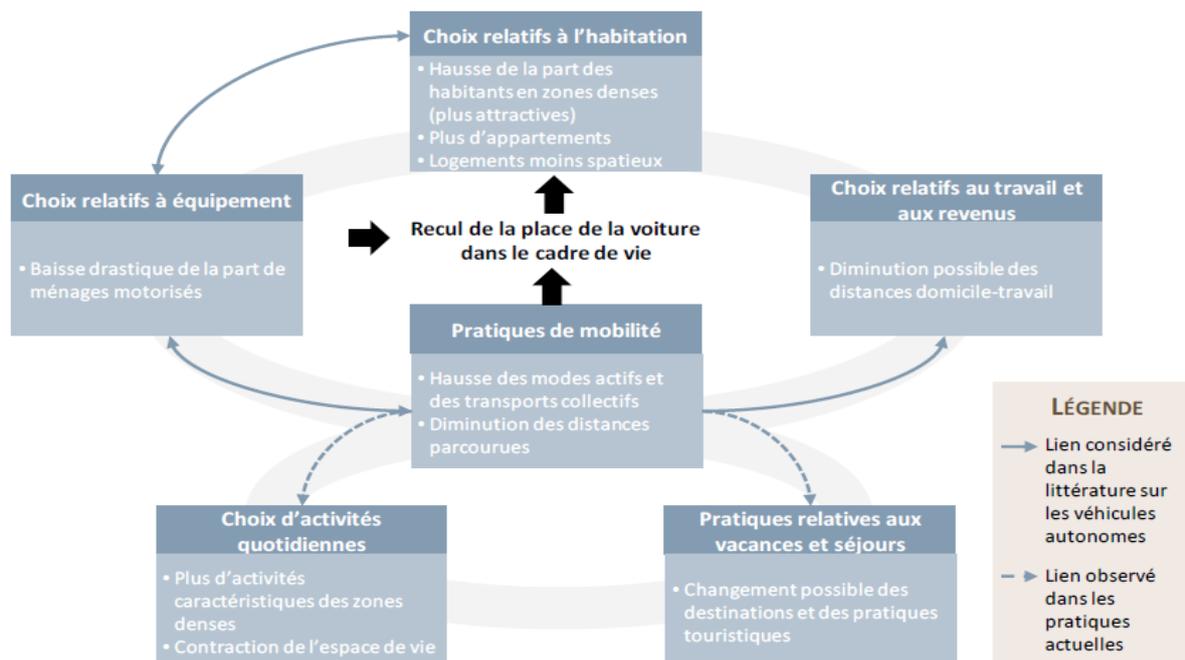


Figure 14: Synthèse des effets du recul de la place de la voiture dans le cadre de vie

Source : (Le Gallic et Aguilera 2019)

demande pour relier un lieu (résidence, campus, technopôle, etc.) au terminus d'une ligne de transport en commun existante.

Si ces solutions de mobilité permettent de faciliter l'utilisation des transports en commun, cela peut conduire à un recul de la place de la voiture individuelle, entraînant à son tour de nombreux changements. La part des habitations en zone dense ou desservie par les transports en commun augmenterait, afin de pouvoir bénéficier du réseau de transports mais également parce que de nombreuses nuisances liées à l'utilisation des voitures individuelles auraient disparu (pollutions, bruits, occupation de l'espace, etc.). Les modes actifs (vélo, marche) seraient également favorisés par une réduction du nombre de voitures individuelles. A Paris par exemple, les voitures individuelles représentent aujourd'hui 10 % des déplacements, mais occupent 50 % de l'espace. Les effets de ce mode de vie sur les modes de vie sont représentés par la figure 13.

Une grande partie des expérimentations du programme EVRA repose sur la vision de Saujot, Brimont, et Sartor (2018) et de Le Gallic et Aguilera (2019). Les pilotes de ces expérimentations sont souvent les collectivités (Rouen, Nantes, Sophia-Antipolis). Les expérimentations ont souvent lieu sur des sites privés ou sur une voie dédiée. Les parcours empruntés par les véhicules autonomes s'intègrent en général à l'offre de service de transports publics de la collectivité. Le plus souvent, il s'agit d'allonger les tronçons, d'augmenter les fréquences ou parfois de remplacer une ligne de bus existante. En revanche, ce ne sont pas systématiquement des navettes autonomes qui sont utilisées ; certaines expérimentations les remplacent ou les complètent par quelques voitures autonomes à la demande.

Les experts interrogés ont des avis variés sur ce scénario du développement de transport en commun autonomes. Pour Christian Long, la navette autonome est un bon concept, mais le problème réside dans la limitation de la vitesse. En effet, comme le montrent les expérimentations en cours, la vitesse des navettes autonomes est très limitée (inférieure à 20km/h). Cela peut ne pas être assez rapide pour des personnes ayant de longues distances à parcourir pour des trajets contraints (domicile-travail). De plus, la réglementation de l'ONU impose une vitesse maximale limitée à 60km/h. Une solution serait de leur réserver une voie dédiée, comme c'est déjà le cas pour certaines expérimentations. Dans ce cas, le problème devient politique avec des enjeux de partage de l'espace sur la route, qui sont des enjeux complexes comme l'illustrent régulièrement les possibilités de création de pistes cyclables ou l'arrivée des trottinettes électriques dans les grandes villes. Là aussi, la réglementation de l'ONU impose que les routes doivent être séparées par une barrière physique entre les deux sens de circulation, et que le système de conduite autonome ne s'applique que sur les routes où les cyclistes et les piétons ne cohabitent pas avec les voitures. Pour l'un des experts interrogés, « *ce qui a réellement du sens en termes de développement durable, c'est le transport partagé, à minima en commun, à vocation publique et c'est ce qui peut intéresser les territoires. [...] On converge vers le transport de personnes sur voie dédiée* ». En revanche, selon lui, il peut être utile de compléter les navettes par des voitures autonomes partagées et à la demande.

Le tableau ci-dessous résume les caractéristiques principales des trois scénarios de développement du véhicule autonome. La partie 3.2 complète ce tableau par des estimations quantitatives issues d'une revue de littérature.

	Automobilité individuelle	Robot-taxis en zone urbaine	Navette autonome
Territoire concerné	Urbain, rural et péri-urbain	Zone dense	Zone dense mais également zone rurale si volonté politique
Mode de régulation	Économie de marché	Économie de marché	Économie administrée
Acteurs impliqués	Constructeurs traditionnels et acteurs du numérique	Acteurs du numérique	Collectivités, opérateurs de transports publics, constructeurs de navettes autonomes
Statut de l'utilisateur	Propriétaire du véhicule	Client d'une entreprise privée	Usager d'un service public

Profil de l'utilisateur	Revenu très élevé Probabilité plus élevée d'être un homme, diplômé, riche, francilien ⁹¹	Urbain, revenu élevé, actif, sachant utiliser des applications de mobilité à la demande	Varié
Conséquences sur les modes de vie	<ul style="list-style-type: none"> - Étalement urbain -Augmentation de l'espace de vie -Augmentation de la part des ménages habitant en maison individuelle -Augmentation de la surface des logements -Augmentation des distances parcourues -Augmentation des distances domicile-travail -Augmentation de la part des ménages motorisés 	<ul style="list-style-type: none"> -Augmentation de la part des habitants en zone dense -Augmentation de la part des ménages habitant en appartement -Diminution de la taille des logements -Augmentation des distances parcourues - Diminution de la part des ménages motorisés 	<ul style="list-style-type: none"> -Augmentation de la part d'habitants en zone dense -Augmentation de la part des ménages habitant en appartement -Diminution de la taille des logements -Diminution des distances parcourues - Diminution des distances domicile-travail -Diminution de la part des ménages motorisés -Hausse des modes actifs et des transports en commun -Contraction de l'espace de vie

⁹¹ [L'enquête nationale mobilité et modes de vie montre qu'on passe d'autant plus de temps à se déplacer et au va d'autant plus loin que l'on est un homme, diplômé, à revenus élevés, habitant en Ile-de-France, sans enfant ou avec un conjoint pour s'en occuper :https://fr.forumviesmobiles.org/sites/default/files/editor/rapport_enquete_nationale_mobilite_modes_de_vie_2020_fm_1.pdf](https://fr.forumviesmobiles.org/sites/default/files/editor/rapport_enquete_nationale_mobilite_modes_de_vie_2020_fm_1.pdf)

3.1.2 Horizon de développement et compatibilité avec les enjeux climatiques

A l'heure actuelle, il est difficile de déterminer la date à laquelle la mobilité autonome fera partie des options de transports. En effet, le rythme de déploiement de la mobilité autonome dépend de l'évolution du cadre juridique, des avancées technologiques, des investissements réalisés par les acteurs publics et privés, des mesures politiques favorisant son développement, de l'adoption par les usagers, etc. Sans visée l'exhaustivité, cette partie recense un certain nombre d'évaluations, souvent à dire d'experts, mais également fournies par les constructeurs eux-mêmes. Saujot, Brimont, et Sartor (2018) considèrent qu'il « est d'autant plus difficile d'avoir une idée de l'avancement de cette technologie que le véhicule autonome fait aujourd'hui l'objet d'un buzz médiatique entretenu par les effets d'annonce des acteurs industriels ». En effet, selon l'historien Jean-Baptiste Fresso, « les industriels annoncent son arrivée à l'horizon d'une ou deux décennies depuis bientôt cent ans »⁹².

On constate un certain engouement médiatique pour le véhicule autonome depuis quelques années. Cet engouement est en partie fondé sur les avancées technologiques. En effet, le nombre de brevets concernant les véhicules autonomes a quadruplé entre 2011 et 2017⁹³.

En avril 2020, Elon Musk, le PDG de Tesla, affirmait que son véhicule de niveau 5 serait prêt avant la fin de l'année. Il a également précisé le modèle de mobilité autonome qui émergerait prochainement. Selon lui, il s'agirait de faire circuler un million de robots-taxis. Les propriétaires de Tesla auraient la possibilité de mettre leur véhicule en location quand ils ne l'utilisent pas, afin de gagner de l'argent, sur le modèle d'Airbnb avec les logements. Les derniers modèles de Tesla sont d'ores et déjà équipés de caméras qui permettent de filmer ce qui se passe à l'intérieur de l'habitacle. Elles sont pour le moment désactivées, mais une mise à jour du logiciel suffirait à les remettre en marche⁹⁴.

Wadud, MacKenzie, et Leiby (2016) qui ont interrogé un panel d'experts, estiment que c'est seulement en 2030 que la technologie autonome sera capable d'évoluer dans tous les types d'environnement. Par la suite, 75 % des véhicules pourraient être autonomes en 2040. Le livre blanc sur le véhicule connecté et autonome publié par l'Institut national de la recherche en informatique et en automatique (INRIA) sur le véhicule autonome estime que ce n'est qu'en 2040 que les véhicules de niveau 5 seront disponibles.

D'après une étude du cabinet de conseil international Boston Consulting Group, 4 % des véhicules vendus aux USA en 2025 seront des véhicules autonomes de niveau 4 ou 5, et 8 % des ventes mondiales en 2030, dont 7 à 14 % en Europe⁹⁵. Une étude d'un autre cabinet de conseil, KPMG,

⁹² https://www.lemonde.fr/idees/article/2020/06/04/la-voiture-autonome-est-d-alibi-pour-renforcer-la-presence-de-la-voiture-tout-court_6041768_3232.html

⁹³ <https://www.servicesmobiles.fr/5g-et-vehicules-autonomes-acceleration-de-la-vitesse-59349>

⁹⁴ <https://www.numerama.com/vroom/617572-elon-musk-estime-que-les-tesla-pourront-etre-des-taxis-autonomes-fin-2020.html>

⁹⁵ <https://www.lanouvellerepublique.fr/economie/demain-les-vehicules-autonomes-quels-enjeux-reglementaires>

concluait en 2015 que le niveau 5 serait massivement commercialisé après 2030, sans plus de précision.

En 2019, dans un reportage pédagogique, le CNRS déclarait que le véhicule autonome n'atteindrait pas le niveau de développement nécessaire à la conduite dans tous types de situation avant 2050. En 2020, la Fédération nationale des transports routiers (FNRT), qui était en charge de la rédaction d'un rapport sur l'impact du véhicule autonome sur l'emploi, les compétences et la formation dans le secteur du transport routier de marchandises, affirme qu'il ressort de leur réflexion que *« l'automatisation totale (de niveau 5) n'est pas vraiment pas pour demain. Et pas seulement à cause de limites technologiques. L'absence d'intervention humaine pose des problèmes très concrets en termes juridiques, assurantiels et tout simplement sur le modèle de partage de la route »*. Et de conclure : *« Les conducteurs routiers ont encore de beaux jours devant eux »*.

Les pouvoirs publics français considèrent eux-mêmes que le développement massif du véhicule autonome ne se fera que dans la seconde moitié du XXI^e siècle. Dans le rapport sur le véhicule autonome élaboré par Idrac (2018), les auteurs considèrent la temporalité suivante :

« - D'ici 2020-2025, poursuite d'innovations incrémentales avec augmentation du nombre de fonctions de conduite pouvant être déléguées au conducteur et élargissement progressif des environnements d'usage ;

- autour de 2030-2050 : atteinte du degré d'autonomie quasi-totale en tout environnement d'usage ;

- au-delà de 2050 : baisses de prix et incorporation progressive dans les flottes de véhicules en circulation ».

Entre les déclarations d'Elon Musk, les véhicules de Waymo qui ont déjà parcouru seuls des milliers de km, et les estimations plus modérées de différents organismes, il est difficile de déterminer ce qui semble le plus probable. La crise économique consécutive à la pandémie de covid-19 affecte le développement de nombreux projets industriels, y compris le véhicule autonome. Pour ce dernier, l'effet de la crise est ambivalent. L'encadré 4 analyse les impacts à court terme de la crise sur les projets.

Encadré 4 – L'impact du covid-19 sur le développement du véhicule autonome

La pandémie du covid-19 et le confinement qui en a découlé ont bouleversé les activités de nombreux secteurs industriels. En ce qui concerne le véhicule autonome, les effets de la pandémie sont ambivalents.

Les enjeux sanitaires ont permis de renforcer le rôle du véhicule autonome dans les transports de marchandises de différentes façons : en utilisant concrètement des véhicules pour des livraisons de produits afin de respecter le confinement et les mesures sanitaires, cela a permis de faire la démonstration des performances du véhicule autonome et permis d'imaginer le rôle que pourrait

jouer ce type de véhicule dans les années à venir. Cela peut avoir un impact fort sur les imaginaires et sur l'acceptabilité de la technologie, en augmentant la visibilité de la technologie et les exemples de services qu'elle pourrait rendre. En outre, les villes complètement confinées ont été un terrain d'entraînement idéal pour les constructeurs de véhicules qui ont pu, dans certains cas, faire rouler leurs voitures dans des conditions facilitées mais néanmoins réelles. La Chine et les Etats-Unis, pionniers dans le développement des véhicules autonomes, ont soutenu plusieurs expérimentations du véhicule autonome pendant la crise sanitaire et le confinement.

L'Institut de technologie de Pékin a déployé un véhicule autonome, fonctionnant à la 5G, afin de prendre la température des passants à distance, et de livrer des colis⁹⁶. La taille du véhicule ne permet pas de transporter des passagers mais uniquement des colis. Elle a été utilisée pour permettre de livrer des marchandises sans contact humain, ce qui a été mis en avant durant la période de confinement et de distanciation sociale.

A Wuhan, des petits véhicules de la société Noelix (2,4 mètres de long pour une vitesse moyenne de 20 km/h) ont été utilisées par les autorités locales pour nettoyer les rues et pour transporter des biens de premières nécessités aux patients et aux habitants confinés (masques, nourritures) et aux hôpitaux⁹⁷.

