

# PEUT-ON FAIRE MIEUX QUE LE TOUT-VOITURE ELECTRIQUE EN FRANCE ?

## Note d'analyse

Auteur : Nicolas RAILLARD, *The Shift Project*

Une grande partie de l'opinion publique et des classes économique et politique connaissent aujourd'hui un engouement pour une vision du futur de la mobilité qui suppose la présence d'énergie et de matériaux abondants et peu chers, accessibles à tous, pour le siècle à venir. Or, les travaux de prospectives actuels tendent à sérieusement remettre en question ce prérequis. *The Shift Project* souhaite donc proposer une vision alternative de la mobilité du futur, qui soit efficiente et résiliente.



Figure 1 : Nescio Bridge Amsterdam (Pays-Bas), plus long pont réservé aux cycles et piétons des Pays-Bas

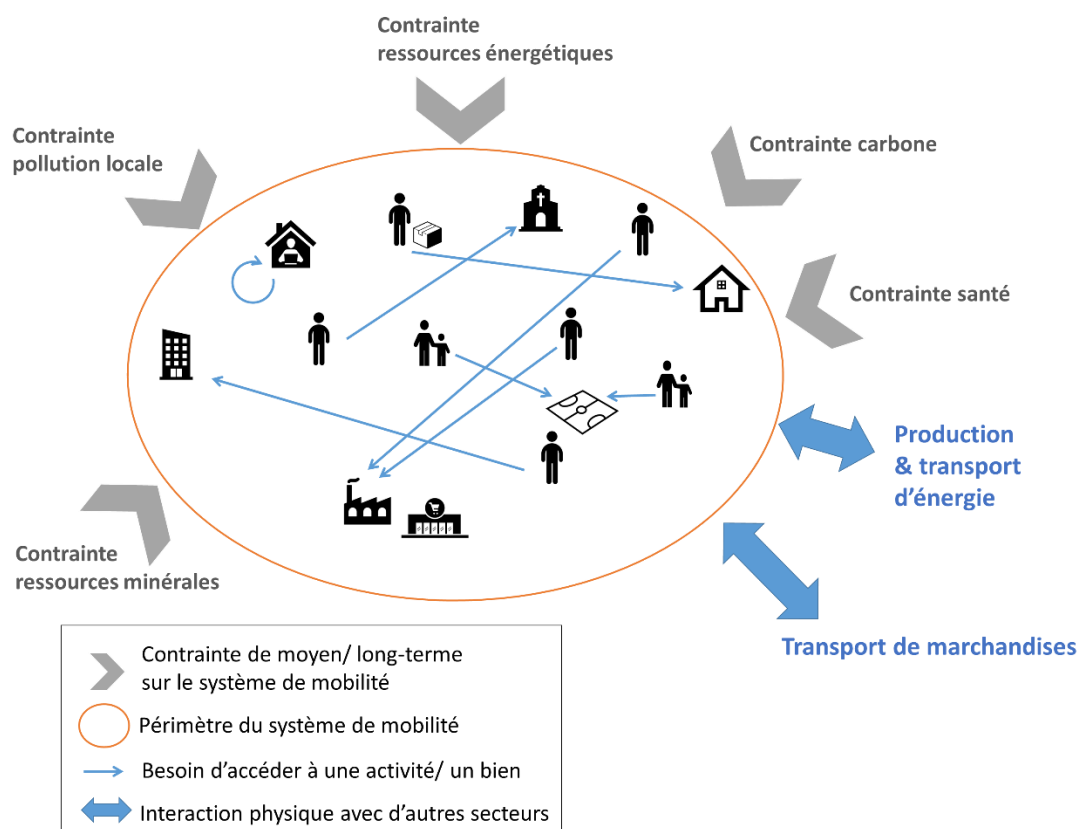
Cette réflexion a été initiée afin de répondre à une demande du comité de révision de la Stratégie nationale bas carbone (SNBC) de propositions de visions de la mobilité du futur.

*The Shift Project* tient à remercier Francisco Luciano (CITEC), et Olivier Paul-Dubois-Taine (IESF, comité Transports) pour leur relecture et commentaires sur cette note. Le contenu de cette note n'engage que son auteur. Les interprétations, positions et recommandations y figurant ne peuvent être attribuées aux relecteurs.

# Synthèse

Cette note évalue les conséquences de la mise en place à long-terme (deuxième moitié du XXI<sup>ème</sup> siècle) d'un ensemble d'incitations et contraintes dans les domaines de la mobilité et de l'aménagement du territoire. Ce cadre fait émerger un système de mobilité efficient en termes de consommation d'énergie et de matériaux. Au contraire, si ce cadre n'est pas mis en place, un système en continuité du système de mobilité actuel émerge, reposant essentiellement sur l'usage de la voiture individuelle. Nous montrons qualitativement que le système efficient est supérieur au système en continuité selon de multiples dimensions environnementales et sociétales. Cela étant montré, restera la question de la transition concrète vers le système de *mobilité efficiente*, non abordée dans cette note.

