

Mettons la mobilité autonome sur la voie du développement durable

Mathieu Saujot, Laura Brimont, Oliver Sartor (Iddri)

ÉCLAIRER UN FUTUR INCERTAIN

Le futur de la mobilité autonome est très incertain : plusieurs modèles sont envisageables selon les contraintes technologiques, économiques, sociales et politiques qui vont organiser son développement. C'est sur ce principe qu'est fondé ce travail de prospective, dont nous en tirons trois scénarios de développement, dont le principal objectif est de révéler leurs conséquences et enjeux en termes de durabilité.

LA MOBILITÉ AUTONOME À LA CROISÉE DES CHEMINS

Le véhicule autonome est loin d'être une baguette magique pour la mobilité durable. Il ne résout pas certains problèmes actuels comme le faible taux d'occupation des véhicules ou les émissions carbone du secteur des transports et génère de nouveaux enjeux : la quantité de données produites par l'autonomisation pourrait augmenter la consommation énergétique des véhicules ; l'autonomie pourrait accentuer les inégalités d'accès à la mobilité, tant sur le plan économique que géographique ; elle pourrait également faire baisser le coût d'opportunité du temps de transport, et donc favoriser l'augmentation des déplacements et l'étalement urbain. Néanmoins, la mobilité autonome présente également des opportunités à long terme et à certaines conditions (extension du périmètre de pertinence des transports collectifs, amélioration de l'accès à la mobilité pour les personnes sans permis, mutualisation des véhicules, etc.).

LES AUTORITÉS PUBLIQUES À LA BAGUETTE

Pour aller vers une mobilité durable, les autorités publiques locales et nationales doivent prendre la main pour orienter le développement de la mobilité autonome. Elles disposent pour ce faire de réels leviers d'action : s'appuyer sur le modèle de mobilité collective basée sur les transports en commun pour organiser leurs politiques ; profiter de l'immaturité de la technologie pour imposer leur agenda en utilisant leurs compétences en matière d'aménagement et de régulation de la voirie (voies réservées, priorité, vitesse, licence d'exploitation). Les expérimentations menées à l'heure actuelle sont également de vraies opportunités pour préparer la mobilité autonome de demain.

Copyright © 2018 Iddri

En tant que fondation reconnue d'utilité publique, l'Iddri encourage, sous réserve de citation (référence bibliographique et/ou URL correspondante), la reproduction et la communication de ses contenus, à des fins personnelles, dans le cadre de recherches ou à des fins pédagogiques. Toute utilisation commerciale (en version imprimée ou électronique) est toutefois interdite.

Sauf mention contraire, les opinions, interprétations et conclusions exprimées sont celles de leurs auteurs, et n'engagent pas nécessairement l'Iddri en tant qu'institution ni les individus ou les organisations consultés dans le cadre de cette étude.

Citation : Saujot, M. et al. (2018). Mettons la mobilité autonome sur la voie du développement durable, *Studies* N°02/18, Iddri, Paris, France, 48 p.

☆☆☆

Ce travail a bénéficié de financements de la European Climate Foundation (ECF), Renault, GRDF et Vinci. Il a également bénéficié d'une aide de l'Etat gérée par l'Agence nationale de la recherche au titre du programme « Investissements d'avenir » portant la référence ANR-10-LABX-01.

☆☆☆

En parallèle de ce travail de recherche, nous avons animé une plateforme d'acteurs français de la mobilité. Notre étude a donc été enrichie par les échanges des quatre séances de cette plateforme, qui ont permis de mettre en discussion notre travail. Nous souhaitons vivement remercier pour leur participation J-F Sencerin, D.Darmouni, J.Grébert, D.Levent (Renault), P.Musseau (Mairie de Paris), M. Vergeylen (Forum Métropolitain du Grand Paris), A.Gilbert d'Halluin (ECF), J. Villa-longue (Vinci/Leonard), L.Fernique (DGITM), M.Premillieu (DGEC), C.Long (Stratys), N. Granes (Région Ile de France), E. Courtier Arnoux (GRDF), G. Delabie (Ouishare), V. Berthault (RATP), O. Binet (Karos), F. Vidal (PSA), E. Ollinger (DGITM), Z.Kolli (CGDD) M. Drevelle (Société du Grand Paris). Nous remercions également F. Bordage de greenIT.fr pour ses apports sur l'analyse du cycle de vie du véhicule autonome.

Pour toute question sur cette publication, merci de contacter :

Mathieu Saujot – mathieu.saujot@iddri.org

Laura Brimont – laura.brimont@iddri.org

ISSN 2258-7535

Mettons la mobilité autonome sur la voie du développement durable

Mathieu Saujot, Oliver Sartor, Laura Brimont (Iddri)

RÉSUMÉ	5
INTRODUCTION	9
2. LES CLÉS D'UNE PROSPECTIVE DE LA MOBILITÉ AUTONOME	11
2.1. La technologie seule n'est pas transformatrice	11
2.2. Gestion des incertitudes technologiques et temporelles	13
2.3. Articuler approche prospective et territoriale	13
3. DESSINER LES FRONTIÈRES DU POSSIBLE	15
3.1. Possibles technologiques : l'autonomie sera progressive et se fera de « niches en niches »	15
3.2. Possibles serviciels : analyse du coût d'accès à l'autonomie pour l'usager	17
3.3. Usages individuels : des tendances de fond et des évolutions à la marge	20
3.4. Demande et régulation collective : concurrences et synergies	22
4. SCÉNARIOS	23
4.1. L'autonomie peut se développer selon différents modes organisateurs	23
4.2. Une mobilité autonome basée sur des véhicules individuels (Scénario 1)	25
4.3. Une mobilité autonome basée sur les transports collectifs (Scénario 2)	26
4.4. Une mobilité autonome basée sur des robots-taxis (scénario 3)	28
4.5 Conclusion : trois modes organisateurs structurants pour les politiques de mobilité durable	29
5. ÉVALUATION : COMMENT LA MOBILITÉ AUTONOME MODIFIE-T-ELLE LES ENJEUX DE LA MOBILITÉ DURABLE ?	30
5.1. Maîtriser la forme urbaine et la demande de mobilité	30
5.2. Assurer l'accès à la mobilité	31
5.3. Augmenter le partage et améliorer l'efficacité énergétique de chaque km	32
5.4. Décarboner la source d'énergie	35
5.5. Allouer l'espace urbain aux différents usages	36
5.6. Maîtriser la consommation de ressources liée au cycle de vie	37
6. ENSEIGNEMENTS ET RECOMMANDATIONS	38
6.1. La mobilité autonome peut prendre différents chemins de développement très contrastés en termes d'impacts sur la durabilité	38
6.2. Le futur sera un hybride de ces trois visions : les acteurs publics, notamment locaux, doivent orienter ce développement vers une mobilité durable	38
6.3. Préparer l'hybridation de ces trois formes de mobilité autonome	39
6.4. Une nouvelle gouvernance de la mobilité	41
BIBLIOGRAPHIE	44

LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX

Figure 1. Structure de l'étude	10	Tableau 1. Comparaison des différentes études sur la mobilité autonome qui abordent l'aspect développement durable	12
Figure 2. Les frontières du possible d'une analyse prospective de la mobilité autonome	13	Tableau 2. Apports potentiels de la mobilité autonome pour les différentes zones de l'Ile-de-France	14
Figure 3. Les deux phases du développement de la mobilité autonome	13	Tableau 3. Hypothèses retenues sur le coût fixe de la technologie autonome	18
Figure 4. Schéma des différentes zones géographiques de l'Ile-de-France avec les parts modales de différents moyens de transport et les flux de mobilité en 2010	14	Tableau 4. Description des trois modes organisateurs	25
Figure 5. Hypothèses technologiques utilisées dans cette étude	17	Tableau 5. Les risques et les opportunités des trois scénarios en termes de mobilité durable	30
Figure 6. Illustration de l'influence de l'inertie du parc sur le rythme de déploiement des différents niveaux d'autonomie du véhicule autonome	17	Tableau 6. Les principaux risques du véhicule autonome pour la mobilité durable	40
Figure 7. Coût par kilomètre d'un voyage en robot-taxi partagé en fonction du taux d'occupation	18		
Figure 8. Coûts annuels d'un service de bus non autonome et autonome, avec différents types de motorisations	19		
Figure 9. Coût par passager-kilomètre en fonction du taux de remplissage du bus	19		
Figure 10. Quelques ordres de grandeur sur l'impact énergétique de l'autonomie	34		
Figure 11. Progression des ventes de voitures particulières électriques en France	35		
Figure 12. Économies réalisées en passant à la motorisation électrique par rapport à la motorisation thermique selon l'intensité de l'utilisation	36		
Figure 13 : inciter par des voies réservées : des enjeux de politiques publiques à trancher.	41		

RÉSUMÉ

La mobilité autonome fait aujourd’hui l’objet d’une innovation très intense. Cette course technologique s’accompagne d’un discours de rupture porté par ses promoteurs : l’autonomie augurerait ainsi d’un changement de paradigme de la mobilité, source de nombreux bénéfices. Le futur de la mobilité autonome serait donc déjà tracé. Or, **il est en vérité très incertain** : plusieurs modèles de mobilité autonome sont envisageables selon les forces qui vont organiser son développement, et ces différents modèles sont **porteurs de risques, mais aussi d’opportunités pour la mobilité durable**. Ce faisant, les acteurs publics en France et dans les autres pays du monde ont un rôle important à jouer pour guider son **déploiement**. Si l’on ne réaffirme pas les questions politiques qui doivent orienter la mobilité autonome, notamment en matière de développement durable, le déploiement de cette technologie risque d’être orienté uniquement par les logiques économiques et commerciales. Élaborer une stratégie de mobilité autonome durable nécessite de répondre à deux questions essentielles : **en quoi la mobilité autonome modifie-t-elle les enjeux classiques de mobilité durable ? Comment faire évoluer les politiques de mobilité pour saisir les opportunités offertes par cette technologie ?**

Méthode prospectiviste

Afin de répondre à ces questions, il est nécessaire d’identifier les déterminants du futur de la mobilité autonome et d’explorer leurs possibles transformations. **La technologie seule n'est pas transformatrice, c'est la rencontre entre une technologie, des services la rendant disponible aux usagers et des demandes individuelles et**

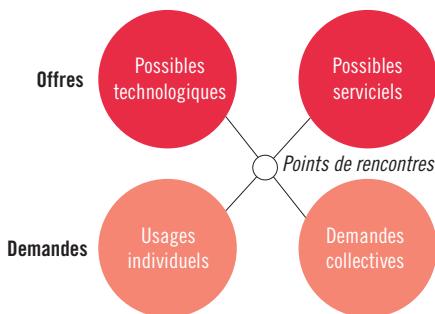
collectives qui l'est véritablement. Ces transformations impliquent de nouveaux modèles de mobilité : changement des régulations et infrastructures, évolutions des usages et des demandes collectives, design des véhicules, etc. Ces futurs modèles seront conditionnés par un certain nombre de contraintes (physiques, économiques, politiques, technologiques) qui détermineront ce qu'il est possible de faire ou non en termes de mobilité. **Définir une stratégie de développement d'une mobilité autonome durable consiste ainsi à identifier, dans un contexte d'incertitude forte, les compromis viables entre quatre dimensions.**

- **Possibles technologiques** : les technologies ouvrent de nouvelles opportunités, mais seront limitées en termes de capacité et de coûts. De nombreux défis restent à résoudre : réplicabilité des performances de conduite, résilience à la météo, définition de l’appareillage optimal de capteurs, cartographie. Il semble ainsi acquis que l’autonomie se développera progressivement dans différentes situations de conduite.
- **Possibles serviciels** : de nouvelles offres pourront être développées grâce à la mobilité autonome, mais elles ne seront pas forcément économiquement viables. L’autonomie pourrait par exemple élargir le périmètre de pertinence des transports en commun (en termes géographiques et temporels), mais ne constituera pas une « baguette magique » pour fournir des transports collectifs efficaces dans tous les territoires. De même, offrir un service de robot-taxi à un coût abordable nécessite un haut taux de remplissage, ce qui n'est possible que sous certaines conditions.
- **Usages individuels** : les changements des pratiques de mobilité comme le covoiturage ou l’autopartage, qui commencent à être observés, ne

doivent pas être surestimés. Ils restent des « signaux faibles » qui nécessitent la mise en œuvre de conditions spécifiques (ex. soutien au covoiturage) pour devenir de réelles tendances. Rapelons également que ni la demande sociale en termes de mobilité ni la définition de ce qu'est un bon service de mobilité ne sont immuables et universelles. Le rôle du politique est donc de répondre aux besoins présents de mobilité, mais aussi d'orienter les usages futurs ; le développement du TGV a par exemple façonné la demande de mobilité interurbaine sur un temps long.

- **Demandes collectives** : les décisions publiques en matière de mobilité constituent le dernier élément d'incertitude. Ces décisions sont soumises à différentes demandes collectives à la fois légitimes mais souvent concurrentes : sécurité, confort, impact limité sur l'espace urbain et naturel, accessibilité géographique et financière, réduction des émissions de gaz à effet de serre, etc. Or ces demandes ne sont toujours pas conciliables lorsqu'il s'agit de définir la régulation et les systèmes de mobilité.

Les frontières du possible d'une analyse prospective de la mobilité autonome



Source : Iddri.

Les scénarios présentés dans l'étude

Trois scénarios ont été développés dans cette étude, qui représentent trois façons d'organiser la mobilité en prenant en compte l'arrivée de la mobilité autonome. Ces trois scénarios sont volontairement simplifiés et contrastés : leur objectif premier n'est pas de décrire une réalité, mais un mouvement dominant, afin d'en révéler plus clairement les conséquences et les enjeux et de montrer les marges d'actions des puissances publiques dans un futur qui sera inévitablement hybride.

- **Une mobilité autonome individuelle.** Ce scénario repose sur un système similaire à celui de la voiture individuelle, qui s'appuie sur une régulation du type « économie de marché », un investissement privé dans le véhicule, une infrastructure publique, des règles d'accès et de fonctionnement et un marketing centré sur le prestige et la liberté. La mobilité, fut-elle autonome, reste structurée par les bénéfices associés à la mobilité individuelle (confort, distinction, liberté). Le développement de cette nouvelle mobilité progresse en fonction des progrès technologiques et de la demande de ménages aisés et technophiles, sans véritable stratégie de déploiement. Les constructeurs automobiles et les automobilistes cherchent à préserver le modèle de cette industrie et la place de l'automobile dans la société. Les acteurs du numérique participent à ce développement en vendant leurs services et en créant des partenariats avec les acteurs traditionnels.
- Pendant la coexistence entre différents niveaux d'autonomie, les gains associés aux véhicules autonomes sont faibles (ex. fluidité), ce qui pousse les constructeurs et automobilistes concernés à demander des adaptations de l'infrastructure (ex. accès réservé à certaines voies) pour soutenir le développement de cette technologie et améliorer ses bénéfices.
- **Une mobilité autonome collective.** Ce scénario s'inscrit dans le mode organisateur « transport en commun », qui repose sur une régulation du type « économie administrée » : investissement public, planification de l'offre, infrastructures réservées et marketing centré sur les valeurs du service public. Dans ce scénario, l'autonomie est mobilisée par les collectivités locales et les acteurs du transport public pour améliorer l'image et l'attractivité des transports en commun et les développer dans des zones où ils n'étaient peu ou pas présents. Les collectivités locales profitent de leur pouvoir de négociation ainsi que de leurs compétences de gestion de l'espace urbain (adaptation des infrastructures, régulation de la circulation, etc.) pour rendre possible l'utilisation de la technologie à court-terme – c'est-à-dire lors de l'expérimentation d'une technologie autonome encore immature –, atout que n'ont pas les acteurs privés. Le développement progressif de navettes autonomes, de toutes tailles, fréquentes et fiables, sur des sites propres, permet de compléter les infrastructures lourdes de transport en commun et les modes actifs. Transports en commun et mobilité individuelle coexistent toujours, mais les premiers augmentent considérablement leur part de marché et profitent de nombreux sites propres et de priorité dans l'usage de la voirie.
- Au fur et à mesure que l'acteur public développe ces offres de mobilité autonome, une pluralité d'acteurs privés proposent leurs offres innovantes de mobilité autonome ou demandent l'ouverture des marchés publics afin de pouvoir les mettre en œuvre.
- **Une mobilité autonome à la demande.** Dans ce scénario, les technologies autonomes sont mobilisées pour transformer la mobilité par le robot-taxi partagé : algorithmes et autonomie se combinent afin que plusieurs clients partagent facilement une partie de leur trajet, ce qui permet de faire baisser le prix de la course et de réduire le nombre de véhicules. À côté des transports en commun et de la mobilité individuelle se

développent donc ces offres privées fondées sur une logique d'optimisation de l'offre sur les zones les plus rentables et sur des outils de tarification dynamique permettant d'utiliser au mieux la capacité à payer des usagers. La communication s'appuie sur des offres personnalisées, modernes et flexibles. Ce scénario reflète plus que les autres l'irruption et le poids croissants des nouveaux acteurs de la mobilité issus du numérique (Google, Uber, Didi, Baidu, Apple, Lyft, etc.), qui disposent de ressources financières importantes. De nombreuses expérimentations sont menées avec des robot-taxis (d'abord avec des conducteurs puis sous une simple supervision à distance) dans les métropoles et dans différents cas d'usage (aéroports, sites fermés, zones piétonnes, sites propres existants, etc.).

- La technologie autonome parvenant à maturité, ces offres de service se développent plus ou moins rapidement selon les contextes et les conditions d'opération et ces acteurs expriment des demandes aux pouvoirs publics et commencent à négocier (ex. accès aux voies réservées aux bus et navette autonome).

Trois modes organisateurs structurants pour les politiques de mobilité durable

Automobiliste, usager d'un service public local ou client d'une entreprise privée : nous avons donc trois modes structurant le futur de la mobilité autonome. Chacun à leur manière, ils interrogent la capacité à mettre en œuvre des politiques de mobilité durable. Dans le scénario 1, la régulation de la mobilité (partage de l'espace, priorité, tarification) et les politiques environnementales (standards, incitation au partage, etc.) restent dans le paradigme que nous connaissons aujourd'hui, avec les mêmes types d'obstacles (acceptabilité des contraintes sur les voitures, difficultés de contrôle, rythme de changement). Dans le scénario 2, se pose la question de la capacité à répondre aux demandes d'innovation en termes d'offres de mobilité et aux besoins de financement dans le cadre d'un modèle de transport public. Dans le scénario 3, la diversité des offres de mobilité sur le territoire soulève une question de coordination et de gouvernance afin de réellement profiter du potentiel de ces offres basées sur des algorithmes (ex. négociation sur l'usage de la voirie en échange d'un certain niveau de partage), mais aussi d'éviter une mobilité à deux vitesses et une fracture territoriale.

Évaluation : que change la mobilité autonome (MA) aux enjeux de la mobilité durable ?

Chaque scénario est confronté à six enjeux clés de la mobilité durable afin d'en identifier les risques et les opportunités.

Le scénario 1 pourrait faire augmenter le nombre de kilomètres parcourus du fait de l'étalement urbain, de l'effet rebond lié à un plus grand confort

6 GRANDS ENJEUX	DE NOMBREUX RISQUES POUR LA MOBILITÉ DURABLE	DES PISTES DE SOLUTIONS
Maîtriser la forme urbaine et la demande de mobilité	Hausse de la demande et périurbanisation. À long terme, le nombre de kilomètres parcourus, notamment pour les ménages à hauts revenus, pourrait augmenter (étalement de la ville, véhicules circulant à vide).	Réduire la vitesse maximale autorisée pour limiter l'étalement urbain (chrono-aménagement) Régulation pour limiter la possibilité de faire circuler les véhicules à vide
Assurer l'accès à la mobilité	De nouvelles inégalités dans l'accès à la mobilité pourraient voir le jour (mobilité individuelle plus onéreuse, infrastructures non adaptées/offres de robot-taxis limitées dans certains territoires, voies réservées aux propriétaires de véhicules autonomes, etc.). Différents gagnants/ perdants selon les scénarios.	Anticiper l'adaptation de la fiscalité de la mobilité liée à l'électrification et l'autonomisation (ex. tarification à la distance) Parallèlement, revisiter le modèle de péréquation de la mobilité, afin d'améliorer l'offre de services de mobilité autonome dans les zones moins denses.
Améliorer partage et efficacité énergétique de chaque km	Le partage de trajet est loin d'être une évidence et devra être fortement incité pour surmonter les obstacles actuels, que ce soit pour la mobilité individuelle ou les robots-taxis. Des gains d'efficacité énergétique liés à l'autonomie à relativiser.	Renforcer les politiques de soutien au covoiturage courte distance Tester des services partagés de véhicule autonome Réduire la vitesse maximale autorisée et favoriser une logique de régulation par le temps garanti de déplacement
Décarboner la source d'énergie	La mobilité autonome, malgré ses promesses à long terme, ne change rien à la nécessité d'agir aujourd'hui pour la décarbonation du transport	Renforcer les politiques existantes de soutien aux motorisations peu émettrices Privilégier les modèles serviciels d'exploitation de flotte, plus enclins à adopter ces motorisations
Allouer l'espace urbain aux différents usages	La mobilité autonome pourrait rendre plus complexe encore le partage de la voirie entre ses différents usages (piétons, vélos, etc.) et la gestion de voies réservées	Tester différentes configurations de partage de la voirie pour trouver le meilleur compromis entre fluidité du trafic, incitation au partage de trajet (voies réservées covoiturage) et sécurité des modes actifs
Maîtriser la consommation de ressources	De nouvelles consommations d'énergie et de ressources liées aux données et à la fabrication du matériel numérique sont à prévoir.	Évaluer l'empreinte en cycle de vie et en consommation énergétique des véhicules et des infrastructures numériques liées Développer un label « numérique responsable » pour les véhicules autonomes Construire la chaîne de recyclage du matériel numérique

(qui incite à passer plus de temps dans le véhicule) et de la possibilité de faire rouler sa voiture à vide. Les efforts pour inciter au partage de trajet et à l'électrification continueront de faire face à certains obstacles existant aujourd'hui. La perspective d'un marché de masse démultiplierait l'impact environnemental induit par la production du matériel numérique. Le scénario 2 permettrait d'étendre les avantages des transports collectifs à la mobilité autonome, mais pose toutefois la question du périmètre géographique de pertinence, ainsi que la capacité des acteurs concernés à mettre

en œuvre les innovations de la mobilité autonome. Le scénario 3 présente l'opportunité de réduire le nombre de véhicules et d'intensifier fortement le partage grâce à des solutions d'optimisation. Un gestionnaire de robot-taxis serait également incité à décarboner sa flotte et améliorer son efficacité énergétique. Toutefois, le modèle de tarification privée pourrait se faire au détriment de l'équité dans l'accès au service, et la gestion de ces nouveaux acteurs pose une question de gouvernance locale de la mobilité.

Enseignements

La mobilité autonome peut prendre différents chemins de développement très contrastés en termes d'impacts sur la durabilité. Les types de véhicules, les imaginaires associés, les offres de mobilité ainsi que le cadre de régulation sont autant d'éléments qui structurent la durabilité des modèles de mobilité autonome. Ainsi, **l'automatisation est loin d'être une baguette magique pour la mobilité durable** : de nouvelles consommations d'énergie et de ressources liées aux données et au matériel numérique sont à prévoir ; la mobilité autonome n'apporte pas de solution claire à court terme pour l'objectif de décarbonation ; le partage de trajet est loin d'être une évidence ; de nouvelles inégalités dans l'accès à la mobilité pourraient voir le jour ; la mobilité autonome pourrait rendre plus complexe encore le partage de la voirie entre ses différents usages (piétons, vélos, etc.) ; à long terme, le nombre de kilomètres parcourus pourrait augmenter en raison de l'étalement urbain et des véhicules circulant à vide.

Le futur hybridera ces trois visions et les acteurs publics locaux et nationaux doivent prendre la main pour orienter le développement de la mobilité et ainsi éviter de se faire imposer par les acteurs des scénarios 1 et 3 les termes de la « négociation » sur l'évolution future du modèle de mobilité. **Les opportunités ne sont pas des acquis** : elles ne se réaliseront qu'à certaines conditions qui nécessitent une intervention publique (ex. partage de véhicules, réduction du nombre de véhicules en ville). Par leurs compétences en termes de gestion de l'espace urbain, les acteurs publics peuvent sélectionner et faciliter les niches cohérentes avec leur stratégie.

Mettre la mobilité autonome au service du projet de mobilité durable défendu par les collectivités locales nécessite une nouvelle gouvernance de la mobilité urbaine. En effet, les collectivités locales ne peuvent pas imposer uniquement un scénario basé sur les transports en commun. Elles devront coordonner les autres logiques de développement et leurs promoteurs autour de leur projet.

Recommandations pour les expérimentations

Cette analyse permet d'identifier quelques enseignements pour la future stratégie nationale d'expérimentation, afin d'assurer que le développement de la mobilité autonome soit cohérent avec l'ambition française de durabilité.

- **Les expérimentations ne devraient pas tester uniquement les possibles technologiques**, mais aussi les possibles serviciels (ex. rentabilité) et la façon dont le service correspond aux usages individuels (ex. quelle préférence pour le nombre de passagers par navette) et aux demandes collectives (ex. intégration dans le projet du territoire).
- **Engager les collectivités locales** dans la conception des expérimentations : c'est en reconnaissant le pouvoir nouveau des villes à modeler le futur de la mobilité et de son marché que la France pourra développer un modèle original de mobilité autonome.
- **Évaluer l'empreinte en cycle de vie** et en consommation énergétique des véhicules et de leurs composants numériques (incluant la gestion des données), afin d'anticiper les réglementations à mettre en œuvre pour limiter cet effet rebond.
- **Ne rendre possible l'accès à des voies réservées** qu'à la condition que l'expérimentation teste un service partagé de mobilité autonome, afin d'ancre l'imaginaire d'une mobilité autonome collective.
- **Prévoir dans les expérimentations des tests de coexistence avec les modes actifs (vélos, trottinettes, piétons)** afin de préparer au plus tôt leur compatibilité.
- **Associer aux expérimentations un investissement dans les composantes numériques** de la gouvernance future de la mobilité : échange de données, plateforme commune, application de calcul d'itinéraire, etc.
- Parmi les différents types d'expérimentations, **valoriser celles de véhicules de petites tailles et à faible vitesse maximale** (30 km/h) afin de favoriser cet imaginaire d'une nouvelle mobilité plus économique en énergie et en espace.
- Enfin, **afin d'assurer une cohérence à l'action gouvernementale**, développer des indicateurs de mobilité autonome durable, et les intégrer dans le suivi de la mise en œuvre de la Stratégie nationale bas carbone (SNBC), qui sera révisée d'ici à la fin d'année 2018.