JD.com, le principal concurrent d'Alibaba en Chine, l'équivalent chinois d'Amazon, a présenté son robot de livraison autonome. D'après un reportage, cette technologie était prête depuis plusieurs mois mais l'entreprise faisait face à différentes contraintes dans la réglementation et à des difficultés quant à l'obtention d'autorisations gouvernementales. Le 28 janvier, en plein pic de l'épidémie à Wuhan, c'est le gouvernement lui-même qui a demandé à l'entreprise de lancer son produit. Le véhicule dispose d'une vingtaine de casiers de livraison. Les clients ayant commandé les produits disposent d'un code leur permettant de récupérer leur colis. La toute première livraison a eu lieu le 6 février, et le premier lieu de livraison a été l'hôpital de Wuhan, puis les services de livraison se sont étendus aux consommateurs confinés chez eux. L'entreprise explique entre autres que la situation de confinement leur a permis de finaliser la technologie. En effet, les conditions de circulation étaient idéales puisqu'il y avait beaucoup moins de véhicules ou de piétons, ce qui leur a permis d'effectuer les derniers réglages. Au total, et durant le confinement, 70 % des commandes ont été livrées par l'intermédiaire de ces véhicules⁹⁸. Aux Etats-Unis, des petites navettes autonomes conçues par la société française Navya ont été utilisées en Floride pour transporter des tests de dépistage de la covid-19⁹⁹. Les quatre bus avaient été achetés par le service des transports de la ville de Jacksonville pour proposer des visites touristiques du centre-ville. Ils ont été mobilisés lors de l'épidémie pour transporter des échantillons de la clinique vers différents laboratoires. Les

⁹⁶ <https://siecledigital.fr/2020/04/08/une-voiture-autonome-specialement-concue-pour-lutter-contre-le-covid-19/>

⁹⁷ <https://www.caradisiac.com/navettes-et-autres-engins-roulants-autonomes-collectivites-et-entreprises-pretes-a-saisir-les-opportunités-182686.htm>

⁹⁸ <https://bfmbusiness.bfmtv.com/mediaplayer/video/innover-pour-le-commerce-qu-est-ce-qui-va-changer-dans-le-retail-apres-cette-crise-0905-1246078.html>

⁹⁹ <https://www.usinenouvelle.com/article/covid-19-des-bus-presque-autonomes-du-francais-navya-transportent-des-tests-aux-etats-unis.N951121>

promoteurs ont également mis en avant les bénéfices sanitaires en vantant l'absence de contact humain et en soulignant que les navettes autonomes permettraient de libérer le personnel hospitalier afin qu'il se concentre sur les missions de soin.

Dans le domaine de la livraison des biens, le coronavirus a également accéléré le déploiement de la start-up de livraison Nuro. En effet, la start-up a obtenu une dérogation car son activité a été perçue lors du confinement comme un service essentiel de livraison. Elle a pu faire circuler jusqu'à 5000 véhicules autonomes sur les routes texanes¹⁰⁰. Les produits livrés par ce véhicule sont des produits alimentaires et l'entreprise déclare assurer la logistique du dernier kilomètre en livrant les produits de commerces locaux (grandes distributions, commerces, restaurants, etc.). Comme pour les véhicules de Noelix, le véhicule Nuro est particulièrement petit et ne permet pas d'accueillir à bord un être humain. La vitesse est limitée à 40 km/h.

Le PDG de Waymo a quant à lui déclaré que « *la crise du COVID-19 a souligné à quel point la technologie entièrement autonome peut fournir des services de mobilité et de livraison personnels sûrs et hygiéniques* ». ¹⁰¹ Il a également ajouté que « *la réalité actuelle est que la livraison de marchandises est un marché plus grand que le déplacement de personnes* ».

Certains acteurs ont à l'inverse connu des difficultés à cause de la crise du coronavirus. Ford a annoncé en avril dernier repousser d'un an les deux services de véhicules autonomes qu'elle comptait lancer, à savoir une flotte de robots taxis et des véhicules de livraison. L'entreprise a fait savoir à travers un communiqué que ces services ne verront le jour qu'en 2022¹⁰². Cruise, la cellule dédiée au véhicule autonome de General Motors, a annoncé devoir licencier 8 % de ses effectifs¹⁰³. Uber a également annoncé licencier le quart de ses effectifs (6 700 personnes licenciées en quelques jours) et fermer 45 bureaux à cause de la pandémie de coronavirus et réévaluer certaines de ses activités non prioritaires, telles que le développement de véhicule autonome¹⁰⁴.

Pour faire face à la crise économique consécutive à la crise sanitaire, le gouvernement français a annoncé un plan de relance économique. En ce qui concerne la filière automobile, le plan prévoit un soutien de 8 milliards d'euros à l'industrie automobile. L'activité et les ventes automobiles ont connu une chute de près de 80 %. Le gouvernement précise que les soutiens devront accompagner deux transitions majeures de l'industrie automobile : le véhicule électrique et le véhicule autonome. Un fonds d'avenir pour l'automobile a été doté d'1 milliard d'euros (*cf. infra*).

Plus concrètement, en France, les niveaux 3 et 4 d'autonomie pourront légalement circuler sur les routes à partir de 2022, mais les conditions de leur circulation resteront soumises au cadre juridique international qui à l'heure actuelle impose plusieurs restrictions pour les véhicules de niveau 3

¹⁰⁰ <https://start.lesechos.fr/innovations-startups/tech-futur/vu-aux-etats-unis-nuro-le-premier-vehicule-autonome-qui-livre-vos-pizzas-et-vos-courses-1200677>

¹⁰¹ <https://www.presse-citron.net/waymo-leve-750-millions-de-dollars-pour-continuer-a-developper-ses-vehicules-autonomes/>

¹⁰² <https://www.theverge.com/2020/4/28/21240354/ford-robotaxi-delay-commercial-delivery-service-self-driving-2022>

¹⁰³ <https://www.clubic.com/transport-electrique/actualite-1356-cruise-la-division-vehicule-autonome-de-gm-licencie-presque-10-de-ses-effectifs.html>

¹⁰⁴ <https://www.usine-digitale.fr/editorial/uber-licencie-le-quart-de-ses-effectifs-et-reevalue-certaines-de-ses-activites-experimentales.N966076>

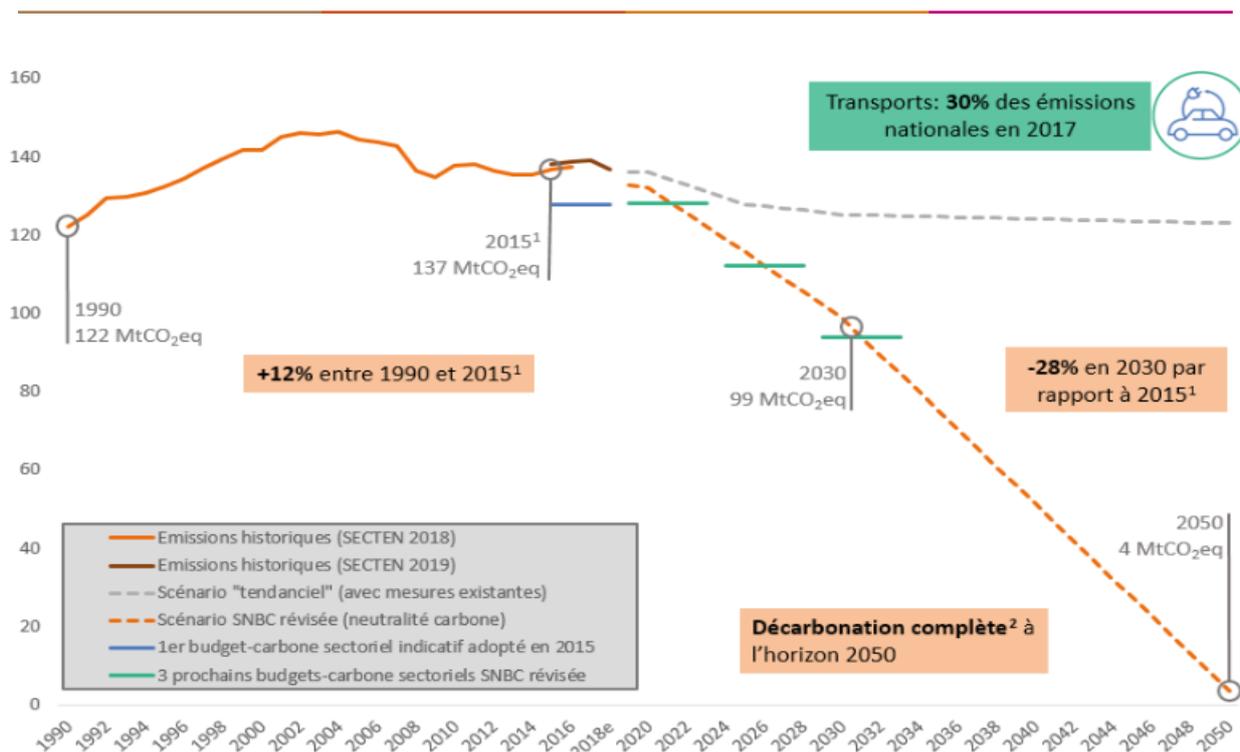


Figure 15 - Trajectoire de décarbonation du secteur des transports Source : SNBC

(présence d'un conducteur, circulation limitée à 60km/h et aux routes avec barrière physique entre les deux sens de circulation, etc.)

Ces incertitudes sur l'arrivée et la diffusion des véhicules réellement autonomes sont à mettre en parallèle avec le calendrier de décarbonation du secteur des transports, tel qu'il est imposé par l'urgence climatique et par le respect de l'Accord de Paris. En France, le document dictant le rythme de décarbonation des différentes activités économiques est la Stratégie Nationale Bas Carbone (SNBC).

La SNBC est issue de la Loi de transition énergétique pour la croissance verte (LTECV), votée en 2015. Il s'agit d'une feuille de route pour la France, dont l'objectif est d'atteindre la neutralité carbone en 2050. Pour cela, elle fournit une trajectoire globale de réduction des émissions de gaz à effet de serre, ainsi que des budgets carbone sur des périodes de 4 à 5 ans. Elle fournit également des trajectoires et des budgets carbone (objectifs de moyen-terme) par secteur : transport, logement, industrie, agriculture, énergie et déchets.

La SNBC a été adoptée en 2015, puis révisée en 2018-2019. L'ambition a été revue à la hausse car la précédente stratégie visait une division par quatre les émissions de gaz à effet de serre, tandis que la neutralité carbone implique une division par six.

Pour le secteur des transports, qui est le premier secteur émetteur avec 30 % des émissions de GES, les objectifs sont très ambitieux. En 2050, la SNBC vise la décarbonation complète pour le secteur des transports (sauf transport aérien). L'objectif intermédiaire implique une réduction de 28 % des

émissions de GES en 2030 par rapport à 2015. Cela signifie que le rythme de décarbonation doit s'intensifier entre 2030 et 2050.

Le dernier rapport du Haut Commissariat pour le Climat (HCC, 2020) rappelle qu'entre 1990 et 2018, les émissions de GES des transports ont augmenté de 10 %. La cause principale de cette augmentation est l'accroissement de la demande de mobilité. « *Les gains d'efficacité des véhicules ou de contenu carbone de l'énergie finale n'ont pas compensé la croissance de la demande et la baisse du taux d'occupation des véhicules* ».

La figure 15 illustre le rythme de décarbonation des transports imposé par la SNBC. On constate que les émissions doivent drastiquement baisser, dès 2020. Or, étant donné les prévisions à dire d'experts sur l'arrivée des véhicules autonomes, ces derniers ne peuvent participer structurellement à la décarbonation des transports.

La partie suivante, qui s'appuie sur une revue de littérature approfondie, montre que les impacts du véhicule autonome sur les émissions de GES des transports sont à minima ambigus, mais le plus souvent évalués comme très négatifs. De plus, quand bien même il existerait une configuration dans laquelle les véhicules autonomes pourraient avoir à termes un effet bénéfique sur les émissions de GES, ces effets interviendraient beaucoup trop tard en regard des exigences nationales (SNBC) et internationales (Accord de Paris) sur la décarbonation des économies.

Saujot, Brimont, et Sartor (2018) admettent eux aussi que le fait que les véhicules autonomes ne deviennent pas rapidement un produit grand public « *crée une contraction de la temporalité, ce qui suggère que les véhicules autonomes, bien qu'ils puissent être électriques, ne peuvent pas être utilisés pour conduire les objectifs de décarbonation* ».

3.2 Les impacts écologiques directs et indirects du développement de la mobilité autonome

De plus en plus d'études portent sur l'évaluation des conséquences écologiques du véhicule autonome. Une grande partie de celles-ci s'appuient sur le cadre conceptuel suivant : les émissions de gaz à effet de serre du secteur des transports - qui sont dans la grande majorité des études la seule conséquence écologique analysée – résultent de plusieurs facteurs : la demande de mobilité, le mode de transport utilisé, le taux d'occupation des véhicules, l'efficacité énergétique des modes de transports, et le type de motorisation. Quelques études analysent également les impacts sociaux du véhicule autonome : impacts sur l'emploi, sur le temps disponible, sur la place de la voiture en ville, etc.

La figure 16 recense les potentiels risques et les opportunités liés au développement de la mobilité autonome qui sont identifiés par Saujot, Brimont, et Sartor (2018).

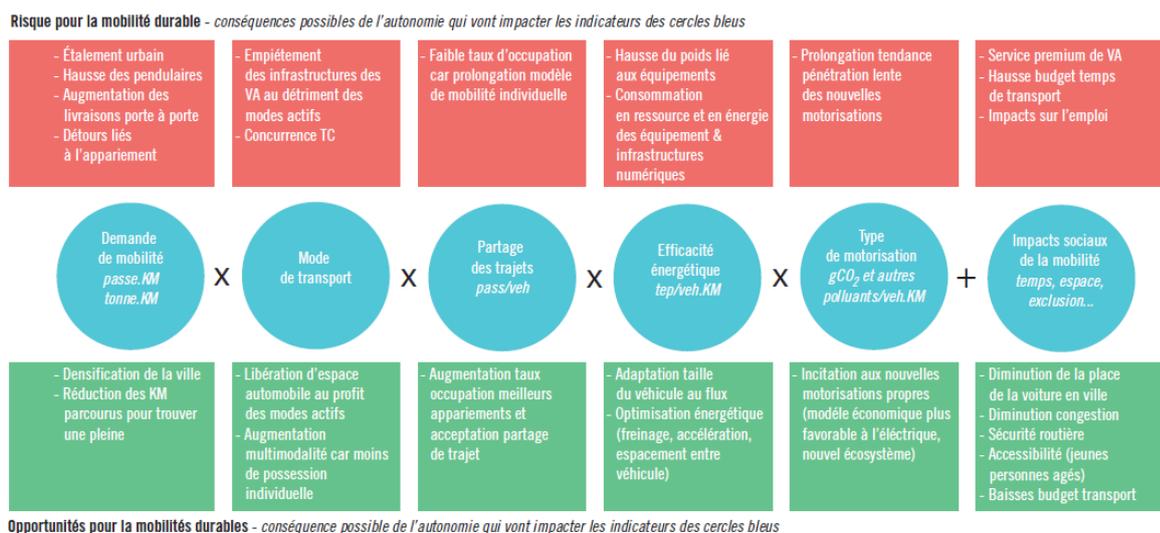


Figure 16: Risques et opportunités liés au développement de la mobilité autonome

Source :Saujot, Brimont, et Sartor (2017)

Les bénéfices supposés du développement du véhicule autonome sont souvent liés à l'amélioration potentielle des performances énergétiques des véhicules. La conduite autonome serait plus économe que la conduite humaine, car plus fluide (Taiebat et al., 2018), mais également parce que le véhicule pourrait être plus léger car les équipements nécessaires à la sécurité pourraient être allégés (Taiebat et al., 2018).

