

ETUDE DES IMPACTS DE LA VOITURE AUTONOME SUR LE DESIGN DU GRAND PARIS

ETUDE DES IMPACTS DE LA VOITURE AUTONOME SUR LE DESIGN DU GRAND PARIS

VOLUME 1

AVERTISSEMENT

Le Commissariat Général à l'Investissement (CGI) a confié au CVT Athéna la mission de coordonner une étude portant sur les impacts potentiels de la voiture autonome sur le design du Grand Paris. Au-delà des problèmes technologiques en eux-mêmes, les questions de sciences humaines et sociales soulevées par la voiture autonome sont multiples : questions juridiques, assurance et responsabilité, acceptabilité, ergonomie, impact sur la mobilité et les réseaux de transport, économie d'énergie, etc.

L'arrivée inéluctable de la voiture autonome dans un futur proche (sans doute de l'ordre de cinq à dix ans) permettra le développement de nouveaux services de mobilité avec des conséquences importantes que les pouvoirs publics souhaiteraient pouvoir anticiper, notamment en ce qui concerne :

- Les besoins des usagers en matière de mobilité et les conditions sociales d'acceptabilité,
- L'adaptation des mobilités aux territoires : les modes de vie urbains, le développement des infrastructures et l'organisation des espaces collectifs,
- Les conditions à réunir pour développer les nouveaux services,
- Les modèles économiques et scénarios possibles sur le Grand Paris,
- La diffusion des expérimentations / développements et leurs effets de levier.

Compte tenu du court délai qui a été accordé à la rédaction de cette étude, ce document est un rapport préliminaire qui pourra donner lieu à un travail ultérieur plus approfondi si le CGI le souhaite. Ce rapport a été établi sous la direction d'**Hervé Zwirn**, Directeur Exécutif du CVT Athéna, avec la coordination d'**Olivier Paul-Dubois-Taine** et de **Ghislain Delabie** et les contributions des experts suivants qui ont répondu positivement à la demande du CVT Athéna :

- **Anne Aguiléra**, Chercheuse au laboratoire Ville, Mobilité, Transport (LVMT), IFSTTAR
- **Fabrice Aycoberry**, Directeur Marketing Cockpit du Futur chez FAURECIA
- **Denis Barbier**, Directeur Stratégie & Valorisation, VEDECOM
- **Katia Barral**, Responsable Partenariat et Innovation à l'Institut des Sciences de l'Ingénierie et des Systèmes (INSIS / CNRS) et organisatrice du Forum Innovatives « Voiture du futur » au CNRS en mars 2015
- **Guy Bourgeois**, ancien Directeur Général de l'Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité (devenu IFSTTAR)
- **Jean-Marie Burkhardt**, Directeur de recherche, Laboratoire de Psychologie des Comportements et des mobilités (LPC), IFSTTAR
- **Ghislain Delabie**, OuiShare (think & do-tank dédié à l'économie collaborative)
- **Bertrand Duflos**, Expert indépendant mobilité & véhicule autonome
- **Thibaut Ferreira**, Chargé de mission Véhicules Intelligents, Véhicules Lourds à la DGE, Ministère de l'Economie, de l'Industrie et du Numérique
- **Michèle Guilbot**, Directrice de recherche, Laboratoire Mécanismes d'Accidents, Département Transport Santé Sécurité (IFSTTAR)
- **Marie Izaute**, Professeur à l'Université Blaise Pascal, Chercheuse Laboratoire de Psychologie Sociale et Cognitive
- **Patricia Jonville**, Directrice-adjointe Programme Eco-mobilité, VEDECOM
- **Grégoire Marlot**, Directeur de la stratégie à la SNCF
- **Jean-Pierre Nicolas**, Chargé de recherche au Laboratoire Aménagement Economie Transports (CNRS)
- **Olivier Paul-Dubois-Taine**, Président du Comité Transports, IESF (Société des Ingénieurs et Scientifiques de France)
- **Pierre Philip**, Professeur des Universités, Praticien hospitalier au CHU de Bordeaux, Directeur du Laboratoire Sanpsy (Université Bordeaux Segalen / CNRS)
- **Gabriel Plassat**, Ingénieur Energies et Prospectives, Transports & Mobilités à l'ADEME, créateur de La Fabrique des mobilités
- **Maria Teresa Pontois**, Responsable valorisation à l'InSHS
- **Jakob Puchinger**, Titulaire de la Chaire Anthropolis, IRT SystemX et CentraleSupélec
- **Dominique Rouillard**, architecte, professeur à l'ENSAPM, Directrice du Laboratoire Infrastructure, Architecture, Territoire (LIAT)

Ceci est le premier volume de l'étude, un deuxième volume le complète avec des notes d'analyse rédigées à l'occasion de cette étude par Guy Bourgeois, Jean-Marie Burkhardt et Michèle Guilbot.

Table des matières

AVERTISSEMENT	1
RESUME - SYNTHÈSE	4
INTRODUCTION – PASSER DE L'INVENTION TECHNIQUE A L'APPROPRIATION SOCIALE	10
CHAPITRE 1 – DES BESOINS DE MOBILITE AUXQUELS PEUVENT REpondre LES VEHICULES AUTONOMES.....	11
Le processus de constitution de systèmes d'intelligence artificielle pour la conduite automatisée des véhicules sera progressif et complexe (Source : VEDECOM – IESF).....	11
Les possibilités d'utilisation du véhicule autonome dépendront à la fois de son niveau d'automatisation, c'est-à-dire de la part des tâches de conduite déléguables à un système de pilotage automatique, et des réseaux routiers sur lesquels ces délégations pourront être effectivement autorisées (Source : VEDECOM)	12
Sécurité, rapidité, fiabilité, flexibilité, confort... chacun souhaite maîtriser au mieux sa mobilité pour exercer ses activités, accéder aux services qui lui sont nécessaires ou qui contribuent à son bien-être.....	13
Quelques services auxquels peut conduire à terme le développement du véhicule autonome (Source : IESF – G. Bourgeois).....	14
Ces services ne pourront se développer qu'à condition de trouver un marché potentiel de développement réaliste à terme	16
Ces nouveaux services apporteront deux disruptions majeures par rapport aux modes de transport actuels, individuels ou collectifs (Source : A. Aguiléra)	16
Les conditions économiques de développement des nouveaux services de mobilité envisageables avec les véhicules autonomes sont loin d'être évidentes (Source : G. Bourgeois)	17
La période transitoire qui s'ouvre va voir proliférer les projets les plus divers, il va falloir préparer l'avenir en les canalisant dans une vision à long terme (Source : G. Bourgeois).....	20
CHAPITRE 2 – DES SERVICES DE VEHICULES AUTONOMES, ADAPTES A CHAQUE TERRITOIRE	22
La mobilité automobile conserve une place dominante en France, selon des modes d'usage très diversifiés selon les liaisons et les territoires (Source : A. Aguiléra – IFSTTAR – LVMT)	22
La situation des mobilités en Ile-de-France révèle, en les accentuant, les dynamiques et les contrastes observés sur l'ensemble du territoire français (Source : A. Aguiléra – IFSTTAR – LVMT)	23
.....	24
Les enjeux d'organisation de la mobilité n'ont pas les mêmes priorités selon les catégories de territoires et leurs dynamiques d'évolution (Source : O. Paul-Dubois-Taine – G. Bourgeois).....	24
Les perspectives ouvertes par les services de véhicules autonomes peuvent emprunter deux trajectoires distinctes aux effets très contrastés (Source : A. Aguiléra – IFSTTAR – LVMT).....	26
La présence de voitures autonomes dans un territoire urbain dense serait <i>a priori</i> un facteur d'encombrement supplémentaire (Source : O. Paul-Dubois-Taine).....	27
CHAPITRE 3 – DES CONDITIONS TECHNIQUES ET SOCIALES A REUNIR.....	28
La sécurité des systèmes de conduite automatisée repose sur un nouveau partage des responsabilités entre les acteurs du transport, qui restent à clarifier (Source : IESF – VEDECOM)	28
La gestion des routes et des rues devra être adaptée aux conditions de circulation et de stationnement des véhicules autonomes (Source : IESF – VEDECOM).....	29
Les politiques de développement des véhicules autonomes devront composer avec les incertitudes socio-économiques liées aux usages possibles de ces véhicules (Source : Remarques du groupe).....	30
CHAPITRE 4 – DES SCENARIOS POSSIBLES POUR LES TERRITOIRES DU GRAND PARIS.....	33

Comment définir et évaluer l'intérêt socio-économique de services de mobilité utilisant des véhicules à conduite automatisée (Source : G. Bourgeois).....	33
Une flotte de robots-taxis dans le centre dense de l'agglomération parisienne.....	34
Des services de rabattement dans la grande couronne francilienne – L'exemple du plateau de Saclay	36
En contrepoint de la situation parisienne, l'exemple d'une métropole de province : le centre de Lyon et le périurbain de l'Est lyonnais.....	38
Dans une ville moyenne, un réseau de PRT fonctionnant en appui de voies de bus traversantes.....	39
Des véhicules communautaires pour les habitants de territoires isolés.....	40
CHAPITRE 5 – LA PLACE DES VEHICULES AUTONOMES POUR REMODELER L'ESPACE URBAIN	41
Les véhicules autonomes devront s'insérer dans des systèmes de mobilité urbaine constitués d'enchaînements, d'intermodalités et d'interopérabilité (Source : D. Rouillard).....	41
Comme tous les autres systèmes de transport, les véhicules autonomes vont utiliser une partie de l'espace urbain pour la circulation, le stationnement, l'énergie, la maintenance... (Source : O. Paul-Dubois-Taine, D. Rouillard)	42
Dans la ville dense, la qualité urbaine du véhicule autonome est sa capacité d'insertion et de requalification de l'espace public (Source : D. Rouillard)	43
A l'échelle du Grand Paris, l'organisation des systèmes d'accès aux pôles d'échanges intermodaux sera la condition essentielle d'amélioration des déplacements « porte-à-porte » (Source : D. Rouillard)	44
Dans des territoires périurbains, le véhicule autonome aura une fonction réparatrice de la « ville morcelée » : un urbanisme des déplacements à la place d'un urbanisme spatial (Source : D. Rouillard)	45
Croissance ou décroissance du trafic et du stationnement automobile : deux trajectoires possibles (Source : O. Paul-Dubois-Taine).....	45
Concentration ou dispersion ? Une opposition dépassée (Source : D. Rouillard)	46
CHAPITRE 6 – LES IMPACTS GLOBAUX SUR LES MOBILITES DU GRAND PARIS	48
ENSEIGNEMENTS ET SUITES PRECONISEES.....	49
ANNEXE – DES BESOINS D'ETUDES COMPLEMENTAIRES	50
BIBLIOGRAPHIE	51

RESUME - SYNTHÈSE

1. DES BESOINS DE MOBILITÉ AUXQUELS PEUVENT REpondre LES VÉHICULES AUTONOMES

Sécurité, rapidité, fiabilité, flexibilité, confort... chacun souhaite maîtriser au mieux sa mobilité pour exercer ses activités, accéder aux services qui lui sont nécessaires ou qui contribuent à son bien-être :

- Sous les contraintes de temps et d'argent, qui limitent le nombre et la durée des déplacements au cours d'une journée ;
- En organisant au mieux les enchaînements de trajets (à pied, en voiture, en transports en commun...) compte tenu de leur flexibilité, leur disponibilité (attentes), leur confort, leur fiabilité.

Dans la perspective – considérée comme une base de travail – où le processus d'expérimentation / diffusion des systèmes de conduite automatisée de véhicules (*Driving automation systems*) progresse très rapidement (les constructeurs et opérateurs numériques annoncent un délai de 5 ans), l'adaptation sociale des conditions d'usage pourrait notamment se développer à partir des catégories de véhicules autonomes apportant les services suivants :

- Offrir du temps de transport utile (de qualité) en libérant des tâches de conduite les utilisateurs de **véhicules personnels à conduite automatisée** utilisables en mode d'autonomie partielle ou totale sur certains réseaux routiers, ayant vocation à aller partout sans limitation de vitesse ;
- Assurer un transport porte-à-porte aux personnes ne disposant pas d'une voiture individuelle, par des **services de robots-taxis** utilisables en mode d'autonomie partielle ou totale sur certains territoires ou itinéraires routiers ;
- Proposer un transport collectif à forte fréquence (notamment dans les périphéries à faible densité) par **des services de navettes collectives autonomes**, (véhicules spécifiquement urbains à vitesse limitée), aptes à circuler sur des itinéraires sécurisés, notamment pour le rabattement vers des stations de transports massifiés (RER, métro, tramway).

D'autres services automatisés devraient également se développer, tels que les lignes de bus sur axes urbains renforcés, les véhicules de logistique urbaine, les transports routiers à longue distance.

Conditions économiques

Partant de ces prérequis techniques, les conditions socio-économiques du développement des véhicules autonomes ne sont pas évidentes :

- Le véhicule personnel à conduite automatisée, au coût d'usage plus élevé que celui des véhicules neufs de même catégorie, serait plutôt destiné à des clientèles à pouvoir d'achat élevé, ou à celles des professionnels mobiles (commerciaux, artisans, services publics...) ;
- Le coût total de possession (*TCO – Total Cost of Ownership*) d'un robot-taxi sera très inférieur à celui d'un taxi ou d'un VTC avec conducteur. Il restera cependant très supérieur à celui d'un véhicule particulier (entretien et assurances, redistribution à vide, plateforme de gestion) ;
- Les navettes autonomes pourraient compléter ou remplacer les transports collectifs classiques à faible clientèle, à condition d'optimiser le couple taux de remplissage / fréquence selon la demande ainsi que les circuits avec plus de véhicules mais plus petits...

Il s'agit donc de préparer le développement des véhicules autonomes en canalisant l'expérimentation des projets les plus divers pour garantir à terme leur interopérabilité territoriale et leur viabilité économique. La nécessaire régulation technique des flux de véhicules autonomes dans la ville pourrait être une première étape vers la gestion collective des flux de mobilité automobile dans les espaces urbains encombrés.

2. DES SERVICES DE VÉHICULES AUTONOMES ADAPTES A CHAQUE TERRITOIRE

Les politiques locales de déplacement et d'aménagement urbain s'efforcent de satisfaire les besoins de mobilité, dans la limite des possibilités ou des contraintes liées à l'environnement (transition énergétique, pollution locale), à l'encombrement du trafic et au partage de l'espace urbain.

La voiture particulière, dont l'usage est aujourd'hui dominant, occupe dans les systèmes de mobilité une place spécifique à chaque catégorie de territoires :

- Une utilisation minoritaire dans les cœurs des grandes agglomérations denses (comme la Ville de Paris et la zone métro proche) ;
- Une domination absolue dans les territoires isolés d'urbanisation dispersée ;
- Une prédominance dans des périphéries urbaines proches (comme le Plateau de Saclay), qui n'est battue en brèche que pour des trajets réalisables de bout en bout par des transports collectifs rapides (métro, tramway).

En l'absence de politiques volontaristes d'aménagement et de mobilité, le remplacement du parc actuel par une majorité de véhicules individuels automatisés (gagnant en fluidité de trafic, en facilité d'usage, en sécurité et en confort) aurait des conséquences lourdes sur le volume de déplacements en automobile et sur les choix de localisation résidentielle des ménages ayant la possibilité d'utiliser un véhicule autonome.

Quels en seraient les répercussions sur les formes urbaines (localisations résidentielles), sur les distances domicile-travail (qui pourraient augmenter), sur la localisation des activités économiques et l'organisation des activités quotidiennes des ménages, qui déterminent leurs besoins de mobilité ?

Afin de limiter ces risques, les politiques publiques pourront agir sur la réglementation et la tarification des véhicules autonomes selon leurs usages, notamment dans les territoires denses où le partage des véhicules devient une réponse face à la congestion automobile.

Ce qui conduirait à favoriser l'accueil et l'insertion, dans les territoires, de systèmes collectifs, partiellement ou totalement autonomes, dès lors qu'ils améliorent la qualité des services existants sans augmenter l'encombrement de l'espace, comme le proposent les exemples présentés ci-après.

Ces contributions du véhicule autonome à l'aménagement de la ville et à la qualité de l'espace collectif seraient un facteur d'attractivité / compétitivité des territoires urbains (à l'instar des tramways mis en service en France au cours de 30 dernières années).

3. DES CONDITIONS TECHNIQUES ET SOCIALES A REUNIR

La sécurité des systèmes de conduite automatisée repose sur un nouveau partage des responsabilités entre les acteurs du transport, qui restent à clarifier : modification des règles internationales du Code de la route (Convention de Vienne), nouvelles responsabilités des constructeurs, des opérateurs-gestionnaires de flottes de véhicules, des autorités de police de l'espace public.

Les autorités publiques devront définir les règles techniques et sociales du système : la certification des logiciels d'automatisation (dont les algorithmes cachés posent des problèmes éthiques), la cartographie numérique et sa mise à jour par des dispositifs de gestion du trafic, les communications sol-véhicule et leur cyber-sécurité, la lisibilité des réseaux routiers « sécurisés » pour la conduite automatisée, les précautions en matière de risques de délinquance ou d'attentats...

La gestion des routes et des rues devra être adaptée aux conditions de circulation et de stationnement des véhicules autonomes.

Comment gérer la circulation et le stationnement des voitures autonomes, dont les véhicules à vide devront se redistribuer entre les lieux de chargement, les lieux d'attente (stationnements de courte durée) et les lieux de garage (stationnements de longue durée, rechargement, maintenance). Faudra-t-il réserver des espaces de stationnement dédiés ? Comment contrôler les règles de circulation et de stationnement, pour identifier, interpeller ou intercepter un véhicule ? Faut-il imposer la motorisation électrique des véhicules à conduite automatisée dans les périmètres urbains ?

Dans quelles conditions techniques les véhicules autonomes pourront circuler sur toutes les infrastructures routières ? Et moyennant quelles adaptations des réseaux de voies urbaines et périurbaines ? Nous ne disposons

pas aujourd'hui d'une vision documentée sur les contraintes liées à la sécurité des routes et des rues, ou à l'usage social des espaces circulés par les véhicules à conduite automatisée, qui conditionnera leurs domaines d'usage.

Les politiques de développement des véhicules autonomes devront composer avec les risques socio-économiques liés aux usages possibles de ces véhicules.

Le paradigme technologique actuel (qui associe des capteurs, une cartographie embarquée et une intelligence artificielle) permettra-t-il, et à quelles échéances, la circulation des véhicules en totale autonomie sur la totalité des voies carrossables, sans aménagements préalables ?

Par exemple, la période transitoire où les véhicules ne dépasseraient pas le niveau 4 impliquerait à la fois la limitation du champ d'utilisation (sur des itinéraires de catégories d'infrastructures sécurisées) et l'intervention d'un gestionnaire (ou superviseur) responsable en cas de circulation sans conducteur humain à bord.

La pertinence des modèles relatifs aux comportements des acteurs économiques devra être testée.

L'incertitude sur les coûts de production-gestion-fiscalité des véhicules autonomes, très dépendants de leurs modes d'usage (individuel, collectif ou partagé), pourrait peser sur le choix des acquéreurs (particuliers ou professionnels).

La perception par les usagers des avantages de confort apportés par la voiture à conduite automatisée va conditionner sa commercialisation (selon que la conduite automobile est perçue comme un plaisir ou comme une contrainte). Il en est de même pour l'attrait ou la peur du robot.

Les perspectives de concurrence des nouveaux services de transport en véhicules autonomes avec ceux des autres modes de transport massifiés ou non (voiture privée, bus, métro, taxis, autobus...), pourront conduire à des choix de modes de déplacement très variables, selon le lieu, l'horaire, et surtout selon les tarifications publiques adoptées.

Le développement de nouveaux services de transport en véhicule autonome à l'étranger pourrait aussi beaucoup influencer le développement de tels services en France.

4. DES SCENARIOS POSSIBLES POUR LES TERRITOIRES DU GRAND PARIS

Les modèles économiques des nouveaux services de véhicules à conduite automatisée devront prendre en compte, pour chaque type de déplacements, les critères croisés du choix modal des voyageurs : durée porte-à-porte combinant la marche à pied, la voiture et/ou le transport en commun, ruptures de charge, valeur du temps de transport « utile », programme d'activités au cours d'une journée... Le coût monétaire du déplacement (déterminé en partie par la fiscalité et la tarification publiques), intervient également dans ces choix. Ce rapport présente une évaluation sommaire des avantages / inconvénients de chacune des solutions envisagées.

Dans le cœur de l'agglomération parisienne (zone métro à forte densité), le transport en voiture individuelle, dont l'usage est fortement dissuadé, est de moins en moins en situation de concurrencer le transport public, la marche à pied ou le vélo. Le marché de la voiture à conduite automatisée serait alors celui des transports publics particuliers de personnes (TPPP) : soit avec des plateformes de réservation de VTC (de type Uber) gérant une flotte de robots-taxis, à condition que ces véhicules puissent utiliser la majeure partie des rues de la capitale ; soit en instituant des quartiers desservis exclusivement par des véhicules autorisés, aptes à y circuler en conduite automatisée. Avec, en période transitoire, des véhicules en libre-service utilisant des réseaux sécurisés dont le concept actuel (Autolib) serait amélioré par la redistribution automatique des véhicules à vide entre les bornes de location / restitution.

Dans des territoires périphériques, comme le plateau de Saclay, les services de transport collectif par navettes sans conducteur n'apportent que peu d'avantages par rapport à la voiture individuelle pour les déplacements locaux de proximité, car la congestion est limitée et le stationnement reste facile. Ils se révèlent beaucoup plus pertinents pour le rabattement vers les gares de transport collectif rapide (RER, métro), en vue d'accéder au centre de Paris et aux pôles d'activité denses de l'agglomération. Différents types de liaisons vers les gares pourraient être expérimentées pour que ce territoire de Saclay soit moins dépendant de la voiture particulière, telles que : des

navettes de véhicules autonomes qui complètent (notamment en heures creuses) les lignes d'autobus actuelles, voire remplacent celles qui sont trop peu fréquentées ; un maillage de robots-taxis (*Personal Rapid Transit*) utilisant un réseau routier sécurisé ; des voitures automatisées en libre-service utilisables 24 h / 24.

Une démarche similaire peut être envisagée dans la **Métropole du Grand Lyon** où des services de rabattement, suivant l'exemple du Plateau de Saclay peuvent être développés sur le territoire périurbain de l'est lyonnais, autour des stations de la ligne de tramway T3 reliant Lyon-Part-Dieu à Meyzieu.

Pour les villes secondaires situées dans la mouvance du Grand Paris, comme Melun, Chartres ou Mantes qui pourraient disposer d'une infrastructure de transport en site propre (tramway ou BHNS – Bus à Haut Niveau de Service) irriguant la partie centrale dense de l'agglomération, un réseau de robots-taxis collectifs (de type *Personal Rapid Transit*) pourrait être conçu comme une composante du réseau général de transports collectifs pour une desserte 24h / 24 des quartiers périphériques, voire une substitution complète dans les cas où la circulation urbaine reste fluide en zone centrale.

Enfin, dans les territoires ruraux ou semi urbains isolés d'Ile-de-France, comme le Parc naturel régional du Vexin, des services de proximité assurés par des robots-taxis pourraient se substituer dans de meilleures conditions économiques aux actuels services de transport public, puis être étendus, notamment à des personnes âgées ou isolées ne disposant pas de voiture, pour leur permettre d'accéder aux centres d'activité (commerce, santé...) les plus proches.

5. LA PLACE DU VEHICULE AUTONOME POUR REMODELER L'ESPACE URBAIN

Aucun système de transport individuel ne peut se substituer totalement aux systèmes de transport de masse ! Les véhicules autonomes devront s'insérer dans des systèmes de mobilité urbaine constitués d'enchaînements, d'intermodalités et d'interopérabilité.

Le véhicule autonome rend possible une nouvelle approche de l'espace urbain, notamment dans les espaces de proximité des grands axes de transport collectif. Avec trois questions :

- 1) Celle de la *coprésence* ou du partage de l'espace de circulation ou d'arrêt (pose / dépose) entre différents vecteurs de mobilité ;
- 2) Celle de l'*intermodalité*, ou du passage (ou pas) d'un mode de transport à un autre ;
- 3) Celle de l'*attraction* opérée par les centralités périurbaines (notamment commerciales) et les stations intermodales, revalorisées par le développement du partage du véhicule automate et de la fonction de rabattement.

Dans la ville dense, la qualité urbaine du véhicule autonome est sa capacité d'insertion et de requalification de l'espace public : silence, connectivité (l'Internet des objets), serviciel (partageable, échangeable), propreté, vitesse maîtrisée, adaptabilité à toutes dimensions ou encombrements possibles... L'espace public pourra ainsi être redéfini ou réaffecté à partir des nouveaux objets mobiles capables de livrer des biens et de déposer des personnes : et notamment, la possibilité d'aller stationner à distance des lieux de prise ou de dépose des voyageurs.

Dans les territoires périurbains, qui sont la condition de fait de l'urbanisme du Grand Paris, le véhicule autonome aura une fonction « réparatrice pour la ville distendue », par la transformation possible d'un urbanisme des déplacements en remplacement d'un urbanisme spatial. Le véhicule automate participera, comme les autres véhicules écologiques, à une redéfinition et une requalification de l'espace public et de l'aménagement de la ville, dans des territoires structurés autour des pôles d'activité et des gares d'échange intermodales. Les grands parkings-relais, très demandés par la population éloignée des gares, et consommateurs d'un espace urbain précieux, ne seront plus nécessaires, sauf pour les déplacements automobiles à longue distance

Croissance ou décroissance du trafic et du stationnement automobile ?

En permettant aux usagers de bénéficier de systèmes de transport porte-à-porte sans disposer de voiture personnelle, à des coûts inférieurs au taxi individuel ou partagé (comme dans les exemples présentés ci-dessus), le

véhicule autonome pourrait accompagner et faciliter la transition d'un parc automobile à usage personnel vers un parc moins important, mais utilisé de façon partagée et donc plus intensive. Déjà observée dans les grandes agglomérations denses, cette « démotorisation » des ménages faciliterait à la fois l'entretien et le renouvellement régulier du parc, et diminuerait l'encombrement de l'espace au profit d'usages plus « urbains » et écologiques, dans une perspective de relative stabilité des véhicules-kilomètres parcourus.

Mais cette trajectoire vertueuse n'est pas acquise : on peut imaginer, à l'inverse, une augmentation des kilomètres, parcourus, induite par les facilités d'usage des véhicules autonomes, par exemple pour le domicile-travail, pour les déplacements touristiques à moyenne-longue distance, ou pour les personnes ayant aujourd'hui peu de possibilités de déplacement (adolescents, personnes âgées). Cela pourrait conduire au développement de l'habitat et des activités dans des aires périurbaines d'attractivité des autoroutes, et pas seulement dans les aires de proximité des gares ferroviaires bénéficiant de rabattement de véhicules autonomes.

Concentration ou dispersion ? Une opposition dépassée

A partir de ces deux « attractions » – centralités périurbaines et polarités intermodales – on peut imaginer alors les effets de concentration accrue sur des pôles de plus en plus attractifs, au détriment d'autres pôles moins résistants qui péricliteraient, conduisant à une polarisation renforcée ou renouvelée de l'urbanisation, allant de pair avec le développement de l'étalement urbain ouvert par une plus grande accessibilité.

L'arbitrage / l'évolution des modèles ci-dessus dépendra du régulateur via sa capacité à agir sur l'accès ou pas à certaines zones et sur la tarification / fiscalité (sous toutes ses formes). Son intervention sera déterminante sur le modèle de mobilité final et son équilibre entre le transport collectif « classique » et le robot-taxi.

6. LES IMPACTS GLOBAUX SUR LES MOBILITES DU GRAND PARIS

Quels effets globaux sur l'organisation de la mobilité quotidienne peut-on attendre d'un développement des services de véhicules autonomes envisagés, selon la topologie des déplacements ?

Les déplacements dans le cœur de l'agglomération continueront à s'effectuer principalement à pied et en métro. Les véhicules individuels (autonomes ou non), prendront la place que les autorités territoriales décideront de leur laisser, compte tenu de l'encombrement de l'espace. La mise en place d'un système de robots-taxis à des coûts inférieurs aux VTC actuels, si elle s'accompagne de mesures contraignantes sur l'usage de la voiture personnelle (tarification du stationnement résidentiel) serait une incitation pour les usagers à limiter leur motorisation et libérer de l'espace de stationnement pour d'autres usages.

Les déplacements radiaux entre les territoires périphériques et le cœur de l'agglomération, dont une partie importante emprunte les transports rapides massifiés (RER, métro et tramway), pourraient se transférer de la voiture personnelle vers le transport collectif, en utilisant des robots-taxis (*Personnal Rapid Transit*) ou des navettes de transport collectif autonome pour accéder aux gares d'échange. Ce qui, moyennant un système de tarification adapté, augmenterait significativement la clientèle des RER ou métros automatiques comme la ligne 18 du Grand Paris Express.

Les déplacements de proximité internes à ces territoires périphériques continueront à utiliser massivement la voiture personnelle, mais ils disposeront de solutions de transport collectif nettement améliorées grâce aux réseaux de rabattement vers les gares. Il en serait de même pour les déplacements de proximité des villes secondaires.

Les déplacements périphériques à plus longue distance, effectués majoritairement en voiture, bénéficieront des avantages liés au temps de conduite en mode automatisé (possibilité d'abandonner le volant sur le trajet encombré). Cependant, grâce aux nouvelles facilités de rabattement, une partie plus importante des déplacements aurait intérêt à utiliser les transports collectifs massifiés (métro et RER), pour accéder aux activités situées dans des pôles d'échanges périphériques.

Pour les trajets à longue distance, la voiture en mode automatisé pourra s'insérer dans l'espace urbain aménagé, selon les mêmes modalités et contraintes d'utilisation que celles de la voiture individuelle. A mesure de l'adaptation

des réseaux de voirie urbaine et péri-urbaine, le conducteur pourra « lâcher le volant » sur une part plus importante du trajet.

Une stratégie possible

Concentrer les efforts sur des « territoires d'expérimentation à grande échelle » : une zone centrale avec des services de robots-taxis, un territoire périphérique desservi par le Grand Paris Express (qui pourrait être le plateau de Saclay), une ville « isolée » proche pour créer un vrai réseau de type *Personal Rapid Transit*, une zone à dominante rurale, comme le Vexin pour des robots-taxis.

INTRODUCTION – PASSER DE L'INVENTION TECHNIQUE A L'APPROPRIATION SOCIALE

Il y a un siècle environ, la diffusion de véhicules particuliers était introduite à grande échelle dans les sociétés occidentales.

Conjuguée avec l'expansion économique des Trente Glorieuses, cette innovation majeure a profondément bouleversé nos modes de vie et nos territoires : nouvel espace de liberté, l'usage de la voiture individuelle a rapidement supplanté le chemin de fer comme principal moyen d'accès au tourisme et de déplacement à moyenne distance, encouragé par la construction d'un vaste réseau d'autoroutes ; il a bouleversé l'organisation des villes, historiquement fondée sur un habitat aggloméré dense et sur la marche à pied ; les activités et notamment les commerces se sont déconcentrés en périphérie ; l'habitat périurbain s'est implanté au voisinage des anciens villages plus éloignés. Pour éviter leur dépérissement, organiser leur développement et lutter contre l'envahissement de l'automobile, les villes historiques ont dû reconquérir l'espace urbain et investir massivement dans des transports collectifs en site propre, RER, métro et tramway...

Une telle aventure pourrait-elle se répéter avec l'arrivée sur le marché des véhicules autonomes que le développement accéléré des technologies d'intelligence artificielle permet d'envisager dans un avenir proche, et ce dans un contexte technologique marqué par la transition énergétique (le véhicule électrique) et la transition numérique (les objets connectés) ?

Les potentialités des véhicules autonomes, aptes à circuler sans conducteur sur l'ensemble des réseaux routiers interurbains et urbains, sont considérables : réduction du coût des déplacements, amélioration de l'accessibilité des territoires, augmentation de la capacité et de la sécurité des réseaux routiers... Mais par qui et comment seront-elles utilisées ? Quels seront leurs implications de long terme : sur le développement des territoires ; sur les trafics, les consommations d'énergie et l'occupation de l'espace collectif ; sur la répartition entre transport privé et transport public et sur les modes de vie urbains ? En quoi les politiques publiques d'aménagement urbain et de régulation des mobilités seront-elles impactées ?



Pour explorer les implications socio-économiques à long terme de cette révolution technologique, la démarche de ce rapport d'étape a été fondée sur la connaissance des dynamiques de comportements sociaux, de développement des territoires urbains et de systèmes de mobilité, éprouvées selon différents modèles territoriaux prédictifs.

Réalisée dans un temps limité, cette étude n'a pas permis d'approfondir un certain nombre de questions relatives aux conditions socio-économiques de développement et d'appropriation sociale des véhicules autonomes, qui justifieraient des investigations complémentaires.

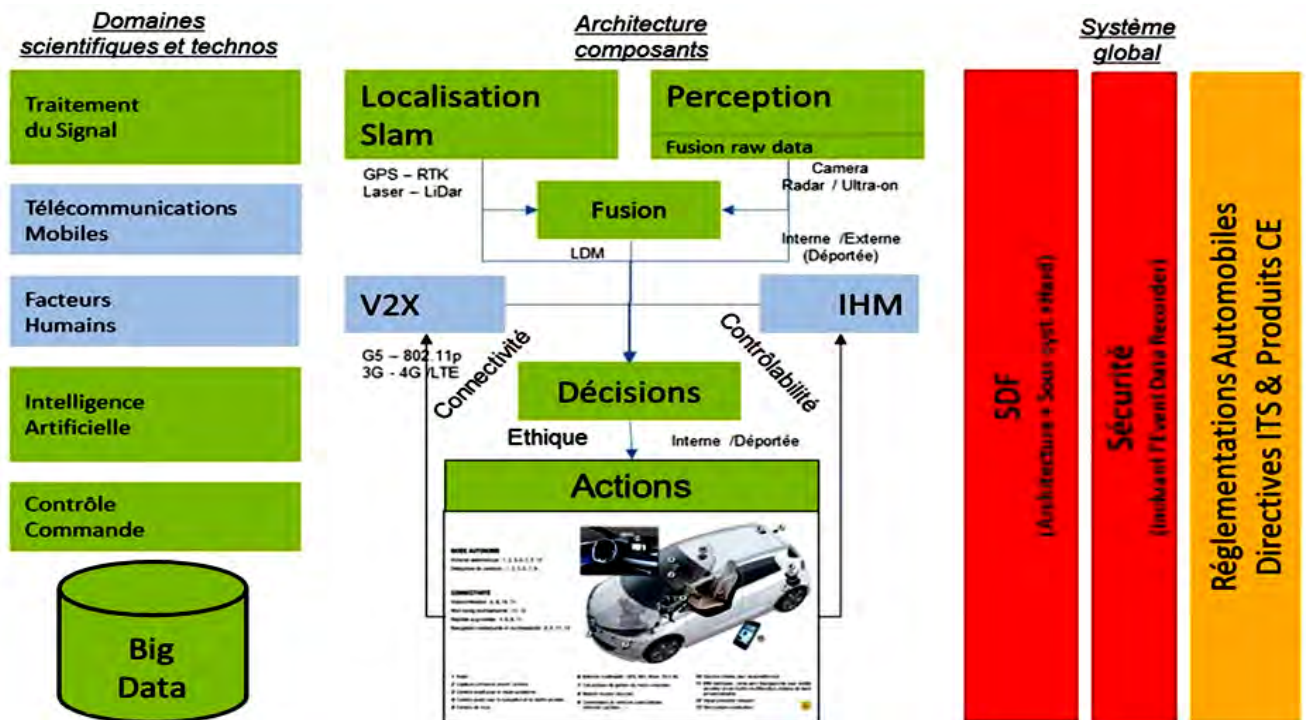
La présentation s'efforce d'illustrer la diversité des modalités d'usage des véhicules autonomes, selon les caractéristiques des territoires. Les illustrations ont été notamment ciblées sur des territoires du Grand Paris, afin de mettre en évidence des effets possibles de complémentarité ou de substitution avec les transports collectifs existants ou programmés sur ces territoires.

CHAPITRE 1 – DES BESOINS DE MOBILITE AUXQUELS PEUVENT REpondre LES VEHICULES AUTONOMES

Le processus de constitution de systèmes d'intelligence artificielle pour la conduite automatisée des véhicules sera progressif et complexe (Source : VEDECOM – IESF)

Schématiquement, un système de conduite automatisée associe des « blocs fonctionnels » capables de capter, percevoir, analyser, communiquer, planifier, prendre des décisions et agir, en vue de réaliser une mission donnée par un opérateur humain (voir image ci-dessous).

L'architecture d'un système à conduite déléguée embarqué



Les dernières évolutions en termes de calculateurs dédiés rendent possible des algorithmes fondés sur l'intelligence artificielle, capables d'apprendre tous seuls par accumulation d'expériences (apprentissage automatique ou *machine learning*) et ainsi de réaliser des tâches jusqu'ici impossibles à accomplir.

Le système d'intelligence artificielle en charge de la conduite doit s'appuyer sur trois fonctions complémentaires :

- Des capteurs embarqués pour observer en temps réel la route et son environnement immédiat (les yeux du conducteur) ;
- Une cartographie numérique de l'itinéraire (*Local Dynamic Map*) pour connaître et anticiper les difficultés potentielles de la conduite (l'expérience du conducteur-navigateur liée à la lecture de son environnement) sur un parcours programmé ;
- Des interventions externes lorsque l'intelligence programmée n'est pas en mesure de trouver une réponse à une perturbation de conduite (changement de parcours, panne ou accident...), et qui nécessitent : soit une reprise en main du conducteur ; soit, en l'absence d'une personne derrière le volant, l'intervention d'un responsable représentant le gérant du véhicule.

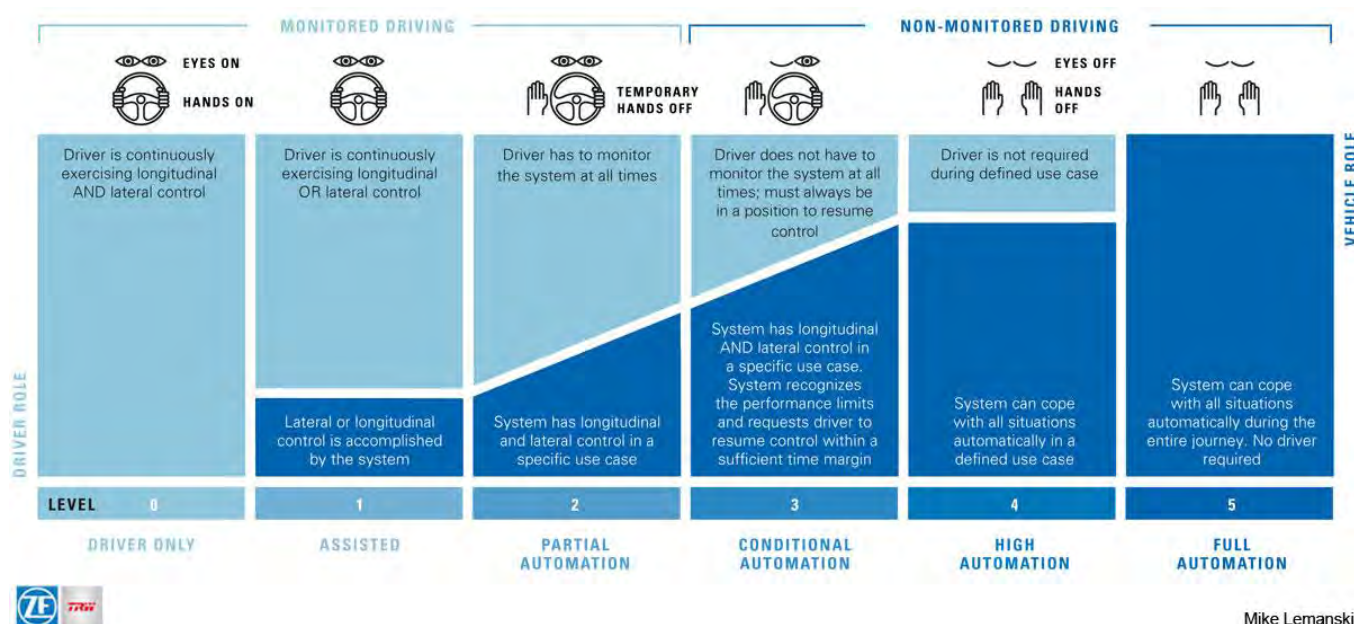
Sur le plan technologique, les expérimentations de véhicules à conduite automatisée en cours ou prévues dans les prochaines années devront nous éclairer sur les perspectives de développement de ces véhicules, compte tenu des performances croisées des trois facteurs qui conditionnent la sécurité de sa conduite : le système d'intelligence embarquée, (capteurs, *Local Dynamic Map*) ; la lisibilité de la route (maintenance et exploitation dynamique,

diagnostic et planification de la conduite), et l'intervention d'un « gestionnaire » (conducteur à bord ou système de supervision au sol).

Les possibilités d'utilisation du véhicule autonome dépendront à la fois de son niveau d'automatisation, c'est-à-dire de la part des tâches de conduite déléguables à un système de pilotage automatique, et des réseaux routiers sur lesquels ces délégations pourront être effectivement autorisées (Source : VEDECOM)

Pour être autonome, un système de conduite automatisée (ou déléguée) doit être en mesure de capter, percevoir, analyser, communiquer, planifier, prendre des décisions et agir afin de réaliser une mission donnée par un opérateur humain. Par exemple : la conduite sur autoroute pour une longue distance (monotonie, vitesse constante) ; la conduite en situation saturée (basse vitesse, environnement contraint).

Une représentation des six niveaux d'automatisation SAE



Source IFSTTAR : VA – Vie robotmobile 2 mai 2017

Aux niveaux 1 et 2, le conducteur conserve le maniement du véhicule, tout en recevant progressivement diverses aides à la conduite (limiteur de vitesse, régulateur de vitesse, GPS, guidage, etc.). A partir du niveau 3, le conducteur ne conduit plus, mais il peut être sollicité à tout moment pour reprendre la main. Au niveau 4, le conducteur ne conduit plus, et le système, qui en prend le relais dans certaines conditions, doit être en mesure de placer le véhicule en situation de sécurité jusqu'à ce que le conducteur reprenne la main (pour ces niveaux 2 à 4, une mise en sécurité minimum devrait être assurée). Avec le niveau 5, on entre dans le domaine des robots et des drones où la fonction d'autonomie peut être actionnée à tout instant dans toutes les situations contrairement au niveau 4 où cette fonction ne peut être utilisée que dans un champ spécifique (d'itinéraires ou de catégories d'infrastructures) fixé par l'ODD (*Operational Design Domain*).

Ces fonctions d'autonomisation croissante se développent rapidement sur des voies partiellement et totalement dédiées au trafic routier : moyennant une signalisation horizontale adaptée et un repérage des perturbations de conduite signalées par automatismes (barrières de péage, chantiers, accès et sorties...), des véhicules sont aujourd'hui en mesure de circuler sur des autoroutes avec délégation de conduite et reprise en main du conducteur (niveaux 2 à 4).

Il n'en est pas de même pour la circulation de véhicules sans conducteur dans des voies urbaines où se mélangent des piétons et des cyclistes, avec des problèmes de lisibilité des feux de signalisation aux intersections et d'intégration des pratiques de circulation en ville (véhicule de livraison arrêté en double file, par exemple). Ainsi les

premières expérimentations de navettes autonomes (niveau 5), sans conducteur à bord s'effectuent aujourd'hui à très faible vitesse et sur des itinéraires préalablement « sécurisés ».

A un horizon de 5 ans, les experts estiment réaliste de faire circuler des véhicules à automatisation élevée (niveau 4) sur les autoroutes (la roadmap NFI annonce le "Highway Pilot" à horizon 2022). Tout comme le "Highway Pilot", les navettes autonomes (sur itinéraires prédéfinis et limités), supervisées en déporté et considérées comme du niveau 4 sont envisagées autour de la même échéance.

En revanche les nouvelles définitions de la grille SAE positionnent le niveau 5 (tout contexte) à une échéance beaucoup plus lointaine, après 2030. Ce temps long sera nécessaire pour que des véhicules sans conducteur à bord puissent circuler sur la majeure partie du réseau routier, et notamment les rues et voies de desserte des habitations et des activités : il faudra non seulement que la technologie des véhicules soit arrivée à sa pleine maturité, mais aussi que l'ensemble des infrastructures routières soit mis aux nouvelles normes qui s'avéreront nécessaires (la « route numérique »).

*

* *

Nous nous plaçons, dans la suite de ce rapport, dans un contexte où les limitations technologiques évoquées précédemment ont été résolues, et par conséquent sont disponibles sur le marché des véhicules de tout niveau d'automatisation, jusqu'au niveau 5 de la classification SAE actuelle, c'est à dire autonomes dans toutes les conditions.

Une question qui devra être abordée dans de futurs travaux est celle du surcoût de la technologie embarquée dans un véhicule. S'il est acquis que ce surcoût est significatif dans une période transitoire (> 15% du coût de production d'un véhicule individuel ou de moins de 12 places), des débats existent sur le surcoût à long terme.