INTRODUCTION

Voilà plus de vingt ans que la mobilité a été reconnue comme un enjeu clé du développement durable (Champagne et Negron-Poblete, 2012), à la fois pour des raisons économiques, sociales mais aussi environnementales. Économiques d'abord, parce que la mobilité a un coût important, à la fois pour les ménages – le budget transport représente aujourd'hui le deuxième poste de dépense des ménages après le logement (Arthaut, 2005) – et pour les pouvoirs nationaux et locaux, qui prennent en charge les infrastructures de transport et fournissent un certain nombre de services de mobilité, comme les transports en commun. La mobilité est aussi un enjeu social, dans la mesure où elle est aujourd'hui devenue une condition indispensable pour accéder à l'emploi, à l'éducation, aux loisirs, mais aussi aux soins. La « vulnérabilité liée à la mobilité », c'est-à-dire lorsque le coût de la mobilité devient trop important pour un ménage ou que son accès est difficile, est ainsi une question sociale de premier plan (Saujot *et al.*, 2017). Enfin, la mobilité est un enjeu environnemental : les transports sont une source majeure d'émissions de gaz à effet de serre – 23 % des émissions mondiales de CO₂ liées à l'énergie en 2014 (DDPP-T Consortium, 2017) –, mais aussi des principaux polluants de l'air qui sont responsables de nombreuses pathologies cardiaques et respiratoires dans les centres urbains.

Cette problématique de la mobilité durable est aujourd'hui réinterrogée par une triple évolution : une tendance encourageante vers la diffusion des véhicules électriques dans le parc automobile (Sartor *et al.*, 2017) ; le renforcement des usages partagés de la voiture tels que le covoiturage et l'auto-partage, notamment grâce aux outils numériques (Brimont *et al.*, 2016) ; l'émergence du véhicule

connecté et autonome (ou sans conducteur). Si l'intérêt des deux premières évolutions pour la mobilité durable a déjà été bien analysé, celui du véhicule autonome (VA) et connecté l'est moins : quels risques et opportunités cette innovation représente-t-elle pour la mobilité durable ?

Il faut d'abord remarquer que la mobilité durable est relativement absente des discours des promoteurs de la mobilité autonome. Les bénéfices de cette technologie généralement mis en avant sont le renforcement de la sécurité routière, l'erreur humaine étant en effet la cause de 90 % des accidents de la route (Fagnant et Kockelman, 2015), la réduction de la congestion dans la mesure où un véhicule autonome adapterait sa conduite de manière à limiter les embouteillages, le gain de confort et de temps pour les conducteurs (McKinsey&Company, 2016) ainsi que l'amélioration de l'accès à la mobilité pour les personnes en situation de handicap. Face à ces potentiels bénéfices, il existe aussi des risques : piratage informatique des véhicules, augmentation des déplacements due à des véhicules circulant à vide, renforcement des inégalités liées à la mobilité entre ceux qui pourront se payer l'autonomie et ceux qui ne le pourront pas (Le Vine et Polak, 2014 ; Lindsay, 2016).

Face à cette absence de réflexion sur la mobilité durable, les motivations économiques et industrielles sont quant à elles bien présentes : il s'agit pour les différents pays engagés dans le développement de cette technologie de ne pas prendre du retard dans la course industrielle et d'arriver le plus tôt possible à une mise sur le marché. Il y a donc un risque que la mobilité autonome soit développée selon une logique économique sans prendre en compte les objectifs de la mobilité durable. Ce risque est d'autant plus grand que nous vivons une période foisonnante d'innovations, période déstabilisante pour les pouvoirs publics qui ont l'impression

d'être sans cesse en retard sur ce qu'ils sont censés organiser ou réguler. À cela s'ajoute un fort discours techno-solutionniste suggérant que le développement technologique autour de la mobilité autonome serait en soi positif, discours s'incarnant plus largement dans la révolution numérique. Cela est également déstabilisateur pour la décision publique.

Il est donc essentiel de replacer l'objectif de réduction des impacts environnementaux et sociaux de la mobilité au centre des discussions sur la mobilité autonome et les politiques publiques et d'en faire un examen minutieux. Or l'évaluation de ces potentiels risques et bénéfices est d'autant plus difficile qu'il faut la réaliser dans un contexte de multiples incertitudes. Premièrement, le véhicule autonome et connecté peut complètement transformer notre système de mobilité basé sur la voiture privée individuelle et faire évoluer de manière radicale les offres de mobilité. L'autonomie permet d'envisager des services de mobilité à coût moindre que ceux qui existent aujourd'hui avec chauffeur, quand la connectivité permettrait d'optimiser les parcours et donc de mutualiser les véhicules dans le temps et dans l'espace tout en offrant un service de (quasi) porte-à-porte similaire à celui de la voiture individuelle. Parallèlement, les usages peuvent se transformer, à l'instar de ce qu'a connu par exemple le secteur musical : le basculement d'une logique de possession matérielle vers une logique servicielle, mouvement déjà initié par les pratiques d'autopartage, de covoiturage et de véhicule de tourisme avec chauffeurs (Janin *et al.*, 2016). Enfin, ces transformations prennent place dans un secteur en plein renouvellement : nouveaux acteurs issus du numériques (Google, Baidu, Apple), acteurs des services de mobilité (Uber, Didi, Lyft), alliances entre acteurs traditionnels comme les opérateurs de transport urbain ou les constructeurs automobiles. Dans ce contexte d'incertitudes, il est difficile d'anticiper la transformation et les leviers pour la guider.

La difficulté à analyser le futur de la mobilité autonome est en outre renforcée par une incertitude technologique forte : malgré les annonces ambitieuses et médiatisées de certains acteurs du développement du véhicule autonome, la technologie reste relativement immature et le stade où un véhicule pourra circuler dans n'importe quelle situation de conduite n'est pas attendu avant une, voire deux décennies. Les progrès récents de l'intelligence artificielle n'assurent en rien les succès futurs de ce développement technologique dont la mobilité autonome a besoin (Brooks, 2017). De plus, la fascination qu'exerce parfois l'innovation technologique conduit à un certain nombre de biais laissant penser que la mobilité autonome peut résoudre un grand nombre des problèmes

de la mobilité. Ainsi, l'hypothèse que les véhicules autonomes seront forcément électriques – largement répandue parmi les promoteurs de l'autonomie – ne prend pas en compte les nombreux obstacles à la diffusion de la motorisation électrique et d'autres motorisations apparentées (pile à combustion, biogaz, biocarburant) (Sartor *et al.*, 2017). Une réflexion sur le futur de la mobilité autonome et son impact pour la mobilité durable doit donc nécessairement interroger la manière dont l'autonomie permet ou non de surmonter les contraintes actuelles de la mobilité durable.

Ce travail de prospective vise donc à décrire les possibles scénarios de déploiement du véhicule autonome et à montrer que les futurs sont incertains et contrastés. L'objectif est d'expliciter les conditions de leur mise en œuvre, en prenant en compte la nécessaire coexistence de cette technologie avec d'autres modes de transport plus classiques, pour ensuite analyser leurs conséquences pour la mobilité durable en se demandant de manière systématique ce que change réellement la mobilité autonome par rapport aux enjeux classiques de la mobilité durable. L'hypothèse centrale de ce travail est que le futur de la mobilité autonome n'est pas d'ores et déjà gravé dans le marbre : la puissance publique – État et collectivités territoriales en charge des politiques de mobilité – a un rôle essentiel à jouer pour le mettre sur la voie du développement durable. Notre ambition est donc de donner des clés de lecture aux décideurs publics pour les aider à imaginer les futurs possibles de la mobilité autonome, et, parallèlement, de fournir des recommandations de court terme pour préparer dès aujourd'hui l'avenir le plus souhaitable et soutenable.

Figure 1. Structure de l'étude

1. Les clés d'une prospective de la mobilité autonome	Questions permettant d'explorer la mobilité autonome
2. Dessiner les frontières des possibles	Analyses et données pour renseigner ces questions
3. Scénarios	Description de visions contrastées et réponses aux questions
4. Évaluation	Risques et opportunités pour le développement durable
5. Enseignements et recommandations	

La partie méthodologie explique la manière dont nous interrogeons le futur incertain de la mobilité autonome. Sur cette base, la partie 2 apporte les éléments d'analyse nécessaires à la description des scénarios sur la base de quatre dimensions clés pour le développement de la mobilité autonome : technologie, services, usages individuels et demandes collectives. Cette partie décrit les possibles, les

contraintes et obstacles et les tendances pour chacune de ces dimensions, afin de décrire ensuite les scénarios dans la partie 3. Puis la partie 4 analyse les risques et les opportunités vis-à-vis du développement durable des trois scénarios de développement de la mobilité autonome¹, pour enfin tirer des enseignements et des recommandations.

2. LES CLÉS D'UNE PROSPECTIVE DE LA MOBILITÉ AUTONOME

Tout travail de prospective part de l'idée que « demain ne sera pas le prolongement d'hier » (Theys, 2009). Il nous semble ainsi acquis que l'autonomie peut potentiellement transformer notre système de mobilité tel que nous le connaissons aujourd'hui. Néanmoins, ce potentiel de transformation ne signifie pas que tout est possible : le véhicule autonome n'est pas une baguette magique qui ferait disparaître les contraintes (physiques, économiques, politiques, technologiques) qui déterminent ce qu'il est possible de faire ou pas en terme de mobilité. Nos systèmes de mobilité sont des équilibres subtils en termes de faisabilité économique et financière des offres, d'usage de la voirie et d'accessibilité géographique. De plus, certains fondamentaux ne seront pas modifiés par l'autonomie : la capacité de flux d'une voirie est ainsi une donnée², même si le véhicule autonome peut modifier ces chiffres à la marge. De même, mettre en place des modes de transport partagés nécessite une masse critique d'utilisateurs pour permettre des appariements de voyageurs, comme aujourd'hui pour le covoiturage courte distance ou le taxi partagé, ce qui est difficile à obtenir, notamment dans les territoires peu denses.

Face à ces contraintes physiques relativement immuables, la mobilité est marquée par de puissantes évolutions, tant au niveau des pratiques individuelles, comme en témoigne l'essor des services à la demande et de porte-à-porte de type véhicule de transport avec chauffeur (VTC) ou le covoiturage/autopartage, que des politiques publiques, comme celles de réduction de la place de la voiture dans les centres urbains. Par ailleurs,

1. Nous faisons l'hypothèse que l'avancement de la technologie est le même dans chacun des trois scénarios afin d'éviter que les différences en termes de performance technologique, largement exogènes pour la puissance publique, ne déterminent le caractère plus ou moins durable des scénarios. L'objectif est en fait de montrer les différentes façons de s'emparer d'une technologie donnée.
2. Selon l'UITP (2015), un même tronçon peut faire transiter 2 000 voitures par heure, contre 19 000 cyclistes, 19 000 piétons, 17 000 passagers de bus et 80 000 passagers de métro.

les changements dans la mobilité sont confrontés à des obstacles en termes d'acceptabilité sociale (mise en œuvre d'une tarification supplémentaire via un péage urbain, réallocation de la voirie entre modes) et d'équité (accès à la mobilité, vulnérabilité) qui vont perdurer. L'objectif de cette prospective est donc d'analyser dans quelle mesure la mobilité autonome va remettre en cause certains acquis de la mobilité et induire ou renforcer des tendances de transformation.

2.1. La technologie seule n'est pas transformatrice

Si une grande partie de la discussion sur l'autonomie est aujourd'hui focalisée sur la technologie, le futur de la mobilité ne sera pas déterminé uniquement par une offre technologique et industrielle. La technologie seule n'est pas transformatrice, comme de nombreux exemples de l'histoire de la mobilité l'illustrent. Les services proposés et leur coût pour l'usager, déterminés à la fois par le coût des véhicules et des infrastructures nécessaires à leur circulation, mais aussi par les modèles économiques mis en place, la capacité à répondre aux attentes individuelles en matière de mobilité (largement définies par les valeurs de liberté et de confort de la mobilité automobile) ou au contraire à les faire évoluer, mais aussi les liens avec des enjeux collectifs comme l'usage de l'espace public, l'aménagement de la ville, la santé, la lutte contre le réchauffement climatique, le maintien de l'emploi industriel, la sécurité ou la solidarité entre les territoires sont autant d'éléments déterminants du développement d'une mobilité autonome.

C'est la rencontre entre une technologie, des services la rendant disponible aux usagers et des demandes individuelles et collectives qui est véritablement transformatrice. Ces transformations impliquent de nouveaux types de régulation et d'infrastructures. Les usages vont évoluer, de même que les demandes collectives, contribuant à façonner l'évolution des techniques et leur insertion dans la société. Or les espaces de solutions conciliant ces différentes polarités sont contraints et limités : tout l'enjeu d'un travail de prospective est de les identifier.

Pour illustrer ces idées, pensons à la façon dont les villes ont évolué au fur et à mesure que la technologie automobile s'est développée. L'automobile a transformé notre société par un ensemble d'éléments dans l'organisation des villes et de règles d'usage de la voirie qui ont permis de rendre disponible et pratique cette nouvelle offre technologique. En retour, nos modes de vie ont évolué (éloignement des lieux de vie, essor des loisirs) et se sont construits autour d'un nouveau modèle basé sur la voiture.

Encadré 1. Un autre exemple de révolution dans le secteur du transport : le conteneur

- Le conteneur constitue une technologie de rupture qui a révolutionné le secteur du transport (de marchandises) au xx^e siècle et qui permet d'illustrer comment une combinaison de facteurs économiques, sociaux et politiques permettent à une innovation d'émerger et de transformer un secteur (Levinson, 2011). La révolution n'a pas tant été celle de l'objet conteneur en tant que tel – qui du reste est fort peu technique – que celle du processus de conteneurisation, c'est-à-dire du potentiel de modularité et de « scalabilité » qu'a offert le conteneur. Le passage du transport en vrac au transport en conteneur a ainsi permis de débarquer et d'embarquer les marchandises plus rapidement, avec moins de capital humain, et ce le long d'une chaîne logistique multimodale (du bateau porte-conteneurs aux camions/trains, et vice versa), ce qui a permis, *via* une massification, de faire baisser drastiquement le coût et les délais du fret dans son ensemble. Ce bond productif n'a été cependant rendu possible qu'à la faveur d'une forte adaptation de la chaîne logistique au standard du conteneur (construction de ports capables d'accueillir les portes conteneurs, équipement en grues, train et camions adaptés au transport de conteneur), dans laquelle les pouvoirs publics ont d'ailleurs eu un rôle clé d'investissement. Le soutien au conteneur a d'ailleurs été très divers selon les villes portuaires, certaines ayant soutenu très tôt sur cette innovation, tandis que d'autres, souvent effrayées – à juste titre – par les impacts sociaux très lourds en termes d'emplois, ont essayé de freiner son développement et ont par la suite perdu en attractivité. De plus, la forte hausse de la demande de consommation des ménages pendant les Trente Glorieuses a également contribué à encourager la conteneurisation. Enfin, la chute des coûts du fret s'est accentuée au fur et à mesure que les armateurs sont parvenus à mettre en place de nouveaux modèles économiques maximisant l'exploitation des bateaux afin de rentabiliser les coûts d'investissements importants dans les porte-conteneurs.

Encadré 2. Revue de littérature comparée

- Parmi l'abondante littérature consacrée au véhicule autonome, nous avons relevé trois études dont l'angle d'analyse se rapproche du nôtre. La première est un travail de modélisation mené par l'International Transport Forum (ITF, 2015) sur le remplacement de l'ensemble des moyens de transport routier (véhicules individuels, bus, taxis) par des taxis autonomes partagés à Lisbonne. La deuxième, commanditée par le Commissaire général à l'investissement, évalue les impacts du véhicule autonome sur le design du Grand Paris (Zwirn et al., 2017). La troisième, réalisée par trois cabinets de consultants, s'intéressent aux impacts du développement d'une flotte de robot-taxis dans trois villes des États-Unis et aux politiques publiques nécessaires (Glus et al., 2017). Le tableau ci-dessous compare ces études en les confrontant aux principales caractéristiques de notre travail.

Tableau 1. Comparaison des différentes études sur la mobilité autonome qui abordent l'aspect développement durable

	Scénarios de déploiement	Prise en compte de l'incertitude technologique	Évaluation en termes de durabilité	Recommandations politiques
Iddri (2018)	Véhicules individuels Transports collectifs Robot-taxis	Forte	Large (sur tous les aspects de la mobilité durable) Qualitative	Préparation des expérimentations Réglementation de la mobilité Aménagement Gouvernance
ITF (2015)	Robot-taxis	Faible	Parcellaire (taille du parc automobile, besoin en parking, nombre de km) Quantitative	Aménagement urbain
Zwirn et al. (2017)	Véhicules individuels Transports collectifs Robot-taxis	Forte	Parcellaire (topologie des déplacements) Qualitative	
Glus et al. (2017)	Robot-taxis	Faible	Large même si certains aspects sont moins traités que d'autres Quantitatif et qualitatif	Aménagements et infrastructures

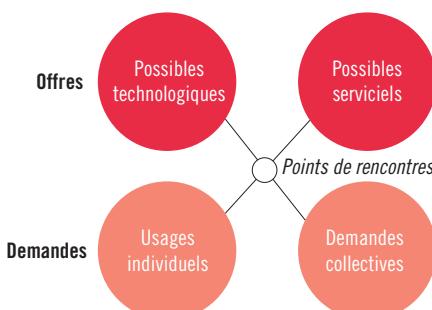
- L'étude ITF est particulièrement utile pour montrer le besoin de réflexion sur l'intégration des VA en ville. En effet, ce cas extrême, qui correspond à un certain imaginaire de la mobilité autonome, montre que pour assurer les besoins de mobilité, les robot-taxis roulent de manière intensive et qu'il est donc difficile de faire baisser la circulation dans la ville (nombre de veh.km) et ainsi le niveau d'usage de la voirie. Cela pose la question de l'intégration de la MA dans des villes dont l'objectif est justement de réduire la circulation. En donnant une image à long terme, cette étude ne permet cependant pas d'informer le chemin à suivre dès aujourd'hui pour atteindre une telle vision du futur, mais souligne des enjeux liés à la transition : ainsi, notamment, si 50 % des véhicules individuels restent en circulation, le trafic global [veh.km/jour] augmente fortement par rapport à la situation existante.

Afin de prendre en compte ces différents éléments dans notre analyse prospective de la mobilité autonome, nous avons défini une grille de lecture basée sur quatre polarités, dont deux ont trait à l'offre de mobilité autonome (les possibles technologiques et serviciels) et deux concernent la demande (les usages individuels et les demandes collectives). Cette grille de lecture, illustrée dans la Figure 2, montre que les transformations du secteur de la mobilité sont limitées : certains services peuvent être développés quand d'autres ne seront pas viables (limite technologique, coûts), certaines demandes collectives permettent ou au contraire

bloquent certains développements de la mobilité autonome, etc. L'hypothèse est qu'il existe une ou plusieurs configurations permettant de trouver un compromis entre toutes ces contraintes.

Ainsi redéfini, le futur de la mobilité n'est ni une simple tendance du présent ni un espace où tout est possible, l'**explorer nécessite de trouver les points de rencontre situés à l'intérieur de ces frontières, les compromis viables entre les possibles et les contraintes dans ces quatre domaines**. Le futur est incertain car différents points de rencontre sont possibles. L'incertitude provient de la coexistence et de la concurrence entre différents objectifs légitimes, qui déterminent différents chemins de développement de cette technologie.

Figure 2. Les frontières du possible d'une analyse prospective de la mobilité autonome



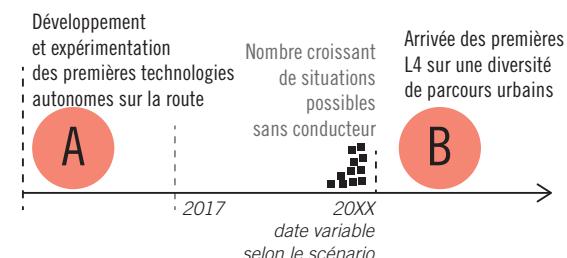
Source : Iddri.

2.2. Gestion des incertitudes technologiques et temporelles

Les avancées de la technologie autonome sont truffées d'incertitudes, d'effets d'annonce et de secrets industriels : sur quelle base les décideurs publics peuvent-ils s'appuyer ? Tout d'abord, il faut prendre en compte le fait qu'il y aura probablement deux grandes phases de développement de la mobilité autonome. Lors d'une première phase A, une diversité de solutions autonomes sont progressivement disponibles, chacune avec des limites importantes, ce qui favorise le développement de niches (navette, assistant à la conduite, etc.), progressivement améliorées. Une seconde phase B débute lorsque que l'innovation réellement disruptive est technologiquement disponible, c'est-à-dire lorsqu'un véhicule est autonome dans un nombre significatif de situations, ce qui correspond à un niveau 4 d'autonomie. Même si les promoteurs de l'autonomie assurent que le passage à la seconde phase est imminent, il est probable que la première phase dure un certain

temps, sans qu'il soit encore possible à ce stade d'estimer précisément sa durée.

Figure 3. Les deux phases du développement de la mobilité autonome



Source : Iddri.

Face à ces incertitudes, plusieurs questions se posent pour les politiques publiques : comment le modèle de mobilité se sera-t-il préparé et aura-t-il évolué lors du passage à la seconde phase ? Quelles tendances de la mobilité auront été accentuées par l'arrivée de l'autonomie ? Quelles mesures de régulations faut-il anticiper pour que l'autonomie apporte de réels bénéfices au système de mobilité ?

2.3. Articuler approche prospective et territoriale

Les pratiques de mobilité sont très diverses suivant les territoires. Une même aire urbaine³ comprend des zones urbaines denses propices aux modes doux (marche, vélo) ainsi qu'aux transports en commun (l'archétype étant le territoire parisien), mais aussi des zones plus diffuses marquées par une dispersion géographique des lieux de vie qui favorise les déplacements en automobile. **Le défi des politiques publiques est donc de relier des zones ayant des pratiques de mobilité très différentes** : par exemple, l'une des principales difficultés de la stratégie de réduction de la place de la voiture dans Paris est de ne pas pénaliser les habitants de la couronne parisienne, qui dépendent plus de leur voiture pour se rendre dans la capitale et dans les territoires périphériques.

3. Pour l'Insee, une aire urbaine est un ensemble de communes, d'un seul tenant et sans enclave, constitué par un pôle urbain (unité urbaine) de plus de 10 000 emplois, et par des communes rurales ou unités urbaines (couronne périurbaine) dont au moins 40 % de la population active travaille dans le pôle ou dans des communes attirées par celui-ci.

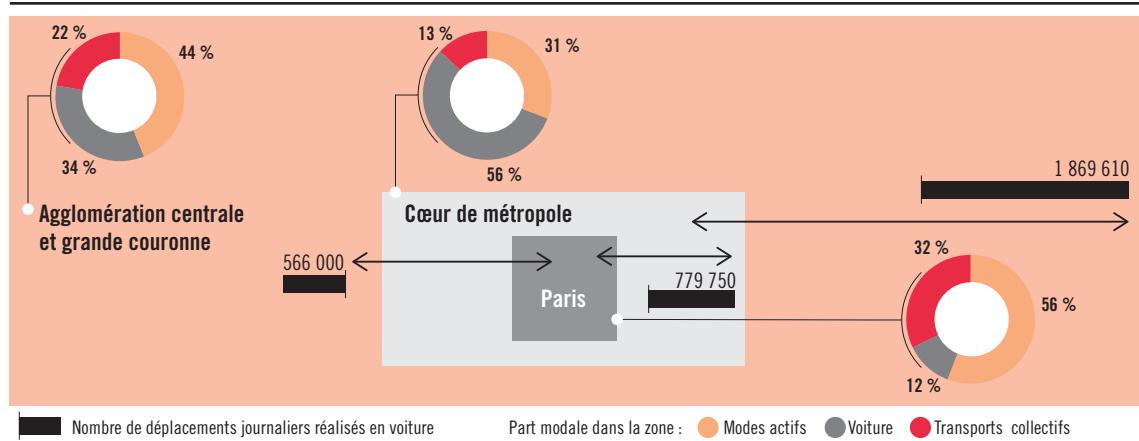
Encadré 3. Que pourrait apporter la mobilité autonome en Île-de-France ?

- Si cette étude se veut généraliste, le territoire de l'Île-de-France est intéressant pour confronter notre travail de prospective aux réelles problématiques d'une zone urbaine. La Région Île-de-France comprend en effet des territoires divers, du centre urbain hyperdense de Paris intramuros au périurbain peu dense et aux zones rurales ; les pratiques de mobilité sont en conséquence très contrastées. Dans le cœur de métropole (Paris et les communes dont le bâti est en continuité avec Paris), les déplacements en voiture sont minoritaires, tandis que les modes actifs et les transports collectifs sont les principaux modes utilisés. À l'inverse, la voiture garde une place prépondérante dans l'agglomération centrale et surtout le reste de l'Île-de-France, puisqu'elle représente respectivement 56 % et 60 % des déplacements internes à ces territoires. Son usage diminue fortement pour les déplacements vers Paris et le cœur de métropole, dont 73 % sont effectués en transport collectifs. Les apports de la mobilité autonome pourraient donc être très différents suivant les enjeux des territoires, comme le résume le Tableau 2. Notons enfin que ce territoire est actif en termes de réflexion sur la mobilité autonome avec la publication d'un livre blanc sur la mobilité 2030 par le Forum métropolitain du Grand Paris et la participation de la Ville de Paris à des initiatives internationales sur le sujet (Bloomberg Philanthropies, C40) ; ces travaux ont nourri notre réflexion à travers la participation de représentants de ce territoire à notre plateforme.