Or, plusieurs décennies de recherche sur l'efficacité énergétique ont montré que la seule analyse des performances énergétiques à l'échelle de l'objet ou du procédé masque un ou plusieurs potentiels effets rebond (Berkhout, Muskens, et Velthuisen, 2000 ; Greening, Greene, et Difiglio, 2000 ; Small et Van Dender, 2007 ; Sorrell, Dimitropoulos, et Sommerville, 2009).

L'effet rebond, ou paradoxe de l'efficacité énergétique, apparaît lorsque l'amélioration de l'efficacité énergétique d'un procédé entraîne une augmentation de la consommation d'énergie plutôt que sa réduction. Les transports sont régulièrement cités comme un cas d'école de l'effet rebond : alors que depuis plusieurs décennies, les progrès technologiques ont permis d'améliorer les performances énergétiques des moteurs en réduisant leur consommation de carburant par kilomètre, la consommation totale des véhicules a augmenté car le poids des véhicules et les distances parcourues ont été croissants, cette dernière augmentation étant permise par la réduction du coût unitaire de l'utilisation de carburant.

Saujot, Brimont, et Sartor (2017) identifient au moins 6 potentiels effets rebonds différents liés au développement du véhicule autonome :

- le premier effet rebond est lié à l'étalement urbain, car un transport plus agréable, reposant ou productif pourrait inciter les ménages à s'installer plus loin de leur lieu de travail ;
- le deuxième effet rebond est lié au fait que le véhicule autonome pourrait devenir un véritable lieu de vie, si les équipements qui y sont installés permettent de travailler, d'échanger entre amis ou de

se reposer, et donc engendrer une augmentation des distances parcourues. Renault présente déjà son prototype de véhicule autonome comme un « salon roulant » ;

- le troisième effet rebond est lié au fait qu'en fonction de la politique de stationnement menée par les collectivités locales, les propriétaires de véhicules pourraient être incités à laisser leur véhicule rouler à vide le temps qu'ils effectuent leur activité ou à les envoyer se garer plus loin, sur des parkings gratuits ou au domicile du « conducteur ». Millard-Ball (2019) estime que cela pourrait inciter les villes à réduire le coût de stationnement en ville pour favoriser le stationnement des véhicules autonomes à proximité de leur destination. Or, l'auteur estime qu'une réduction du coût de stationnement entraînerait une hausse importante des déplacements automobiles en ville, de l'ordre de 98 %, ce qui constitue en soi un immense effet rebond ;

- le quatrième effet rebond concerne le transport de marchandises. Le véhicule autonome engendrerait une baisse du coût de livraison, et l'achat de produits en ligne pourrait augmenter considérablement ;

- le cinquième effet rebond est lié aux activités économiques. Le véhicule autonome pourrait provoquer l'apparition de commerces ambulants, circulant de manière autonome, si cela devient plus rentable que de payer un local commercial en ville ;

- enfin, le véhicule autonome individuel ou partagé (robot-taxi) pourrait concurrencer les transports en commun et fragiliser leur modèle économique, conduisant à un report modal en faveur du véhicule autonome.

En plus de ces effets rebond, les auteurs considèrent le risque de nouvelles inégalités dans l'accès à la mobilité en fonction des scénarios de développement (voiture individuelle plus onéreuse, offres de robots-taxis chères et limitées à certaines métropoles, voies réservées aux véhicules autonomes, ...) et le risque que le véhicule autonome pourrait complexifier le partage de la voirie entre différents usages (piétons, vélos, etc.) aux dépens des modes doux.

Saujot, Brimont, et Sartor (2017) ont analysé ces différents effets en fonction des scénarios de développement présentés précédemment. La figure 17 présente les résultats de leur analyse. C'est le scénario de mobilité individuelle qui présente le plus de risques, et le scénario où la mobilité autonome est assurée par et pour les transports publics qui présente le plus d'opportunités, avec des hypothèses plutôt optimistes sur les conséquences du développement du véhicule autonome sur les modes actifs ou sur la densification de l'espace à moyen terme.

R = le scénario présente plutôt des risques par rapport à une mobilité sans autonomie

O = le scénario présente plutôt des opportunités

M = le scénario présente à la fois des risques et des opportunités

6 GRANDS ENJEUX	S1 Mobilité individuelle	S2 Mobilité collective	S3 Mobilité à la demande
Maîtriser la forme urbaine et la demande	R Périurbanisation à long terme (confort, fluidité) et effet rebond pour les ménages aisés	O Densification à moyen terme (libération espace)	M Manque de coordination avec aménagement
Assurer l'accès à la mobilité	R Effet d'éviction O amélioration de l'accès pour certains segments de la population	O Accès amélioré si périmètre TC élargi	R Tarification privée et disponibilité selon rentabilité des zones
Améliorer le partage et l'efficacité énergétique de chaque km	R Prolongement des difficultés actuelles pour inciter au partage et à l'efficacité (voiture plaisir)	O Partage par construction et logique utilitaire du choix de véhicule	M Partage pas automatique et logique utilitaire, mais besoin d'attractivité client
Décarboner la source d'énergie	M Tendancier probable : image moderne des VE+VA, mais surcoûts et inertie	M Acteurs plus aptes au changement, mais déploiement lent	M Acteurs plus aptes au changement, mais déploiement lent
Allouer de l'espace urbain aux différents usages	R Demande de fluidité, d'espace et d'accès pour une voiture	O Plus grande attention aux modes actifs et amélioration de l'acceptabilité des sites propres	M O si réduction du nombre de véhicules, mais R si coexistence mal maîtrisée
Maîtriser la consommation de ressources	R Impact environnemental de la production en masse d'un véhicule high-tech O si favorise l'autopartage à long terme	O Réduire le nombre de véhicules à produire et augmenter leur durée de vie	O Réduire le nombre de véhicules à produire et augmenter leur durée de vie R Offre <i>premium</i> non frugale

Figure 17 - Opportunités et risques de développement du véhicule autonome

Source : Saujot, Brimont et Sartor (2017)

En dehors de l'étude française de Saujot, Brimont, et Sartor (2017) qui fournit une analyse qualitative des conséquences écologiques du véhicule autonome, de plus en plus d'études ont cherché à estimer ces conséquences de manière chiffrée. Taiebat et al. (2018) en dénombrent et en analysent 42.

La plupart de ces études visant à estimer les impacts potentiels du véhicule autonome sur les émissions de gaz à effet de serre ont formulé un certain nombre de scénarios et ont fait varier plusieurs d'hypothèses sur le véhicule autonome : taux de pénétration, type d'usage, conséquences sur la demande de mobilité, performances énergétiques des véhicules, etc.

L'article de Taiebat et al. (2018), qui analyse l'ensemble des travaux ayant appliqué cette méthodologie, montre que les résultats varient fortement selon les hypothèses étudiées. Sans viser l'exhaustivité, quelques études mettent en évidence la forte sensibilité des résultats aux hypothèses prises :

- une étude du département américain de l'énergie estime que la consommation d'énergie du transport routier américain pourrait diminuer de 90 % dans le scénario le plus optimiste, et augmenter de 250 % dans le scénario le plus pessimiste (Brown, Repac, et Gonder, 2013) :

- l'agence internationale de l'énergie¹⁰⁵ estime que la consommation d'énergie du secteur des transports américain pourrait diminuer d'environ 40 % dans un scénario optimiste, et augmenter de 100 % dans un scénario pessimiste (Wadud, MacKenzie, et Leiby, 2016) ; - Stephens et al. (2016) étudient trois scénarios de développement du véhicule autonome. Dans le premier, l'automatisation est partielle et le véhicule individuel domine. Dans ce cas, la consommation d'énergie pourrait diminuer de 11 % ou augmenter de 14 % selon les hypothèses considérées. Dans le second, l'automatisation est totale et le véhicule individuel domine. Dans ce cas, la consommation d'énergie pourrait diminuer de 58 % ou augmenter de 205 %. Dans la troisième configuration, l'automatisation est totale et les véhicules sont partagés. Dans ce cas, la consommation d'énergie pourrait diminuer de 64 % ou augmenter de 194 %.

Rien que sur cet échantillon d'études, il ressort qu'il existe un potentiel très élevé d'augmentation des émissions de GES (consommation multipliée par trois dans certains cas). Sous certaines hypothèses, la consommation énergétique peut également baisser considérablement, mais l'ampleur de cette réduction potentielle est bien plus faible que l'ampleur de l'augmentation potentielle. Aussi, le choix de développer le véhicule autonome dans une optique écologique paraît être un pari particulièrement risqué.

Plusieurs raisons peuvent expliquer un tel écart entre les prévisions les plus optimistes et les plus pessimistes. Etant donné le manque de connaissance sur les performances énergétiques du véhicule autonome et les effets en cascade que son développement pourrait provoquer, les auteurs des différentes études sont contraints de faire varier les hypothèses qui entourent leurs modélisations et leurs résultats. Ces hypothèses concernent les performances énergétiques à différentes échelles : celle du véhicule, de la flotte de véhicules, du système de transport global où de la société dans son ensemble.

A l'échelle du véhicule, certains auteurs estiment par exemple que le poids des véhicules autonomes pourrait être plus faible que celui des véhicules conventionnels, réduction permise par la hausse supposée des performances des véhicules autonomes en matière de sécurité routière (réduction du nombre d'accidents). Les constructeurs des véhicules pourraient alléger leurs produits en retirant une partie des composants permettant de résister aux chocs, sachant que les équipements de protection des usagers en cas d'accident représentent environ 8 % du poids des véhicules (Taiebat et al., 2018). A l'inverse, d'autres auteurs considèrent que la conduite autonome permettra de nouveaux usages (travail, repos, divertissement) et s'accompagnera d'une hausse des équipements à l'intérieur de l'habitacle. Historiquement, on constate que le poids des véhicules a constamment augmenté au cours du temps, entraînant une hausse de la consommation énergétique malgré une amélioration de l'efficacité énergétique du moteur. Entre 1990 et 2020 en France, la masse moyenne des véhicules est passée de 950 kg à 1240 kg, soit une augmentation de 30 % en 30 ans¹⁰⁶. Bigo (2020) considère quant à lui que sur la période 1960-2017, le poids moyen des véhicules a augmenté de 62 %.

¹⁰⁵ <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/range-of-possible-long-term-impacts-from-vehicle-automation-in-the-united-states-in-a-pessimistic-scenario>

¹⁰⁶ Calculs des auteures d'après données Ademe : <http://carlabelling.ademe.fr/chiffrescles/r/evolutionMasseMoyenne>

l'échelle de la flotte de véhicules, les effets sont également ambivalents, concernant la congestion par exemple. Certains auteurs considèrent que la conduite autonome sera plus fluide et provoquera moins d'accidents, entraînant une baisse de la congestion, et donc des émissions de GES. D'autres au contraire, estiment que les véhicules pourraient circuler à vide au lieu d'être stationnés, ce qui augmenterait le nombre de véhicules en circulation et donc la congestion. La conduite en « peloton », une file de véhicules autonomes connectés entre eux et avançant comme un seul corps, est censée améliorer l'aérodynamisme de l'ensemble de véhicules, à la manière de peloton de cyclistes qui s'alignent les uns derrière les autres pour fournir moins d'effort face au vent. Les promoteurs du véhicule autonome affirment que cette technique permettra de réduire la consommation d'énergie de la flotte de véhicules. Or, là encore cette hypothèse suppose d'une part une pénétration importante des véhicules autonomes pour que la conduite en peloton devienne significative, et d'autre part une très bonne connectivité entre les véhicules pour qu'ils puissent coordonner leur trajectoire, ce qui signifie sans doute le développement de la 5G, dont les impacts énergétiques et environnementaux ne sont pas pris en compte dans les études sur le véhicule autonome.

A l'échelle du système de transport dans son ensemble, les hypothèses et les avis divergent également. Certains auteurs considèrent que les véhicules autonomes permettant de connecter certains quartiers aux réseaux de transports en commun existants (comme c'est le cas dans plusieurs expérimentations du programme EVRA) pourraient augmenter la part modale des transports en commun, et réduire dans le même temps la place de la voiture les émissions de GES. D'autres considèrent à l'inverse que le véhicule autonome, sous la forme de voiture individuelle ou de service de robot-taxis, pourrait être beaucoup plus attractif que les transports en commun et réduire la part modale de ces derniers. Les effets pourraient même être très forts à moyen-terme car la baisse du nombre d'utilisateurs priverait les transports en commun de ressources financières nécessaires à leur maintenance et à leur développement, ce qui dégraderait la qualité du service et renforcerait l'incitation à utiliser les véhicules autonomes.

Enfin, à l'échelle de la société, la plupart des auteurs estiment que le véhicule autonome entraînerait une augmentation du nombre de km parcourus, et donc une augmentation de la consommation énergétique, tandis que certains auteurs estiment que si les navettes autonomes ou les services de robots-taxis se développent au détriment du véhicule individuel, alors les distances parcourues pourraient diminuer.

Les nombreuses études réalisées - au moins 42 identifiées par Taiebat et al. (2018) - ont le mérite d'énumérer un certain nombre de facteurs influençant les performances écologiques de la mobilité autonome et de tenter d'évaluer l'impact de ces facteurs. Mais elles présentent également plusieurs limites.

Premièrement, elles ont souvent des difficultés à prendre en compte l'ensemble des effets indirects ou sur l'ensemble du cycle de vie des véhicules autonomes. La consommation énergétique du véhicule autonome ne se limite pourtant pas à la consommation de carburants, mais également à la consommation des réseaux et des infrastructures nécessaires à l'échange et au traitement des nombreuses données nécessaires au fonctionnement du véhicule. Gawron et al. (2018) estiment par

exemple une augmentation de 3 à 20 % de la consommation d'énergie liée à la présence de ces équipements électroniques à bord, sans prendre en compte les effets à l'échelle des infrastructures routières et numériques nécessaires au fonctionnement du véhicule autonome. Après une étude approfondie de la littérature sur ce sujet, Taiebat et al. (2018) regrettent le manque de données et recommandent de poursuivre les efforts de recherche pour tenter d'évaluer les impacts énergétiques de ces infrastructures.

Deuxièmement, les auteurs de ces études ne jugent pas de la pertinence de leurs hypothèses au regard de plusieurs critères, par exemple les observations passées ou encore les rapports de force entre acteurs. Par exemple, sur le poids des véhicules, on trouve à la fois l'hypothèse d'une diminution et une augmentation du poids des véhicules autonomes comparé au poids des véhicules conventionnels, la première étant permise par la diminution des équipements de protection contre les accidents liée à la potentielle réduction des accidents, la deuxième s'expliquant par l'augmentation d'équipements liés aux nouveaux usages permis par l'absence de nécessiter de conduire (équipements pour pouvoir travailler, dormir, se divertir, etc.). Or, la tendance historique montre que le poids des véhicules n'a fait qu'augmenter ces 50 dernières années, à cause d'une augmentation des équipements et parce que le véhicule joue encore aujourd'hui un rôle de distinction sociale. De plus, étant donné les modèles présentés par les constructeurs automobiles (*cf. supra* la description des modèles développés par Renault et Peugeot ainsi que la communication autour du temps retrouvé) il est fort probable que de nombreux équipements nouveaux alourdissent les véhicules. De même sur les effets rebond, on constate ces dernières décennies une augmentation de la demande de mobilité. En France, les travaux de Bigo (2020) ont montré que la hausse des émissions de CO₂ du secteur des transports s'explique principalement par la hausse de la demande de mobilité (le nombre de km parcourus), les autres facteurs s'étant compensés entre eux : le report modal vers les transports routiers et la diminution du taux de remplissage des voitures ont été plus ou moins compensés par l'augmentation du taux de remplissage des camions, l'efficacité énergétique et la légère amélioration de l'intensité carbone. Sur la période 1960-2017, les émissions du secteur des transports en France ont été multiplié par 4, la demande a quant à elle été multipliée par 4,7. Bigo (2020) affirme que « *[les politiques publiques environnementales] n'ont pas agi sur le principal facteur d'évolution qu'est la demande* ». Il serait bon de prendre en compte ces résultats pour l'analyse des impacts du véhicule autonome sur les émissions de GES.