Cette vision *efficiente* est construite suivant une approche utilisée en ingénierie des systèmes, partant d'une caractérisation des besoins en mobilité (les motifs de déplacement), des différentes contraintes extérieures à ce système de mobilité, et des interactions directes avec d'autres secteurs, afin de concevoir un système répondant aux besoins tout en restant dans le cadre des contraintes (voir figure ci-dessous). Ainsi, les deux systèmes de mobilité comparés répondent aux mêmes besoins de mobilité, considérés comme étant identiques aux besoins actuels.



Deux visions de systèmes de mobilité sont ainsi comparées : la vision dite *tout-voiture électrique*, dans la continuité du système actuel, et la vision dite de *mobilité efficiente*, qui se présente comme une vision alternative. Cette dernière, contrairement au *tout-voiture électrique*, suppose la mise en place d'un système d'incitations et contraintes visant à assurer la mobilité des personnes de manière efficiente, du point de vue de la consommation d'énergie et de matériaux, en tenant compte du cycle de vie du matériel<sup>1</sup>.

**Notre analyse affirme la possibilité de répondre aux besoins en mobilité tout en réduisant les différentes externalités de cette mobilité, y compris globales, en comparaison à la vision de continuité *tout-voiture électrique* : émissions de CO<sub>2</sub> (sur le cycle de vie), polluants locaux, inégalités**

<sup>1</sup> C'est-à-dire en tenant compte de toutes les phases de vie des différents éléments du système de mobilité (véhicules, infrastructures, services numériques...) : phase de production, d'utilisation, et gestion de la fin de vie.

d'accessibilité, résilience, emprise au sol, indépendance en énergie et en matériaux de la France, consommation de ressources énergétiques et de matériaux...

**La comparaison est faite de manière qualitative, en raison de l'absence de données quantitatives** quant à l'élasticité des comportements en présence ou non d'un ensemble de mesures. Cette note n'évalue pas le caractère optimal ou non de la vision *mobilité efficiente* (en termes de coûts pour obtenir les mêmes résultats). Des analyses quantitatives pourraient être réalisées pour conforter ces comparaisons qualitatives et mettre en évidence les différences d'ordre de grandeur entre les deux visions.

Les éléments-clé de la vision *efficiente* sont **une évolution de l'aménagement du territoire, une affectation des espaces de voirie et de stationnement en faveur des modes peu énergivores (sur leur cycle de vie), et des incitations à un usage accru de ces modes.**

Le système de mobilité qui émerge de la mise en place de ce cadre **favorise les modes individuels actifs, ou légers et électrifiés, proposés en tant que service** plutôt que propriété individuelle (économie de la fonctionnalité). Dans certaines situations (transport de charge ou de personnes, distances quotidiennes plus longues), des modes individuels plus lourds, adaptés aux besoins, loués ponctuellement ou en longue durée, sont disponibles. Les **transports en commun** classiques et les transports en commun express sont disponibles respectivement dans les zones denses et moyennement denses.

Il s'agit d'une vision parmi d'autres permettant de **répondre aux impératifs d'efficacité qui seront de rigueur au XXI<sup>ème</sup> siècle**. Les méthodes d'analyse retenues devraient, selon *The Shift Project*, être utilisées pour tout travail de prospective sur la mobilité à long terme :

- définition d'une vision (storyline) dans laquelle le système de mobilité évolue, en fonction d'objectifs prédéfinis (sociétaux, environnementaux...);
- analyse des incitations que cette vision suppose ;
- hypothèses sur l'évolution des besoins de mobilité, et sur l'évolution de l'offre de mobilité, dans le contexte de ces incitations ;
- définition du système de mobilité qui peut émerger de par ces évolutions ;
- analyse systématique des cas d'utilisation du système de mobilité défini (répond-il à tous les besoins de mobilité ?) ;
- analyse des impacts économique-socio-environnementaux du système de mobilité, en comparaison à un scénario alternatif se plaçant dans une vision de continuité (Business as Usual).

# I. Vers une mobilité efficiente

## A. Deux visions à comparer : le tout-voiture électrique, et la mobilité efficiente

Notre étude cherche à comparer deux systèmes de mobilité selon différentes dimensions, telles que leur niveau de service, leur résilience, leurs externalités globales et locales. Nous présentons dans un premier temps les différentes visions menant à deux systèmes de mobilité distincts. La vision *mobilité efficiente* se présente comme une vision alternative, la vision *tout-voiture électrique* se présentant comme la vision de continuité. Ces deux visions sont supposées être mises en place sur le long terme, c'est-à-dire d'ici la seconde moitié du XXI<sup>ème</sup> siècle (2060).