Tableau 2. Apports potentiels de la mobilité autonome pour les différentes zones de l'Île-de-France

Entités géographiques	Enjeu principal en termes de mobilité	Apports potentiels de la mobilité autonome
Paris	Pacifier la mobilité Libérer de l'espace utilisé aujourd'hui par la voiture	Renforcer l'usage serviciel et partagé de la voiture (robot-taxi et autopartage)
Cœur de métropole	Renforcer l'usage des transports collectifs et des modes actifs	Renforcer la granularité des transports collectifs structurés autour du réseau ferré
Agglomération centrale et grande couronne	Optimiser l'utilisation des grandes infrastructures routières Limiter l'usage de la voiture pour les déplacements internes Densifier l'urbanisation des pôles de centralité	Fluidifier le trafic et renforcer le partage de trajet Améliorer les dessertes de transport en commun avec des navettes autonomes

Figure 4. Schéma des différentes zones géographiques de l'Île-de-France avec les parts modales de différents moyens de transport et les flux de mobilité en 2010



Source : Idri, avec les données de l'Enquête Globale Transport de 2010

Synthèse des enseignements de la partie 3

3.1. Possibles technologiques

Nombreux défis à résoudre: réplicabilité IA, résilience à la météo, définition du set de capteurs optimal... > Niveau de complexité des situations de conduite gérable - existence d'infrastructures virtuelle (cartographie) et physique adaptées. > Pas de rupture, l'autonomie sera progressive et se fera de niches en niches.

3.2. Possibles serviciels

Pas de révolution des coûts des services – mais des transformations sous conditions > Elargit le périmètre (temporel, géographique) de pertinence d'un bus/navette. > Dans un scenario robot-taxi partagé, le coût se rapproche de celui d'une voiture individuelle seulement à de forts taux d'occupation.

3.3. Usages individuels

Entre fondamentaux stables (mobilité perçue comme un droit, pratiques individuels, confort) et signaux faibles de changement (partage, à la demande, numérique) > Pas une attente immuable et universelle de ce qu'est un bon service de mobilité

3.4. Demande collective

Une pluralité de demandes pour une « bonne » mobilité... > Différents compromis possibles entre une mobilité sûre, propre, accessible, confortable, frugale en espace urbaine.

3. DESSINER LES FRONTIÈRES DU POSSIBLE

Cette partie analyse les quatre éléments structurant notre grille de lecture des scénarios décrits dans la Figure 1. Ces éléments constituent également des résultats en tant que tel de notre étude.

3.1. Possibles technologiques : l'autonomie sera progressive et se fera de « niches en niches »

Travailler sur un futur déterminé par une technologie aussi immature que celle du véhicule autonome implique une forte incertitude quant au calendrier de déploiement de cette technologie. Il est d'autant plus difficile d'avoir une idée de l'avancement de cette technologie que le véhicule autonome fait aujourd'hui l'objet d'un buzz médiatique entretenu par les effets d'annonce des acteurs industriels. Bien que les tests des véhicules de niveau 4 montrent des résultats impressionnantes, il est vraisemblable que la technologie autonome arrivera de manière progressive et non comme la rupture brutale parfois suggérée dans les médias.

Une classification en cinq niveaux a été créée afin de mieux décrire les possibles technologiques du véhicule autonome. Les niveaux 1 et 2 désignent des véhicules avec respectivement une et plusieurs fonctions autonomes simultanées (ex. volant et accélération), où la surveillance de la conduite est laissée au conducteur ; ces véhicules sont déjà commercialisés. Le niveau 3 d'autonomie conditionnelle permet de ne plus avoir à surveiller la conduite dans certaines situations ; le conducteur doit cependant rester derrière le volant en cas de

besoin⁴. Le niveau 4, plus nettement disruptif, renvoie à des véhicules qui n'ont plus besoin de conducteur humain dans un nombre significatif de modes de conduite⁵. Enfin, le niveau 5 renvoie à une situation où le véhicule est autonome dans n'importe quelle situation. Trois incertitudes technologiques limitent aujourd'hui le développement d'un véhicule autonome et commercialisable d'un niveau 4 avec un périmètre opérationnel relativement large.

La maîtrise de l'intelligence artificielle

Développer une intelligence artificielle capable de conduire un véhicule dans un environnement de conduite complexe est difficile en raison du très grand nombre de situations auxquelles peut être confronté un conducteur (Jangla, 2018). On peut lister quatre facteurs de complexité des situations de conduite : la densité des objets en mouvement dans l'environnement du véhicule ; la vitesse de ces objets ; la nature des objets et la complexité de leur comportement (notamment dans le cas où le véhicule autonome coexiste avec des piétons, des cyclistes ou des conducteurs humains) ; les conditions météorologiques. De plus, certaines habitudes de conduite sont difficiles à définir dans le cadre de l'intelligence artificielle : adaptation de la conduite en fonction des habitudes locales, communication visuelle avec les autres utilisateurs

-
4. La capacité du conducteur à pouvoir reprendre la main du véhicule fait débat entre les constructeurs.
 5. Ces situations de conduite, également appelées “operational design domain”, ont fait l'objet de catégorisations (voir <https://vsi-labs.com/knowledge/2017/2/13/understanding-operational-design-domains>).

de la voirie pour anticiper les comportements, etc. Plusieurs méthodes ont été développées afin d'améliorer l'apprentissage des véhicules⁶, mais ces solutions restent imparfaites dans la mesure où il est impossible de simuler l'exhaustivité des situations de conduite, et que la traduction des raisonnements humains par les ordinateurs reste difficile. En outre, les technologies de "deep learning"⁷ suscitent des enjeux de transparence et d'attribution des responsabilités, dans la mesure où il est impossible de remonter une chaîne logique permettant de comprendre comment la décision a été prise. On ne peut pas non plus exclure les possibilités de piratage des véhicules autonomes qui pourraient mettre des vies en péril⁸. Face à ces contraintes, il est probable que le déploiement de cette technologie dépende de l'appétence au risque de ses potentiels utilisateurs et des régulateurs, appétence variable selon les cultures nationales⁹.

Les coûts de l'équipement lié à l'autonomie

Le coût des équipements associés à l'autonomie est lié à la configuration des différents capteurs qui permettent au véhicule autonome de « sentir » son environnement (Smarter Cars, 2017). Sur ce point, il existe un débat entre les constructeurs. Si la plupart s'accordent sur le fait que trois types de capteurs sont essentiels (lidar, radar et caméras), Tesla affirme qu'il est possible de développer un véhicule autonome sans lidar mais avec des caméras haute définition éventuellement soutenues par les radars et/ou des outils moins coûteux. De plus, les capteurs existants ne détectent pas encore tous les « objets » dans l'environnement du véhicule : plusieurs prototypes ont ainsi encore des difficultés à détecter des cyclistes (Elektrec, 2017). Ces enjeux sur le *hardware* du véhicule autonome

-
6. Notamment des outils de simulation numériques qui confrontent les logiciels à une diversité de situations de conduite observées dans le réel et la collecte de données de conduite *via* des flottes de véhicules en circulation (option choisie par Tesla). A noter que les deux techniques peuvent être combinées, à l'instar de Waymo, qui mobilise à la fois des données de conduite en situation réelle, sur circuit et des outils de simulation numérique.
 7. Méthode d'apprentissage automatique fondée sur l'analyse de modèles de données par des réseaux neuronaux. Pour plus d'informations, voir https://fr.wikipedia.org/wiki/Apprentissage_profond
 8. On notera avec curiosité l'épisode de piratage de masse de véhicules autonomes dans un film hollywoodien (cf. *Fast and Furious 8*, 2017).
 9. La récente législation californienne pour l'expérimentation de véhicules autonomes qui autorise dès le milieu de l'année 2018 les constructeurs à tester leurs véhicules avec un opérateur à distance et non plus à bord témoigne ainsi de cette propension à la prise de risque pour l'innovation (<https://www.dmv.ca.gov/portal/dmv/detail/vr/autonomous/auto>).

révèlent également une corrélation entre la fiabilité et le coût du véhicule (Fast Company, 2014) : plus le véhicule est sûr, plus son coût est important. L'avancée de la technologie devrait cependant faire baisser les coûts au cours des prochaines années.

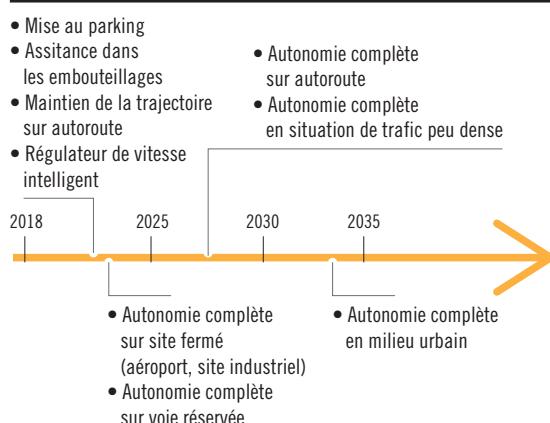
Le choix et la mise en œuvre des infrastructures

Les infrastructures nécessaires à la circulation du véhicule autonome seront autant physiques que numériques. Le développement d'une cartographie numérique précise des voies de circulation est ainsi déterminant, dans la mesure où elle permet aux véhicules d'avoir en permanence et en temps réel un référentiel à comparer avec l'environnement détecté par leurs capteurs, et ce de manière à améliorer leur géo-localisation et à mieux planifier leurs actions. Le développement de cette cartographie soulève une question d'intérêt général : peut-elle rester privée sans poser des problèmes de régulation publique ? Comment assurer que tous les territoires soient également couverts ? Comment organiser une coordination et certaines formes de partages entre acteurs ? Au-delà des infrastructures numériques se pose également la question des infrastructures physiques : lesquelles sont nécessaires et à quel coût ? La qualité des infrastructures routières (visibilité des panneaux de signalisation et du marquage au sol par exemple) conditionne d'ores et déjà la possibilité d'activer des fonctions de semi-autonomie comme le maintien de trajectoire ou le régulateur de vitesse dynamique. En ce qui concerne la pleine autonomie, les réflexions sur les infrastructures sont plus ou moins avancées selon les contextes d'application : les besoins sont ainsi mieux identifiés pour la circulation sur autoroutes que pour celle de robot-taxis en environnement urbain. Enfin, la connectivité pourrait être un autre grand défi, dans la mesure où les véhicules autonomes ont besoin d'un réseau de télécommunication puissant et fiable. Les solutions technologiques actuelles de type 5G pourraient ne pas être suffisantes ou très coûteuse et inégalement disponibles selon les territoires (Intel, 2017 ; Lindeman, 2017).

Prenant en compte ces incertitudes techniques, il est vraisemblable que le développement du véhicule autonome sera progressif. Concrètement, cela signifie que des véhicules de différents niveaux d'autonomie seront progressivement expérimentés, avec chauffeur ou avec opérateur à distance, puis introduits commercialement dans différentes niches d'usages, zones de conduite et territoires. Partant de ce postulat, nous avons établi un calendrier hypothétique de développement qui reflète la synthèse des connaissances technologiques que nous avons pu rassembler au cours de ce travail. Ce calendrier concerne la « possibilité technologique », c'est-à-dire

la disponibilité d'une technologie suffisamment « mûre » pour être validée par les autorités et commercialisée en masse. Il ne prend pas en compte les délais supplémentaires pour obtenir les conditions de déploiement commercial de la technologie : homologation, adaptation de certaines régulations, solutions d'assurance adaptées, déploiement des infrastructures physiques et virtuelles, etc. Afin de faciliter la description des scénarios, nous schématisons l'évaluation technologique en deux phases : une première phase (phase A), où l'autonomie reste cantonnée à des usages de niches, de plus en plus nombreux ; une seconde phase (phase B), où, après avoir atteint un seuil de diffusion, l'autonomie se généralise (voir Figure 3). Cette généralisation prend ensuite du temps, du fait de l'inertie du renouvellement du parc (voir Figure 6).

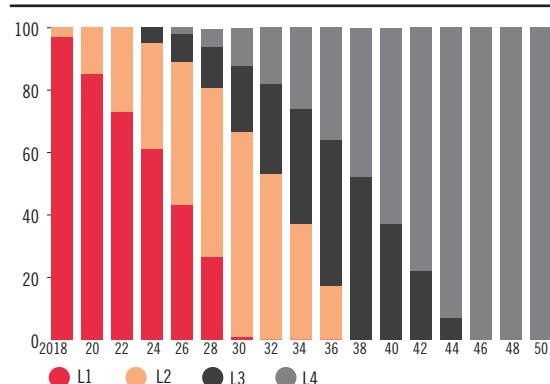
Figure 5. Hypothèses technologiques utilisées dans cette étude



Source: Idri.

Nb: les dates indiquées sur ce graphique sont hypothétiques, elles ont vocation à changer selon les conditions de déploiement.

Figure 6. Illustration de l'influence de l'inertie du parc sur le rythme de déploiement des différents niveaux d'autonomie du véhicule autonome



Notes: Nous faisons l'hypothèse que les acheteurs des nouveaux véhicules basculent progressivement mais systématiquement vers des véhicules de plus grande autonomie, et que chaque véhicule a une durée de vie de 10 ans.

3.2. Possibles serviciels : analyse du coût d'accès à l'autonomie pour l'usager

Les possibles serviciels sont les services et les modèles économiques associés qui rendent disponible la technologie autonome aux usagers. Comme expliqué dans la partie méthodologique, l'autonomie ne pourra permettre le développement d'offres économiquement viables qu'à certaines conditions que nous explorons dans cette sous-partie¹⁰. Le coût de l'accès à l'autonomie pour l'usager dépend à la fois du coût des véhicules et des infrastructures physiques et virtuelles nécessaires à leur fonctionnement. Il dépend également des modèles économiques d'usage (propriété privée ou usage serviciel, degré de partage, service public de mobilité, etc.), mais aussi du cadre de régulation (subventions, taxes, modes de tarification de l'usage de l'espace urbain).

L'objectif de cette sous-partie est d'analyser les coûts de trois services de mobilité autonome (voiture individuelle, robot-taxi, bus), suivant leurs conditions d'exploitation, afin de renseigner l'écriture des trois scénarios.

Le cas d'un propriétaire individuel

Le coût incrémental à l'achat d'une voiture autonome dépend des choix technologiques. Par exemple, la technologie de pilotage autonome de Tesla, qui n'utilise pas de lidar, est censée coûter environ 8 000 €, contre 65 000-80 000 € pour celle de Google/Waymo qui a fait d'autres choix d'équipements. L'incertitude technologique décrite précédemment se répercute donc en incertitude sur les coûts. **Dans tous les cas, des véhicules dotés d'une forte autonomie ne seront pas accessibles à un acheteur moyen pendant encore un certain temps**, mais seront plutôt acquis par des clients haut de gamme (Tableau 3). **Toutefois, des véhicules avec un niveau d'autonomie intermédiaire seront probablement beaucoup plus accessibles, avec un coût incrémental plus proche de 1 000-2 000 €.** Par exemple, la Honda Civic vendue 15 000 € possède des fonctions d'assistance à la conduite pour l'autoroute (régulateur de vitesse dynamique, maintien de la voie, freinage et changement de voie). **Le coût de long terme des véhicules autonomes est donc difficile à estimer, mais il est raisonnable de penser qu'il baissera au fur et à mesure de la**

10. Sur cette question, voir aussi G. Bourgeois, « Les conditions économiques de développement des nouveaux services de mobilité envisageables avec les véhicules autonomes sont loin d'être évidentes », in Zwirn *et al.* (2017).

maturation de la technologie. Un rapport d'IHS Markit¹¹ estime que le surcoût pourrait atteindre 2 500€ (IHS Markit, 2014), quand d'autres suggèrent plutôt 8 000€ (Quartz, 05/03/2017). **En ce qui concerne les coûts d'utilisation,** certains coûts additionnels sont à prévoir : mise à jour des logiciels et service de connectivité (ex. forfait 5G, service de cartographie haute définition) ; maintenance des ordinateurs embarqués (selon la durée de vie de l'équipement informatique) ; coûts d'assurance probablement plus élevés à court terme.

Le coût du véhicule autonome devrait donc être plus élevé que celui d'un véhicule « standard », ce qui prédisposent les véhicules autonomes à une gamme *premium* destinée à des consommateurs à revenus élevés valorisant fortement leur temps et leur confort. L'acceptabilité à payer des consommateurs ne serait toutefois pas illimitée, comme le montre un récent sondage réalisé auprès d'experts de la mobilité, dont l'Iddri a été partenaire¹². Interrogés sur le coût additionnel que seraient prêts à payer les consommateurs pour acquérir un véhicule autonome, 75 % des experts ont répondu que le surcoût serait compris entre 1 et 25 % par rapport au coût d'un véhicule standard, ce qui correspond à un surcoût absolu pouvant atteindre 6 500€ pour une voiture neuve.

Tableau 3. Hypothèses retenues sur le coût fixe de la technologie autonome

	2017	2030	2050
Véhicule à haute autonomie	+65 000 80 000 €	+8 000 12 000 €	+3 000 5 000 €
Coût fixe L3/L4	+1 500 6 500 €	+ 800 1 500 €	+ 800 €

Source: Iddri.

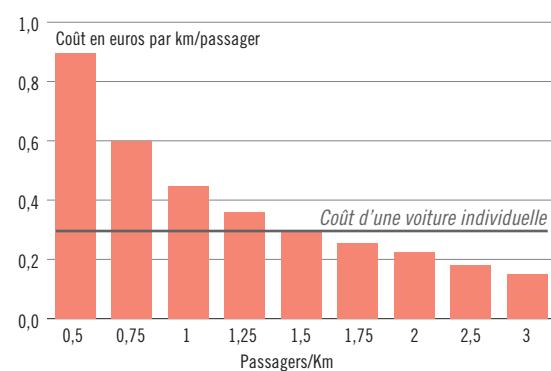
Note : Rappelons qu'en 2016, le prix moyen d'une voiture neuve vendue en France était de 25 800€ (Bergerolle, 2017) et de 15 000€ environ pour une voiture d'occasion (Chimits, 2016).

Le cas d'un usager d'une flotte de robot-taxis partagés

Nous avons développé des estimations de coût par kilomètre pour l'utilisateur d'un service de flotte de robot-taxis qui montre la difficulté de fournir une offre économiquement compétitive (Figure 7). Ces estimations sont présentées suivant le taux d'occupation du véhicule, afin d'évaluer l'impact du partage de trajet sur les coûts. Le taux d'occupation intègre également le fait que les véhicules voyagent à vide une partie du

temps lorsqu'ils viennent récupérer un passager ou juste après l'avoir déposé à sa destination. Ainsi, un taux de 1 passager/km équivaut à l'utilisation d'un propriétaire de sa voiture : chaque km est parcouru avec le conducteur comme « passager » de sa propre voiture. Un taux de 3 passagers par voiture est un taux moyen qui, avec les kilomètres à vide, nécessite des pointes à 4 ou 5, voire plus de passagers.

Figure 7. Coût par kilomètre d'un voyage en robot-taxi partagé en fonction du taux d'occupation



Source : Iddri

Notes: Les véhicules sont supposés être entièrement électriques. Nous faisons également l'hypothèse que le véhicule parcourt 220 000 km pendant sa durée de vie. Les estimations de coûts prennent en compte les autres frais de fonctionnement liés à la gestion de la flotte – incluant les coûts de financement par véhicule, les coûts de commercialisation et d'entretien, les coûts d'infrastructure, etc.

La Figure 7 peut servir de base pour comparer la viabilité économique des services de flottes de VA type robot-taxis à d'autres formes de transport. Ainsi, nous avons également représenté sur ce graphique le coût d'utilisation d'une voiture individuelle, estimé entre 0,28 à 0,34 euro/km. Cette comparaison montre clairement que le coût d'une flotte de robot-taxis peut être équivalent ou inférieur à celui d'un véhicule individuel seulement si le taux d'occupation est élevé, ce qui implique de partager les véhicules et de limiter le plus possible les kilomètres parcourus à vide. Prenons deux exemples, l'un prospectif et l'autre réel. La simulation réalisée par ITF (ITF, 2015) d'une flotte de robot-taxis remplaçant l'ensemble des transports motorisés (voiture et bus) à Lisbonne et s'appuyant sur une optimisation théorique des flux parvient à un taux d'occupation moyen d'environ 3,27 passagers, ce qui peut être considéré comme une borne haute. Or une telle performance n'est pas aisée à atteindre : d'après les données disponibles (Heath, 2016, Cramer, Krueger, 2016), seulement 20 % de l'ensemble des trajets réalisés en Uber sont partagés et 39 % des kilomètres sont parcourus à vide, ce qui, avec l'hypothèse d'une moyenne de deux passagers par voiture, correspond à un taux

11. Information Handling Services Markit, entreprise d'information économique.

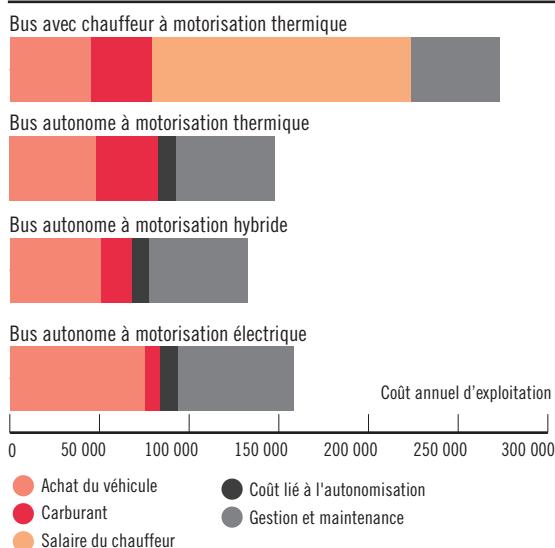
12. Sondage réalisé par Green Business Development auprès de plus de 330 experts de la mobilité issus de 19 pays européens (European New Mobility Survey 2018, <http://www.gbd.green/>).

d'occupation de 0,80-0,85. Améliorer le taux d'occupation des véhicules afin d'assurer la rentabilité des offres de robot-taxis demande donc un certain niveau de densité des déplacements, mais aussi des incitations au partage (gestion, planification, voies réservées, etc.).

Le cas d'un usager de bus

La suppression du conducteur permet de réduire les coûts d'exploitation (Figure 8). Ce gain peut être réinvesti de différentes manières, par exemple dans l'achat de bus avec des motorisations moins émettrices en carbone, tels que l'électrique ou l'hybride, ou dans l'amélioration du service en termes de desserte.

Figure 8. Coûts annuels d'un service de bus non autonome et autonome, avec différents types de motorisations



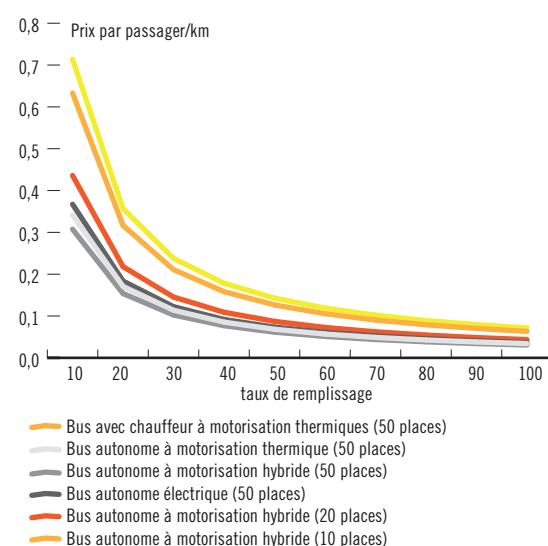
Source : Iddri.

Note: nous faisons l'hypothèse que la technologie autonome pour un bus coûte environ 25 000€.

La baisse du coût d'exploitation sur certaines lignes peut également permettre d'étendre la péréquation à d'autres lignes non mises en œuvre aujourd'hui. L'autonomie pourrait ainsi rendre possible des dessertes sur des lignes aujourd'hui non viables ou avec un taux d'occupation faible, ce qui permettrait d'étendre le périmètre (à la fois géographique et temporel) du réseau de bus. Ce résultat est illustré par la Figure 9, qui représente le coût moyen par passager-kilomètre (sans subvention). Pour un coût donné, il est possible de mettre en place des lignes viables même avec moins d'usagers : ainsi, pour un coût de 0,30 euros par passager kilomètres, un bus autonome est viable à partir d'un taux de remplissage d'environ 10 %, contre environ 20% pour un bus avec chauffeur (en considérant un véhicule de 50 places à motorisation

thermique). Le cas du bus à 20 places est testé, car diminuer la taille du bus est une nécessité pour assurer l'efficacité énergétique d'une ligne peu fréquentée. On observe que le ratio coût fixe de la technologie autonome/passager est plus élevé pour un bus de 20 places que de 50 places, ce qui explique le prix plus élevé sur la figure. Si l'autonomie ouvre de nouveaux horizons aux bus, il faudra donc bien optimiser la taille des véhicules dans la gestion de la flotte pour assurer efficacité économique et énergétique. La suppression du coût du chauffeur permet aussi d'envisager une organisation de la desserte qui s'adapte mieux aux flux de voyageur, avec des véhicules plus petits mais plus nombreux, et dont la mise en circulation dépend de la demande. Une telle organisation permettrait ainsi de réduire le coût énergétique du service (du fait d'un meilleur taux d'occupation). Les gains énergétiques et économiques doivent cependant être mis en regard du coût d'investissement dans l'achat de nouveaux véhicules, probablement plus coûteux que les véhicules classiques. L'impact économique de l'autonomie sur l'exploitation des transports en commun doit cependant être apprécié dans son ensemble, à l'échelle du réseau entier et non à celle d'une unique ligne existante, en prenant en compte non seulement les coûts d'exploitation mais aussi leur taux d'utilisation.

Figure 9. Coût par passager-kilomètre en fonction du taux de remplissage du bus



Source : Iddri.

Encadré 4. Les systèmes d'exploitation vont-t-il transformer la chaîne de valeur de l'automobile ?