Certains arguent que l'électronique et la technologie nécessaires constitueront longtemps un renchérissement significatif du véhicule, toutes choses égales par ailleurs, tandis que d'autres arguent que l'histoire de l'automobile est faite de banalisation des technologies les plus exclusives et coûteuses, qu'il s'agisse de sécurité ou de motorisation.

Parmi les scénarios possibles, on peut citer celui (annoncée par Baidu) d'un Autopilot en logiciel libre (open source) avec ses conséquences sur la maîtrise des données produites par les robots, ou celui d'une très forte baisse du coût total de possession (TCO) des véhicules électriques (potentiel d'usage de 800 000 km au lieu de 200 000 km) qui déclasseraient très rapidement les véhicules thermiques (<http://www.financialsense.com/major-disruption-coming-decimating-industries-report>).

Sécurité, rapidité, fiabilité, flexibilité, confort... chacun souhaite maîtriser au mieux sa mobilité pour exercer ses activités, accéder aux services qui lui sont nécessaires ou qui contribuent à son bien-être

La voiture particulière est plébiscitée pour des trajets de proximité de porte-à-porte, lorsqu'il n'y pas trop de problèmes de circulation et de stationnement ; ainsi que pour les déplacements interurbains de moyenne distance.

Le transport ferroviaire est recherché pour son confort et sa vitesse sur des longues distances, à conditions de disposer de correspondances et trajets terminaux satisfaisants, et d'offrir des liaisons fréquentes et fiables.

La marche à pied ou le vélo sont très utilisés sur des déplacements de faible distance, à conditions que les cheminements piétons et 2 roues soient agréables et sécurisés. Les vélos électriques (et leur déclinaison en libre-service) étendent significativement le rayon d'action de ces modes pour le plus grand nombre, 5 km pour de courts trajets (< 15 mn), et 20 km pour de plus longs trajets (1h).

Dans les grandes agglomérations denses, d'autres services de transports et leurs combinaisons (autobus, taxis, VTC, Autolib...) apportent des solutions de déplacement alternatives répondant à des besoins spécifiques, selon les populations concernées, les trajets, les horaires....

Dans les territoires périphériques et ruraux à faible densité, la majeure partie de la population est captive de l'usage de l'automobile pour accéder à ses activités quotidiennes. Mais tout le monde ne dispose pas d'une voiture ou n'est pas en situation de l'utiliser (personnes âgées).

Ainsi chacun organise sa mobilité avec les moyens dont il dispose :

- Sous les contraintes de temps, qui limitent le nombre et la durée des déplacements au cours d'une journée ; et les contraintes financières liées au coût d'usage de la voiture ; et dans les villes denses, au coût du stationnement ;
- En sélectionnant les enchaînements de trajets (à pied, en voiture, en transports en commun...) compte tenu de leur flexibilité, leur disponibilité (attentes), leur confort, leur fiabilité.

Quelques services auxquels peut conduire à terme le développement du véhicule autonome (Source : IESF – G. Bourgeois)

Les applications potentielles des véhicules autonomes excitent l'imagination et les cas d'usage proposés débordent largement du champ de la mobilité des personnes.

La logistique est un domaine d'application très important que nous n'avons pas approfondi dans le cadre de ce travail, mais sont évoqués par exemple l'automatisation du fret longue distance, des véhicules roulants et autonomes dédiés à la logistique, des drones combinés à d'autres modes de transport.

Le transport public traditionnel sera très certainement affecté par la disponibilité de technologies permettant d'automatiser des bus et des cars, pouvant revitaliser le transport public en Ile-de-France en exploitant le réseau routier principal pour irriguer les territoires les plus reculés et les moins denses d'Ile-de-France.

Enfin des applications sortant du champ de la mobilité sont envisagées, par exemple des véhicules servant principalement à la fourniture d'un service, tout en se déplaçant (ex : coiffeur dans un véhicule se déplaçant avec les clients à bord). Ou bien des véhicules dont la fonction première serait celle d'un bureau ou d'une salle de réunion mobiles.

Pour ce qui est de la stricte mobilité des personnes, nous avons choisi de distinguer trois cas d'usage majeurs autour du véhicule autonome, qui reviennent le plus souvent dans la littérature.

- 1) ***Offrir du temps de transport utile (de qualité) en libérant des tâches de conduite les utilisateurs de véhicules personnels à conduite automatisée utilisables en mode d'autonomie partielle ou totale sur certains réseaux routiers, ayant vocation à aller partout sans limitation de vitesse*** : le véhicule autonome devient un espace convivial roulant où chacun des occupants, conducteur compris, peut vaquer à des occupations choisies. Le temps de conduite n'est plus un temps perdu, mais il devient un temps utile (ce qu'il est déjà pour le train et pour l'autocar).

La commercialisation d'automatismes de conduite dans de nouveaux modèles de véhicules de haut de gamme est immédiatement possible. Mais elle ne se diffusera que très progressivement dans les usages quotidiens de la population, d'abord sur les routes dédiées aux seuls véhicules routiers, et à beaucoup plus long terme, sur les autres routes et rues, progressivement mises aux normes de sécurité jugées nécessaires.

- 2) ***Assurer un transport porte-à-porte aux personnes ne disposant pas d'une voiture individuelle, par des services de robots-taxis utilisables en mode d'autonomie partielle ou totale sur certains territoires ou itinéraires routiers*** ; ces services permettraient à toute une population de bénéficier de leur usage, en allégeant leur coût. Ils transformeraient l'organisation de la vie collective de proximité par des véhicules partagés localement autonomes, permettant l'accès du plus grand nombre à la mobilité, notamment les personnes à mobilité réduite, ainsi que les livraisons et autres services à la personne.

Ces bassins de déplacement devront être au départ équipés du réseau routier sécurisé nécessaire. Ils seraient, en période transitoire, réservés à des territoires restreints et à des services de proximité (par exemple, dans

une petite ville sans réseau de transport public), puis élargis progressivement à de vastes territoires métropolitains et permettant des trajets beaucoup plus longs et diversifiés.

- 3) Proposer un transport collectif à forte fréquence (notamment dans les périphéries à faible densité) par des services de navettes collectives autonomes (véhicules spécifiquement urbains à vitesse limitée), aptes à circuler sur des itinéraires sécurisés :** leur développement apportera des solutions inédites à la mobilité, en complément ou en substitution des transports urbains classiques, là où ils sont insuffisants, défaillants ou trop coûteux.

Ils permettraient notamment la desserte des territoires mal couverts par les transports publics (villes moyennes, zones périurbaines et rurales, dessertes de nuit ou en heures creuses). Ils seraient au début sur des itinéraires préalablement sécurisés (voir exemples ci-dessous).

6 applications - types de transport collectif autonome pour différents contextes urbains

4 applications utilisant des petits véhicules autonomes (navettes, minibus). L'autonomie de conduite permet d'optimiser le coût investissement + exploitation de l'offre de transport et de maintenir un ratio recettes / dépenses acceptable malgré le faible nombre de passagers par véhicule.



La desserte interne des grands sites
Véhicule permettant une desserte interne de grands sites industriels, hospitaliers, universitaires, etc.



La navette du dernier kilomètre
Mode permettant de se rabattre sur une gare ou station de mode lourd (ou de terminer son trajet à partir de là), dans un secteur peu dense.



Le minibus périurbain
Desserte interne de zones résidentielles périurbaines, sous forme de minibus à trajet fixe ou en adaptation dynamique à la demande.



La navette d'interstice
Petit véhicule collectif venant compléter les transports en commun structurants pour des déplacements intra-quartier ou en complément de parkings de protection d'hypercentre

Une application utilisant des autobus autonomes pour permettre un fort renforcement de l'offre à coût constant, sur des axes à potentiel de report modal



L'axe urbain renforcé
Ligne de bus pré-existante dont l'autonomisation permet d'augmenter les fréquences et l'amplitude de service, et d'attirer des non-captifs

Une application basée sur l'autonomisation de conduite de lignes fortes (TCSP, tramway), permettant de diminuer les coûts tout en élargissant les amplitudes de service



La ligne forte autonome
Autonomisation de ligne de transport en commun structurante, voire de transport collectif en site propre

D'autres services automatisés devraient également voir le jour, tels que les lignes de bus sur axes urbains renforcés, les véhicules de logistique urbaine, les transports routiers à longue distance.

Ces services ne pourront se développer qu'à condition de trouver un marché potentiel de développement réaliste à terme

Nous avons considéré trois caractéristiques du modèle économique spécifiques au véhicule autonome :

(1) L'utilisation des véhicules serait organisée sous le contrôle d'un « gestionnaire » qui peut être un individu ou un groupe d'habitants, une entreprise, un exploitant de transports collectifs, un réseau de taxis (ex : service Autolib), avec l'aide d'une plateforme de services. La fonction de « gestionnaire » consiste à assumer la responsabilité opérationnelle du bon fonctionnement des véhicules autonomes, par la maintenance, éventuellement la supervision.

(2) Les coûts totaux de possession (TCO) de ces véhicules pourraient être équilibrés par les avantages directs ou les externalités – apportés par ces services

Le développement d'une nouvelle forme de mobilité est l'opportunité (et c'est une nécessité) de remettre à plat la tarification des mobilités. Parmi les principes qui apparaissent souhaitables et que nous prenons en compte, certains se distinguent :

- Les bénéficiaires des avantages apportés par la conduite autonome – en particulier les utilisateurs – doivent être à même de contribuer aux charges d'investissement et de fonctionnement correspondantes, nonobstant des principes de redistribution et de solidarité qui peuvent améliorer par rapport à l'existant ;
- Il est possible de prendre en compte les intérêts d'un plus grand nombre de bénéficiaires d'externalités (collectivité, entreprises, commerces) pour mieux répartir, plus équitablement et plus dynamiquement, le coût du transport proposé ;
- Les tarifs proposés à l'utilisateur final reflètent davantage le coût complet incluant les externalités, donc plus variable. Les principales externalités affectant un service de véhicule autonome sont : l'occupation de l'espace urbain, l'horaire (lié à la congestion), le mode de propulsion, les émissions de CO₂.

Il faut donc comparer les coûts d'usage des véhicules autonomes partagés avec ceux des moyens de transport concurrents tout en prenant en compte les bénéfices relatifs des différents modes et l'intérêt de différents acteurs pour financer ce mode (voir illustrations au chapitre 4).

(3) Des réseaux territoriaux de circulation et de communication pourraient être adaptés sans dépenses excessives aux véhicules en mode automatisé ; ce qui ne se réalisera que progressivement, sous le contrôle des autorités locales de police de la circulation routière (voir chapitre 5). Cette dernière caractéristique se rapporte certes à la période transitoire où les véhicules autonomes de niveau 5 ne sont pas partout utilisables, mais nous l'avons prise en compte pour les raisons suivantes :

- Cette période n'est pas courte (au moins 10 ans) et elle sera structurante pour le développement de ces services, mais aussi pour l'évolution des autres modes comme le transport public ;
- Des modèles économiques et des acteurs industriels se développeront d'abord dans ce paradigme, avant de jouer un rôle dans un paradigme où le véhicule de niveau 5 est une commodité ;
- Des politiques publiques, des règles de gestion et de fonctionnement, et des investissements urbains (infrastructures, urbanisme, promotion immobilière) seront mis en œuvre au cours de cette période.

Ces nouveaux services apporteront deux disruptions majeures par rapport aux modes de transport actuels, individuels ou collectifs (Source : A. Aguiléra)

La première disruption est la disponibilité d'un véhicule sans obligation d'en assurer la conduite. La notion de « voyageur captif » du transport public sort du paysage. Les jeunes, avant l'âge du permis de conduire, les personnes âgées, qui ne seront plus en situation de conduire, les personnes handicapées seront autant de nouveaux clients des véhicules autonomes, qu'ils soient publics ou privés. Du même coup, les services de transport spécialisés que les pouvoirs publics mettent en place à grands frais pourraient être repensés.

La seconde disruption est le passage de la possession à l'usage partagé d'un véhicule. Au-delà de la dimension économique de la question, c'est de la remise en cause du sentiment de liberté et de sécurité que donne la possession de la voiture particulière qu'il s'agit (« Comme j'ai une voiture dans mon garage, je peux faire ce que je veux quand je veux, y compris amener un enfant aux urgences à 3 heures du matin »), et son remplacement par une relation de confiance avec un service de mobilité (« Si je dois conduire mon enfant aux urgences à 3 heures du matin, j'aurais immédiatement une voiture à ma disposition, et je ne perdrai pas de temps à chercher mon trajet »).

La réalisation de ces disruptions suppose l'accessibilité au plus grand nombre de la technologie et des services associés, ainsi que de dimensionner l'ensemble des systèmes de transport (véhicules autonomes mais aussi transport de masse) pour réellement répondre aux besoins de flexibilité et de fiabilité de l'offre de la part non seulement des habitants des centres villes (les parisiens intra-muros délaissent déjà la possession d'un véhicule), mais de l'ensemble de la population. Les impacts potentiels sur le système de transport vont donc bien au-delà de la fourniture des services à base de véhicules autonomes.

Les conditions économiques de développement des nouveaux services de mobilité envisageables avec les véhicules autonomes sont loin d'être évidentes (Source : G. Bourgeois)

Qui va acquérir les véhicules autonomes et pour faire quoi ?

La réflexion sur l'usage des véhicules autonome devra ainsi se porter sur le futur marché de la « mobilité en tant que service » : comment ce marché fonctionnera-t-il ? Qui seront les donneurs d'ordre ? Quels seront les actifs stratégiques ? Sur quels territoires et dans quelles conditions économiques ces services pourront-ils se développer ?

Quelle sera l'accessibilité de ce type de services, d'un point de vue social, territorial ou économique ? Finalement le véhicule autonome va-t-il rendre plus accessible la « mobilité en tant que service » ou bien renforcer des fractures déjà existantes dans l'accès à la mobilité ?

Les questions clés des modèles de coûts de services de transport, auxquelles les nouveaux services de voitures autonomes ne pourront pas déroger, sont : d'une part, le coût total de possession (TCO) du véhicule qui comprend l'amortissement et l'entretien du capital productif ainsi que son coût d'exploitation (plateforme de gestion, coûts de conduite, énergie, stationnement, péages) ; et, d'autre part, la question du taux d'utilisation de ces véhicules qui détermine le prix de revient au passager transporté.

L'expérience indique que le même service placé dans des conditions très différentes peut déboucher sur des comptes d'exploitation très contrastés. Il est néanmoins possible de donner des ordres de grandeur utiles pour appréhender les domaines de pertinence des véhicules autonomes et des services qu'ils peuvent rendre.

Ce que coûte aujourd'hui la voiture particulière

Le moins contestable est de se référer au barème officiel communiqué chaque année par les services fiscaux pour l'évaluation des frais professionnels : les coûts d'amortissement, d'entretien et d'assurance sont pris en compte, mais pas les coûts de stationnement, ni les coûts de péage. Un ordre de grandeur situe le coût-moyen du kilomètre autour de 0,40 € (avec des écarts importants selon le type et l'âge du véhicule).

Nb de CV	moins de 5 000 km	5 001 à 20 000 km	plus de 20 000 km
3 CV et moins	0,41 x d	(0,245 x d) + 824	0,286 x d
4 CV	0,493 x d	(0,277 x d) + 1 082	0,332 x d
5 CV	0,543 x d	(0,305 x d) + 1 188	0,364 x d
6 CV	0,568 x d	(0,32 x d) + 1 244	0,382 x d
7 CV et plus	0,595 x d	(0,337 x d) + 1 288	0,401 x d

d désigne la distance parcourue en km pendant l'année.

Ce que coûte aujourd'hui le transport collectif

Les valeurs moyennes observées selon les modes de transport apportent des indications significatives. En incluant une part d'amortissement des infrastructures pour les modes qui circulent sur des infrastructures dédiées, on peut retenir les ordres de grandeur suivants par kilomètre parcouru :

- Un RER coûte environ 10 € / km, soit, avec 500 voyageurs, 0,02 € par personne
- Un métro classique coûte environ 8 € / km, soit, avec 200 voyageurs, 0,04 € par personne
- Un VAL ou un tramway coûte environ 6 € / km, soit, avec 100 voyageurs, 0,06 € par personne

- Un bus articulé sur site propre dédié coûte environ 6,5 € / km, soit, avec 60 voyageurs, 0,075 € par personne
- Un autobus classique coûte environ 3 € / km, soit, avec 30 voyageurs en heure de pointe, 0,10 € par personne ; mais s'il transporte seulement 7 à 8 voyageurs (une situation relativement fréquente aux extrémités des lignes, en heure creuse, dans les territoires de faible densité), le coût au voyageur-kilomètre rejoint alors celui de la voiture particulière, autour de 0,40 €.

On retrouve d'ailleurs là une règle bien connue du transport public : « il faut mettre 10 personnes dans un bus pour être compétitif par rapport à la voiture particulière ».

Ces valeurs moyennes ne doivent pas cacher les disparités d'usage, et donc de coût marginal, que l'on retrouve dans tout réseau : les tronçons à fort usage, aux heures de pointe, sont extrêmement peu coûteux, mais de nombreux tronçons peuvent voir leur coût exploser (celui des bus peut atteindre 0,8 € / voy.km en Ile-de-France) et leur utilité diminuer (faible fréquence, temps de parcours allongé par le nombre d'arrêts), faute de fréquentation suffisante. Toutefois les tronçons à plus faible trafic présentent une utilité pour l'ensemble du réseau : tout comme dans le réseau téléphonique, il y a une grande utilité à pouvoir appeler 65 millions de français partout sur le territoire, et pas seulement les 30 millions qui téléphonent le plus et sont le plus aisément raccordables au réseau.

Le rôle de la fréquence de la desserte, appelé effet Mohring, est essentiel et peut amplifier des dynamiques de croissance ou décroissance. En cas de baisse de la fréquentation, l'exploitant est incité à réduire la fréquence de passage (voire supprimer des tronçons dans le cas des bus), ce qui diminue l'utilité pour les utilisateurs et accentue la baisse de fréquentation. Au contraire toute hausse de trafic incite à augmenter les capacités, notamment en augmentant la fréquence de desserte, ce qui augmente l'utilité pour les utilisateurs, donc la fréquentation potentielle. Les coûts de ces modes collectifs évoluent alors dans le même sens, positif ou négatif.

Ce que pourraient coûter demain l'utilisation des véhicules autonomes

Quelle évaluation comparable est-il possible de mettre en regard en ce qui concerne les véhicules autonomes. Il est possible de proposer, là encore, des ordres de grandeur sur la base des informations dont nous disposons aujourd'hui.

Coûts de possession

Le coût des premières navettes autonomes qui apparaissent sur le marché sont du même ordre de grandeur que celui des autobus standard (autour de 250 K€), pour une capacité d'une dizaine de places. La conduite représente les 2/3 du coût d'exploitation d'un bus standard. Ce qui peut se résumer par l'assertion suivante : *là où un bus standard fonctionne en forte sous-capacité et transporte moins de 10 personnes, il pourrait être remplacé à conditions de coût à peu près équivalentes par trois navettes autonomes, capables alors d'offrir un bien meilleur service.*

Il s'agit bien d'une estimation basse et conservatrice, si l'on considère que le coût de la technologie baissera drastiquement, que les effets de volume et d'industrialisation joueront aussi en faveur des navettes autonomes, et que l'effet Mohring rappelé précédemment conduira à augmenter la fréquentation d'une desserte effectuée par 3 navettes plutôt qu'un seul bus. Il faut ajouter à ces bénéfices que la navette autonome, avec moins de personnes à bord, aura plus de latitudes pour adapter son parcours et effectuer moins d'arrêts, donc être plus efficace pour les utilisateurs (diminution du temps de parcours).

En ce qui concerne les véhicules individuels à conduite déléguée, il est difficile d'imaginer que leur coût de possession ne soit pas supérieur au coût des véhicules individuels non automatisés, toutes choses égales par ailleurs. La question qui se pose est celle de la vitesse et de l'ampleur de la baisse du surcoût lié à la technologie ? Il faudra mener une analyse plus détaillée des surcoûts, selon les axes suivants : tout ce qui concerne l'électronique et le logiciel présentera un surcoût minime à long terme, selon une loi de décroissance exponentielle (de type loi de Moore) ; les surcoûts qui touchent aux infrastructures spécifiques (physiques ou de communication) décroissent linéairement avec l'augmentation des usages de véhicule autonome, donc plus lentement.

Il y a donc débat sur l'échéance (court ou long terme) à laquelle on passe d'un véhicule individuel à conduite déléguée significativement plus coûteux que les équivalents non autonomes, à un véhicule individuel à conduite

déléguée normalisée, au surcoût réduit, dont la fonctionnalité est banalisée au même titre que la climatisation, l'ABS / ESP, les airbags ou l'autoradio le sont devenus après quelques décennies.

Pour des usages partagés, il faudra ajouter des coûts de gestion et d'assurance certainement plus élevés que les économies liées au passage de l'énergie fossile à l'énergie électrique. Il faudra ajouter des coûts de gestion et d'assurance. Pour un opérateur professionnel ceux-ci seront significatifs. Pour des particuliers qui placeraient leur véhicule dans de tels schémas de fonctionnement pair-à-pair, le surcoût serait moindre, en fonction de la légalité de tels arrangements.

Coûts d'usage

Pour les coûts d'usage, deux facteurs vont jouer en sens opposé : d'un côté, il est loisible de penser que *les gestionnaires des flottes de véhicules autonomes partagés parviendront à améliorer leur taux de remplissage* ; de l'autre, il faudra *assurer la redistribution des véhicules des stations ou des zones excédentaires vers les stations ou les zones déficitaires*. Il y a peu de chance que les flux s'équilibrent naturellement, c'est à Paris une des principales causes de la sous-utilisation de la voiture en libre-service.

Dans une hypothèse favorable (besoins de redistribution modérés, bon taux de remplissage), le coût d'usage des véhicules autonomes pourra se situer nettement en-dessous du coût actuel de la voiture particulière (un coût d'usage de 0,20 € / voyageur-km pour un coût de possession de 0,50 € / véhicule-km, avec un taux de remplissage de 3 voyageurs par véhicule et un besoin de redistribution conduisant à 20% de parcours à vide).

Dans une hypothèse défavorable (besoins de redistribution importants et taux de remplissage médiocre), il se situera nettement au-dessus (un coût d'usage de 0,75 € pour le même coût de possession de 0,50 €, avec un taux de remplissage de 1,2 voyageurs par véhicule et un besoin de redistribution conduisant à 80% de parcours à vide). Du point de vue du transport public et du financement par l'acteur public, ce scénario paraît défavorable au véhicule autonome, toutefois à l'échelle individuelle, ce surcoût pourrait paraître très acceptable (*voir exemples au chapitre 4*).

Ce sont ces ordres de grandeur des coûts de l'offre qu'il conviendra d'avoir à l'esprit, dans la suite du présent rapport, lors de l'analyse plus détaillée de la diversité des territoires et des nouveaux services qui pourront s'y déployer.

Quelles seraient, dans ces hypothèses de coûts, les conditions socio-économiques du développement des véhicules autonomes ?

- Le véhicule personnel à conduite automatisée, au coût d'usage plus élevé que celui des véhicules neufs de même catégorie, serait plutôt destiné à des clientèles à pouvoir d'achat élevé, ou à celles des professionnels mobiles (commerciaux, artisans, services publics...) pour lesquels le surcoût est immédiatement compensé par des gains significatifs de productivité et de confort ;
- Le coût d'usage d'un robot-taxi sera très inférieur à celui d'un taxi ou d'un VTC avec conducteur ; il restera cependant, selon les contextes, soit légèrement inférieur au coût d'usage d'un véhicule particulier (entretien et assurances, redistribution à vide, plateforme de gestion), soit significativement supérieur. Pour des déplacements multimodaux avec une mauvaise desserte ou des horaires décalés, cette solution sera très compétitive ;
- Les navettes autonomes pourraient compléter ou remplacer les transports collectifs classiques à faible clientèle, à condition d'optimiser le couple taux de remplissage / fréquence selon la demande, ainsi que les circuits avec plus de véhicules mais plus petits...
- Dans tous les cas, la réglementation / tarification de l'espace public de circulation et de stationnement jouera un rôle très important sur le partage entre ces différents usages, selon les objectifs poursuivis par la collectivité territoriale.

Il s'agit donc de préparer le développement des véhicules autonomes en canalisant l'expérimentation des projets les plus divers pour garantir à terme leur interopérabilité territoriale et leur viabilité économique. La nécessaire régulation technique des flux de véhicules autonomes dans la ville dense pourrait être une première étape vers la gestion collective des flux de mobilité automobile dans les espaces urbains encombrés.

La période transitoire qui s'ouvre va voir proliférer les projets les plus divers, il va falloir préparer l'avenir en les canalisant dans une vision à long terme (Source : G. Bourgeois)

La période transitoire commence dès maintenant avec les premières expérimentations de navettes autonomes. Elle devrait durer une vingtaine d'années. Pendant cette période, nous allons assister à un bouillonnement d'idées, d'initiatives et de projets. Il va falloir être en mesure de les analyser, de les canaliser, de les mettre en bonne synergie avec la vision de long terme. Le mot clé est ici « interopérabilité » : les infrastructures routières devront être sécurisées et numérisées selon des normes partagées, les stations de recharge pour les véhicules électriques devront être standardisées, les systèmes de paiement et d'accès à bord des véhicules devront être interopérables...

Mais il va être impératif d'ouvrir les territoires aux innovations, de ne pas passer à côté de bonnes idées, voire d'opportunités pouvant conduire jusqu'à des révisions de la vision stratégique à l'horizon d'après 2030. Et ce d'autant plus que la deuxième disruption analysée plus haut (passage de la propriété au partage des véhicules), peut tout à fait se produire avant l'émergence du véhicule autonome : la culture du covoiturage, de plus en plus répandue dans l'interurbain, devrait tôt ou tard parvenir à pénétrer la mobilité urbaine.

Trois familles de projets méritent d'être suivies avec une particulière attention :

1) La famille des PRT (Personnal Rapid Transit), qui commence à devenir une réalité sur des sites propres intégraux (Ex : Heathrow, Doha)

Au départ, les navettes autonomes vont fonctionner sur des itinéraires dédiés, sous forme de lignes de conception assez classiques. On peut imaginer deux évolutions qui vont se combiner : le maillage de certains territoires par des sites sécurisés, permettant la constitution de véritables réseaux ; l'apparition de véhicules de type navette (totalement autonomes, sans poste de conduite), mais de plus petite taille (de 4 à 8 passagers), construits sur les mêmes plateformes industrielles que des véhicules fabriqués en grande série, et donc beaucoup moins chers (alors que les navettes de type Navya ou Easimiles resteront chères, parce que construites en petites séries).

A la différence des robots-taxis, ces PRT ne pourront pas aller partout : il faudra que les voyageurs se déplacent jusqu'à la station la plus proche, que les véhicules suivent les itinéraires sécurisés, et déposent leurs voyageurs dans une station. La capacité des véhicules et le dessin du réseau devraient permettre de bons taux de remplissage. La fonction de rééquilibrage des stations par redistribution des véhicules vides se fera sans difficulté sur ces itinéraires sécurisés.

De tels réseaux pourraient se déployer en tache d'huile, au fur et à mesure de la sécurisation de leurs itinéraires routiers.

2) « Autolib à redistribution automatique », qui pourra permettre la relance du concept

Ce n'est plus maintenant un secret soigneusement caché, le modèle économique d'Autolib est en impasse. Du fait de la persistance des déséquilibres entre les stations, le taux d'utilisation des véhicules est très insuffisant pour atteindre la rentabilité. C'est un bon moment pour se rappeler qu'à la fin des années 90, la première expérience de voitures électriques en libre-service, Praxitèle, avait eu lieu à Saint-Quentin-en-Yvelines. Sa conclusion avait été sans appel : technologiquement, le système avait bien fonctionné. Mais il aurait été moins cher de payer le taxi à tous ses utilisateurs. Pour une raison bien simple : pour déplacer une voiture d'une station excédentaire vers une station déficitaire, il fallait mobiliser un chauffeur, et un deuxième chauffeur avec une voiture pour accompagner le premier chauffeur !

La possibilité de redistribuer des véhicules vides va complètement changer le modèle économique d'Autolib, et surtout permettre le déploiement de tels systèmes dans les zones périurbaines, là où les besoins de nouveaux services sont les plus criants.

Comme pour les réseaux PRT, le système nécessite des stations, et un réseau routier sécurisé pour permettre la redistribution des véhicules vides. Mais la grande différence avec le PRT, c'est que le voyageur, comme aujourd'hui avec Autolib, pourra aller partout en conduite manuelle. Sa seule contrainte sera de rendre son véhicule dans une station.

3) La recherche de solutions « low cost »

On citera ici l'exemple du projet européen ESPRIT, ou encore la tentative faite par Renault d'organiser un réseau de Twizy en libre-service. On se souviendra aussi du projet Tulip imaginé par PSA à la fin des années 90. Dans les trois cas, il s'agit d'imaginer un petit véhicule électrique, strictement dédié à des usages urbains (vitesse limitée, avec toutes les conséquences sur l'architecture du véhicule et sa sécurité), avec pour objectif un coût de possession très bas.

Ces véhicules sont mis en libre-service, conduits par les voyageurs et peuvent aller partout. Ils n'ont pas besoin de voirie sécurisée. La fonction de redistribution est assurée de deux façons : soit le remorquage d'un ou deux véhicules vides par un véhicule conduit par un voyageur ; soit, si cette modalité ne suffit pas, la constitution de convois de véhicules vides, qui doivent alors être conduits par des chauffeurs professionnels. Le modèle économique est construit sur l'idée que le coût de conduite des chauffeurs professionnels pour la redistribution est inférieur à l'économie réalisée sur le coût de possession des véhicules. Il y a peu de technologie mobilisée. Les outils de gestion de flottes seront les mêmes que pour les PRT ou Autolib ; il en sera de même pour la gestion des stations et de la recharge des véhicules. Le remorquage ou le convoyage pourront être assurés par des liens physiques ou par un attelage virtuel (« platooning »).

CHAPITRE 2 – DES SERVICES DE VEHICULES AUTONOMES, ADAPTES A CHAQUE TERRITOIRE

La mobilité automobile conserve une place dominante en France, selon des modes d'usage très diversifiés selon les liaisons et les territoires (Source : A. Aguiléra – IFSTTAR – LVMT)

La voiture individuelle est devenue le mode de transport dominant des déplacements des Français sur le territoire national, en particulier pour les trajets du quotidien (pour les motifs achats et travail notamment). Selon l'Enquête Nationale Transport et Déplacement (ENTD), en date de 2008, les trois-quarts des déplacements à longue distance (c'est-à-dire au-delà de 80 km du domicile) et les deux-tiers des déplacements locaux sont réalisés en automobile.

Au sein des territoires français, les habitants des villes-centres se distinguent par un recours plus important aux modes doux (transports en commun et marche), alors que ceux des territoires périurbains et ruraux sont plus dépendants de l'automobile, qu'ils utilisent en outre pour parcourir de plus grandes distances.

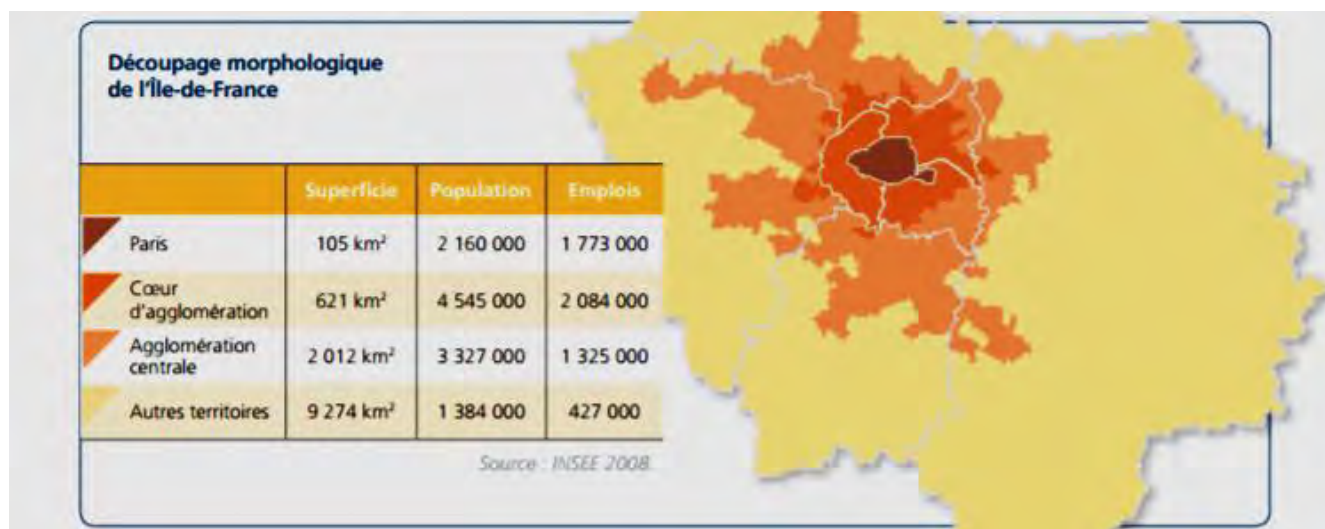
Par rapport au milieu des années 90, la part de la voiture dans les déplacements locaux (moins de 80 km à partir du domicile) a stagné (autour de 59% des trajets) dans les aires urbaines de plus de 100 000 habitants, tandis qu'elle a gagné quatre points dans les autres types de territoires, passant de 71% à 75% des déplacements au détriment principalement de la marche à pied.

Les transports intérieurs de voyageurs en France - Dynamiques 2002 – 2015 <i>Reconstitution réalisée par IESF à partir des comptes transport 1990-2015 (CCTN) et de l'ENTD 2008</i>					
Milliards de voyageurs-km <i>(Déplacements motorisés)</i>		Voy.km 2002	Voy.km 2015	2015 / 2002 %	Commentaires
Voyageurs longue distance plus de 80 km	Tr. collectifs : <i>Train, autocar,</i> <i>aérien intérieur</i>	111	134	+ 21%	La dynamique des TVG se ralentit (+20%), celle des autocars se confirme (+ 29%) et celle de l'aérien reste faible (+4%)
	V.P.	225	250	+ 11%	Dont passagers en covoiturage
	Total	336	384	+ 15%	Croissance ralentie depuis 2002
Mobilité de proximité moins de 80 km Grandes agglom.	Tr. collectifs : <i>RER, métro, bus,</i> <i>tramway,</i>	24,5	34	+ 39%	Forte croissance, liée au développement de l'offre transport collectif et aux limitations de la voiture individuelle en milieu dense
	V.P.	178,5	170	-5%	Congestion, stationnement, report sur les TC
	Total :	203	204	0%	Stagnation, limitée par les budgets-temps
Mobilité de proximité moins de 80 km Périurbain et rural	Tr. collectifs : <i>RER, TER,</i> <i>Autocars</i>	17	22	+ 29%	Accès aux emplois de la ville dense
	V.P.	324	318	-2%	Restriction de la consommation automobile par les ménages modestes très motorisés
	Total :	341	340	0%	Baisse de la mobilité individuelle (loisirs)
Total Proximité	Tous modes	544	544	0%	
	Dont VP	502	488	-3%	
Total voy. intérieurs	T.C.	152,5	190	+ 24,6%	Forte progression
	V.P.	729,5	738	+ 1,2%	Très faible progression
	Total :	882	928	+ 5,2%	Ralentissement général de la mobilité

On observe que la voiture est devenue un équipement à usage individuel : en dehors des villes-centres, le nombre de voitures par ménage n'a cessé de progresser et le conducteur est seul à bord dans 75% des trajets. Le transport est le deuxième poste budgétaire des ménages français, avec environ 14% des dépenses. L'essentiel est consacré à l'automobile (achat, assurance, utilisation), avec un marché de l'occasion qui est trois fois plus important que celui du neuf. Mais les écarts se creusent entre les territoires : dans les territoires périurbains, le budget automobile peut atteindre 25% pour un ménage à très faible revenu et éloigné de son emploi. Pour les populations des villes moyennes et des territoires à faible densité, la question du coût de l'automobile est devenue majeure.

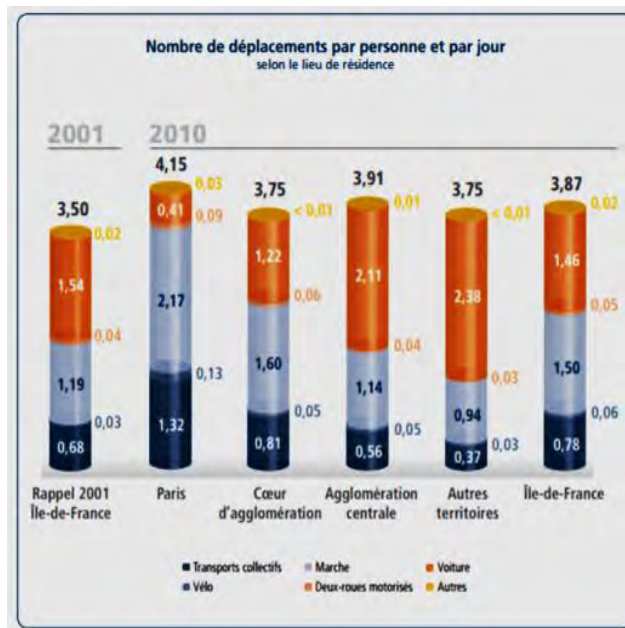
La situation des mobilités en Ile-de-France révèle, en les accentuant, les dynamiques et les contrastes observés sur l'ensemble du territoire français (Source : A. Aguiléra – IFSTTAR – LVMT)

En Ile-de-France, les données sur la mobilité proviennent de l'Enquête Globale Transport (EGT), dont la dernière date de 2010. Les chiffres clés sont disponibles sur le site de l'Observatoire de la Mobilité en Île-de-France (l'OMNIL) qui propose un découpage morphologique du territoire francilien entre : Paris, le cœur d'agglomération, l'agglomération centrale et le reste du territoire, qui se révèle relativement pertinent du point de vue des mobilités (à condition de distinguer dans les « autres territoires » les polarités secondaires des petites communes périurbaines et rurales) :

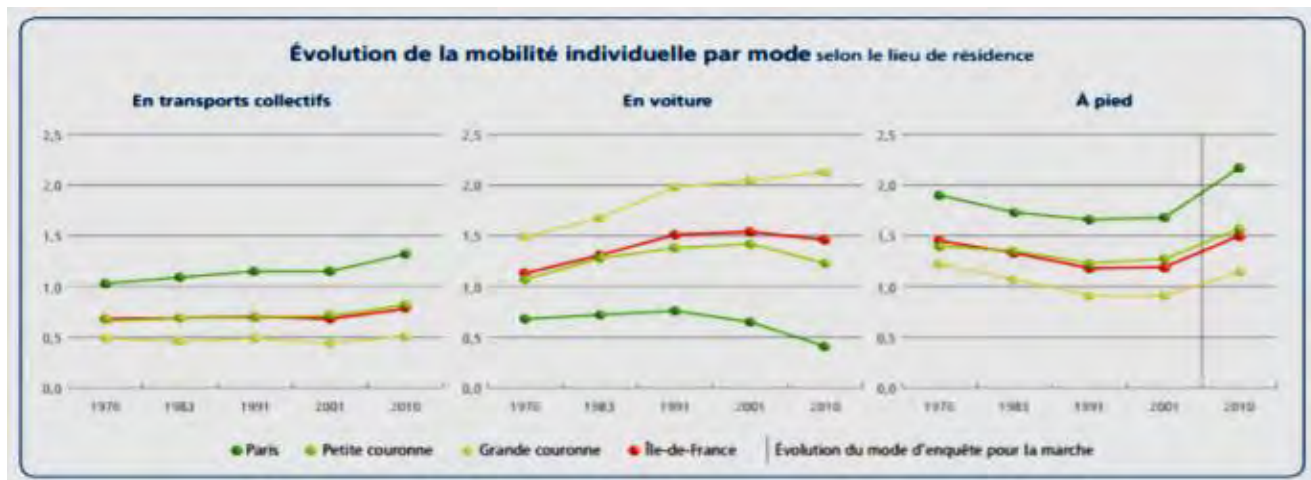


Les grandes tendances sur les dernières années sont les suivantes :

- Une augmentation des trajets sans lien avec Paris (du fait des évolutions des formes urbaines, plus déconcentrées et plus polycentriques) ;
- Des écarts de comportement de mobilité croissants entre Paris (intra-muros), où les ménages sont peu motorisés, parcourent des distances faibles et utilisent largement la marche et les transports en commun (du fait de la densité et de la mixité des fonctions), la petite couronne où la motorisation est plus élevée qu'à Paris mais où les transports en commun et la marche sont largement utilisés, et la grande couronne où le nombre de voitures possédées par les ménages est le plus important et où l'usage de la voiture



continue de progresser (principalement du fait des habitants des petites communes périurbaines et rurales).



Les enjeux d'organisation de la mobilité n'ont pas les mêmes priorités selon les catégories de territoires et leurs dynamiques d'évolution (Source : O. Paul-Dubois-Taine – G. Bourgeois)

Se déplacer n'est pas une fin en soi, mais le moyen d'accéder à différentes activités humaines : les mobilités quotidiennes résultent ainsi des plus ou moins grandes facilités d'accès à ces activités, compte tenu de l'organisation des lieux (denses ou dispersés), des activités disponibles (emplois, santé, commerces, loisirs), et des moyens de transport pour y accéder (disponibilité, vitesse porte-à-porte).

Les objectifs d'urbanisme et de mobilité dans les différents territoires (ceux du Grand Paris, des métropoles, des villes moyennes ou des territoires ruraux) sont ainsi fortement liés à leurs caractéristiques propres : densité, composition urbaine, réseaux d'infrastructures disponibles, gares et pôles d'échange, dépendance de l'automobile...

Afin d'illustrer les potentialités et les impacts des nouveaux services de véhicules autonomes décrits dans le chapitre précédent, il convient de rappeler les enjeux de mobilité spécifiques aux grandes catégories de territoires, représentatifs de la diversité des situations morphologiques, économiques et sociales :

A. Les territoires centraux des métropoles, à forte densité, caractérisés par l'usage prépondérant de la marche à pied et des transports collectifs, par les contraintes d'usage de la voiture personnelle, et par les difficultés de partage de l'espace très encombré. Les principales attentes en matière de mobilité sont les suivantes :

- Une gestion de l'espace public urbain qui privilégie les usages alternatifs à la voiture personnelle : marche à pied, vélos, transports collectifs et véhicules partagés, conduisant à dissuader les usages de l'automobile lorsqu'ils disposent d'une alternative crédible ;
- Un renforcement de la performance des transports collectifs à haut débit (métro, tramway, Bus à Haut Niveau de Service), pour plus de fiabilité, d'interconnexion et de facilité d'accès. C'est l'émergence, dans de plus en plus de métropoles – Lyon en fournit un bon exemple en France – de la notion de « réseau structurant ». Les lignes de bus traditionnelles sont alors organisées pour assurer d'abord le rabattement sur le réseau structurant ;
- Le développement de services de mobilité complémentaires plus souples et adaptables à l'espace restreint, tels que les vélos et les voitures en libre-service, ainsi que les livraisons et autres services à la personne dont la demande augmente fortement.

B. Les territoires à faible densité et urbanisme dispersé, qui sont fortement dépendants de l'automobile personnelle, notamment pour l'accès à des transports rapides (TER, autocars) vers les métropoles et les grands centres d'activité. Pour leurs mobilités quotidiennes, ces territoires ont prioritairement besoin :

- *D'une meilleure organisation des services de proximité* avec des relais locaux (d'administration, de santé, de commerce, de formation, de livraison, d'autopartage ou de covoiturage...) dans le bourg ou l'agglomération la plus proche : par exemple, éviter de faire 50 km pour un examen pré-hospitalier qui pourrait être organisé dans un centre médical de proximité ...
- *D'un développement de services de transport collectif à la demande*, navettes ou taxis collectifs, permettant aux populations non motorisées d'accéder de leur domicile vers les « pôles de proximité » et les gares (routières et ferroviaires) desservant les grandes villes voisines. Ainsi que des itinéraires cyclables permettant les mêmes accès dans un rayon de 10 à 15 km (portée des vélos à assistance électrique).

C. Les territoires intermédiaires, en périphérie des métropoles, caractérisés par une juxtaposition de quartiers résidentiels et de pôles d'activité, structurés par un réseau de gares qui les relie au réseau structurant de l'agglomération. L'usage de la voiture reste prépondérant pour les déplacements locaux et pour l'accès aux gares, à condition que ces dernières soient correctement équipées de parkings-relais. Mais ce n'est que rarement le cas : l'intérêt collectif veut que les espaces à proximité des gares soient consacrés aux logements et aux activités économiques, plutôt qu'au stationnement de voitures vides.

Ces territoires ont principalement besoin des *liaisons terminales à faible débit et forte fréquence* reliant les pôles résidentiels et d'activité aux gares ferroviaires (métro ou tramway) afin d'assurer à l'échelle de l'aire urbaine la continuité porte-à-porte des déplacements, sans la nécessité d'une voiture personnelle. Les performances des réseaux de transports collectifs traditionnels sont médiocres, les lignes de bus font souvent de longs détours, la bonne couverture du territoire ayant souvent comme première conséquence des temps de parcours dissuasifs (le syndrome du « plat de nouilles »).