En outre, il ressort de ces nombreuses études que le cas d'usage de la mobilité autonome le moins risqué en termes énergétiques est celui basé sur la mobilité partagée, à savoir les navettes autonomes, ou dans une certaine mesure les flottes de robots-taxis. A l'inverse, le scénario d'un développement des voitures autonomes individuelles est celui pour lequel la consommation d'énergie explose, pouvant être multipliée par trois. Or, les rapports de force entre acteurs, les modèles économiques, les enjeux géopolitiques ou les contraintes réglementaires rendent peu crédible une situation où l'usage du véhicule autonome se limiterait aux quelques supposées « zones de pertinence » telles que la mobilité collective en zone rurale. En effet, le développement des véhicules autonomes est aujourd'hui porté par les acteurs privés, constructeurs automobiles et acteurs du numérique, et très

largement soutenu par les pouvoirs publics. Or, les investissements en recherche et développement sont tellement élevés pour les industriels (et pour les finances publiques) que seule une production de masse pourrait rentabiliser un tel investissement. C'est d'ailleurs ce que reflète la communication des constructeurs autour de leur prototype de véhicules (Renault ou Peugeot) ou celle des acteurs plus avancés tels que Tesla. Dans tous les cas, il s'agit bien de perpétuer l'utilisation des véhicules individuels. Les pouvoirs publics eux-mêmes soutiennent ce genre de projet, comme cela a été développé précédemment. Les parties précédentes ont en effet montré l'importance de préserver la filière automobile pour les pouvoirs publics français et européens, car celle-ci représente une part très importante de la valeur ajoutée et de l'emploi de ces pays (*cf supra*). A l'inverse, peu d'acteurs et d'expérimentations s'intéressent à la mobilité autonome sous la forme de transports collectifs. Dans ce contexte, il est peu probable que le scénario de la mobilité autonome collective au service des territoires enclavés et des publics exclus de la mobilité classique, seul scénario pertinent aux regards des enjeux écologiques, émerge.

Enfin, les études sur les impacts énergétiques ne prennent pas en compte les effets de la mobilité autonome sur les modes de vie. Le Gallic et Aguilera (2019) ont pourtant montré que ces derniers sont nombreux et peuvent avoir un impact énergétique considérable : étalement urbain, augmentation du nombre et de la taille des maisons individuelles, etc. Si ces effets ont été identifiés, ils n'ont pas été quantifiés. Or, le monde de vie privilégiant l'étalement urbain, les maisons individuelles et les déplacements pendulaires domicile-travail sont très émetteurs en GES, et s'accompagnent de nombreuses conséquences négatives telles que l'artificialisation des sols qui est l'une des premières causes de destruction de la biodiversité.

3.3 Au-delà des impacts énergétiques : le système socio-technique

Bandt (2002) définit le système socio-technique comme « *autour de technologies génériques de base, la manière dont l'ensemble des éléments du système (les connaissances, les acteurs, les applications, les usages, les manières de faire, les organisations, ...) s'organisent pour permettre à ces technologies de déployer toutes leurs potentialités* ».

Pour Bandt (2002) la notion de système socio-technique permet d'affirmer qu'il n'y a pas « *quelque chose comme la mise en place d'un système entièrement conçu a priori et construit en conséquence, que l'on se contente ensuite de faire fonctionner ou d'utiliser. Ce système évolue comme résultante des actions des acteurs et des relations entre eux dans le cadre du système tel qu'il existe à un moment donné* ».

Sans visée l'exhaustivité, cette partie vise à analyser différents éléments du système socio-technique autour du véhicule autonome. Pour ce qui est des « *applications, des usages, des manières de faire, des organisations* », cette partie s'intéresse à la production de carburants ou d'électricité permettant de faire circuler les véhicules, aux enjeux autour de la protection des données, à la question des

infrastructures routières et numériques nécessaires au fonctionnement des voitures autonomes. En ce qui concerne les « *acteurs et les relations entre eux* », cette partie viendra compléter la partie 2 en analysant les investissements colossaux nécessaires au développement du véhicule autonome et en analysant le lien entre le développement des véhicules autonome et la question du travail.

3.3.1 La production d'électricité (ou de carburants)

Dès la genèse de sa projection par les pouvoirs publics, le véhicule autonome a été pensé comme un véhicule électrique, sous-entendu plus écologique que les moteurs fonctionnant grâce aux énergies fossiles car moins générateur de gaz à effets de serre. Cette conception s'inscrit dans une vision très française de l'énergie et de l'environnement, qui suppose que l'énergie produite par les centrales nucléaires voire par les ENR serait favorable à la transition écologique. Cette vision, très contestée depuis maintenant cinq décennies par les mouvements sociaux, peut être également remise en question dans le contexte d'une conception plus complexe et perçue comme plus radicale de l'écologie, qui intègre d'autres domaines de réflexion tels que la préservation de la biodiversité, l'artificialisation des terres, la limitation de la mobilité et la réduction de la consommation. Pour Cécile Lagache, en charge du pilotage de l'atelier « Vie robomobile » au MTE, les risques en termes de surmobilité, d'usage de la voiture, de temps passé dans les transports mais aussi d'occupation de l'espace et de multiplication des infrastructures –notamment numériques –sont autant de « *problèmes qui demeurent non réglés* » aujourd'hui et qui font l'objet de réflexions au sein de l'atelier.

Au-delà de ces interrogations, se pose la question du coût d'usage du véhicule, souligné par l'économiste Florent Laroche, qui identifie un possible effet rebond causé par une électricité moins chère, suscitant potentiellement davantage de circulation et de congestion, effet rebond qui concerne également les véhicules électriques.

Bien sûr, on peut imaginer comme le coordinateur du projet Cœur de Brenne, un véhicule électrique fonctionnant à l'énergie solaire, ou à l'hydrogène, même si l'expert témoigne, de son propre aveu, que « *l'on est très très loin de ça* » ! Le territoire a d'ailleurs fait le choix de distinguer l'expérimentation du véhicule autonome des investissements sur les ENR : « *Sur cette expérimentation, nous n'avons pas couplé ça avec l'énergie. Le président de la communauté de commune est très investi sur la question ; ils ont remporté l'un des appels à projets sur l'hydrogène à Châteauroux, ils mènent une réflexion sur solaire et photovoltaïque, sur l'énergie décarbonée. Ça fleurit partout, mais les réseaux sont sous-dimensionnés pour accueillir l'énergie solaire produite par le territoire. Les bornes électriques sur le trajet sont gérées par le SDEI, mais les enjeux de l'avenir ne sont pas corrélés à ce projet* ».

L'une des autres pistes pour alimenter les moteurs des VA est celle du gaz naturel. Encore une fois, l'impulsion de cette énergie ne repose pas sur des critères écologiques, mais bien sur une contrainte réglementaire et une stratégie budgétaire, en provenance cette fois du continent américain, comme le souligne Florent Laroche : « *l'arrivée du gaz naturel américain en France. Le gaz de schiste leur*

coûtait plus cher à vendre qu'à brûler... depuis 2017 ils n'ont plus le droit de le brûler, ils se sont engagés à faire des gazoducs sur les deux côtes pour exporter leur gaz, qui devrait arriver en coûtant beaucoup moins cher que le gaz russe sur le marché européen ».

Qu'elle soit pour forme d'électricité produite par les centrales nucléaires ou les énergies renouvelables ou sous forme de carburants fossiles ou alternatifs (agrocarburants, etc.), l'énergie nécessaire au fonctionnement du véhicule autonome soulève les mêmes interrogations et engendre les mêmes dommages environnementaux qu'un véhicule électrique classique ou qu'un véhicule thermique.

3.3.2 Les enjeux autour de la protection des données

« On le voit avec l'application stop Covid ; les verrous sautent un à un. Les crises développent des compétences que l'Etat acquière, qu'il développe et déploie sur autre chose. Un certain nombre de compétences sont entrées dans les pratiques en temps exceptionnel et il reste toujours quelque chose de ces compétences ».

C'est par ces mots que Christian Long manifeste son inquiétude quant à la question des données générées par le véhicule autonome, qui représente selon lui un vrai risque sur les libertés publiques et les questions éthiques. En effet, la mise en place des infrastructures liées à la connexion, à la localisation et à la circulation des véhicules autonomes viendrait générer une quantité massive de données, posant ainsi le problème de leur propriété et de leur gestion par les pouvoirs publics ou par les GAFA.

Les risques de dérives ont été identifiés très tôt par les pouvoirs publics, tout en restant pour l'heure à l'état d'interrogations. Au-delà de la nécessaire réglementation, la production de ces données pose une question de gouvernance fondamentale : si l'on peut imaginer que, dans le contexte de la démocratie représentative, des institutions et des lois se portent garantes de la protection de la vie privée des personnes, comme revenir en arrière en cas de dérive autoritaire ?

Selon le rapport Idrac (2018), *« le développement du véhicule autonome implique une amplification des capacités de communication, que cela soit avec les infrastructures, avec les autres véhicules ou avec les prestataires de services (maintenance, diagnostic, assurance personnalisée, guidage, etc.). Ces échanges d'informations de plus en plus importants posent de nouvelles questions. En effet, certaines données sont révélatrices de la façon de conduire des automobilistes, de leurs habitudes de vie (endroits fréquentés, horaires, musique écoutée, etc.) ou encore de potentielles infractions au code de la route ».*

Pour des raisons de sécurité et de responsabilité en cas d'accident, il est fort probable que les données doivent être conservées un certain temps. Le tout récent règlement de l'ONU sur la conduite autonome oblige le véhicule à disposer d'un *« système de stockage de données pour la conduite automatisée ».*

Pour Michèle Guilbot, les données « *permettent le plus souvent d'identifier les conducteurs, directement ou indirectement par recoupement ou par inférence. Il est alors possible de tracer leurs parcours, de connaître leurs habitudes de déplacement, leur manière de conduire, parfois de caractériser des infractions aux règles de circulation routière. Or ces données, juridiquement qualifiées de « données à caractère personnel » (DCP), sont protégées par le droit interne et les droits européens, ceci alors même que les conducteurs peuvent être amenés à circuler dans le cadre de leur activité professionnelle* » (CVT Athena, 2017).

A ces enjeux de protection des données s'ajoutent les enjeux énergétiques liés à la production, à l'échange et au stockage de ces données. D'après le Livre blanc sur le véhicule autonome publié par l'INRIA (2018), « *les systèmes de véhicules autonomes et connectés vont produire d'énormes quantités de différents types : des données fournies par les capteurs embarqués sur les véhicules, des données de localisation, des flux d'images, mais aussi des courriers électroniques, des SMS, des données de divertissements. Un véhicule autonome connecté pourrait ainsi produire jusqu'à 1 Go par seconde* ». D'après l'enquête menée par le Forum Vies Mobiles (2020), le temps moyen consacré aux transports (tous modes confondus) est de 10h par semaine. Un rapide calcul sur les ordres de grandeur conduit à un temps consacré aux transports de 520h par an. En supposant que 70 % des déplacements sont réalisés en voiture¹⁰⁷, et en reprenant l'hypothèse d'une production 1Go de données par seconde pour une voiture autonome, cela signifie qu'un français produira en moyenne 1,3 millions de Go par an. Par comparaison, un américain « consomme » (par l'utilisation d'internet, de son smartphone, etc) 1 680 Go par an, et un Indien 24 Go¹⁰⁸. Christian Long considère quant à lui que les véhicules autonomes vont produire en plus de données en un an qu'il n'en a été produit de toute l'histoire de l'humanité.

Pour l'eurodéputée Karima Delli, président de la commission Transport et tourisme du Parlement européen, « *La voiture connectée donne lieu à une bataille qui se fait dans le plus grand secret. [...] Les données de la voiture connectée ne peuvent pas être la propriété de quelques-uns. La sécurité et la cybersécurité ne le permettent pas. L'accès doit être ouvert à des parties tierces. La propriété de constructeurs est un non-sens* ». Le chiffre d'affaires autour des données des véhicules pourrait atteindre une centaine de milliards d'euros en 2030¹⁰⁹. Aux enjeux économiques, environnementaux et sécuritaires de la production et gestion de données s'ajoutent les risques de surveillance. Le suivi des données peut aller encore plus loin que les connaissances très précises sur les trajets réalisés, sur l'identité du conducteur ou sur les habitudes de vie, de consommation et de conduite. En effet, en octobre 2020, un hacker ayant piraté les services de Tesla révélait que la caméra présente dans l'habitacle servait à filmer et analyser le visage du conducteur. Le logiciel cherche à détecter si les yeux du conducteur sont fermés, si la tête est baissée, si le regard est détourné, si le téléphone est

¹⁰⁷ https://www.lemonde.fr/societe/article/2015/11/02/les-francais-mettent-en-moyenne-50-minutes-pour-l-aller-retour-domicile-travail_4801698_3224.html

¹⁰⁸ https://theshiftproject.org/wp-content/uploads/2018/10/R%C3%A9sum%C3%A9-aux-d%C3%A9cideurs_Pour-une-sobri%C3%A9t%C3%A9-num%C3%A9rique_Rapport_The-Shift-Project.pdf

¹⁰⁹ <https://www.lesechos.fr/thema/vehicules-entreprise/la-donnee-automobile-petrole-du-xxie-siecle-1193949>

utilisé ou encore si le conducteur porte des lunettes de soleil. Suite à ces révélations, l'entreprise a affirmé récolter ces données dans le but d'améliorer la sécurité des véhicules¹¹⁰.

3.3.3 La nécessaire adaptation des infrastructures routières, et de l'urbanisme et de la connectivité

A l'heure actuelle, il est difficile d'estimer l'ampleur des changements nécessaires à l'adaptation des infrastructures routières et numériques pour le développement du véhicule autonome. Pourtant, il est évident que la circulation des véhicules autonomes nécessite des infrastructures physiques et numériques. Il n'y a pas de consensus sur les types d'infrastructures nécessaires, qui varient en fonction des avis d'experts mais également des scénarios de développement. En revanche, de nombreuses questions entourent d'ores et déjà le développement de ces infrastructures, concernant par exemple la prise en charge du coût (Etat, collectivités, acteurs privés), la répartition territoriale ou encore la confidentialité des données.

En ce qui concerne les infrastructures routières, les besoins varient en fonction du scénario de développement. Le bon fonctionnement du véhicule autonome requiert la mise à niveau de certains composants des infrastructures routières, tels que le marquage au sol ou les panneaux de signalisation. Or, à l'heure actuelle, seulement la moitié des routes dispose d'un marquage au sol, et la moitié des routes nationales nécessite un entretien de la chaussée (Brouhard, Saujot, et Brimont 2018). Certains experts estiment qu'il sera également nécessaire de générer un double numérique de chaque panneau de signalisation (Brouhard, Saujot, et Brimont 2018).