- Avec l'arrivée de l'autonomie, les systèmes d'exploitation vont devenir un élément déterminant de la chaîne de valeur de l'automobile. Or les systèmes d'exploitation sont sujet à un effet de réseaux typique de l'économie numérique, ce qui favorise les positions monopolistiques (Plassat, 2017) : plus un système d'exploitation est installé sur un nombre important de véhicules, plus il sera performant car il pourra apprendre de manière cumulée ; en réaction, il sera plébiscité par un nombre plus important d'utilisateurs, ce qui renforcera sa position dominante. Les fournisseurs des systèmes d'exploitation (Google, Baidu) pourraient donc acquérir une place prépondérante dans la chaîne de valeur de la mobilité autonome : édition des règles pour la construction d'application, mise en œuvre de la plateforme de diffusion de ces applications, collecte des données et plus généralement impacts sur la vision de la mobilité (marketing). Le risque d'une concentration du rapport de force dans les mains de ces fournisseurs doit cependant être tempéré : il n'est pas encore certain que de tels effets de réseaux vont s'exprimer¹³.

3.3. Usages individuels : des tendances de fond et des évolutions à la marge

Le futur de la mobilité autonome ne sera pas uniquement déterminé par une capacité technologique et une offre économique. La manière dont cette mobilité répondra aux demandes individuelles et s'inscrira dans la prolongation de tendances comportementales fortes en matière de déplacements ou contribuera à les remodeler est un point central à prendre en compte. Ces facteurs sont cependant bien plus difficiles à cerner que les avancées technologiques ou les possibles économiques, d'autant plus que, par définition, ils évoluent en fonction des périodes et des contextes culturels. Ainsi, le partage d'une voiture à travers les pratiques de covoiturage ou d'autopartage est-il une tendance de fond ? De quelle manière le véhicule autonome peut-il ou non l'accentuer ? L'individualisation de l'offre des transports collectifs (Duchemin et Marembaud, 2015) initiée par le numérique (itinéraires personnalisés, information en temps réel, tendance au porte-à-porte, etc.) va-t-elle être renforcée avec l'apparition des véhicules autonomes ? Quels nouveaux marqueurs identitaires l'autonomie va-t-elle faire émerger ? Si personne à ce stade n'est en mesure de répondre à l'ensemble de ces questions, on peut néanmoins énumérer ici un certain nombre d'éléments liés aux comportements individuels de mobilité qui

vont probablement conditionner le développement de la mobilité autonome.

Notons dès maintenant que cette partie relativise le discours ambiant d'une transformation de la mobilité et sa forte médiatisation. Les VTC ne représentent ainsi qu'environ 1 % des déplacements dans les métropoles. De même, les tendances au partage des voitures ou le faible taux de possession au sein des jeunes générations sont des signaux faibles qui doivent encore prouver leur force de changement : ce ne sont pas des acquis, surtout en dehors des grands centres urbains. Ces signaux ne s'amplifieront qu'à certaines conditions de transformation des services de mobilité, et c'est tout l'enjeu de notre exploration de la mobilité autonome.

La mobilité individuelle est perçue comme un droit

La diffusion de la voiture individuelle durant la seconde moitié du xx^e siècle est allée de pair avec l'explosion des déplacements individuels et l'apparition dans les pays occidentaux d'une société « hypermobile » (Crozet, 2016). L'hypermobilité est la consécration de la mobilité comme un droit, voire une « condition primordiale » à l'exercice des autres droits fondamentaux (Limousin et Voisin, 2014). Dans de nombreux territoires, la voiture individuelle reste le moyen incontournable d'exercer ce droit. La voiture permet en effet d'aller partout et n'importe quand ; elle est essentielle pour l'accès à l'emploi, et plus généralement pour la participation à la vie économique et sociale (Flonneau et Orfeuil, 2015), ce qui explique que la question de la vulnérabilité liée à la mobilité fasse aujourd'hui partie de l'agenda politique. Dans les territoires très denses où l'utilité de la voiture individuelle décroît en raison de la congestion qu'elle occasionne, l'expression de ce droit à la mobilité se reporte sur les transports collectifs : ainsi, en Île-de-France par exemple, la qualité et l'efficacité des transports en commun est un enjeu politique majeur.

Rappeler ce statut fondamental de la mobilité comme un droit a deux implications pour notre réflexion sur le futur développement du véhicule autonome. D'une part, l'abandon du modèle de la voiture individuelle est illusoire si on ne fournit pas aux individus un service de mobilité qui assure la disponibilité quasi immédiate d'une solution de mobilité motorisée, et ce à tout moment du jour et de la nuit. Il est certes envisageable de remplacer la plupart des déplacements actuellement réalisés en voiture par d'autres modes de transport, mais si un individu n'a pas la certitude qu'il pourra avoir accès à un véhicule motorisé en cas de besoin, il est peu probable qu'il acceptera de se séparer de son

13. Voir par exemple <http://ben-evans.com/benedictevans/2017/8/20/winner-takes-all>

véhicule personnel. D'autre part, les mesures politiques ayant pour conséquence de limiter la mobilité, notamment automobile (taxation supplémentaire du carburant, restriction du stationnement, limitation de l'emprise sur la chaussée), font l'objet d'une forte contestation sociale, que connaissent d'ailleurs bien les responsables politiques locaux qui tentent de développer les modes alternatifs à la voiture dans leur ville. Rappeler ce coût politique des mesures anti-voiture n'est pas si trivial lorsque certains imaginent que le véhicule autonome va rendre automatiquement possibles les mesures de réduction de place de la voiture en ville ou sa tarification (péage dynamique).

Les pratiques de mobilité demeurent très individualistes

À l'heure où la littérature consacrée aux évolutions de la mobilité n'a de cesse de rappeler que le partage est la nouvelle tendance du transport (Fulton *et al.*, 2017), cette assertion peut sembler contradictoire. Pourtant, les pratiques actuelles, même collaboratives, montrent que la mobilité reste largement individualiste, et va probablement le rester. Dans l'agglomération parisienne, deux tiers des individus préfèrent posséder une voiture plutôt que d'y recourir au coup par coup (40 % à Paris intramuros) (Obsoco, 2014). De nombreux sociologues ont ainsi montré que la voiture était perçue comme un prolongement de l'espace intime, un espace généralement associé au temps pour soi, à la détente et à la déconnexion (Créno, 2016).

L'une des raisons qui expliquent qu'aujourd'hui le covoiturage peine à se développer pour les déplacements du quotidien est que les conducteurs perçoivent le fait de partager leur habitacle comme une contrainte. Certains sont prêts à le faire de temps en temps, mais très peu l'enviagent pour tous leurs trajets. De plus, l'expérience semble montrer que si l'on arrive à recruter des conducteurs prêts à partager leurs trajets, recruter des passagers prêts à abandonner la flexibilité de leur véhicule individuel est moins aisé. Une étude récente d'ITF (International Transport Forum) sur la mobilité partagée à Helsinki (Finlande) témoigne de cette pratique individualiste du transport (ITF, 2017). Les auteurs de cette étude ont en effet interrogé les automobilistes sur le nombre de passagers avec qui ils préféreraient partager un véhicule, question à laquelle la plupart des répondants ont répondu sept personnes. La principale raison invoquée par les automobilistes pour justifier leur choix est que cette configuration se rapproche de l'expérience d'un transport collectif, où on ne se sent pas obligé de parler aux gens, tout en ayant le confort d'un véhicule de taille limitée. Ce résultat n'est pas étonnant si on considère la

gêne que l'on peut avoir par exemple quand on se retrouve à partager un ascenseur ou un taxi avec une personne inconnue.

Ce constat pose une question intéressante du point de vue de l'expérience qu'auront les futurs utilisateurs de véhicules autonomes dans le cas de modèle serviciel collectif : faut-il nécessairement que les véhicules aient une taille minimale afin de pouvoir reproduire les conditions d'expérience d'un transport en commun ? Ou peut-on imaginer que les véhicules autonomes soient conçus de manière à reproduire un sentiment d'individualisation ?

Le numérique a créé de nouvelles exigences, mais aussi de nouvelles inégalités

GPS, applications d'aides à la mobilité, informations en temps réel du trafic autoroutier et des transports en commun, billettique intégrée, relation client instantanée, plateformes de mobilité partagée : beaucoup de nouvelles fonctionnalités sont apparues dans le quotidien des voyageurs grâce au numérique. Ces outils ont favorisé à la fois le développement des services de mobilité collaborative (covoiturage, VTC, autopartage, vélo en libre-service) et des pratiques multimodales, en fluidifiant l'information entre les différentes offres de mobilité (Duchemin et Marembaud, 2015). Mais ils ont aussi contribué à créer de nouvelles exigences de la part des voyageurs, et en premier lieu une exigence de simplicité et de fluidité dans l'expérience de mobilité. Cette exigence n'est pas propre au secteur des transports (Vitaud, 2017) : l'expérience numérique et l'ergonomie des applications smartphone habituent le consommateur à un haut degré de simplicité (achat en un clic, enregistrement automatique des données personnelles, interface intuitive, etc.) ce qui fait que toute friction (temps d'attente, multiplicité des procédures d'enregistrement, interface non intuitive, fragmentation des services entre plusieurs application) est perçue comme une contrainte. Cette exigence d'ergonomie explique par exemple qu'une application comme Captain Train a pu s'imposer comme une alternative à Voyages SNCF, ou que l'on voit apparaître de plus en plus « d'aggrégateurs » de services de mobilité qui mutualisent les services sur une même interface. Les outils numériques d'aide à la mobilité ont également accentué l'exigence de ponctualité et de maîtrise du temps de parcours. Cette exigence n'est pas nouvelle, et trouve sa source dans l'augmentation des loisirs et des activités qui est allée de pair avec l'augmentation des niveaux de vie dans les pays occidentaux (Crozet, 2016). Néanmoins, les outils du numérique ont accentué ce phénomène : le temps de trajet est un critère fondamental du

choix modal et une enquête en ligne réalisée en 2014 dans le cadre de l'Observatoire des mobilités émergentes montre que la satisfaction à l'égard de la mobilité quotidienne est significativement corrélée au temps de trajet (Obsoco, 2014).

Si le numérique a introduit de nouvelles exigences, il a également renforcé les inégalités d'accès à la mobilité dans la mesure où l'accès à ces nouveaux outils est très inégal suivant les territoires et les individus : en 2015, le taux d'équipement en smartphone des populations non diplômées n'était en effet que de 21 % contre 73 % pour les diplômées du supérieur ; il s'établissait à 15% pour les personnes âgées de 70 ans et plus (Brice *et al.*, 2015). Même si ces chiffres ont probablement évolué depuis 2015, ils illustrent les inégalités d'accès au numérique entre les territoires. Cette « fracture numérique » ne se résume toutefois pas à un enjeu d'équipement. Une étude réalisée en Île-de-France montre que la maîtrise des applications d'aide à la mobilité est déterminée par les mêmes facteurs sociodémographiques : elle décroît avec l'âge et s'avère meilleure chez les CSP+ et les étudiants (Adoue, 2016).

Les outils numériques contribuent donc à une certaine polarisation des pratiques de mobilité, qui oppose d'un côté un public urbain en moyenne plus jeune et plus aisé, connecté et pratiquant une mobilité multimodale, et de l'autre un public périurbain et rural, moins aisé et moins connecté et dont la mobilité repose essentiellement sur la voiture individuelle. Au-delà de la question du coût de la mobilité autonome, les modalités d'accès sont donc un paramètre essentiel de l'impact social de cette technologie, notamment dans une perspective de service de mobilité autonome : faudra-t-il nécessairement un smartphone pour accéder à un véhicule autonome par exemple ?

La mobilité est une pratique culturelle et sociale

Interrogez un habitant de Bamako, Niamey ou Ouagadougou sur le mode de transport qui lui semble le plus désirable pour se déplacer en ville : il répondra probablement la voiture (Olvera *et al.*, 2002). Posez la même question à un jeune parisien : il répondra plus souvent le métro ou le vélo. Si ces préférences sont en partie liées à des différences contextuelles entre les villes – le réseau de transport en commun est très lacunaire dans les capitales africaines évoquées –, elles sont également déterminées par des représentations, des imaginaires et des valeurs différentes associés aux modes de transport (Vincent-Geslin et Ravallet, 2015). Si en Afrique la voiture est associée à une image de richesse et de réussite sociale, à Paris ou dans d'autres grandes villes européennes, elle est

plus associée à un objet encombrant, peu pratique et coûteux. Ces représentations ne sont pas figées dans le temps : ainsi le vélo a-t-il vu son image se redorer très rapidement dans le milieu des années 2000, avec une augmentation très forte de sa pratique dans les centres urbains denses (Ravallet et Bussière, 2012). Cela nous dit également qu'il **n'y a pas une attente immuable et universelle de ce qu'est un bon service de mobilité** (fiabilité, coût, fréquence, vitesse, sociabilité, bruit, pollution, etc.) : **cette demande sociale évolue sans cesse et il est très probable qu'elle va évoluer avec la mobilité autonome.**

La question de l'imaginaire associé à la mobilité autonome (qui peut prendre différentes formes) est une dimension centrale pour imaginer le futur de cette technologie, dans la mesure où l'imaginaire possède une forte capacité à orienter les actions humaines. Ainsi, une récente étude d'ITF sur les préférences de mobilité entre Dublin, Helsinki et Auckland montre que ces préférences peuvent être très variables suivant les imaginaires locaux. Ces imaginaires seront en grande partie façonnés par les principaux promoteurs du véhicule autonome ; l'engouement actuel pour cette technologie n'est d'ailleurs pas étranger au fait qu'elle est portée par de grands acteurs du numérique tels que Google ou Tesla, qui ont une image très positive. Néanmoins, les pouvoirs publics vont avoir également un rôle décisif à jouer pour construire ces représentations.

3.4. Demande et régulation collective : concurrences et synergies

Les incertitudes sur le futur de la mobilité portent sur la technologique, les modèles de services possibles et les transformations des usages individuels, comme l'ont montré les trois sous-parties précédentes. Mais le futur de la mobilité est incertain pour une quatrième raison : les décisions publiques nécessaires pour organiser le cadre de cette mobilité font l'objet d'une concurrence entre différentes demandes collectives légitimes, telles que la sécurité, le confort, la fiabilité et la vitesse, le respect de l'environnement, l'accessibilité géographique et financière, ou la décarbonation. Or ces demandes ne sont pas toujours conciliables lorsqu'il s'agit de construire des cadres de régulation et des systèmes de mobilité. Par exemple, certaines infrastructures ferrées comme le TGV ou des projets comme le Charles de Gaulle Express répondent à une demande de confort et de rapidité, pas nécessairement d'accessibilité géographique et financière puisque ces modes de transport sont généralement coûteux et qu'ils accentuent les disparités d'accès et donc d'attractivité entre les

territoires. De même, les aménagements urbains visant à faciliter les déplacements en voiture (places de stationnement, doublement des voies, etc.), et donc le confort des automobilistes, se font souvent au détriment des espaces alloués à d'autres modes de transport (piétons, cyclistes), et favorisent les mobilités émettrices de pollution et d'émissions de gaz à effet de serre. Différents compromis sont envisageables, donnant une place plus ou moins forte à certaines demandes collectives en matière de mobilité. L'arrivée de la mobilité autonome pourrait conduire à changer ces équilibres ou à faire perdurer les équilibres actuels. L'un des apports de notre étude est ainsi d'interroger les possibles chemins de développement selon une diversité de demandes collectives de mobilité durable (qui sont représentées dans la grille d'évaluation), et de faire apparaître les points de friction entre certaines d'entre elles.

4. SCÉNARIOS

Résumé

- **Une mobilité autonome individuelle.** Ce scénario repose sur un système similaire à celui de la voiture individuelle, qui s'appuie sur une régulation du type « économie de marché », un investissement privé dans le véhicule, une infrastructure publique, des règles d'accès et de fonctionnement et un marketing centré sur le prestige et la liberté. La mobilité, fut-elle autonome, reste structurée par les bénéfices associés à la mobilité individuelle (confort, distinction, liberté). Le développement de cette nouvelle mobilité progresse en fonction des progrès technologiques et de la demande de ménages aisés et technophiles, sans véritable stratégie de déploiement. Les constructeurs automobiles et les automobilistes œuvrent à préserver le modèle de cette industrie et la place de l'automobile dans la société. Les acteurs du numérique participent à ce développement en vendant leurs services et en créant des partenariats avec les acteurs traditionnels.
- Pendant la coexistence entre différents niveau d'autonomie, les gains associés aux véhicules autonomes sont faibles (ex. fluidité), ce qui pousse les constructeurs et automobilistes concernés à demander des adaptations de l'infrastructure (ex. accès réservé à certaines voies) pour soutenir le développement de cette technologie d'avenir et améliorer ses bénéfices.
- **Une mobilité autonome collective.** Ce scénario s'inscrit dans le mode organisateur « transport en commun », qui repose sur une régulation du type « économie administrée » : investissement public, planification de l'offre, infrastructures réservées et marketing centré sur les valeurs du service public. Dans ce scénario, l'autonomie est mobilisée par les collectivités locales et les acteurs du transport public pour améliorer l'image et l'attractivité des transports en commun et les développer dans des zones où ils n'étaient peu ou pas présents. Les collectivités locales profitent de leur pouvoir de

négociation ainsi que de leurs compétences de gestion de l'espace urbain (adaptation des infrastructures, régulation de la circulation, etc.) pour rendre possible l'utilisation de la technologie à court-terme – c'est-à-dire lors de l'expérimentation d'une technologie autonome encore immature –, atout que n'ont pas les acteurs privés. Le développement progressif de navettes autonomes, de toutes tailles, fréquentes et fiables, sur des sites propres, permet de compléter les infrastructures lourdes de transport en commun et les modes actifs. Transports en commun et mobilité individuelle continuent de coexister, mais les premiers augmentent considérablement leur part de marché et profitent de nombreux sites propres et de priorité dans l'usage de la voirie.

- Au fur et à mesure que l'acteur public développe ces offres de mobilité autonome, une pluralité d'acteurs privés proposent leurs offres innovantes de mobilité autonome ou demandent l'ouverture des marchés publics afin de pouvoir les mettre en œuvre.
- **Une mobilité autonome à la demande.** Dans ce scénario, les technologies autonomes sont mobilisées pour transformer la mobilité par le robot-taxi partagé : algorithmes et autonomie se combinent afin que plusieurs clients partagent facilement une partie de leur trajet, ce qui permet de faire baisser le prix de la course et de réduire le nombre de véhicules. À côté des transports en commun et de la mobilité individuelle se développent donc ces offres privées fondées sur une logique d'optimisation de l'offre sur les zones les plus rentables, grâce à des outils de tarification dynamique permettant d'utiliser au mieux la capacité à payer des usagers. La communication s'appuie sur des offres personnalisées et flexibles. Ce scénario reflète plus que les autres l'irruption et le poids croissants des nouveaux acteurs de la mobilité issus du numérique (Google, Uber, Didi, Baidu, Apple, Lyft, etc.), qui disposent de ressources financières importantes. De nombreuses expérimentations sont menées avec des robot-taxis (d'abord avec des conducteurs sous une supervision à distance) dans les métropoles et dans différents cas d'usage (aéroport, sites fermés, zones piétonnes, sites propres existants, etc.).
- La technologie autonome parvenant à maturité, ces offres de service se développent plus ou moins rapidement selon les contextes et les conditions d'opération et ces acteurs expriment des demandes aux pouvoirs publics et commencent à négocier (ex. accès aux voies réservées aux bus et navette autonome).

4.1. L'autonomie peut se développer selon différents modes organisateurs

Une grande diversité de solutions de mobilité coexisteront durant la phase de développement de la mobilité autonome, explorant les possibles et les limites des quatre dimensions présentées dans la section précédente. **Plusieurs directions principales pourraient apparaître, que nous explorons ici avec le concept de « mode organisateur ».**

Nous définissons comme mode organisateur le mode de transport autour duquel nous organisons nos villes et nos espaces ainsi que la régulation (vitesse, tarification, autorisation, etc.) associée à ce mode. Celui-ci s'incarne dans l'espace public à travers des infrastructures dédiées et a un impact à la fois sur le succès des autres modes de transport¹⁴, l'organisation spatiale des activités et notre rapport à l'espace et au temps. Il ne représente pas uniquement le véhicule physique, mais aussi les infrastructures, les modes de régulation ainsi que les représentations attachées à ce mode. La voiture privée individuelle est un bon exemple de mode organisateur. En 2008, en France, 65 % des déplacements et 83 % des distances étaient réalisés en voiture (ENTD, 2008). Cet essor de l'automobile a été rendu possible grâce à des investissements importants au cours du xx^e siècle dans une infrastructure routière dense et granulaire : rares sont les zones d'habitation aujourd'hui à ne pas être desservies par une voie carrossable. L'impact de l'automobile sur le territoire se manifeste à travers des aménagements – les « passages piétons » rappellent qu'en dehors des bandes blanches, ce sont les voitures qui sont prioritaires –, mais également dans l'organisation spatiale des lieux de vie : le concept de supermarché en zone périurbaine n'est devenu pertinent qu'à partir du moment où il prenait moins de temps (et d'effort) de faire quelques kilomètres en voiture plutôt que quelques centaines de mètres à pied et où l'espace était disponible pour créer des parkings. Le déplacement en voiture est également le référentiel par rapport auquel on juge les autres solutions (temps, coût, confort). C'est aussi l'imaginaire de la mobilité qui tend à dominer nos esprits, bien aidé en cela par de fortes dépenses en marketing des constructeurs automobiles¹⁵.

Dans le cadre d'un sondage réalisé en 2018 (Green Business Development, 2018), nous avons interrogé 330 experts européens de la mobilité sur quel serait selon eux le mode de transport principal auquel s'adosserait la mobilité individuelle. Seulement un quart des experts ont répondu que l'usage dominant serait la voiture privée individuelle. La majorité pense que le l'usage dominant sera le robot-taxi (43 % des experts interrogés), et dans une moindre mesure les transports collectifs (31 %).

14. Les différences de succès du vélo entre différents pays peuvent s'expliquer par le niveau de domination de la voiture (Héran, 2014).

15. Les trois constructeurs français faisaient ainsi partie des six plus gros investisseurs en publicité en France en 2016 (<https://www.offremedia.com/renault-lidl-et-procter-gamble-premiers-annonceurs-au-classement-des-investissements-publicitaires>).

Le mode organisateur n'est pas exclusif : la voiture coexiste aujourd'hui avec la marche, le train, le vélo ou le bus. Il peut aussi varier suivant les territoires : dans les grands centres urbains denses, le mode organisateur tend à devenir le transport collectif plutôt que la voiture, et le vélo peut être considéré comme tel dans quelques rares villes moyennes européennes (Copenhague, Amsterdam). Un mode organisateur n'est pas forcément majoritaire en termes de pratiques : il peut devenir organisateur avant même que sa pratique ne se généralise – la régulation a commencé à changer avant même la diffusion massive de l'automobile – ou rester organisateur malgré le fait que son usage se soit réduit : à Paris, l'espace public reste largement organisé autour de la voiture, alors qu'elle n'est qu'un mode minoritaire de déplacement pour les Parisiens.

À partir des quatre dimensions présentées dans la Figure 1 et développées dans la section précédente, nous tirons trois modes organisateurs, trois formes particulières de réponse aux possibles et aux limites du développement de la mobilité autonome. Ces modes organisateurs sont associés à différentes formes de régulation publique, qui fixent un niveau de prescription des pouvoirs publics. Dans le modèle automobile, l'État donne la possibilité à chacun d'investir dans un véhicule et de se déplacer librement sur une infrastructure dotée de règles d'entrée (homologation) et de fonctionnement. Dans un système de transport commun, l'offre est planifiée et majoritairement financée (investissement et opération) par l'autorité publique à travers une fiscalité locale et nationale. Ce fonctionnement mixte est de mise dans de nombreux territoires, mais un nouveau mode organisateur pourrait apparaître : celui organisé par les plateformes numériques, qui utilisent algorithmes d'appariement de la demande et tarification dynamique pour organiser leur offre.

Au niveau de la voirie, ces modes organisateurs se traduisent par des règles collectives qui donnent des droits et des devoirs aux différents usagers, et qui déterminent en cela la performance de chacun des modes de transport. Ces règles pourraient évoluer avec l'arrivée du véhicule autonome : nouvelles règles pour traverser la route, nécessité pour les cyclistes de communiquer avec les véhicules autonomes au moyen d'un émetteur. **Un mode de régulation donne également une place à l'usager** : être automobiliste (i.e exploitant de sa propre offre), usager de la RATP ou client d'Uber ne donne pas les mêmes droits ni les mêmes capacités d'agir. Le levier d'action d'un usager du transport public se situera plutôt au niveau du choix des représentants locaux à travers le vote, tandis que celui d'un usager d'un service de VTC

s'apparente plus aux moyens d'action classiques du consommateur (mise en concurrence, système de notation, etc.). Chacun de ces modes organisateurs donne aussi une place centrale à différents types d'acteurs et modifie ainsi les opportunités et les risques pour le développement durable de la mobilité.

Nos scénarios basés sur ces modes organisateurs sont volontairement contrastés : leur objectif premier n'est pas de décrire une réalité, mais un mouvement dominant, afin de révéler les conséquences et les enjeux de chacun. Cette simplification, ainsi que celle associant étroitement un type d'acteur et un type d'offre, permettent de révéler les mécanismes à l'œuvre au-delà de l'effervescence médiatique et de montrer les marges d'action des puissances publiques dans un futur qui sera inévitablement hybride.

Tableau 4. Description des trois modes organisateurs

	Mode organisateur « voiture individuelle »	Mode organisateur « transports en commun »	Mode organisateur « robot-taxis »
Logique d'organisation et de régulation de l'offre de mobilité	Économie de marché (code de la route, standards d'émissions, fiscalité nationale)	Service public (planification, subvention, péréquation entre services)	Service privé (licence pour opérer, tarification dynamique, algorithmes pour allouer l'offre)
Acteur central de l'offre de mobilité	Constructeurs automobiles	Opérateurs de transport en commun	Acteurs du numérique
Ressources clés	Marques connues du grand public Poids important sur les décisions nationales dans les pays constructeurs (emplois) Connaissance des acheteurs	Connaissances des services de mobilité urbaine Forte collaboration avec les collectivités locales (capacité à exercer une délégation de service public)	Fortes capacités de financement Diversité de modèles économiques Connaissance fine des usagers Capacité forte d'innovation
Handicaps	Pas de culture de la collaboration avec les collectivités locales	Faibles capacités de financement	Absence de culture de collaboration avec les autorités politiques nationales et locales

Source : Iddri.