D. Les villes moyennes, souvent fragilisées par la perte d'attractivité de leur centre historique, où le développement d'un réseau de transport collectif traditionnel (autobus) atteint aujourd'hui ses limites.

Ces villes pourraient, moyennant l'aménagement dans leur partie centrale de sites propres pour « véhicules collectifs », développer des *systèmes de transport à la demande* à faible débit pour desservir les quartiers périphériques, tout en conservant des lignes d'autobus à fort débit pour les transports de pointe dans la partie la plus dense de l'agglomération.

La mise en œuvre de ces objectifs de développement d'une mobilité se libérant de l'usage de la voiture particulière est confrontée à une double contrainte : contrainte de disponibilité et d'usage de l'espace dans les villes denses et aux abords des gares ; contrainte des coûts d'investissement, et plus encore d'exploitation des services de transports collectifs.

Au cours des 30 dernières années, le transport public français a été marqué par deux mouvements qui atteignent aujourd'hui leur limite :

- Un très fort investissement dans les infrastructures desservant le centre des métropoles et des grandes villes (métro, tramway, BHNS). Dans leur très grand ensemble, ces nouvelles lignes affichent de très bonnes performances ;
- Une extension de la couverture des territoires périphériques par des lignes de bus traditionnelles. Pour un coût très élevé, les résultats obtenus sont très décevants. La dégradation de la situation financière de la plupart des réseaux de transport public en France s'explique par ce phénomène.

Avec la révolution numérique et l'arrivée du smartphone, le transport privé diversifie son offre de mobilité : les systèmes de mobilité partagée se développent rapidement, y compris pour les déplacements quotidiens où la connexion des personnes et des véhicules permet d'organiser des services personnalisés substituables à la voiture personnelle.

La voiture autonome fait donc son apparition à un moment où le transport public se trouve confronté à l'obligation de se repenser en profondeur, et où le transport privé se renouvelle rapidement avec des véhicules partagés.

Les perspectives ouvertes par les services de véhicules autonomes peuvent emprunter deux trajectoires distinctes aux effets très contrastés (Source : A. Aguiléra – IFSTTAR – LVMT)

La première trajectoire est celle d'un remplacement progressif du parc automobile des ménages par des véhicules individuels (de plus en plus) autonomes, avec une diffusion progressive à partir des modèles haut de gamme (cf. Tesla).

A court terme, l'impact sur les pratiques de mobilité sera sans doute limité, mais probablement pas à plus long terme. Le remplacement du parc actuel par une majorité de véhicules individuels automatisés (pouvant circuler sans conducteur à bord) aurait des conséquences lourdes :

- Sur le choix modal : la voiture gagnant en facilité d'usage, en sécurité et en confort, son attractivité se trouvera renforcée, y compris dans les zones centrales où son usage est tendanciellement en baisse ; en l'absence de politique volontariste de limitation du trafic automobile, cette facilité aurait l'effet rebond d'augmenter le volume de déplacements en automobile, sans compter les trajets à vide pour rechercher un stationnement ou de nouveaux usagers ;
- Mais aussi sur les choix de localisation résidentielle des ménages pouvant s'offrir un véhicule autonome, entraînant une augmentation des distances domicile-travail (qui sont déjà plus élevées pour les personnes plus aisées).

La seconde trajectoire est celle de services utilisant des véhicules complètement autonomes et partagés (modèle de flottes opérées par des acteurs publics ou privés).

Décrites dans le chapitre précédent, les perspectives de navettes autonomes ou de taxis robots sont très nombreuses dans le domaine des transports publics (on voit déjà se déployer des navettes autonomes sur de petits trajets urbains), du transport des personnes souffrant d'un handicap, etc.

Ce second modèle pourrait favoriser une baisse du nombre de voitures possédées par les ménages, ouvrant de nouvelles perspectives pour les pouvoirs publics non seulement en matière de politiques de transport mais aussi d'usages de l'espace, et plus généralement d'aménagement urbain. Toutefois de l'espace urbain ne sera libéré que si les véhicules autonomes, même partagés, ne saturent pas les infrastructures existantes, ce qui n'est pas acquis.

La question des territoires où ce type de services sera pertinent est posée, ainsi que la question des types de trajets. Les perspectives sont différentes selon qu'on se situe en cœur d'agglomération (où se pose la question de l'articulation avec les taxis traditionnels ainsi qu'avec les transports en commun classiques), dans une polarité secondaire (type ville nouvelle) ou dans une petite commune rurale ou périurbaine où la voiture individuelle à usage individuel est associée à des modes de vie et une organisation des territoires très spécifique.

Ces dernières questions seront développées dans le chapitre 4 ci-après, où seront décrits et analysés (avec leur modèle économique) des services et groupes de services susceptibles de contribuer aux enjeux de chacune des quatre catégories de territoires présentées ci-dessus.

Le contraste entre ces deux trajectoires de diffusion des véhicules autonomes souligne la nécessité de canaliser le développement et les modes d'usages de ces véhicules par des politiques d'aménagement urbain et de la tarification / la taxation des mobilités.

Cela afin de répondre aux enjeux d'intérêt général de mobilité durable tels que :

- L'enjeu social pour les territoires isolés dont une partie importante de la population ne dispose pas d'une voiture personnelle ;
- L'enjeu de performance ou d'optimisation de réseaux de transports collectifs offrant un service de proximité ;
- L'enjeu environnemental de diminution du parc automobile et de réaffectation de l'espace à des usages moins encombrants ou plus adaptés à la vie urbaine.

Cette question de la réaffectation de l'espace urbain liée à l'accueil progressif des véhicules autonomes sera traitée au chapitre 5 ci-après.

La présence de voitures autonomes dans un territoire urbain dense serait *a priori* un facteur d'encombrement supplémentaire (Source : O. Paul-Dubois-Taine)

Cette présomption apparemment paradoxale résulterait du fait que le temps de circulation dans un véhicule autonome intervient beaucoup plus faiblement dans le coût généralisé du déplacement qu'il permet : l'utilisateur qui se déplace peut utiliser le véhicule comme un bureau mobile (y tenir des réunions) ; et il laisse le véhicule chercher tout seul une place de stationnement ce qui lui fait gagner du temps.

Un certain nombre d'experts dénoncent ainsi le risque d'aggravation de la congestion si on ouvre la possibilité de circulation aux véhicules autonomes dans les agglomérations denses sans contraintes d'usage. D'une part, ces véhicules constitueraient une solution alternative pour des usagers actuels des transports collectifs (suppression de la recherche fastidieuse d'une place de stationnement). D'autre part, leur circulation serait organisée sur des itinéraires sécurisés et des espaces de stationnement dédiés dont l'aménagement nécessitera la suppression de nombreuses possibilités de stationnement sur la voirie.

En l'absence de politiques volontaristes d'aménagement et de mobilité, le remplacement du parc actuel par une majorité de véhicules individuels automatisés (gagnant en fluidité de trafic, en facilité d'usage, en sécurité et en confort) aurait des conséquences lourdes sur le volume de déplacements en automobile et sur les choix de localisation résidentielle des ménages ayant la possibilité d'utiliser un véhicule autonome.

Quels en seraient les répercussions sur les formes urbaines (localisations résidentielles), sur les distances domicile-travail (qui pourraient augmenter), sur la localisation des activités économiques et l'organisation des activités quotidiennes des ménages, qui déterminent leurs besoins de mobilité ?

Afin de limiter ces risques, les politiques publiques pourront agir sur la réglementation et la fiscalité d'usage des véhicules particuliers, notamment dans les territoires denses où le partage des véhicules devient une réponse face à la congestion automobile.

Ce qui conduirait à favoriser l'accueil et l'insertion, dans les territoires, de systèmes collectifs, partiellement ou totalement autonomes, dès lors qu'ils améliorent la qualité des services existants sans augmenter l'encombrement de l'espace, comme le proposent les exemples présentés ci-après. Cela peut se faire par l'action régulatrice des autorités territoriales en charge de la mobilité, avec des instruments appropriés de tarification d'usage.

Ces contributions du véhicule autonome à la qualité de l'espace urbain (voir chapitre 5), et au fonctionnement de systèmes logistiques robotisés performants pourraient être un facteur important d'attractivité et de compétitivité pour l'Ile-de-France ainsi que pour le reste du pays (à l'instar des tramways mis en service en France au cours de 30 dernières années).

CHAPITRE 3 – DES CONDITIONS TECHNIQUES ET SOCIALES A REUNIR

La sécurité des systèmes de conduite automatisée repose sur un nouveau partage des responsabilités entre les acteurs du transport, qui restent à clarifier (Source : IESF – VEDECOM)

L'expérimentation sur route ouverte

L'apprentissage par la machine devra être capable de trouver des stratégies d'adaptation dans toutes les situations de conduite, en faisant cohabiter des robots expérimentaux avec les usagers normaux des routes et des rues : avec quels risques et quelles exigences de sécurité ?

En France, en application de l'ordonnance du 3 août 2016,¹ les autorisations de circulation à des fins expérimentales d'un véhicule à délégation partielle ou totale de conduite sur une voie ouverte à la circulation publique sont délivrées par le ministre chargé des transports après l'avis du ministre de l'Intérieur et, s'il y a lieu, des autorités et services territoriaux compétents.

La responsabilité de la conduite automobile

La sécurité routière (et plus généralement le partage de l'espace public) est gérée aujourd'hui par le principe de responsabilité personnelle du conducteur. La convention de Vienne (le texte qui régle la circulation routière depuis 1968, ratifié par la plupart des pays du monde), prévoit dans son article 8 que tout véhicule en mouvement doit avoir un conducteur, possédant les qualités physiques et psychiques nécessaires pour conduire, et devant avoir constamment le contrôle de son véhicule (responsabilité pénale). La circulation de véhicules totalement autonome – de niveau 5 – implique une modification de cette convention, préalable aux autorisations locales de circulation de ces véhicules (sauf fins expérimentales...).

Se pose à cet égard la question du délai « réaliste » de reprise en main du conducteur pour les véhicules à délégation de conduite : avant toute autorisation de commercialisation de ces systèmes de véhicules autonomes, les pouvoirs publics devront étudier de près l'adaptation du régime de responsabilité des conducteurs. Et notamment si les systèmes embarqués de pilotage automatique sont suffisamment fiables pour laisser au conducteur la liberté de vaquer à d'autres occupations au cours du voyage ou s'il doit rester en éveil constant.

Comment se partagent les responsabilités en cas d'accident, entre le propriétaire du véhicule, le conducteur, le superviseur ou le gestionnaire-exploitant (dont les fonctions devront être précisées), le constructeur ou le fabricant du système de conduite automatisée, notamment pendant la longue période de transition ou coexisteront des véhicules autonomes et des véhicules classiques ? Pour l'indemnisation des victimes, la présence d'un conducteur n'est pas indispensable, car, en droit civil, les victimes d'accident de la circulation sont indemnisées selon la loi Badinter.

Le problème juridique soulevé par le droit pénal provient du fait qu'il n'est pas satisfaisant de faire reposer l'imputabilité de l'infraction sur le conducteur lorsqu'est activé un système de « délégation de conduite ». Toutefois, cette situation pourrait être amenée à évoluer en fonction des politiques publiques. Dans cette perspective, qui sera responsable à la place du conducteur lorsqu'une infraction de conduite est constatée alors que le système de délégation de conduite était activé ? Juridiquement, en vertu des principes de légalité des délits et des peines (article 111-3 du Code pénal) et de personnalisation des peines (article 121-1 du Code pénal) selon lesquels est responsable la personne désignée par l'infraction, la reconnaissance d'un responsable autre que le conducteur (ou le titulaire du certificat d'immatriculation) ne pourra être modifiée que par la voie législative c'est-à-dire par une modification des textes d'incrimination pénale.

¹ Prise en application de l'article 37 de la loi n° 2015-992 du 17 août 2015 relative à la transition énergétique, l'ordonnance n° 2016-1057 du 3 août 2016 crée un régime d'autorisation de circulation sur la voie publique spécifique à l'expérimentation de véhicules à délégation partielle ou totale de conduite.

La certification des logiciels d'automatisation de la conduite

Comment tester, par exemple, le mode d'action de l'algorithme de conduite automatisée dans une situation d'urgence dans laquelle il faut choisir entre renverser un piéton ou aller dans le fossé. S'agissant de sécurité, quel choix sera jugé acceptable par la population ? La sécurité devra être abordée à deux niveaux : en amont avec des tests de sécurité au niveau des équipements et du système complet ; en aval avec une organisation de suivi et de veille des dysfonctionnements comme en dispose aujourd'hui l'aéronautique.

La cyber-sécurité et les risques d'intrusion dans les logiciels de pilotage automatique (Source : OCSTI)

Le véhicule à délégation de conduite sera obligatoirement connecté, au minimum pour mettre à jour ses logiciels si une faille ou une défaillance potentielle est découverte, et aussi pour les communications entre véhicules qui faciliteront le déplacement du véhicule autonome.

Dans le domaine de la cyber-sécurité en général (protection contre le risque de piratage informatique), les entreprises et l'Etat se sont organisés depuis longtemps pour faire face à ce risque et la bataille est permanente contre les cybercriminels. Les normes ISO 2700x apportent un cadre constructif. En complément, la Stratégie nationale pour la sécurité du numérique présentée le 16 octobre 2015 vise à lutter contre des menaces bien identifiées touchant, entre autres, les individus et les objets connectés sous l'égide de l'ANSSI (Agence Nationale de la Sécurité des Systèmes d'Information – SGDSN) dont un mode d'action important est le fait « d'agir ensemble ».

L'application volontaire de règles internes doit-elle être complétée ou adaptée à l'industrie de l'automobile et des systèmes de communication entre mobiles ?

Les risques de cyber-sécurité sont systématiquement évoqués par tous les acteurs du secteur, considérant qu'aucun système informatique n'offre de garantie à toute épreuve. Il s'agit donc de limiter la survenue d'attaques de grande ampleur pouvant affecter un trop grand nombre de véhicules, ou bien affecter un véhicule en profondeur. C'est une démarche assez similaire aux paiements par carte bancaire. S'y ajoutent des conséquences non financières graves dans le cas de véhicules autonomes, si ces véhicules devaient être détournés pour provoquer des accidents ou comme armes. Par conséquent il s'agit aussi de mettre en œuvre des dispositifs limitant les conséquences de tels événements, au même titre que la Sécurité Routière aujourd'hui gère non seulement la prévention des accidents et la bonne prise en charge de ceux-ci.

La gestion des routes et des rues devra être adaptée aux conditions de circulation et de stationnement des véhicules autonomes (Source : IESF – VEDECOM)***La cartographie embarquée et de sa mise à jour en temps réel***

La description fine de la trajectoire à suivre et de toutes les perturbations de parcours détectables en temps réel fera l'objet d'une cartographie numérique embarquée, qui complète l'information du système de conduite automatisée fournie par les détecteurs embarqués. Dans quelles conditions le gestionnaire d'infrastructure pourra (ou devra) mettre à jour l'information numérique descriptive de chaque itinéraire (chantiers, déviations, et autres perturbations) et la transmettre à tous les véhicules autonomes en circulation ?

La communication entre les véhicules et les plateformes de supervision

Dans quelles conditions les systèmes de supervision des véhicules (niveaux 3, 4 et 5) seront-ils interopérables ? Un véhicule autonome devra communiquer avec son gestionnaire (propriétaire ou délégataire) pour toutes les fonctions d'exploitation (garage, mise à disposition, et autres événements engageant sa responsabilité...). Cette interopérabilité est indispensable au développement d'un usage partagé du véhicule (utilisable par différents exploitants) et à l'échange d'informations en temps réel avec les autres véhicules.

La lisibilité des réseaux routiers par les véhicules automatisés

Dans quelles conditions et délais les gestionnaires de réseaux routiers publics (routes, rues, stationnement) pourront-ils adapter leurs réseaux à la circulation « en sécurité » de véhicules à conduite déléguée partielle ou

totale, selon des normes de lisibilité compatibles avec les systèmes de détection et d'accumulation d'expérience de ces véhicules ?

Pour quelles raisons (visibilité des obstacles ou prescriptions réglementaires, sécurité pour les tiers, nécessité de points d'arrêt et de garages...) faudra-t-il ou non adapter les centaines de milliers de km de routes et de rues à la circulation et au stationnement de ces véhicules, notamment dans l'hypothèse où leur configuration n'est pas directement « lisible » par les fonctions de conduite automatisée ?

Comment ouvrir le plus rapidement possible le champ de développement du véhicule autonome avec le minimum d'adaptation des routes et des rues : en dehors des autoroutes et voies rapides qui posent des problèmes immédiats spécifiques, une lecture préalable de l'itinéraire par un véhicule test, communiquée ensuite aux autres véhicules, pourrait-elle dans certains cas s'avérer suffisante pour assurer la sécurité ?

Dans quelles conditions techniques les véhicules autonomes pourront circuler sur toutes les infrastructures routières ? Et moyennant quelles adaptations des réseaux de voies urbaines et périurbaines ? Nous ne disposons pas aujourd'hui d'une vision documentée sur les contraintes liées à la sécurité des routes et des rues, ou à l'usage social des espaces circulés par les véhicules à conduite automatisée, qui conditionnera leurs domaines d'usage. Même dans la perspective de ce rapport qui se place à une échelle de temps où le véhicule autonome a surmonté tous les obstacles techniques, il s'agit de prendre en compte les évolutions de l'infrastructure, de sa gestion et de ses règles qui auront été mises en place pour garantir la bonne cohabitation des véhicules autonomes avec les autres usagers de la route. Tous les usagers de la route sont pris en compte à des titres divers par la réglementation, la signalisation, les infrastructures, il en sera donc immanquablement le cas pour les véhicules autonomes.

La gestion de la circulation et du stationnement dans les espaces urbains encombrés

Comment gérer la circulation et le stationnement des voitures autonomes, dont les véhicules à vide devront se redistribuer entre les lieux de chargement, les lieux d'attente (stationnements de courte durée) et les lieux de garage (stationnements de longue durée, rechargement, maintenance) ? Faudra-il réserver des espaces de stationnement dédiés ? Comment contrôler les règles de circulation et de stationnement, pour identifier, interpeller ou intercepter un véhicule ? Faut-il imposer la motorisation électrique des véhicules à conduite automatisée dans les périmètres urbains ?

Les questions de sécurité

Au-delà de la cyber-sécurité, la sécurité des véhicules doit se préoccuper d'usages détournés et illégaux de ces véhicules, pour des trafics divers, des activités criminelles ou des tentatives d'attentat.

Le risque perçu est que ces véhicules deviennent le vecteur de dangers divers et mal acceptés par la population. A contrario la prévention et la prise en charge de ces risques pourrait aboutir à une surveillance et des entorses à la vie privée qui pourraient être jugées peu acceptables, en particulier s'agissant de véhicules individuels.

La sécurité et la confiance sont à redéfinir si des véhicules collectifs circulent sans chauffeur / steward. S'agit-il d'applis de mise en relation affinitaires, qui comportent des biais connus (discriminations) ? Doit-on recourir à une supervision vidéo de l'ensemble des véhicules et de leur environnement, annihilant toute vie privée ? Devra-t-on tenir compte d'une « note de comportement » de l'utilisateur retraçant son historique et garantissant qu'il est un voyageur acceptable ?

Les politiques de développement des véhicules autonomes devront composer avec les incertitudes socio-économiques liées aux usages possibles de ces véhicules (Source : Remarques du groupe)

Sur les délais de développement technique des véhicules à conduite automatisée

Le paradigme technologique actuel (qui associe des capteurs, une cartographie embarquée et une intelligence artificielle) permettra-t-il d'atteindre la totale autonomie des véhicules, aptes à manœuvrer sans conducteur sur la totalité des voies carrossables (sans aménagement préalable), comme le fait aujourd'hui un conducteur humain ?

Ou bien les verrous rencontrés ne sauteront pas facilement, sans l'apport de technologies qui n'existent pas aujourd'hui, ce qui entraîne une incertitude forte sur l'étendue et les délais de leur développement économique. Par exemple, dans l'hypothèse où les véhicules ne dépasseraient pas le niveau 4 qui impliquerait à la fois la limitation du champ d'utilisation (sur des itinéraires de catégories d'infrastructures sécurisées) et l'intervention d'un superviseur responsable en cas de circulation sans conducteur humain à bord (coût supplémentaire d'usage).

Sur l'exploitation de ces véhicules

Qui est autorisé à opérer des véhicules autonomes ? Si les passagers ne sont pas responsables, seuls le constructeur et des tiers peuvent l'être, et donc devront exercer une forme de supervision active et continue, même dans l'usage d'un véhicule privé et individuel. La vision patrimoniale du véhicule pourrait décliner dans les faits, l'utilisateur payant éventuellement pour un droit exclusif d'usage, ou bien achetant le véhicule et en confiant la gestion / supervision à un tiers sous forme de contrat de service (sur le modèle des contrats d'entretien des chaudières, ou des dispositifs d'alarme ?).

Les raisons poussant les individus à conserver leur véhicule personnel (praticité, espace personnel, usages occasionnels longue distance, composition familiale) pourraient perdurer, mettant à mal des scénarios où le véhicule partagé devient la norme. À Paris le faible taux de motorisation est le résultat de la pression foncière, de l'offre abondante de transports en commun, et du niveau de vie des habitants permettant à une large part d'entre eux de profiter de toutes ces offres ainsi que, ponctuellement, des services de transport individuels. Sur les autres territoires, ces trois conditions ne seront pas acquises, notamment les deux premières.

Quels seraient les usages « détournés » potentiels de ces véhicules et peuvent-ils devenir significatifs ? Trafics, prostitution, « manifestations autonomes » (sur le modèle de l'attaque à déni de service), bureau ou salon mobile sont des exemples régulièrement cités. De manière générale des véhicules autonomes agencés pourraient constituer des lieux (mobiles) de prestation de service là où le foncier a un coût élevé.

Sur l'activité et l'emploi

Enfin les conséquences socio-économiques seront nombreuses dans la phase transitoire. Si à terme on peut considérer que de nouveaux emplois auront été créés à la fois pour opérer les services et les véhicules, mais aussi par des développements de l'économie résultant de ces gains de productivité, dans la période transitoire il faudra surmonter le mécontentement de plusieurs professions directement impactées et menacées de disparition, ou a minima de mutation profonde. En premier lieu tous les métiers impliquant la conduite de véhicules, pour les transports en commun, la livraison, la logistique... Il faudra prévoir l'accompagnement des professionnels dont les emplois vont être supprimés du fait de l'arrivée du véhicule autonome et leur formation à de nouvelles activités.

Sur les politiques territoriales de mobilité, très variables selon les pays et régions du monde

Va-t-on vers une complémentarité ou une substitution à des services existants, et à quelles conditions ? Quel facteur social sera majeur ? Selon les orientations des autorités publiques, les services de véhicules à conduite automatisée ne se développeront pas de la même façon.

Peut-on envisager une tarification réellement dynamique des mobilités en fonction de leur horaire, de leur occupation de l'espace urbain (taille du véhicule, stationnement), de leur mode de propulsion, etc. ? Une telle approche est souhaitable par bien des aspects, pour tenir compte des externalités, financer les infrastructures, réguler leur usage. Mais comment la rendre acceptable socialement ? Comment la combiner avec des politiques publiques attachées à des mécanismes de solidarité, sans rendre le système excessivement complexe et peu intelligible, donc inaccessible ?

Sur de nombreux territoires, au-delà de la complémentarité, la compétition entre des systèmes de véhicules autonomes et le bus, les cars scolaires, voire le tramway, sera réelle, mettant en péril des investissements réalisés par les collectivités. Comment accorder des politiques publiques dans ce contexte ?

Pour la France, le choix de concentrer les efforts sur des territoires d'expérimentation à grande échelle permettrait de positionner le pays dans la compétition mondiale.

Sur les modèles économiques relatifs aux comportements et choix des usagers

Ces modèles traduisent à la fois les coûts de production des services et leurs modalités de tarification, sans suffisamment s'intéresser à la valeur pour les utilisateurs et pour les tiers !

L'incertitude sur les coûts de production-gestion-fiscalité des véhicules autonomes (voir chapitre 1), très dépendants de leurs modes d'usage (individuel ou partagé) sera un élément déterminant de choix des acquéreurs (particuliers ou professionnels).

La perception par les usagers des avantages de confort apportés par la voiture à conduite automatique est une autre inconnue pour leur commercialisation à des clients qui possèdent aujourd'hui un permis de conduire et apprécient l'agrément de la conduite automobile. Les premières expérimentations suggèrent que les utilisateurs s'accommodent bien d'une conduite sans chauffeur. Et les situations où la conduite n'est pas un agrément sont suffisamment nombreuses pour rendre attractifs les véhicules autonomes. Au quotidien, qu'il s'agisse de parcours en voiture ou de trajets multimodaux longs et peu fiables, le véhicule autonome pourrait prendre des parts modales importantes.

CHAPITRE 4 – DES SCENARIOS POSSIBLES POUR LES TERRITOIRES DU GRAND PARIS

Ce chapitre présente des exemples d'utilisation possible de services de véhicules dans différents types de territoire. Plusieurs de ces exemples sont davantage pertinents en période transitoire et pourraient être expérimentés rapidement. Leur éventuel déploiement sur cette période aurait aussi des effets structurants à long terme, chaque technologie et mode de transport imprimant sa marque historique dans nos territoires et infrastructures.

D'autres exemples sont davantage applicables dans le temps long où le véhicule autonome et les technologies associées seraient largement disponibles et éprouvés.

En tout état de cause cette partie ne vise pas à l'exhaustivité des exemples mais à donner des perspectives sur les possibles, en illustrant les opportunités offertes par différents contextes.

Comment définir et évaluer l'intérêt socio-économique de services de mobilité utilisant des véhicules à conduite automatisée (Source : G. Bourgeois)

La démarche suivie

Quelles seraient concrètement des conditions économiques d'utilisation des véhicules autonomes, compte tenu des modalités d'usage imaginées, en concurrence ou en complémentarité avec les offres actuellement disponibles ? Les modèles économiques des services qui seront offerts par les véhicules autonomes doivent prendre en compte non seulement les comportements potentiels des usagers face aux performances technologiques et économiques des nouveaux services, mais aussi permettre de trouver les bons créneaux entre le transport public, qui relève d'une économie administrée et est très fortement subventionné et le transport privé, qui relève de l'économie de marché.

Pour chaque nouveau service envisagé, l'analyse économique doit mettre en évidence les paramètres qui déterminent le modèle économique « demande / offre de mobilité » :

- La différence de valeur créée pour l'utilisateur (flexibilité, coût, appropriation) pour chaque catégorie de service (du type « j'en ai envie, ça fonctionne, je l'utilise »), par rapport à la voiture personnelle non automatisée ou par rapport aux transports publics (taxis ou autobus) sur le même déplacement (ou succession de déplacements) ;
- Les paramètres d'exploitation du service (coûts fixes, taux de disponibilité des véhicules, circulations à vide) qui déterminent les coûts des véhicules x km utiles ;
- Les volumes de voyageurs intéressés par cette offre dans un territoire et pour des trajets déterminés, qui conditionneront la rentabilité du service.

Ce chapitre présente les résultats d'une étude réalisée par Guy Bourgeois, ancien Directeur Général de l'INRETS portant sur différents types de territoires, principalement choisis dans le Grand Paris, mais transposables à la variété des situations rencontrées sur le territoire français.

L'objectif est de permettre au lecteur d'imaginer, aussi concrètement que possible, ce que pourraient être de nouveaux services de mobilité utilisant des flottes de véhicules autonomes. **Cinq jeux de scénarios de déploiement, se référant à des territoires très différents, mais représentatifs de la diversité du paysage français**, vont être présentés. Les deux premiers vont se référer à la région parisienne, définie comme la zone agglomérée de l'Île-de-France (la zone centrale, la grande couronne), deux autres à la province (une métropole avec sa zone centrale et sa périphérie, une ville moyenne), la dernière un territoire « rural » en grande périphérie d'une métropole.

Le temps et le coût, facteurs d'arbitrage des voyageurs

Il convient de rappeler, du point de vue des voyageurs, quels sont les déterminants des choix modaux, leurs invariants, les facteurs qui peuvent les influencer. Car c'est bien le comportement des voyageurs qui déterminera la demande de ces nouveaux services. Les économistes sont, d'une façon générale, d'accord pour considérer que les deux principaux déterminants du choix modal sont le temps et l'argent. Selon les individus, selon le motif de leur déplacement, le temps n'a pas la même valeur. La question de la valeur donnée au temps est centrale dans la compréhension du choix modal.

Dans les déplacements de la vie quotidienne, le facteur premier de l'arbitrage est le temps, l'argent vient le plus souvent en second (pour se rendre à leur travail, 75% des automobilistes de l'Ile-de-France doubleraient leur temps de transport s'ils abandonnaient leur voiture pour les TC ; mais, ce faisant, ils diviseraient leur budget transport par... dix).

Les cinq exemples illustrent comment ces deux déterminants du temps et du coût monétaire se combinent pour aboutir à des résultats très différents en termes de choix modal. Et, lorsque le choix n'est pas d'entrée de jeu nettement tranché, comment d'autres facteurs vont intervenir (confort, qualité de service, sentiment de sécurité, etc.).

Parmi ces exemples, le « territoire d'expérimentation » du plateau de Saclay apparaît comme l'un des plus pertinents pour expérimenter les nouveaux services de mobilité que permettront les véhicules autonomes sous leurs différentes formes. Sa structure géographique, sa composition socio-économique, sa vocation tournée vers la recherche et l'innovation, la très forte présence de l'industrie automobile, l'arrivée d'une ligne de métro et l'obligation de repenser un urbanisme moins dépendant des voitures particulières, tous ces facteurs se conjuguent très favorablement.

Une flotte de robots-taxis dans le centre dense de l'agglomération parisienne

La faible place de la voiture personnelle dans les agglomérations à forte densité

Dans le centre dense de l'agglomération parisienne, le transport en voiture individuelle, dont l'usage est fortement dissuadé, est de moins en moins en situation de concurrencer le transport public, la marche à pied ou le vélo.

Le centre dense peut se définir comme la zone desservie par le métro, qui constitue, en France, la seule zone dans laquelle la domination du transport public est absolue. Nous sommes dans une situation où l'avantage des transports collectifs massifiés (métro, RER, tramway) en termes de coût monétaire ne peut pas se discuter, et où la comparaison en termes de temps de parcours tourne le plus souvent à l'avantage du transport collectif.

De ce fait, moins de 16% des personnes qui travaillent ou qui habitent dans Paris utilisent leur voiture pour leurs migrations quotidiennes, soit environ 350 000 automobilistes. Et ces 16% se répartissent en 3% de déplacements Paris → Paris et 13% de déplacements Paris → banlieue ou banlieue → Paris.

Le marché des taxis ou des VTC représente de l'ordre de 1% des déplacements des capitales mondiales

Dans ce contexte, le marché de la voiture à conduite automatisée serait celui des *Transports Publics Particuliers de Personnes* (TPPP), c'est-à-dire des taxis, VTC ou Autolib.

Ces TPPP ne peuvent concurrencer ni les transports publics (métro, autobus), très bon marché et dont l'offre est abondante, ni les modes doux (marche à pied, vélo) ; et d'ailleurs, ils ne le doivent pas, car le transfert d'utilisateurs des transports collectifs ou des modes doux vers un véhicule automobile ne ferait que renforcer la congestion et dégrader le service dans son ensemble.

Ils ne peuvent pas non plus constituer une offre alternative aux automobilistes qui sont en capacité de faire leur trajet de bout en bout dès lors qu'ils disposent d'une place de parking au départ et à l'arrivée. Ils constituent un marché de niche – de l'ordre de 1% des déplacements à Londres, à New York comme à Paris – concentré sur des motifs occasionnels spécifiques (aéroports, transports avec bagages), des clientèles à haut pouvoir d'achat (déplacements d'affaires) ou la partie la plus aisée de la clientèle qui vient occasionnellement à Paris pour affaires, visites ou tourisme.

Cette analyse conduit à proposer les trois scénarios ci-après :

1) Des plateformes de réservation de VTC (de type Uber) gérant une flotte de robots-taxis

C'est le scénario que vise Uber dans sa stratégie de développement. Il suppose que le couple véhicule autonome + infrastructure routière soit arrivé à sa pleine maturité. Et que ces véhicules, comme les taxis actuels, disposeront d'espaces adaptés pour la prise en charge et la dépose des passagers, pour du stationnement en attente, pour l'accès aux bornes de recharge et la maintenance...

Si tous ces préalables sont levés, et si la situation reste par ailleurs inchangée en ce qui concerne l'usage de la voiture particulière, les réseaux de transport en commun et les modes doux, on peut faire l'hypothèse que la demande pour ce service sera celle des « TPPP » (telle qu'elle a été évaluée par le rapport FACTA d'avril 2016), soit 35 000 véhicules pour Paris, la zone métro et les aéroports.

Ces véhicules seront plus chers que les actuels véhicules haut de gamme qui équipent les flottes de taxis ou de VTC. On peut considérer que les tarifs actuels des taxis et des VTC couvrent leurs frais de déplacement à vide. De ce fait, l'application de tarifs de l'ordre de 10 € pour un trajet de 20 mn, se situant entre les actuels tarifs d'Autolib ou d'Uber, seraient attractifs et permettraient au service de trouver sa rentabilité.

Un tel service améliorera significativement l'offre de mobilité aux heures creuses. Il pourra également se substituer : aux services de bus Noctilien en améliorant considérablement l'offre de transport public de la nuit à Paris ; et à des services spécialisés de transport de personnes à mobilité réduite, comme mission de service public.

2) Un système Autolib, en mode autonome (pour une période transitoire)

Il s'agit d'un scénario de période transitoire. Le concept d'Autolib est conservé, et la principale innovation est la capacité des véhicules à circuler en mode autonome, et, de ce fait, à se redistribuer à vide entre les stations. Le voyageur peut utiliser le mode de conduite autonome sur un réseau routier sécurisé qui relie entre elles toutes les stations, mais il peut également choisir de conduire le véhicule et circuler alors sur l'ensemble du réseau routier.

Le coût d'acquisition des véhicules sera plus élevé en raison des automatismes (hypothèse : + 20%), le coût d'exploitation sera aussi plus élevé du fait de la circulation à vide aux fins de redistribution (hypothèse : + 50%), mais inversement la capacité de redistribution à vide des véhicules devrait permettre d'augmenter fortement le taux de remplissage (hypothèse : doublement du taux de remplissage, en passant de 4 à 8 passagers par jour, et doublement corrélatif des recettes).

Ce système s'inscrit dans la continuité d'une offre existante, et pourrait être rapidement expérimenté en période transitoire. Il reste cependant tributaire de la notion de station et ne permet pas le porte-à-porte. Il constitue un service de gamme moyenne par rapport aux services des VTC ou des taxis.

3) Des quartiers exclusivement accessibles par des voitures autonomes à usage partagé

Les deux scénarios qui précèdent n'auront qu'un impact très marginal sur la circulation des voitures particulières dans Paris, pour la bonne et simple raison que la plupart des voitures particulières qui y circulent effectuent des parcours en plus grande partie à l'extérieur de la zone très bien desservie par les TC.

L'idée de ce scénario est d'interdire la circulation des voitures particulières à l'échelle d'un quartier, de n'autoriser l'accès à ce quartier qu'aux véhicules habilités, circulant en mode autonome à l'intérieur du quartier. Pour que le système fonctionne, il faut proposer aux habitants une alternative à l'utilisation de leur voiture particulière sous une forme fonctionnellement et financièrement équivalente, qui peut être la location d'un véhicule équipé du fonctionnement en mode autonome. Ce véhicule doit pouvoir aller partout, y compris permettre des séjours de loisirs, et être déposé partout. La location doit pouvoir être interrompue par la dépose du véhicule sur n'importe quel point autorisé du territoire. Les gestionnaires des flottes ont alors la charge de garantir la disponibilité des voitures aux points de réservation et d'assurer le bon équilibre entre l'offre et la demande en organisant les circulations à vide nécessaires.

Ce système offre une réelle alternative à l'utilisation de la voiture personnelle. Son fonctionnement nécessite toutefois des aménagements de pose / dépose et stationnement. Il implique des circulations à vide, qui, si elles sont trop nombreuses ne permettront plus d'équilibrer les coûts de location.

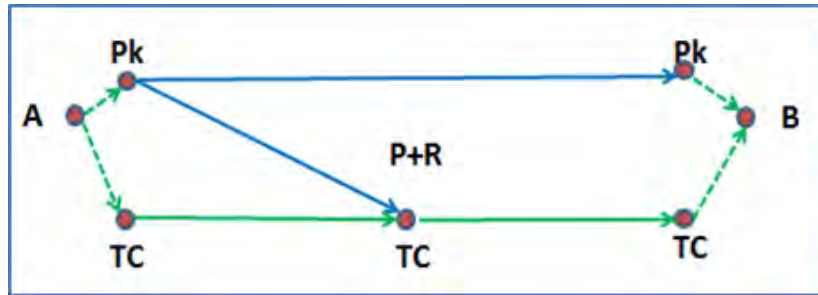
Globalement, il ne diminuera pas le nombre de véhicules en circulation. Les circulations à vide, mais aussi la possibilité d'effectuer dans de meilleures conditions de confort des trajets effectués en transport public, seront des facteurs d'augmentation du trafic et de la congestion.

Des services de rabattement dans la grande couronne francilienne – L'exemple du plateau de Saclay

Une géographie particulière

Le plateau de Saclay est un archipel de zones résidentielles et d'activités qui restent en partie « hors marche à pied » des nouvelles stations de métro de la ligne 18 du Grand Paris Express.

Les déplacements domicile-travail des différentes zones de l'archipel (point A) vers Paris (point B) s'effectuent à 25% en voiture ou en deux-roues motorisé. Les réseaux locaux de bus n'assurent pas des rabattements efficaces vers le réseau ferroviaire projeté (les trois stations de la ligne 18) : le transport collectif de bout en bout est un peu moins performant que la voiture particulière.



Trois solutions pour aller de A à B : (1) la voiture de bout en bout ; (2) l'autobus et le train de bout en bout ; (3) le rabattement en voiture (P+R) à la gare RER ou métro.

Les domaines de pertinence

Dans des territoires périphériques, comme le plateau de Saclay, les services de transport collectif par navettes sans conducteur n'apportent que peu d'avantages par rapport à la voiture individuelle pour les déplacements locaux de proximité car la congestion est limitée et le stationnement reste facile. Ils se révèlent beaucoup plus pertinents pour le rabattement vers les gares de transport collectif rapide (RER, métro), en vue d'accéder au centre de Paris et aux pôles d'activité denses de l'agglomération.

Une analyse fine des conditions de choix modal pour différentes catégories de liaisons conduit aux conclusions suivantes :

- Un service de véhicule autonome ne peut pas concurrencer la voiture particulière de bout en bout, sauf pour se rendre dans une zone dans laquelle le stationnement est payant et/ou prend du temps ;
- Si le transport collectif (RER, métro) est d'ores et déjà plus performant que la voiture particulière, un nouveau service payant qui permet de gagner du temps n'intéressera que les voyageurs à revenu élevé. C'est le ratio temps gagné / surcoût qui déterminera la demande pour le nouveau service ;
- Si le transport collectif est un peu moins performant que la voiture particulière, et si un nouveau service de rabattement permet une meilleure performance que la VP, alors le voyageur aura intérêt, quel que soit son niveau de revenu, à payer pour le nouveau service, car, en contrepartie, il économisera davantage en laissant sa voiture au garage.

Différents types de liaisons vers les gares pourraient être expérimentées pour que ce territoire de Saclay soit moins dépendant de la voiture particulière, telles que des scénarios ci-après :

A. Des navettes du dernier kilomètre pour améliorer la performance des transports collectifs

Ces navettes de véhicules autonomes complètent (notamment en heures creuses) les lignes d'autobus actuelles, ou remplacent celles qui sont trop peu fréquentées, selon la règle précédemment énoncée : *là où un bus standard fonctionne en forte sous-capacité et transporte moins de 10 personnes, il pourrait être remplacé, à conditions de coût à peu près équivalent, par trois navettes autonomes, capables alors d'offrir un bien meilleur service.*

Ce scénario s'inscrit dans une démarche d'amélioration de l'efficacité des réseaux de bus : les lignes principales peuvent devenir plus courtes (moins de détours), plus rapides (moins d'arrêts, plus de sites propres), ce qui les rend plus attractives et moins coûteuses (c'est le « cercle vertueux » du transport public).

Mais il peut se révéler inapproprié dans les zones denses qui entourent les gares, et compliqué à gérer à des distances trop élevées des gares.

B. Un maillage de taxis-robots PRT (Personal Rapid Transit)

Dans ce scénario, des stations seraient implantées sur l'ensemble du territoire ; elles sont reliées entre elles par un réseau routier où circulent en continu des petits véhicules de transport collectif (4 à 6 places). Afin d'assurer prioritairement la desserte des pôles d'échange à partir des zones d'habitation, et celle des zones d'emploi à partir des pôles d'échange. Cette organisation permet à chaque véhicule de transporter plusieurs passagers, en allant à destination par le parcours le plus direct.

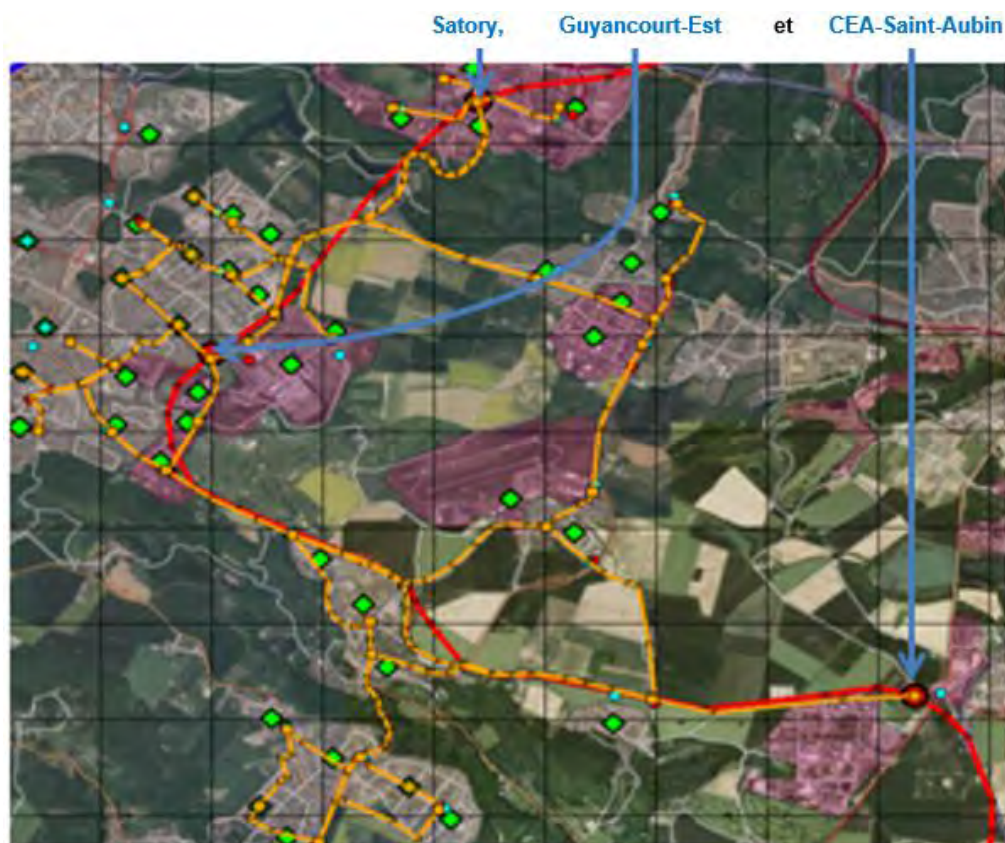
La redistribution des véhicules vides s'effectue en optimisant les mouvements nécessaires des stations excédentaires vers les stations déficitaires.

C'est une extension du réseau de transports collectifs, accessible à tous les voyageurs, y compris ceux qui ne disposent pas d'automobile personnelle ; il peut être dimensionné et géré dans le cadre d'une délégation de service public, et subventionné en tant que tel, compte tenu notamment des économies qu'il peut permettre de réaliser sur les lignes de bus classiques et qui peuvent lui être réaffectées.

Ce système ne concurrencera pas la voiture particulière pour les trajets de proximité de porte-à-porte, mais seulement pour les trajets susceptibles d'utiliser un transport rapide massifié (RER, métro, tramway).

Il faudra en conséquence : adapter l'organisation des espaces de prise et de dépose des voyageurs, comme de circulation et de stockage des véhicules aux abords des stations ; imaginer le système de paiement et de contrôle d'accès à bord qui sera compatible avec ces mouvements de voyageurs ; mettre en place un système tarifaire qui dissuade le cabotage de trop courte distance en période de pointe...

Exemple d'un réseau de Personal Rapid Transit pour raccorder les territoires du centre du plateau de Saclay aux stations de la ligne 18 du Grand Paris Express



C. Des voitures automatisées en libre-service utilisables 24 h / 24, en complément du maillage PRT

Il n'est évidemment pas pertinent d'imaginer atteindre les performances espérées du réseau PRT du scénario précédent, avec des véhicules individuels qui seront chers et ne permettront pas le covoiturage. Cependant, il existe une clientèle d'automobilistes aisés, qui auraient intérêt à payer un service au tarif Autolib pour rejoindre rapidement le réseau structurant de transports collectifs. Cette clientèle est plutôt diffuse sur le territoire, dans les zones pavillonnaires de faible densité (c'est-à-dire les zones, éloignées des pôles d'échanges, les plus difficiles à desservir sans voitures particulières).