### 1. Une vision alternative : la *mobilité efficiente*

La vision *mobilité efficiente* cherche à faire émerger un système de mobilité permettant de répondre aux besoins en mobilité<sup>2</sup> de notre société, tout en réduisant au plus ses coûts et ses externalités environnementales. Il s'agit d'améliorer l'efficacité du système de mobilité actuel (**comment assurer la mobilité avec le moins d'énergie et le moins de matériaux possible, et en générant le moins de déchets et de pollutions possible**), afin d'aller vers un système de mobilité durable, équitable, et neutre en carbone.

Cette vision s'appuie sur les piliers suivants :

- Des **politiques urbaines et d'aménagement du territoire** orientées vers la satisfaction des besoins d'accessibilité à plus courte distance, via une repolarisation et une réorganisation fonctionnelle du territoire (sous forme de pôles de taille moyenne réunissant activité, commerces et logements) et l'arrêt de l'étalement urbain.
- Une **réduction des besoins en déplacements** via le télétravail et la livraison à domicile systématique des achats hors produits frais<sup>3</sup>.
- Une **réaffectation de l'espace de circulation et de stationnement**, et des modifications des règles d'usage de ces espaces, selon un ordre de priorité favorisant la mobilité sobre en énergie, comme par exemple :
  - réaffectation de voies aux cycles (et autres engins de déplacement personnel légers), aux transports collectifs, et à la marche à pied
  - baisse des vitesses maximales autorisées sur tous les réseaux
  - réaffectation aux cycles, aux voitures partagées et au covoitureurs réguliers, des espaces de stationnement aujourd'hui réservés à la voiture individuelle
- Une « **hiérarchie énergétique** » des différents modes directement fonction de l'énergie dépensée lors du trajet, et favorisant, pour un trajet donné, le choix des modes les moins consommateurs en énergie. Cette hiérarchie émerge par la mise en place de :
  - un changement de modèle d'affaire dans la mobilité, pour passer de la possession des véhicules à un service de mobilité vendu à un coût par kilomètre explicitement affiché et seul indicateur de prix. En effet, du point de vue environnemental, les incitations induites par la non-possession du véhicule par l'utilisateur sont meilleures (voir Tableau 1).
  - une taxe sur la consommation énergétique des divers véhicules.

Ainsi le coût au kilomètre de chaque mode augmente avec l'énergie consommée, et est visible directement par le consommateur. Cela rend les modes fortement consommateurs luxueux et favorise une conception de plus en plus légère et de moins en moins basée sur la puissance des véhicules (voir Figure 2). En particulier, l'usage de véhicules « lourds » (telles les voitures actuelles) utilisés individuellement devient un luxe.

<sup>2</sup> Nous appelons ici « mobilité » la capacité à accéder à des activités ou à des biens, qui n'est pas forcément équivalente à la capacité à se déplacer (le télétravail, ou la livraison des achats à domicile, peuvent par exemple être considérées comme des solutions de mobilité (The Shift Project, 2017)).

<sup>3</sup> La livraison doit être « énergétiquement intelligente » en agrégeant au maximum les achats, dans l'espace et dans le temps (The Shift Project, 2017).

- Une **évolution de la motorisation des véhicules** thermiques vers une motorisation « neutre en carbone » (biogaz, bio-fuel ou électricité décarbonnée pour les véhicules terrestres, et bio-kérosène pour les avions), via une taxe carbone sur les carburants fossiles pour *tous* les véhicules (avions compris).
- Une **évolution de la conception des véhicules pour augmenter leur durée de vie**, leur réparabilité et leur recyclabilité. Cette évolution peut émerger par le passage de la possession des véhicules à une économie de la fonctionnalité (location de véhicules en flotte) (voir Tableau 1). Elle peut également être accompagnée, par exemple via un bonus-malus selon ces trois critères.

Tableau 1 : Incitations pour différents acteurs (l'utilisateur et le constructeur du véhicule) selon deux modèles d'affaire relatifs aux véhicules – la possession, ou la flotte de véhicules non possédés par l'utilisateur – et selon différents impacts (consommation d'énergie en usage, précaution d'usage, choix de la dimension du véhicule, éco-conception du véhicule). En orange les sources de non efficacité du système ; en vert les sources d'efficacité. Les incitations sur la précaution d'usage (2<sup>ème</sup> ligne d'impact) plaident a priori en faveur de la possession du véhicule par l'utilisateur. Des dispositifs permettent de contrebalancer ces effets sur les flottes non possédées par l'utilisateur, par exemple en adaptant le prix au km en fonction de l'usage constaté, à l'instar des bonus-malus pour les assurances, peuvent être mis en place.