Le règlement adopté par l'ONU en 2020 impose aux véhicules autonomes de circuler sur des voies qui sont séparées par une barrière physique entre les deux sens de circulation. Cette obligation laisse donc présager de l'ampleur des adaptations à réaliser rien que pour permettre de faire circuler une navette autonome entre deux communes rurales. Il faudrait construire une barrière physique qui séparerait la chaussée en deux. Outre le coût de ces travaux, cela pose la question de la cohabitation entre différents modes de déplacement, dans un contexte où la simple création d'une bande cyclable séparée par une ligne blanche se heurte parfois à de nombreuses oppositions et génère des conflits d'usages. La situation se complique d'autant plus que la réglementation de l'ONU impose une vitesse limite maximale autorisée de 60km/h pour les véhicules autonomes. Dans le cas d'une route communale ou départementale qui relierait deux communes, celle-ci serait donc coupée en deux par une barrière physique et les véhicules autonomes ne pourraient pas rouler plus vite que 60km/h. Dans ce contexte, comment assurer la cohabitation avec les autres modes de transports, par exemple les voitures individuelles classiques ? Par ailleurs, il est à noter que la vitesse maximale de 60km/h risque d'être un frein au développement de la mobilité autonome car celle-ci sera moins attrayante

¹¹⁰ <https://www.lesnumeriques.com/voiture/autopilot-voici-ce-que-la-camera-interieure-des-tesla-cherche-a-detecter-sur-le-visage-des-conducteurs-n155295.html>

si le temps de parcours est plus long, ce qui risque de se produire pour des vitesses maximales de 60km/h.

L'ampleur des investissements nécessaires pour adapter les infrastructures routières varient donc considérablement selon le scénario de développement. Or, ces investissements sont aujourd'hui principalement à la charge des collectivités : 98 % des routes sont gérées au niveau local (61 % des routes sont gérées au niveau départemental et 37 % au niveau communal), et moins de 2 % au niveau national (Brouhard, Saujot, et Brimont, 2018). Il est donc possible d'imaginer une situation à plusieurs vitesses où le développement des véhicules autonomes dépend de la mise à niveau des infrastructures routières et donc des capacités financières des collectivités, générant ainsi des inégalités territoriales. Quels que soient le coût et la technologie développée, il est certain que la mise en place du véhicule autonome impliquera un investissement important en termes d'adaptation du réseau routier et autoroutier. Au-delà de la question du coût et des acteurs qui devront le porter, il est important d'observer qu'aujourd'hui, le réseau de l'Hexagone souffre de nombreuses inégalités en termes d'état des routes. Le développement d'une nouvelle technologie impliquerait donc, en tout premier lieu, une mise à niveau générale du réseau. Ceci dans un contexte où il est également nécessaire d'adapter le réseau de transports (routier, autoroutier et ferroviaire) au dérèglement climatique. En effet, les infrastructures de transport sont dimensionnées sur la base de données climatiques. Le changement climatique entraînera de lourdes conséquences sur le réseau de transport : fissuration des chaussées par le gel/dégel, destruction par les crues, par des chutes d'arbres, submersions marines, etc.

En ce qui concerne les infrastructures numériques, les avis divergent également. La principale controverse porte sur le besoin de la 5G pour le fonctionnement du véhicule autonome. En effet, les besoins de connectivité sont très importants pour permettre l'échange de données entre les véhicules entre eux (« véhicule to vehicle » ou V2V), les véhicules et l'infrastructure (« véhicule to infrastructure » ou V2I), la mise à jour instantanée de la cartographie numérique à partir d'informations stockées sur le *cloud* et le pilotage à distance. Une étude récente de l'APUR (2018) indique qu'il y a un consensus sur la nécessité de développer la 5G¹¹¹. Cette question de la nécessité de la 5G fait l'objet de nombreux articles sur internet, et dans les revues spécialisées, où les experts s'affrontent¹¹².

Pourtant, dans la feuille de route 5G portée par le gouvernement et l'Autorité de régulation des communications électroniques et des postes (ARCEP), le véhicule autonome est directement cité comme un « *cas d'application important* » de la 5G. D'ores et déjà, le gouvernement et l'Arcep ont lancé 11 expérimentations rien qu'en Ile-de-France, « *incluant notamment plusieurs cas d'usages sur le véhicule connecté ou autonome* ». La même feuille de route indique que dès 2025, les axes de transports principaux devront être couverts par la 5G, ce qui laisse présager d'un lien entre 5G et

¹¹¹ *There is also consensus that the growing connectivity of vehicles (whether autonomous or otherwise) will require next-generation mobile networks in the form of the 5G* »

¹¹² <https://www.usinenouvelle.com/article/avis-d-expert-les-vehicules-autonomes-n-ont-pas-besoin-de-5g-pour-rouler.N939291> pour un point de vue défendant l'alternative à la 5G <https://www.usinenouvelle.com/editorial/la-course-au-vehicule-autonome-passera-par-l-ia-et-la-5g.N874515> pour un point de vue en faveur de la 5G

transports connectés et autonomes. À l'échelle européenne, la Commission européenne a privilégié la 5G comme standard européen pour les véhicules autonomes au détriment de la technologie WiFi pour ce qui concerne la connectivité des véhicules autonomes, alors que le Parlement européen s'était prononcé en faveur du Wifi¹¹³.

Un groupe de travail réunissant constructeurs automobiles (dont Renault et PSA), opérateurs des télécommunications, gestionnaires routiers (dont l'Etat), les consortiums de recherche et développement (dont Vedecom et System-X) a rédigé un rapport sur les enjeux de connectivité du véhicule autonome (Groupe de travail, 2019). Ce rapport se concentre sur les systèmes de transports intelligents (STI) coopératifs, autrement appelé communication V2X (« véhicule to everything »). La communication V2X regroupe la communication entre les véhicules entre eux (V2V), et entre les véhicules et l'infrastructure routière (V2I et I2V). En effet, les capteurs embarqués à bord du véhicule produisent des informations qui peuvent être communiquées aux autres véhicules ou à l'infrastructure (position, route glissante, activation du freinage d'urgence, etc.). De même, l'infrastructure routière peut communiquer des informations aux véhicules autonomes (trajectoires vers une borne de péage autoroutier, état du trafic, chantiers en cours, etc.).

Ce rapport compare les performances de différentes technologies de communication V2X : le Wifi ITS-G5 (à ne pas confondre avec la 5G, il s'agit d'un wifi de 5ème génération), la technologie LTE-V2X et le réseau cellulaire 5G. D'après ce rapport, le Wifi ITS-G5 et la technologie LTE-V2X permettent de nombreuses fonctionnalités des véhicules connectés et des aides à la conduite, mais ne permettent pas les fonctionnalités propres au véhicule autonome (dites performances Day 3). En revanche, la technologie 5G pourrait y répondre : *« Il en ressort que tous les deux [ITS-G5 et LTE-V2X] répondent aux besoins des services Day 1 [cas d'usages informatifs], mais qu'aucun ne répond aux besoins des cas d'usages avancées d'automatisation. La 5G et la NGV, évolution annoncée de l'ITS-G5, devraient y répondre ».*

Suite à ce constat, le groupe de travail imagine 4 scénarios permettant d'assurer la couverture du réseau routier en connectivité :

- scénario 1 : déploiement de l'ITS-G5 à partir de 2019, suivi de la 5G lorsque celle-ci sera disponible ;
- scénario 2 : déploiement de la technologie LTE-V2X à partir de 2021, suivi de la 5G lorsque celle-ci sera disponible ;
- scénario 3 : pas d'investissement massif tant que la 5G-V2X n'est pas opérationnelle, ce qui devrait arriver vers 2025 ;
- scénario 4 : déploiement de l'ITS-G5 à partir de 2019, suivi d'une future technologie NGV (Next generation V2X) lorsqu'elle sera disponible ;

¹¹³ <https://www.reuters.com/article/us-eu-autos-tech/eu-opens-road-to-5g-connected-cars-in-boost-to-bmw-qualcomm-idUSKCN1TZ11F>

Ainsi, sur les quatre scénarios envisagés, trois reposent sur le déploiement de la 5G. Ils supposent que les premiers véhicules équipés de la 5G apparaîtront en 2025, tandis que l'ensemble des véhicules neufs seront équipés de la 5G en 2029.

Les auteurs du rapport estiment également le besoin en infrastructure des scénarios 1 et 2, le scénario 3 étant considéré comme le scénario de référence, mais aussi parce que « *la 5G est déployée par les opérateurs de télécommunications indépendamment du gestionnaire selon une logique de couverture des zones les plus denses en priorité* ». Les technologies ITS-G5 et LTE-V2X requièrent l'installation d'unités de bord de route le long du réseau national. La technologie 5G est supposée avoir une compatibilité avec les technologies ITS-G5 ou LTE-V2X : les véhicules équipés de la 5G pourront communiquer avec les unités de bord de route propres aux technologies ITS-G5 et LTE-V2X et avec les véhicules équipés de ces technologies.

Le rapport cherche à évaluer la rentabilité économique des scénarios 1 et 2 comparativement au scénario 3. Pour cela, les auteurs considèrent un périmètre de 11 600 km d'autoroutes et de 9600 km de voies nationales. Ils prennent comme hypothèse un coût d'installation de 3000 € par unité de bord de route pour la technologie ITS-G5 et de 4500€ pour la technologie LTE-V2X. Les coûts d'entretien et de maintenance sont de 300€ par an dans les deux cas. Les unités de bord de route sont déployés tous les deux kilomètres. Ainsi, si l'on prend comme hypothèse un réseau de 21 200 km, avec une unité de bord de route tous les 2 km, soit 10 600 unités de bord de route, l'investissement initial nécessaire à la connectivité est de 31,8 millions d'euros pour la technologie ITS-G5 et de 42,4 millions pour la technologie LTE-V2X, montant auquel il faudrait rajouter 3,2 millions par an quelle que soit la technologie. Cet investissement ne couvrirait qu'une période de quelques années, le temps que la 5G soit disponible, et ne couvrirait que le réseau national.

Si l'on veut estimer un ordre de grandeur du coût du déploiement des systèmes sur tout le territoire national avec les technologies ITS-G5 et LTE-V2X- afin de répondre aux enjeux d'inclusivité prônés par les pouvoirs publics- il faudrait prendre en compte les 1 103 451 km de voies (11 600 km d'autoroutes, 9 600 km de voies nationales, les 377 890 km de routes départementales et les 704 899 km de routes communales¹¹⁴). Dans ce cas, en conservant les hypothèses d'une unité de bord de route tous les deux km et les hypothèses sur les coûts de ces unités de bord de route, l'investissement est de l'ordre de 1,6 milliards pour la technologie ITS-G5 et de 2,5 milliards pour la technologie LTE-V2X, montant auquel il faudrait rajouter 165 millions d'euros par an pour la maintenance. Sachant qu'en 2029, les auteurs du rapport estiment que la technologie utilisée sera la 5G. Cela représente donc un investissement qui, s'il était réalisé en 2021, représenterait un montant compris entre 2,7 et 3,6 milliards d'euros, soit entre 340 et 450 millions d'euros par an, rien que pour assurer la connectivité entre les véhicules autonomes entre eux et avec l'infrastructure.

L'Autorité de Régulation des Communications et des Postes (ARCEP) a consacré en 2019 une note sur la question du véhicule connecté¹¹⁵. Sur la question du coût des infrastructures nécessaires à la

¹¹⁴ <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/memento-de-statistiques-des-transports-2017>

¹¹⁵ <https://www.arcep.fr/la-regulation/grands-dossiers-thematiques-transverses/larcep-et-les-reseaux-du-futur/les-notes-dexpertise-sur-les-reseaux-du-futur.html#c23535>

communication courte distance, le régulation des communications estime « *leur déploiement entraînerait des investissements très élevés* », qu'il existe « *une incertitude sur l'intérêt socio-économique d'un tel déploiement du point de vue de la collectivité [...] et une incertitude sur les modèles économiques qui permettraient à des acteurs privés de procéder à des investissements dans les unités de bord de route, les sources de revenus n'étant pas clairement identifiées aujourd'hui* » (ARCEP, 2019).

L'évaluation du coût de déploiement de la 5G n'est pas réalisée dans le rapport du groupe de travail. Il est mentionné que le gestionnaire routier peut également déployer des unités de bord de route 5G-V2X, mais sans faire mention du coût d'un tel équipement. L'ARCEP (2019) estime quant à elle que « *la couverture 5G se heurtera non seulement au coût de déploiement des infrastructures mais aussi au coût d'accès aux pylônes le long des autoroutes facturé par les gestionnaires autoroutiers* ».

Les auteurs du rapport supposent que le déploiement de la 5G sur l'ensemble du territoire s'étale sur 10 ans et s'effectue par ordre décroissant de densité de population. Ainsi, « *les routes situées en rase campagne sont équipées de la 5G bien après celles situées en milieu urbain* ». Si l'on combine cette affirmation avec le fait que l'hypothèse formulée par les auteurs que la 5G est indispensable au fonctionnement des véhicules autonomes, on constate donc les territoires ruraux seront les derniers à pouvoir disposer des véhicules autonomes, alors que les pouvoirs publics mettent en avant les véhicules autonomes comme une solution dans les territoires ruraux. Quel que soit le scénario de développement, les auteurs supposent qu'il faudra attendre 2050 pour avoir une couverture complète du territoire.

Encore une fois, alors que la communication des pouvoirs publics porte sur le développement d'un véhicule autonome au service des territoires ruraux, ce rapport met en contraire en avant la priorité donnée au milieu urbain au détriment des territoires peu denses.

Ce rapport s'intéresse également aux conséquences des STI coopératifs sur la sécurité routière. Ils estiment que si tous les véhicules étaient connectés, alors la mortalité sur le réseau routier national baisserait de 14,3 % et le nombre de blessés diminuerait de 12,2 %. Sur les quelques années de fonctionnement des unités de bord de route (avant l'utilisation de la 5G, soit la période 2019-2034), cela représente 378 « morts évités ».

Enfin, ce rapport s'intéresse au business-model des STI. En ce qui concerne les technologies ITS-G5 et LTE-V2X, les auteurs supposent que l'investissement est directement supporté par le gestionnaire routier qui déploie des unités de bord de route. En ce qui concerne la 5G, les auteurs considèrent deux possibilités. Dans un cas, les usages non-véhiculaires de la 5G, notamment le confort du passager « *laissent espérer une fourniture de service V2X au coût marginal par l'opérateur télécom* ». Dans l'autre, « *la couverture de certains axes est imposé aux opérateurs télécoms, mais ceci à un surcoût qui pourrait nécessiter la mise à contribution des acteurs des transports* ». Ainsi, la tonalité de cette phrase laisse à penser que le déploiement de la 5G, même réduite à certains axes de transports, sera très onéreux.

La lecture de ce rapport met en évidence le coût très élevé de l'adaptation du réseau routier au déploiement du véhicule connecté, puisque le simple fait d'équiper l'intégralité du réseau routier d'unités de bord de route coûterait plusieurs milliards d'euros, alors même que ces technologies ne permettent pas la conduite autonome. Malheureusement, les adaptations nécessaires à la conduite autonome ne font pas l'objet d'évaluation économique dans ce rapport.

En revanche, la lecture de ce rapport permet d'affirmer que la technologie 5G est la technologie privilégiée pour le développement de la conduite autonome de niveau élevé (4 ou 5). Il met également en doute la pertinence de la conduite autonome pour la mobilité des territoires ruraux puisque les auteurs du rapport (constructeurs automobiles, gestionnaires d'infrastructures, pouvoirs publics et opérateurs téléphoniques) considèrent que le déploiement de la 5G se fera progressivement et par densité de population décroissante, laissant les territoires de « *rase campagne* » en retrait.