4.2. Une mobilité autonome basée sur des véhicules individuels (Scénario 1)

Dans ce scénario, la mobilité autonome se développe principalement selon les modes de propriété et d'utilisation des voitures que l'on connaît actuellement. L'autonomie renforce les qualités perçues de l'automobile telles que le confort, l'impression de sécurité ou la praticité, et inscrit toujours plus la voiture comme un symbole moderne de liberté¹⁶, un objet d'attachement. Le développement de cette nouvelle mobilité progresse en fonction des progrès technologiques et de la demande de ménages aisés et technophiles, sans véritable stratégie de déploiement. Les constructeurs automobiles sont les principaux artisans de ce système de mobilité autonome, qui préserve leur industrie, et les acteurs du numérique profitent de ce développement en vendant leurs services et en créant des partenariats avec les acteurs traditionnels.

La lenteur des progrès technologiques ainsi que la difficulté à gérer la complexité liée aux différentes situations de conduite favorisent un développement *“business as usual”* où l'autonomie est perçue comme une aide à la conduite apportant dans un premier temps du confort dans certaines situations spécifiques (embouteillage sur voie rapide). Parallèlement, les offres de transport public ne réussissent pas à tirer de véritables bénéfices de l'autonomie et à mettre en œuvre des offres commerciales viables et attractives, notamment à cause de moyens d'investissement limités. Le développement de l'autonomie à travers des flottes de robot-taxis est également contraint par une faible rentabilité économique, par rapport aux services de taxis et de VTC existants : l'attractivité de cette solution de transport ne dépasse donc pas les centres urbains.

Durant la phase A, certaines limites réglementaires¹⁷, techniques et économiques limitent la pleine autonomie. L'autonomisation est donc graduelle, et certaines fonctions sont progressivement intégrées dans les véhicules haut de gamme : auto-parking, pilotage adaptatif de la vitesse sur autoroute, assistance dans les embouteillages, etc. Ces fonctions font cependant l'objet de restrictions : délimitation de zones autorisées à

16. L'envoi par SpaceX d'une Tesla dans l'espace illustre bien la force de la voiture pour forger notre imaginaire.

17. La convention de Vienne sur la signalisation routière de 1968 ratifiée par la France stipule ainsi que le conducteur doit avoir le contrôle de son véhicule à tout moment. Ce texte devra donc évoluer afin de permettre l'introduction des véhicules autonomes dans les pays signataires (ce qui n'est pas le cas des États-Unis).

la conduite autonome, obligation pour un acteur tiers de reprendre le contrôle du véhicule en cas de problème, réduction de la vitesse, etc. Les premiers acquéreurs de ces véhicules sont des ménages à hauts revenus et/ou technophiles, ainsi que les entreprises qui les fournissent à leurs cadres et dirigeants (ce qui leur permet d'ailleurs de travailler durant leurs trajets !). Cette catégorie d'acquéreurs est très sensible au niveau de confort et à la qualité de l'expérience offerte par l'autonomie, ce qui peut amener les constructeurs à proposer des véhicules plus spacieux qui intègre de nouveaux services (Dungs *et al.*, 2016) : télévision, ordinateur, wifi-pod, table pour des réunion, etc. La diffusion des fonctions d'autonomie dans le parc automobile est progressive, d'une part en raison de l'inertie du renouvellement du parc des véhicules individuels, d'autre part parce que la constitution d'un marché de l'occasion des véhicules autonomes est freinée par les incertitudes sur la durée de vie des capteurs et du matériel électronique. En effet, contrairement à un smartphone ou un ordinateur, aucune perte de vitesse dans la prise de décision numérique ne peut être tolérée, sous peine de mettre en danger la vie d'autrui. Par ailleurs, les freins au partage des véhicules autonomes perdurent, d'autant plus que leurs propriétaires sont très attachés au confort et à l'image de leur véhicule et donc peu enclins à le partager.

Phase B (à partir de 2030 et après) Au fur et à mesure des avancées technologiques et de la mise en place des chaînes de production, le coût d'achat des véhicules autonomes diminue de manière conséquente¹⁸. Les constructeurs commercialisent une gamme plus large de modèles afin de toucher un public plus important. Cependant, les bénéfices de l'autonomie dans les zones où la coexistence avec d'autres modes de transport est forte, notamment les zones urbaines, restent limités: les conducteurs sont obligés de reprendre le contrôle du véhicule dans certaines situations, et les gains collectifs comme celui de la fluidification du trafic sont peu importants. Cette réalité pousse les constructeurs automobiles et les propriétaires de véhicules autonomes à demander des adaptations de l'infrastructure afin de maximiser le potentiel de l'autonomie et soutenir le développement de cette technologie d'avenir : accès réservé à certaines voies, équipement de l'infrastructure facilitant la conduite autonome, etc. Ainsi, l'autonomie

pourrait conduire à renverser la tendance à la réduction de la place de la voiture en ville, soit en rouvrant des espaces récemment fermés à l'automobile soit en changeant les logiques d'aménagement. La diffusion des fonctions d'autonomie dans le parc automobile pourrait également faciliter l'autopartage, dans la mesure où les individus n'ont plus besoin de se déplacer pour récupérer le véhicule (le véhicule vient à la rencontre de la personne). Cependant, d'autres facteurs de blocage devraient perdurer, même avec l'autonomie : synchronisation de l'offre et de la demande (les propriétaires comme les locataires ont besoin du véhicule en même temps) ; coût de location relativement élevé pour couvrir le coût d'achat du véhicule et sa dépréciation à l'usage, etc. Il en est de même en ce qui concerne le covoiturage. Si le véhicule autonome permet de supprimer certains freins, notamment en termes de coûts organisationnels (le temps consenti à l'organisation des trajets), il n'apporte pas de réponse à d'autres obstacles qui limitent aujourd'hui le développement du covoiturage courte distance : faible rémunération marginale ; « coûts psychologiques » du partage de son véhicule avec d'autres personnes ; manque de prédictibilité des trajets pour les passagers, etc. (Brimont *et al.*, 2016).

4.3. Une mobilité autonome basée sur les transports collectifs (Scénario 2)

Ce scénario illustre une situation où l'autonomie est mobilisée par les villes à travers les opérateurs de transports publics pour étendre le périmètre de pertinence des transports en commun. Ce scénario place donc les collectivités locales au cœur du système de la mobilité autonome, suivant en cela l'ambition de certaines coalitions de villes et d'élus (Bloomberg Philantropies, 2017). Les collectivités possèdent en effet les compétences d'aménagement de l'espace urbain (infrastructures connectées, création de voies réservées, régulation de la circulation, etc.), qui permettent de gérer la difficile question de la coexistence entre les véhicules autonomes et les autres usagers de la voirie. Ainsi, contrairement au premier scénario où les véhicules autonomes doivent coexister avec les véhicules « classiques » durant un certain temps, les transports en commun autonomes bénéficient d'infrastructures réservées qui facilitent leur déploiement, même dans une phase initiale où la technologie est encore limitée. Les opérateurs de transport public prennent donc un temps d'avance pour modeler et diffuser une certaine vision de la mobilité autonome. Ils profitent également d'un capital de légitimité plus important auprès des

18. L'incertitude demeure cependant sur le prix des véhicules autonomes une fois que la technologie sera mature. Certains suggèrent un coût supplémentaire compris entre 4000 et 8000 euros par rapport à un véhicule classique (voir Partie 2).

usagers et des autorités publiques par rapport aux acteurs du numérique (acteurs dominants du scénario 3) pour introduire cette technologie qui suscite des réticences de la part des usagers, ce qui facilite ce scénario de développement.

Durant la phase A, les navettes autonomes sont d'abord mises en circulation sur des itinéraires aménagés de manière à sécuriser leur circulation, et qui limitent la circulation des autres véhicules à 30 km/h. Elles fonctionnent de la même manière que les bus avec un itinéraire, des horaires et des stations prédefinis. Pour des raisons de contraintes technologiques, leur vitesse est réduite à 20 km/h mais elles bénéficient d'avantages de circulation (priorité aux feux rouges notamment) qui leur garantissent une certaine vitesse commerciale. Au fur et à mesure que la navette devient plus performante, les zones de circulation à 30 km/h sont étendues, d'une part pour faciliter le déploiement des navettes sur un espace géographique plus important, d'autre part pour faciliter le déploiement de la micromobilité (vélo, vélo à assistance électrique [VAE], gyropodes, trottinette) que l'on voit déjà apparaître dans certains paysages urbains. Ces navettes autonomes sont prioritairement développées dans le cœur de métropole pour renforcer la granularité des transports collectifs structurés autour des réseaux ferrés (métro, RER et lignes du futur Grand Paris Express), ce qui permet d'assurer à la fois le rabattement vers les gares mais aussi la circulation au sein des bassins de vie, et de faire baisser l'usage de la voiture dans cette zone.

L'image positive d'innovation que peut porter le véhicule autonome sert à légitimer les mesures régulatrices et limite l'opposition sociale due aux mesures restrictives de la mobilité automobile individuelle, nécessaires pour le développement efficace de ces nouvelles offres de transports collectifs. Rapidement, les collectivités comprennent qu'il faut se concentrer sur quelques expérimentations ambitieuses et attractives, afin d'éviter de réduire ce capital symbolique en offrant l'image d'un mode de transport lent, peu utilisé et contraignant la circulation automobile. Le choix des premiers itinéraires de mise en service est crucial : ils permettent de donner de la visibilité aux navettes autonomes tout en leur donnant une image de mode de transport efficace, disponible (par exemple en assurant aussi un service la nuit) et confortable (propreté, places assises).

Afin de financer l'investissement dans les véhicules autonomes, les collectivités locales pourraient faire évoluer les modèles de financement : tarification dynamique de la route, changement de la fiscalité (dans un contexte d'érosion de la taxe intérieure de consommation des produits

énergétiques ou TICPE au fur et à mesure de l'électrification du parc), changement dans la structure et le tarif¹⁹ des abonnements aux transports en commun. Par ailleurs, les économies réalisées grâce à l'autonomie sur les lignes existantes pourront être utilisées pour financer de nouvelles lignes.

Le passage de la phase A à la phase B correspond au moment où les pouvoirs publics réduisent la vitesse de circulation sur les axes routiers du bassin de vie à 30 km/h (hors voies rapides) et que l'offre privée de modes de transports individuels commence à être plus importante. Durant cette deuxième phase, l'usage de la voirie pour la voiture individuelle est progressivement contraint : restriction des places de stationnement sur la voirie au profit d'autres modes individuels partagés (vélo, VAE, trottinette, gyropode en libre-service, voiture en autopartage) ; restriction de l'emprise sur la chaussée (voies réservées, mise en sens unique, interdiction de circulation sur certains axes). Cette deuxième étape de la régulation permet d'étendre un peu plus la zone de circulation des navettes autonomes : progressivement, tout le service public de transport routier est autonomisé. Cela permet au service d'évoluer vers une offre à la demande, avec des itinéraires non prédefinis. L'augmentation du nombre d'usagers permet d'améliorer l'équilibre financier du service. En parallèle, l'offre de services de mobilité individuelle se diversifie avec l'introduction de robot-taxis, qui offrent un service porte-à-porte pour un prix toutefois plus élevé que celui des navettes et ne profitent pas d'aménagements spécifiques.

Lors de la **phase B**, un des principaux enjeux est d'arriver à agréger l'offre publique de transport autonome avec l'offre privée, qu'elle soit autonome ou non, à travers une même interface utilisateur et une même billettique afin de faciliter le plus possible l'expérience utilisateur. Cela représente un défi important pour les acteurs publics. Les premières démarches en ce sens, tel que l'intégration des offres des start-up de covoiturage dans Vianavigo²⁰ réalisée en 2017, sont importantes pour développer l'expertise et la légitimité de l'acteur public à se positionner comme « agrégateur ». Les ressources humaines du transport public autrefois attachées à des fonctions de conduite doivent être

19. La hausse des tarifs est limitée politiquement et financièrement dans la mesure où les titres de transport ne représentent qu'une faible part du financement global des transports en commun (30 % du budget de fonctionnement en 2014). Une augmentation politiquement acceptable de, par exemple, 10-20 % ne représenterait qu'une faible augmentation du budget global (3-6 %).

20. Calculateur d'itinéraire des transports en commun en Île-de-France.

réaffectées vers des fonctions d'assistance au voyageur (physique, téléphonique et en ligne) afin de limiter le phénomène de fracture numérique et d'assurer un service de qualité.

4.4. Une mobilité autonome basée sur des robots-taxis (scénario 3)

Dans ce scénario, les acteurs du numérique s'imposent comme les acteurs dominants du système de mobilité basé sur l'autonomie, d'une part parce qu'ils ont été les premiers à investir dans le véhicule autonome (voir par exemple la fameuse "Google Car"), d'autre part parce qu'ils ont accumulé un réel savoir-faire dans les services de mobilité : cartographie et calculateurs d'itinéraires avec Google et Waze, véhicule à la demande avec Uber, Lyft, covoiturage, autopartage, etc. Ces acteurs ont la particularité de savoir s'adapter au plus près des usages, par leur capacité à sans cesse tester et faire évoluer leur service sur la base de l'analyse des données utilisateurs, et ce savoir-faire est important pour faire évoluer le système de mobilité (ex. pour trouver un bon algorithme d'appariement des demandes). Cette image d'innovateur leur donne un avantage pour attirer des usagers et développer leurs offres alternatives à la voiture individuelle. Contrairement au scénario 2 qui nécessite d'importants investissements publics, ce scénario repose sur des investissements privés, ce qui est un avantage dans un contexte de restriction des ressources publiques. Quant à la mobilité individuelle, son autonomisation est fortement freinée par le surcoût à l'achat de technologies autonomes avancées, pour lesquelles les acheteurs ne voient pas encore les pleins bénéfices dans une période de transition (ex. fluidité du trafic), et par la difficulté à gérer, sans générer plus d'accidents, la phase d'autonomie partielle où le conducteur doit être capable de reprendre le volant à tout moment. L'utilisation d'un superviseur à distance pour les services de robot-taxi permet de surmonter cette dernière difficulté. Le robot-taxis devient alors le symbole de la mobilité autonome et de nombreuses villes déploient des expérimentations de ces nouvelles offres, à l'image de ce que l'on peut voir aujourd'hui dans certaines agglomérations aux États-Unis (Phoenix, Arizona, qui expérimente avec Waymo, ou Pittsburgh, Pennsylvanie, avec Uber par exemple).

Durant la phase A, une diversité d'acteurs déploient de mini flottes de robot-taxis dans l'espace public urbain afin d'en tester la viabilité : taux de remplissage selon les densités des territoires, niveau nécessaire de fluidité de circulation pour

assurer la qualité du service, potentiel d'appariement des utilisateurs dans un même taxi en fonction des horaires et des territoires, etc. De même, les usages et les comportements des utilisateurs sont analysés : distance maximale de marche pour rejoindre un véhicule, acceptation du partage de trajet et des détours, capacité à payer, intermodalité avec les transports en commun lourds, etc. Cet apprentissage est nécessaire, car la viabilité économique d'une flotte de robot-taxis dépend du taux de remplissage et donc de la capacité à absorber les rabattements et les détours avec un maximum d'efficacité, ce qui nécessite une circulation la plus fluide possible. La phase de coexistence avec des véhicules non autonomes est donc délicate, du fait de la question du trafic. Afin de pallier les contraintes technologiques, les opérateurs ont recours à des superviseurs à distance²¹. Cette phase d'expérimentation permet également aux différents opérateurs de robot-taxis d'identifier les demandes qu'ils vont adresser à la collectivité pour améliorer le service, et de tester et de faire émerger des offres d'abonnement multi-service susceptibles de séduire d'anciens automobilistes.

Le passage de la phase A à la phase B correspond au moment où les opérateurs sont en capacité d'offrir le service de robot-taxi sans opérateur à distance grâce aux avancées technologiques. Grâce à un haut niveau de remplissage des véhicules, ces services proposent des prix inférieurs à ceux des VTC/taxis traditionnels, ce qui permet d'élargir la clientèle. L'offre de services de robot-taxis se diversifie de manière à répondre aux différentes demandes des usagers et assurer sa viabilité : offre *premium* offrant des services intégrés (divertissement, repos, espace de réunion, etc.), offre *low-cost* qui maximise les appariements de passagers, généralement au détriment du temps de parcours, offre « écologique » avec des véhicules électriques compacts, etc. À l'échelle territoriale, certaines zones dont la rentabilité est assurée du fait de la structure de l'offre et de la demande sont desservies en priorité. Et l'évolution prend également la forme d'offres groupées de types "*mobility as a service*" qui associent robot-taxis, transports en commun, autopartage, vélos en libre-service, etc.

21. La supervision à distance a ainsi été autorisée en octobre 2017 en Californie, sous certaines conditions (test préalable par le constructeur dans des conditions similaires, niveau d'autonomie 4 ou 5, absence de tarification, procédure d'arrêt d'urgence). Voir https://www.dmv.ca.gov/portal/wcm/connect/bb433e3f-2b73-4896-9af9-0251f744d31d/ol318_draft10117.pdf?MOD=AJPERES et https://www.dmv.ca.gov/portal/wcm/connect/foed90ac-4817-497c-8337-062ab-763bcd/ol321_draft10117.pdf?MOD=AJPERES.

La tarification dynamique se développe afin d'assurer une viabilité à cette offre multi-services²². La mobilité multimodale à la demande s'impose ainsi progressivement comme une « norme » auprès d'une part importante des urbains. Le marketing développé par ces acteurs mondiaux modèle progressivement un nouvel imaginaire de mobilité où la flexibilité et le confort du service remplacent le désir de possession d'une voiture.

Au fur et à mesure du développement de ces services et de l'augmentation du nombre de leurs clients, les opérateurs font pression auprès des collectivités locales afin d'obtenir des aménagements de la voirie et des règles de circulation qui améliorent la performance de leur service : accès aux sites propres des transports en commun, réduction de la vitesse maximale autorisée, aménagement de zones de prise/dépose, intégration billettique avec les transports en commun pour faciliter l'intermodalité, mesures désincitatives pour limiter la circulation des véhicules particuliers en heure de pointe, etc. Afin de convaincre les autorités publiques, les opérateurs mettent en avant leur complémentarité avec les transports en commun (par exemple pour les désengorger en heure de pointe²³) et leur capacité à offrir un service de mobilité qui facilite la démotorisation des urbains²⁴.

Ce scénario laisse entrevoir un certain nombre d'enjeux pour les pouvoirs locaux, qui devront être arbitrés. On observe progressivement l'emprise de ces offres sur la ville et la régulation de la mobilité en termes de flux (comme on a pu l'observer avec Waze) et de stationnement. Les voitures individuelles, comme les transports en commun routiers, se retrouvent d'une certaine façon « régulés » par la circulation définie par les algorithmes de ces flottes (itinéraires, profils d'accélération et de freinage, interactions avec les vélos et mode actifs, etc.). Les villes se retrouvent ainsi avec un mode organisateur privé de la mobilité qui oriente une partie significative des flux par ses choix d'itinéraires, de

dépose et de tarification dynamique (lissage de la demande), qui organise un niveau variable de desserte selon la rentabilité des zones de la ville. La relation avec les vélos et les piétons devient un sujet récurrent de discorde entre des villes souhaitant favoriser ces modes actifs et les opérateurs de robot-taxis qui mettent en avant une difficile coexistence (accidents, ralentissement). Leur attractivité concurrence les offres de transport en commun les moins efficaces et attractives, et qui deviennent encore plus coûteuses à maintenir. Des robot-taxis pourraient circuler à vide, au détriment de la congestion et de l'efficacité énergétique. Une augmentation de la congestion routière est observée (comme dans certaines villes mondiales avec l'arrivée des VTC), d'autant plus si le niveau d'occupation moyen (partage de trajet) est limité. Ces négociations avec les pouvoirs publics se font dans un contexte de concurrence entre différents opérateurs, qui n'ont pas forcément les mêmes offres de service. L'enjeu pour les pouvoirs publics est donc de décrypter et évaluer, ni les mêmes demandes selon les spécificités de leurs offres (quelle priorité donner au partage par ex.).

4.5 Conclusion : trois modes organisateurs structurants pour les politiques de mobilité durable

Automobiliste, usager d'un service public local ou client d'une entreprise privée : nous avons donc trois modes structurant le futur de la mobilité autonome. Chacun à leur manière, ils interrogent la capacité à mettre en œuvre des politiques de mobilité durable. Dans le scénario 1, la régulation de la mobilité (partage de l'espace, priorité, tarification) et les politiques environnementales (standards, incitation au partage, etc.) restent dans le paradigme que nous connaissons aujourd'hui, avec les mêmes types d'obstacles (acceptabilité des contraintes sur les voitures, difficultés de contrôle, rythme de changement). Dans le scénario 2, se pose la question de la capacité à répondre aux demandes d'innovation en termes d'offres de mobilité et aux besoins de financement dans le cadre d'un modèle de transport public. Dans le scénario 3, la diversité des offres de mobilité sur le territoire soulève une question de coordination et de gouvernance afin de réellement profiter du potentiel de ces offres basées sur des algorithmes (ex. négociation sur l'usage de la voirie en échange d'un certain niveau de partage), mais aussi d'éviter une mobilité à deux vitesses et une fracture territoriale.

22. La viabilité dépend de la performance du système à capter la capacité à payer des utilisateurs, dans un contexte où les *Mobility as a service* (MAAS) existants cherchent encore leur modèle économique afin d'offrir un package de service attractif. Voir Ouishare-Chronos (2017). *Un transport de MAAS*, et ATEC-ITS (2017). *Cadre stratégique "Mobility as a service"*, 2017, Mobilité 3.0.

23. Selon certaines prévisions, certains tronçons et gares du futur Grand Paris Express seront rapidement utilisés à quasiment 100 % de leurs capacités (DRIEA, Études de trafic du Grand Paris Express, quels enseignements ?, 2012).

24. De nombreuses villes encouragent déjà les services de mobilité dits partagés qui réduisent le besoin de posséder une voiture individuelle. Voir par exemple les *Shared Mobility Principles for Liveable Cities* (<https://www.sharedmobilityprinciples.org/signatories/>).

Tableau 5. Les risques et les opportunités des trois scénarios en termes de mobilité durable

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

O = le scénario présente plutôt des opportunités

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

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

Source : Idri.

5. ÉVALUATION : COMMENT LA MOBILITÉ AUTONOME MODIFIE-T-ELLE LES ENJEUX DE LA MOBILITÉ DURABLE ?

Les scénarios présentés dans cette étude sont volontairement contrastés : leur objectif premier n'est pas de décrire une réalité, mais un mouvement dominant, afin d'en révéler plus clairement les conséquences pour le développement durable. Cette cinquième partie évalue pour chacun d'eux les risques et opportunités par rapport à six enjeux clés de durabilité, qui sont résumés dans le Tableau 5.

5.1. Maîtriser la forme urbaine et la demande de mobilité

ENJEUX	S1 Mobilité individuelle	S2 Mobilité collective	S3 Mobilité à la demande
Maîtriser la forme urbaine et la demande	R Périurbanisation à long terme (confort, fluidité) et effet rebond pour les ménages aisés	O Densification à moyen terme (libération espace)	M Manque de coordination avec aménagement

TENDANCES

- Île-de-France : + 50 % de distances parcourues entre 1976 et 2001, très majoritairement imputables aux déplacements en voiture. Cette hausse s'explique en grande partie par la croissance démographique de la Grande Couronne, où la portée des déplacements est élevée (IAU, 2008). Le nombre de véhicules par ménage y est passé de 0,98 à 1,35 entre 1976 et 2001 (Omnil, 2010).
- Mais une périurbanisation qui ralentit : entre 2001 et 2010, la portée des déplacements en voiture a diminué, notamment pour les résidents de la Grande Couronne (Omnil, 2010). Entre 2008 et 2012 et pour la première fois depuis 30 ans, la consommation d'espace baisse et la ville se construit majoritairement sur du foncier déjà urbanisé selon un processus de recyclage urbain (IAU, 2013).

Le développement de la mobilité autonome pourrait transformer la structure urbaine, tant au niveau macro (organisation de l'agglomération) que micro (organisation de la voirie). L'offre de mobilité a des conséquences spatiales et économiques (Saujot, 2013) : le développement des infrastructures routières a par exemple rendu possible la périurbanisation et l'étalement urbain ; les infrastructures de transport en commun influencent la répartition des emplois sur un territoire et peuvent conduire à une densification de l'espace urbain. En retour, la répartition de la population et des lieux

de vie (emplois, commerces, services), ainsi que la conception de l'espace public modifient les déplacements, tant du point de vue des distances parcourues que des modes utilisés (Ewing et Cervero, 2010). C'est donc l'évolution conjointe des politiques urbaine et des politiques de transport qu'il faut considérer sur le temps long (20-30 ans)²⁵.

Une densification possible du cœur d'agglomération. Les offres de mobilité autonome des scénarios 2 et 3 pourraient avoir un pouvoir de densification sur l'urbanisation analogue à celui de l'ouverture d'une nouvelle station de métro, à condition qu'elles soient très performantes et que les schémas d'aménagement de la petite couronne permettent et soutiennent cette densification. Si la mobilité autonome, via les lignes virtuelles et les applications en temps réel, permet de faciliter l'embarquement/débarquement de voyageurs et de marchandises ainsi que leur appariement, cela ouvre alors la porte à une massification et à des impacts spatiaux et économiques. Les zones où les flux vont pouvoir être massifiés et équilibrés (dans un sens et dans l'autre, incluant voyageurs et marchandises) vont profiter de baisses de coûts et vont devenir plus attractives, entraînant une densification des activités. Cette hypothèse est plus probable dans le scénario 2 par lequel il sera plus facile d'articuler la mobilité autonome et les infrastructures du Grand Paris Express. L'arrivée de micro-navettes de rabattement pourrait conduire à étendre le périmètre d'attractivité d'une station de transport en commun ; par exemple, l'arrivée des vélos en "free-floating" en Chine a fait passer le rayon d'attractivité de 800 mètres à 3 kilomètres (Fang, 2017).