Critères de comparaison	Incitations mises en jeu par...	
	Flotte de véhicules non possédés	Possession du véhicule
Consommation d'énergie en usage	La prix au kilomètre représente une incitation forte pour l'utilisateur à une moindre consommation de km (via une réduction des distances, le partage des trajets (partage des frais) ou un report modal) et donc d'énergie	Incitation moyenne pour l'utilisateur à une moindre consommation de km : l'achat ayant été réalisé, cela baisse le coût apparent du km, qui ne reflète plus que le coût du carburant
Précaution d'usage du véhicule	Peu d'incitation pour l'utilisateur à être précautionneux vis-à-vis du véhicule	Incitation pour l'utilisateur à être précautionneux vis-à-vis de son véhicule
Choix de la dimension du véhicule	Le prix au km est fonction de l'énergie consommée. Cela représente une incitation forte pour l'utilisateur à choisir un véhicule en fonction du juste besoin quotidien (pas besoin d'un break familial pour aller seul au travail)	Incitation pour l'utilisateur à acheter un véhicule dimensionné pour tous ses besoins, et donc surdimensionné pour la plupart de ses besoins
Eco-conception (durabilité, réparabilité, recyclabilité) du véhicule	Incitation pour le constructeur à minimiser les coûts sur l'ensemble du cycle de vie du véhicule, donc à optimiser entretien, réparation, et recyclage	Pas d'incitation pour le constructeur à prendre en compte l'ensemble du cycle de vie (sauf les constructeurs s'adressant aux professionnels, cf taxis, flottes d'entreprises...)



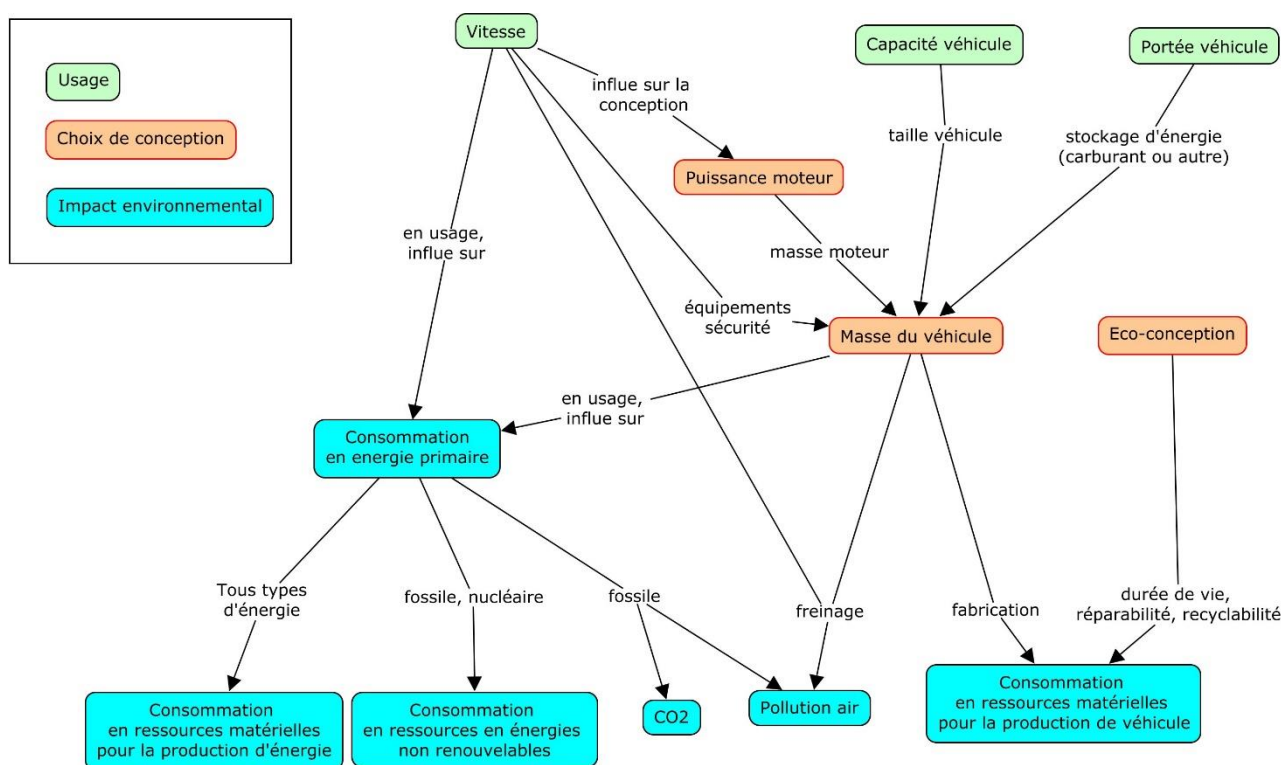


Figure 2 : Cartographie représentant la manière dont les usages des véhicules déterminent leur conception, et comment la conception combinée à l'usage détermine les impacts environnementaux des véhicules.

La vision *efficente* s'oppose à la continuité du système « tout-voiture » actuel en donnant une place beaucoup plus large à des véhicules un à deux ordres de grandeur moins consommateurs en énergie que la voiture. Cette vision **requiert un clair changement de cap par rapport au système « tout-voiture »**. L'horizon de temps considéré, 2060, est cependant suffisamment lointain pour effectuer ce revirement de manière incrémentale.