Bien qu'il n'y ait pour l'instant aucun consensus quant au niveau d'équipements nécessaires pour la mise en place du véhicule autonome, il est évident que son émergence induira des investissements massifs, notamment de l'Etat, dans la transformation des infrastructures routières. Qu'il soit individuel ou collectif, urbain ou rural, le véhicule autonome ne peut avancer sans cartographie ni connectivité. Certains parlent de 2G, de 4G comme des niveaux de connectivité suffisants en fonction des modèles choisis, mais l'hypothèse de la 5G reste aujourd'hui la plus plausible. Pour l'économiste Florent Laroche, l'installation de cette innovation est déjà en marche : « *En Suisse, les infrastructures sont déjà là, ils attendent les téléphones. En France, les fréquences ont été distribuées et d'ici 4/5 ans la 5G sera généralisée. Le véhicule autonome va se greffer sur la 5G, bien longtemps après. La 5G va arriver d'elle-même parce qu'elle offre tout un ensemble de possibilités sur d'autres domaines d'activités : trains, explosion des trafics Netflix, et maintenant la visio... la 5G risque de trouver rapidement son public* ». Or, cette technologie multipliant par 20 les ondes en circulation est largement pointée du doigt par les associations écologistes, car il semblerait que sa généralisation comporte de graves dangers tant pour la biodiversité que pour la santé humaine et induise une importante surconsommation d'énergie.

Cette demande d'équipements massifs s'inscrit dans le contexte d'inégalités territoriales face au numérique très marquées. En effet, aujourd'hui des zones entières se sont pas couvertes par la 4G, ni même par la 3G ou la 2G pour certaines d'entre elles.

Qu'elle que soit la forme qu'elle prendra, la nécessaire adaptation des infrastructures routières et numérique semble être orthogonale à certains principes mis en avant dans la Stratégie pour le développement de la mobilité propre, inscrite dans la loi de transition énergétique pour la croissance verte qui affirme que « *de manière générale, il faudra optimiser l'utilisation des infrastructures de transports existantes et orienter les investissements d'infrastructure au profit, notamment, de celles qui portent la transition énergétique, le report vers les modes de déplacements les moins polluants, et la préservation des continuités écologiques, y compris sur les longues distances* » et que « *les mesures à mettre en œuvre [...] devront en particulier faire l'objet d'une analyse comparative coût efficacité ;*

la prise en compte des questions d'équité, de compétitivité et d'acceptabilité, qui seraient utiles pour affiner et prioriser les mesures devront également être poursuivies et approfondies ».

Encadré 5 - Quelle place pour l'innovation dans la transition écologique ?

Entretien avec l'historien François Jarrige

Le terme d'« innovation » est très peu utilisé et a une connotation négative jusqu'au début du XIX^e siècle, de même que le terme « technologie », qui désignait la science de la technique, et que le terme « technique » qui désignait « l'art des savoirs faire ». Si on ouvre un dictionnaire du 18^e siècle, trouvera à l'entrée « technique » non pas quelque chose de productif, mais par exemple « l'art de se remémorer un poème ». Parce que la technique c'est d'abord un savoir-faire. Jusqu'au XIX^e siècle, le terme « innovation » a une connotation négative car il représente un danger. Dans l'ordre juridique et dans l'ordre religieux, notamment dans le contexte des guerres de religion, c'était la menace qu'introduisait une perturbation dans un ordre social un peu près stabilisé. Au début du XIX^e siècle, avec l'industrialisation du monde, tous ces termes vont être à la fois redéfinis, de plus en plus utilisés et vont voir leur substance se transformer avec des connotations de plus en plus positives. Le terme « technique » va être amené progressivement à la sphère de la production et des grands équipements, et le mot « innovation » va peu à peu être ramené à l'innovation technique.

L'obsession pour l'innovation se fait très progressivement. C'est surtout après 1945. C'est même après les années 70 – 80 que le terme « innovation » envahit tout le langage politique, médiatique, à tel point qu'aujourd'hui tout est innovation. Dès que l'on propose quelque chose de nouveau, on va être innovant. En deux siècles, le terme « innovation » est donc passé d'une situation où il était très peu utilisé et avec une connotation négative à une situation où il est une sorte de totem, un mot magique qui s'appuie sur le fait que dans la société industrielle contemporaine, le progrès a été ramené au progrès technique donc à l'amélioration des dispositifs techniques permettant un contrôle sur le monde. Car qu'est ce que c'est que la technique ? C'est des mécanismes, des moyens permettant d'entretenir des relations avec le monde : extraire de la matière, entretenir des relations avec les autres. Tout est technique d'une certaine manière. Dès qu'on a un savoir-faire, un dispositif permettant d'échanger, de se déplacer, on a une technique.

Le mot innovation arrive dans ce contexte de technicisme généralisé et il consiste en la survalorisation de la nouveauté. Comme si la nouveauté était nécessairement préférable à ce qu'il y avait auparavant. Cela s'est articulé à la notion de progrès technique qui considère que l'innovation est linéaire, qu'on va nécessairement vers le mieux, que l'innovation est nécessaire pour que s'opère ce progrès.

Dans les années 2000, on observe une résurgence des débats articulés à la question écolo qui font que tous les grands projets techniques ont été mis en débat : les biotechnologies, les grands projets d'aménagement, les grandes infrastructures. Les élus ont donc inventé des dispositifs pour ramener la confiance dans le progrès technique défini comme l'accroissement des forces productives tel que le pensent les principaux industriels.

C'est dans ce contexte là qu'on observe une réactivation de l'imaginaire modernisateur et futuriste avec aujourd'hui une économie de la promesse de progrès technique omniprésente. On parle du véhicule autonome mais on le trouve dans tous les domaines. Il y a une multiplication des promesses technologiques hors sol. Ce n'est pas nouveau, depuis le XIX^e siècle, pour avoir des marchés, pour susciter des financements, les scientifiques, comme les industriels et les politiques, multiplient les promesses d'un avenir futuriste.

Cette réactivation est notamment permise par les outils nouveaux de l'intelligence artificielle et la multiplication des données, il est donc plus facile d'imaginer l'automatisation. C'est une vieille promesse qui est réactivée à chaque génération : on entend parler du véhicule autonome dès les années 30, 40, 50, car l'autonomie, c'est à dire l'automatisation des processus est une vieille utopie. Aujourd'hui, est-ce encore une nouvelle promesse de plus ou la situation est-elle différente parce qu'on dispose des informations, des outils et des savoirs pour rendre possible le véhicule autonome ? Aujourd'hui, à la différence des années de naissance de l'utopie autour du véhicule autonome, les politiques et les industriels investissent le secteur et font tout pour ce qui relevait de la promesse futuriste de science-fiction devienne un vrai projet industriel.

Une fois qu'on a fait ces promesses futuristes, il faut trouver des arguments pour justifier ces promesses et la rendre désirable. C'est là qu'arrive la question de la transition écologique. C'est un argument parmi d'autres pour intéresser les publics à cette promesse qui n'intéresse personne en réalité, parce que personne ou presque n'a envie d'un véhicule autonome. Il faut donc créer du désir. Pour ça, on utilise du *green washing*. L'argument de la transition écologique est valable pour tout aujourd'hui. On développe ainsi des programmes de recherche pour pouvoir justifier que le véhicule autonome est potentiellement un outil pour la transition écologique.

Aujourd'hui, pour justifier que l'investissement dans le développement du véhicule autonome est pour le bien commun, cela passe nécessairement par la transition écologique, c'est à dire un rapport moins destructeur au monde. Imaginer que le véhicule autonome puisse être un élément de ce rapport moins destructeur au monde me semble contradictoire puisque pour pouvoir fonctionner, ces outils nécessitent des infrastructures, des dépenses énergétiques considérables, des effets rebonds de tous les côtés. Je ne vois pas un seul argument permettant de relier la voiture autonome à la question de la transition écologique.

Aujourd'hui la transition écologique est le nouveau visage de la relance du projet modernisateur. Il y a des moments techno-critiques, de crise du consensus modernisateur, de réintroduction de pensées alternatives, d'expérimentation, de recherche de chemins différents. Aujourd'hui, la relance modernisatrice passe par l'écologie. Il n'y a plus de débat sur l'ampleur de la crise écologique. Le débat porte sur les moyens pour « résoudre » cette crise écologique. Face à cela, deux positions se dessinent, avec toute une palette de positions intermédiaires. D'un côté la solution portée par les « éco-modernistes », l'écologie industrielle, tous ceux qui pensent que face à la crise écologique il faut accélérer les processus d'industrialisation, d'artificialisation, afin d'aller au bout du processus de maîtrise du monde. De l'autre, il y a ceux qui pensent que la transition écologique ne peut passer que par une décroissance de nos empreintes écologiques, de nos consommations énergétiques, de nos productions matérielles, etc. On retrouve ces deux pôles dans l'histoire depuis très longtemps. Il y a déjà eu des moments de crise écologique très importants. À chaque fois ce sont des crises d'accès à la ressource, d'accès à l'énergie qui est la substance de base

du fonctionnement de notre modèle économique. A chaque fois, la réponse principale a été une relance du processus d'industrialisation. C'est ce qui s'est passé dans les années 70. On oublie à quel point les années 70 ont été critiques, à quel point elles interrogeaient vraiment les fondements matériels de la société industrielle. Dans le programme de René Dumont en 1974, il y avait la proposition de réduire de moitié la taille du parc automobile. Quel écologiste oserait proposer cela aujourd'hui ? Il y avait des débats énormes sur la pollution, sur les énergies alternatives, sur la décroissance déjà à l'époque, même si le mot n'existait pas encore. Tout cela a été éliminé par une relance modernisatrice articulée à une utopie technologique, la numérisation, censée établir un système technique horizontal, immatériel, qui répondrait aux impacts de l'ancien système technique de la société industrielle. Pourtant, on découvre aujourd'hui que le numérique est aussi matériel que les grosses usines à charbon de la vieille société industrielle.

3.3.4 La nécessité de partenariats publics-privés et d'investissements colossaux

La partie 2 a permis de dresser un portrait des acteurs impliqués dans le développement du véhicule autonome. Il apparaît que le partenariat public-privé est la forme privilégiée d'investissement dans la R&D autour du véhicule autonome.

Il est difficile d'estimer le montant des investissements publics en appui au développement du véhicule autonome, car ces investissements prennent plusieurs formes et sont réalisés à différentes échelles (Union européenne, État, collectivités territoriales, etc.).

En France, il existe plusieurs dispositifs d'accompagnement mis en place par l'État :

- des outils collectifs, tels que les instituts Vedecom et System X, recevant des financements issus du Programme d'Investissement d'Avenir, « *sur un modèle de co-investissement public/privé (1 € venant de l'État étant obligatoirement compensé par 1€ venant des industriels)* »
- des « *dispositifs de soutien qui permettent de financer des projets de R&D portés par les acteurs privés* » (Idrac 2018)

En 2018, avant que le principal programme d'expérimentation (EVRA) ne soit lancé, Idrac (2018) estimait déjà que « *40 expérimentations ou démonstrations [ont été] autorisées sur route ouverte en France [...]. Des expérimentations ont également été lancés sur site privé ; et plus de 200 millions d'euros de projets financés dans le cadre de différents appels à projet (Fonds Unique Interministériel, action « véhicules du futur du PIA, PIAVE, ...)* ». Il faut donc rajouter à ce montant les 40 millions de soutien au programme EVRA, ainsi que les soutiens indirects sous forme de Crédit Impôt-recherche (CIR) et les subventions accordées par les collectivités. La région Ile-de-France a par exemple prévu de dépenser 100 millions d'euros pour devenir la première région en termes de développement du véhicule autonome.

Le plan de relance de l'industrie automobile consécutif à la pandémie de covid-19 a mis en place un Fonds d'avenir pour l'automobile, doté de 1 milliards d'euros. Une partie sera dédiée aux véhicules autonomes.

La plupart des expérimentations de STI ont été cofinancées par l'Union européenne, les Etats où elles se déroulaient ainsi que les collectivités impliquées. Les projets C-roads FR, C-roads Plaform ont impliqués 14 partenaires et 14,5 millions d'euros de budget, le projet Intercor a réuni 16 partenaires français, belge, hollandais et anglais et 30 millions d'euro de budget), Sic-commun a rassemblé 24 partenaires et 21,5 millions d'euros de budget dont 10 millions de subvention de l'Union Européenne.

Une étude réalisée par le cabinet *The Brookings institution* estime qu'entre 2015 et 2017, les investissements dans le développement pour le véhicule autonome (publics et privés, tous pays confondus) ont atteint la somme de 80 milliards de dollars). Ce montant très élevé n'est pratiquement que de la R&D puisqu'à quelques exceptions près, il n'y a pas de service de mobilité autonome en fonctionnement.

Par comparaison, le fonds national « mobilités actives » visant à soutenir le développement de pistes cyclables dans les collectivités est doté d'un budget de 350 millions d'euros sur 5 ans, soit 70 millions d'euros par an. De même, la dotation de soutien à l'investissement local a un budget dédié aux enjeux de mobilité de 500 millions d'euros sur 5 ans. Avec le récent plan de relance et dans le contexte d'une hausse importante des déplacements à vélo dans les métropoles, le gouvernement a augmenté le fond vélo de 100 millions supplémentaires.

3.3.5 Derrière la question technique, l'enjeu du coût du travail

S'il est un sujet sur lequel l'ensemble des enquêtés se rejoint, c'est bien celui des économies de fonctionnement que fait miroiter cette nouvelle technologie. Parmi les principaux investisseurs à l'international, on observe la présence du géant de la mobilité Uber, dont l'objectif affiché est, à terme, d'éliminer les conducteurs de sa flotte de taxis en les remplaçant par un système centralisé destiné à réguler l'ensemble des flottes. Ce système, requérant inévitablement la généralisation de la 5G, pourrait permettre selon Florent Laroche de délocaliser les opérateurs dans des pays où la main d'œuvre est à bas coût et dispose d'un haut niveau de qualification, comme l'Inde par exemple¹¹⁶. Les gains en productivité rendus possible par cette opération se vérifient déjà sur d'autres systèmes de transports automatisés, tels que la ligne 14 du métro parisien. L'économiste conclut : « *Le numérique ne va pas détruire tous les emplois mais remplacer la plupart des opérateurs* ». Le rapport Idrac (2018) ne dit pas autre chose : « *le développement de l'automatisation va probablement*

¹¹⁶ « *Ce qui coûte le plus, le temps humain est très rare en fait, sauf peut-être en Inde, parce qu'on a d'autres choses à faire que travailler, on a un coût horaire qui est très élevé [...] Plus le temps devient cher, plus la technologie devient intéressante. Aux USA, j'ai plus intérêt à supprimer des chauffeurs pour mes taxis si j'en ai un qui gère mes taxis, si mes taxis fonctionnent de façon importante [...] Si vous supprimez 10 conducteurs pour 1 régulateur, il sera mieux payé. Le coût de développement de la 5G sera principalement supporté par les opérateurs car autres usages* »

conduire à des transferts de qualification et d'emploi, avec des opportunités de créer des nouveaux emplois et de nouvelles compétences, probablement plus qualifiées à l'interface des transports et du numérique ». Au-delà de la création de nouveaux emplois, il faut également identifier la destruction d'emplois, sachant que la filière des transports au sens large comporte 700 000 emplois (Idrac 2018).