Le risque d'une reprise de la périurbanisation dans le scénario 1. L'autonomie pourrait faire baisser le coût d'opportunité du temps de transport, d'une part grâce au gain de confort (Fagnant et Kockelman, 2015), d'autre part parce que le temps passé dans un véhicule autonome pourrait être utilisé pour d'autres activités : divertissement, sommeil, appels téléphoniques, travail, etc. (Dungs *et al.*, 2016). Ce faisant, le véhicule autonome pourrait inciter les gens à accepter des temps de transport plus longs et donc probablement des trajets plus importants, par exemple pour les déplacements domicile-travail. Cette hypothèse n'est cependant valable que dans le cas d'une autonomie totale du véhicule, ce qui correspond à la phase B de notre scénario.

25. Certains outils ont été développés pour réaliser des approches prospectives intégrant ces deux dimensions mais ils restent encore limités dans leurs applications opérationnelles (Saujot *et al.*, 2016).

TENDANCES

- En Île-de-France, le nombre de déplacement par jour de semaine est passé de 3,70 en 1997, à 3,50 en 2001 et 3,87 en 2010 (Hubert 2009).

Un risque de hausse de la demande de mobilité. Notre analyse montre que l'autonomie impliquerait plutôt des surcoûts par rapport à la mobilité individuelle actuelle : maintenance informatique, accès à une cartographie numérique, connectivité, capteurs et processeurs, etc. Soit ces surcoûts sont élevés et la mobilité autonome individuelle restera une niche ; soit ils deviennent modérés à long terme et alors il y a effectivement un risque d'une hausse de la demande de mobilité. Le risque de véhicules circulant à vide (également appelés « véhicules zombies ») est réel dans le scénario 1, notamment pour une partie de la population pour laquelle les coûts de la mobilité sont faibles relativement à leurs revenus. Avec un surcoût modéré sur le coût fixe et un coût d'usage égal ou inférieur à ce que l'on connaît aujourd'hui, il faudra mobiliser les outils de régulation nécessaires pour juguler cette hausse possible des veh.km. Il existe également un risque d'augmentation des kilomètres parcourus dans le cas d'une gestion non-optimale d'une flotte de robot-taxis dans le scénario 3. À l'inverse, la connectivité pourrait réduire certains des kilomètres dits « superflus », par exemple lorsqu'on cherche une place de stationnement.

5.2. Assurer l'accès à la mobilité

ENJEUX	S1 Mobilité individuelle	S2 Mobilité collective	S3 Mobilité à la demande
Assurer l'accès à la mobilité	<p>R Effet d'évitement</p> <p>O amélioration accès certains segments de la population</p>	<p>O Accès amélioré si périmètre TC élargi</p>	<p>R Tarification privée et disponibilité selon rentabilité des zones</p>

Assurer un plus grand accès à la mobilité est loin d'être automatique. Une des promesses de la mobilité autonome est d'améliorer la mobilité des personnes qui n'ont pas accès à l'automobile, par exemple les personnes âgées, handicapées, ou qui n'ont pas le permis. La mobilité autonome pourrait également apporter des gains d'accès pour la mobilité des enfants dans le cadre du scénario 1 (réduisant ainsi les besoins d'accompagnement) et nocturne dans le cadre d'élargissement de l'offre de transport public dans le scénario 2 (ex. horaires décalés). Cette promesse doit cependant être confrontée à l'accessibilité économique et géographique de la mobilité autonome. Dans le scénario 1, il est probable que l'autonomie ne soit accessible qu'aux ménages les plus aisés, du moins pendant un certain temps. **L'autonomie pourrait**

même accentuer les inégalités en créant des effets d'éviction : certaines voies pourraient être réservées aux véhicules autonomes et donc fermées aux autres types de véhicules. De plus, il n'est pas évident que l'autonomie offre des alternatives au véhicule individuel dans les zones moins denses comme le périurbain ou le rural, notamment dans le cadre du scénario 2 et plus encore dans le scénario 3, où la logique de rentabilité amène les opérateurs à se concentrer sur les seules zones rentables. **Il existe donc un risque d'un accroissement des inégalités d'accès à la mobilité, tant économique que géographique.** Notons également que la mobilité autonome incitera à repenser la question de l'équité ; aujourd'hui, la réflexion sur l'équité et l'accès dans la mobilité individuelle renvoie à une réflexion sur la capacité à payer sa mobilité et sur la progressivité de la fiscalité, alors que dans la mobilité collective, on parle plutôt d'accessibilité géographique (qui a accès à tel niveau de service). Avec l'hybridation des offres de services, impliquant davantage d'acteurs privés, la réflexion sur l'accès et l'équité devra considérer ces deux dimensions de manière nouvelle afin de penser les outils de régulation adéquats.

5.3. Augmenter le partage et améliorer l'efficacité énergétique de chaque km

ENJEUX	S1 Mobilité individuelle	S2 Mobilité collective	S3 Mobilité à la demande
Améliorer le partage et l'efficacité énergétique de chaque km	R Prolongement des difficultés actuelles pour inciter au partage et à l'efficacité (voiture plaisir)	O Partage par construction et logique utilitaire du choix de véhicule	M Partage pas automatique et logique utilitaire, mais besoin d'attractivité client

Les travaux sur les impacts énergétiques de l'automatisation reflètent une grande incertitude sur les risques et les opportunités de la mobilité autonome. Ainsi, une étude du Département américain de l'Énergie (NREL, 2013), considérant l'ensemble des effets²⁶ conclut à une réduction de 90 % de la consommation énergétique du transport routier américain dans un scénario optimiste, contre une hausse de 250 % dans un scénario pessimiste ! Une étude de l'AIE donne des résultats qui vont dans le même sens (AIE, 2017).

26. Gains liés à l'optimisation de la conduite et du trafic, au stationnement intelligent, à des véhicules plus légers et davantage partagés, à l'électrification ; effets rebonds liés au meilleur accès [jeunes, personnes âgées, etc.] et à la facilité [plus rapide et fiable] de cette nouvelle mobilité.

Encadré 5. Des *pods* autonomes pour une meilleure efficacité énergétique ?

Un des imaginaires portés par la mobilité autonome est celui de *pods* d'une ou deux places, supposés plus efficents énergétiquement que les véhicules types quatre places car plus légers et plus petits. Toutefois, cette hypothèse n'est valable que si le nombre de passagers reste constant : un véhicule deux fois plus léger, mais qui transporte deux fois moins de passagers, n'apporte pas de gain. De plus, le coût fixe du véhicule (motorisation, capteur, ordinateur) est divisé par un nombre plus réduit de passagers, ce qui augmente le coût d'utilisation au kilomètre. Cela ne signifie pas que la taille et le poids du robot-taxi ne soit pas une question clé, mais relativise l'intérêt des *pods*. Cette question de la taille doit être envisagée en prenant en compte le volume des flux de passagers (pour assurer un bon taux d'occupation moyen), la réduction de la vitesse ainsi que le poids des composants afin d'améliorer l'efficacité énergétique. De plus, il faut des véhicules standards produits en grande série pour réduire les coûts ; par exemple, même si le Twizy de Renault est un mini véhicule, il coûte à peine moins cher qu'une Twingo du fait de son marché de niche.

La mobilité autonome ne sera pas une baguette magique pour augmenter le taux d'occupation des véhicules. Si l'on se place dans un modèle de mobilité individuelle (scénario 1), augmenter le taux d'occupation signifie développer les pratiques de covoiturage. Plusieurs facteurs freinent aujourd'hui l'essor de cette pratique pour les déplacements de courte distance du quotidien, malgré les innovations de nombreuses start-up (Brimont *et al.*, 2016) : sentiment de dépendance des passagers vis-à-vis des conducteurs ; gains économiques peu importants et dispersés dans le temps pour le conducteur ; coût « psychologique » lié au partage de son habitacle de voiture, etc. Or ces facteurs ne devraient fondamentalement pas être remis en cause par l'autonomie et la connectivité, au moins dans un premier temps. Les premiers modèles de véhicules autonomes seront probablement plus onéreux et donc destinés à une clientèle aisée, qui n'aura pas d'incitation à mettre ces véhicules en partage. Dans un second temps, lorsque l'autonomie et la connectivité seront très largement répandues, l'autopartage pourra être facilité, car l'autonomie retire le besoin de faire confiance à un autre conducteur et la connectivité facilite la transaction. Des modèles hybrides de possession et de flottes (ex. Tesla Network) pourront également faciliter l'autopartage.

Concernant les flottes de robot-taxis, l'augmentation du taux d'occupation passe par une optimisation des appariements entre les voyageurs. Or l'expérience des VTC partagés montre que cette optimisation est loin d'être évidente, notamment dans un contexte de concurrence entre les plateformes qui, si elles ne sont pas interopérables,

conduisent à fragmenter la demande. Concernant les transports en commun routiers, l'autonomie peut avant tout étendre leur périmètre de pertinence. Concernant le taux d'occupation des navettes par rapport aux bus traditionnels, il s'améliorera seulement si un haut niveau de service (sites propres, fréquence, à la demande) est assuré : l'autonomie peut aider, mais n'est donc pas le facteur prépondérant. Augmenter le taux d'occupation des véhicules continuera donc de passer par plusieurs leviers de régulations (voies réservées, contrat avec opérateurs privés, optimisation de l'offre publique...).

L'efficacité énergétique des déplacements motorisés est principalement déterminée par l'efficience énergétique des véhicules – soit la quantité d'énergie nécessaire pour effectuer un déplacement donné –, la vitesse et la fluidité du trafic. Les transports collectifs ferrés restent de ce point de vue les plus efficents (Morcheoïne et Vidalenc, 2009), faisant du scénario 2 le plus vertueux. Toutefois, les transports ferrés des métropoles comme Paris souffrent davantage d'une saturation en pointe que d'un manque d'usagers (de même que les infrastructures routières). Dans le contexte de tarification que nous connaissons aujourd'hui, il est peu probable que les scénarios 1 ou 3 conduisent à une baisse préjudiciable de la fréquentation de ces offres. Ainsi, l'enjeu clé posé par la mobilité autonome concerne les changements dans le transport routier : quel sera le niveau d'occupation des voitures individuelles, des navettes, des bus et robot-taxis ? Et donc qu'en sera-t-il de leur efficacité énergétique ?

À motorisation équivalente²⁷, l'efficacité énergétique dépend des caractéristiques du moteur et du véhicule lui-même, notamment son poids. Etant donné qu'elle a tendance à progresser au fil des progrès technologique, l'efficacité énergétique du parc s'améliore avec son renouvellement²⁸. La vitesse de renouvellement est susceptible d'être moins importante dans le scénario 1 que dans les scénarios 2 et 3, dans lesquels les véhicules, moins importants en nombre, devraient être utilisés de manière plus intensive. De plus, les opérateurs de flottes de véhicules autonomes (robots-taxis ou transports collectifs) pourront influencer les

27. Les véhicules électriques sont beaucoup plus efficaces pour convertir l'énergie du moteur aux roues et consomment donc deux à trois fois moins d'énergie par véhicule.kilomètre vkm que les véhicules à combustion. La question du type de motorisation sera abordée dans le point suivant.

28. En contrepartie, un renouvellement plus rapide du parc a un impact négatif sur la consommation de ressources pour la production (voir point 6).

constructeurs pour que ces derniers conçoivent des véhicules plus efficaces énergétiquement, ce que pourront difficilement faire les ménages individuels dans le cas du scénario 1.

La vitesse de circulation est un autre facteur d'efficacité énergétique. Sur les voies rapides et en zone urbaine, la réduction de la vitesse maximale autorisée est un moyen d'améliorer l'efficacité énergétique (et la sécurité). L'enjeu porte plus sur la vitesse moyenne et le lissage des freinages et accélérations, donc sur la fluidité de la circulation. Le scénario 1 pourrait augmenter la congestion s'il conduit à une augmentation des déplacements (y compris à vide). Le scénario 2 pourrait au contraire réduire la congestion en cas de report modal de la voiture individuelle vers les transports en commun. Pour que ce report modal soit effectif dans le temps, il faut l'accompagner de mesures restrictives visant à décourager d'anciens automobilistes de reprendre la route (ce qui est fréquent lorsque la congestion diminue). L'impact du scénario 3 sur la congestion dépend du degré d'optimisation des appariements de voyageurs afin d'optimiser le taux d'occupation. Enfin, la fluidité de circulation sera grandement influencée par le degré de mixité entre véhicules autonomes et non autonomes (véhicules traditionnels, cyclistes, piétons). Ce facteur pourrait être particulièrement problématique pour le scénario 1, où la pénétration de véhicules autonomes devrait être progressive. Le scénario 2 serait plus propice à l'aménagement de voies dédiées qui limiteraient le problème de mixité. Dans le scénario 3, cela dépendra de la capacité d'influence des opérateurs de robot-taxis auprès des autorités publiques locales. En outre, il peut y avoir d'autres externalités positives associées à une vitesse maximale plus lente des véhicules urbains, par exemple en termes de sécurité, mais aussi en termes d'utilisation accrue du vélo et d'autres modes de transport « doux » en milieu urbain.

Encadré 6. Eco-driving et véhicules autonomes

- La conduite autonome pourrait être plus efficace que la conduite humaine du point de vue énergétique, notamment en lissant les accélérations et les freinages ou en se mettant dans le sillage des autres véhicules pour réduire les pertes aérodynamiques (Wadud *et al.*, 2016; NREL, 2014). **Les gains théoriques sont de l'ordre de 20 à 50 %, mais ils seront probablement bien moins importants en situation de conduite réelle.** D'une part, les véhicules autonomes devront s'adapter aux conducteurs humains, qui eux n'auront pas les mêmes comportements d'optimisation du cycle de conduite. D'autre part, il existe aussi un risque que la mobilité autonome augmente la congestion, ce qui aurait pour effet d'augmenter les phénomènes d'arrêt/redémarrage, très peu efficaces du point de vue énergétique. Wadud *et*

al. (2016) suggèrent donc que les gains en termes d'efficacité énergétique seraient plutôt de l'ordre de 0 à +20 % pour la mobilité passagers. Le "platooning"³, c'est-à-dire le regroupement des véhicules en convoi grâce à leur connectivité, peut également être une source de gain d'efficacité énergétique, notamment en améliorant l'aérodynamique. Le potentiel est cependant peu important en zone urbaine, où les vitesses sont faibles et les phénomènes de frottement de l'air peu importants. Pour la circulation sur autoroute, Wadud *et al.* (2016) estiment les économies d'énergie possibles de l'ordre de 3 à 25 % pour les véhicules légers, et 1 à 20 % pour camions. Ces gains ne sont toutefois envisageables que si tous les véhicules adoptent le "platooning", ce qui est loin d'être évident tant que la mobilité autonome ne sera pas généralisée. De plus, le développement de la mobilité autonome pourrait offrir de nouvelles opportunités aux autorités publiques pour mettre en place des outils de régulation de l'usage de la voirie comme la tarification au kilomètre ou en fonction de la congestion. Si l'autonomie ne répond pas à tous les obstacles qui limitent l'emploi de ces outils à l'heure actuelle (notamment l'acceptabilité politique), elle peut les faciliter du point de vue technique, même en étant partielle.

Évaluer l'impact énergétique de l'infrastructure numérique

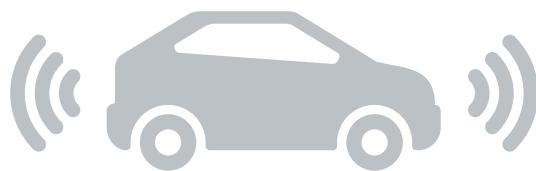
Avec l'autonomie, la réflexion sur l'efficacité énergétique de la mobilité doit s'élargir à celle de l'infrastructure numérique : efficacité du système

informatique, quantité et gestion des données, configuration des algorithmes de manière à optimiser les itinéraires, la gestion de flotte, le partage, l'éco-conduite. Intéressons-nous ici à l'énergie supplémentaire nécessaire pour alimenter le matériel numérique embarqué et la gestion des données. En effet, la quantité de données générées par un véhicule autonome est très importante : Intel considère par exemple qu'1h30 de conduite d'un véhicule autonome généreraient 4 teraoctets de données, c'est-à-dire environ une journée d'Internet pour 3 000 personnes (Winter, 2017). La consommation électrique pour alimenter les capteurs et ordinateurs produisant et utilisant ces données serait donc importante, certains ingénieurs automobiles allant même jusqu'à anticiper la nécessité d'avoir des motorisations hybrides pour pallier cette demande énergétique pour les premiers modèles (Coppola et Dey, 2017 ; Stewart, 2018). Ces données, ou une partie d'entre elles, seront ensuite transmises en dehors du véhicule. De nombreux acteurs considèrent aujourd'hui qu'un véritable marché va s'ouvrir pour traiter et utiliser les données générées par les VA, ce qui pourrait donc démultiplier leurs impacts environnementaux. La figure 10 illustre ces enjeux : la manière dont seront gérés ces flux de données, ainsi que la façon dont seront éco-conçues et gérées les infrastructures numériques liées au véhicule autonome (leur durée de vie, leur

Figure 10. Quelques ordres de grandeur sur l'impact énergétique de l'autonomie

Une voiture autonome trop gourmande en énergie ? Combien de kWh/km ?

- # Évaluer le cycle de vie des véhicules autonomes et inciter aux technologies les plus sobres
- # Soutenir l'éco-conception des véhicules
- # Favoriser les offres de mobilité à faible vitesse maximale pour réduire la quantité de données et la taille du matériel numérique
- # Favoriser une mobilité partagée



1. La voiture roule	2. La voiture est construite	3. La voiture génère des données
<p>Les capteurs et le matériel informatique nécessitent beaucoup d'énergie : environ 2 000 watts pour le seul calculateur, soit autant, voire plus, qu'une climatisation.</p> <p>> Problème : cela réduit l'autonomie du véhicule électrique ou incite à augmenter la taille de la batterie</p>	<p>Produire les capteurs et le matériel informatique nécessite l'extraction et la transformation de nombreux composants. Cela est également vrai pour la batterie, qui pourrait devoir être plus grosse avec l'autonomie. Avec une durée de vie de cinq ans pour ce matériel et 250 000 km de durée de vie pour la voiture, ce serait 35 g eq.CO₂/km additionnels.</p> <p>> Problème : augmente la consommation d'énergie totale en cycle de vie du secteur des transports + problèmes environnementaux et sociaux liés à l'extraction des ressources</p>	<p>Une partie doit être stockée ou est échangée avec le constructeur ou l'opérateur de la mobilité autonome (4G ou adsl). Or la quantité de données est énorme : 2,7 To/h ! Alimenter en électricité et construire les infrastructures nécessaires (réseaux, data centres) pour gérer ces données pourrait représenter 26 g ep. CO₂/km.</p> <p>> Problème : cela impacte le bilan énergétique global de la mobilité autonome.</p>

Note : Ces réflexions et chiffres sont issus d'un échange avec F. Bordage de GreenIT.fr, <https://www.greenit.fr/>, spécialiste de l'ACV (analyse du cycle de vie) du numérique. Hypothèses clés : voiture individuelle conduite 2 h/jr pendant 10 ans et 250 000 km. Durée de vie du matériel informatique : 5 ans. 2,7 To/h de conduite : 1/100e transmis en 4G et 1/10e en ADSL le soir.

mode de production), auront des impacts considérables sur l'efficacité énergétique globale. Or les informations sur ces sujets sont aujourd'hui lacunaires : il est nécessaire de réaliser au plus vite des travaux d'analyse du cycle de vie (ACV) permettant de quantifier ces impacts. Enfin, dans la perspective de véhicule autonome électrique, une attention toute particulière devra être portée sur le cycle de vie des batteries et notamment les modalités de leur recyclage.

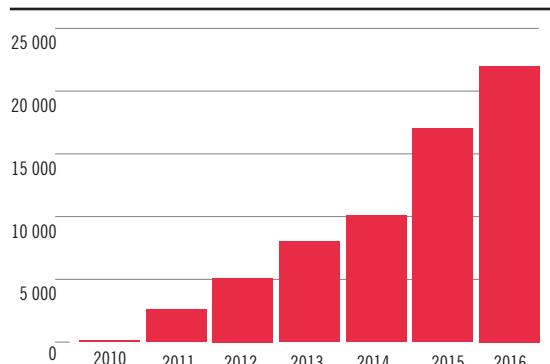
5. 4. Décarboner la source d'énergie

ENJEUX	S1 Mobilité individuelle	S2 Mobilité collective	S3 Mobilité à la demande
Décarboner la source d'énergie	M Tendanciel probable : image moderne des VE+VA, mais surcoûts et inertie	M Acteurs plus aptes au changement, mais déploiement lent	M Acteurs plus aptes au changement, mais déploiement lent

TENDANCES

- La vente de véhicules électriques est en progression constante en France depuis 2010 (voir Figure 11), même si ces véhicules ne représentent encore qu'environ 1 % des ventes totales de voitures particulières.

Figure 11. Progression des ventes de voitures particulières électriques en France



Source: Ministère de l'écologie, 2016 (<https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/developpement-des-vehicules-propres>).

L'imaginaire autour de la mobilité autonome laisse penser que les véhicules autonomes seront forcément électriques, ou au moins avec des motorisations alternatives à la motorisation thermique, moins émettrices en carbone, voire décarbonées (électrique, hydrogène, biogaz, etc.). Ainsi, les experts interrogés dans le cadre du sondage européen sur les nouvelles mobilités mentionné précédemment ont très majoritairement répondu que la motorisation probable pour le véhicule autonome était l'électrique. À l'inverse, la motorisation combustible n'est envisagée que par 9 % des experts

(19 % néanmoins en ce qui concerne les experts allemands).

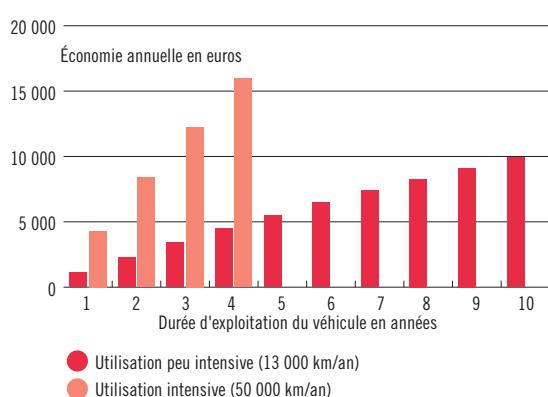
Si des synergies existent à long terme entre la mobilité autonome et les motorisations alternatives, à court terme elles sont beaucoup moins évidentes. **C'est pourquoi les différents horizons temporels sur lesquels les véhicules décarbonés et autonomes doivent être déployés constituent l'axe d'analyse prioritaire.** La perspective des véhicules électriques passagers est de passer à court terme d'un marché de niche à un produit de masse, afin de rester sur la trajectoire de décarbonation des transports pour laquelle la France s'est engagée. Toutefois, de nombreux obstacles s'opposent à cette transition et aux politiques publiques la soutenant, comme cela a été étudié par l'Iddri (Sartor *et al.*, 2017). La mobilité autonome ne peut pas lever à court terme ces obstacles, car il est peu probable que des véhicules hautement autonomes soient rapidement disponibles pour une masse critique de consommateurs afin d'être considérés comme un « produit grand public ». Cela crée une contradiction de la temporalité, ce qui suggère que les véhicules autonomes – bien qu'ils puissent être électriques – ne peuvent pas être utilisés pour conduire les objectifs de décarbonation des véhicules de tourisme qui sont si urgentement requis.

De plus, l'association entre l'autonomie et la motorisation électrique n'est pas si évidente, comme l'ont montré nos scénarios. Dans le cadre du scénario 1, l'autonomie ne change pas la contrainte du surcoût à l'achat pour les ménages. D'autre part, un obstacle à la diffusion de la motorisation électrique réside dans le fait que les entreprises qui possèdent une grande quantité de propriété intellectuelle, de capital et de main-d'œuvre dans la technologie de combustion interne résistent aux menaces qui pèsent sur leur technologie dominante. La conversion au tout électrique demandera donc un certain interventionnisme réglementaire et fiscal (taxe sur les motorisations à combustion par exemple). Enfin, comme expliqué au point précédent, les besoins énergétiques élevés de l'autonomie pourraient favoriser des motorisations hybrides thermique-électrique, au moins pour les premiers modèles.

Cependant, il existe des synergies entre l'autonomie et les motorisations à faible émissions carbone (notamment électrique) sur certains aspects. Dans le scénario 1, deux facteurs pourraient encourager l'électrification. D'une part, l'autonomie, même modérée, pourrait réduire la crainte des automobilistes de ne pas avoir un accès fiable à des bornes de recharge (ce qui est un des principaux arguments invoqués par les consommateurs en défaveur de l'électrique), dans la mesure

où le véhicule pourrait de lui-même trouver un point de recharge. D'autre part, la conduite plus souple et silencieuse permise par la motorisation électrique favoriserait les nouveaux comportements en voiture permis par l'autonomie : visionnage d'un film, sommeil, travail, etc. Dans le scénario 2, l'amélioration de la performance du réseau pourrait faciliter l'investissement dans des technologies bas-carbone. Dans les scénarios 2 et 3, les flottes de véhicules peuvent être gérées de manière à optimiser l'infrastructure de recharge : répartition des temps de recharge des différents véhicules dans le temps, optimisation du nombre de points de recharge et de leurs emplacements de manière à améliorer leur rentabilité sans déséquilibrer le réseau électrique, etc. Dans le scénario 1, le besoin de rassurer les conducteurs par rapport à l'autonomie énergétique des véhicules pourrait conduire au sur-dimensionnement des batteries. Dans les scénarios 2 et 3, la batterie peut être dimensionnée au plus juste, **ce qui limite le besoin de batterie de grande capacité, source importante de surcoût**. De plus, **le modèle serviciel d'exploitation de flotte est plus propice à l'achat de véhicules électriques que celui de la possession individuelle** : les investisseurs raisonnent en effet en termes de coût total d'exploitation, ce qui favorise la motorisation électrique (car elle est moins coûteuse à l'usage que la motorisation thermique), tandis que les ménages raisonnent plus en termes de coût d'achat, plus favorable à la motorisation thermique. En outre, plus le véhicule est utilisé de manière intensive, plus le différentiel des coûts de carburant entre les motorisations thermiques et électriques est important, comme le montre la Figure 12.