## 2. La vision de continuité : *tout-voiture électrique*

**Le système *tout-voiture électrique* constitue le futur de la mobilité le plus probable en France, en l'état actuel des objectifs, lois, et forces industrielles en place**<sup>4</sup>. Ce futur met en jeu des voitures électriques et éventuellement autonomes, avec une masse et une vitesse de pointe égale ou supérieure aux voitures actuelles, et sans changement de leur usage (voire même avec un usage facilité par l'automatisation de la conduite, donc un usage plus important). Il s'inscrit dans le prolongement du verrouillage infrastructurel, technologique et industriel (lock-in) du système « tout-voiture » (phénomène de « path dependency »). C'est pourquoi nous le considérons ici comme le système de continuité. Il est intéressant de comparer le système de *mobilité efficace* proposé à ce système de continuité, pour évaluer les impacts de l'alternative par rapport à la situation où les incitations y menant ne seraient pas mises en place.

Le système *tout-voiture électrique* repose sur un ensemble d'infrastructures lourdes à longue durée de vie<sup>5</sup> :

<sup>4</sup> La Loi sur la transition énergétique et la croissance verte (LTECV) pose pour objectif de « disposer de 7 millions de points de charge pour les véhicules électriques en 2030 ». L'article D251 du code de l'énergie incite à l'achat de voitures électriques via un bonus écologique allant jusqu'à 6 300 €. Ces objectifs et subventions constituent des signaux clairs et stables sur le moyen terme pour pérenniser la filière des voitures électriques.

<sup>5</sup> Le rapport (The World Bank, 2009) définit une typologie du capital, selon quatre catégories : le groupe 1 contient le capital dont la durée de vie est comprise entre 5 et 15 ans, tel les voitures, les vélos, le matériel roulant des transports en commun ; le groupe 2 contient le capital dont la durée de vie est comprise entre 15 et 40 ans, tel les usines de production des véhicules, les usines de production/transformation de l'énergie alimentant les véhicules (centrales électriques, raffineries, biométhaniseurs, électrolyseurs, en fonction du carburant considéré), les filières de recyclage des véhicules ; le groupe 3 contient le capital dont la durée de vie est comprise

- Un ensemble d'**usines de production** des sous-ensembles et équipements automobiles, des usines d'assemblage, une filière industrielle de recyclage ; les chaînes de production et de recyclage sont très automatisées et optimisées, requérant une quantité de capital importante et reconvertible seulement en partie, dont la durée de vie est comprise entre 15 et 40 ans. Ces unités de production et transformation reposent sur un ensemble de connaissances techniques et scientifiques, issues de la recherche académique et de la R&D privée, qui requièrent des financements lourds sur plusieurs années.
- Actuellement, un **réseau d'infrastructures** de raffinage et des infrastructures logistiques pour le transport et la distribution du carburant (pipelines, réservoirs, stations-services...) est en place ; dans un système tout-voiture électrique, un réseau finement maillé de bornes de recharges ultra-rapides, et un réseau de transport et de distribution électrique approprié pour acheminer la puissance nécessaire à ces bornes rapides et des centrales de production électrique sont nécessaires. La durée de vie de ces infrastructures est comprise entre 40 et 75 ans.
- Le **système routier et autoroutier**, avec les ouvrages d'art associés ; la durée de vie de ces systèmes est comprise entre 40 et 75 ans, voire plus.
- Des **choix d'usage des sols** déterminés par la voiture, résultant en des formes urbaines façonnées par et pour la voiture. Ces formes urbaines sont associées à des densités de population relativement faible (étalement urbain), et une consommation d'énergie dédiée à la mobilité élevée. Ces choix s'imposeront au territoire pour encore un siècle ou plus.

### 3. Caractérisation du besoin de mobilité des personnes

Les systèmes que nous comparons doivent répondre à des besoins de mobilité qu'il convient de décrire. Nous supposons dans cette étude que les besoins qualitatifs de mobilité des personnes – leurs motifs de mobilité – demeurent constants par rapport aux besoins actuels (2018).

Nous avons identifié **4 dimensions cruciales caractérisant les besoins en mobilité**, et différentes catégories au sein de chaque dimension :

- **La distance du trajet**
  - Longue distance (> 80 km)
  - Moyenne distance (comprise entre 20 et 80 km)
  - Courte distance (< 20 km)
- **La densité du tissu** dans lequel vit la personne qui se déplace
  - Milieu dense (villes-centres et proches banlieues des pôles urbains)
  - Milieu moyennement dense (banlieue plus lointaine et périurbain des pôles urbains)
  - Rural
- **La concentration du flux de mobilité** dans lequel le trajet s'inscrit, qui détermine si le trajet peut facilement être mis en commun ou non (les flux concentrés permettent d'organiser des transports collectifs ou du covoiturage facilement)
  - Forts flux : le trajet peut facilement être mis en commun
  - Faible flux : le trajet doit être réalisé seul
- **Les charges à transporter**, ou personnes non-autonomes à accompagner (enfants, personnes âgées)
  - Charges exceptionnellement lourdes ou volumineuses à transporter<sup>6</sup>
  - Personne(s) à accompagner
  - Trajet seul et sans charge (ou avec charge classique, comme les courses)