C'est pourquoi, il est vraisemblable qu'un service Autolib haut de gamme – permettant par exemple le porte-à-porte, les automatismes assurant le trajet de la station la plus proche au domicile – pourra trouver une clientèle au-delà de la clientèle du réseau PRT.

Un tel service « Autolib automatisé » sera particulièrement intéressant pour la multitude de déplacements professionnels qu'effectuent sur un tel territoire des provinciaux ou des étrangers dépourvus de voiture personnelle. A quelques différences près, ses avantages et inconvénients sont les mêmes que dans le cas parisien présenté ci-dessus.

En contrepoint de la situation parisienne, l'exemple d'une métropole de province : le centre de Lyon et le périurbain de l'Est lyonnais

Des mécanismes à l'œuvre très semblables entre Lyon et Paris

La métropole du Grand Lyon présente des caractéristiques qui la rapproche de Paris : une zone centrale très dense (Lyon et Villeurbanne), une banlieue proche de bonne densité urbaine, une vaste périphérie. Les mécanismes à l'œuvre sont très semblables entre Lyon et Paris.

Mais le changement d'échelle conduit à des résultats très différents : à Lyon, les distances sont plus courtes, et les transports collectifs sont moins rapides sur les longs trajets. Le transfert modal de la voiture particulière vers les transports collectifs ne se fait pas aussi spontanément en région lyonnaise qu'en région parisienne, d'autant plus que Lyon, et notamment sa partie centrale, est très bien équipée en parkings.

Un système de robots-taxis dans la zone centrale

On peut imaginer, pour la zone centrale, transposer les solutions proposées pour Paris, en commençant par *faire évoluer Bluely, l'Autolib lyonnais*, dont les véhicules seraient dotés d'automatismes permettant la redistribution à vide entre les stations. Mais, autant il semble qu'Autolib à Paris souffre d'un déficit d'offre lié à la mauvaise répartition des véhicules sur le territoire, autant il apparaît que Bluely à Lyon souffre d'abord d'un déficit de demande. Chaque véhicule, à Lyon, est utilisé en moyenne 1,8 fois par jour, moitié moins qu'à Paris (3,4 fois). Le même phénomène qu'à Paris se produit, encore plus accentué : les stations ne peuvent pas s'auto-équilibrer spontanément, les zones d'habitation, les secteurs d'emploi et les espaces commerciaux n'étant pas répartis de façon homogène.

Compte tenu des tarifs plus bas rendus possibles avec des véhicules automatisés, et la possibilité d'organiser en permanence des flux de redistribution de véhicules vides des stations excédentaires vers les stations déficitaires, on peut espérer atteindre un bon taux d'utilisation, de l'ordre de 10 par jour.

La mise en place d'un système de robot-taxi plus performant permettant le porte-à-porte, ne s'imposera pas naturellement sur le marché lyonnais de la mobilité. Il faudra une politique volontariste, combinant des mesures de restriction de l'usage des véhicules particuliers et des dispositions permettant aux habitants comme aux salariés d'effectuer les déplacements dont ils ont besoin. Comme en région parisienne, la restriction de la circulation dans le centre de l'agglomération passe par des politiques de transfert modal (de la voiture particulière aux transports collectifs massifiés) pour les déplacements radiaux périphérie-centre ou centre-périphérie.

Un réseau de type PRT en périphérie ? L'exemple de l'Est lyonnais

Le territoire périurbain desservi par les quatre stations de la ligne du tramway T3 (comprenant trois communes de l'Est lyonnais, Décines-Charpieu, Meyzieu et Jonage), est l'exemple type d'un territoire très concerné par la problématique dite « du dernier kilomètre ». D'importantes zones d'emploi (La Soie, Meyzieu ZI) sont à proximité. L'habitat est un mélange de petits immeubles collectifs et de vastes zones pavillonnaires. Dans le cadre du projet européen ESPRIT, un réseau de type PRT y a été imaginé, permettant aux habitants de ces trois communes de se déplacer à l'intérieur de ce territoire, ou de se rabattre sur une des stations du tramway.

Grâce au tramway, le partage modal, pour les déplacements motorisés, est un peu plus favorable au transport que la moyenne périurbaine (16% au lieu de 10%), avec un clivage très net selon que l'origine ou la destination du déplacement est la zone centrale. Pour les autres déplacements, la part modale du TC est encore plus faible.

En ce qui concerne les temps de parcours, la voiture particulière, même avec un temps significatif de parking à l'arrivée, reste imbattable. Rejoindre rapidement une station du tramway, soit avec une solution voiture personnelle + parking, soit avec une solution « *Personal Rapid Transit* », fait gagner beaucoup de temps par rapport à une ligne de bus plus lente et qui fait d'importants détours. Mais le gain de temps réalisé ensuite sur le parcours en tramway est insuffisant pour donner, globalement, un avantage au transport collectif. C'est là une différence majeure avec la région parisienne et ses liaisons radiales très rapides.

En ce qui concerne les coûts, l'écart entre voiture particulière et transport collectif est plus faible que sur les longues distances parisiennes.

Dans un tel contexte, l'insertion d'un service de type PRT n'est pas évidente, car il doit à la fois : être peu coûteux, pour pouvoir se substituer avantageusement au réseau local d'autobus ; et éviter la concurrence avec les trajets de rabattement en voiture particulière au parking des gares.

Dans une ville moyenne, un réseau de PRT fonctionnant en appui de voies de bus traversantes

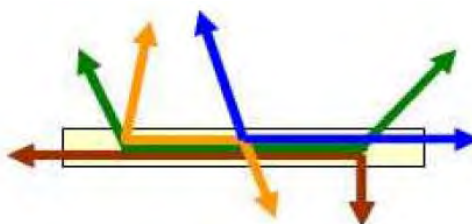
Des villes moyennes dominées par l'utilisation de l'automobile individuelle

Chartres est une ville très représentative des villes moyennes françaises : une agglomération de 120 000 habitants, un centre-ville de bonne densité urbaine, la commune de Chartres et ses 38 500 habitants, et une ceinture de petites communes, de densité intermédiaire, dans lesquelles la spécialisation de l'espace entre zones d'habitation et zones d'emploi est très marquée. La domination de la voiture est absolue. 87% des déplacements domicile-travail motorisés ayant Chartres pour origine et/ou destination se font en voiture particulière ou deux-roues motorisé. En contrepoint, 82% des 1 400 habitants de Chartres et de sa périphérie qui travaillent à Paris s'y rendent en transport collectif.

Un schéma de transport collectif associant une infrastructure dédiée TCSP et des taxis-robots de type PRT

Pour les villes secondaires situées à longue distance des métropoles, comme Chartres, où il est possible de dégager des voies dédiées irriguant la partie centrale dense de l'agglomération, un réseau de robots-taxis collectifs (de type *Personal Rapid Transit*) pourrait être conçu comme une composante du réseau général de transports collectifs pour une desserte 24 h / 24 des quartiers périphériques, voire une substitution complète dans les cas où la circulation urbaine reste fluide en zone centrale.

Le Bus Way : une configuration en tronc commun, bien adaptée aux villes moyennes étendues à faible demande



Ce scénario pourrait comprendre les cinq mêmes « ingrédients » que ceux du plateau de Saclay :

1. Une transformation complète du réseau de bus classique en BHNS (lignes de bus massifiées à haut niveau de service) avec un coût d'exploitation fortement diminué.
2. Quelques circuits de navettes automatiques de 12-15 places dans le centre urbain dense, en correspondance avec les lignes de BHNS.
3. Un réseau de *Personal Rapid Transit* (PRT), mis en place tout autour de la ville, faisant partie intégrante du service de transport public. Aux heures pleines, il permettrait seulement les correspondances avec la station BHNS la plus proche. Aux heures creuses, les véhicules pourraient emprunter les sites propres.
4. Le coût d'exploitation de l'ensemble (BHNS + navettes de centre-ville + PRT) devrait pouvoir être maintenu dans le budget actuel ; en gagnant en attractivité, le réseau pourrait réduire son déficit commercial.
5. Un service public de robots-taxis personnels pourrait compléter le dispositif en s'adressant soit à une clientèle à fort pouvoir d'achat résidant dans les zones pavillonnaires plus excentriques, soit à la clientèle des visiteurs professionnels dans les zones d'emploi, soit à toutes les personnes ayant occasionnellement besoin d'un service de taxi.

Des véhicules communautaires pour les habitants de territoires isolés

Dans l'opinion dominante, les voitures autonomes sont perçues comme un outil au service des espaces urbains pollués et congestionnés. Mais leur potentiel pour transformer ou revitaliser des territoires trop souvent laissés à l'écart du développement économique et social ne doit pas être sous-estimé.

Un réseau de transport collectif adapté au territoire rural

Le territoire du PNR (Parc Naturel Régional) du Vexin est un exemple intéressant : les déplacements exclusivement internes au territoire sont très inférieurs à la moyenne des territoires ruraux, les habitants devant le plus souvent sortir du territoire pour accéder aux services quotidiens. Une partie significative de la population, estimée à 8%, ne se déplace pas un jour de semaine, il s'agit souvent de personnes âgées, vivant dans des habitats isolés. Enfin, ce parc naturel attire de nombreux visiteurs, jusqu'à 50 000 personnes pour des loisirs du dimanche.

Le transport public interne au territoire est assuré par TIM BUS, qui, avec 9 lignes régulières et 45 véhicules, transporte 4 000 voyageurs par jour, soit près de 200 courses par jour avec en moyenne 20 voyageurs. C'est un service public excessivement coûteux.

Des robots-taxis collectifs à la demande

Un service de transport à la demande fonctionnant avec des robots-taxis collectifs de 4-6 places pourrait fonctionner de la façon suivante :

- Aux heures de pointe du matin et du soir, priorité aux déplacements domicile-travail et domicile-école, réalisés selon un protocole de réservation la veille pour le lendemain, ajustable en temps réel, recourant au principe des « lignes virtuelles » optimisées en temps réel en fonction de la demande.
- Aux heures creuses, fonctionnement en mode taxi, individuel ou collectif, et ajout d'une offre de services spécifiques dédiés aux personnes isolées et aux déplacements médicaux.
- Le dimanche et pendant les saisons touristiques, fonctionnement en mode de taxis collectifs sur réservation, permettant notamment aux Parisiens d'accéder au PNR par le réseau RER. Il serait possible d'aller plus loin et d'interdire purement et simplement aux visiteurs du PNR d'y utiliser leurs voitures personnelles et en installant, aux abords du parc, les parkings dans lesquels les robots-taxis prendraient le relai.

On peut supposer qu'une flotte de 150 véhicules automatisés de 4-6 places coûtera beaucoup moins cher que le service TIM BUS actuel et pourra attirer bien davantage de clients. On peut imaginer une tarification très personnalisée, permettant des subventions (pass Navigo, services sociaux pour les personnes âgées ou les déplacements médicaux), mais aussi des tarifs commerciaux (fonctionnement en mode taxi individuel, activités de loisirs).

CHAPITRE 5 – LA PLACE DES VEHICULES AUTONOMES POUR REMODELER L'ESPACE URBAIN

Les véhicules autonomes devront s'insérer dans des systèmes de mobilité urbaine constitués d'enchaînements, d'intermodalités et d'interopérabilité (Source : D. Rouillard)

La ville – définie comme un ensemble de lieux d'activité, de rencontre et d'échange que l'on peut atteindre ou fréquenter dans la vie quotidienne – rassemble une diversité d'espaces urbains dont les liens et les articulations, continus ou distendus, déterminent l'organisation des mobilités.

La valeur première d'un système de transport urbain, c'est l'offre multiple de déplacements porte-à-porte qui enchaînent :

- Des mobilités « douces » (mais en réalité faisant appel à la force musculaire) : marche à pied et vélo.
- Des mobilités assistées pour un homme augmenté de l'âge de la machine : tapis roulant, escalator, vélo à assistance électrique.
- Tous les engins de l'ultramobilité urbaine personnelle (ou les VECs, véhicules écologiques connectés à 1, 2, 3 ou 4 roues).
- Des transports en commun (programmés ou à la demande).
- Des transports individuels partagés (taxis, VTC, covoiturage).

Ces offres de déplacements utilisent des véhicules hybrides, électriques et automates, et sans doute quelques-uns – et pour encore longtemps, jusqu'à extension des ressources fossiles – à combustion thermique...

La voiture personnelle, dont le service en théorie est celui du porte-à-porte, n'échappe pas à cette chaîne complexe dès lors que la densité de l'espace urbain ne permet plus la fluidité de la circulation (le temps de transport devient aléatoire), ni la disponibilité d'un stationnement « sur place » au départ et à l'arrivée (en l'absence de chauffeur, il faut trouver un parking et marcher ensuite à sa destination). Cette « contrainte » que l'espace urbain impose à la circulation automobile, et le service porte-à-porte aléatoire qui en découle, est une donnée qui a été soulevée dès les années 60, sans pour autant dissuader efficacement l'utilisation du véhicule particulier. Aujourd'hui, en dehors des hyper-centres urbains, la voiture individuelle reste une concurrente sérieuse à toute autre alternative de déplacement plus vertueuse. Une réalité à ne pas oublier dans les scénarios prospectifs sur le véhicule autonome et sa réussite économique.

Chaque usager fait déjà, et fera de plus en plus, un calcul précis entre les différents facteurs qui entrent en jeu dans son choix de vecteur de déplacement, pour le meilleur rapport entre temps / coût / confort / fonctions ou objectifs du déplacement, dans un équilibre ou une « rentabilité » personnelle qui lui semble optimale au moment choisi. C'est la « ville de chacun ».

De ce fait, **aucun système de transport n'est totalement substitutif à un ou aux système(s) existant(s)** : ce sont les enchaînements, les articulations, l'intermodalité et l'interopérabilité qui sont à penser dans la multiplicité et la totalité des déplacements de chaque individu. C'est donc un même univers de mobilité qui est à considérer dans le contexte de déplacements courts en milieu urbain et périurbain.

Les trois questions corollaires qui se posent sont celles : 1/ de la *coprésence* ou du partage de l'espace de circulation / arrêt de ces différents vecteurs de mobilité ; 2/ de l'*intermodalité*, ou du passage (ou pas ?) d'un mode de transport à un autre ; 3/ de l'*attraction* opérée par les centralités périurbaines (notamment commerciales) et les stations intermodales, revalorisées par le développement du partage du véhicule automate et de la fonction de rabattement.

Le véhicule autonome s'inscrit dans cette pensée écosystémique, dans ce raisonnement à la fois d'un point de vue sociologique, économique, urbanistique et environnemental.

Le développement, la mise en service et les usages des véhicules autonomes sont à imaginer au sein de territoires urbanisés qu'ils auront bouleversés et/ou qui auront su les accueillir. Ils se substitueront parfois, et ils ajouteront aussi un vecteur de déplacement à la multitude des usages et des véhicules susceptibles d'occuper l'espace urbain, ou le revendiquant. Le territoire du Grand Paris – ses futures gares comme son tissu urbain dense ou distendu – est directement concerné par cette question.

Comme tous les autres systèmes de transport, les véhicules autonomes vont utiliser une partie de l'espace urbain pour la circulation, le stationnement, l'énergie, la maintenance... (Source : O. Paul-Dubois-Taine, D. Rouillard)

Quels espaces, spécifiques ou banalisés, seront nécessaires et comment les aménager dans différentes catégories de territoires ? A la lumière de comparaisons avec les modes de fonctionnement des systèmes de transport existants, individuels ou collectifs, on peut proposer les hypothèses de travail suivantes :

La circulation des véhicules sans conducteur ou à conduite déléguée devra s'effectuer sur des itinéraires sécurisés (voies réservées aux seuls véhicules motorisés ou voies urbaines / périurbaines réservées ou aménagées) dès lors que leur vitesse est importante (supérieure à 30 km/h par exemple). Il faudra par ailleurs tester des circulations à faible vitesse (inférieure à 20 km/h) dans des « espaces de rencontre banalisés », notamment pour la pose / dépose des voyageurs et pour le « transport hectométrique » à l'intérieur de ces espaces (comme le tramway traverse aujourd'hui une place piétonne).

Le stationnement de ces véhicules pourra s'effectuer dans les conditions actuelles pour les véhicules à conduite déléguée, dès lors que le conducteur a « repris la main » à proximité de sa destination. Par contre les services de véhicules sans conducteur à bord auront besoin d'espaces de stationnement réservés, comme les aires d'attente des taxis ou des voitures en libre-service (notamment pour éviter qu'ils encombrent la circulation en recherchant indéfiniment une place disponible).

Ces aires de stationnement, branchées sur le réseau d'itinéraires sécurisés pourront toutefois se trouver à distance des lieux importants de pose / dépose, grâce à la fonction automatisée de « valet de parking ».

La pose / dépose des utilisateurs de services de véhicules autonomes pourrait s'effectuer à des emplacements aménagés le long des itinéraires sécurisés (de type « halte bus ») ou de façon continue dans les espaces de rencontre aménagés. Ce qui posera des problèmes d'organisation des accès aux gares et aux points d'échanges à forte circulation de voyageurs, où la concentration de véhicules à faible taux d'occupation n'est pas souhaitable.

Des équipements et lieux de maintenance seront également nécessaires pour l'alimentation énergétique des véhicules sans conducteur (recharge des batteries électriques ou des réservoirs de carburant), leur entretien régulier, et leur dépannage en cas de problème. Des espaces de maintenance devront être aménagés pour véhicules autonomes accessibles via le maillage d'itinéraires sécurisés sur lesquels ils peuvent circuler.

L'espace urbain sera alors structuré par un maillage d'itinéraires, de garages et lieux de maintenance spécialisés, et d'espaces de rencontre aménagés, sur lesquels l'usage de véhicules autonomes sera progressivement autorisé.

Ces infrastructures du véhicule autonome pourraient être largement mutualisées :

- Dans les espaces urbains denses, le maillage d'itinéraires sécurisés serait partagé avec les transports collectifs d'autobus et les taxis, notamment les voies réservées dans les zones encombrées.
- Dans les espaces périurbains, la mise au point de logiciels de gestion des trafics de plus en plus performants permet à des véhicules de transport en commun sur roue, au premier chef les véhicules autonomes, d'utiliser les voies ferrées en alternance avec leurs usages « ferrés ». Ce principe de mutualisation du réseau, avec une mixité des modes de transport sur les voies ferrées, induisant la multiplication des haltes ferrées de courtes distances, possède un potentiel de développement considérable dans toutes les villes dotées d'une gare, petites et grandes.

Réciproquement, les voies de chemin de fer désaffectées, ou déjà transformées en voies piétonnes, pourraient accueillir de nouveau des transports en commun par des navettes autonomes sur roues.

Gare automate-train



© Door-to-door. Futur du véhicule, futur urbain

Dans la ville dense, la qualité urbaine du véhicule autonome est sa capacité d'insertion et de requalification de l'espace public (Source : D. Rouillard)

Un véhicule électrique pour des usages quotidiens

Au moment où il sortira sur le marché, au-delà des phases expérimentales en cours, le véhicule autonome sera plutôt un véhicule électrique, dans tous les cas de figure (robot-taxi, navette, transport à la demande, automates personnels...). Dès lors, les qualités potentielles du véhicule autonome, à considérer en relation avec son accueil, son insertion dans l'espace urbain et périurbain, et les transformations qu'il peut amener, sont : silence, connectivité (l'Internet des objets), serviciel (partageable, échangeable), propreté, lenteur, sécurité, et d'être de toutes dimensions / encombrements possibles.

Les qualités urbaines du véhicule autonome écologique, lesquelles ont tant manqué aux véhicules thermiques qui ont bouleversé les villes et les paysages tout au long du XX^e siècle, et jusqu'à aujourd'hui, sont autant de données qui amènent à définir *un urbanisme de la qualité et des sensations*.

On peut aujourd'hui dire que l'organisation de l'espace public de circulation et de stationnement change l'ambiance de la ville plus que le dessin des rues et des places. Le traitement de la chaussée, le partage (ou non) des « voies », sont les premières questions qui se posent. Le véhicule autonome sera-t-il autorisé à fréquenter dans les mêmes espaces ses congénères (véhicules à conduite humaine), moins dotés que lui de ses aptitudes-réflexes pour stopper en cas de danger ? La question fait actuellement débat pour le partage de la voirie entre piétons et vélos... La diminution des vitesses – on est passé du « 50 km/h en ville » aux « zones 30 », puis aux « espaces de rencontre » (20 km/h), et la réduction de la vitesse à 10 et 5 km/h est déjà imaginée – peut-elle participer de la négociation ? La lenteur (souvent décriée) des véhicules autonomes n'est-elle pas au contraire en accord avec les demandes d'une ville dite apaisée, conviviale, du partage d'expériences et d'un « vivre ensemble » dans des espaces publics d'où la voiture thermique est de plus en plus exclue ? Enfin, les véhicules de tout type, étant amenés eux-mêmes à se doter de systèmes anticollision et d'automatismes de plus en plus perfectionnés, ne seront-ils pas aussi de plus en plus capables, et donc autorisés à partager les mêmes espaces que les véhicules (totalement) autonomes ?

Repenser l'aménagement de l'espace public

Le véhicule autonome pourra amener à reconsidérer notablement les conceptions traditionnelles de « l'aménagement urbain ». L'espace public pourra être aménagé avec des qualités d'ambiance accrues et des sols sensibles aux véhicules autonomes et connectés : éclairages intégrés intelligents, suppression progressive ou diminution de la signalétique autoroutière, etc. L'idée même « d'espace public » sera à redéfinir à partir du moment où le véhicule automate pourra avoir la fonction de livrer des biens ou de déposer / venir chercher des personnes : il pourra pénétrer dans les intérieurs des bâtiments, emprunter les coursives et ascenseurs, etc. L'opposition rendue plus incertaine entre espaces intérieurs / espaces extérieurs pourrait amener à reconsidérer le traitement qualitatif

des espaces, comme leurs frontières et sécurité. Tout comme les transports en commun traditionnels ont créé leur propre design, les navettes autonomes dessinent la ville et la rendent visible.

Relier les « délaissés urbains »

Sur un autre versant qualitatif, comment les véhicules autonomes qui fréquenteront les grands axes de circulation urbaine peuvent-il amener à se réapproprié ce qui constitue aujourd'hui des délaissés territoriaux, ceux que dessinent en négatif les « cartes de bruits » des villes, zones linéaires bordant les voies et rendues impropres ou difficiles à construire en raison des effets environnementaux néfastes pour la santé et le bien être ? Parfois situés au cœur même des villes, ces franges infréquentables sont dotées d'une potentielle haute valeur foncière.

A l'échelle du Grand Paris, l'organisation des systèmes d'accès aux pôles d'échanges intermodaux sera la condition essentielle d'amélioration des déplacements « porte-à-porte » (Source : D. Rouillard)

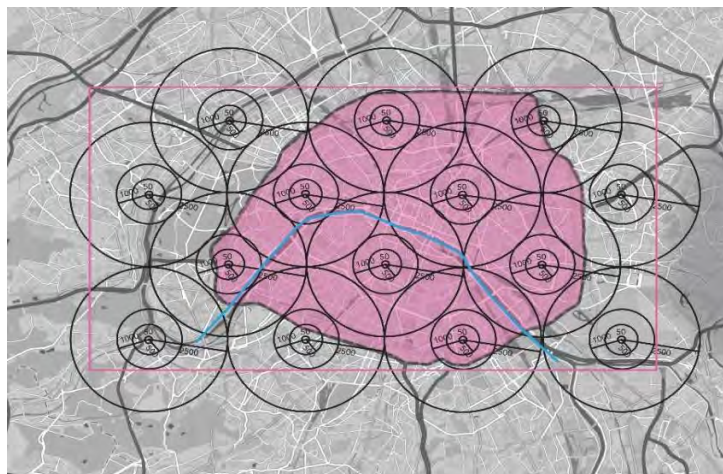
Les gares du Grand Paris Express

La mise en œuvre des métros automatiques du GPE améliorera certes la condition de mobilité dans la métropole, et augmentera le nombre de gares de rabattement, mais les secteurs éloignés d'une station de TCSP au-delà d'une distance théorique acceptable de marche à pied (10 mn ou 650 m) demeureront lourdement majoritaires. L'enjeu pour les gares du GPE est bien la prise en compte de l'intermodalité, avec une visée juste et à jour de la multiplicité des offres de transports, au-delà du transfert entre transports lourds (SNCF / RER), ou traditionnels (RER / bus, cars, vélos).

Distinguer dans la conception et de manière successive d'abord la « boîte gare » à l'intérieur puis le parvis-espace public à l'extérieur – et quelle que soit la qualité de son traitement de surface et de végétalisation – n'est-ce pas aussi détacher physiquement les transports lourds-traditionnels prioritaires des modes et usages « autres », les éloigner et les traiter secondairement ? Proximité, visibilité, accessibilité pour changer aisément de modes de transport, possibilités de stationnement pour charger / décharger les passagers du covoiturage ou du véhicule autonome qui se présente sont des données majeures pour encourager la multi-modalité (voir l'exemple du Plateau de Saclay présenté au chapitre 4).

Pour les gares d'échange plus éloignées (RER ou Transilien), la fonction « valet de parking » des véhicules autonomes (sans même attendre d'ailleurs l'ultime niveau 5 de totale autonomie) conduit à dissocier le lieu de dépose ou de charge de l'utilisateur du lieu de parking du véhicule automate. Pour les espaces fonctionnant comme hub de l'intermodalité, à fort potentiel foncier, la conséquence en est la valorisation des espaces jusque-là dévolus à la fonction parking, en les destinant à des occupations plus attractives et rentables (logements, commerces, bureaux, etc.).

**La vie urbaine à partir des déplacements « augmentés » de chacun par des véhicules automates.
14 pôles d'accessibilité et d'échange pour couvrir Paris et sa première couronne.**



© Door-to-door. Futur du véhicule, futur urbain

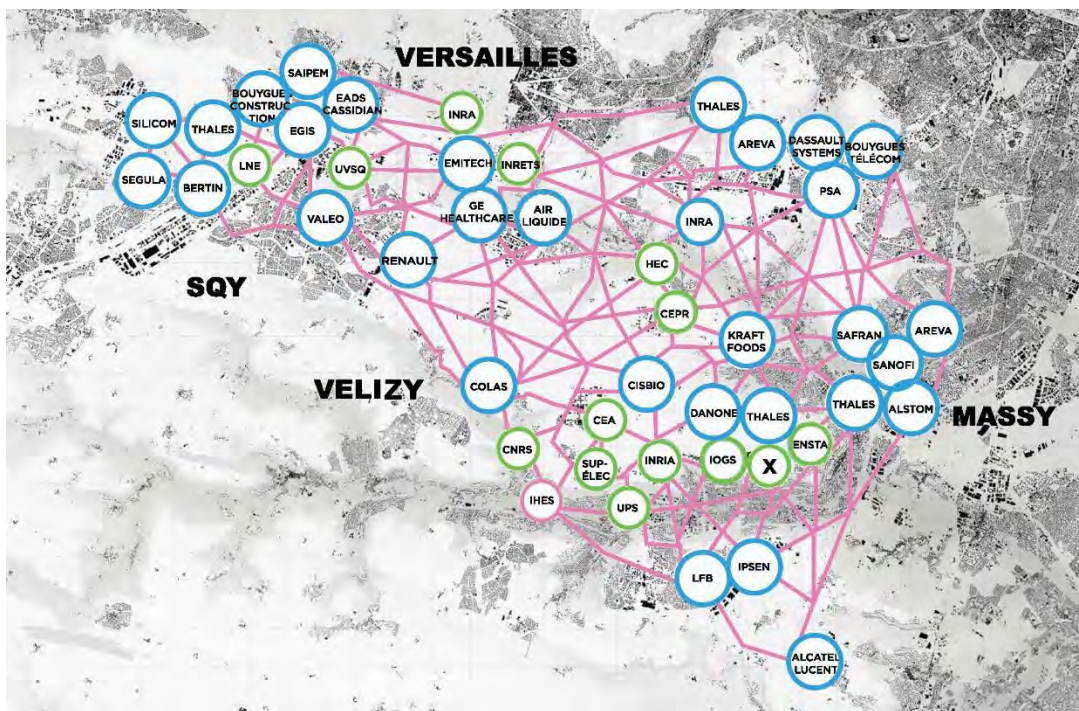
Dans des territoires périurbains, le véhicule autonome aura une fonction réparatrice de la « ville morcelée » : un urbanisme des déplacements à la place d'un urbanisme spatial (Source : D. Rouillard)

Lorsqu'une collectivité distribue, parfois gratuitement, à ses administrés des vélos, des vélos électriques et bientôt des trois-roues, ou quatre, afin de diminuer la congestion ou la pollution, que fait-elle ? Le transport demeure individuel, mais la démarche est collective. L'offre d'un service de véhicules autonomes à la demande ou de type navette, venant chercher les enfants pour les conduire à l'école montre l'équivalence qui peut s'installer entre un urbanisme des déplacements et un urbanisme spatial.

Si, par exemple, dans un territoire périurbain plus ou moins isolé, le nombre d'enfants vient à croître ou à décroître, la municipalité décidera-t-elle de construire une nouvelle école ou de fermer une classe, ou préférera-t-elle investir dans la mise en service d'une navette sans chauffeur, permettant une accessibilité aisée à une école plus éloignée ? Dans ce cas, un bâtiment et un véhicule sont équivalents.

Le véhicule autonome a une fonction réparatrice pour la ville distendue. A Saclay-Satory par exemple, un site immense et loin de tout a été choisi pour développer la plus grande concentration d'expertise, de recherche et d'enseignement supérieur de France, avec peu de TC, aujourd'hui comme dans le scénario du futur GPE. Parce qu'il va permettre de relier des sites distendus et éloignés, le véhicule autonome pourra redonner les connexions manquantes aux campus universitaires et aux parcs d'activités éloignés, aux centres tertiaires et aux entreprises posées loin des connexions. Il donnera accès aux « équipements de proximité » (école, crèche...) mais non accessibles par la marche à pied.

Réparation : maillage des entreprises sur le Plateau de Saclay



© Door-to-door. Futur du véhicule, futur urbain

Croissance ou décroissance du trafic et du stationnement automobile : deux trajectoires possibles (Source : O. Paul-Dubois-Taine)

En permettant aux usagers de bénéficier de systèmes de transport porte-à-porte sans disposer de voiture personnelle, à des coûts inférieurs au taxi individuel ou partagé (comme dans les exemples présentés ci-dessus), le véhicule autonome pourrait accompagner et faciliter la transition d'un parc automobile à usage personnel vers un parc moins important, mais utilisé de façon partagée et donc plus intensive. Déjà observée dans les grandes agglomérations denses, cette « démotorisation » des ménages faciliterait à la fois l'entretien et le renouvellement

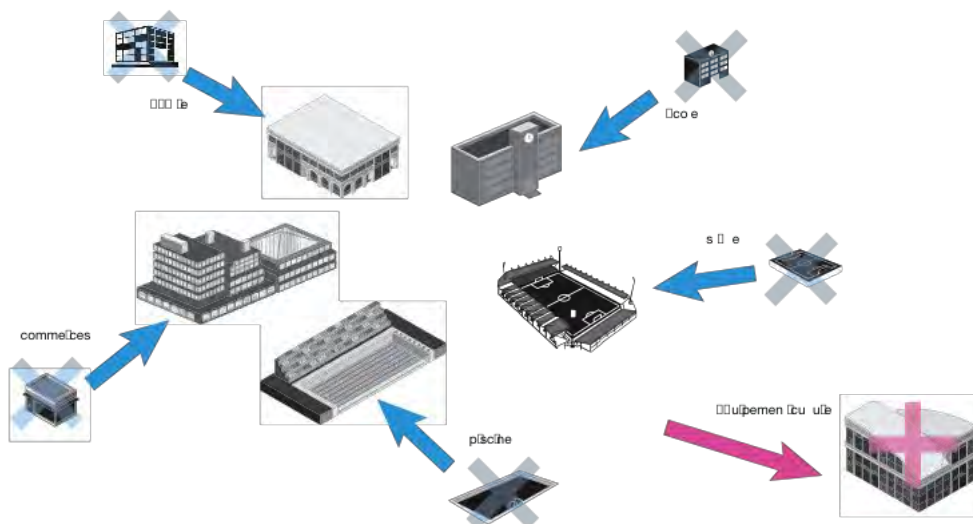
régulier du parc, et diminuerait l'encombrement de l'espace au profit d'usages plus « urbains » et écologiques, dans une perspective de relative stabilité des véhicules-kilomètres parcourus.

Mais cette trajectoire vertueuse n'est pas acquise : on peut imaginer, à l'inverse, une augmentation des kilomètres, parcourus, induite par les facilités d'usage des véhicules autonomes, par exemple pour le domicile-travail, pour les déplacements touristiques à moyenne-longue distance, ou pour les personnes ayant aujourd'hui peu de possibilités de déplacement (adolescents, personnes âgées). Cela pourrait conduire au développement de l'habitat et des activités dans des aires périurbaines d'attractivité des autoroutes, et pas seulement dans les aires de proximité des gares ferroviaires bénéficiant de rabattement de véhicules autonomes.

Concentration ou dispersion ? Une opposition dépassée (Source : D. Rouillard)

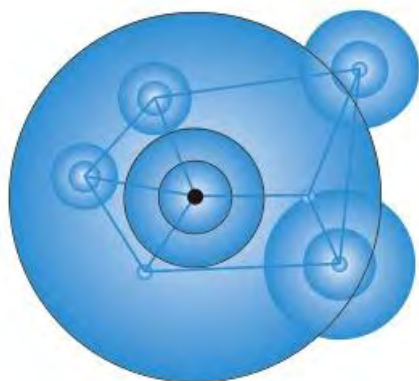
Les véhicules autonomes permettent plus aisément de couvrir le territoire urbain, ils étendent les possibilités de choix de destination dans les villes – choix d'école, de cinémas et de théâtre, de maisons de jeunes, de clubs sportifs, etc., comme aussi de lieux de chalandise. Ils permettent d'atteindre les pôles jusque-là trop éloignés qui se voient dès lors fréquentés par un plus grand nombre d'usagers. Parallèlement, les lieux plus renommés mais distants pourront conserver leur attrait qui se renforcera du fait d'une meilleure accessibilité.

Concentration-dispersion : l'effet hub

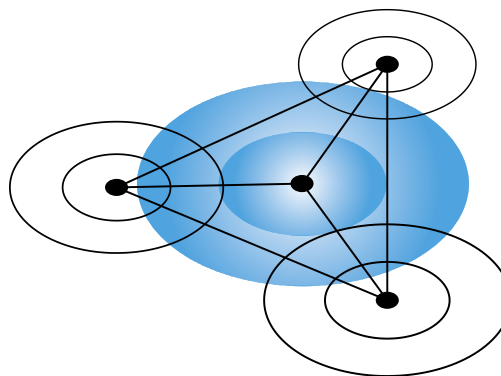


© Door-to-Door. Futur du véhicule, futur urbain

Un pôle plus attractif que les autres



Au barycentre avec un véhicule automate



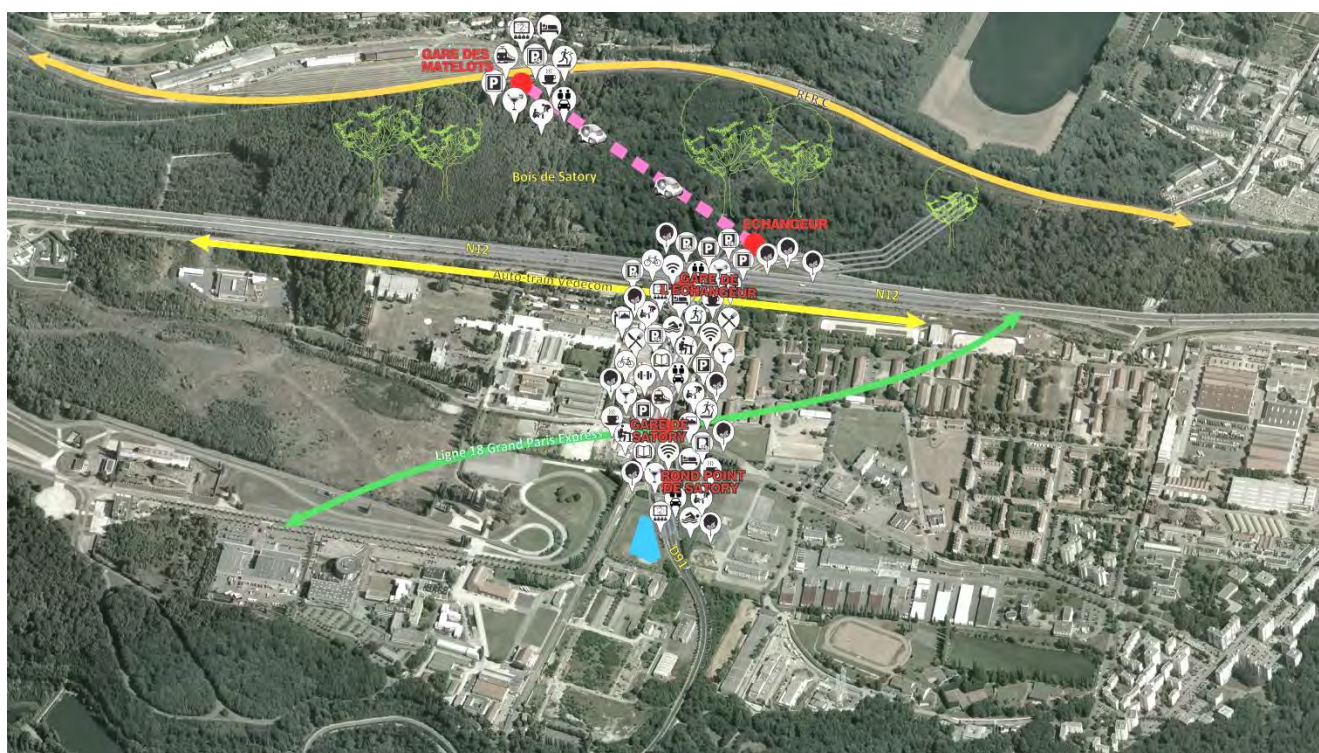
Les comportements *polycentriques* d'une grande majorité de la population, nés de l'usage de la voiture que le véhicule autonome risque de confirmer, peut amener à faire ces hypothèses qui conduisent à imaginer le

renforcement d'un pôle – par la concentration d'activités, de services et d'intermodalités – au détriment de pôles devenus secondaires, dans une reconfiguration complète, voire instable, des plans d'aménagement urbain et de déplacement.

Cette hypothèse est *l'accès à de nouveaux lieux fréquentés plus souvent parce que plus accessibles*. On considère alors que le développement des véhicules autonomes crée de la relation plus étendue, et qu'ils vont non seulement réparer la ville, la périphérie, la *suburb*, mais qu'ils vont la légitimer, la prolonger, l'agrandir. Il y a tout lieu de penser que le véhicule autonome va perpétuer le modèle de la ville continue, du continent urbanisé.

La « victoire » de l'étalement urbain s'accompagnera dès lors de la création de centres de proximité de tailles diverses, assurant l'ensemble des services de la vie quotidienne, plus denses d'activités que les lieux actuels distants idéalement de 500 m. Les pôles multi et intermodaux, revalorisés par le développement du partage et de la fonction de rabattement du véhicule automate, vont jouer un rôle majeur dans cette reconfiguration polycentrique du territoire urbanisé, car il est évident que les pôles « perdants » seront ceux qui n'auront pas réussi à fédérer en leur sein la plus grande attractivité. Les gares du Grand Paris Express sont d'ores et déjà au centre de cet enjeu.

Satory, nouveau hub et « grappe » d'activités au niveau de la station de ligne 18 du GPE, de la navette automate VEDECOM, et de l'échangeur vers la gare des Matelots



© Door-to-Door. Futur du véhicule, futur urbain

L'arbitrage / l'évolution des modèles ci-dessus dépendra du régulateur via sa capacité à agir sur l'accès ou pas à certaines zones et sur la tarification / fiscalité (sous toutes ses formes). Son intervention sera déterminante sur le modèle de mobilité final et son équilibre entre le transport collectif « classique » et le robot-taxi.

CHAPITRE 6 – LES IMPACTS GLOBAUX SUR LES MOBILITES DU GRAND PARIS

(Source : O. Paul-Dubois-Taine)

Quels effets globaux peut-on attendre d'un développement des modèles économiques de véhicules autonomes proposés sur l'ensemble du Grand Paris ?

Sur l'organisation de la mobilité quotidienne, selon la topologie des déplacements

Les déplacements dans le cœur de l'agglomération continueront à s'effectuer principalement à pied et en métro. Les véhicules individuels (autonomes ou non), prendront la place que les autorités territoriales décideront de leur laisser, compte tenu de l'encombrement de l'espace. La mise en place d'un système de robots-taxis à des coûts inférieurs aux VTC actuels, si elle s'accompagne de mesures contraignantes sur l'usage de la voiture personnelle (tarification du stationnement résidentiel) serait une incitation pour les usagers à limiter leur motorisation et libérer de l'espace de stationnement pour d'autres usages.

Les déplacements radiaux entre les territoires périphériques et le cœur de l'agglomération, dont une partie importante emprunte les transports rapides massifiés (RER, métro et tramway), pourraient se transférer de la voiture personnelle vers le transport collectif, en utilisant des robots-taxis (*Personal Rapid Transit*) ou des navettes de transport collectif autonome pour accéder aux gares d'échange. Ce qui, moyennant un système de tarification adapté, augmenterait significativement la clientèle des RER ou métros automatiques comme la ligne 18 du GPE.

Les déplacements de proximité internes à ces territoires périphériques continueront à utiliser massivement la voiture personnelle, mais ils disposeront de solutions de transport collectif nettement améliorées grâce aux réseaux de rabattement vers les gares. Il en serait de même pour les déplacements de proximité des villes secondaires.

Les déplacements périphériques à plus longue distance, effectués majoritairement en voiture, bénéficieront des avantages liés au temps de conduite en mode automatisé (possibilité d'abandonner le volant sur le trajet encombré) ; cependant, grâce aux nouvelles facilités de rabattement, une partie plus importante des déplacements aura intérêt à utiliser les transports collectifs massifiés (métro et RER), pour accéder aux activités situées dans des pôles d'échanges périphériques.

Pour les trajets à longue distance, la voiture en mode automatisé pourra s'insérer dans l'espace urbain aménagé, selon les mêmes modalités et contraintes d'utilisation que celles de la voiture individuelle. A mesure de l'adaptation des réseaux de voirie urbaine et péri-urbaine, le conducteur pourra « lâcher le volant » sur une part plus importante du trajet.

Une stratégie possible de développement du véhicule autonome

Concentrer les efforts sur des « territoires d'expérimentation à grande échelle » : une zone centrale avec des services de taxis-robots, un territoire périphérique desservi par le Grand Paris Express (qui pourrait être plateau de Saclay), une ville « isolée » proche pour créer un vrai réseau de type *Personal Rapid Transit*, une zone à dominante rurale, comme le Vexin pour des robots-taxis.

Comparer tous les scénarios imaginables (parmi les études à poursuivre ou à engager). Compléter et enrichir à cet effet les outils de modélisation en vue de simuler la mobilité dans les territoires avant et après l'introduction des véhicules autonomes, dans une démarche ouverte et partagée d'expertise collective.

Diffuser ensuite les savoir-faire acquis par ces expérimentations dans les territoires similaires des métropoles françaises et européennes et à l'échelle mondiale.

ENSEIGNEMENTS ET SUITES PRECONISEES

Cette analyse – encore superficielle – des implications possibles des véhicules autonomes sur les territoires et les modes de vie en révèle les avantages certains, mais également les risques probables et les opportunités à saisir :

Les avantages certains découlent de la sécurité et de l'efficacité apportées par tout automatisme substitué à une tâche humaine dans une organisation complexe : la sécurité routière, la fluidité des circulations, la flexibilité d'usage liée à l'absence de tâche de conduite et d'accès au stationnement...

Les risques probables sont la contrepartie directe des facilités offertes aux usagers, qui pourraient utiliser leur temps différemment, et donc allonger les durées et les distances de trajets de leurs véhicules : localisations plus éloignées contribuant à l'étalement urbain ; sur-occupation de l'espace urbain encombré par des véhicules utilisés pour d'autres activités que le transport, et notamment par les circulations à vide.

Les opportunités à saisir relèveront de l'aptitude des exploitants de systèmes de transport public (métro, autobus, taxis...) à valoriser les avantages certains, (fluidité, flexibilité), tout en minimisant les risques (trajets à vide), moyennant un minimum d'investissements et d'actions régulatrices des autorités territoriales. Ainsi, des systèmes de robots-taxis ou de navettes de transports collectifs pourraient compléter ou remplacer des systèmes existants de façon beaucoup plus efficiente.