Amazon devient progressivement l'un des acteurs majeurs du développement du véhicule autonome, en rachetant dernièrement la start-up Zoox et en recevant l'autorisation d'expérimenter ses véhicules sans chauffeur. Pour cette entreprise, l'intérêt de la conduite autonome est évident, le coût de transports et de livraison de ses marchandises serait fortement réduit en remplaçant des conducteurs par des machines autonomes. Le commerce en ligne détruit déjà de très nombreux emplois. En octobre 2020, un rapport des Amis de la Terre estime qu'en France, le développement d'Amazon provoquera la suppression de 100 000 emplois, le nombre d'emplois détruits par emploi créé étant de 4,5 et ceci uniquement pour l'activité commerce. Si Amazon dispose un jour de sa propre flotte de livraison autonome, l'impact sur l'emploi sera encore plus conséquent.

Ce modèle économique valorisant la machine au détriment des emplois est détaillé ici par Sylvain Belloche : *« aujourd'hui, dans les expériences menées, on a toujours un conducteur, un opérateur pour s'assurer de la bonne sécurité. A terme, si l'on s'affranchit de cet opérateur, on a une grande flexibilité dans les besoins de transports, besoins différents dans la journée, en temps réel sans besoin de faire une réservation 24 ou 48 heures avant. Autre point positif : le coût du service, si on supprime le poste du conducteur, le coût devient 60 à 70% plus faible que le coût actuel. Bien sûr le poste de conducteur il faudra le remplacer par un poste de superviseur, d'opérateur, etc. ». Bien que les investissements matériels restent relativement chers, l'objectif affiché est celui d'une « meilleure rentabilité des services de transport, permettant de mettre en œuvre des services qui ne sont pas aujourd'hui économiquement viables. »*

Économiser sur les frais de fonctionnement est aussi au projet du Cœur de Brenne, présenté ici : *« l'idée du véhicule autonome est de transvaser la partie financière sur de l'investissement et pas sur du fonctionnement, et permet une amplitude horaire qui ne sera jamais assurée par un chauffeur. Pouvoir transporter comme le fait le métro le samedi, le dimanche, le soir tard, le matin tôt et si on fait ça avec un chauffeur il nous faut quatre chauffeurs avec 4 salaires, à hauteur de notre territoire c'est juste impossible, inimaginable ». Outre le coût social et économique causés par le manque à gagner des emplois remplacés par la machine, ces investissements représentent un coût important pour le contribuable, dans la mesure où les expérimentations sont en grandes parties financées par le public : « le coût de location de navette, de gestion du personnel, de mise en place de transport du véhicule, d'aménagement de la voirie est déjà établi avec une participation financière de la région, de l'ADEME, du syndicat d'électrification. Cela fait partie de l'expérimentation ; après, ça ne veut pas dire la pérennité ».*

Ainsi, les acteurs privés (Uber, Amazon, etc.) ne sont pas les seuls à avoir un intérêt économique au remplacement des chauffeurs par des véhicules autonomes. Les collectivités locales, en charge de la mobilité sur leur territoire, trouveraient également un avantage à remplacer les chauffeurs des bus du service de transports en commun par des véhicules autonomes. Le coût de fonctionnement serait

réduit tandis que l'investissement initial, très coûteux, est supporté par une myriade d'acteurs. Cependant, il est certain qu'à l'échelle globale, y compris en introduisant la question du chômage, il est bien plus coûteux de développer le véhicule autonome que d'employer un nombre de chauffeurs de transports en commun (bus, tramway). Face aux difficultés énoncées par les collectivités, notamment rurale, de financer des postes de chauffeurs de bus, il serait plus pertinent de revoir le modèle de soutien de l'État aux collectivités. Il s'agit d'un choix politique, à l'heure où certaines collectivités telles que l'agglomération de Dunkerque a fait le choix de rendre les transports en commun gratuits.

Conclusion de la Partie 3

A l'heure actuelle, le visage que prendra la mobilité autonome n'est pas encore connu. De nombreux travaux de prospective étudient les formes que pourrait prendre cette mobilité, et leurs conséquences écologiques. Cette partie a permis de revenir dans un premier temps sur les différents scénarios retenus dans les exercices de prospective, puis d'analyser dans un second temps les conséquences énergétiques de ces scénarios. Enfin, elle a permis d'élargir cette analyse à d'autres enjeux écologiques et sociaux.

Malgré les différentes vertus hypothétiques attribuée à la mobilité autonome par les pouvoirs publics et les industrielles, celle-ci ne peut être un élément central d'une politique ambitieuse de transition écologique des mobilités, et ce pour différentes raisons.

Premièrement, il apparaît que le développement de la mobilité autonome, qu'elle soit individuelle ou collective, n'est pas compatible avec la contrainte temporelle de réduction drastique des émissions de GES. En effet, d'après la Stratégie Nationale Bas Carbone, la France doit atteindre la neutralité carbone en 2050. Pour le secteur des transports, cela se traduit par une décarbonation complète des déplacements. Dans le détail, cela signifie pour la période 2015-2030 une réduction de 28 % des émissions de GES. Si cette étape intermédiaire n'est pas atteinte, la réduction devra être encore plus drastique entre 2030 et 2050. L'analyse des articles scientifiques et de la presse spécialisée montre que la mise sur le marché de véhicules autonomes de niveau 4 ou 5 à une échelle suffisante pour entraîner une hypothétique réduction des GES arrivera trop tard pour contribuer à la lutte contre le dérèglement climatique. En effet, selon ces différentes sources, le véhicule autonome ne deviendra pas un mode de transports significatif avant 2030 ou 2040, voire même 2050 selon le CNRS et le rapport Idrac (2018) remis aux pouvoirs publics. Les véhicules autonomes arriveront trop tard pour pouvoir participer à la décarbonation de la mobilité et donc limiter le dérèglement climatique.

Deuxièmement, qu'en est-il réellement des performances écologiques des véhicules autonomes ? Les travaux de recherche qui les ont analysées sont moins unanimes que les pouvoirs publics ou les industriels. Les incertitudes qui portent sur la forme que pourrait prendre cette mobilité se répercutent sur les résultats concernant les consommations énergétiques de ce mode de transport. En effet, de nombreux facteurs influencent dans des directions différentes les performances énergétiques de la mobilité autonome. Selon les hypothèses, la mobilité autonome pourrait augmenter ou bien diminuer la demande de mobilité, en faveur ou au détriment des transports collectifs. La réduction des risques d'accidents pourrait permettre aux constructeurs d'alléger leurs véhicules, les rendant moins énergivores. Mais le poids des véhicules pourrait tout aussi bien

augmenter, car les constructeurs pourraient se saisir de l'opportunité offerte par l'automatisation de la conduite pour installer de nouveaux équipements de confort, de travail ou de loisir. On pourrait également citer la congestion : certaines études affirment qu'elle sera réduite par la conduite autonome tandis que d'autres affirment qu'elle pourrait augmenter. Aucun des facteurs qui influencent les performances énergétiques de la mobilité autonome n'est épargné par ces controverses. Il est donc difficile d'affirmer aujourd'hui le sens et l'ampleur de l'impact énergétique de cette nouvelle forme de mobilité. En première analyse, l'examen de la littérature scientifique fait ainsi ressortir une forte incertitude au sens scientifique du terme sur l'impact énergétique du véhicule autonome. Une analyse plus approfondie fait ressortir un second point : l'augmentation de la consommation énergétique est plus probable et plus forte en valeur absolue que la réduction de cette consommation. Ainsi, en plus de ne pas être compatible avec le rythme de décarbonation exigé par la SNBC, s'appuyer sur les véhicules autonomes pour réduire la consommation énergétique du secteur des transports est un pari risqué.

Troisièmement, si les études existantes ont le mérite de vouloir quantifier les effets des véhicules autonomes sur la demande de mobilité et sur la consommation énergétique, elles présentent plusieurs limites. La première est qu'elles ne considèrent en général que la consommation de carburant, et ne prennent pas en compte la consommation d'électricité des équipements et des infrastructures nécessaires au fonctionnement du véhicule autonome. Les véhicules autonomes entraîneront une hausse spectaculaire de la production et de la consommation de données dans leur phase de fonctionnement. Or l'on sait aujourd'hui que les impacts écologiques du numérique sont de moins en moins soutenables. La construction des très nombreux capteurs (caméra, lidar, radar, etc.) et des infrastructures entraînera une consommation de ressources non renouvelables, une production importante de déchets, et d'autres pollutions, souvent délocalisées. Une seconde limite de ces évaluations réside dans le fait que les auteurs de ces études n'évaluent pas la crédibilité de leurs hypothèses au prisme de critères historiques, politiques ou économiques. Par exemple, s'il est possible de concevoir que les navettes autonomes puissent jouer un rôle à la fois dans le désenclavement des territoires et dans la réduction de la place de la voiture individuelle, il est nécessaire de s'interroger sur les conditions politiques et économiques nécessaires pour faire émerger ce modèle de mobilité autonome à l'heure où les constructeurs automobiles et les acteurs du numérique sont eux aussi impliqués dans la course au véhicule autonome et que le seul modèle économique qui rendrait rentables les lourds investissements nécessaires au développement du véhicule autonome est la production de masse.

En résumé, les hypothétiques vertus du véhicule autonome semblent se limiter au seul usage collectif de navettes autonomes. De plus, elles arriveront trop tard par rapport au calendrier imposé par la Stratégie Nationale Bas Carbone qui est le document cadre de l'action climatique en France. Et le bilan écologique de la mobilité autonome s'alourdit si l'on prend en compte les consommations générées par les données produites et échangées ainsi que d'autres effets sur les modes de vie (étalement urbain, etc.).

En plus d'être un pari risqué et très probablement perdu d'avance, le développement de la mobilité autonome est un pari très coûteux car il requiert la mise au niveau des infrastructures routières et numériques pour permettre son fonctionnement. Les routes sur lesquelles circuleront les véhicules autonomes devront être mises à niveau de manière significative : marquage au sol, barrière de séparation entre les deux voies, unités de bord de routes pour permettre l'échange de données entre les véhicules et l'infrastructure, etc. Toutes ces modifications coûtent cher et, de l'aveu des pouvoirs publics et des acteurs eux-mêmes, le modèle économique qui permettrait de les financer n'a pas

encore été trouvé. Est-ce aux collectivités, à l'État ou aux acteurs de privés de les financer ? En plus des infrastructures routières, il faut également mettre à niveau les infrastructures numériques. Même si la plupart des acteurs ne l'affirment pas clairement, un rapport rédigé par les pouvoirs publics, les constructeurs, les gestionnaires d'infrastructures routières et les opérateurs de réseaux mobiles certifie que la 5G sera incontournable pour le fonctionnement des véhicules autonomes. Les récentes controverses sur la 5G ont rappelé les impacts écologiques de cette technologie. De plus, les auteurs du rapport précité précisent que la 5G ne sera disponible dans les zones rurales qu'à partir de 2050, soit bien trop tard par rapport aux échéances climatiques.

Plus largement, le développement du véhicule autonome pose de véritables questions de société. Sur l'enjeu de la protection de la vie privée d'une part, puisque les véhicules autonomes seront des machines à récolter et à stocker, pour des questions d'assurance, des données personnelles (adresse, trajets, type de conduite, etc.). Sur l'enjeu du travail d'autre part, car la question de l'autonomie dissimule celle du coût et du partage du travail. Puisqu'il s'agit de désenclaver les territoires ruraux et de développer les mobilités collectives au détriment de la voiture individuelle, est-ce qu'il ne serait pas plus simple d'augmenter le nombre de conducteurs et de conductrices de bus et d'autres moyens de transports collectifs ? Les collectivités, organisatrices de la mobilité collective sur leur territoire, répondent que cela est trop coûteux en salaires, et qu'un véhicule autonome serait certes plus coûteux à l'achat mais serait amorti par la suite. Cette observation pose donc la question de la répartition des coûts, qu'il s'agisse des coûts de développement du véhicule autonome, ou des coûts du travail.

Conclusion générale

Alors que le « véhicule autonome » apparaît aux côtés du « véhicule électrique » ou encore de l'« hydrogène » comme une réponse technique à la crise écologique, cette étude a permis de remettre de la complexité dans la définition du véhicule autonome, dans la description des acteurs impliqués dans son développement et dans l'analyse des conséquences écologiques du déploiement de cette technologie.

La première partie a permis de lever l'ambiguïté qui entoure la définition du véhicule autonome. Elle a montré que le véhicule autonome est un objet multiforme, qui répond à la fois à des définitions techniques et juridiques. Tout d'abord, cette partie a décrit de manière très concrète les composants nécessaires au fonctionnement du véhicule, aussi bien à bord (laser, radar, logiciel de conduite autonome) que dans les infrastructures (cartographie numérique, connectivité très élevée, etc.). Ensuite, elle a rappelé que le concept de « véhicule autonome » recouvre en réalité cinq niveaux d'autonomie, les premiers (niveau 1 et 2) étant déjà largement diffusés dans le parc automobile et ne représentant qu'un prolongement de la voiture traditionnelle (assistance au freinage, au parking, etc.), les niveaux 4 et 5 (conduite autonome en toute condition, sur tout type d'espace) étant *a contrario* encore très immatures et loin de la mise en vente. Enfin, elle rappelle que le véhicule autonome ne saurait se limiter à une définition technique, mais que la définition juridique qui est en cours d'élaboration peut largement influencer l'ensemble des possibles. Ainsi, la réglementation récemment approuvée par une partie des États-membres de l'ONU pour les véhicules de niveau 3 limite par exemple la vitesse du véhicule autonome à 60km/h, impose une séparation physique entre les deux voies ou encore la présence d'un conducteur à bord, assis sur son siège et avec sa ceinture de sécurité. Cela illustre bien l'importance de la définition juridique du véhicule autonome.

La deuxième partie a permis de décrire les acteurs impliqués dans le développement du véhicule autonome. À l'échelle internationale, plusieurs faits ressortent. Premièrement, la course au véhicule autonome est avant tout une compétition entre nations, les États-Unis, la Chine et l'Union européenne représentant autant de visions du développement de cette technologie. Pour ces pays, il s'agit avant tout de devenir leader d'une technologie qui apparaît comme un moyen de donner un second souffle aux industries automobiles nationales et de renforcer leur hégémonie sur de nombreux marchés concernés par le véhicule autonome (cartographie numérique, composants électroniques, 5G, etc.). Deuxièmement, la course au développement du véhicule autonome est caractérisée par l'arrivée des acteurs du numérique (Google, Amazon, ...) et des plateformes (Uber) qui sont d'ores et déjà les leaders sur ce nouveau marché. Cela se traduit notamment par une reconfiguration de la valeur ajoutée des véhicules : la part liée au logiciel à bord augmente au détriment de celle liée aux équipements. Cela contraint les constructeurs traditionnels à s'associer à ces nouveaux acteurs, créant ainsi de nouveaux partenariats. Troisièmement, les enjeux

d'homologation des véhicules sont forts, et l'ONU vient de produire une réglementation qui contraint très fortement le développement des véhicules autonomes de niveau 3. Les pays signataires devront respecter cette réglementation, mais les pays non signataires, tels que les Etats-Unis, ne pourront pas commercialiser avec les pays signataires si leurs véhicules ne respectent pas la réglementation. Cette dernière façonne ainsi le développement des véhicules autonomes pour les prochaines années, puisqu'il est probable que les réglementations encadrant le déploiement des véhicules aux niveaux d'autonomie supérieurs seront également contraignantes.

L'Union européenne agit quant à elle à la fois sur le plan réglementaire et surtout sur le plan financier en subventionnant massivement des programmes de R&D. La place importante qu'occupe l'industrie automobile européenne en termes d'emplois et de PIB explique sans doute le rôle joué par l'Union européenne.