### 4. Un système de mobilité efficiente

La vision *mobilité efficiente* fait émerger un **système de mobilité significativement différent du système actuel, sans pour autant requérir l'apparition de nouvelles technologies**. Nous décrivons

---

entre 40 et 75 ans ou plus, tel le réseau routier, le réseau ferré, les réseaux de distribution de l'énergie alimentant les véhicules ; le groupe 4 contient le capital dont la durée de vie est supérieure à 100 ans, tel les formes urbaines ou l'usage des sols. Les concepts de « lock-in » et de « path dependency » sont définis dans ce rapport.

<sup>6</sup> Pour fixer les idées, charge dont le volume dépasse celui d'un caddie ou la masse dépasse 80 kg, par exemple pour un déménagement...)

ici ce à quoi ce système pourrait ressembler. Nous ne décrivons pas le système *tout-voiture électrique*, qui est équivalent au système actuel en termes d'usage<sup>7</sup>, de modes et d'infrastructures de transport.

## a) Les modes de mobilité

Pour répondre à tous les types de trajets selon ces 4 dimensions, le système de *mobilité efficiente* met en jeu les modes suivants :

- TC urbains : il s'agit des métros, tramways, bus (au biogaz, biofuel ou électriques<sup>8</sup>)
- AT : autopartage en trace directe (flotte électrique, type Autolib à Paris)
- TC express : TER, transilien, RER, bus express<sup>9</sup> (au biogaz, biofuel ou électriques)
- Marche, vélo, VAE (vélo à assistance électrique), VC (vélo-cargo)
- VEL : véhicule électrique léger, tel que le speed-pedelec, le scooter électrique, ou l'ensemble des véhicules aujourd'hui à l'état de prototypes, ou encore à inventer, qui fonctionnent à l'électricité, qui sont de faible masse et de faible puissance (moins de 4 kW)
- AB : autopartage en boucle (flotte électrique)
- VLLD : voiture électrique en location longue durée, répondant aux besoins quotidiens du ménage la louant, en fonction des différentes phases de la vie du ménage (petits véhicules bi-place, voitures 4 places...)
- VLT : voiture (motorisation au biogaz, biofuel ou électrique) en location « traditionnelle » (à la journée, à la semaine), avec différents modèles répondant aux différents besoins (vacances familiales, transport de charges...)
- TC région : TER, cars au biogaz, biofuel ou électrique
- TGV, avion

Tous les types de voitures peuvent être utilisés seul ou en covoiturage (le partage des frais étant fortement encouragé par la taxe sur l'énergie consommée). Les vélos, VAE, vélo-cargo et VEL sont loués en longue durée.

Les TC routiers, voitures en autopartage ou voitures en location peuvent utiliser différents vecteurs énergétiques neutres en carbone : biogaz, biofuel, ou électricité (si notre mix électrique reste décarboné).

Nous ne faisons dans cette étude pas le choix de la filière à développer en priorité. Cependant, une interaction entre les différentes incitations (taxe sur la consommation d'énergie, bonus-malus à la conception des véhicules) fera émerger un parc de voitures selon une logique réseau « winner-takes-all » : selon la technologie gagnante (vecteur électricité / hydrogène, vecteur biofuel, ou vecteur biogaz), un réseau de bornes de recharge et une filière de production appropriée se mettra en place. Notons que les réseaux électriques et gaziers sont déjà en place en France. Le réseau sélectionné peut aussi servir d'autres usages.

**Il est donc important de réfléchir l'interaction entre le réseau d'approvisionnement en énergie pour la mobilité et pour les autres usages de l'énergie.**

## b) L'organisation spatiale du système de mobilité

Au sein et autour de chaque pôle urbain, les différents modes sont disponibles selon la topographie représentée dans la Figure 3 ci-dessous. Les différentes zones (dense, moyennement dense, et rurale<sup>10</sup>) doivent être comprises comme un continuum et non pas comme des zones franchement délimitées sur quelques mètres. Ainsi **on passera de la zone riche en modes urbains (VAE, VEL, VC, TC urbains et AT) à une zone riche en modes de moyenne densité (VAE, VEL, VC, TC express, AB) selon un continuum passant doucement de l'autopartage en trace directe à l'autopartage en boucle, des TC urbains aux TC express, à mesure que l'on s'éloigne de la zone dense.** De même, en allant vers le rural, les compléments aux cycles et VEL que sont les TC express et l'autopartage en boucle laisseront

<sup>7</sup> Sauf déploiement massif de la voiture autonome, qui pourrait alors significativement *augmenter* l'usage de la voiture.

<sup>8</sup> Nous incluons dans le vecteur électricité le stockage par batterie ou par pile à combustible hydrogène.