Partant de ces premières conclusions, qui restent à étayer (comme l'illustre la liste de besoins d'études complémentaires annexée ci-après), trois grandes questions mériteraient une investigation plus conséquente :

- 1) *La tarification d'usage des réseaux routiers* : le développement de la conduite autonome, se combinant à celui des motorisations électriques et des véhicules connectés, permet de concevoir un système de tarification kilométrique (modulable selon l'énergie consommée, le parcours emprunté, la catégorie de véhicule et la période horaire) qui pourrait techniquement se substituer à l'actuelle taxe sur les carburants automobiles (TICPE) pour imputer les coûts directs de maintenance-régénération-exploitation des réseaux routiers, ainsi les coûts externes de pollution, d'émissions de CO₂ et de congestion de la voirie locale.
- 2) *Les outils de gouvernance des politiques territoriales* : afin de maintenir la vitalité des centres villes en offrant un cadre urbain accessible, attractif et suffisamment désencombré de l'occupation des véhicules routiers, les autorités territoriales souhaitent développer des systèmes de transports publics assurant la grande majorité des déplacements dans et vers la ville dense, et aménager des espaces urbains moins encombrés par la circulation et le stationnement des voitures particulières. Ce qui implique des instruments appropriés de réglementation / tarification des services publics et de régulation des usages privés.
- 3) *L'évolution des métiers et des emplois du secteur des transports*, dont certains pourraient être fortement impactés : par la redistribution des déplacements entre les modes de transport (perte de clientèle des trains, hors TGV longue distance) ; par la suppression des emplois de conducteur de véhicules (pour les poids lourds, les bus, les taxis et les VTC) ; par la baisse du chiffre d'affaires des professions de l'automobile, liée à la diminution du parc automobile à assurer et à entretenir.

ANNEXE – DES BESOINS D’ETUDES COMPLEMENTAIRES

Plusieurs besoins d’études complémentaires sont clairement identifiés, dont certains sont couverts par des initiatives existantes :

- Atelier de la métropole du Grand Paris
- Atelier prospectif La Vie Robomobile : explorer les conditions opérationnelles d’usage des véhicules autonomes
- Exploration « Mobility as Networks » du lab OuiShare & Chronos : comprendre comment les acteurs de l’écosystème de mobilité peuvent travailler avec des systèmes plus complexes, plus ouverts et plus résilients
- Communautés d’innovation de l’Open Lab de Michelin dédiées au véhicule autonome : modèles économiques et compréhension des usages existants et de leur évolution
- Comprendre finement ce que seraient les usages des véhicules autonomes dans différents contextes, en partant des utilisateurs (qui ne savent pas exprimer explicitement leurs attentes)
- Modéliser dans le détail les impacts sur les infrastructures et les usages de la transition vers des services de véhicules autonome
- Réalisation d’études de projets urbains expérimentaux prenant comme enjeu principal les véhicules autonomes au sein du développement des nouvelles mobilités du Grand Paris

BIBLIOGRAPHIE

Articles et ouvrages

- Taxis et VTC dans les grandes métropoles : le cas parisien – rapport FACTA – Avril 2016.
- La mobilité dans le Vexin français – IAU – Ile-de-France – Octobre 2014.
- Plan de Déplacements Urbains de Chartres – Février 2014.
- Bourgeois, G. (2017, Janvier). « OPTIREL : La modélisation en situation des voitures autonomes » – Complémentarité ou concurrence avec le transport public ? – Congrès ATEC-ITS.
- Bourgeois, G. « Véhicules Autonomes / Les familles de concept / Complémentarité et Concurrence avec voiture particulière et le transport public » – Conseil d'orientation (CODOR) du GART du 30 janvier 2017.
- Ferdinand, M., Coutarel, F., Chambres, P., Motak, L., & Izaute, M. (2017, Janvier). De la conception du produit au service : vers une « sécurité acceptable ». *In 4^{ème} Journée Mobilité Innovante : la sécurité par et pour les véhicules autonomes.*
- Guilbot, M. (2016). Véhicule connecté, véhicule « autonome ». Aspects juridiques. Présentation générale des aspects juridiques du véhicule connecté, 37 p.
- Kyriakidis, M., De Winter, J. C. F., Stanton, N., Bellet, T., Van Arem, B., Brookhuis, K., ... & Reed, N. (2017). A human factors perspective on automated driving. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 1-27.
- Moneger, F., Coutarel, F., Motak, L., Chambres, P., Izaute, M., & Dhôme, M. (2015, Septembre). Quelle pertinence des modèles de l'expérience utilisateur pour la conception d'une navette autonome ? *In Articulation performance et santé dans l'évolution des systèmes de production*, 125-133.
- Moneger, F., Coutarel, F., Chambres, P., Motak, L., & Izaute, M. (2017, Janvier). De la conception du produit au service: vers une « sécurité acceptable ». *In 4^{ème} Journée Mobilité Innovante : la sécurité par et pour les véhicules autonomes.*
- Payre, W., Cestac, J., & Delhomme, P. (2014). Intention to use a fully automated car: Attitudes and a priori acceptability. *In Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 27, 252-263.
- Payre, W. (2015). Conduite complètement automatisée : acceptabilité, confiance et apprentissage de la reprise de contrôle manuel (Thèse de doctorat, Université Paris 8).
- Payre, W., Cestac, J., & Delhomme, P. (2016). Fully Automated Driving Impact of Trust and Practice on Manual Control Recovery. *In Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 58(2), 229-241.
- Payre, W., Cestac, J., Dang, N. T., Vienne, F., & Delhomme, P. (2017). Impact of training and in-vehicle task performance on manual control recovery in an automated car. *In Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 46, 216-227.
- Razemon, O. (2016). Comment la France a tué ses villes, 208 p.
- Rouillard, D. & Guiheux, A. (2015, Décembre). Door-to-door. Futur du véhicule, futur de la ville, Paris, 240 p.
- « La mobilité refondée avec le numérique » IESF [en ligne]
http://home.iesf.fr/offres/doc_inline_src/752/752_P_37223_565811a93d58c.pdf
- « Véhicule Autonome : Accompagner la transition. Perspectives d'usages et enjeux pour les différents acteurs » IESF & VEDECOM [en ligne]
http://home.iesf.fr/offres/doc_inline_src/752/Cahier_23_Vehicule_autonome.pdf
- « Usages novateurs de la voiture et nouvelles mobilités » [en ligne]
<http://www.entreprises.gouv.fr/etudes-et-statistiques/usages-novateurs-la-voiture-et-nouvelles-mobilites>
- « Self Driving Vehicles, Robo-Taxis, and the Urban Mobility Revolution » [en ligne]
<http://www.auto-mat.ch/wAssets/docs/BCG-Self-Driving-Vehicles-Robo-Taxis-and-the-Urban-Mobility-Revolution.pdf>

- « Urban Mobility System Upgrade: How shared self-driving cars could change city traffic » [en ligne]
http://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/15cpb_self-drivingcars.pdf
- « Nos systèmes de transport et la révolution numérique, pourquoi cela va tout changer » [en ligne]
<http://transportsdufutur.ademe.fr/2012/04/nos-systemes-de-transport-et-la-revolution-numerique-pourquoi-cela-va-tout-changer.html>
- « L'histoire ne se répète pas, mais parfois elle rime » [en ligne]
<http://transportsdufutur.ademe.fr/2017/02/lhistoire-repete-parfois.html>
- « Et si... les véhicules autonomes étaient la nouvelle solution de transport en commun pour les villes ? » [en ligne]
<http://www.horizons.gc.ca/fra/contenu/et-si%E2%80%A6les-v%C3%A9hicules-autonomes-%C3%A9taient-la-nouvelle-solution-de-transport-en-commun-pour-les>
- Dossier de presse « Le nouveau Grand Paris » (6 mars 2013) [en ligne]
<https://www.societedugrandparis.fr/wp-content/uploads/2014/05/nouveau-grand-paris.pdf>
- Rapport du Comité stratégique 2016 (28 décembre 2016) [en ligne]
<https://www.societedugrandparis.fr/wp-content/uploads/2016/12/rapport-2016-du-comit-stratgique.pdf>
- « Le Plan de Déplacement Urbain d'Ile-de-France » [en ligne]
Eléments clés : http://www.pduif.fr/IMG/pdf/brochure_pduif_2016_fr_mel-2.pdf
Document complet : http://www.pduif.fr/IMG/pdf/pduif_2014.pdf
- « Beyond Speculation Automated Vehicles and Public Policy » du ENO Center for transportation, (2017, Mai). [en ligne]
<https://www.enotrans.org/etl-material/beyond-speculation-automated-vehicles-public-policy/>
- « Policy Brief: Land Use and Transportation Policies », de UC Davis, Institute of Transportation Studies, (2017, Avril). [en ligne]
https://3rev.ucdavis.edu/wp-content/uploads/2017/04/3R.LandUse.Final_.pdf
- « Taming the Autonomous Vehicle – A primer for cities », Bloomberg Philantropies / The Aspen Institute », (2017, Mai). [en ligne]
<https://www.bbhub.io/dotorg/sites/2/2017/05/TamingtheAutonomousVehicleSpreadsPDFreleaseMay3rev2.pdf>
- Rapport « Rethinking Transportation 2020 – 2030: The Disruption of Transportation and the Collapse of the ICE Vehicle and Oil Industries » de RethinkX, groupe de recherche indépendant. [en ligne]
<https://www.rethinkx.com/transportation/>
- « Research on the Impacts of Connected and Autonomous Vehicles (CAVs) on Traffic Flow », UK Department for Transport (2016, Mai). [en ligne]
<https://www.gov.uk/government/publications/driverless-vehicles-impacts-on-traffic-flow>

Sites Internet

- <http://paris-malaquais.archi.fr/la-recherche/p/laboratoire-liat/>
- <http://www.architectureaction.com>
- <http://www.pduif.fr>
- <https://www.mobilite.online/la-mobilite-et-la-ville/>

ETUDE DES IMPACTS DE LA VOITURE AUTONOME SUR LE DESIGN DU GRAND PARIS

VOLUME 2

– NOTES D'ANALYSE –

LES VEHICULES AUTONOMES FACE A LA DIVERSITE DES TERRITOIRES – CINQ EXEMPLES

Note d'analyse de Guy Bourgeois

Ancien Directeur Général de l'Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité (devenu IFSTTAR)

Avertissement

L'objectif de cette note est de permettre au lecteur d'imaginer, aussi concrètement que possible, ce que pourraient être de nouveaux services de mobilité utilisant des flottes de véhicules autonomes. Des scénarios de déploiement, se référant à des territoires très différents, mais représentatifs de la diversité du paysage français, vont être présentés.

Les deux premiers vont se référer à la zone agglomérée de l'Ile-de-France, la zone centrale d'une part, un territoire caractéristique de la grande couronne d'autre part. Ils vont être développés de façon aussi détaillée que possible : il s'agit de territoires directement impactés par le développement du Grand Paris et l'ouverture de nouvelles lignes de métro.

Deux autres scénarios seront plus brièvement présentés, faisant le contrepoint de la situation parisienne : la métropole lyonnaise, avec sa zone centrale et sa périphérie, puis une ville moyenne, Chartres.

Enfin, un dernier scénario adressera un territoire « rural » représentatif de la lointaine périphérie d'une métropole ou de territoires beaucoup plus isolés.

Ces scénarios sont construits sur l'idée que les véhicules autonomes vont d'abord chercher à s'introduire dans les systèmes de mobilité existants.

L'intérêt majeur de cette note d'analyse est de montrer que, si toutes les choses restent égales par ailleurs, les véhicules autonomes vont être bien loin d'apporter à eux seuls une grande révolution dans les pratiques de mobilité. En ce sens, ces scénarios constituent une contribution à la compréhension des enjeux et ruptures que la technologie de la conduite automatisée peut apporter à l'aménagement des villes et à l'organisation des mobilités.

Comme le chemin de fer au XIX^e siècle, comme la voiture au XX^e siècle, il faut s'attendre – et l'espérer – à ce que l'apparition de ce nouveau mode sur le marché des déplacements permette d'importantes opérations de remodelage des tissus urbains, et notamment une réallocation des espaces publics et privés aujourd'hui dédiés au stationnement. Si les véhicules autonomes ne déclenchent pas une nouvelle approche de l'urbanisme, il ne faut pas s'attendre à de grands bouleversements.

Introduction

En introduction commune à ces scénarios, il convient de rappeler quels sont les déterminants des choix modaux des voyageurs, leurs invariants, les facteurs qui peuvent les influencer. Car c'est bien le comportement des voyageurs qui déterminera la demande pour ces nouveaux services. Il convient aussi d'appréhender au mieux ce que pourra être l'économie de la mobilité avec ces nouveaux services, autrement dit, quelle offre, et à quel coût, pourra répondre à la demande.

Les déterminants du choix modal des voyageurs :

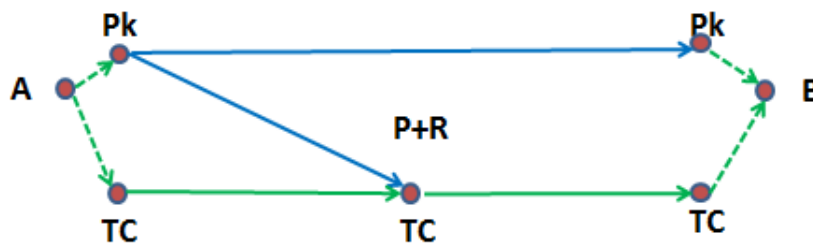
Il est indispensable de remettre un peu d'ordre dans des idées reçues qui circulent trop souvent ici ou là, et en premier lieu celle selon laquelle les automobilistes sont peu soucieux du « bien commun » et rechignent à laisser leur voiture au garage pour utiliser les solutions alternatives qui leur sont offertes. Il ne faut pas non plus se laisser entraîner par l'idée qu'une mobilité numérisée mettra fin comme par miracle à la congestion routière. Il faut enfin bien comprendre que si la voiture autonome pourra apporter son lot de progrès, elle sera en compétition, non

seulement avec les solutions actuellement disponibles, mais aussi avec d'autres solutions qui émergent, parmi lesquelles on peut citer le cercle vertueux du développement des pistes cyclables et de l'émergence du vélo à assistance électrique.

Dans la vie réelle, la plupart des déplacements (plus de 95% très certainement) sont le fait de voyageurs qui connaissent parfaitement les lieux, les itinéraires, et qui choisissent leur mode de transport en tenant compte de leur expérience. Leurs choix sont le plus souvent parfaitement rationnels.

Les économistes sont, d'une façon générale, d'accord pour considérer que les deux principaux déterminants du choix modal sont le temps et l'argent. Selon les individus, selon le motif de leur déplacement, le temps n'a pas la même valeur. La question de la valeur donnée au temps est centrale dans la théorie du choix modal. Dans les déplacements interurbains, longs et coûteux, les arbitrages entre le temps et l'argent sont très usuels (les péages autoroutiers en sont le meilleur exemple, mais aussi, plus récemment, c'est le pari des « cars Macron »). Mais **dans les déplacements de la vie quotidienne, le facteur premier de l'arbitrage est le temps**, l'argent vient le plus souvent en second (pour se rendre à leur travail, 75% des automobilistes de l'Ile-de-France doubleraient leur temps de transport s'ils abandonnaient leur voiture pour les transports en commun (TC) ; mais, ce faisant, ils diviseraient leur budget transport par...10).

Rentrons un peu plus dans le détail, à partir du schéma suivant, dans lequel un voyageur qui va de A à B a le choix entre trois solutions : il prend sa voiture de bout en bout ; il prend les transports en commun de bout en bout ; il commence son trajet en voiture, la gare dans un parking-relai et termine son parcours en transport en commun.



Que l'on soit dans un centre urbain dense ou dans une lointaine périphérie urbaine, la décomposition des temps et des coûts monétaires s'effectue toujours selon la même typologie :

- **Les temps de parcours** comprennent au départ et à l'arrivée un temps de marche, qu'il s'agisse de rejoindre sa voiture au parking ou l'arrêt TC le plus proche. Ils comprennent toujours un temps de roulement, fonction de la distance et de la vitesse. Pour la VP, il faut rajouter un temps de parking à l'arrivée ou au P+R. Pour le TC, il faut rajouter des temps d'attente aux arrêts et des temps de correspondance. **Le temps est toujours à l'avantage de la VP, sauf quand le trajet en TC se fait en site propre** à une vitesse plus élevée que celle de la VP, et à condition que le gain de temps puisse compenser les pertes liées aux temps de marche, d'attente et de correspondance.
- **Les coûts monétaires des TC sont inversement proportionnels aux distances.** Pour les déplacements occasionnels, ce sera le coût du billet à l'unité ou au carnet, pour les déplacements plus réguliers, ce sera le coût de l'abonnement rapporté au nombre de voyages effectués par l'abonné. Avec une conséquence très générale du système de tarification : plus les déplacements en TC sont longs et plus ils sont nombreux, moins ils sont chers en regard des distances parcourues. Pour les salariés, la moitié des abonnements est prise en charge par l'employeur. Ainsi, le salarié francilien qui effectue tous les jours au moins deux trajets de 25 km avec son pass Navigo paiera 0,90 € par déplacement, alors que le retraité lyonnais paiera 1,60 € son trajet occasionnel avec un ticket de métro acheté en carnet, quelle que soit la longueur de ce trajet dans l'aire de desserte du réseau.
- **Les coûts monétaires des VP sont proportionnels aux distances.** Et plus la VP va vite, moins elle coûte cher, compte tenu de la surconsommation de carburant en zone congestionnée. Il s'y ajoute, le cas échéant, un **coût**

de parking, souvent supérieur au coût de déplacement. En milieu urbain dense, les coûts de parking, qu'il s'agisse du parking au domicile (nécessité d'être propriétaire ou locataire d'un emplacement, paiement d'un stationnement résidentiel) ou du parking au lieu de destination, peuvent atteindre des montants très élevés.

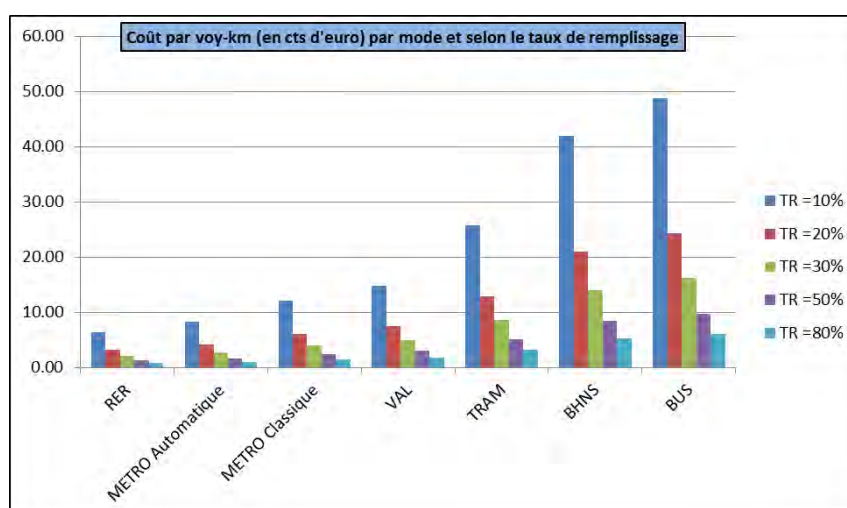
Nous verrons, dans les scénarios qui suivent, comment ces deux déterminants du temps et du coût monétaire se combinent pour donner des résultats très différents en termes de choix modal. Ce n'est que lorsque le choix n'est pas d'entrée de jeu nettement tranché que d'autres facteurs vont intervenir (confort, qualité de service, sentiment de sécurité,...). Même s'ils sont très débattus, ces autres facteurs n'ont, le plus souvent, qu'un rôle secondaire par rapport au couple temps / argent.

Ce que coûte aujourd'hui le transport collectif :

Les valeurs moyennes observées selon les modes de transport apportent des indications significatives. En incluant l'amortissement des infrastructures pour les modes qui circulent sur des infrastructures dédiées, on peut retenir les ordres de grandeur suivants par kilomètre parcouru :

- un RER coûte environ 10 € / km, soit, avec 500 voyageurs, 0,02 € par personne transportée
- un métro classique coûte environ 8 € / km, soit, avec 200 voyageurs, 0,04 € par personne transportée
- un VAL ou un tramway coûte environ 6 € / km, soit, avec 100 voyageurs, 0,06 € par personne transportée
- un bus articulé sur site propre dédié coûte environ 6,5 € / km, soit, avec 60 voyageurs, 0,075 € par personne transportée
- un autobus classique coûte environ 3 € / km, soit, avec 30 voyageurs, 0,10 € par personne ; mais s'il transporte seulement 7 à 8 voyageurs (une situation relativement fréquente aux extrémités des lignes, en heure creuse, dans les territoires de faible densité), le coût au voyageur-kilomètre rejoint alors celui de la voiture particulière, autour de 0,40 €. On retrouve d'ailleurs là une règle bien connue du transport public : « il faut mettre 10 personnes dans un bus pour être compétitif par rapport à la voiture particulière ».

Ces valeurs moyennes peuvent varier très fortement en fonction du taux de remplissage comme l'illustre le tableau suivant :



Ce que coûte aujourd'hui la voiture particulière :

Nb de CV	moins de 5 000 km	5 001 à 20 000 km	plus de 20 000 km
3 CV et moins	$0,41 \times d$	$(0,245 \times d) + 824$	$0,286 \times d$
4 CV	$0,493 \times d$	$(0,277 \times d) + 1\,082$	$0,332 \times d$
5 CV	$0,543 \times d$	$(0,305 \times d) + 1\,188$	$0,364 \times d$
6 CV	$0,568 \times d$	$(0,32 \times d) + 1\,244$	$0,382 \times d$
7 CV et plus	$0,595 \times d$	$(0,337 \times d) + 1\,288$	$0,401 \times d$

d désigne la distance parcourue en km pendant l'année.

Le moins contestable est de se référer **au barème officiel communiqué chaque année par les services fiscaux** pour l'évaluation des frais professionnels : les coûts d'amortissement, d'entretien et d'assurance sont pris en compte, mais pas les coûts de stationnement, ni les coûts de péage. Un ordre de grandeur situe le coût-moyen du kilomètre autour de 0,40 € (avec des écarts importants selon le type et l'âge du véhicule).

Ce que pourraient coûter demain l'utilisation des véhicules autonomes :

Quelle évaluation comparable est-il possible de mettre en regard en ce qui concerne les véhicules autonomes. Il est possible de proposer, là encore, des ordres de grandeur sur la base des informations dont il est possible de disposer aujourd'hui :

- *le coût des premières navettes autonomes* qui apparaissent sur le marché est du même ordre de grandeur que celui des autobus standard (autour de 250 K€), pour une capacité d'une dizaine de places. La conduite représente les 2/3 du coût d'exploitation d'un bus standard. Ce qui peut se résumer par l'assertion suivante : **là où un bus standard fonctionne en forte sous-capacité et transporte moins de 10 personnes, il pourrait être remplacé à conditions de coût à peu près équivalentes par trois navettes autonomes**, capables alors d'offrir un bien meilleur service.
- en ce qui concerne *les voitures à conduite déléguée*, il est difficile d'imaginer que leur coût de possession ne soit pas supérieur au coût des voitures particulières actuelles, même si les coûts des automatismes et des batteries baissent fortement au cours des prochaines années. Pour des usages partagés, il faudra ajouter des coûts de gestion et d'assurance certainement plus élevés que les économies que le passage de l'énergie fossile à l'énergie électrique permettra. Pour les coûts d'usage, deux facteurs vont jouer en sens opposé : d'un côté, il est loisible de penser que *les gestionnaires des flottes de véhicules autonomes partagés parviendront à améliorer leur taux de remplissage* ; de l'autre, il faudra *assurer la redistribution des véhicules des stations ou des zones excédentaires vers les stations ou les zones déficitaires*. Il y a peu de chance que les flux s'équilibrent naturellement – c'est à Paris une des principales causes de la sous-utilisation de la voiture en libre-service

Dans une hypothèse favorable (besoins de redistribution modérés et bon taux de remplissage), le coût d'usage des véhicules autonomes pourra se situer nettement en-dessous du coût actuel de la VP (un coût d'usage de 0,20 € / voyageur-km pour un coût de possession de 0,50 € / véhicule-km, avec un taux de remplissage de 3 voyageurs par véhicule et un besoin de redistribution conduisant à 20% de parcours à vide).

Dans une hypothèse défavorable (besoins de redistribution importants et taux de remplissage médiocre), il se situera nettement au-dessus (un coût d'usage de 0,75 € pour le même coût de possession de 0,50 €, avec un taux de remplissage de 1,2 voyageurs par véhicule et un besoin de redistribution conduisant à 80% de parcours à vide).

Ce sont ces ordres de grandeur des coûts de l'offre qu'il conviendra d'avoir à l'esprit, dans la suite du présent rapport, lors de l'analyse plus détaillée de la diversité des territoires et des nouveaux services qui pourront s'y déployer.

Exemple 1 : Le centre dense de l'agglomération parisienne

Le centre dense de l'agglomération parisienne peut se définir comme la zone desservie par le métro. Cette zone constitue, en France, la seule zone dans laquelle la domination du transport public est absolue. Par rapport à l'analyse théorique qui précède, nous sommes dans une situation où l'avantage des TC en termes de coût monétaire ne peut pas se discuter, et où la comparaison en termes de temps de parcours tourne le plus souvent à l'avantage des TC.

Et pourtant Paris donne l'impression d'être en permanence engorgée d'embouteillages... La réalité est que la plupart des voitures qui circulent dans Paris font des trajets dont l'origine ou la destination se situe en dehors de Paris. Les données qui suivent, issues du recensement 2012 de la population (fichier MOBPRO de l'INSEE), sont très démonstratives. Elles concernent les déplacements domicile-travail :

- les Parisiens qui travaillent à Paris, les Parisiens qui travaillent en banlieue, et les banlieusards qui travaillent à Paris sont au total 2 088 509. 348 931 d'entre eux, soit 15,8% seulement utilisent leur voiture particulière pour se rendre à leur travail.
- parmi ces 348 931 automobilistes, 19,3% seulement font un trajet qui commence et finit à Paris, 23,8% font un trajet qui commence à Paris et finit en banlieue, et 56,9% font un trajet qui commence en banlieue et se finit à Paris. 33,2% de ces automobilistes viennent de la grande couronne ou s'y rendent. Nous les retrouverons lorsque nous traiterons le périurbain francilien.

Quel marché pour les robots-taxis ?

Dans un tel contexte, quels segments du marché de la mobilité les taxis-robots peuvent-ils adresser ? L'idée de transformer Autolib en une flotte de robots-taxis, qui se substitueraient également aux actuels taxis ainsi qu'aux VTC est-elle pertinente ?

Nous avons la chance de pouvoir capitaliser sur un excellent rapport (FACTA – Taxis et VTC dans les grandes métropoles – Le cas parisien – Avril 2016), rendu public au moment du conflit qui a opposé les taxis et les VTC. L'intérêt majeur de ce rapport pour notre étude, c'est qu'il tente d'évaluer le potentiel des « TPPP » (Transports Publics Particuliers de Personnes) pour la région parisienne, en effectuant des comparaisons particulièrement intéressantes avec les villes pionnières des VTC que sont Londres et New-York. Et c'est bien ce marché qu'adressent les robots-taxis.

Nous pouvons aussi capitaliser sur les premières expériences de voitures en libre-service, qu'il s'agisse en France, et principalement à Paris, d'Autolib, ou, en Allemagne notamment, du système très différent qu'est Car2Go.

- Autolib propose des voitures électriques, que le voyageur prend et dépose dans une station. La référence d'Autolib est Paris, qui déclare atteindre 135 000 abonnés. Autolib tente de s'implanter à Lyon et à Bordeaux, ainsi qu'aux USA (Indianapolis) et à Londres.
- Car2Go propose des voitures thermiques, que le voyageur prend et dépose dans n'importe quel espace de stationnement. La référence de Car2Go est Berlin, qui déclare 141 000 abonnés. Car2Go est implanté dans une trentaine de villes européennes et nord-américaines.
- alors que Car2Go continue son développement international (Montréal, Vancouver) et annonce avoir atteint la rentabilité dans certaines villes, il est maintenant établi qu'Autolib sera lourdement déficitaire à Paris pour la période de son premier contrat (2011-2023). Compte-tenu du contrat passé entre Paris et le groupe Bolloré, la perte, évaluée aujourd'hui autour de 180 M€, sera partagée entre le groupe Bolloré pour 60 M€ et le contribuable francilien pour 120 M€. Cette situation vient donner un coup de frein aux ambitions exportatrices du groupe. Mais surtout, elle va fortement marquer les esprits au moment du déploiement des premières flottes de véhicules autonomes : **les robots-taxis pourront-ils réussir là où Autolib semble dans une impasse ?**

De ces deux ensembles d'analyses, il est possible de dégager les conclusions suivantes :

- **les TPPP ne peuvent concurrencer ni les transports publics**, très bon marché et dont l'offre est abondante, **ni les modes doux** (marche à pied, vélo) ; et d'ailleurs, ils ne le doivent pas, car le transfert d'utilisateurs des TC ou des modes doux vers un véhicule automobile ne ferait que renforcer la congestion et dégrader le service dans son ensemble. Ils ne peuvent pas non plus constituer une offre alternative aux automobilistes qui sont en capacité de faire leur trajet de bout en bout – qui disposent d'une place de parking au départ et à l'arrivée. Ils constituent un marché de niche – **de l'ordre de 1% des déplacements** à Londres, à New York comme à Paris – concentré sur des motifs occasionnels spécifiques (aéroports, transports avec bagages), des clientèles à haut pouvoir d'achat (déplacements d'affaires) ou la partie la plus aisée de la clientèle qui vient occasionnellement à Paris pour affaires, visites ou tourisme.

- selon le rapport FACTA, dans le centre de l'agglomération parisienne, le nombre de véhicules assurant des services de TPPP est de l'ordre de 37 000, dont 18 000 taxis, 15 000 VTC et 4 000 Autolib. Après l'arrivée en masse des VTC, le marché souffre aujourd'hui d'un excès d'offre. L'excès d'offre génère un cercle vicieux : elle augmente la congestion, diminue les performances, décroît la rentabilité, et génère une augmentation de l'offre perçue comme pouvant augmenter les revenus. Les pouvoirs publics doivent réguler l'offre pour casser ce cercle vicieux. FACTA propose une méthode pour déterminer quel niveau d'offre assure l'optimum, et **situe ce niveau autour de 35 000 véhicules**.
- en cinq ans, avec un fort accompagnement d'aides publiques, Autolib a constitué une offre de 4 000 véhicules. En moins de temps, les VTC ont constitué une offre de 15 000 véhicules. Et pourtant, les tarifs d'Autolib sont très compétitifs par rapport à ceux des VTC ou des taxis : pour un trajet de 20 mn, un abonné qui utilise Autolib deux fois par semaine va payer 5,50 €, alors qu'il paierait un taxi 17 € et un service Uber 13 €. Deux explications peuvent être avancées pour expliquer les médiocres performances d'Autolib : d'une part les VTC, comme les taxis, offrent un service porte à porte, ce qui n'est pas le cas d'Autolib ; d'autre part, et sans doute surtout, comme Autolib n'assure pas la redistribution de véhicules vides des stations excédentaires vers les stations déficitaires, et que les flux de déplacement sont très déséquilibrés selon les heures de la journée, l'offre s'ajuste mal à la demande. **Un véhicule Autolib est utilisé en moyenne 3,5 fois par jour, alors qu'un VTC transporte en moyenne 10 passagers par jour** (et effectue autant de déplacements à vide pour aller à la rencontre de la demande).
- dans les villes Car2Go, comme dans les villes Autolib, les tarifs sont élevés, dans une fourchette qui se situe entre 12 € et 15 € de l'heure. Cette tarification à la durée d'utilisation, qu'un forfait d'abonnement vient modestement compléter, semble la règle de base. Avec ce même niveau de tarif, Berlin, Hambourg, et Rome, trois grandes métropoles moins peuplées que Paris, affichent des nombres d'utilisateurs très voisins (respectivement 141 000, 134 000, 125 000, 135 000). La solution française (tout électrique, avec des stations), est donc plus coûteuse et moins performante que la solution allemande (véhicules thermiques, stationnement libre). Mais un plafond assez comparable semble atteint un peu partout.

Cette analyse conduit à proposer trois scénarios pour le développement des véhicules autonomes partagés au centre de l'agglomération parisienne :

Scénario 1 : Uber automatisé

C'est le scénario que vise Uber dans sa stratégie de développement. Il suppose que le couple véhicule autonome + infrastructure routière soit arrivé à sa pleine maturité. On sait le défi qui consiste à faire circuler des véhicules autonomes au milieu d'une flotte traditionnelle. On mesure la complexité des équipements embarqués et des algorithmes qui équiperont ces véhicules. Ou bien, pour limiter cette complexité sur les véhicules, on commence à appréhender les coûts des aménagements physiques ou numériques qui devront être réalisés pour mettre le réseau routier en sécurité. Et si ces véhicules pourront stationner en attente sur n'importe quel emplacement disponible, il faudra néanmoins leur garantir de pouvoir accéder en tant que de besoin aux bornes de recharge.

Si tous ces préalables sont levés, et si la situation reste par ailleurs inchangée en ce qui concerne l'usage de la voiture particulière, des réseaux de transport en commun et des modes doux, on peut faire l'hypothèse que la demande pour ce service sera celle des « TPPP » telle qu'elle a été évaluée par FACTA, soit 35 000 véhicules.

Certes, ces véhicules seront plus chers que les actuels véhicules haut de gamme qui équipent les flottes de taxis ou de VTC. On peut considérer que les tarifs actuels des taxis et des VTC couvrent leurs frais de déplacement à vide. De ce fait, l'application de tarifs de l'ordre de 10 € pour un trajet de 20 mn, se situant entre les actuels tarifs d'Autolib ou d'Uber, seraient attractifs et permettraient au service de trouver sa rentabilité.

Avantages de ce scénario :

- Uber automatisé apportera un service équivalent aux taxis ou aux VTC pour un coût nettement inférieur. Sa rentabilité sera très certainement assurée.

- Uber automatisé améliorera significativement l'offre de service de mobilité aux heures creuses. Il pourra également se substituer aux services de bus Noctilien et améliorer considérablement l'offre de transport public de la nuit à Paris.
- Uber automatisé pourra transporter partout des voyageurs en incapacité de conduire ; sous réserve du bon aménagement des véhicules, il pourra se substituer à des services spécialisés de transport de personnes à mobilité réduite et se voir ainsi confier cette mission de service public.

Inconvénients de ce scénario :

- l'inconvénient majeur de ce scénario est que c'est un scénario du type « tout ou rien ». Une offre insuffisante (par exemple sur un territoire trop restreint) ne parviendra pas à susciter la demande. Comme Autolib, il nécessitera de très importants investissements initiaux : la flotte doit être assez importante pour couvrir un territoire déjà vaste, et si les routes doivent être partout numérisées et sécurisées, la facture sera très élevée.
- mais peut-on alors, connaissant l'histoire mouvementée des taxis parisiens, et ses derniers avatars avec le développement des VTC, imaginer que la mise en place d'un service qui supprimera entre 30 000 et 40 000 emplois puisse se faire sans provoquer une grave crise sociale ?
- pas plus qu'Autolib, les taxis ou les VTC aujourd'hui, Uber automatisé ne remettra pas vraiment en cause l'utilisation des voitures particulières.

Ce n'est pas un scénario pour demain. La sagesse consiste à laisser Uber automatisé faire ses preuves ailleurs qu'à Paris, et à essayer autre chose.

Scénario 2 : Autolib avec mode autonome

Dans ce second scénario, le concept d'Autolib est conservé, et la principale innovation est la capacité des véhicules à circuler en mode autonome, et, de ce fait, à se redistribuer à vide entre les stations. Un réseau routier sécurisé est constitué, qui relie entre elles toutes les stations. Le voyageur peut utiliser le mode de conduite autonome sur le réseau sécurisé, mais il peut également choisir de conduire le véhicule et circuler alors sur l'ensemble du réseau routier.

Le coût d'acquisition des véhicules sera plus élevé en raison des automatismes (hypothèse : + 20%), le coût d'exploitation sera aussi plus élevé du fait de la circulation à vide aux fins de redistribution (hypothèse : + 50%), mais inversement la capacité de redistribution à vide des véhicules devrait permettre d'augmenter fortement le taux de remplissage (hypothèse : entre le doublement et le triplement du taux de remplissage, en passant de 3,5 à 10 passagers par jour, et augmentation correlative des recettes).

Avantages de ce scénario :

- il s'inscrit en continuité d'une offre existante, qui pourra être améliorée progressivement, avec l'aménagement en tache d'huile des infrastructures routières sécurisées nécessaires à la mise en réseau des stations.
- Autolib avec mode autonome améliorera significativement l'offre de service de mobilité aux heures creuses. Il pourra notamment se substituer aux services de bus Noctilien et améliorer considérablement l'offre de transport public de la nuit à Paris.
- sous réserve de rester sur les itinéraires sécurisés, Autolib avec mode autonome pourra transporter des voyageurs en incapacité de conduire.
- sous réserve que les voyageurs puissent et acceptent de conduire, les véhicules pourront aller partout, sous la seule contrainte d'être déposés dans une station.
- Autolib grâce à son mode autonome pourra, grâce à la redistribution à vide, viser la rentabilité, élargir son périmètre et, dans la mesure où il pourrait remplir des missions de service public (ex : transport de nuit), bénéficier de subventions ou de compensations tarifaires.

Inconvénients de ce scénario :

- il reste tributaire de la notion de station et ne permet pas le porte à porte. Il reste un service de gamme moyenne par rapport aux services des VTC ou des taxis. Et comme l'a montré l'étude FACTA, il est peu probable que la clientèle des taxis ou des VTC, prête à payer cher un service haut de gamme, de porte à porte dans des véhicules confortables, se reporte massivement sur Autolib automatisé.
- il n'aura pas beaucoup plus d'impact qu'Autolib pour diminuer les usages de la voiture particulière dans le centre de l'agglomération.

En synthèse, c'est un scénario acceptable, qui s'inscrit dans la continuité d'un service existant, dont il pourra redresser le modèle économique en apportant, à la marge, de vrais progrès. Si le parc des véhicules de « TPPP » reste stabilisé autour de 35 000 (cf : supra), on peut imaginer que le parc d'Autolib avec mode autonome puisse légèrement augmenter et passer de 4 000 à 5 000 ou 6 000. On peut surtout imaginer que lorsque le robot-taxi sera arrivé à sa pleine maturité, la bascule d'un service Autolib avec mode autonome vers un service de type Uber automatisé pourra se faire progressivement et en relative douceur.

Scénario 3 : des zones protégées, des voitures autonomes en location

Les deux scénarios qui précèdent n'auront qu'un impact très marginal sur la circulation des voitures particulières dans Paris, pour la bonne et simple raison que la plupart des voitures particulières qui y circulent effectuent des parcours en plus grande partie à l'extérieur de la zone très bien desservie par les TC.

L'idée de ce troisième scénario est d'interdire la circulation des voitures particulières à l'échelle d'un quartier et de n'autoriser l'accès à ce quartier qu'aux véhicules habilités, circulant en mode autonome à l'intérieur du quartier. Pour que le système fonctionne, il faut proposer aux habitants une alternative à l'utilisation de leur voiture particulière sous une forme fonctionnellement et financièrement équivalente : la location d'un véhicule équipé du fonctionnement en mode autonome. Ce véhicule doit pouvoir aller partout, y compris permettre des séjours de loisirs, et être déposé partout. La location doit pouvoir être interrompue par la dépose du véhicule sur n'importe quel point du territoire répertorié comme zone de dépose. Les gestionnaires des flottes ont alors la charge de garantir la disponibilité des voitures aux points de réservation et d'assurer le bon équilibre entre l'offre et la demande en organisant les circulations à vide nécessaires.

Avantages de ce scénario :

- il offre une réelle alternative à l'utilisation de la voiture personnelle, en continuité des systèmes de location actuellement disponibles
- il peut être géré par des sociétés de location de voitures, équipées de flottes de voitures autonomes, et en capacité d'affecter une partie de cette flotte à de telles « missions de service public ».
- de tels services peuvent se développer en « tache d'huile ».

Inconvénients de ce scénario :

- il ne peut être efficace que si les zones de dépose des véhicules sont suffisamment nombreuses, bien réparties sur le territoire, et reliées entre elles par des itinéraires sécurisés permettant les déplacements à vide.
- compte tenu des déséquilibres des flux de mobilité, les besoins de redistribution, donc de circulation de véhicules vides peuvent être importants et coûteux, les coûts de location risquent alors d'être nettement plus élevés que les coûts d'usage des véhicules personnels
- globalement, il ne diminuera pas le nombre de véhicules en circulation. Les circulations à vide, mais aussi la possibilité d'effectuer dans de meilleures conditions de confort des trajets effectués en transport public, seront des facteurs d'augmentation de la congestion.

Exemple 2 : Le plateau de Saclay dans la grande couronne francilienne

Nous allons développer l'exemple du plateau de Saclay, qui constitue en grande périphérie francilienne un excellent exemple de territoire dominé par l'usage de l'automobile. Ce territoire mélange des zones de bonne densité urbaine (ex : Guyancourt), des zones pavillonnaires (ex : Voisins le Bretonneux), des « villages urbains » (ex : Châteaufort), avec des lieux de fortes concentrations d'emplois (ex : Technocentre de Renault, CEA de Saclay). Le développement du territoire va se faire autour des nouvelles stations de métro (Satory, Guyancourt-Est, CEA-Saint-Aubin, Orsay, Palaiseau).



Vue aérienne du plateau de Saclay : les zones d'habitation apparaissent en gris et les zones d'emplois en violet. On distingue nettement le Technocentre de Renault, le CEA de Saclay, la zone d'emploi de Buc et l'aérodrome de Toussus le Noble.

Les caractéristiques de la mobilité sur le plateau de Saclay :

Nous sommes à 25 kilomètres du centre de Paris. La série des tableaux qui suivent, construits sur les données domicile-travail du fichier du recensement 2012 de l'INSEE, montre la domination quasi absolue de l'automobile. Les communes du centre du plateau sont à l'écart du réseau ferroviaire du Transilien et du RER B, tandis que les communes du pourtour sont, en partie au moins, directement desservies par ce réseau. A l'extérieur du plateau de Saclay, les tableaux distinguent les communes qui sont directement atteignables par le réseau ferroviaire, tandis que les autres communes en sont éloignées.

Total des déplacements motorisés domicile-travail sur le plateau de Saclay		Communes de destination des déplacements				
		Communes du centre du plateau de Saclay	Communes du pourtour du plateau de Saclay	Communes accessibles avec le Transilien ou le RER B	Autres communes	TOTAL
Communes d'origine des déplacements	Communes du centre du plateau de Saclay	2 697	2 452	6 806	2 615	14 571
	Communes du pourtour du plateau de Saclay	2 438	19 055	25 634	12 885	60 012
	Communes accessibles avec le Transilien ou le RER B	6 791	29 358			36 150
	Autres communes	5 482	27 088			32 571
	TOTAL	17 409	77 953	32 441	15 500	143 302

Déplacements en VP + 2RM		Communes de destination des déplacements				
		Communes du centre du plateau de Saclay	Communes du pourtour du plateau de Saclay	Communes accessibles avec le Transilien ou le RER B	Autres communes	TOTAL
Communes d'origine des déplacements	Communes du centre du plateau de Saclay	2 341	2 239	4 810	2 310	11 701
	Communes du pourtour du plateau de Saclay	2 016	15 097	13 069	9 834	40 016
	Communes accessibles avec le Transilien ou le RER B	4 953	19 154			24 106
	Autres communes	4 545	21 858			26 403
	TOTAL	13 855	58 348	17 880	12 144	102 226

Part modale VP + 2RM		Communes de destination des déplacements				
		Communes du centre du plateau de Saclay	Communes du pourtour du plateau de Saclay	Communes accessibles avec le Transilien ou le RER B	Autres communes	TOTAL
Communes d'origine des déplacements	Communes du centre du plateau de Saclay	86.8	91.3	70.7	88.3	80.3
	Communes du pourtour du plateau de Saclay	82.7	79.2	51.0	76.3	66.7
	Communes accessibles avec le Transilien ou le RER B	72.9	65.2			66.7
	Autres communes	82.9	80.7			81.1
	TOTAL	79.6	74.8	55.1	78.3	71.3

Malgré la présence sur le plateau d'un réseau consistant de lignes de bus, les déplacements internes au plateau se font à 81,4% en VP ou en 2RM ; ce pourcentage monte à 86,9% pour les déplacements dont l'origine et/ou la destination se situe dans la zone centrale du plateau. La domination de la VP diminue sensiblement quand l'origine et/ou la destination des déplacements se situent dans des communes desservies par le réseau ferré, mais la VP reste largement majoritaire.

Il est ici intéressant de compléter la vision des déplacements parisiens du chapitre précédent en regardant les déplacements dont l'origine ou la destination se situe à Paris. C'est l'objet de la série des tableaux qui suivent, construits sur le même modèle que ceux qui précèdent, mais qui limitent les destinations ou origines extérieures au plateau à Paris, ainsi qu'à Versailles. Versailles est en effet un gros bassin d'emplois très proche du plateau, et il se trouve que les volumes de voyageurs qui viennent de Versailles ou y vont sont souvent très proches de ceux qui viennent de Paris ou y vont. A l'intérieur du plateau de Saclay, ces voyageurs ont exactement les mêmes réseaux routiers et TC à leur disposition. Et pourtant, le partage modal est très différent.