Au niveau national, l'État apparaît comme le chef d'orchestre du développement du véhicule autonome. Justifiant son soutien par des arguments de souveraineté nationale, de soutien à la filière automobile ou de transition écologique, il façonne l'arrivée des véhicules autonomes à l'aide de lois, de programmes d'expérimentation et de financement. Les collectivités territoriales fournissent quant à elle le terrain d'expérimentation des véhicules autonomes, et communiquent sur ces expérimentations sur un registre de marketing territorial. Les constructeurs s'appuient sur ces dispositifs pour monter en compétence et essaient de rattraper le retard accumulé par rapport aux acteurs du numérique. La stratégie des acteurs français repose sur la mise en place de consortiums et de partenariats publics-privés.

L'étude détaillée d'un programme complet d'expérimentations piloté par le ministère de l'écologie permet de rendre tangibles le fonctionnement et les usages potentiels des véhicules autonomes ainsi que les territoires concernés. Cela permet d'illustrer les partenariats mis en place entre différents types d'acteurs, qu'il s'agisse du ministère de l'écologie comme maître d'ouvrage, des collectivités comme terrains d'expérimentations, ou des industriels comme fournisseurs de la technologie. Cela révèle surtout une tension importante entre le discours promouvant une mobilité autonome collective et inclusive au service des territoires ruraux et une réalité où sur 16 expérimentations, une seule concerne vraiment ce profil de territoire et d'usages.

La troisième partie soulève enfin la question de la place des véhicules autonomes dans la transition écologique. Pour répondre à cette question, elle revient d'abord sur les différents scénarios de développement des véhicules autonomes. Trois scénarios sont majoritaires dans la littérature scientifique et la littérature grise : le développement de voitures autonomes individuelles sous le régime de la propriété privée, le développement d'une offre privée de mobilité autonome à l'aide de flottes de robots-taxis et le développement de navettes autonomes pour le transport collectif de passagers. Les analyses de ces scénarios selon l'approche des « modes de vie » montrent que pour appréhender les conséquences écologiques des véhicules autonomes, il est nécessaire de prendre en compte les effets de ces derniers sur les modes de vie. Cette approche fait apparaître de potentiels

effets rebonds. Par exemple, en offrant une mobilité plus confortable, les véhicules autonomes pourraient accentuer l'étalement urbain ou encore venir concurrencer les transports en commun. Au lieu de mettre en fin au règne de la voiture individuelle, le véhicule autonome pourrait au contraire lui donner un second souffle au détriment des transports en commun, voire même des mobilités douces. En effet, les véhicules autonomes requerront des aménagements de la voirie qui pourraient pénaliser les modes actifs (vélo, marche, etc.).

Cette troisième partie s'intéresse ensuite à la dimension temporelle du développement des véhicules autonomes. En rassemblant les différentes estimations de la date à laquelle les véhicules autonomes seront disponibles massivement, il apparaît que beaucoup d'incertitude entoure cet horizon et que ce dernier n'est pas compatible avec les échéances de l'Accord de Paris au niveau international et de la Stratégie Nationale Bas Carbone au niveau national. Certains constructeurs promettent la conduite autonome prochainement, certains cabinets de conseils prédisent l'avènement des véhicules de niveau 4 ou 5 pour les décennies 2030 et 2040, tandis que les travaux du CNRS ou le rapport Idrac commandé par les pouvoirs publics estiment que les technologies seront matures en 2050. L'urgence climatique exige quant à elle que le secteur des transports soit entièrement décarboné pour 2050, avec un objectif intermédiaire ambitieux pour 2030. Ce décalage temporel entre l'émergence du véhicule autonome et le rythme de décarbonation nécessaire pour lutter contre le changement climatique implique que les véhicules autonomes ne peuvent être considérés comme une solution à la nécessaire décarbonation des transports.

Enfin, cette étude a permis de réinterroger le caractère prétendument écologique des véhicules autonomes. Si les constructeurs mettent en avant les performances énergétiques de leurs véhicules – performances s'appuyant sur l'hypothèse d'une conduite autonome plus fluide et donc plus économe que la conduite humaine ou sur l'hypothèse d'un allègement du poids des véhicules permis par l'amélioration de la sécurité – de nombreuses études ont identifié de nombreux effets rebonds venant contrebalancer ces supposées performances énergétiques. La quasi-totalité des études (plus de cinquante ont été identifiées) obtiennent des résultats ambigus, négatifs voire très négatifs, la consommation d'énergie du parc automobile pouvant augmenter jusqu'à 200 % selon certaines études. A l'aune de ces études, le véhicule autonome va plus probablement alourdir le bilan carbone des transports que l'alléger. Le seul cas d'usage qui pourrait être éventuellement pertinent est celui des navettes collectives en zones rurales, si l'on suppose qu'il permettra d'offrir des alternatives à la voiture individuelle, mais l'on voit mal comment il pourrait se développer. Le modèle économique des constructeurs automobiles repose sur une production de masse de véhicules. Or, il faudrait se limiter à quelques exemplaires plutôt qu'à des millions, ce qui ne permettrait pas de rentabiliser les investissements coûteux réalisés par les entreprises mais également par l'État, l'Union européenne ou les collectivités qui financent le développement du véhicule autonome.

L'hypothèse d'un véhicule autonome écologique perd encore davantage de crédibilité si l'on prend en compte l'ensemble du système socio-technique sur lequel il repose. Les études citées précédemment se limitent souvent à la prise en compte de la consommation d'énergie du véhicule en fonctionnement pour réaliser le bilan carbone du véhicule autonome. Pourtant, il faudrait prendre en compte toute une série de consommations énergétiques qui viendraient alourdir encore un peu plus le bilan des véhicules autonomes. En effet, le développement du véhicule autonome requerra inévitablement la mise en place, et donc la production, l'installation, la maintenance, le renouvellement et la gestion des déchets d'un ensemble d'objets embarqués (caméras, radars, lidars, etc.) ou intégrés dans l'infrastructure routière (unités de bords de route, signalétique, barrières de séparation entre deux voies, etc.) L'émergence et la généralisation du véhicule autonome engendrera un recours aux ressources et une production de déchets inverses à la démarche low tech.

Un autre angle mort des évaluations précitées est le coût énergétique de la connectivité nécessaire au fonctionnement des véhicules autonomes. A travers la communication entre véhicules (V2V) ou entre les véhicules et l'infrastructure routière (V2I ou I2V), la mobilité autonome engendrera la production, l'échange et le stockage d'une quantité phénoménales de données à un coût énergétique majeur. Le prérequis de cette connectivité de tout instant et en tout point est le déploiement de réseaux de communication ultrarapide tels que la 5G qui générera de nouvelles consommations d'énergie tout en laissant de côté toute une partie de la population car là aussi, le développement de la 5G dans les territoires ruraux pourtant jugés comme prioritaires au regard de la mobilité autonome ne se fera pas avant 2050.

Enfin, en dehors des considérations purement énergétiques et écologiques, le choix du véhicule autonome est un choix coûteux, comme le rappelle la troisième partie qui cherche à estimer, malgré l'éparpillement des chiffres, le coût des différents programmes de développement du véhicule autonome. Ces investissements lourds, difficiles à estimer mais se chiffrant en dizaines, voire maintenant en centaines de milliards d'euros, se font nécessairement au détriment d'autres investissements dans des solutions de mobilité plus douces et plus inclusives. Le choix du véhicule autonome est également un choix risqué pour les libertés publiques, comme l'illustre la problématique portant sur la protection des données. Enfin, au-delà du système socio-technique, le développement du véhicule autonome est un enjeu de société car il est traversé par la question de la place et du coût du travail. Dans le contexte actuel, où le travail constitue la voie de survie pour la majorité de nos concitoyens, l'automatisation de certains secteurs pour des raisons faussement « durables » signifie la perte d'emploi et de revenus pour des centaines de milliers de personnes, peu qualifiées, dans le domaine des transports, suscitant là aussi un fort manque à gagner en termes de création d'emploi.

Réfléchir aux conséquences du véhicule autonome invite donc à interroger la mobilité et, plus largement, les structures sociales qui la rendent souhaitable ou inévitable. Les mobilités étant largement déterminé par le travail, qu'il s'agisse des trajets pour se rendre sur son lieu de travail ou des déplacements professionnels, grands oubliés des politiques publiques, une remise en cause de la place et de l'organisation actuelle du travail est au moins aussi ambitieuse et sûrement plus

pertinente que la création d'une intelligence artificielle capable de conduire seule. Les réflexions de la Convention Citoyenne pour le Climat ont abordé la question du travail, et une partie importante des conventionnels ont porté une mesure de réduction du temps de travail, sur la base de travaux de plus en plus nombreux établissant un lien entre partage du travail et réduction des émissions GES. La crise sanitaire a montré qu'il était possible d'adapter les modalités de travail : télétravail, étalement des horaires pour réduire le nombre d'usagers des transports en commun aux horaires de pointe, etc. Ces nouvelles modalités pourraient être autant d'outils de réduction des déplacements contraints si les politiques concernant le travail et celles concernant les transports sont pensées conjointement. Le mouvement des Gilets Jaunes a rappelé que les mesures visant à limiter les déplacements sont vouées à l'échec si les causes de ces déplacements ne font pas elles aussi l'objet de réflexion, qu'il s'agisse de l'aménagement du territoire, de la répartition des emplois ou de la disparition des services publics dans les zones rurales.

À l'heure d'une forte récession économique, où les dégradations environnementales et la montée de la pauvreté et de la précarité menacent le maintien du modèle social, alors que la fracture numérique n'a jamais été aussi importante et handicapante et où les besoins essentiels de la population française en termes de soins, d'éducation ne sont plus couverts de manière satisfaisante, est-ce que l'investissement dans ces automobiles du futur constitue une priorité ? L'ensemble de ces questions ainsi que toutes celles soulevées par cette étude méritent de sortir du débat entre experts pour faire l'objet d'un véritable débat public.

Bibliographie

- APUR. 2018. « Impacts and potential benefits of autonomous vehicles - From an international context to Grand Paris ».
- ARCEP. 2019. « Réseaux du futur. Note n°2 : Les voitures connectées ».
- Berkhout, Peter HG, Jos C. Muskens, et Jan W. Velthuijsen. 2000. « Defining the rebound effect ». *Energy policy* 28 (6-7): 425–432.
- Brouhard, T, M Saujot, et L Brimont. 2018. « Quelles leçons tirer des expérimentations de véhicules autonomes en France ? » Décryptage n°15, IDDRI.
- Brown, Austin, Brittany Repac, et Jeff Gonder. 2013. « Autonomous Vehicles Have a Wide Range of Possible Energy Impacts ». NREL/PO-6A20-59210. NREL, University of Maryland. <https://www.osti.gov/biblio/1220221>.
- Collectif. 2020. *Dictionnaire critique de l'anthropocène*. CNRS Edition. <https://www.cnrseditions.fr/catalogue/societe/dictionnaire-critique-de-l-anthropocene/>.
- Fondation pour l'évaluation des choix technologiques et centre de compétence des - Académies suisses des sciences. 2020. « Personne au volant - et tous sous contrôle ? Les véhicules autonomes dans le système de transport suisse ».
- Forum Vies Mobiles. 2020. « Enquête nationale mobilité et modes de vie ».
- Greening, Lorna A., David L. Greene, et Carmen Difiglio. 2000. « Energy efficiency and consumption—the rebound effect—a survey ». *Energy policy* 28 (6-7): 389–401.
- Groupe de travail. 2019. « Technologies de communication pour les STI coopératifs ».
- IAU. 2019. « Expérimentation et déploiement du véhicule autonome en Ile-de-France. Le rôle facilitateur des pouvoirs publics ».
- Idrac, Anne-Marie. 2018. « Développement des véhicules autonomes - Orientations stratégiques pour l'action publique ».
- INRIA. 2018. « Véhicules autonomes et connectés - Les défis actuels et les voies de recherche ».
- Kröger, Fabian. 2016. « Automated Driving in Its Social, Historical and Cultural Contexts ». In *Autonomous Driving: Technical, Legal and Social Aspects*, 41-68. https://doi.org/10.1007/978-3-662-48847-8_3.
- Le Gallic, T, et A Aguilera. 2019. « Diffusion des véhicules autonomes et modes de vie ».
- MTES. 2019. « Développement des véhicules autonomes. L'Etat s'engage dans 16 nouvelles expérimentations. Dossier de presse ».
- Saujot, M, L Brimont, et O Sartor. 2017. « Comment accélérer la mobilité durable avec le véhicule

autonome ? » Issue Brief n°02/17, IDDRI.

— — —. 2018. « Mettons la mobilité autonome sur la voie du développement durable ». *Studies N°02/18, IDDRI*, 2018.

Small, Kenneth A., et Kurt Van Dender. 2007. « Fuel efficiency and motor vehicle travel: the declining rebound effect ». *The Energy Journal* 28 (1).

Sorrell, Steve, John Dimitropoulos, et Matt Sommerville. 2009. « Empirical estimates of the direct rebound effect: A review ». *Energy policy* 37 (4): 1356–1371.

Stephens, T. S., Jeff Gonder, Yuche Chen, Z. Lin, C. Liu, et D. Gohlke. 2016. « Estimated Bounds and Important Factors for Fuel Use and Consumer Costs of Connected and Automated Vehicles ». NREL/TP-5400-67216. National Renewable Energy Lab. (NREL), Golden, CO (United States). <https://doi.org/10.2172/1334242>.

Taiebat, Morteza, Austin L. Brown, Hannah R. Safford, Shen Qu, et Ming Xu. 2018. « A Review on Energy, Environmental, and Sustainability Implications of Connected and Automated Vehicles ». *Environmental Science & Technology* 52 (20): 11449-65. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b00127>.

Wadud, Zia, Don MacKenzie, et Paul Leiby. 2016. « Help or hindrance? The travel, energy and carbon impacts of highly automated vehicles ». *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 86 (avril): 1-18. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2015.12.001>.

Glossaire

ADAS Advanced driver assistance system

ARCEP Autorité de régulation des communications électroniques et des postes

CASA Communauté d'agglomération de Sophia-Antipolis

CORAM Comité d'orientation pour la recherche automobile et mobilité

EVRA Expérimentation du véhicule routier autonome

FNTR Fédération nationale des transports routiers

GES Gaz à effet de serre

GIEC Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat

GISVA Groupement inter-service pour le véhicule autonome

HCC Haut commissariat pour le climat

IAU Institut d'aménagement et d'urbanisme (IAU)

IFSTTAR Institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux

INRIA Institut national de la recherche en en informatique et en automatique

LOM Loi d'orientation des mobilités

MTEs Ministère de la transition écologique et solidaire

PFA Plate-forme automobile

PIA Programme d'investissement d'avenir

PNR Parc naturel régional

SAE Society of automotive engineers

SAM Sécurité et acceptabilité de la conduite et de la mobilité autonome) est conduit par la plateforme automobile

SNBC Stratégie Nationale Bas Carbone

STI Système de transport intelligent

TIC Technologies de l'information et de la communication

UTP Union des transports publics et ferroviaires

Le Forum Vies Mobiles

Le Forum Vies Mobiles est le think tank de la mobilité soutenu par SNCF.

Au cœur des modes de vie contemporains, la mobilité soulève des problèmes environnementaux et ne correspond pas pleinement aux aspirations des individus. L'ambition du Forum Vies Mobiles est d'imaginer des mobilités désirées et plus durables. Dans cette perspective, il finance et encadre des recherches internationales, mène des enquêtes et diffuse des connaissances pour que chacun puisse comprendre les choix collectifs auxquels nous sommes confrontés et agir en conséquence.

forumviesmobiles.org

La Fabrique Ecologique

La Fabrique Écologique lance des débats et formule des propositions concrètes en matière de transition écologique. Son exigence de très grande rigueur, la précision de sa méthodologie et la qualité et la diversité de son réseau d'expertise lui permettent de publier des notes et des études considérées comme des références sur les sujets traités.

lafabriqueecologique.fr