<sup>9</sup> Système de cars circulant selon des axes rapides fortement empruntés, et bénéficiant de voies réservées sur ces axes. Voir (The Shift Project, 2017).

<sup>10</sup> Les différents zonages par densité sont définis dans le rapport (The Shift Project, 2017).



place à la location longue durée de voitures électriques par les ménages, toujours en complément des cycles et VEL.

Autour de la zone dense se répartiront des pôles d'échange intermodaux faisant le lien entre la VLLD (donc ces pôles seront équipés de stationnement pour ces voitures), les TC express et les modes urbains ; ces pôles serviront également de lieux de location des VLT pour les occasions particulières. Ce seront enfin des pôles d'intermodalité avec les transports longue distance (TC région, TGV, avion).

**Ce système de mobilité des personnes doit s'articuler avec le système de transport des marchandises.** D'une part parce que le e-commerce et les services de logistique destinés aux particuliers ouvrent des possibilités de remplacement de trajets particuliers par des trajets mutualisés de distribution et, d'autre part, parce que le numérique (géolocalisation de véhicules et des colis) rend la combinaison de transport de personnes et marchandises dans un même véhicule plus facile. Enfin parce que les infrastructures de transport de personnes et de marchandises peuvent être partagées entre les deux usages.

### c) A quelle vitesse un tel système peut-il se développer ?

**Les technologies (infrastructures et véhicules) présentes dans ce système de mobilité existent déjà toutes à un niveau de maturité commerciale**, sauf certains VEL qui restent à inventer mais qui ne requièrent aucun saut technologique, et le bio-kérosène pour l'aviation, qui ne requiert pas de saut technologique non plus.

La mise en place d'un tel système requiert cependant **des modifications urbanistiques lentes ainsi que des évolutions de certains secteurs industriels** (et donc du système de formation vers ces secteurs), et **pourrait prendre 3 à 4 décennies**. Il importe donc d'entreprendre ces évolutions sans tarder.

Les bénéfices attendus seront directement proportionnels à l'état d'avancement de la mise en place du système de mobilité.

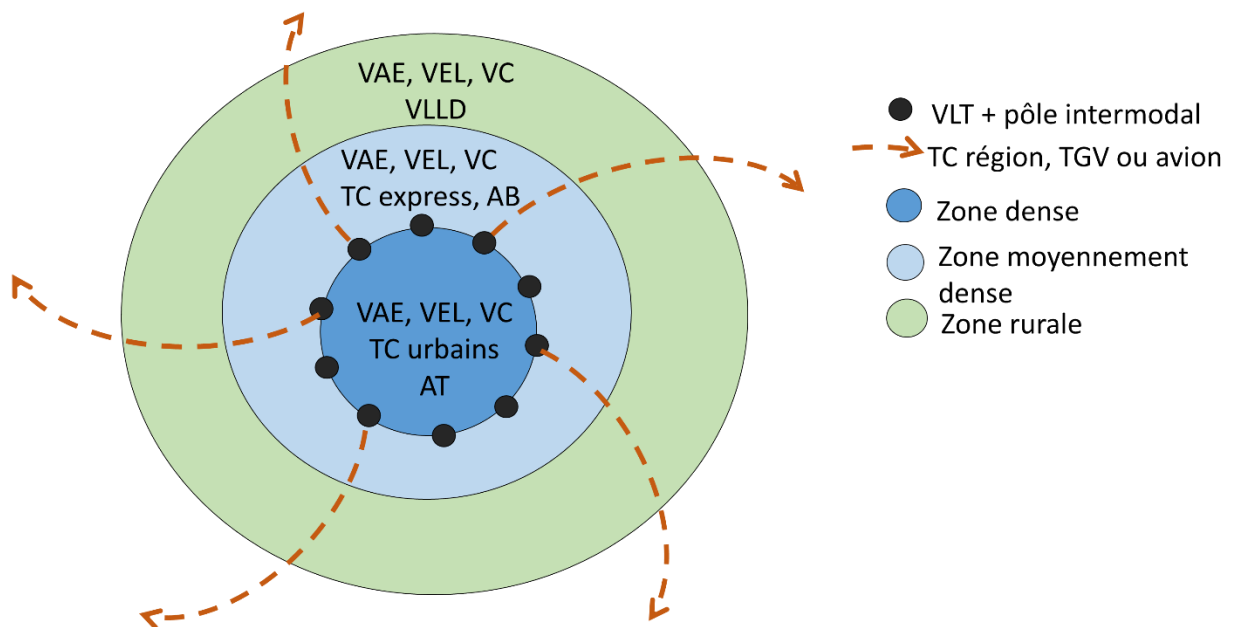


Figure 3 : Description schématique de l'aménagement du territoire, et du système de mobilité sobre proposé. Les cycles regroupent le vélo, le VAE, le VEL et le VC.

## B. Adéquation entre le système de *mobilité efficiente* et les besoins de mobilité des personnes

Un tableau de compatibilité entre les différents besoins et les différents modes disponibles a été réalisé afin de vérifier que tous les besoins de mobilité peuvent être remplis avec les modes proposés et selon la topographie présentée (voir annexe).