Déplacements motorisés domicile-travail sur le plateau de Saclay Cas de Paris et de Versailles		Communes de destination des déplacements				
		Communes du centre du plateau de Saclay	Communes du pourtour du plateau de Saclay	Versailles	Paris	TOTAL
Communes d'origine des déplacements	Communes du centre du plateau de Saclay	2 697	2 452	1 270	1 728	8 148
	Communes du pourtour du plateau de Saclay	2 438	19 055	2 595	8 822	32 909
	Versailles	743	1 723			2 467
	Paris	1 248	7 104			8 352
	TOTAL	7 127	30 334	3 865	10 550	51 876

Déplacements en VP + 2RM		Communes de destination des déplacements				
		Communes du centre du plateau de Saclay	Communes du pourtour du plateau de Saclay	Versailles	Paris	TOTAL
Communes d'origine des déplacements	Communes du centre du plateau de Saclay	2 341	2 239	1 029	719	6 328
	Communes du pourtour du plateau de Saclay	2 016	15 097	1 647	1 979	20 739
	Versailles	531	1 295			1 826
	Paris	563	2 578			3 141
	TOTAL	5 452	21 209	2 676	2 697	32 035

Part modale VP + 2RM		Communes de destination des déplacements				
		Communes du centre du plateau de Saclay	Communes du pourtour du plateau de Saclay	Versailles	Paris	TOTAL
Communes d'origine des déplacements	Communes du centre du plateau de Saclay	86.8	91.3	81.1	41.6	77.7
	Communes du pourtour du plateau de Saclay	82.7	79.2	63.5	22.4	63.0
	Versailles	71.5	75.1			74.0
	Paris	45.1	36.3			37.6
	TOTAL	76.5	69.9	69.3	25.6	61.8

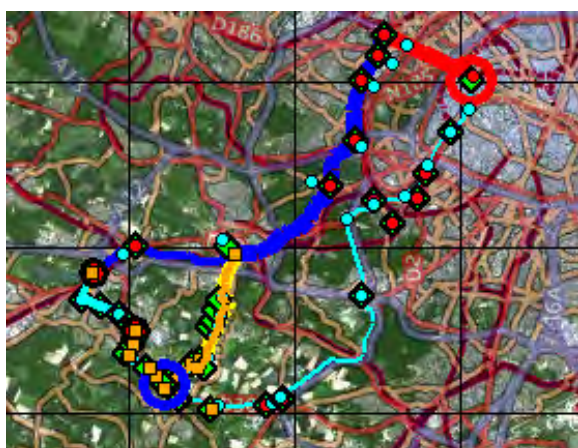
Cet ensemble de tableaux nous a clairement démontré que les réseaux locaux de bus sont incapables de tenir la concurrence face à la voiture particulière, mais que, même médiocres, ils assurent des rabattements sur le réseau ferroviaire, qui lui, est très attractif. C'est là une très grande singularité de la région parisienne.

Le choix modal des voyageurs – Identification des domaines de pertinence pour les nouveaux services offerts par des véhicules autonomes :

C'est dans cet environnement qu'il s'agit à présent d'identifier les services que les véhicules autonomes vont pouvoir rendre. Pour ce faire, nous allons regarder plus en détail la façon dont s'effectue le choix modal à partir de deux exemples. Dans les deux cas, l'origine du déplacement est le centre du plateau, Châteaufort. Dans le premier cas, la destination est la Place de l'Etoile à Paris, avec un itinéraire en transport public complexe. Dans le second cas, la destination est Versailles, dans le quartier des Chantiers. Nous allons analyser la façon dont s'effectue les choix modaux, avant et après l'ouverture du métro, selon que les voyageurs disposent ou non d'un emplacement de parking à l'arrivée, selon qu'ils utilisent un parking-relais gratuit ou payant. Nous allons ensuite offrir aux voyageurs la possibilité d'utiliser une voiture autonome, qui va être, soit tarifée comme Autolib, soit comprise dans l'abonnement TC. Enfin, nous verrons comment s'effectuent les arbitrages selon la valeur donnée au temps par les voyageurs, une valeur du temps de 10 € correspondant au SMIC, une valeur de 30 € étant représentative d'un cadre moyen, et une valeur de 50 € d'un cadre supérieur.

Comparaison des temps et des coûts de déplacement de Châteaufort à Paris-Place de l'Etoile														
	Sans la nouvelle ligne de métro							Avec la nouvelle ligne de métro						
	VP avec parking gratuit à l'arrivée	VP avec parking payant à l'arrivée	TC de bout en bout	TC avec P+R payant	TC avec P+R gratuit	VA au tarif Autolib + TC	VA +TC avec abonnement TC	VP avec parking gratuit à l'arrivée	VP avec parking payant à l'arrivée	TC de bout en bout	TC avec P+R payant	TC avec P+R gratuit	VA au tarif Autolib + TC	VA +TC avec abonnement TC
Temps de déplacement	67.69	67.69	85.20	77.64	77.64	68.45	68.45	67.69	67.69	67.59	60.56	60.56	61.52	61.52
Temps de parking VP		10.00							10.00					
Temps total	67.69	77.69	85.20	77.64	77.64	68.45	68.45	67.69	77.69	67.59	60.56	60.56	61.52	61.52
Cout VP (hors parking)	9.36	9.36		2.97	2.97			9.36	9.36		1.41	1.41		
Cout TC			0.91	0.91	0.91	0.91	0.91			0.91	0.91	0.91	0.91	0.91
Cout parking		5.00		5.00					5.00		5.00			
Cout VA						5.27							2.05	
Cout total	9.36	14.36	0.91	8.88	3.88	6.18	0.91	9.36	14.36	0.91	7.32	2.32	2.96	0.91
CG avec VT = 10€	20.64	27.31	15.11	21.82	16.82	17.59	12.32	20.64	27.31	12.18	17.41	12.41	13.21	11.16
CG avec VT = 30€	43.21	53.21	43.51	47.70	42.70	40.41	35.14	43.21	53.21	34.71	37.60	32.60	33.72	31.67
CG avec VT = 50 €	65.77	79.10	71.91	73.58	68.58	63.22	57.95	65.77	79.10	57.24	57.79	52.79	54.23	52.18

Les trois dernières lignes du tableau sont les « coûts généralisés » calculés à partir des valeurs du temps indiquées (CG= coût monétaire=temps x VT). Plus le coût généralisé est faible, meilleure est la solution.



Avant l'ouverture du métro, à gauche, le meilleur itinéraire en TC consiste à prendre le TCSP jusqu'à la gare de Saint-Quentin, puis le Transilien jusqu'à la Défense, puis le RER A. La solution du P+R passe aussi par la gare de Saint-Quentin, bien équipée, alors que ce n'est pas le cas de Versailles-Chantiers. Le véhicule autonome permet alors une liaison directe entre Châteaufort et Versailles-Chantiers, sur une route toutefois très congestionnée à l'arrivée à Versailles. Après l'ouverture du métro, tous les rabattements (bus, P+R et VA) se font sur la station de Guyancourt-Est. L'itinéraire VP évite la zone congestionnée de Versailles et emprunte la N 118.

Les principales leçons qui se dégagent du premier tableau, pour la liaison Châteaufort-Paris-Place de l'Etoile, sont les suivantes :

- sans surprise, dans tous les cas de figure, la meilleure solution est celle qui offre aux voyageurs un service de rabattement en véhicule autonome sur le réseau de TC structurant, le prix de ce service étant inclus dans l'abonnement TC. Mais il sera facile de montrer qu'un tel service quasi-gratuit relève de l'utopie et n'est pas finançable. Il faut donc s'intéresser au service payant et regarder ce qu'il peut apporter.
- avant l'ouverture du métro, les temps de parcours en VP, et avec le VA comme mode de rabattement sur le réseau TC rapide, sont très voisins (moins d'une minute d'écart), et, même avec le tarif élevé d'Autolib, les voyageurs font une économie monétaire significative (6,18 € contre 9,36 €) : nous sommes dans le cas favorable d'un voyageur qui accepte de payer un nouveau service, parce que, globalement, cela va lui faire

économiser de l'argent. Et de plus, si, à l'arrivée, il doit perdre du temps et dépenser de l'argent pour son parking, il est largement gagnant avec le rabattement en VA.

- mais s'il doit perdre du temps et de l'argent pour garer sa voiture, ce voyageur, même si ses revenus sont élevés, aura déjà opté pour les TC : dans notre exemple, il lui faudrait dépenser 13,45 € de plus pour gagner 7 mn 30 s par déplacement ! Et s'il utilise les TC, il devra alors payer pour gagner du temps. Si ses revenus sont élevés, il paiera sans problème 5,27 € pour gagner 17 mn. Mais acceptera-t-il cette dépense supplémentaire s'il est payé au SMIC ?
- et, dans ce cas de figure, avant l'ouverture du métro, le détour par la gare de Saint-Quentin pour laisser sa voiture dans le P+R, même s'il est gratuit, ne présente aucun intérêt.
- l'ouverture du métro redistribue complètement les cartes : le TC de bout en bout assure un parcours de même durée que le parcours en VP, et ceci pour 8,45 € de moins ! Plus personne n'a intérêt à prendre sa voiture, et encore moins si le parking à l'arrivée n'est pas disponible. L'accès au parking-relais de Guyancourt-Est est un peu plus rapide que le rabattement en VA (s'il faut aller chercher le véhicule à la station). Par rapport à un rabattement avec le réseau local de bus, le gain de temps est modeste (7 mn pour le P+R, 6 mn pour le VA). Le voyageur aisé et pressé acceptera sans doute de payer 2 € pour gagner 6 mn, mais certainement pas celui dont les revenus sont modestes. Mais faut-il alors offrir un service gratuit pour que des voyageurs gagnent 6 mn ?

Le deuxième tableau ci-après, construit comme le premier, se réfère au déplacement entre Châteaufort et Versailles-Chantiers. Ce sont, sur le plateau de Saclay, exactement les mêmes réseaux (TC, P+R, VA) qui sont utilisés. Les résultats sont bien différents !

Comparaison des temps et des coûts de déplacement de Châteaufort à Versailles-Chantiers														
	Sans la nouvelle ligne de métro							Avec la nouvelle ligne de métro						
	VP avec parking gratuit à l'arrivée	VP avec parking payant à l'arrivée	TC	TC avec P+R payant	TC avec P+R gratuit	VA au tarif Autolib	VA dans abonnement TC	VP avec parking gratuit à l'arrivée	VP avec parking payant à l'arrivée	TC	TC avec P+R payant	TC avec P+R gratuit	VA au tarif Autolib	VA dans abonnement TC
Temps de déplacement	32.68	54.70	54.70	47.14	47.14	36.94	36.94	32.68	32.68	37.09	30.06	30.06	30.01	30.01
Temps de parking VP		5.00							5.00					
Temps total	32.68	59.70	54.70	47.14	47.14	36.94	36.94	32.68	37.68	37.09	30.06	30.06	30.01	30.01
Cout VP (hors parking)	4.26	4.26		2.97	2.97			4.26	4.26		1.41	1.41		
Cout TC			0.91	0.91	0.91	0.91	0.91			0.91	0.91	0.91	0.91	0.91
Cout parking		3.00		5.00					3.00		5.00			
Cout VA						5.27							2.05	
Cout total	4.26	7.26	0.91	8.88	3.88	6.18	0.91	4.26	7.26	0.91	7.32	2.32	2.96	0.91
CG avec VT=10€	9.71	17.21	10.03	16.74	11.74	12.34	7.07	9.71	13.54	7.09	12.33	7.33	7.96	5.91
CG avec VT=30€	20.60	37.11	28.26	32.45	27.45	24.65	19.38	20.60	26.10	19.46	22.35	17.35	17.97	15.92
CG avec VT = 50 €	31.49	57.01	46.49	48.16	43.16	36.96	31.69	31.49	38.66	31.82	32.37	27.37	27.97	25.92

- sans surprise, et comme dans le cas précédent, le service qui remporte tous les suffrages est celui que permet le véhicule autonome au tarif de l'abonnement TC.
- mais, si ce service est offert au tarif Autolib, il ne fera pas mieux que la VP avant l'ouverture du métro, mais il fera mieux après : les 2,32 € du VA font permettre une économie par rapport au coût de 4,26 € de la VP, et, en plus un gain de temps. Il fera aussi beaucoup mieux que la VP, si le stationnement à l'arrivée est payant et prend du temps.
- la concurrence des P+R se fait sentir : après l'ouverture du métro, si notre voyageur peut laisser sa voiture gratuitement à la station Guyancourt-Est, cette solution sera pour lui plus avantageuse.

De ces deux études de cas, il est possible de retenir les idées suivantes :

- un service de véhicule autonome ne peut pas concurrencer la voiture particulière de bout en bout, sauf pour se rendre dans une zone dans laquelle le stationnement est payant et/ou prend du temps.

- si le TC est d'ores et déjà plus performant que la VP, un nouveau service payant qui permet de gagner du temps n'intéressera que les voyageurs à revenu élevé. C'est le ratio temps gagné / surcoût qui déterminera la demande pour le nouveau service.
- si le TC est un peu moins performant que la VP, et si un nouveau service de rabattement permet une meilleure performance que la VP, alors le voyageur aura intérêt, quel que soit son niveau de revenu, à payer pour le nouveau service, car, en contrepartie, il économisera davantage en laissant sa voiture au garage.
- un service de véhicule autonome ne peut pas offrir un meilleur service de rabattement sur les TC qu'un parking-relais gratuit.

Ce sont les idées qui vont pouvoir nous guider dans l'établissement des scénarios qui vont suivre, qui pourraient se succéder et/ou se compléter dans le temps.

Scénario 1 : des navettes du dernier kilomètre pour améliorer la performance des TC

Compte tenu du coût d'un conducteur salarié dans services de transport collectifs routiers (environ 2/3 du prix de revient moyen au km), on peut énoncer la règle suivante : *là où un bus standard fonctionne en forte sous-capacité et transporte moins de 10 personnes, il pourrait être remplacé à conditions de coût à peu près équivalentes par trois navettes autonomes, capables alors d'offrir un bien meilleur service.*

Faire des propositions précises et en garantir la pertinence sort bien évidemment du cadre de la présente étude. Mais dans la mesure où le STIF a engagé une recherche de sites pertinents en Ile-de-France pour déployer les premières navettes automatiques, on peut considérer que c'est un coup parti.

Avantages de ce scénario :

- il démarre dès aujourd'hui, se développe ligne par ligne : les itinéraires routiers peuvent être sécurisés progressivement.
- il s'inscrit dans une démarche d'amélioration de l'efficacité des réseaux de bus : les lignes principales peuvent devenir plus courtes (moins de détours), voire plus rapides (moins d'arrêts), ce qui les rend plus attractives et moins coûteuses (c'est le « cercle vertueux » du transport public)
- dans le cas très particulier du plateau de Saclay, de nouveaux territoires vont être urbanisés autour des nouvelles stations (Satory, au sud de la station Guyancourt-Est, autour des stations CEA-St Aubin, Orsay, Palaiseau) : plutôt que de construire des grands parking-relais dans ces stations, il serait possible de les connecter à leur environnement immédiat par des lignes de navettes autonomes.

Inconvénients de ce scénario :

- la densité urbaine des zones qui entourent les gares et stations TC du réseau structurant et rapide est généralement élevée, et les réseaux de bus desservent bien les quartiers proches de ces lieux d'intermodalité. Les quartiers déjà bien urbanisés sont peu propices à de telles navettes.
- et, là où les besoins d'amélioration des TC se font vraiment sentir, c'est déjà à une certaine distance des pôles d'échange. Remplacer des « bouts de lignes » de bus peu fréquentés par des navettes ne pourrait se faire qu'aux prix de correspondances, généralement dissuasives. Il n'est donc pas sûr que les cas pertinents soient très nombreux.

Scénario 2 : un réseau de type PRT

Le plateau de Saclay semble un terrain très favorable pour expérimenter un réseau de type PRT (*Personal Rapid Transit* – cf : chapitre 1). Dans ce scénario, des stations sont implantées sur l'ensemble du territoire ; elles sont reliées entre elles par un réseau routier sécurisé. Les véhicules sont de petits véhicules de transport collectif (4 à 6 places). Dans la mesure où le réseau est dessiné pour assurer prioritairement la desserte des pôles d'échange à

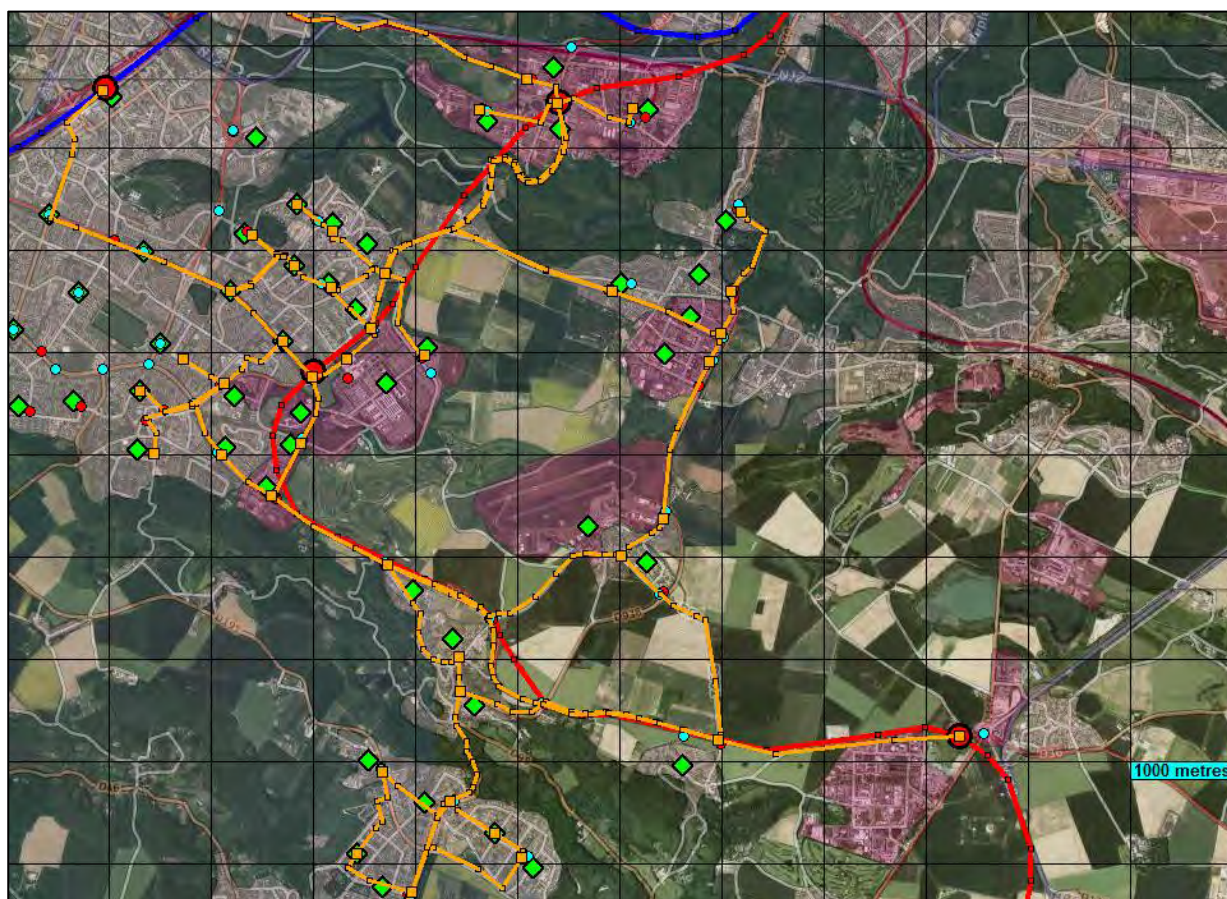
partir des zones d'habitation, et celle des zones d'emploi à partir des pôles d'échange, c'est une organisation qui permet à chaque véhicule de transporter plusieurs passagers, en allant à destination par le parcours le plus direct.

La redistribution des véhicules vides s'effectue sur le réseau sécurisé, en optimisant les mouvements nécessaires des stations excédentaires vers les stations déficitaires.

Alors que les navettes automatiques du précédent scénario resteront probablement chères – non en raison des automatismes, mais parce que la base-véhicule est spécifique et ne permet pas d'envisager des constructions en très grande série – de petits véhicules de transport collectif de 4 à 6 places peuvent être imaginés à un coût très raisonnable : leur base-véhicule pourra être commune à des voitures construites en grande série, et l'absence de poste de pilotage permet de faire de sensibles économies. Si un tel véhicule est mis sur le marché à 25 K€, c'est le 10^{ème} du prix d'un autobus, le 8^{ème} du prix d'une navette automatique. Autrement dit, là où un autobus pourra être avantageusement remplacé par trois navettes automatiques, il pourra l'être encore plus avantageusement par 24 véhicules PRT.

Et, parce qu'ils permettent une fréquence élevée, les véhicules PRT offriront un meilleur service que les navettes automatiques (ex : transporter 10 personnes avec 3 véhicules PRT et un départ toutes les 3 mn plutôt qu'avec une seule navette et un départ toutes les 10 mn).

La carte ci-dessous montre à quoi pourrait ressembler un tel réseau organisé pour raccorder les territoires du centre du plateau de Saclay aux trois stations du nouveau métro (Satory, Guyancourt-Est et CEA-Saint-Aubin).



Avantages du scénario :

- c'est un scénario qui peut se développer en tache d'huile, et par exemple à partir des itinéraires des navettes du scénario 1
- c'est une extension du réseau de TC, accessible à tous les voyageurs, y compris à ceux qui n'ont pas accès à l'automobile ; il peut être dimensionné et géré dans le cadre d'une délégation de service public, et il est justifié qu'il soit subventionné ; les économies qu'il peut permettre de réaliser sur les lignes de bus classiques peuvent lui être réaffectées.

- le service va pouvoir fonctionner « à géométrie variable » selon les heures de la journée. Comme on le voit sur la carte, dans cet exemple, le réseau PRT utilise le TCSP qui relie la gare de Saint-Quentin à la station de métro CEA-Saint-Aubin, en passant par la station Guyancourt-Est. On peut ainsi tout à fait imaginer qu'à l'heure de pointe du matin, les véhicules PRT se limitent à assurer le rabattement sur le TCSP, pouvant ainsi effectuer des trajets courts et donc en beaucoup plus grand nombre. En heure creuse, la flotte sera disponible pour offrir aux habitants un transport de proximité, avec des trajets directs et rapide entre station d'origine et station de destination. Aux heures creuses, le service PRT pourra purement et simplement se substituer à certaines lignes de bus. En particulier, aux heures très creuses de début et de fin de journée, les PRT empruntant le TCSP de bout en bout, offriront un service qui fait aujourd'hui cruellement défaut : les nombreux automobilistes qui doivent effectuer l'un de leurs deux trajets domicile-travail en heure creuse, et sont condamnés à la congestion de l'heure de pointe pour l'autre, plébisciteront ce nouveau service.

Inconvénients du scénario :

- il ne concurrencera pas la voiture particulière pour les trajets de porte à porte
- le co-voiturage sera complexe à gérer, notamment dans les importants pôles d'échanges : les voyageurs sortiront tous ensemble des trains ou des métros, et il faudra rapidement les répartir entre les véhicules selon leur destination. L'organisation des espaces de prise et de dépose des voyageurs, comme de circulation et de stockage des véhicules aux abords des stations, sera difficile. Et il reste à imaginer le système de paiement et de contrôle d'accès à bord qui sera compatible avec ces mouvements de voyageurs.
- la question du tarif du service n'est pas facile à régler. La première idée qui vient à l'esprit, l'inclusion dans l'abonnement TC, risque de produire le même effet pervers que celui que les opérateurs de bus connaissent bien : le cabotage de courte distance, pour éviter la marche à pied. Or, il faudra éviter de surcharger le système par de petits parcours qui seront très coûteux en véhicules. Imaginer un système de tarification selon l'usage et le profil de l'utilisateur, et lier ce système de tarification au contrôle d'accès à bord, voilà un beau sujet de recherche et d'innovation !
- la question de l'acceptabilité sociale est majeure. Le co-voiturage de courte durée, dans de petits véhicules, avec des inconnus, risque de se révéler très anxiogène, jusqu'à constituer une cause de refus du service. On sait que Blablacar a su créer un système de mise en relation qui crée la confiance, mais cela ne s'est pas fait facilement, et il n'est pas garanti que les recettes mises au point pour le co-voiturage longue distance fonctionnent pour le co-voiturage de courte durée.

Scénario 3 : un réseau de type PRT + Autolib avec mode autonome

Il s'agit ici de reprendre le modèle Autolib tel qu'il a été décrit pour Paris et de le rajouter au service PRT qui vient d'être décrit.

Il n'est évidemment pas pertinent d'imaginer qu'un service de type Autolib, qui n'est pas conçu pour le co-voiturage, puisse atteindre les performances espérées du réseau PRT du scénario 2, alors qu'il mobilisera des véhicules individuels relativement chers. Mais, comme nous l'avons vu dans l'analyse de Châteaufort, il existe une clientèle d'automobilistes aisés, qui auraient intérêt à payer un service au tarif Autolib pour rejoindre rapidement le réseau TC structurant. Et cette clientèle est plutôt diffuse sur le territoire, dans des zones pavillonnaires de faible densité. Et ces zones, éloignées des pôles d'échanges, sont sans doute les plus difficiles à desservir avec le système PRT.

C'est pourquoi, il est vraisemblable qu'un service Autolib haut de gamme – permettant par exemple le porte à porte, les automatismes assurant le trajet de la station la plus proche au domicile – pourra trouver une clientèle au-delà de la clientèle du réseau PRT. Un tel service sera particulièrement intéressant pour la multitude de déplacements professionnels qu'effectuent sur un tel territoire des provinciaux ou des étrangers dépourvus de voiture personnelle.

Avec quelques différences, les avantages et inconvénients d'un service Autolib sont les mêmes que dans le cas parisien.

Avantages de ce scénario :

- il peut utiliser les mêmes infrastructures routières sécurisées que le réseau PRT, couvrir un territoire plus vaste, et ainsi améliorer significativement l'offre de service de mobilité, notamment aux heures creuses. Il peut contribuer à diminuer les usages de la voiture particulière en rabattant correctement sur le réseau TC.
- sous réserve que les voyageurs puissent et acceptent de conduire, les véhicules pourront aller partout, sous la seule contrainte d'être déposés dans une station : si, dans le contexte d'une ville très dense comme Paris, c'est un avantage modeste, dans le contexte du grand périurbain, c'est un vrai potentiel d'utilisation des voitures en libre-service qui s'ouvre.
- on peut aussi penser que, dans les territoires de faible densité, les Autolib en mode autonome pourront partiellement s'affranchir des stations et permettre le porte à porte, si elles sont réservées à l'avance et peuvent faire à vide, même à vitesse très lente, les parcours entre les stations et les lieux de prise et de dépose.

Inconvénients de ce scénario :

- il reste globalement tributaire de la notion de station et ne peut rouler à vide que sur des itinéraires sécurisés – ou, à très basse vitesse pour des petits parcours sur voirie banalisée. Il reste donc cantonné dans le territoire équipé – sauf pour permettre des boucles en conduite manuelle à l'extérieur du territoire.
- comme dans le péri-urbain les distances sont longues et les espaces très spécialisés entre lieux d'habitation et lieux d'activités, les temps d'attente entre deux services et les besoins de redistribution à vide risquent d'être très conséquents. Du coup, un tarif déjà élevé de type Autolib risque d'être insuffisant pour assurer la rentabilité du service.
- s'il permet à une clientèle aisée de s'éviter d'une voiture particulière, s'il permet de réaliser du transfert modal vers les TC structurants, diminuant ainsi la pression de l'automobile dans les zones denses, à l'inverse, du fait de l'importance des besoins de redistribution à vide, la circulation automobile risque d'augmenter dans ce type de zone périphérique.

Scénario 4 : le robot-taxi remplace Autolib avec mode autonome

Quand le robot-taxi sera arrivé à sa pleine maturité, il sera tout naturel qu'il remplace les Autolib avec leur mode autonome. Il bénéficiera du réseau routier déjà sécurisé et de la clientèle installée. Il pourra, cette fois-ci, faire réellement du porte-à-porte, ce qui devrait rendre le service plus attractif.

Et dès lors que l'ensemble du réseau routier sera sécurisé et numérisé, les véhicules autonomes de type PRT pourront aussi sortir de leurs itinéraires pré-indiqués et effectuer les détours d'un transport à la demande qui va prendre les voyageurs au plus près de chez eux.

Nous serons alors dans un scénario dans lequel le véhicule autonome aura deux visages : un véhicule collectif de 4 à 6 places, réalisant des missions de service public complémentaires du réseau local de transport public, et subventionné ; un robot-taxi, haut de gamme, réalisant des prestations payantes et non subventionné.

Il pourrait s'y ajouter, comme dans notre dernier scénario pour le centre de l'agglomération, un service de location de véhicules autonomes, en capacité de rendre exactement les mêmes services que les véhicules particuliers.

Deux questions majeures resteront toutefois posées :

- les conditions économiques auxquels ces services pourront être rendus seront-elles suffisamment incitatives pour inciter les particuliers à renoncer à la possession d'une voiture ?

- le transfert modal qui sera réalisé vers les TC sera-t-il suffisant pour réduire la circulation automobile ? Ou, au contraire, ne verrons-nous pas celle-ci s'accroître, d'une part en raison des importants besoins de redistribution des véhicules à vide, d'autre part si ces systèmes incitent, en fin de compte, certains voyageurs à préférer des services individualisés aux services collectifs ?

Pour conclure sur le plateau de Saclay :

Le plateau de Saclay est certainement, en France, l'un des territoires les plus pertinents pour expérimenter les nouveaux services de mobilité que permettront les véhicules autonomes sous leurs différentes formes. La structure géographique du territoire, sa composition socio-économique, sa vocation tournée vers la recherche et l'innovation, la très forte présence de l'industrie automobile, l'arrivée d'une ligne de métro et l'obligation de repenser un urbanisme moins dépendant des voitures particulières, tous ces facteurs se conjuguent très favorablement.

Pour réussir la mobilité de demain dans la région parisienne, si riche de ses spécificités, le très rapide métro du Grand Paris Express et les services locaux performants de rabattement seront en situation d'alliance objective, ils s'alimenteront les uns les autres. Les voitures autonomes (en réseau de type PRT, ou en service individualisé type robot-taxi) ne feront pas concurrence au métro, bien au contraire. Même si les voitures autonomes atteignent un très bon niveau de performance (par exemple 0,30 € le voyageur-kilomètre), elles coûteront cinq fois plus cher que le métro, même si celui-ci ne devait pas être très bien rempli (de l'ordre de 0,06 € le voyageur-kilomètre). La logique économique veut que, chaque fois que les flux pourront convenablement s'articuler, les voitures autonomes servent de *feeders* aux réseaux rapides de TC.

Dès lors, l'enjeu majeur est de « dessiner » (*to design*) un réseau optimisé, organisant les bonnes complémentarités entre tous les modes de rabattement, faisant d'ailleurs varier ces complémentarités selon les heures de la journée, et mettant en œuvre des outils tarifaires incitant les voyageurs à faire les choix les plus respectueux des « biens communs » à protéger.

L'intérêt de la maison France est certainement de « mettre le paquet » pour réussir sur ce territoire.

Exemple 3 : L'agglomération lyonnaise et le périurbain Est-lyonnais

En contrepoint de la situation parisienne, l'exemple d'une métropole de province est maintenant étudié : l'agglomération lyonnaise, son centre et le périurbain de l'Est lyonnais.

Lyon est la grande métropole de province qui présente des caractéristiques qui la rapproche le plus de Paris : une zone centrale très dense (Lyon et Villeurbanne), une banlieue proche de bonne densité urbaine, une vaste périphérie. Les mécanismes à l'œuvre sont très semblables entre Lyon et Paris, mais le changement d'échelle donne des résultats très différents : à Lyon, les distances sont plus courtes, et les TC sont moins rapides sur les grandes distances. Le transfert modal de la voiture particulière vers les TC ne se fait pas aussi spontanément en région lyonnaise qu'en région parisienne, d'autant plus que Lyon, et notamment son centre, est très bien équipée en parkings. Les chiffres des déplacements domicile-travail du recensement de 2012 le montrent bien :

- les actifs de Lyon et de Villeurbanne, et les banlieusards qui travaillent dans la zone centrale sont au total 412 371. 201 637 d'entre eux, soit 48,9% utilisent leur voiture particulière pour se rendre à leur travail (pour Paris, le chiffre correspondant est de 15,8%, c'est en proportion, trois fois moins).
- parmi ces 201 637 automobilistes, 27,8% font un trajet qui commence et finit dans la zone centrale (19,3% à Paris), 28,4% font un trajet qui commence dans la zone centrale et finit en banlieue (23,8% à Paris), et 43,8% font un trajet qui commence en banlieue et se finit en zone centrale (56,9% à Paris).
- sur l'ensemble de l'agglomération, le partage modal de l'ensemble des déplacements motorisés est de 77% pour la VP et les 2RM et de 23% pour les TC. Dans la zone centrale, ce partage modal pour l'ensemble des déplacements motorisés dont l'origine et/ou la destination est interne à la zone est de 61% pour la VP et les

2RM et de 39% pour les TC (ce qui est le plus gros score pour la province française). A l'extérieur de la zone agglomérée, ce partage modal est de 90% pour la VP et les 2RM et de seulement 10% pour les TC.

La zone centrale :

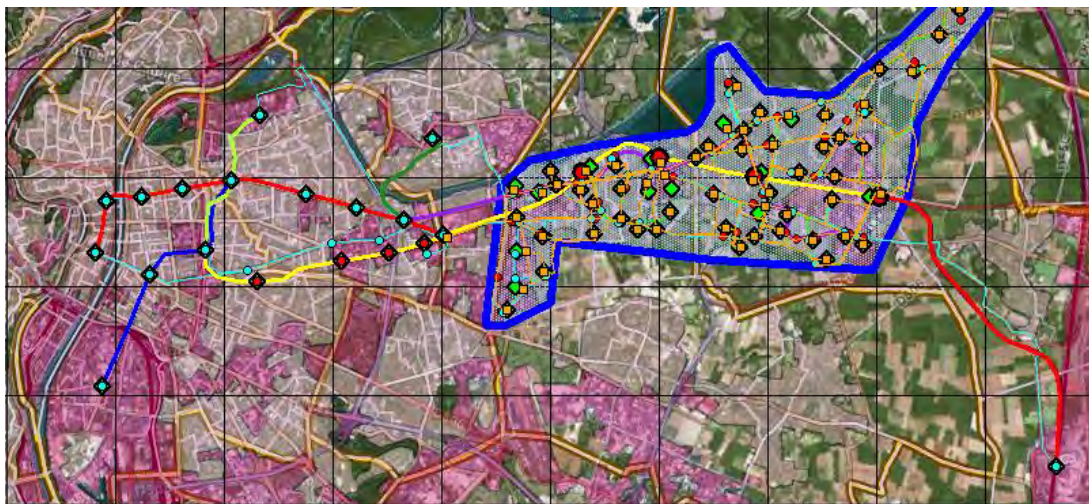
On peut imaginer, pour la zone centrale, transposer les solutions proposées pour Paris, en commençant par faire évoluer Bluely, l'Autolib lyonnais, en dotant les véhicules d'automatismes qui permettront la redistribution à vide entre les stations. Mais, autant il semble qu'Autolib à Paris souffre d'un déficit d'offre lié à la mauvaise répartition des véhicules sur le territoire, autant il apparaît que Bluely à Lyon souffre d'abord d'un déficit de demande. Chaque véhicule, à Lyon, est utilisé en moyenne 1,8 fois par jour, c'est moitié moins qu'à Paris (3,4 fois par jour). Il y a 24 abonnés par voiture à Lyon, contre 33 à Paris. Et quand le parisien abonné se sert d'une Autolib 0,7 fois par semaine, le lyonnais se sert d'une Bluely 0,5 fois par semaine.

Le tarif de Bluely a longtemps été plus élevé que celui d'Autolib (13,8 € de l'heure, contre 12 € avant la récente augmentation qui a mis les deux tarifs au même niveau). Mais il est impossible de savoir comment la demande réagirait à des tarifs beaucoup plus bas. On peut toutefois supposer que le même phénomène qu'à Paris se produirait et que les stations n'auraient aucune chance de s'auto-équibrer spontanément, les zones d'habitation, les secteurs d'emploi et les espaces commerciaux n'étant pas répartis de façon homogène. Pour atteindre un bon taux d'utilisation, de l'ordre de 10 par jour, il faudra, en permanence, organiser des flux de redistribution de véhicules vides des stations excédentaires vers les stations déficitaires.

Bluely automatisé, ou, à plus long terme, un système de robots-taxis plus performant, permettant le porte à porte, ne s'imposera pas naturellement sur le marché de la mobilité lyonnais. Il faudra une politique volontariste, combinant des mesures de restriction de l'usage des véhicules particuliers et des dispositions permettant aux habitants comme aux salariés d'effectuer les déplacements dont ils ont besoin. Comme en région parisienne, la restriction de la circulation dans le centre de l'agglomération passe par des politiques de transfert modal pour les déplacements périphérie-centre ou centre-périphérie.

Le périurbain, l'exemple de l'Est lyonnais :

Pour analyser plus en détail la situation en périphérie, nous allons examiner la situation de trois communes de l'Est lyonnais, Décines-Charpieu, Meyzieu et Jonage. C'est un territoire qui a été choisi, en concertation avec la Métropole de Lyon, dans le cadre du projet européen ESPRIT, pour être très concerné par la problématique dite « du dernier kilomètre » : la ligne du tramway T3 traverse Décines-Charpieu et Meyzieu, avec quatre stations. D'importantes zones d'emploi (La Soie, Meyzieu ZI) sont à proximité. L'habitat est un mélange de petits immeubles collectifs et de vastes zones pavillonnaires. Dans le cadre du projet européen, un réseau de type PRT y a été imaginé, permettant aux habitants de ces trois communes de se déplacer à l'intérieur de ce territoire, ou de se rabattre sur une des stations du tramway.



Dans la zone entourée de bleu, les trois communes de Décines-Charpieu, Meyzieu et Jonage, et le réseau de type PRT qui y est simulé – en orange, les 51 stations et le réseau routier qui les relie.

Le partage modal, pour les déplacements motorisés, est très caractéristique de ce type de territoire. Globalement, et grâce au tramway T3 qui le traverse, il est un peu plus favorable au TC que la moyenne périurbaine : 16% au lieu de 10%. Le clivage est très net selon que l'origine ou la destination du déplacement est la zone centrale : 38% des actifs de ces trois communes qui travaillent en zone centrale prennent les TC, et, inversement, 29% des actifs qui habitent la zone centrale et travaillent dans une de ces trois communes prennent les TC. Pour les déplacements domicile-travail internes à cette zone de trois communes, l'utilisation des TC est marginale : 12%. Pour les autres déplacements, la part modale du TC est encore plus faible.

Le tableau ci-après analyse, comme nous l'avons fait pour le plateau de Saclay, les temps et les coûts de déplacement selon les différentes options possibles pour un déplacement qui va de Jonage à Lyon-Part-Dieu :

Comparaison des temps et coûts de déplacement de Jonage à Lyon-Part-Dieu							
	VP avec parking gratuit à l'arrivée	VP avec parking payant à l'arrivée	TC	TC avec P+R payant	TC avec P+R gratuit	VA au tarif Bluely	VA dans abonnement TC
Temps de déplacement	37.01	37.01	65.35	46.23	46.23	47.86	47.86
Temps de parking VP		5.00					
Temps total	37.01	42.01	65.35	46.23	46.23	47.86	47.86
Cout VP (hors parking)	5.48	5.48		1.08	1.08		
Cout TC			0.79	0.79	0.79	0.79	0.79
Cout parking		3.00		5.00			
Cout VA						3.81	
Cout total	5.48	8.48	0.79	6.87	1.87	4.60	0.79
CG avec VT=10€	11.65	15.48	11.68	14.58	9.58	12.58	8.77
CG avec VT=30€	23.99	29.49	33.47	29.99	24.99	28.53	24.72
CG avec VT = 50 €	36.32	43.49	55.25	45.40	40.40	44.48	40.67

En ce qui concerne les temps de parcours, la VP, même avec un temps significatif de parking à l'arrivée, reste imbattable. Rejoindre rapidement une station du T3, soit avec une solution P+R, soit avec une solution VA – PRT, fait gagner beaucoup de temps par rapport à une ligne de bus plus lente et qui fait d'importants détours. Mais le gain de temps réalisé sur le parcours en tramway est insuffisant pour donner, globalement, un avantage au TC. C'est là une différence majeure avec la région parisienne et ses liaisons radiales très rapides.

En ce qui concerne les coûts, là encore le TC est imbattable. Mais l'écart TC-VP est plus faible que sur les longues distances parisiennes. Si bien que la VA au tarif Bluely (un peu plus élevé qu'Autolib, à 13,80 € l'heure) ne prend même pas l'avantage sur la VP avec stationnement payant à l'arrivée.

Le TC, avec rabattement en P+R gratuit, est, actuellement, la meilleure solution alternative à la VP de bout en bout. Et, dans les faits, le P+R est gratuit, soit l'accès aux parkings des TCL est permis avec le titre de transport, soit les espaces environnants sont suffisamment disponibles pour permettre un stationnement « sauvage ».

Dans un tel contexte, l'insertion d'un service de type PRT ne peut réussir qu'à deux conditions : être peu coûteux, pour pouvoir se substituer avantageusement au réseau local d'autobus, au moins aux lignes les moins attractives et les plus déficitaires ; éviter la concurrence des P+R, en coordonnant les tarifs, pour rendre les PRT attractifs et les P+R dissuasifs, et en prohibant le stationnement sauvage. Un service de type Bluely avec mode autonome, dans un territoire à pouvoir d'achat modeste, sera encore plus difficile à introduire.

Exemple 4 : Une ville moyenne : Chartres

Chartres est une ville très représentative des villes moyennes françaises : une agglomération de 120 000 habitants, un centre-ville de bonne densité urbaine, la commune de Chartres et ses 38 500 habitants, et une ceinture de petites communes, de densité intermédiaire, dans lesquelles la spécialisation de l'espace entre zones d'habitation et zones d'emploi est très marquée.

Une grosse moitié des actifs habitant Chartres travaille à Chartres (55%), les autres actifs se répartissant à parts à peu près égales entre les communes de la ceinture, les autres communes du département et les destinations plus lointaines dont Paris pour 7% du total). Inversement, 30% des emplois localisés dans Chartres sont occupés par des habitants de la ville, 24% viennent de la ceinture des communes périphériques, 42% viennent du reste du département et 4% viennent de l'extérieur du département.

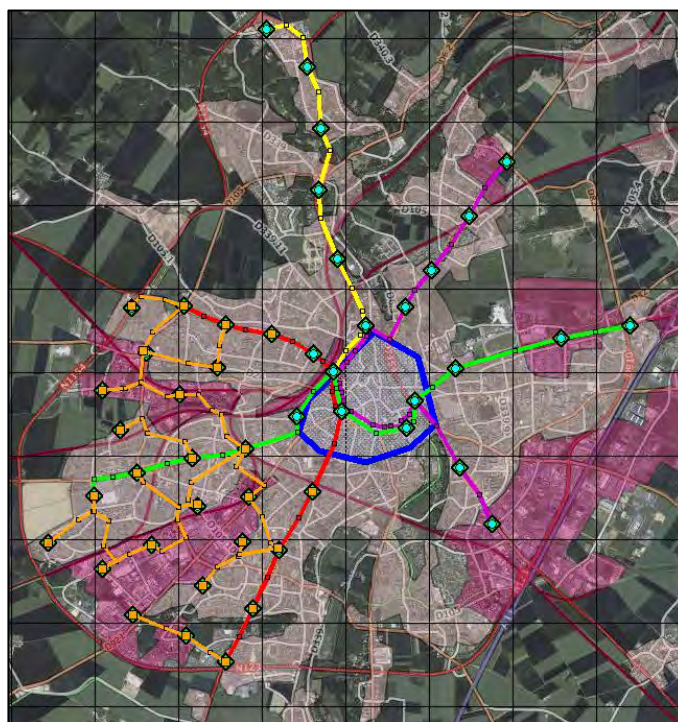
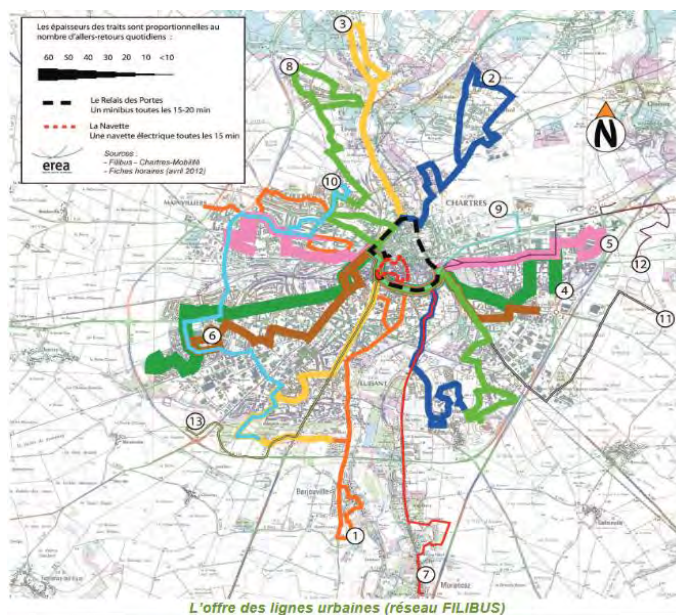
La domination de la voiture est absolue. Seuls 10% des actifs habitant Chartres et travaillant à Chartres utilisent les TC pour se rendre à leur travail. 56% utilisent leur VP ou 2RM. 34% – c'est ici un pourcentage très important – font le trajet en marche à pied. 87% des déplacements domicile-travail motorisés ayant Chartres pour origine et/ou destination se font en VP ou 2RM.