Figure 12. Économies réalisées en passant à la motorisation électrique par rapport à la motorisation thermique selon l'intensité de l'utilisation



Source: Iddri.

5.5. Allouer l'espace urbain aux différents usages

ENJEUX	S1 Mobilité individuelle	S2 Mobilité collective	S3 Mobilité à la demande
Allouer de l'espace urbain aux différents usages	R Demande de fluidité, d'espace et d'accès pour une voiture	O Plus grande attention aux modes actifs et amélioration de l'acceptabilité des sites propres	M O si réduction du nombre de véhicules, mais R si coexistence mal maîtrisée

TENDANCES

- Des objectifs ambitieux pour le vélo. La Ville de Paris ambitionne de tripler la part modale du vélo sur les déplacements domicile-travail entre 2015 et 2020, quand la région Ile-de-France veut tripler les déplacements au niveau régional entre 2010 et 2021. Si l'on peut douter que ces objectifs soient tenus, ils témoignent toutefois d'une tendance forte pour le vélo.

Un enjeu classique des politiques de mobilité durable est l'allocation de l'espace urbain, par nature limité, entre les différents modes de transport. Ainsi, une étude récente évalue que sur les 2 800 hectares de voirie à Paris, 1 419 sont utilisés par des voitures, dont 200 hectares de parking sur voirie (Breteau, 2016) ; basculer seulement 20 % de cette surface aux pistes cyclables permettrait de multiplier par trois la surface actuellement dédiée aux pistes cyclables (85 ha) à Paris. Néanmoins, les changements d'affectation des voies urbaines font très souvent l'objet de résistance politique, comme l'illustrent les exemples récents de la fermeture des voies sur berges à la circulation automobile à Paris ou la création d'une piste cyclable rue de Rivoli, également à Paris. Ouvrir de nouveaux sites propres pour les transports en commun, au détriment des automobilistes, nécessite une volonté politique forte. Quels vont être les conséquences de l'autonomie en termes d'allocation de l'espace urbain ? Dans le cadre du scénario 1, la perpétuation du modèle de mobilité individuelle implique le maintien d'un certain *statu quo* sur l'espace dévolu à la voiture, voire une accentuation de son emprise sur le territoire (par exemple sanctuarisation des voies réservées aux véhicules autonomes avec interdiction aux cyclistes), ce qui compromettrait les progrès dans la pratique du vélo. À l'inverse, les scénarios 2 et 3 pourraient conduire à une réduction du nombre de véhicules dans l'espace urbain, ce qui libérerait de la place pour les modes actifs. Dans le scénario 2, les sites propres dédiés aux transports en commun autonomes pourraient être étendus afin de faciliter la circulation des bus autonomes et rendre le service plus performant. Cette extension de l'espace

dévolu aux transports en commun se fera probablement au détriment de la mobilité individuelle, ce qui pourrait susciter une certaine opposition. Les transports en commun autonomes devront donc prouver leur pertinence et leur efficacité pour justifier l'allocation de l'espace à leur profit. Cet équipement en site propre peut être l'occasion de renforcer les infrastructures vélo, mais cela suppose un certain volontarisme politique. De plus, la coexistence des transports en commun autonomes et des vélos au sein des sites propres ne semble pas évidente. Le scénario 3 suscite quant à lui un risque en cas développement non maîtrisé des offres de robots-taxis, avec notamment des problèmes de stationnement « sauvage » ou de dépose gênante, illustrés aujourd'hui par les offres de scooters et de vélos en *free-floating* (vélos en libre-service sans bornes d'attache). Pour tous ces scénarios, une grande incertitude demeure sur la capacité à assurer une coexistence entre les véhicules autonomes, les piétons et les cyclistes. En cas de coexistence difficile – par exemple pour des questions de sécurité, ou parce que les piétons et cyclistes auraient tendance à ralentir les véhicules autonomes –, des infrastructures de séparation pourrait être créées pour isoler les véhicules autonomes du reste de la circulation, générant ainsi de nouvelles coupures urbaines probablement au détriment des modes actifs. Un grand enjeu concernera donc la gestion des voies réservées sur voies urbaines et rapides et aux différents critères d'accès possibles.

5.6. Maîtriser la consommation de ressources liée au cycle de vie

ENJEUX	S1 Mobilité individuelle	S2 Mobilité collective	S3 Mobilité à la demande
Maîtriser la consommation de ressources	R Impact environnemental de la production en masse d'un véhicule high-tech O si favorise l'autopartage à long terme	O Réduire le nombre de véhicules à produire et augmenter leur durée de vie	O Réduire le nombre de véhicules à produire et augmenter leur durée de vie R Offre premium non frugale

Le dernier enjeu de l'autonomie en termes de développement durable concerne la pression sur les ressources, notamment minières, tout au long de son cycle de vie. En effet, la production du matériel numérique et de la batterie des véhicules électriques nécessite l'utilisation de ressources rares, dont l'extraction implique consommation énergétique et impacts sociaux et environnementaux (FNH *et al.*, 2017 ; Ecoinfо, 2014).

Dans la mesure où la plus grande partie des impacts ont lieu au moment de la production des véhicules, le premier levier pour réduire la

consommation en ressources de la mobilité autonome consiste à réduire le nombre de véhicules et donc la taille du parc automobile. De ce point de vue, le scénario 1 perpétue un parc important de véhicules et donc des consommations de ressources élevées. Toutefois, il pourrait apporter des bénéfices à long terme si la connectivité et l'autonomie des véhicules favorisent les pratiques d'autopartage et donc la réduction du parc. Cette hypothèse n'est pas envisageable si les véhicules autonomes restent des véhicules *premium*, puisqu'on peut imaginer que leurs propriétaires, plus aisés, soient peu enclins à partager leur véhicule. Néanmoins, si l'autonomie se généralise dans toutes les gammes de véhicules, l'autopartage pourra lui être facilité car l'autonomie retire le besoin de faire confiance à un autre conducteur et la connectivité facilite la transaction. Des modèles hybrides de possession et de flottes (ex. Tesla) pourront également faciliter l'autopartage. Les scénarios 2 et 3 permettent pour leur part d'envisager directement une certaine réduction de la taille du parc et devraient être plus favorables à une réduction de la consommation de ressources. Toutefois, on peut imaginer dans le scénario 3 le développement d'offres *premium* proposant de nombreux services intégrés dans les véhicules, impliquant une consommation de ressources supplémentaires.

Le second levier, qui est lié, est d'augmenter la durée de vie des objets. Dans le scénario 1, aucun élément ne laisse penser que la durée de vie des véhicules augmenterait ; au contraire, la probable obsolescence du matériel numérique des premières versions de véhicules autonomes pourrait réduire cette durée de vie. Dans les scénarios 2 et 3, le bénéfice de la réduction de la taille des flottes ne pourra s'exprimer que si les véhicules produits ont une durée de vie suffisamment longue malgré leur usage intensif. Il faudra donc un choix de matériel robuste, un effort sur la maintenance et le recyclage. Des politiques publiques seront nécessaires pour accompagner cet effort. De plus, les gains en termes d'allongement de la durée de vie impliquent des pertes dues à un renouvellement moins rapide de la flotte : intégration plus longue des progrès techniques et des améliorations de l'efficacité énergétique. Enfin, réduire la taille des véhicules, leur poids ainsi que leur vitesse d'exploitation (par l'intermédiaire d'une réduction du besoin en capacité de calcul) peut réduire le poids sur les ressources nécessaires. Cela est également plus envisageable dans les scénarios 2 et 3, dans le cadre d'incitation par les autorités publiques locales et nationales. Notons que dans le scénario 3, le gestionnaire de flotte peut être incité à utiliser ces leviers sans que cela ne soit automatique,

dans la mesure où il restera à l'écoute des souhaits de ses clients et devra produire une offre attractive en termes de véhicules (taille, renouvellement, service intégré), qui pourra aller à contre-courant d'une réduction des impacts.

6. ENSEIGNEMENTS ET RECOMMANDATIONS

6.1. La mobilité autonome peut prendre différents chemins de développement très contrastés en termes d'impacts sur la durabilité

Il existe différents chemins de développement de la mobilité autonome, dont notre étude a révélé les déterminants à travers un exercice de prospective. Les types de véhicules, les imaginaires associés, les offres de mobilité, le positionnement des acteurs principaux et le cadre de régulation sont autant d'éléments qui structurent la performance des modèles de mobilité autonome en termes de durabilité. Le scénario 1 pourrait faire augmenter le nombre de kilomètres parcourus du fait de l'étalement urbain, de l'effet rebond lié à un plus grand confort (qui incite à passer plus de temps dans le véhicule) et de la possibilité de faire rouler sa voiture à vide. Les efforts pour inciter au partage de trajet et à l'électrification continueront de faire face à certains obstacles existants aujourd'hui. La perspective d'un marché de masse démultiplierait l'impact environnemental induit par la production du matériel numérique. Le scénario 2 permettrait d'étendre les avantages des transports collectifs à la mobilité autonome, mais pose toutefois la question du périmètre géographique de pertinence, et la capacité des acteurs concernés à mettre en œuvre les innovations de la mobilité autonome. Le scénario 3 présente l'opportunité de réduire le nombre de véhicules et d'intensifier fortement le partage grâce à des solutions d'optimisation. Un gestionnaire de robot-taxis serait également incité à décarboner sa flotte et améliorer son efficacité énergétique. Toutefois, le modèle de tarification privée pourrait se faire au détriment de l'équité dans l'accès au service, et la gestion de ces nouveaux acteurs pose une question de gouvernance locale de la mobilité.

L'analyse détaillée des trois scénarios nous permet d'identifier des enseignements plus généraux sur la durabilité de la mobilité autonome dans un futur qui sera certainement un mélange de ces trois scénarios. La mobilité autonome ne sera pas une baguette magique

pour la mobilité durable. Elle présente un certain nombre de risques et les opportunités ouvertes sont loin d'être acquises. Elles ne se réalisent qu'à certaines conditions, qui nécessitent une intervention publique (ex. partage de véhicule, réduction du nombre de véhicules en ville). Que ce soit pour les risques ou les opportunités, l'analyse permet d'identifier les mécanismes et les effets possibles à anticiper dans les politiques publiques.

6.2. Le futur sera un hybride de ces trois visions : les acteurs publics, notamment locaux, doivent orienter ce développement vers une mobilité durable

Plusieurs raisons expliquent que le futur sera hybride. La première est que, comme nous l'avons vu, les acteurs privés des scénarios 1 et 3 vont exprimer des demandes aux pouvoirs publics afin de faire progresser leurs offres et ceux-ci vont également avoir des exigences de service (ex. éviter des zones blanches) et de gestion de la voirie. Il va donc y avoir des arrangements entre les différentes offres et acteurs. Par ailleurs, au-delà de nos scénarios simplifiés, construits pour aider à appréhender les développements de la mobilité autonome, nos trois types d'acteurs ne resteront pas forcément cantonnés à leur offre préférentielle : les constructeurs pourront aussi développer des offres de services, les opérateurs de transport public des flottes de robot-taxis, et les acteurs du numérique des offres de navette... Aucun n'acteur ne pourra complètement s'assurer un monopole sur une offre et devra composer avec les acteurs spécialistes (ex. même un monopole délégué peut être contesté). Enfin, à court terme, il ne va pas y avoir une forme qui va dominer facilement les autres, du fait des incertitudes et difficultés de développement. Ainsi il faut anticiper une hybridation des acteurs à la manœuvre de la mobilité autonome.

Les acteurs publics locaux et nationaux doivent prendre la main pour orienter le développement de la mobilité et ne pas se laisser imposer les termes de la « négociation » sur l'évolution future du modèle de mobilité, notamment dans les scénarios 1 et 3. Le modèle de mobilité collective, s'appuyant sur les transports en commun, est la matrice la plus à même de porter une mobilité autonome durable, du fait des enjeux de régulation de la voirie, d'accès à la mobilité et de financement du service public. Dans un futur de la mobilité autonome qui sera une combinaison des trois scénarios, les acteurs

publics doivent s'appuyer sur ce modèle du scénario 2 et en faire le mode organisateur principal sur lequel s'hybrideront les autres formes de mobilité autonome. Le sens dans lequel les différents modèles s'hybrideront, notamment le type d'acteur à l'initiative et au cœur du système, n'est en effet pas neutre : l'hybridation doit se faire dans le paradigme de la mobilité urbaine collective. Cette hybridation sera déterminée par la vitesse à laquelle chaque forme se développera : par exemple, si la phase A d'expérimentation de systèmes de transports collectifs performants dure trop longtemps, il est probable que le scénario 1 finisse par dominer. Elle sera également déterminée par la capacité des acteurs du transport public à progressivement organiser une gouvernance multi-acteurs de la mobilité. Alors que la France vient de publier sa Stratégie nationale pour le développement de la mobilité autonome²⁹ et son expérimentation dans le cadre de la Nouvelle France Industrielle³⁰ et de la future Loi d'orientation mobilité, notre étude nous permet de formuler plusieurs recommandations.

Mettre les villes en première ligne pour définir la mobilité autonome de demain
Il est nécessaire d'engager les collectivités locales dans la conception des expérimentations et des politiques nationales. Les acteurs locaux sont déterminants dans la mise en œuvre des politiques nationales de transition écologique, comme l'illustre leur rôle pour mettre en œuvre les politiques climatiques. Les villes ont un rôle important pour modeler le système de mobilité : elles agissent en tant que pourvoyeuses de services de mobilité, mais aussi en tant que régulatrices (vignette environnementale, péage, gestion des places de stationnements et de la voirie). Il est donc crucial de les intégrer dans la stratégie d'expérimentation, qui ne doit pas uniquement tester les aspects technologiques mais également les possibles économiques et serviciels (rentabilité) et la façon dont le service proposé est en adéquation avec les usages individuels (préférences en termes de nombre de passagers par navette par exemple) et les demandes politiques collectives (intégration dans le projet d'urbanisation du territoire par exemple).

29. https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/18029_D%C3%A9veloppement-VA_8p_DEF_Web.pdf

30. Réseau d'acteurs industriels engagés avec les différents ministères pour moderniser les outils industriels et transformer les modèles économiques par le numérique (<https://www.economie.gouv.fr/nouvelle-france-industrielle/accueil>)

Des modèles locaux de mobilité aux stratégies industrielles

Une coalition de villes pourrait lancer un appel d'offre aux constructeurs et opérateurs de mobilité autonome pour fournir le robot-taxi le plus adapté à la mobilité urbaine et le plus frugal en énergie et en ressources. En effet, les acteurs de ce marché de la mobilité urbaine en pleine transformation sont attentifs aux règles instaurées par les villes. Ainsi, un certain nombre de villes prévoit de bannir les véhicules diesel à moyen terme (Taylor et Wacket, 2018), la justice allemande a rendu possible l'interdiction des véhicules diesel suite à l'action d'une association (*Le Monde*, 2018), certaines grandes villes mondiales se sont exprimées dans la déclaration du collectif C40 contre les énergies fossiles (C40 Cities, 2017). Ces initiatives montrent que les villes ont de vrais leviers pour orienter le développement de la mobilité autonome selon les modèles qu'elles entendent favoriser sur leurs territoires. Ainsi, les acteurs les plus à même de proposer des offres cohérentes avec les modèles locaux de mobilité des grandes métropoles auront un avantage compétitif. Les pouvoirs locaux ont donc un rôle primordial à jouer pour imposer leurs priorités et leur vision en termes de mobilité et développer leurs feuilles de route de la mobilité autonome. Les stratégies industrielles nationales et internationales seules ne peuvent donner le « la » d'une vision de la mobilité urbaine durable, déterminante de la vie en ville.

Pour préparer une mobilité autonome durable, les expérimentations doivent évaluer l'empreinte en cycle de vie et en consommation énergétique des véhicules et de ses composants numériques (incluant la gestion des données). De telles évaluations seront également utiles pour anticiper les réglementations sur l'efficacité énergétique du matériel numérique et pour développer une véritable approche du numérique responsable dans cette nouvelle mobilité autonome, incluant l'allongement de la durée de vie des équipements et des filières de reconditionnement et de recyclage.

6.3. Préparer l'hybridation de ces trois formes de mobilité autonome

Vers une mobilité plus partagée : ne pas attendre la mobilité autonome pour agir

Soutenir le covoiturage courte distance dès maintenant est un gage de réussite pour une mobilité autonome partagée demain. **Des politiques de soutien peuvent être mises en œuvre dès aujourd'hui** : incitations individuelles, soutien aux acteurs de la filière et infrastructures

Tableau 6. Les principaux risques du véhicule autonome pour la mobilité durable

6 GRANDS ENJEUX	DE NOMBREUX RISQUES POUR LA MOBILITÉ DURABLE	DES PISTES DE SOLUTIONS
Maîtriser la forme urbaine et la demande de mobilité	Hausse de la demande et périurbanisation. À long terme, le nombre de kilomètres parcourus, notamment pour les ménages à hauts revenus, pourrait augmenter (étalement de la ville, véhicules circulant à vide).	Réduire la vitesse maximale autorisée pour limiter l'étalement urbain (chrono-aménagement) Régulation pour limiter la possibilité de faire circuler les véhicules à vide
Assurer l'accès à la mobilité	De nouvelles inégalités dans l'accès à la mobilité pourraient voir le jour (mobilité individuelle plus onéreuse, infrastructures non adaptées/offres de robot-taxis limitées dans certains territoires, voies réservées aux propriétaires de véhicules autonomes, etc.). Différents gagnants/ perdants selon les scénarios.	Anticiper l'adaptation de la fiscalité de la mobilité liée à l'électrification et l'autonomisation (ex. tarification à la distance) Parallèlement, revisiter le modèle de péréquation de la mobilité, afin d'améliorer l'offre de services de mobilité autonome dans les zones moins denses.
Améliorer le partage et l'efficacité énergétique de chaque km	Le partage de trajet est loin d'être une évidence et devra être fortement incité pour surmonter les obstacles actuels, que ce soit pour la mobilité individuelle ou les robot-taxis. Des gains d'efficacité énergétique liés à l'autonomie à relativiser.	Renforcer les politiques de soutien au covoiturage courte distance Tester des services partagés de véhicule autonome Réduire la vitesse maximale autorisée et favoriser une logique de régulation par le temps garanti de déplacement
Décarboner la source d'énergie	La mobilité autonome, malgré ses promesses à long terme, ne change rien à la nécessité d'agir aujourd'hui pour la décarbonation du transport	Renforcer les politiques existantes de soutien aux motorisations peu émettrices Privilégier les modèles serviciels d'exploitation de flotte, plus enclins à adopter ces motorisations
Allouer l'espace urbain aux différents usages	La mobilité autonome pourrait rendre plus complexes encore le partage de la voirie entre ses différents usages (piétons, vélos, etc.) et la gestion de voies réservées	Tester différentes configurations de partage de la voirie pour trouver le meilleur compromis entre fluidité du trafic, incitation au partage de trajet (voies réservées au covoiturage) et sécurité des modes actifs
Maîtriser la consommation de ressources	De nouvelles consommations d'énergie et de ressources liées aux données et à la fabrication du matériel numérique sont à prévoir	Évaluer l'empreinte en cycle de vie et en consommation énergétique des véhicules et des infrastructures numériques Développer un label « numérique responsable » pour les véhicules autonomes Construire la chaîne de recyclage du matériel numérique

(voies réservées)³¹. En parallèle, il est important que les expérimentations testent des services partagés de mobilité autonome, afin d'ancrer dans l'imaginaire collectif l'image d'une mobilité autonome collective et partagée. Il faut aussi pousser et accompagner les acteurs du VTC à développer des offres partagées (à l'instar de ce que propose UberPool) dans le cadre des échanges naissants entre ces acteurs et les villes³² afin d'acquérir de l'expérience et surtout d'habituer les usagers au partage de trajet.

Allocation de la voirie et hiérarchisation du réseau routier

Le régime différencié de gestion de la voiture au niveau territorial entre les centres urbains et la périphérie (type voies rapides) que l'on connaît aujourd'hui persistera avec la mobilité autonome. En effet, dans les centres villes, si on poussait tous

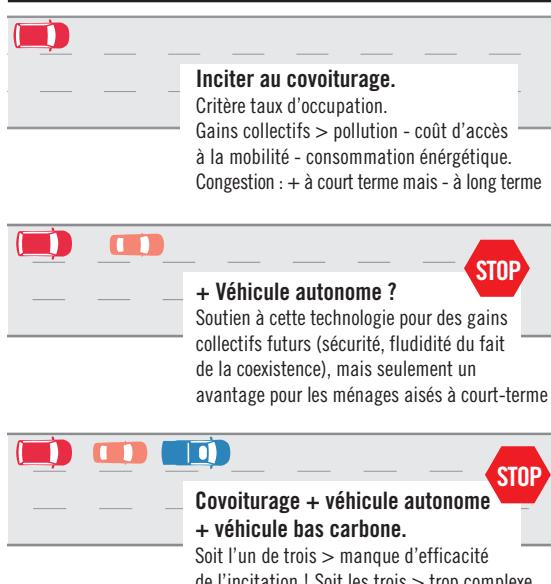
les curseurs de la mobilité autonome pour en tirer les bénéfices maximaux (isoler les véhicules autonomes pour fluidifier leur circulation), on irait à l'encontre des modes actifs et donc des objectifs des villes. Des modes de gestion de la coexistence vont donc devoir être expérimentés. Sur les grandes voies urbaines, un des objectifs sera de maximiser les bénéfices des véhicules autonomes (fluidité, vitesse), ce qui peut amener à vouloir séparer les véhicules autonomes du reste du trafic, ce qui ne va pas sans poser des questions, comme la figure ci-dessous l'illustre. Il y aura donc des curseurs à régler sur les limites géographiques de chacun de ces modes de gestion³³. **Quel choix de partage pour les voies réservées pour quel modèle de mobilité ?** Des questions se posent à court terme sur les choix politiques autour des voies réservées sur les grandes voies urbaines. Ces choix auront des impacts à long terme sur le modèle de mobilité autonome.

31. Les recommandations du groupe de travail covoiturage courte distance des Assises de la mobilité ne manquent pas d'idées en la matière : indemnité kilométrique covoiturage, label national, plateforme numérique, etc. Voir <https://www.assisesdelamobilite.gouv.fr/syntheses>.

32. Voir par exemple les négociations entre Uber et l'opérateur de transports publics à Londres (Davies, 2017).

33. La consultation internationale du Grand Paris pour le futur de ses autoroutes participera à cette nécessaire réflexion. Voir <http://www.forumgrandparis.fr/actualites-forum-metropolitain-grand-paris/mobilites-2030/forum-metropolitain-grand-paris-lance>

Figure 13 : inciter par des voies réservées : des enjeux de politiques publiques à trancher.



Ces objectifs ne sont pas nécessairement inconciliables, mais il y a toutefois un double impératif de lisibilité pour les citoyens – une régulation combinant ces différentes règles serait difficile à lire et anticiper au quotidien – et d'efficacité pour les pouvoirs publics. En effet, si les critères d'accès à la voie réservée étaient trop larges (ex. une seule des trois conditions suffit), alors la voie risquerait d'être rapidement encombrée, et n'aurait plus d'effet incitatif. Au contraire, si l'accès à la voie réservée était autorisé seulement si 2 ou 3 conditions étaient réunies, alors la difficulté à satisfaire ces conditions rendrait très difficile l'acceptabilité politique de cette régulation (voir Figure 13).

Agir sur la vitesse en zone urbaine

Alors que la vitesse sur les nationales et les départementales doit baisser à 80 km/h et que de nombreuses villes débattent sur la généralisation des zones 30 km/h, le développement de la mobilité autonome repose la question de la vitesse maximale, en mettant notamment l'accent sur la stabilité de la vitesse moyenne en zone urbaine. Une vitesse plus faible aurait en effet de nombreux effets positifs pour la conduite autonome : facilité de mise en œuvre, réduction du besoin en capacité de calcul, amélioration de l'efficacité énergétique et de la sécurité, meilleure coexistence avec les modes actifs. De plus, une baisse de la vitesse aurait probablement un impact bénéfique sur l'étalement urbain, car les gains en vitesse ont généralement été réinvestis dans de la distance (Metz, 2008). La mobilité autonome permet également de passer d'une logique de régulation par la vitesse

maximale à une logique de régulation par temps garanti de déplacement.

Encadré 7. Améliorer l'efficacité des flottes de robot-taxis

Un enjeu clé pour améliorer l'efficacité des robot-taxis est d'assurer un taux d'occupation élevé, ce qui améliore leur efficacité énergétique, réduit le nombre de véhicules nécessaires, mais aussi le coût du service et donc son accessibilité. Plusieurs leviers peuvent être mobilisés dans ce cadre :

- assurer une interopérabilité des différentes solutions offertes sur le territoire : plus la flotte est dense sur le territoire, plus on peut réduire les kilomètres parcourus à vide, en maximisant la proximité entre un véhicule et un passager ;
- rendre l'utilisation de la voiture individuelle (et non partagée) relativement plus chère grâce à des mesures fiscales ou réglementaires afin d'augmenter le nombre d'usagers potentiels et la fluidité ;
- hybrider l'offre de transport de passagers avec des services de logistique urbaine pour augmenter l'occupation avec des colis et marchandises ;
- optimiser l'offre et la demande *via* une tarification dynamique du prix des courses peut également améliorer le niveau d'occupation (Cramer et Krueger, 2016) ;
- hybrider avec les modèles où des propriétaires de véhicules individuels louent leur véhicule à une flotte de robots-taxis (ex. Tesla Networks).

6.4. Une nouvelle gouvernance de la mobilité

Pour orienter la mobilité autonome vers le développement durable, les collectivités locales ne peuvent pas imposer uniquement un scénario basé sur les transports en commun. Elles devront coordonner les autres logiques de développement et leurs promoteurs autour de leur projet. En d'autres termes, elles doivent développer une nouvelle gouvernance de la mobilité.