Ce chiffre monte à 90% pour les communes de la ceinture, et à 91% pour les autres communes du département. En contrepoint, 82% des 1400 habitants de Chartres et de sa périphérie qui travaillent à Paris s'y rendent en TC.

Et pourtant, l'agglomération est bien pourvue en transport public. La carte ci-jointe (source PDU de Chartres) est typique d'un réseau de bus d'une ville moyenne : de nombreuses lignes, qui couvrent très bien toutes les zones d'habitation – mais beaucoup moins bien les zones d'emploi, des lignes qui font de nombreux détours (le syndrome du « plat de nouilles »), des fréquences insuffisamment attractives. Et un ratio recettes / dépenses de 25%.

Voici maintenant un scénario qui permet d'imaginer une approche de PDU intégrant la disponibilité de véhicules autonomes. En fait, nous allons mettre dans ce scénario les quatre mêmes « ingrédients » que ceux que nous avons mis dans le scénario du plateau de Saclay :

- une restructuration drastique du réseau de bus : les 14 lignes du « plat de nouilles » sont transformées en 4 lignes de BHNS (rouge, jaune, vert et violet sur la carte ci-contre). Les 66 bus nécessaires au service actuel (source UTP) sont remplacés par une vingtaine de BHNS, roulant à une vitesse commerciale de 18 km/h et à un intervalle de 10 mn. Le budget d'exploitation du réseau serait divisé au moins par un facteur 3, dégageant ainsi les financements nécessaires aux deux opérations suivantes.
- le centre urbain dense (zone entourée de bleu) est desservi par quelques circuits de navettes



automatiques de 12-15 places, en correspondance avec les lignes de BHNS. C'est un prolongement d'un service actuellement offert par deux circuits de centre-ville. L'automatisation des véhicules permettra l'extension du dispositif tout en réduisant le coût.

- un réseau de PRT est mis en place tout autour de la ville (représenté en orange à titre d'exemple sur le sud-ouest de la ville). Aux heures pleines, le réseau permet seulement les correspondances avec la station BHNS la plus proche. Aux heures creuses, les véhicules peuvent emprunter les sites propres. De ce fait, le réseau BHNS peut fonctionner sur une plage de temps plus réduite, ce qui génère de nouvelles économies. Ce réseau PRT est partie intégrante du service public de transport public, il est accessible avec les mêmes titres de transport que le BHNS ou les navettes de centre-ville.

Si l'on reprend l'équation (cf : supra) selon laquelle l'économie d'un bus (coût de conduite inclus) permet de financer 24 véhicules autonomes de type PRT, l'agglomération pourrait être couverte par un réseau de 120 stations équipées et de 600 véhicules. Le coût d'exploitation de l'ensemble (BHNS + navettes de centre-ville + PRT) devrait pouvoir être maintenu dans le budget actuel, et il est vraisemblable que le réseau gagnant en attractivité pourrait réduire son déficit commercial.

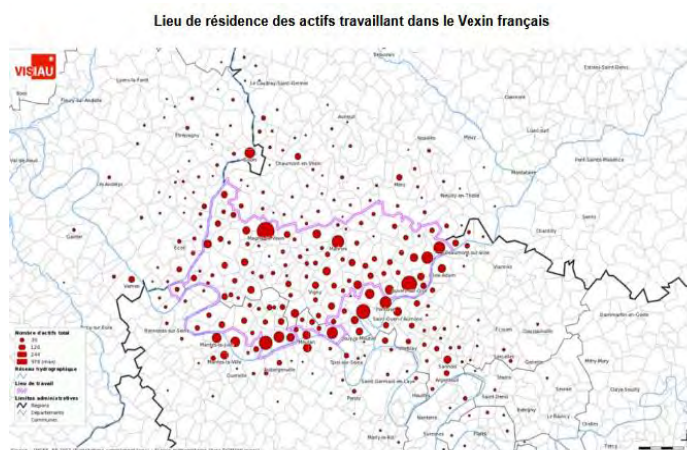
Il faut en outre remarquer que les autorités publiques disposent ici d'un puissant levier d'action : la régulation, par la capacité et par la tarification, du stationnement payant. Dès lors que l'accès aux activités, et notamment aux commerces, est garanti par un système efficace, il devient politiquement possible de dissuader les automobilistes de venir en centre-ville. Si la dissuasion est efficace, elle remplit le réseau de transport public ; si elle ne l'est pas, elle permet au moins une bonne augmentation des recettes du stationnement.

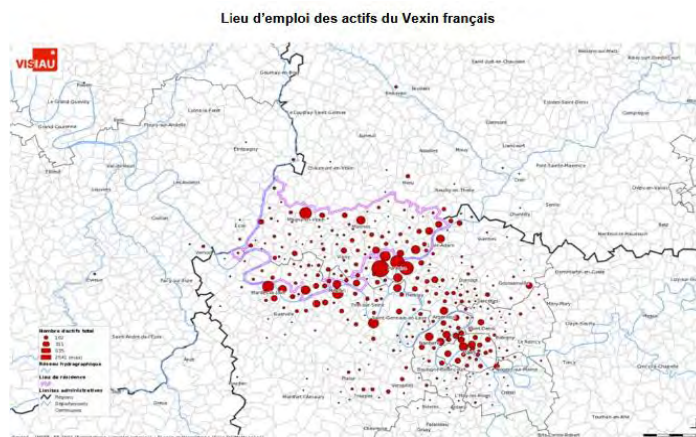
- enfin (non représenté sur la carte), un service de robots-taxis, non intégré au service public, pourrait compléter le dispositif en s'adressant soit à une clientèle à fort pouvoir d'achat résidant dans les zones pavillonnaires plus excentriques, soit à la clientèle des visiteurs professionnels dans les zones d'emploi, soit à toutes les personnes ayant occasionnellement besoin d'un service de taxi.

Exemple 5 : Un territoire rural éloigné : le parc naturel régional du Vexin français

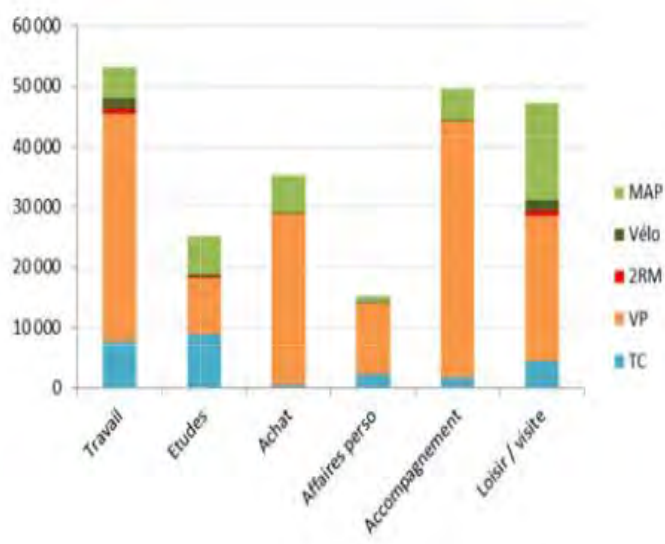
Dans l'opinion dominante, les voitures autonomes sont perçues comme un outil au service des espaces urbains pollués et congestionnés. Mais leur potentiel pour transformer ou revitaliser des territoires trop souvent laissés à l'écart du développement économique et social ne doit pas être sous-estimé.

Le territoire du PNR (Parc Naturel Régional) du Vexin est un excellent exemple. Une étude très complète – la mobilité dans le Vexin français – a été réalisée par l'IAU (Institut d'Aménagement et d'Urbanisme de l'Île-de-France – ex IAURIF) en 2014. Les deux cartes qui suivent résument les enjeux des déplacements domicile-travail pour les quelques 47 000 résidents actifs du PNR et pour les 25 000 emplois qui y sont localisés :





Le diagramme suivant montre comment se fait la répartition modale selon le motif des déplacements. Il montre, une fois de plus, que la domination de l'automobile est absolue, sauf pour les études, et sauf quand Paris ou la petite couronne est l'origine ou la destination du déplacement.



Le territoire du PNR est marqué par trois particularités : les déplacements exclusivement internes au territoire sont très inférieurs à ce qu'ils sont généralement, les habitants devant le plus souvent sortir du territoire pour y accéder ; une partie significative de la population, estimée à 8%, ne se déplace pas un jour de semaine, il s'agit souvent de personnes âgées, vivant dans des habitats isolés ; enfin, le PNR attire de nombreux visiteurs, notamment pour des loisirs du dimanche, où ils atteignent 50 000.

Le transport public interne au territoire est assuré par TIM BUS, qui affiche les performances suivantes : 45 véhicules transportent 4 000 voyageurs par jour. Ils desservent 9 lignes régulières et 294 points d'arrêts. 195 courses de 38 km en moyenne sont réalisées par jour. Chaque véhicule transporte 89 voyageurs par jour, et chaque course concerne en moyenne 20 voyageurs. Chaque point d'arrêt du réseau concerne, en moyenne, 6,5 voyageurs...

Imaginons maintenant qu'un service transport à la demande fonctionnant avec des robots-taxis collectifs de 4-6 places se mette en place sur le territoire. Il pourrait fonctionner de la façon suivante :

- aux heures de pointe du matin et du soir, priorité aux déplacements domicile-travail et domicile-école, réalisés selon un protocole de réservation la veille pour le lendemain, ajustable en temps réel, recourant au principe des « lignes virtuelles », optimisées en temps réel en fonction de la demande

- aux heures creuses, fonctionnement en mode taxi, individuel ou collectif, et ajout d'une offre de services spécifiques dédiés aux personnes isolées et aux déplacements médicaux
- le dimanche et pendant les saisons touristiques, fonctionnement en mode de taxis collectifs sur réservation, permettant notamment aux Parisiens d'accéder au PNR par le réseau RER. Il serait possible d'aller plus loin et d'interdire purement et simplement aux visiteurs du PNR d'y utiliser leurs voitures personnelles et en installant, aux abords du parc, les parkings dans lesquels les robots-taxis prendraient le relai.

On peut supposer qu'une flotte de 150 véhicules automatisés de 4-6 places coûtera beaucoup moins cher que le service TIM BUS actuel et pourra attirer bien davantage de clients. On peut imaginer une tarification très personnalisée, permettant des subventions (pass Navigo, services sociaux pour les personnes âgées ou les déplacements médicaux), mais aussi des tarifs commerciaux (fonctionnement en mode taxi individuel, activités de loisir).

En conclusion

Il serait possible de multiplier à l'infini les scénarios, de les appliquer à d'autres typologies de territoires, d'y imaginer d'autres solutions pour de nouveaux services de mobilité, et il est toujours risqué de tenter de dégager des conclusions générales de façon prématurée. Toutefois, deux lignes de force émergent nettement des scénarios imaginés pour ces cinq territoires :

- les véhicules autonomes ont très peu de chance de s'imposer par les seules lois du marché. Dans les espaces de faible densité, là où la mobilité est très libre, faire mieux que la voiture individuelle relève de la gageure. Dans les espaces de forte densité, l'idée que les véhicules autonomes vont prendre de la clientèle aux transports publics, à la marche à pied, au vélo ne résiste pas à l'analyse économique, compte tenu notamment du fort taux de subventions des TC ; et, il faut encore le souligner, les besoins de redistribution des véhicules à vide vont venir augmenter la congestion routière.

Dans notre système tel qu'il fonctionne, avec un transport public très subventionné et une voiture particulière très taxée, toutes les incitations financières à aller vers le transfert modal VP -> TC coûtent cher, mais permettent aux automobilistes d'économiser souvent beaucoup d'argent en remplaçant des déplacements taxés par des déplacements subventionnés. Dans une « logique de marché », un des enjeux des nouveaux services de mobilité est de permettre aux voyageurs de payer pour gagner du temps, tout en économisant les dépenses et les taxes qu'ils n'auront plus à verser quand ils abandonneront leur voiture personnelle : de ce fait, le seul créneau vraiment ouvert à une approche de marché est le rabattement sur les liaisons TC qui permettent de rejoindre rapidement le cœur des grandes métropoles.

- les petits véhicules autonomes collectifs vont pouvoir permettre au transport public d'effectuer une vraie révolution, en remplaçant les lignes coûteuses et peu fréquentées des territoires peu denses par une offre souple et adaptable, selon le moment de la journée, selon les profils de clientèle. A l'heure où les collectivités publiques vont devoir engager des programmes drastiques de réduction de leurs dépenses, l'apparition de cette offre nouvelle peut permettre une très belle « sortie par le haut » de notre crise de financement des transports publics. Et ce sont les autorités organisatrices de mobilité qui auront la main.

Mais la ville est en perpétuelle reconstruction sur elle-même. L'histoire nous montre qu'il y a en permanence une interaction entre les systèmes de transport et l'évolution de la ville. Notre territoire reste en grande partie dessiné par « l'urbanisme en doigts de gant » généré par les réseaux de chemin de fer de banlieue à la fin du XIX^e siècle, et l'étalement urbain de la deuxième moitié du XX^e siècle est le sous-produit de l'automobile. Plus récemment, de nombreuses villes françaises ont requalifié leurs espaces de centre-ville autour des nouvelles lignes de tramway.

La voiture autonome peut-elle redessiner le paysage urbain et fonder son développement sur l'invention d'un nouvel urbanisme ?

POINT(S) DE VUE « FACTEURS HUMAINS » SUR L'AUTOMATISATION DES VEHICULES : QUELQUES IMPLICATIONS RELATIVEMENT AU PROJET DU GRAND PARIS

Note d'analyse de Jean-Marie Burkhardt

Directeur de recherche

IFSTTAR – Laboratoire de Psychologie des Comportements et des mobilités (LPC) – Département Aménagement Mobilité Environnement

Introduction

Outre l'idée d'optimiser la performance et de diminuer les polluants liés aux énergies fossiles (du fait de l'électrification du véhicule), l'un des intérêts de l'automatisation réside dans l'hypothèse d'une amélioration de la sécurité routière. Les effets attendus sont en effet une diminution du nombre de situations critiques rencontrées par les conducteurs/trices utilisant le véhicule équipé, une réactivité accrue en cas de situation critique et une amélioration de l'efficacité temporelle et énergétique des déplacements. Si certains de ces effets ont pu ou non être confirmés pour certaines fonctions d'assistance à partir de données recueillies sur route réelle (voir e.g. Faber et al. 2012 ; Kidd & Buonarosa, 2017), de nombreuses questions n'ont pas été encore étudiées ou ont été examinées lors de situations « jouées » sur simulateur de conduite. Ce déficit de données s'observe *a fortiori*, pour ce qui concerne les niveaux plus élevés d'automatisation.

Dans une perspective « facteurs humains », l'impact de l'automatisation sur l'activité de conduite et le comportement des conducteurs/trices dépend principalement de la nature des fonctions automatisées, de l'étendue des situations couvertes et de la proportion du temps dans laquelle elles sont utilisées : il n'y a pas donc de réponse générique. Cependant, il est possible d'esquisser quelques principaux effets généraux qui seront à considérer spécifiquement selon le contexte et le type de service envisagés, notamment en regard du projet du Grand Paris.

La section 2 présente les dimensions fondant l'analyse des situations d'automatisation de la conduite et des usagers impliqués, dans la perspective de la prise en compte des facteurs humains. La section 3 décrit brièvement les axes principaux de la recherche sur les facteurs humains dans ce contexte, et analyse les données existantes et les questions en termes d'impacts possibles sur les comportements de mobilité, sur la santé et la sécurité. La section 4 évoque des premiers éléments qui nous semblent découler de cette synthèse.

1. L'automatisation de la conduite d'un véhicule : rupture et continuité

La classification de la SAE (Society of Automotive Engineer) comme d'autres (e.g. National Highway Traffic Safety Administration – NHTSA, 2013 ; German Federal Highway Research Institute – BAST) caractérise le degré d'automatisation d'un véhicule au travers d'un continuum de « niveaux » croissants. Ce continuum part de l'absence d'automatisation pour aboutir à l'automatisation complète de la conduite, i.e. ne requérant pas l'intervention d'un conducteur humain. Cette idée d'une continuité entre les niveaux est à nuancer à la lumière des travaux sur les facteurs humains. En effet, dans des domaines variés (industrie de processus, ferroviaire, aéronautique civile et militaire, etc.) et depuis de nombreuses années, ces travaux montrent l'existence d'une rupture dans l'activité à partir d'un degré élevé d'automatisation. Cette rupture apparaît dès lors que l'activité de pilotage disparaît au profit

d'une activité de surveillance et de supervision, avec notamment des conséquences en termes de compréhension des situations, ainsi que de construction et de maintien des compétences (voir notamment Bainbridge, 1983 ; pour une mise en perspective historique, voir e.g. Vagia, Transeth & Fjerdingen, 2016). Les travaux sur l'automatisation de la conduite semblent aller dans le même sens.

Cela amène à proposer de considérer trois classes de situations du point de vue de l'activité de conduite, engendrant des effets similaires (par exemple la dégradation des compétences de conduite) et des effets différenciés en termes de sécurité et d'acceptabilité (la transition spécifique à l'automatisation conditionnelle par exemple). Ces trois classes sont discutées à la suite.

1.1. Situations d'assistance et d'automatisation partielle : le conducteur reste « dans la boucle »

Cette classe de situations regroupe l'assistance et l'automatisation partielle de la conduite (correspondant aux niveaux 1 à 2 de l'échelle SAE), pour lesquelles l'activité de conduite reste sous le contrôle du conducteur. Le conducteur reste « dans la boucle » de l'activité de conduite, c'est-à-dire **qu'il gère tout ou partie de l'activité de conduite et surveille l'environnement de conduite**. Les fonctions d'assistance proposées sont variées (par exemple : avertisseur de collision frontale – Front Collision Warning ; avertisseur de sortie de voie – Lane departure Warning ; etc.) pouvant aller jusqu'à la prise en charge d'une sous-partie de la tâche de conduite (par exemple le contrôle longitudinal dans le cas du régulateur de vitesse adaptatif – Adaptive Cruise Control ; l'assistance au maintien de trajectoire – Lane Keeping Assist ; la manœuvre de stationnement supervisée – Park Assistance, etc. voir e.g. Watzenig & Horn, 2017). La plupart de ces fonctions sont déjà disponibles sur le marché ou vont l'être prochainement. Cependant, c'est moins la disponibilité technologique et commerciale que le taux et la vitesse de pénétration de l'équipement dans le parc qui a un impact sur les usages, la conduite et son environnement, ce qui peut prendre du temps (cf. illustration avec le dispositif de freinage automatique s'appuyant sur l'hypothèse d'une commercialisation en standard sur tous les véhicules à partir de 2022 d'après IIHS, 2016 ; Figure 1). La rapidité du renouvellement du parc est aussi affectée par le contexte économique.

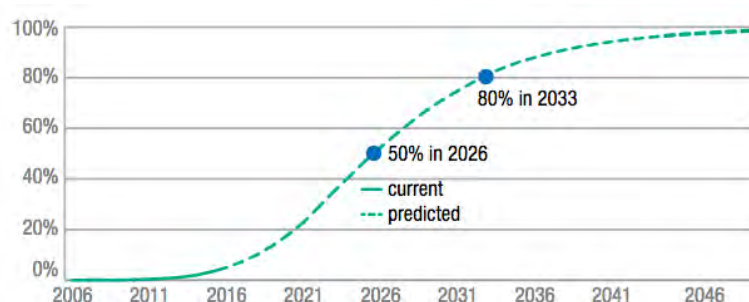


Figure 1 : Prévision de pénétration du dispositif de freinage automatique dans le parc de véhicules (d'après IIHS 2016)

1.2. L'« automatisation conditionnelle » : le conducteur est en « dehors de la boucle » durant certaines périodes mais doit pouvoir reprendre en main le VA

Cette deuxième classe de situations dites « d'automatisation conditionnelle » (niveau 3 de l'échelle SAE) concerne la délégation de la conduite au système pour certaines parties de parcours et/ou opérations. Dans ces situations, il est attendu que **le conducteur puisse reprendre en main le véhicule en cas de situations non gérées par l'automatisme, ou de problèmes et de réponses inadaptées de la part du système**. Il y a donc des transitions entre des périodes où le conducteur est « en dehors de la boucle » et des périodes où il doit être et agir « dans la boucle de conduite ». Les modalités de reprise en main peuvent être variées selon trois axes principaux qui sont schématiquement :

- **la reprise en main par le conducteur à l'initiative du système** : par exemple la situation conditionnelle d'automatisation prend fin, ou bien une défaillance du système automatique l'impose. Du point de vue du conducteur, cela signifie qu'il peut ne pas y avoir d'anticipation de la reprise, mettant ainsi le conducteur en situation de réagir rapidement à une situation qui peut s'avérer critique.
- **la reprise en main à l'initiative du conducteur** : parmi les raisons envisageables, le diagnostic par le conducteur d'une situation traitée de façon inadéquate par le système ; un tel diagnostic implique évidemment que le conducteur soit à même de percevoir et d'interpréter à un instant donné que le comportement du véhicule n'est pas adapté à la situation, cela en l'absence de sollicitation de la part du système ; une autre raison peut être que le conducteur estime, à tort, qu'en reprenant la main il sera plus efficace et/ou plus sûr que ne l'est le système ; une autre raison de reprendre la conduite peut résider dans le plaisir que peuvent y chercher certains conducteurs.
- **La délégation de la conduite vers le système.**

1.3. L'« automatisation complète » : le conducteur devient passager « en dehors de la boucle » et n'a pas à reprendre le VA en main

Cette classe de situations (correspondant aux niveaux 4 et 5 de l'échelle SAE) se définit, par opposition avec le niveau précédent, par le fait que le véhicule gère la conduite **sans intervention requise de la part d'un conducteur humain** et ce pour certains parcours et/ou situations, ou de façon ultime quelle que soit la situation (automatisation complète).

1.4. Des usages du VA et des profils d'utilisateurs contrastés : individuel ou collectif, à titre privé ou professionnel

Ces trois perspectives s'articulent avec des services, des usages et des profils d'utilisateurs contrastés relativement à l'activité de conduite : conducteur non-professionnel, conducteur professionnel ou passager. Ce dernier profil inclut les usagers n'ayant pas la capacité (définitive ou temporaire) de conduire à un instant donné. Il en découle les quatre profils et types d'usage associés suivants :

- a) **l'usage en tant que passager d'un véhicule de Transport Partagé et/ou Collectif (navette)** : cet usage s'inscrit dans le contexte de l'autonomie complète ou implique une voie dédiée et/ou l'intervention d'un conducteur professionnel ;
- b) **l'usage en tant que conducteur de son VA individuel personnel** : cet usage correspondrait plutôt à une population ayant des ressources économiques élevées, au moins dans les premiers temps ;
- c) **l'usage individuel en tant que conducteur d'un VA individuel partagé** : cet usage est potentiellement plus accessible économiquement sous forme de services proposés ;
- d) **l'usage en tant que conducteur professionnel d'un VA** : cet usage peut concerner le **transport de personnes** ou la **logistique** et le **transport de biens** ; le caractère professionnel rend possible un processus de formation, de maintien et d'évaluation régulier et planifié des compétences requises ; dans ce cas, le modèle reste proche du modèle actuel des entreprises de transport avec de surcroît des conducteurs dont la formation, l'organisation des plannings et des types de courses et le maintien en compétence devrait prendre en compte les spécificités de la conduite autonome conditionnelle.

1.5. Tous les espaces /environnements de la conduite ne se valent pas

Une troisième dimension importante pour apprécier l'impact en termes de facteurs humains concerne l'environnement de conduite dans lequel s'insèrent les situations d'automatisation. Cet environnement détermine également en grande partie les verrous technologiques à lever et conséquemment l'échéance à laquelle on peut

estimer la mise sur le marché de VA adaptés (Figure 2 ; d'après Shladover, 2015). Cela va du cas le plus simple où l'environnement est protégé de l'intrusion d'autres usagers et où seuls les VA sont susceptibles d'évoluer jusqu'à la complexité ultime de l'adaptation à n'importe quel environnement de conduite.

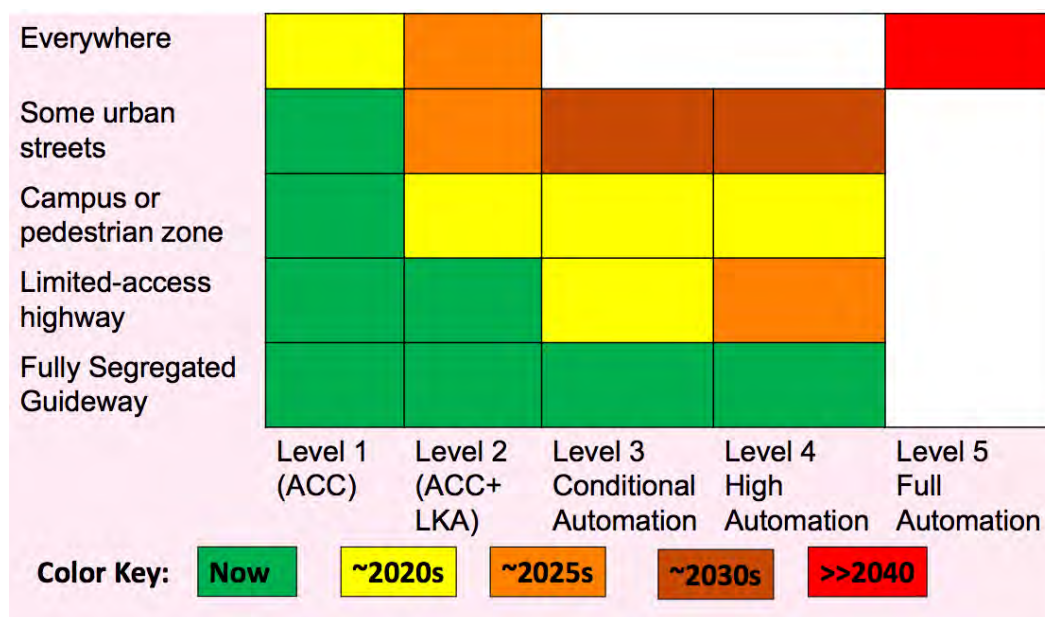


Figure 2 : Echéances d'introduction des différents niveaux d'automatisation en fonction de l'environnement de conduite selon Shladover (2015)

2. Les recherches FH sur l'automatisation de la conduite

Le contenu des sections suivantes s'appuie d'une part sur les études menées au LPC, notamment dans le cadre de thèses et d'un post-doc financés par Vedecom (Payre, Cestac, & Delhomme, 2014 ; 2016 ; Payre, Cestac, Dang, Vienne, & Delhomme, 2017 ; Dogan, Rahal, Deborne, Delhomme, Kemeny & Perrin, 2017 ; Richard, 2016) et d'autre part plus largement sur l'état de l'art en ergonomie et facteurs humains comprenant des études *in situ* ou des expériences en laboratoire menées sur l'automatisation de la conduite de véhicule et dans d'autres domaines des transports, voire de l'industrie.

2.1. Trois axes de recherche : le conducteur du VA, les autres usagers, le passager du véhicule complètement automatisé

En termes de facteurs humains, c'est l'impact de l'automatisation sur le conducteur du véhicule automatisé et/ou le comportement, l'activité et les compétences qui est majoritairement abordé dans la littérature. Parmi les problèmes identifiés ayant un effet à la fois en termes de performance et de sécurité, on peut citer :

- sur-confiance dans les automatismes, désengagement dans la tâche ;
- dégradation voire perte des compétences requises pour la tâche et l'opération en sécurité du système automatisé ;
- surcharge ou sous-charge cognitive ;
- compréhension moindre ou incompréhension du fonctionnement et des états du système automatique ;
- « conscience de la situation » défaillante ou diminuée ;

La littérature a mis en évidence des effets potentiellement négatifs de l'automatisation sur le comportement des conducteurs et l'évolution de ce comportement dans le temps, selon le type et l'étendue de l'automatisation, le profil du conducteur, la durée d'expérience dans l'utilisation, etc. Ainsi, l'introduction de l'automatisation peut s'accompagner d'une évolution vers des comportements plus à risques. A titre d'illustration, Rudin-Brown et Parker (2004) ont montré il y a quelques années déjà que les utilisateurs d'un régulateur de vitesse réagissent plus tardivement et réduisent les marges de sécurité (Rudin-Brown & Parker, 2004). Plus récemment Banks et Stanton (2017) se sont intéressés à l'effet d'un système de type freinage automatique d'urgence (Autonomous Emergency Brake) couplé à un avertisseur. Sur la base d'une étude sur simulateur, ils relèvent que si globalement l'automatisation diminue la fréquence des accidents dans une situation critique donnée, le fait de donner un signal d'avertissement préalable au conducteur n'améliore pas forcément la performance – bien au contraire : en regardant qui est à l'origine du freinage, ils constatent qu'en l'absence de signal préalable, un plus grand nombre de conducteurs intervient avant l'automatisme, tandis qu'ils sont plus nombreux à laisser le système réagir dans le cas où l'avertissement préalable est donné.

L'importance et les conséquences de ces problèmes peuvent cependant varier, notamment en fonction du niveau d'automatisation et de sa prédominance dans l'activité de conduite. Pour tenter de pallier ces problèmes, plusieurs axes de travaux sont aujourd'hui empruntés : développement et évaluation d'assistances technologiques et d'interfaces pour aider le conducteur, avec récemment une montée en puissance des approches « coopératives » et de la conception « écologique » ; développement d'outils de surveillance et d'évaluation de l'état du conducteur ; réflexions sur l'alternance conduite manuelle / automatisée, etc.

Enfin outre le peu de données écologiques, une limite à l'état de l'art actuel réside dans l'absence d'études sur des temps moyens et longs.

Deux autres axes FH également importants commencent seulement à être investigués, avec en corollaire un déficit de données aujourd'hui :

- (1) l'impact sur les autres usagers et l'environnement de la mobilité dont : les autres conducteurs de VA, les conducteurs de voitures à conduite manuelle, les conducteurs de 2 roues motorisées, les cyclistes, les piétons, les usagers de nouveaux dispositifs de mobilité tels les gyropodes, etc.
- (2) l'impact, l'analyse des besoins et l'acceptation par l'utilisateur d'un véhicule totalement autonome (voir par exemple sur les navettes automatiques, Moneger, Coutarel, Chambres, Motak & Izaute, 2017 ; Monéger, Coutarel, Motak, Chambres, Izaute & Dhome, 2015).

2.2. Effets possibles sur la mobilité

2.2.1. Un effet sur l'attractivité de la mobilité individuelle utilisant le VA potentiellement au détriment des autres modes

L'automatisation et/ou le fait de dégager le conducteur de certaines périodes de conduite devraient induire une conduite facilitée et un confort accru, d'autant qu'il devient possible de faire autre chose au moins une partie du temps de trajet. Dans le même temps, l'automatisation peut améliorer la sécurité du conducteur, en améliorant la détection et la gestion de certaines situations critiques, et en améliorant la réactivité dans certaines situations. Selon certains auteurs (e.g. Talebpour, Mahmassani, 2016 ; Silberg, Wallace, Matuszak et al. 2012), à partir d'une certaine proportion de VA, la fluidité du trafic pourrait être meilleure. Cependant, (a) plus le trafic est fluide, plus les gens tendent à rouler vite et plus ils ont des accidents – particulièrement matériels ; (b) plus le trafic est fluide, plus le mode (re)devient attractif, et la densité du trafic peut alors à nouveau augmenter. Ces différents éléments pourraient avoir pour effet d'accroître potentiellement l'attractivité de la mobilité liée à l'usage du VA, au moins

pour les conducteurs non-sujets au mal du transport (cinétose), en allant à l'encontre d'un report sur d'autres modes notamment collectifs et/ou actifs.

2.2.2. Un effet socio-économique différentiel possible sur les arbitrages en matière de mobilité et de lieu de résidence

L'automatisation et l'ajout de fonctions – au moins dans les premières périodes, va le plus probablement renchérir le prix des véhicules, et donc plutôt (comme c'est le cas aujourd'hui) être réservés aux véhicules haut de gamme, et plutôt à des populations ayant un niveau socioéconomique élevé.

Par ailleurs, les choix en matière d'aménagement et de restriction éventuelle de circulation des véhicules individuels affectent globalement la propension à utiliser le véhicule individuel ; ces restrictions touchent toutefois essentiellement les véhicules les plus anciens, qui sont le plus souvent la propriété des foyers les moins aisés et qui habitent le plus loin des zones à forte accessibilité et des zones d'emploi (voir e.g. Orfeuill, 2013).

Enfin jusqu'à présent, il a été observé à l'échelle des territoires que les gains en vitesse ne servent pas à réduire la durée des trajets quotidiens, mais plutôt à augmenter les distances de déplacement, notamment du fait des compromis temps de trajet vs coût vs superficie du logement.

2.2.3. L'importance de l'utilité réelle relativement à l'acceptabilité

Les premiers retours d'expérience de VA sur sites « ouverts » (travaux de Monéger et al. 2015 & 2017) soulignent le caractère central de l'utilité et de la satisfaction d'un besoin dans l'acceptation et la pérennisation des usages. Ces auteurs ont observé que les VA de type navette attirent de nombreux utilisateurs dans les manifestations et dans les expérimentations sur site, mais que ce nombre diminue dramatiquement au fil du temps ; cela malgré les très bons résultats obtenus en général dans les mesures de l'acceptabilité réalisées suite à une première expérience d'utilisation. L'une des explications réside dans la faible adéquation du parcours retenu en regard des besoins d'utilisateurs potentiels (Monéger, 2016) ; une seconde explication réside dans le nécessaire compromis entre sécurisation des déplacements du VA et performance dès lors que l'environnement est ouvert. Sur ce dernier point, l'utilité et la taille de la population potentiellement intéressée décroissent ainsi très rapidement dès lors que la performance s'avère équivalente voire inférieure à celle de la marche à pied et d'autres modes doux.

Ces défauts d'utilité font écho à la place encore faible faite à l'analyse et l'instruction des besoins dans les projets d'innovation, où l'usager / utilisateur final potentiel est plus mis en position de devoir évaluer ou accepter, plutôt que de concourir à la construction et aux choix de solutions (Richard, Burkhardt & Lubart, 2014). Dans le même sens, plusieurs travaux suggèrent que les usagers / utilisateurs des systèmes de transport sont peu voire pas sollicités dans les étapes initiales de la conception et de l'aménagement liés à la mobilité, notamment pour participer à la définition de problèmes (voir par exemple Richard, 2016). Sur la base d'incidents critiques recueillis auprès d'experts, cet auteur observe que lorsqu'il y a participation, celle-ci s'inscrit à des moments de la conception où la marge de prise en compte des besoins est très faible, qu'il s'agisse de consultations publiques mises en place par les collectivités locales, ou d'ateliers de créativité dans les projets des sociétés de transports et d'infrastructures.

2.3. Effets possibles sur la santé et la sécurité

2.3.1. Conduite autonome et « self-driving » sickness

L'incidence des cinétoses (mal des transports) pourrait augmenter du fait de la conduite autonome (on parle alors de "self-driving sickness"), du fait de l'absence d'activité de conduite et son remplacement par d'autres activités, e.g. lecture, jeu, visionnage de film, etc. Il a par exemple été estimé que la cinétose pourrait toucher de façon sévère

entre 12 et 24% des adultes américains usagers d'un véhicule autonome de fréquemment à de temps en temps (Sivak & Schoettle, 2015).

A noter qu'au-delà de la dimension symptomatique, le mal des transports peut poser un problème de sécurité dans le cas de l'automatisation conditionnelle, résultant de la mise en incapacité de réagir à temps du conducteur. Par ailleurs, cela pourrait aussi être un facteur crucial d'acceptabilité du VA.

2.3.2. Cohabitation et interaction avec les autres usagers

Plusieurs auteurs s'accordent sur le fait que le différentiel de comportements des véhicules avec automatisation est susceptible de créer de nouvelles situations critiques pour les autres usagers qui n'en disposent pas. Par exemple, dans une étude sur simulateur, Muhrer & Vollrath (2011) observent un effet négatif sur le conducteur suiveur lorsque le véhicule qui le précède est muni d'un système de freinage du système automatique et aborde une situation critique. Les données suggèrent notamment que la réactivité accrue et les comportements des véhicules en mode autonome peuvent créer de nouvelles situations critiques accidentogènes. De plus, ces études concernent essentiellement l'impact de l'automatisation sur les autres conducteurs de véhicules motorisés, d'où le fait que l'on sache peu de choses sur les autres types d'usagers, vélo, piétons, etc.

A l'heure actuelle, cette cohabitation sécurisée implique soit une séparation forte – comme c'est le cas dans des domaines analogues, e.g. industrie, aéronautique, ferroviaire – mais aussi dans le domaine de la sécurité routière et de ces points d'interaction avec d'autres modes tels que les piétons (Retting, Ferguson & McCartt, 2003) ou le ferroviaire (Havârneanu, Burkhardt & Paran, 2015), soit une diminution drastique de la vitesse et de la flexibilité du comportement du véhicule. Dans ce dernier cas, l'enjeu réside alors, pour ce type de système ultra-sûr, dans la fourniture et la persistance d'une utilité réelle pour l'utilisateur du service sur le long terme (Monéger, Coutarel, Chambres, Motak & Izaute, 2017 ; Monéger, Coutarel, Motak, Chambres, Izaute & Dhome, 2015).

2.3.3. Transition entre véhicules de niveaux d'automatisations et/ou pourvus d'interfaces différents

Pour un conducteur, le passage d'un véhicule autonome à un véhicule à conduite manuelle, ou encore la primo-utilisation des assistances ou des interfaces associées à l'automatisation pourraient conduire à un risque accru au moins de façon temporaire, du fait de la nouveauté, des transferts négatifs possibles et d'une compréhension moindre de son fonctionnement.

2.3.4. Une problématique FH spécifique à l'automatisation conditionnelle : les transitions entre modes manuel et automatique

Avec la perspective d'arrivée sur le marché des véhicules avec automatisation conditionnelle (niveau 3 du SAE), les premiers travaux sur ce niveau se sont logiquement et essentiellement intéressés à évaluer les « limites et difficultés éprouvées par le conducteur » quant à la reprise en main. Les études, qui restent encore à compléter, et incitent à la prudence, concluent pour l'instant :

- il existe un temps minimum allant, suivant les études, de 5 à 7 secondes¹ en moyenne pour que soit enregistrée une première action de reprise en main (Payre, 2014 ; Vogelpohl, Vollrath, Kühn, Hummel & Gehlert, 2016) à 15 secondes pour la reprise en main anticipée (Merat et al, 2014) voire 40 secondes pour la stabilisation du véhicule dans l'étude de ces derniers auteurs, que la reprise soit anticipée ou due à un événement critique. Si quelques études obtiennent des résultats plus courts, il semble que cela soit lié à la méthode de mesure, et notamment les informations et délimitations des temps de recueil utilisés ; pour un modèle en étape, voir e.g. Zeeb, Buchner et Schrauf (2015). En effet, selon les études, le temps de réaction mesuré correspond soit à un contrôle de la situation soit à la seule réalisation d'une action corrective par le sujet (au niveau du volant et/ou

¹ Jusque de 10 à 14 secondes si l'on raisonne en termes d'enveloppe de sécurité, c'est-à-dire du temps nécessaire pour que l'ensemble des sujets ait pu réagir. L'utilisation de la moyenne ou de la médiane excluent en effet par construction une proportion qui peut aller jusqu'à la moitié des conducteurs de l'échantillon.

des pieds, i.e. frein vs accel.) que cette action aboutisse ou non à une remise en sécurité de la situation de conduite.

- ce temps augmente quand le sujet est engagé dans une autre activité (Gold, Damböck, Lorenz & Bengler, 2013 ; Vogelpohl, Vollrath, Kühn, Hummel & Gehlert, 2016 ; Dogan, Rahal, Deborne, Delhomme, Kemeny & Perrin, 2017 ; pour une étude centrée sur les transitions non critiques, voir Eriksson & Stanton, 2017), cet accroissement du temps pouvant apparaître ou non de façon significative suivant le type d'activité secondaire impliqué (Zeeb, Buchner & Schrauf, 2016).
- ce temps peut être réduit dans une certaine proportion par un entraînement (Payre, 2014) ;
- il faut plus de temps pour reprendre le contrôle lorsque la conduite est hautement automatisée (niveau 3) par comparaison aux niveaux précédents d'assistance par l'automatisation.
- il semble qu'il y a un accroissement en termes de baisse de vigilance et de fatigue d'environ 2% dans la condition de conduite automatique par rapport au mode manuel ;
- il est nécessaire d'assister le conducteur dans sa reprise en main du véhicule, notamment en lui apportant une information pertinente pour comprendre la situation et engager les actions pertinentes. Pour Louw, Madigan, Carsten & Merat (2016), il faudrait par exemple que le système automatique soit en mesure d'orienter l'attention du conducteur vers la source de danger au minimum 6 secondes avant que la situation ne devienne dangereuse.

Cette problématique explique le fait que l'automatisation conditionnelle constitue aujourd'hui une option controversée sur le plan des facteurs humains. Certains experts FH préconisent ainsi de ne pas développer ces véhicules automatisés de niveau 3 où « le conducteur sort de la boucle ». Pour ces auteurs, il semble préférable de passer directement au niveau d'automatisation complet, i.e. ne requérant pas la reprise en main de la part du conducteur^{2 3}. Pour d'autres auteurs, l'important est de faire en sorte que la fréquence, la durée et la variété des opérations de conduite « manuelle » restent suffisamment élevées pour empêcher le déclin des compétences de conduite chez les conducteurs. Pour d'autres auteurs, le développement d'interfaces, de dispositifs et de modes d'interaction conducteur-véhicule plus adaptés pourrait à terme peut-être fournir une solution satisfaisante en termes de sécurité, notamment en ajoutant la possibilité d'une surveillance de l'état du conducteur au cours de la conduite (vigilance, attention, zone d'exploration visuelle, etc.). Enfin, une solution de formation renforcée et récurrente pourrait également être mise en œuvre dans le cadre d'utilisateurs professionnels, comme c'est aujourd'hui le cas dans l'industrie, dans l'aéronautique, etc. Cette solution semble inversement peu crédible dans un contexte de conduite non professionnelle.

3. Conséquences envisageables relativement au projet du Grand Paris

Il résulte de ce qui précède que :

- la diffusion progressive du premier niveau d'automatisation (assistance et automatisation partielle) n'aura probablement pas d'impact spécifique sur le projet du Grand-Paris, si ce n'est éventuellement, et de façon très ponctuelle, au niveau de certaines liaisons intercity où un report / retour vers la conduite pourrait être observé ;
- pour beaucoup d'auteurs, un gain réel en sécurité routière ne pourra intervenir que dans le cadre de l'automatisation complète du VA, et seulement lorsque tous les véhicules et l'infrastructure seront équipés ;
- seul le niveau d'automatisation complète ouvre la possibilité de répondre aux besoins de mobilité des personnes n'étant pas en capacité de conduire (enfants, personnes mal ou non voyantes, traitements

² « Automatic driving may increase traffic safety with full potential only (1) if all cars drive automatically and (2) if they do so in every situation » (Vollrath, 2017).

³ « If you build vehicles where drivers are rarely required to respond, then they will rarely respond when required » (Hancock, 2015)

- médicamenteux, alcool, etc.). Lorsque l'automatisation n'est pas complète, la présence d'un conducteur tiers est alors requise ;
- la formation et le maintien des compétences constitue un enjeu à anticiper dans le cadre de la conduite de VA à automatisation conditionnelle ou partielle, avec probablement une meilleure acceptabilité de la part des professionnels de la conduite ;
 - suivant les choix d'implantation, l'offre de VA peut être en compétition, en remplacement ou en complément de l'existant et du projet du Grand Paris ;
 - il peut y avoir compétition entre usagers de modes différents, en particulier dans les espaces communs ou aux interfaces entre espaces dédiés. Dans une logique de développement des modes actifs, ceux-ci devraient être privilégiés en termes d'aménagement, e.g. chemins les plus directs, protection physique et/ou règlementaire vis-à-vis des véhicules, etc. ;
 - les choix en matière d'aménagement et de restriction éventuelle de circulation des véhicules individuels affectent globalement la propension à utiliser le véhicule individuel ; cela est également vrai pour les autres usages du véhicule autonome ;
 - ces choix d'aménagement et de restriction doivent prendre en compte la problématique des interactions et de la cohabitation sécurisée avec les autres usagers (y compris usagers vulnérables), usages et modes de déplacement, et ce d'autant plus que pendant une période de transition longue il pourra y avoir cohabitation des différents types de véhicules.
 - les restrictions de circulation en lien notamment avec la préservation de l'environnement touchent toutefois essentiellement les véhicules les plus anciens, qui sont le plus souvent la propriété des foyers les moins aisés et ceux qui habitent le plus loin des zones à forte accessibilité et des zones d'emploi (voir e.g. Orfeuil, 2013) ;
 - de nouveaux usages, voire des détournements sont à envisager : par exemple, renvoi du véhicule à son domicile pour la journée et retour le soir pour éviter d'avoir un coût de parking ; usage du véhicule comme moyen de transport, comme lieu intermédiaire (e.g. travail, sommeil) voire lieu de vie rendant acceptable une extension des distances entre lieux de vie et destinations des parcours pendulaires ; dans ce cadre, on pourrait observer un report de l'utilisation du véhicule thermique individuel vers le véhicule électrique autonome, au moins pour les populations ayant la capacité économique ;
 - des utilisations malveillantes du VA sont aussi à envisager.

Références bibliographiques

- Bainbridge, L. (1983). Ironies of automation. *Automatica*, 19(6), 775–779. [https://doi.org/10.1016/0005-1098\(83\)90046-8](https://doi.org/10.1016/0005-1098(83)90046-8)
- Banks, V. A., & Stanton, N. A. (2017). The Unknown Paradox of “Stop the Crash” Systems: Are We Really Improving Driver Safety? In N. A. Stanton, S. Landry, G. Di Bucchianico, & A. Vallicelli (Eds.), *Advances in Human Aspects of Transportation: Proceedings of the AHFE 2016 International Conference on Human Factors in Transportation, July 27-31, 2016, Walt Disney World®, Florida, USA* (pp. 525–533). Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-41682-3_44
- Dogan, E., Rahal, M.-C., Deborne, R., Delhomme, P., Kemeny, A., & Perrin, J. (2017). Transition of control in a partially automated vehicle: Effects of anticipation and non-driving-related task involvement. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 46, 205–215. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2017.01.012>
- Eriksson, A., & Stanton, N. A. (2017). Takeover Time in Highly Automated Vehicles. *Human Factors*, 1872081668583. <https://doi.org/10.1177/0018720816685832>

- Faber, F., Jonkers, E., van Noort, M., Benmimoun, M., Pütz, A., Metz, B., ... Malta, L. (2012). Final results: impacts on traffic efficiency and environment. Retrieved from http://www.eurofot-ip.eu/download/library/deliverables/eurofotsp620121121v11dld65d66_final_results_impacts_on_traffic_efficiency_and_environment.pdf
- Gold, C., Damböck, D., Bengler, K., & Lorenz, L. (2013). Partially Automated Driving as a Fallback Level of High Automation. In 6. *Tagung Fahrerassistenzsysteme. Der Weg zum automatischen Fahren*.
- Gold, C., Damböck, D., Lorenz, L., & Bengler, K. (2013). "Take over!" How long does it take to get the driver back into the loop? *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 57(1), 1938–1942. <https://doi.org/10.1177/1541931213571433>
- Hancock, P. A. (2014). Automation: how much is too much? *Ergonomics*, 57(3), 449–454. <https://doi.org/10.1080/00140139.2013.816375>
- Hancock, P. A. (2015). Automobility: the coming use of fully-automated on-road vehicles. In 2015 *IEEE International Multi-Disciplinary Conference on Cognitive Methods in Situation Awareness and Decision* (pp. 137–139). IEEE. <https://doi.org/10.1109/COGSIMA.2015.7108188>
- Havârneanu, G. M., Burkhardt, J.-M., & Paran, F. (2015). A systematic review of the literature on safety measures to prevent railway suicides and trespassing accidents. *Accident Analysis and Prevention*, 81. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2015.04.012>
- IIHS (2016). Insurance Institute for Highway Safety – Status report/ 51, november 2016.
- Kidd, D. G., & Buonarosa, M. L. (2017). Distracting behaviors among teenagers and young, middle-aged, and older adult drivers when driving without and with warnings from an integrated vehicle safety system. *Journal of Safety Research*, 61, 177–185. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2017.02.017>
- Louw, T., Madigan, R., Carsten, O., & Merat, N. (2016). Were they in the loop during automated driving? Links between visual attention and crash potential. *Injury Prevention*. <https://doi.org/10.1136/injuryprev-2016-042155>
- Merat, N., Jamson, A. H., Lai, F. C. H., Daly, M., & Carsten, O. M. J. (2014). Transition to manual: Driver behaviour when resuming control from a highly automated vehicle. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 27, 274–282. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2014.09.005>
- Monéger, F. (2016). Ergonomie et conception de navettes de transport autonomes. Séminaire invité du LPC, IFSTTAR, Satory, 01/04/2016.
- Monéger, F., Coutarel, F., Chambres, P., Motak, L., & Izaute, M. (2017, January). De la conception du produit au service: vers une "sécurité acceptable". In 4^{ème} *Journée Mobilité Innovante: la sécurité par et pour les véhicules autonomes*.
- Monéger, F., Coutarel, F., Motak, L., Chambres, P., Izaute, M., & Dhome, M. (2015, September). Quelle pertinence des modèles de l'expérience utilisateur pour la conception d'une navette autonome ?. In *Articulation performance et santé dans l'évolution des systèmes de production* (pp. 125-133).
- Muhrer, E., & Vollrath, M. (2011). The effect of visual and cognitive distraction on driver's anticipation in a simulated car following scenario. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 14(6), 555–566. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2011.06.003>

- National Highway Traffic Safety Administration. (2013). *NHTSA Preliminary statement of policy concerning automated vehicles*. Washington, DC. Retrieved from http://www.nhtsa.gov/staticfiles/rulemaking/pdf/Automated_Vehicles_Policy.pdf
- Orfeu, J.-P. (2013). Quand la voiture devient contrainte. *Projet*, 334(3), 50-58. <https://doi.org/10.3917/pro.334.0050>
- Payre, W., Cestac, J., & Delhomme, P. (2016). Fully Automated Driving. *Human Factors*, 58(2), 229–241. <https://doi.org/10.1177/0018720815612319>
- Payre, W., Cestac, J., & Delhomme, P. (2014). Intention to use a fully automated car: Attitudes and a priori acceptability. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 27, 252–263. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2014.04.009>
- Payre, W., Cestac, J., Dang, N.-T., Vienne, F., & Delhomme, P. (2017). Impact of training and in-vehicle task performance on manual control recovery in an automated car. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 46, 216–227. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2017.02.001>
- Retting, R. A., Ferguson, S. A., & McCartt, A. T. (2003). A Review of Evidence-Based Traffic Engineering Measures Designed to Reduce Pedestrian–Motor Vehicle Crashes. *American Journal of Public Health*, 93(9), 1456–1463. <https://doi.org/10.2105/AJPH.93.9.1456>
- Richard, P. (2016). La participation des usagers au processus de conception créative de solutions de mobilité. Pratiques, impact et préconisations. Thèse de doctorat en Psychologie de l'Université Paris 8. St Denis, 07-07-2016.
- Richard, P., Burkhardt, J.-M., & Lubart, T. (2014). Users' participation to creative design of new solutions for mobility. In *Proceedings of the 2014 European Conference on Cognitive Ergonomics - ECCE '14* (pp. 1–7). New York, New York, USA: ACM Press. <https://doi.org/10.1145/2637248.2637258>
- Rudin-Brown, C. M., & Parker, H. A. (2004). Behavioural adaptation to adaptive cruise control (ACC): implications for preventive strategies. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 7(2), 59–76. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2004.02.001>
- SAE International. (2014). *Taxonomy and Definitions for Terms Related to On-Road Motor Vehicle Automated Driving Systems*. SAE International (Vol. J3016).
- Silberg, G., Wallace, R., Matuszak, G., Plessers, J., Brower, C., & Subramanian, D. (2012). Self-driving cars: The next revolution. *White paper*, KPMG LLP & Center of Automotive Research.
- Sivak, M., & Schoettle, B. (2015). *Motion Sickness in Self-Driving Vehicles*. Retrieved from <https://trid.trb.org/view.aspx?id=1357705>
- Shladover, S. (2015). Road vehicle automation history, opportunities and challenges. *Mini-Seminar « Developments Selfdriving Vehicles in USA »*. Retrieved from <http://www.trm.dk/~media/files/publication/2015/fremtidens-mobilitet-oplaeg/steven-shladover.pdf>
- Talebpour, A., & Mahmassani, H. S. (2016). Influence of connected and autonomous vehicles on traffic flow stability and throughput. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 71, 143-163.
- Vagia, M., Transeth, A. A., & Fjerdingen, S. A. (2016). A literature review on the levels of automation during the years. What are the different taxonomies that have been proposed? *Applied Ergonomics*. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2015.09.013>

- Vogelpohl, T., Vollrath, M., Kühn, M., Hummel, T., & Gehlert, T. (2016). *Übergabe von hochautomatisiertem Fahren zu manueller Steuerung*. Berlin. Retrieved from https://udv.de/sites/default/files/tx_udvpublications/fobe_39_hochautomfahren.pdf
- Vollrath, M. (2017). Automatic Driving – Good for the Driver? Invited talk, séminaire AME/LPC, Satory, 20/03/2017.
- Watzenig, D., & Horn, M. (2017). Introduction to Automated Driving. In D. Watzenig & M. Horn (Eds.), *Automated Driving: Safer and More Efficient Future Driving* (pp. 3–16). Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-31895-0_1
- Zeeb, K., Buchner, A., & Schrauf, M. (2015). What determines the take-over time? An integrated model approach of driver take-over after automated driving. *Accident Analysis & Prevention*, 78, 212–221. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2015.02.023>
- Zeeb, K., Buchner, A., & Schrauf, M. (2016). Is take-over time all that matters? The impact of visual-cognitive load on driver take-over quality after conditionally automated driving. *Accident Analysis & Prevention*, 92, 230–239. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2016.04.002>

VEHICULES AUTONOMES, DELEGATION DE CONDUITE : ASPECTS JURIDIQUES

Note d'analyse de Michèle Guilbot

Directrice de recherche

IFSTTAR – Laboratoire Mécanismes d'Accidents – Département Transport Santé Sécurité

De nombreuses fonctions peuvent être confiées au véhicule connecté et/ou *autonome* : informations au conducteur, délégation partielle ou totale d'une tâche de conduite, voire de l'intégralité de l'activité de conduite dans certaines circonstances et/ou sur certains réseaux. En outre, pour fonctionner convenablement, le véhicule *autonome* a besoin d'être connecté avec son environnement, proche ou lointain. En 2016, la commission d'enrichissement de la langue française définissait le véhicule *autonome* comme un « *véhicule connecté qui, une fois programmé, se déplace sur la voie publique de façon automatique sans intervention de ses utilisateurs* »⁴.

Si, à terme, son déploiement pourrait améliorer la sécurité sur la route, il peut aussi générer de nouveaux risques : atteintes à la sécurité et à la confidentialité des données à caractère personnel des usagers (DCP) et à leur vie privée ; intrusions illégitimes, éventuellement malveillantes, qui pourraient mettre en danger les usagers de la route. Des mesures juridiques et techniques doivent prévenir ces risques (Belin, 2016). Le véhicule *autonome* invite aussi les juristes à s'interroger sur l'analyse des causalités et sur l'imputation des responsabilités en cas d'accident.

Considérant l'état du droit applicable à ces véhicules dotés de nouvelles technologies⁵, nous abordons dans ce dossier cinq points qui nous semblent essentiels.

- Les notions d'autonomie et d'automatisation.
- Les conditions juridiques actuelles des expérimentations des *véhicules à délégation de conduite* sur les voies publiques en France et la réglementation en cours d'élaboration.
- L'état des conventions internationales sur la circulation routière, ce qui pose la question de la notion de conducteur, et des débats en cours pour modifier ces conventions afin de permettre la circulation des véhicules à délégation de conduite, totale ou partielle, sur les voies ouvertes à la circulation publique.
- La protection des données à caractère personnel des conducteurs et des usagers du véhicule connecté, qu'il soit *autonome* ou pas.
- L'impact du véhicule *autonome* sur les responsabilités juridiques des parties prenantes.

1. Véhicule « autonome » ou véhicule « à délégation de conduite » ?

Les véhicules dotés de nouvelles technologies permettant à un système technique de réaliser des tâches de conduite sont présentés sous diverses qualifications : *autonomes*, *automatisés*, *auto-conduite*⁶. Cette diversité brouille la lecture ; le concept d'autonomie est source d'ambiguïté et de confusion. C'est pourquoi nous favorisons la définition portée en France par la réglementation relative aux expérimentations du véhicule à délégation de conduite.

1.1. L'autonomie et l'automatisation

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

⁴ Commission d'enrichissement de la langue française. Vocabulaire de l'automobile, JORF du 11 juin 2016, texte n°111.

⁵ Etat du droit au 30 avril 2017.

⁶ Les équivalents étrangers cités au Journal Officiel précité sont *autonomous vehicle*, *self-driving vehicle*.

avec l'environnement, c'est-à-dire sans répondre de manière automatique à une situation préprogrammée. Dans ses recommandations relatives aux Règles de la robotique civile, le Parlement européen considère « *que l'autonomie d'un robot peut être définie comme la capacité à prendre des décisions et à les mettre en pratique dans le monde extérieur, indépendamment de tout contrôle ou influence extérieurs ; que cette autonomie est de nature purement technique et que le degré d'autonomie dépend du degré de complexité des interactions avec l'environnement prévu par le programme du robot* » et « *que, plus un robot est autonome, moins il peut être considéré comme un simple outil contrôlé par d'autres acteurs (tels que le fabricant, l'opérateur, le propriétaire, l'utilisateur, etc.)*⁷ ».

L'automatisation reste associée aux processus initiaux, sans bénéficier d'autoapprentissage par le système. En outre, dans le contexte actuel, l'automatisation du véhicule concerne des fonctionnalités activables pour réaliser certaines tâches de conduite, voire toutes mais seulement dans certaines circonstances (ex. embouteillages et circulation à basse vitesse) et/ou sur des réseaux identifiés (ex. secteurs d'autoroutes prédéfinis).

Une norme de la SAE⁸ propose des niveaux d'automatisation qui semblent recueillir un certain consensus des acteurs publics et privés impliqués.

- Niveau 0 : aucune automatisation.
- Niveau 1 : un système d'assistance peut aider le conducteur pour les fonctions d'accélération/décélération (ex. régulateur de vitesse adaptatif ou *Adaptive Cruise Control / ACC*) mais le conducteur effectue les tâches dynamiques de conduite⁹.
- Niveau 2 (automatisation partielle) : un ou plusieurs systèmes peuvent exécuter les fonctions de direction, d'accélération/décélération (ex. combinaison d'un ACC et d'un dispositif de stationnement à distance) mais le conducteur effectue les tâches dynamiques de conduite.
- Niveau 3 (automatisation sous conditions) : le système peut exécuter les tâches dynamiques de conduite, dans un mode spécifique et/ou sur certaines voies (ex. système capable de tenir la fonction de direction, d'accélération et de décélération et de changer de voie sans commande de la part du conducteur humain) mais le conducteur doit pouvoir agir de manière appropriée à toute demande d'intervention.
- Niveau 4 (automatisation élevée) : le système peut exécuter les tâches dynamiques de conduite, dans un mode spécifique et/ou sur certaines voies même si le conducteur n'est pas en mesure de répondre de manière appropriée à une demande d'intervention. La différence avec la situation précédente tient essentiellement au fait que la reprise en main par le conducteur humain n'est pas requise de manière impérative.
- Niveau 5 (automatisation totale) : le système est capable de réaliser la performance de conduite pour toutes les tâches dynamiques, dans un mode spécifique, sur toutes les voies et dans toutes les conditions environnementales qui peuvent être gérées par un conducteur humain. Ceci ne signifie pas nécessairement que ces véhicules puissent, dans le contexte actuel, être autorisés en toutes circonstances et en tous lieux. Des limites géographiques peuvent par exemple être imposées : ce sera le cas pour un service de navette autonome qui circulera sur le trajet qui lui est spécialement affecté.

Les systèmes avancés d'assistance au conducteur (ADAS) sont considérés de niveau 0 : par exemple le régulateur de vitesse simple, le limiteur de vitesse, l'ESP, l'ABS. Le niveau 4 introduit un véritable changement de concept puisque c'est à ce niveau qu'intervient le passage de la supervision par l'humain à la supervision par le système sans obligation de reprise par l'humain.

⁷ Résolution du 16 février 2017 contenant des recommandations à la Commission concernant des règles de droit civil sur la robotique (2015/2103(INL)). Sur ces questions, v. aussi Belin, 2016 préc.

⁸ Society of Automotive Engineers. http://standards.sae.org/j3016_201609/ (norme révisée, 2016).

⁹ Selon le groupe de travail informel de l'ECE-ONU évoqué plus loin, le groupe IWG-AD, la tâche dynamique de conduite comprend la surveillance de l'environnement de conduite, la réponse aux situations, la commande et la supervision des manœuvres, le maintien constant de toutes les tâches de conduite. Les exemples cités sont tirés d'un document informel publié par le WP1 sur le site de l'ECE-ONU dans le cadre de la préparation d'une réunion du 21 mars 2017 : document informel n°2, 14 mars 2017. Ils n'ont qu'une valeur illustrative.

1.2. Le véhicule à délégation de conduite

La loi 2015-992 du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte (v. plus loin) introduit la notion de délégation partielle ou totale de conduite (DPTC), plus précise et plus opérationnelle pour un juriste que la notion d'autonomie. Cette proposition correspond mieux à la situation actuelle et se prête plus facilement à l'analyse juridique pour cerner ce qui est délégué, à qui (ou à quoi), à quel moment et/ou en quelles circonstances. En cas d'accident, combiné avec les niveaux précités, le concept offre une grille de lecture pour l'analyse des responsabilités. Un rapport au Président de la République en 2016 indique que cette terminologie permet de « *faire référence à ces technologies d'automatisation avancées du véhicule* », ce qui favorise le raisonnement au regard des différentes fonctionnalités attribuables aux systèmes et des niveaux de délégation, tels que décrits par la SAE. Elle permet aussi, toujours du point de vue des auteurs du rapport, de « *mettre en avant le changement fondamental de nature de l'acte de conduire* ». Appréhender la conduite sous l'angle de la délégation permet d'intégrer la répartition des pouvoirs de direction et de contrôle sur les tâches et l'activité de conduite entre l'humain et la machine. Elle permet aussi de raisonner en appréhendant les phases de transition entre le système et l'humain (reprise en main par la personne) ou l'inverse (activation du dispositif par la personne).

2. Les expérimentations : état du droit

Deux situations sont à considérer : la situation actuelle, en l'absence de base juridique dédiée à ces expérimentations ; la situation à venir, dont la construction juridique n'est pas achevée.

2.1. La base juridique adoptée depuis 2015

Des autorisations sont actuellement délivrées à l'issue de l'instruction des demandes par un « Groupe inter-service sur le véhicule autonome » (GISVA) créé dans le cadre de la Nouvelle France Industrielle. Ce groupe est constitué de membres de diverses administrations.

Les autorisations sont accordées sur la base d'une disposition réglementaire qui permet au ministre chargé des transports de délivrer des autorisations exceptionnelles d'immatriculation provisoire de véhicules (WW) après avis du ministre de l'Intérieur¹⁰. Ce cadre réglementaire n'apporte aucune précision concernant les motivations de l'autorisation et ne propose pas de critère de la notion de caractère exceptionnel. Mais il rend possible la mobilisation de la procédure pour les autorisations d'expérimentations, néanmoins utilisée de manière très rigoureuse par le GISVA (v. Boursier et al. 2017).

Il est probable que cette procédure a en même temps permis aux membres du groupe de faire des propositions fines et appropriées pour la définition du cadre réglementaire à venir.

2.2. La base juridique en construction

En 2015, la loi 2015-992 du 17 août relative à la transition énergétique pour la croissance verte, dans son article 37-IX, a autorisé le Gouvernement à prendre par ordonnance, sur le fondement de l'article 38 de la Constitution¹¹, « *toute mesure relevant du domaine de la loi afin de permettre la circulation sur la voie publique de véhicules à délégation partielle ou totale de conduite, qu'il s'agisse de voitures particulières, de véhicules de transport de marchandises ou de véhicules de transport de personnes, à des fins expérimentales, dans des conditions assurant la sécurité de tous les usagers [...]* ». Le texte précise que « *la circulation des véhicules à délégation partielle ou totale de conduite ne peut être autorisée sur les voies réservées aux transports collectifs, sauf s'il s'agit de véhicules affectés à un transport public de personnes.* ».

La procédure de l'article 38 de la Constitution est complexe et prévoit deux délais qui doivent impérativement être respectés.

¹⁰ Arrêté du 9 février 2009 relatif aux modalités d'immatriculation des véhicules, art. 8 IV.

¹¹ Constitution, art. 38 al. 1 : « *Le Gouvernement peut, pour l'exécution de son programme, demander au Parlement l'autorisation de prendre par ordonnances, pendant un délai limité, des mesures qui sont normalement du domaine de la loi.* ».

- Un premier délai entre la promulgation de la loi d'habilitation et l'ordonnance. Ce délai avait été fixé à un an par la loi du 17 août 2015 (art. 37 IX). Il a été respecté puisque l'ordonnance est datée du 3 août 2016¹². Ce qui fournit une existence juridique aux dispositions énoncées par l'ordonnance, sans pour autant leur conférer une valeur législative à ce stade.
- Un second délai permet de valider l'ordonnance, d'éviter sa caducité, par le dépôt devant le Parlement d'un projet de loi de ratification¹³. La loi d'habilitation avait fixé ce délai à six mois à compter de la publication de l'ordonnance. Ce délai a lui aussi été respecté, un projet de loi ayant été déposé devant le Sénat le 1^{er} février 2017¹⁴.

L'importance de cette procédure n'est pas à négliger. Trois situations peuvent se présenter.

- La loi de ratification est adoptée, ou bien un amendement entérinant l'ordonnance dans un autre projet de loi est adopté. L'ordonnance acquiert alors une valeur législative, rétroactivement à la date de sa signature.
- La loi de ratification est présentée au vote des deux Assemblées mais elle est rejetée. L'ordonnance devient alors caduque.
- La loi de ratification n'est jamais présentée au vote, et l'ordonnance n'est donc pas ratifiée¹⁵. Dans ce cas, elle a valeur réglementaire et reste un acte administratif dont la légalité peut être contestée devant une juridiction administrative.

Enfin, l'ordonnance prévoit deux textes réglementaires pour encadrer les expérimentations :

- Un décret en Conseil d'Etat pour préciser les conditions de délivrance de l'autorisation et les modalités de sa mise en œuvre ;
- Un arrêté pour fixer la composition du dossier de la demande d'autorisation et le contenu du registre qui doit être créé pour répertorier les autorisations accordées¹⁶.

A ce jour, ces textes n'ont pas été publiés.

3. L'état du droit dans la perspective d'un déploiement

La contrainte essentielle à lever pour permettre le déploiement des VDPTC tient à leur incompatibilité avec deux conventions internationales sur la circulation routière : la convention de Vienne du 8 novembre 1968 et la convention de Genève du 19 septembre 1949. La première engage entre autres la France et les pays européens, la seconde est applicable aux Etats-Unis. Ces conventions exigent notamment qu'une personne physique (expressément dénommée conducteur) soit en capacité de réaliser les tâches de conduite¹⁷.

Deux points semblent essentiels :

- La mise en cohérence des conventions avec les Règlements techniques sur les véhicules et leurs équipements, en particulier les dispositions sur les équipements de direction ;
- Les dispositions concernant la notion de conducteur et l'exigence, ou pas, de la présence d'un « opérateur humain » à bord du véhicule. A terme, l'objectif serait d'autoriser la circulation d'un véhicule *autonome* sur la voie publique sans reprise en main par un humain.

¹² Ordonnance 2016-1057 du 3 août 2016 relative à l'expérimentation de véhicules à délégation de conduite sur les voies publiques. JORF du 5 août 2016, texte n°8.

¹³ Constitution, art. 38 al. 2 « Les ordonnances sont prises en conseil des ministres après avis du Conseil d'État. Elles entrent en vigueur dès leur publication mais deviennent caduques si le projet de loi de ratification n'est pas déposé devant le Parlement avant la date fixée par la loi d'habilitation. Elles ne peuvent être ratifiées que de manière expresse ».

¹⁴ Projet de loi n°355, Sénat, Session ordinaire 2016-2017.

¹⁵ Le dépôt du projet de loi de ratification ayant eu alors pour effet d'éviter la caducité de l'ordonnance.

¹⁶ Arrêté conjoint des ministres chargés de la sécurité routière et des transports.

¹⁷ La question de savoir si cette personne physique doit être à bord du véhicule, à proximité du véhicule ou éloignée est en cours d'étude dans nos travaux (analyse des textes sur la circulation routière et de la jurisprudence en matière de responsabilité civile et de responsabilité pénale).

3.1. La cohérence entre les systèmes embarqués et la Réglementation technique automobile

La réglementation technique automobile est essentiellement fondée sur deux accords internationaux pris dans le cadre de l'ONU :

- Un accord de 1958, auquel la France est partie prenante depuis 1959 ;
- Un accord dit « parallèle » de 1998. Les Etats-Unis sont partie prenante à cet accord.

A ces accords sont annexés de nombreux Règlements techniques, modifiés et complétés au fil des évolutions techniques et technologiques. Le droit communautaire, qui édicte lui aussi certaines règles¹⁸, reconnaît une partie des Règlements annexés à l'accord de 1958 qui font ainsi partie intégrante de la Réglementation technique applicable dans l'Union Européenne¹⁹. C'est le cas du Règlement n°79 concernant les équipements de direction du véhicule dont certains points sont en cours de modification pour adapter ses dispositions aux technologies d'automatisation.

Parallèlement, des travaux sont menés au sein du WP1 de l'ECE-ONU chargé de la sécurité routière, en collaboration avec le WP29 chargé de la réglementation technique automobile, pour modifier les conventions de Vienne et de Genève²⁰. En effet, mettre sur le marché un système automatisé, validé par le WP29 et homologué, ne signifie pas qu'il puisse être utilisé en conformité avec les conventions internationales citées dans les conditions actuelles de la réglementation sur la circulation routière. Des modifications des conventions sont donc nécessaires pour permettre la compatibilité avec les règles techniques.

Les premières modifications actées de la convention de Vienne, entrées en vigueur le 23 mars 2016, visent « *les systèmes embarqués ayant une incidence sur la conduite du véhicule* ». Ces systèmes sont désormais réputés conformes aux exigences de contrôle et de maîtrise du véhicule par le conducteur imposées par cette même convention, soit s'ils répondent aux prescriptions techniques automobiles des textes internationaux, soit s'ils sont « neutralisables » ou « désactivables » par le conducteur. En conséquence, lorsque les systèmes ne sont pas encadrés par la réglementation technique automobile (visée plus haut), le conducteur doit pouvoir surmonter l'action du système en situation de conduite ou pouvoir le désactiver s'il ne souhaite pas l'utiliser (convention de Vienne, art. 8§5 bis nouveau)²¹.

Pour autant, le chantier dans lequel se sont engagés les experts de l'ECE-ONU est loin d'être achevé. Parmi les notions à éclaircir figurent :

- L'interprétation de la notion « *d'incidence sur la conduite* » en considérant les niveaux de la SAE²² ;
- La notion de conducteur, son statut et son rôle.

3.2. Quel pilote pour le véhicule DPTC : un conducteur ? un opérateur ?

Un principe est énoncé par les deux conventions « *tout véhicule en mouvement ou tout ensemble de véhicules en mouvement doit avoir un conducteur* » (art. 8), le conducteur étant « *toute personne qui assume la direction d'un véhicule automobile ou autre* » (cycle compris) (art. 1) « *ou qui en a la maîtrise effective* » (Genève, art. 1). Les notions de maîtrise du véhicule et de maîtrise de la vitesse par le conducteur sont visées par les deux conventions.

En revanche, deux différences importantes sont à noter entre les conventions, à propos du conducteur. La convention de Vienne exige en effet du conducteur :

¹⁸ V. Directive 2007/46/CE modifiée et complétée du 5 septembre 2007 établissant un cadre pour la réception des véhicules à moteur, de leurs remorques et des systèmes, des composants et des entités techniques destinés à ces véhicules.

¹⁹ Sur la reconnaissance des Règlements techniques internationaux, v. art. 34 de la directive 2007/46 et l'annexe IV.

²⁰ Un groupe de travail informel sur l'automatisation de la conduite a été constitué entre représentants des WP1 et WP29. Les informations concernant leurs activités sont disponibles sur le site de l'ECE-ONU. Ce sont ces sources qui sont utilisées dans le présent document. V. <https://www.unecce.org/trans/welcome.html>

²¹ Cet amendement n'a pas été intégré dans la convention de Genève. Il semblerait que la procédure de modification soit complexe.

²² Les experts ayant fait le choix de prendre en compte ces niveaux, proposés par l'industrie automobile. La NHTSA a fait des propositions légèrement différentes, qui ont néanmoins été présentées au groupe d'experts.

- qu'il possède les qualités physiques et psychiques nécessaires pour être en état physique et mental de conduire (art. 8 §3) ;
- qu'il évite toute activité autre que la conduite (art. 8 §6).

Ces précisions ne figurent pas dans la convention de Genève. La convention de Vienne étant applicable en France, considérant qu'un système ne peut pas avoir de qualités psychiques pour être en état mental de conduire, il apparaît nécessaire de modifier les dispositions en question pour permettre un déploiement d'un véhicule qui pourrait exécuter toutes les tâches dynamiques de conduite sans supervision par un opérateur humain.

Des discussions pourraient être engagées sur la compatibilité des systèmes de niveaux SAE 3 et 4 avec la convention de Vienne. Le groupe informel de l'ECE-ONU semble considérer les deux niveaux comme compatibles (document informel n°2, 14 mars 2017)²³. Pourtant, le fait que dans les deux cas un conducteur soit présent ne peut pas être analysé de la même manière puisque, au niveau 4, il n'est pas obligé d'intervenir alors que jusqu'au niveau 3 le conducteur doit reprendre la main sur une alerte envoyée par le système. L'exercice d'une autre activité, tout en étant compatible avec le §6 de l'article 8 de la convention de Vienne (« éviter toute autre activité »), pourrait lui être reproché en cas d'accident et avoir des conséquences sur ses responsabilités, civiles et pénales. D'autre part, il est probable que du point de vue ergonomique une activité secondaire pourrait être incompatible avec ses capacités cognitives²⁴. Dans ce cas, laisser au conducteur la possibilité d'exercer d'autres activités tout en lui demandant de rester attentif pourrait, en cas d'accident, engager les responsabilités de parties prenantes (constructeurs automobiles, experts ayant produit des recommandations, par exemple). De notre point de vue, cela signifie que l'exercice d'autres activités ne devrait être autorisé que lorsque toutes les fonctionnalités automatisées ont au moins atteint le niveau 4.

Nos points de vue et les propositions du groupe informel devront être analysés de manière plus approfondie lorsque l'intégralité des documents de la 74^{ème} session (21-24 mars 2017) sera disponible. En toutes hypothèses, les interprétations du groupe n'ont pas de valeur légale mais, dans le contexte d'un contentieux, pourront être prises en compte pour analyser les situations accidentelles et fournir des pistes pour imputer les responsabilités. Les documents préparatoires de la 74^{ème} session proposent également des orientations pour les travaux futurs du groupe :

- une interprétation commune de ce que l'article 8 de la Convention de Vienne autorise ou pas,
- la légalité du contrôle du véhicule exercé de l'extérieur, sur la fonction de stationnement à distance,
- la possibilité pour le conducteur de se livrer à d'autres activités lorsque la conduite du véhicule est assurée par un système automatisé,
- la manière dont devrait être traitée la réglementation des véhicules sans conducteur ou entièrement autonomes.

Cette « feuille de route » avait été fixée lors de la 73^{ème} session du WP1 (19-22 sept. 2016) pour être examinée lors de la 74^{ème} session (21 mars 2017).

En ce qui concerne les « navettes autonomes », ou plus précisément les navettes DPTC, « *l'exécution par ces véhicules de services de transports publics de voyageurs au titre des missions confiées par la loi aux autorités organisatrices laisse en suspens la nécessité de modifier les dispositions afférentes du code des transports, selon les conditions retenues pour l'exploitation du service.* » (Rapport au Président de la République précité). Le cas échéant, une liste de textes spécifiques à prendre en compte, à modifier ou compléter, pour les « navettes autonomes » destinées au transport de personnes pourra être dressée.

²³ Les analyses développées ici n'engagent que l'auteur du présent document et ne reflètent pas les positions prises par les membres du Groupe lors de la session de mars 2017. Ces points devront être repris lorsque seront publiés les comptes rendus. Seuls les documents préparatoires sont actuellement disponibles (état au 30 avril 2017).

²⁴ A cet égard, des études sont en cours dans différents organismes de recherche, publics et privés, notamment à l'IFSTTAR et à Vedecom (v. Hautière, Tattegrain et Guilbot, 2017).

4. La protection des données à caractère personnel et de la vie privée des usagers

Afin de réaliser certaines tâches, le VDPTC devra être connecté pour échanger des informations avec son environnement. La collecte de nombreuses données, ainsi que des échanges éventuels avec des tiers, sont nécessaires pour accomplir les diverses tâches assignées au véhicule, coopératif et/ou à délégation de conduite : connaissance de son environnement par le système ; délivrance d'informations pour les systèmes coopératifs ; maintenance et réparation, le cas échéant à distance et en temps réel ; optimisation de la gestion du trafic ; appel d'urgence, etc. Dans cette perspective, les constructeurs automobiles s'associent avec de nouveaux partenaires, du monde du numérique et de la téléphonie mobile pour développer des réseaux et construire des plateformes numériques. Mais la collecte, l'hébergement et le traitement de ces données soulèvent un problème car ces dernières 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 professionnelle²⁵. Le Règlement Général pour la protection des DCP qui entrera en application en mai 2018 dans l'Union européenne (RGPD) impose notamment la prise en compte de cette protection dès la conception des systèmes et par défaut (*privacy by design ; privacy by default*). En cas de risque important d'atteintes aux droits des personnes concernées, des études d'impact sur les risques d'atteintes aux DCP devront être réalisées par les responsables de traitement et des mesures de remédiation mises en place. Cette protection doit être maintenue tout au long de la vie d'un système connecté. C'est pourquoi la CNIL mène des travaux avec le monde de l'industrie automobile et ses partenaires pour proposer des lignes directrices permettant la collecte et le traitement des données, produites lors de l'utilisation d'un véhicule connecté, dans des conditions respectueuses des droits des usagers²⁶.

Au-delà des risques d'atteintes aux DCP et à la vie privée des usagers, ces systèmes doivent aussi prévenir les risques d'intrusion illégitime, qui peuvent présenter un grave danger pour la sécurité des usagers. Dans tous les cas, la cybersécurité est au cœur de la prévention des risques.

Ainsi, les mesures techniques qui doivent être prises dans le contexte de protection des DCP participent également à la sécurité des systèmes et sont en harmonie avec la réglementation en cours de construction en droit communautaire sur la cybersécurité ou recommandées par des processus de normalisation dédiés au véhicule (ex. modification ou complément en discussion concernant la norme 26262, par l'industrie automobile pour mieux prendre en compte la sécurité des systèmes embarqués) ou relatifs à la sécurité des systèmes d'information (ex. famille de la norme ISO 27000).

La NHTSA ne néglige pas ces aspects (NHTSA, septembre 2016) qui sont également traités par le WP29 de l'ECE-ONU (proposition de projet de directive qui devait être examinée lors d'une session de mars 2017)²⁷. L'ENISA²⁸ a également produit un rapport pour proposer des bonnes pratiques et des recommandations pour la cybersécurité des véhicules connectés (décembre 2016). En ce domaine, la prévention des risques est majeure²⁹. Toute négligence de la part des parties prenantes dans la conception et le développement des véhicules connectés et à délégation de conduite pourra avoir un impact sur leurs responsabilités, y compris pénales.

²⁵ Sur ces aspects, le droit en vigueur et à venir, et plus largement les principales règles de protection à respecter, v. Guilbot, Serre, Naude et Ledoux, 2016 ; Guilbot, Serre et Ledoux, 2016 ; Kermorgant, 2017.

²⁶ V. <https://www.cnil.fr/fr/vehicules-connectes-pour-une-utilisation-responsable-des-donnees>. A ce jour, le pack de conformité porteur de ces lignes directrices n'est pas encore achevé.

²⁷ Documents de la session concernée non publiés au 30 avril 2017.

²⁸ European Union Agency For Network And Information Security. www.enisa.europa.eu

²⁹ Les systèmes coopératifs conçus pour les STI (Systèmes de Transport Intelligents) développés dans le cadre d'une directive de 2010 font aussi l'objet de travaux de normalisation en associant différents acteurs à l'échelle communautaire : des représentants des administrations impliquées dans ce développement, de l'industrie automobile, d'organismes de recherche etc. En France, ces processus sont suivis par des représentants du projet SCOOP coordonné par le Ministère de l'Environnement, de l'Energie et de la Mer.

5. Les responsabilités juridiques

Ces responsabilités peuvent donc être liées à des failles de sécurité dont les conséquences sont diverses : atteinte aux droits des personnes par captation et usage illégitime des données les concernant (point 4) ; modification illégitime, voire malveillante des données et des algorithmes permettant le fonctionnement du dispositif. Même en l'absence d'accident, des sanctions pénales sont encourues par les responsables de traitement en cas d'atteintes aux DCP des usagers, de défaut de mesures nécessaires pour garantir la sécurité ou la confidentialité des données, ou encore de non-respect des mesures déclarées à la CNIL.

Par ailleurs, la délégation des tâches de conduite au système pose elle aussi des questions de responsabilités en cas d'accident. Ces responsabilités doivent être examinées au regard de la répartition des pouvoirs de direction et de contrôle de la conduite entre l'humain et le système, d'où l'importance de l'analyse développée plus haut (1.1. et 3.2.). Qui avait la main sur quelle(s) fonctionnalité(s) ? Des études sont effectuées à l'IFSTTAR pour analyser les responsabilités mobilisables des différentes parties prenantes dans la conception, la fabrication et l'exploitation des systèmes en cas d'accident : responsabilités à fin d'indemnisation des victimes (responsabilité civile, responsabilité administrative) et responsabilités pour sanctionner les fautes, parmi lesquelles l'imprudence et la négligence tiennent une part importante dans les contentieux pour blessures ou homicides involontaires (responsabilité pénale).

La complexité de la matière, notamment dans le domaine de la responsabilité civile, ne permet pas de traiter le sujet ici. Doivent en effet être articulés des dispositions spéciales (indemnisation des victimes d'accidents de la circulation, responsabilité du fait des produits défectueux) et le droit commun de la responsabilité civile³⁰. La responsabilité de l'administration peut aussi être engagée. Des études sont en cours, à l'IFSTTAR (Guilbot, 2014 ; Guilbot, 2016 et 2017 ; Guilbot et Pflimlin, 2017) et à l'Institut Vedecom (v. Vingiano, 2014). Des travaux sur la robotique civile sont également en émergence : quel statut pour les robots ? quelles responsabilités ? (v. notamment Bensoussan, 2015 ; Parlement Européen, 2017 ; Nevejans, 2017).

En matière pénale, si la responsabilité du conducteur peut toujours être engagée, au moins jusqu'au niveau 3 décrit plus haut, celle des constructeurs automobiles n'est pas exclue, quel que soit le niveau. Mais d'autres personnes, morales ou physiques, peuvent aussi être visées dans un procès pénal, selon les faits en cause : fabricant d'un composant, équipementier, concepteur de logiciel, fournisseur de réseau de communication, etc. Les seules réserves concernent l'Etat (en toutes hypothèses) et les collectivités territoriales (lorsque l'activité en cause ne peut pas faire l'objet de délégation de service public). Des agents ou salariés fautifs peuvent aussi être poursuivis pour imprudence ou négligence dans leur activité professionnelle : même rares, les poursuites ne sont pas exclues en cas de faute simple en lien direct avec les dommages ou de faute caractérisée en lien indirect avec ces dommages³¹.

Du côté du conducteur, deux points sont tout particulièrement à analyser :

- En matière civile, les lacunes de la loi concernant l'indemnisation du conducteur seul en cause et propriétaire du véhicule. Le projet de réforme du droit de la responsabilité civile, s'il apporte quelques réponses intéressantes pour améliorer l'indemnisation du conducteur victime, ne nous semble pas régler toutes les situations. En particulier celle du conducteur seul en cause, propriétaire du véhicule. Des propositions ont été faites dans nos travaux (Guilbot et al. 2010 ; Larcher, 2010).
- En matière pénale, les conditions de l'exonération de sa responsabilité, par exemple lorsque les conditions ne lui permettent pas de reprendre un contrôle approprié de l'activité de conduite ou des tâches déléguées, notamment en situation d'urgence. La piste de l'exonération par la contrainte physique externe, déjà explorée par la justice, pourrait répondre à cette difficulté (Guilbot, 2016 ; Guilbot et Pflimlin, 2017).

D'une manière générale, l'imputation des responsabilités et l'analyse des causalités ayant contribué aux dommages posent la question de la preuve. L'enregistreur de données peut constituer une aide pour apprécier certains faits, certaines circonstances, mais pose néanmoins les questions de l'interprétation des données, de leur fiabilité, de leur disponibilité et de leur accès. L'utilisation des données doit préserver les droits des parties, notamment en termes de protection des données à caractère personnel comme cela a déjà été évoqué. D'un autre côté, la protection des

³⁰ En considérant en outre le projet de réforme du droit de la responsabilité civile présenté par le Garde des Sceaux le 13 mars 2017.

³¹ Pour une analyse générale des mécanismes de responsabilités pénale dans le domaine de l'accident de la route, v. Guilbot, 2008.

secrets des affaires est confrontée au droit de la concurrence. Derrière ces problématiques se profilent aussi des enjeux économiques qu'il faudra concilier entre eux et avec les droits des consommateurs.

Références bibliographiques

- Belin E. (2016). *Automatisation de la décision de conduite. Protéger les usagers contre de nouveaux risques*. Mémoire de Master II Droit des techniques de l'information et de la communication. Ss. dir. IFSTTAR/LMA M. Guilbot) & Faculté de droit de l'Université de Poitiers (F. Chérigny), juillet 2016, 231p.
- Bensoussan J. et Bensoussan A. (2015). *Le droit des robots*. Ed. Larcier, juillet 2015
- Boursier M., Philippe H., Tanniou P.-Y. (2017) *Deux années d'expérimentation de véhicules autonomes en France, sur voies ouvertes à la circulation publique*. Groupe inter-service sur le véhicule autonome. Atec, Les Rencontres de la mobilité intelligente, 25 janvier 2017 (communication avec Actes)
- ECE-ONU, Forum mondial de l'harmonisation des Règlements concernant les véhicules. (2017). *Communication du groupe de travail informel des systèmes de transport intelligents et de la conduite automatisée sur une Proposition de projet de directive sur la cybersécurité et la protection des données*, 23 décembre 2016
- ENISA (2016). *Cyber Security and Resilience of smart cars. Good practices and recommendations*. Doi: 10.2824/87614, décembre 2016
- Guilbot M. (à paraître, 2017). *Véhicule connecté, délégation de conduite et responsabilités juridiques*. Routes & rues n°373
- Guilbot M., Pflimlin M. (2017). *Véhicules communicants, délégation de conduite et responsabilités juridiques*. Atec, Les Rencontres de la mobilité intelligente, 24 janvier 2017 (communication avec Actes)
- Guilbot M. (2016). *Véhicules communicants, délégation de conduite et responsabilités juridiques*. Entretien Jacques Cartier, Lyon 22-24 novembre 2016
- Guilbot M., Serre T., Ledoux V. (2016). *Quelle protection pour les données personnelles des conducteurs ?* Revue TEC n°231, novembre 2016, p.44-45
- Guilbot M., Serre T., Naude C., Ledoux V. (2016). *Legal conditions for implementing EDRs in public fleets of vehicles*. 11th ITS European Congress. Glasgow, Scotland, June 6-9, 2016, 10p. (communication avec Actes)
- Guilbot M. (2014). *Droit et innovations dans l'automobile et la mobilité*. Transport Environnement Circulation 2014, n°221 p.14-24
- Guilbot M. (2008). *Accidents de la route, infrastructure et responsabilités*, La Documentation Française, Collection Synthèses du Prédit, mai 2008, 216p.
- Kermorgant G. (2017). *Protection des données à caractère personnel et voiture connectée*. Atec, Les Rencontres de la mobilité intelligente, 24 janvier 2017 (communication avec Actes)

- Larcher F. (2010). *Aides à la conduite et droit français de la responsabilité civile*. Thèse de doctorat en droit privé, faculté de droit du Mans. Soutenue le 29 novembre 2010, (Ss. dir. M. Guilbot, IFSTTAR et P. Callé, professeur à la faculté de droit de Caen), 330p. + annexes
- Nevejans N. (2017). *Traité de droit et d'éthique de la robotique civile*. LEH Ed. Coll. Science, éthique et société, janvier 2017
- NHTSA, US department of transportation (2016). *Accelerating the Next Revolution in Roadway Safety*. Federal Automated Vehicles Policy. Septembre 2016
- Parlement Européen (2016). *Projet de rapport contenant des recommandations à la Commission concernant des règles de droit civil sur la robotique*, COM(2015)2103(INL), 31 mai 2016
- Vingiano I. 2014. *Quel avenir juridique pour le conducteur d'une voiture intelligente ?* Les petites affiches, 1er décembre 2014, n°239, p.6