Les pouvoirs publics locaux peuvent profiter de l'immaturité de la technologie pour imposer et développer leur modèle. Par leurs compétences sur l'aménagement de la voirie et sa régulation, les acteurs publics peuvent imposer leurs conditions en échange d'un écosystème propice à la conduite autonome et ainsi sélectionner et faciliter les niches cohérentes avec leur stratégie. Développer par exemple des infrastructures connectées peut leur permettre de prendre un temps d'avance et de fixer les bases d'une régulation intelligente future de la mobilité autonome (gestion des priorités au carrefour ou selon le taux d'occupation des véhicules, voies réservées, vitesse, etc.).

Les limites technologiques vont amener les promoteurs de l'autonomie à adresser des demandes aux pouvoirs publics, comme le décrivent nos

scénarios : accès aux infrastructures et au stationnement dans le scénario 1 ; terrains d'expérimentation et accès à des aménagements pour rendre leur offre performante (sites réservées, zones de dépose, etc.) dans le scénario 3. Les pouvoirs publics doivent donc saisir cette opportunité pour imposer leurs conditions. Les expérimentations sont des opportunités intéressantes pour commencer à collaborer avec ces acteurs innovants en veillant à ne pas trop les « cadrer », ce qui pourrait leur faire perdre une partie de leur efficacité (flexibilité et optimisation basées sur l'analyse des données). L'hybridation portée par les pouvoirs publics passe donc par des négociations autour de ces demandes et par des compromis. Ayant la main sur l'aménagement de la voirie et sa régulation, les acteurs publics auront des marges de négociation.

Cet effort de coordination pourrait se faire dans le cadre de *“mobility as a service”* (MAAS). Aujourd'hui, ces solutions font face à certains blocages (Ouishare et Chronos, 2017), mais les acteurs publics pourraient prendre l'initiative de construire ces services, y compris en s'associant à des acteurs privés. L'unification et l'optimisation du système de mobilité dépendent du degré d'intégration des services de la billetterie, abonnement commun, système de cofinancement et de péréquation, pilotage collectif³⁴.

Encadré 8. Gouverner la ville numérique réelle³⁵

- La mobilité est marquée par un ensemble de déstabilisations dues notamment à une prolifération d'initiatives privées de tous ordres : offres de covoiturage du quotidien, vélos et scooters en *free floating*, gyropodes et trottinettes électriques, taxis partagés, etc. Face à ces nouvelles offres, les décideurs publics ont bien du mal à s'y retrouver et à évaluer celles qui peuvent apporter des solutions aux problématiques qui les concernent. Cependant, pour que ces innovations contribuent à la mobilité durable, il semble impératif de les intégrer dans une gouvernance de la mobilité capable de faire dialoguer services publics et nouvelles mobilités. Les acteurs du numérique semblent de plus en plus conscients qu'une amélioration de la mobilité passe par une action collective et dépasse leur unique offre, et des collaborations inédites entre acteurs publics et privés apparaissent : partenariat entre Waze ou Uber et des collectivités locales concernant l'échange de données ou la fourniture de

34. Voir le programme Mobilité 3.0 porté par ATEC ITS France (<https://atec-its-france.com/mobilite-3-0/>)

35. Cet encadré s'appuie sur les résultats du projet Audacities, mené par l'Iddri et la Fing, qui explore les liens entre gouvernance et innovation. Pour plus d'informations, voir aussi Saujot, M. et Marcou, T. (2018). « Écologiques, les nouvelles mobilités ? » *Libération*, 30/01/18 http://www.libération.fr/france/2018/01/30/écologiques-les-nouvelles-mobilités_1626124

services ; co-financement d'offres de covoiturage par des pouvoirs locaux et intégration de ces nouvelles offres dans les calculateurs d'itinéraires publics dont Vianavigo en Île-de-France est un exemple. De nouvelles politiques publiques, innovantes elles aussi, sont nécessaires afin de définir les conditions de cette coordination. C'est à travers ces nouvelles relations que des questions aussi fondamentales que le financement des infrastructures ou le partage de l'usage de la voirie pourront être résolues. Ces initiatives font toutefois l'objet de tensions, notamment parce que les plateformes numériques ont à cœur de garder un lien privilégié avec leur communauté et d'optimiser leur propre offre, ce qui va quelquefois à rebours d'une stratégie de coordination des offres. Une autre source de difficulté concerne les algorithmes, qui exercent sur les territoires urbains une empreinte croissante, mais qui sont généralement très opaques pour les pouvoirs publics. L'enjeu pour les décideurs publics est donc de s'assurer que leurs objectifs de mobilité soient pris en compte dans ces algorithmes.

De nouvelles infrastructures numériques pour la gouvernance future de la mobilité

Structure d'échange de données, plateforme commune, application de calcul d'itinéraire : autant d'outils nécessaires à la coordination des offres de mobilité et que les pouvoirs publics vont devoir investir. Un acteur comme Google commence à se positionner sur ces briques d'une *“mobility as a service”* via sa filiale Coord. En France, la Fabrique de la mobilité anime un réseau d'acteurs pour produire en *open source* ces briques nécessaires à tous les acteurs. C'est également un savoir-faire dans la compréhension de cette dimension numérique qu'il faut développer : ainsi, les règles décidées par la collectivité locale (choix des itinéraires, niveau de partage à optimiser, éco-conduite) devront progressivement être intégrées dans les algorithmes de Waze ou Waymo dans le cadre d'une collaboration entre acteurs.

Quelle fiscalité et tarification pour accompagner la mobilité durable ?

L'électrification du parc de véhicules pose déjà la question de l'érosion à long terme de la TICPE, une ressource importante pour l'État, et donc de son remplacement. La mobilité autonome et connectée ajoute une dimension à ce questionnement en imaginant de nouvelles manières de tarifier : faudra-t-il des tarifications dynamiques (heure de pointe), au kilomètre, pour éviter les effets rebond (circulation à vide des véhicules) ? Enfin, au niveau du modèle urbain de financement du transport public, l'avènement de la mobilité autonome pourrait offrir des opportunités pour changer les péréquations entre les services profitables et ceux nécessitant des subventions (ce qui inclut les nouveaux services type robot-taxis qui

pourraient s'y inscrire). **Ces réflexions doivent se développer à court terme tant on connaît l'inertie de ces questions** (ex. gestion de la fiscalité du diesel).

Vers une nouvelle logique de régulation de la mobilité ?

La mobilité autonome pourrait estomper la frontière entre mobilité individuelle et mobilité servicielle, tendance initiée par ailleurs avec les offres de covoiturage, d'autopartage et de vélos partagés. Dans une telle vision, la mobilité pourrait alors être pleinement un service, acheté à un opérateur public ou privé (sauf pour les mobilités actives). Dans ce cadre d'une mobilité purement servicielle, la route et le trafic pourraient être régulés de manière tout à fait différente. Par exemple, la collectivité pourrait mettre aux enchères l'usage de la route aux différents opérateurs, comme elle le fait pour les fréquences pour les opérateurs de télécommunication. Autre analogie, la régulation pourrait s'inspirer du rail ou de l'aérien, où la supervision par un régulateur est forte : la route ne serait alors plus l'espace de liberté que l'on connaît aujourd'hui. Cela n'interdirait pas forcément la mobilité individuelle (il est ainsi possible de posséder son propre avion), mais celle-ci devrait s'adapter aux règles du mode organisateur qui seraient alors optimisées pour la mobilité servicielle (règles de priorité aux intersections comme les tramways, accès à des voies réservées virtuelles). Cela donne à penser une hybridation du scénario 1 : les collectivités locales pourraient inciter à ce que les véhicules autonomes et connectés communiquent avec un planificateur central afin de faciliter un trafic fluide et de mieux utiliser les infrastructures routières.

Nous voulons souligner que cette nouvelle gouvernance sera aux prises avec une situation permanente d'arbitrages entre les différentes offres de mobilité autonome publiques et privées (équité du financement public en cas de subventions, espace de voirie dédié, vitesse autorisée), que l'on retrouve aujourd'hui entre la voiture individuelle et les transports collectifs. Les pouvoirs publics devront également en permanence inciter au partage de véhicules, les usagers pouvant progressivement demander par exemple une offre de robot-taxis plus individuelle. Il faudra donc que les autorités organisatrices de la mobilité évoluent vers un rôle

de coordination des différentes offres portées par des opérateurs privés, et donc au-delà de la seule gestion du transport public, afin de trouver des compromis cohérents avec la stratégie de la ville.

Gouverner la mobilité dans les villes et hors des villes

La mobilité autonome devrait d'abord transformer les zones urbaines denses. Quelle sera l'étendue de ces changements dans les coeurs urbains et comment pourront-ils s'articuler avec les territoires moins denses où le véhicule individuel pourrait rester le plus pertinent ? Rappelons que les aires urbaines des métropoles françaises regroupent 26 millions d'habitants. Cette échelle des bassins de vie est importante pour comprendre les mutations de la mobilité, mais également ses difficultés : ce sont les interactions au sein de ces bassins qui rendent difficiles les transformations des centres, souvent accusés de se couper du reste de l'aire urbaine (ex. débat sur les péages urbains ou sur la réduction du stationnement dans les centres villes). Même si la mobilité ne va pas foncièrement changer dans les zones moins denses, où la mobilité individuelle restera vraisemblablement dominante, l'évolution de la mobilité urbaine pourrait avoir un impact sur la mobilité dans son ensemble (interrelation géographique; émergence de nouveaux acteurs mondiaux de la mobilité; changement dans la fiscalité). **La mobilité autonome ne sera pas une solution magique pour les territoires peu denses** où la voiture individuelle est souvent l'un des seuls modes de transport viable pour tous les déplacements³⁶. Les navettes qui y seraient déployées pourront faire mieux que les bus existants, mais nécessiteront toutefois une certaine masse critique d'utilisateurs, et le développement du covoiturage dépendra tout autant, voire plus, des politiques de soutien. La mobilité autonome ne sera pas non plus une solution évidente pour les ménages contraints budgétairement, car elle devrait, pour une longue période, être synonyme de surcoûts. ■

36. Même s'il ne faut pas négliger le potentiel du vélo, notamment à assistance électrique.

BIBLIOGRAPHIE

- Adoue, F. (2016). La mobilité connectée au quotidien. Les usages du smartphone dans les transports en commun franciliens, thèse Paris Est.
- AIE (2017). Digitalization et Energy
- Arthaut, R. (2005). *Le budget transports des ménages depuis 40 ans*. Insee.
- ATEC-ITS, Cadre stratégique "Mobility as a service" (2017). Mobilité 3.0
- Bergerolle, E. (2017). "En 2016, le prix moyen d'une auto neuve a augmenté de 720 euros", Challenges, 27/04/2017, https://www.challenges.fr/automobile/actu-auto/l-argus-dresse-portrait-robot-de-la-voiture-moyenne-des-francais-en-2016_469640
- Bloomberg Philantropies (2017). *Taming The Autonomous Vehicule : A Primer for Cities*, Bloomberg Philantropies et The Aspen Institute Center for Urban Innovation, New York, <https://www.bbhub.io/dotorg/sites/2/2017/05/Tamingthe Autonomous VehicleSpreadsPDFreleaseMay3rev2.pdf>
- Bonnington, C. (2018). "The cyclist problem", Slate, 03/02/18, <https://slate.com/technology/2018/02/self-driving-cars-struggle-to-detect-cyclists-bicycle-to-vehicle-communications-arent-the-answer.html>
- Breteau, P. (2016). "A Paris, la moitié de l'espace public est réservé à l'automobile" 30/11/2016 Le Monde
- Brice, L., Crouatte, P., Jauneau-Cottet, P., Lautié, P. (2015). *Baromètre du numérique*, CREDOC
- Brimont, L., Demailly, D., Saujot, M., Sartor, O. (2016). Les nouveaux acteurs de la mobilité collaborative: des promesses aux enjeux pour les pouvoirs publics, Iddri, Study n°02/16.
- Brooks, R. (2017). The seven deadly sins of AI predictions, Blog du MIT Technology Review, <https://www.technologyreview.com/s/609048/the-seven-deadly-sins-of-ai-predictions/>
- C40 Cities (2017). *Notre engagement pour des rues plus vertes et plus saines. Déclaration du C40 pour des rues sans énergie fossile*, <http://www.c40.org/other/fossil-fuel-free-streets-declaration>
- Champagne, E., Negron-Poblete, P. (2012). La mobilité urbain durable: du concept à la réalité, VertigO, hors-série 11, <https://vertigo.revues.org/11779>
- Chimits, X. (2016). "Voiture Moyenne d'occasion : le prix monte, le kilométrage baisse", L'argus.fr, 05/05/2016, <http://pro.largus.fr/actualites/voiture-moyenne-doccasion-le-prix-monte-le-kilometrage-baisse-7871407.html>
- Coppola, G., Dey, E. (2017). "Another Big challenge for autonomous cars engineers : Energy efficiency", Automotive News, 11/10/17, <http://www.autonews.com/article/20171011/MOBILITY/171019855/another-big-challenge-for-autonomous-car-engineers:-energy-efficiency>
- Cramer, J. et Krueger, A.B. (2016). Disruptive change in the taxi business: the case of Uber, Working Paper 22083 <http://www.nber.org/papers/w22083>
- Créno, L. (2016). Covoiturer entre inconnus: des risques perçus à la construction de la confiance, panorama des expériences vécues des usagers, thèse Télécom ParisTech.
- Crozet, Y. (2016). *Hyper-Mobilité et Politiques Publiques: Changer d'époque?*, Economica, Paris
- Davies, R. (2017). Uber and TfL plan more talks after meetinf fails to resolve London row , The Guardian, 03/10/17, <https://www.theguardian.com/technology/2017/oct/03/uber-tfl-talks-dara-khosrowshahi-london-licence>
- DDPP-T Consortium (2017). Beyond Emission targets: how to decarbonize the passenger transport sector?, Iddri, *Issue Brief n°7/17*.
- Duchemin, B., Marembaud, O. (2015). Révolution numérique et évolution des mobilités individuelles et collectives (transport de personnes), Conseil Economique Social et Environnemental (CESE)
- Dungs, J. et al. (2016). *"The Value of time" - Potential for users-centered services offered by autonomous driving*, Fraunhofer IAO et Horvath et Partners.
- Ecoinfo (2014). *Le numérique... et l'environnement ?* CNRS (ecoinfo.imag.fr/wp-content/uploads/2014/03/expo-le-numerique-et-l-environnement.pdf)
- Electrek (29/05/2017). People are still dangerously referring to Tesla's Autopilot as a 'self-driving' system, Fred Lambert, <https://electrek.co/2017/05/29/tesla-autopilot-dangerously-self-driving/>
- Ewing, R., Cervero, R. (2010). Travel and the Built Environment, *Journal of the American Planning Association*, 76:3, 265-294.
- ENTD (2008). Enquête Nationale Transports et Déplacements.
- Fang, W (2017). Understanding transit-oriented development through bike-sharing big data, 24/10/17, blog Sustainable Cities, Banque Mondiale (<http://blogs.worldbank.org/sustainablecities/understanding-transit-oriented-development-through-bike-sharing-big-data>)
- Fagnant, D., Kockelmann K. (2015). Preparing a nation for autonomous vehicles: opportunities, barriers and policy recommendations, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 77, 167–181.
- Fast Company (2014). Will you ever be able to afford a self-driving car? <https://www.fastcompany.com/3025722/will-you-ever-be-able-to-afford-a-self-driving-car>
- Fondation pour la Nature et l'Homme (FNH), Réseau pour la transition énergétique (CLER), WWF, France Nature Environnement, Réseau Action Climat (RAC) (2017). *Huit conditions du développement de l'électromobilité pour l'inscrire dans la transition écologique et la lutte contre les changements climatiques* https://reseaucionclimat.org/wp-content/uploads/2017/12/conditions_voitures_electriques.pdf
- Flonneau, M. et Orfeuil, J-P. (2015). Vive l'automobilisme ! (2) Pourquoi il faut défendre la route, Fondation pour l'innovation politique, Paris.

- Fulton, L., Mason, J. et Meroux, D. (2017). *Three Revolutions in Urban Transportation*, UC Davis, Institute for Transportation and Development Policy.
- Glus, P., Rothman, E., Iacobucci, J. (2017). *Driveless Future. A Policy Roadmap for City Leaders*, Arcadis, HRetA, Sam Schwartz.
- Green Business Development (2018). *European New Mobility Survey*.
- Heath, A. (2016). Inside Uber's quest to get more people in fewer cars, Business Insider, 7/06/16, <http://www.businessinsider.fr/us/uberpool-ride-sharing-could-be-the-future-of-uber-2016-6/>
- Héran, F. (2014). « Le retour de la bicyclette. Une histoire des déplacements urbains en Europe de 1817 à 2050 » La Découverte.
- Hubert, J-P (2009). Dans les grande agglomérations, la mobilité quotidienne des habitants diminue et elle augmente partout ailleurs, Insee Première n°1252, Insee.
- IAU (2008). *170 millions de kilomètres par jour*, Institut d'Aménagement et d'Urbanisme, https://www.iau-idf.fr/fileadmin/NewEtudes/Etude_543/170km-rapport-final.pdf
- IAU (2013). Mos 2012 : la ville se construit majoritairement en "recyclage", Institut d'Aménagement et d'Urbanisme, note rapide n°636, https://www.iau-idf.fr/fileadmin/NewEtudes/Etude_1031/NR_636_web.pdf
- IHS Markit (2014). Emerging Technologies: Autonomous Cars- Not if, but when, <http://news.ihsmarkit.com/press-release/automotive/self-driving-cars-moving-industries-drivers-seat>
- Intel (2017). The 5G-Autonomous Driving Connection, Intel Fact Sheet.
- ITF (2015). *Urban Mobility System Upgrade. How shared self-driving cars could change city traffic*, International Transport Forum, OCDE, Paris.
- ITF (2017). *Shared Mobility Simulations for Helsinki. Case-specific policy analysis*, International Transport Forum.
- Jangla, K. (2018). Machine Learning Deployments, podcast du 14/02/18 (<https://softwareengineeringdaily.com/>)
- Janin, L., Nemri, M., Raynard, C. (2016). *La voiture sans chauffeur, bientôt une réalité*, France Stratégie, Note d'analyse n°47.
- Le Monde (2018). *Allemagne : la justice ouvre la voie aux interdictions des vieux véhicules diesel en ville* 27/02/2018 http://www.lemonde.fr/pollution/article/2018/02/27/allemande-la-justice-ouvre-la-voie-aux-interdictions-des-vieux-diesel-en-ville_5263168_1652666.html
- Le Vine, S., Polak, J. (2014). *Automated Cars: A smooth ride ahead?* Independent Transport Commission.
- Levinson, M. (2011). *The box: comment le conteneur a changé le monde*, Paris : Max Millo.
- Limousin, L. et Voisin, D. (2014). *Les solutions de mobilité soutenable en milieu rural et périurbain*, Fondation Nicolas Hulot (FNH)
- Lindeman, T. (2017). The 5G Network Probably Won't be Good Enough for Self-Driving Cars, *Motherboard*, https://motherboard.vice.com/en_us/article/qvzd3v/5g-network-wont-be-good-enough-for-autonomous-cars
- Lindsay, G. (2016). *Now Arriving: A Connected Mobility Roadmap for Public Transport*, New Cities Foundation.
- McKinsey&Company, Bloomberg New Energy Finance (2016). *An integrated perspective on the future of mobility*.
- Metz, D. (2008). The Myth of Travel Time Saving, *Transport Reviews: A Transnational Transdisciplinary Journal*, 28:3, 321-336.
- Morcheoine, A. et Vidalenc, E. (2009). *Les transports électriques en France : un développement nécessaire sous contraintes*, ADEME.
- NREL (2014). *Autonomous have a wide range of possible energy impacts*, Workshop on road vehicle automation, Stanford, CA, <https://www.nrel.gov/docs/fy13osti/59210.pdf>
- Obsoco (2014). *Observatoire des mobilités émergentes. Partages, multimodalité, connexion généralisée: les nouveaux comportements et arbitrages des français en matière de mobilité*, Obsoco, Chronos.
- Olvera, L. D., Plat, D., Pochet, P. (2002). Hiérarchie sociale, hiérarchie modale dans trois capitales africaines, L'Harmattan.
- Omnil (2010). *Enquête Globale Transport, résultats détaillés* (<http://www.omnil.fr/IMG/pdf/-4.pdf>).
- Ouishare, Chronos (2017). *Vers un transport de MaaS, Les dessous de l'innovation n°1*.
- Plassat, G. (2017). Prenez place, le combat des O.S. automobile commence, *Les transports du futur*, 31/05/17, <http://transportsdufutur.ademe.fr/2017/05/prenez-automobile-commence.html>
- Predit et Ademe (2005). *Le temps de recherche d'une place de stationnement, Tome 1 : Rapport*, Predit et Ademe.
- Quartz (05/03/2017). What it really costs to turn a car into a self-driving vehicle. Steve Levine, <https://qz.com/924212/what-it-really-costs-to-turn-a-car-into-a-self-driving-vehicle/>
- Ravalet, E., Bussière, Y. (2012). Les systèmes de vélos en libre-service expliquent-ils le retour du vélo en ville? *Recherche transports sécurité n°1*, 15-24.
- Sartor, O., Spencer, T., Fryatt, O. (2017). Véhicules électriques en France: un plan de financement à 15 ans pour un déploiement massif, Iddri, *Study n°08/2017*.
- Smarter Cars (2017). Smarter Cars Podcast with Michelle Kyrouz, iTunes, 2017, <https://itunes.apple.com/us/podcast/smarter-cars/id1223757516?mt=2>
- Saujot, M. (2013). Analyse économique et simulation prospective dans la planification de la ville sobre en carbone : Application à Grenoble du modèle TRANUS+, thèse de doctorat, Paris, ENMP.
- Saujot, M., de Lapparent, M., Arnaud, E., Prados, E. (2016). Making land use – Transport models operational tools for planning: From a top-down to an end-user approach, *Transport Policy*, 49 :20-29, <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2016.03.005>
- Saujot, M., Demainly, D., Guetté, C. (2017). Lutter contre la vulnérabilité liée à la mobilité en France, Iddri, *Policy Briefs n°07/2017*.
- Stewart, J. (2018). "Self-driving cars use crazy amounts of power, and it's becoming a problem", WIRED, 06/02/18, <https://www.wired.com/story/self-driving-cars-power-consumption-nvidia-chip/>

- Taylor, E. et Wacket, M. (2018). German court to rule on whether cities can ban heavily polluting vehicles in pivotal moment for country's car makers, *Independent*, 19/02/18 <http://www.independent.co.uk/news/business/news/germany-diesel-emissions-ban-cities-court-ruling-air-pollution-volkswagen-bmw-daimler-a8217341.html>
- Theys, J. (2009). *Les villes, au cœur de la transition vers des sociétés post-carbone*, Commissariat général au développement durable (CGDD).
- UITP (2015). Public Transport Trends. International Association of Public Transport.
- Vincent-Geslin, S. et Ravallet, E. (2015). La mobilité dans tous ses états. Représentations, imaginaires et pratiques, *SociologieS* (<http://sociologies.revues.org/5134>)
- Vitaud, L. (2017). Les centres commerciaux sont-ils condamnés ?, *L'ADN* n°11, 31/08/2017
- Waddud, Z., D. MacKensie, P. Lelby (2016). Help or hindrance? The travel, energy and carbon impacts of highly automated vehicles, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0965856415002694>
- Winter, K. (2017). Pour les voitures autonomes, 4 téraoctets représentent beaucoup, *Blog Chip Shots, Intel*, 25 Avril 2017, <https://newsroom.intel.fr/chip-shots/voitures-autonomes-4-teraoctets-representent-beaucoup/>
- Zwirn, H., Paul-Dubois-Taine, O., Delabie, G. (2017). *Etude des impacts de la voiture autonome sur le design du Grand Paris*, CVT Athéna.

Mettons la mobilité autonome sur la voie du développement durable

Mathieu Saujot, Laura Brimont, Oliver Sartor (Iddri)

- Saujot, M., Brimont, L., Sartor, O. (2018). Tableau de bord pour une mobilité autonome durable. Iddri, *Policy Brief* N°02/18.
- Sartor, O. *et al.* (2017). Véhicules électriques en France : un plan de financement à 15 ans pour un déploiement massif. Iddri, *Study* N°08/17.
- Brimont, L. *et al.* (2016). Les nouveaux acteurs de la mobilité collaborative : des promesses aux enjeux pour les pouvoirs publics. Iddri, *Study* N°02/16.
- Saujot, M., Brimont, L., Sartor, O. (2017). Comment accélérer la mobilité durable avec le véhicule autonome. Iddri, *Issue Brief* N°02/17.

Publications disponibles en ligne sur : www.iddri.org

www.iddri.org

Institut de recherche indépendant, l'Institut du développement durable et des relations internationales (Iddri) a pour objectif de favoriser la transition vers le développement durable et la prospérité pour tous. L'Iddri identifie les conditions nécessaires pour que le développement durable soit intégré aux politiques publiques et propose des outils pour leur mise en œuvre. Il intervient à différents niveaux, de la coopération internationale aux politiques des pays, villes et entreprises. L'Iddri constitue une plateforme pour faciliter un dialogue transparent entre toutes les parties prenantes (recherche et communauté académique, gouvernements, société civile, secteur privé), tout en garantissant un apprentissage mutuel et la pertinence de ses recherches.

Ses travaux s'articulent autour de quatre agendas thématiques : climat, vers des sociétés résilientes et bas carbone ; biodiversité et écosystèmes, identifier les leviers de changement ; océan, vers une coopération renforcée pour une gestion durable et équitable des ressources marines ; gouvernance du développement durable, les innovations pour le développement durable.

Fondation reconnue d'utilité publique, l'Iddri participe activement au débat sur les politiques publiques, à l'échelle internationale et nationale, et met à la disposition de tous, via son site Internet, ses différentes analyses et propositions, et les partage lors de conférences et séminaires.

Pour en savoir plus sur les activités et les publications de l'Iddri, visitez www.iddri.org