Ce tableau découle d'une méthodologie de type « *use case* », utilisée en conception des systèmes et qui vise à s'assurer que la solution proposée répond bien à tous les besoins. Les besoins sont décrits sous forme de « cas d'utilisation » du système par son utilisateur, soit ici les besoins de mobilité (par exemple : « l'utilisateur, habitant dans une zone moyennement dense, désire réaliser un trajet de moyenne distance. Ce trajet est réalisé selon un fort flux (trajet réalisé par de nombreuses autres personnes au même moment) »). Le tableau en annexe décrit comment l'utilisateur utilise concrètement le système de mobilité pour répondre à son besoin.

Le tableau obtenu a ensuite été simplifié en tenant compte des caractéristiques du système de *mobilité efficiente* (voir Tableau 2). Il montre que **la *mobilité efficiente* permet de répondre à tous les besoins de mobilité.**

Les différentes catégories de trajets ne sont pas représentées en même quantité dans la mobilité : actuellement, la mobilité longue distance représente environ 40 % de la mobilité et 30 % des émissions de CO<sub>2</sub><sup>11</sup>; la mobilité moyenne distance représente environ 30 % de la mobilité et 25 % des émissions ; la mobilité courte distance représente environ 30 % de la mobilité et 45 % des émissions (CGDD, 2008).

---

<sup>11</sup> La mobilité longue distance est essentiellement assurée par la voiture (avec un taux de remplissage supérieur à la mobilité moyenne ou courte distance), le train et l'avion.

Tableau 2 : tableau des cas d'utilisation du système de mobilité efficiente. Les différentes entrées du tableau représentent les différentes situations d'utilisation, et les sorties du tableau décrivent l'utilisation concrète du système de mobilité par l'utilisateur dans chaque situation. Les « + » signifient une connexion intermodale entre les deux modes de part et d'autre du signe « + ».

Les modes urbains sont tous les modes présents dans la zone dense (mobilité active, TC urbains, AT). Les modes « actifs » regroupent la marche à pied, le vélo, le VAE, le VEL (bien qu'il ne soit pas forcément actif) et le VC.

Clé de lecture (première ligne et première colonne) : un usager vivant en zone dense, et devant transporter une charge classique sur une moyenne distance (par exemple une personne apportant des livres à un parent dans une zone moins dense) va utiliser un mode urbain (un vélo-cargo ou une voiture en AT puisqu'il transporte une charge) pour rejoindre une voiture en AB, et atteindre sa destination.

		Charges classiques, accompagnement ou trajet faible flux	Fort flux	Accès pôle intermodal	Longue distance ou charge exceptionnelle
Zone dense	Moyenne distance	Modes urbains + AB	Modes urbains + (TC express ou AB covoiturage)	Modes urbains	Accès au pôle intermodal puis avion, TC région, TGV ou VLT
	Courte distance	Modes actifs	Modes actifs ou TC urbains		
Zone moyennement dense	Moyenne distance	AB + modes urbains	AB covoiturage ou (modes actifs + TC express + modes urbains)	Modes actifs + TC express	
	Courte distance	Modes actifs	Modes actifs		
Zone rurale	Moyenne distance	VLLD	VLLD covoiturage ou (VLLD + TC région + modes urbains)	VLLD	
	Courte distance	Modes actifs	Modes actifs		

La mobilité requérant le transport de charges sur des distances non cyclables est rare dans la vision *efficiente* où les achats hors produits frais sont livrés à domicile ; de même les accompagnements<sup>12</sup> sont rares dans ce système incluant un « système vélo » performant et sûr, avec des cycles à assistance électrique (seuls les très jeunes, très âgés, et personnes à mobilité réduite nécessiteront un accompagnement dans leur mobilité quotidienne).

D'autre part, la répartition des émissions est amenée à changer avec la taxation sur l'énergie de la vision *efficiente*, qui rend luxueux les déplacements avec des modes consommateurs en énergie (voitures lourdes et/ou puissantes, avions), et/ou sur de longues distances, réduisant leur fréquence et leur portée. Ainsi, la part de la mobilité longue distance est fortement réduite (et reportée vers le train). De même, la part de la mobilité moyenne distance est réduite, sous l'action conjointe de cette taxe et de la réorganisation urbanistique de long terme menant à des pôles mixtes d'activité, de commerce, et de logement plutôt qu'à de larges surfaces d'étalement urbain.

On ne décrit pas les cas d'utilisation du système *tout-voiture électrique*, ceux-ci étant équivalents aux cas d'utilisation que nous connaissons actuellement.

<sup>12</sup> C'est-à-dire les trajets dédiés à accompagner une personne ne pouvant pas accéder à une activité de manière autonome, dans un système de mobilité donné.

## II. Comparaison des deux visions

Les deux visions sont comparées de manière qualitative pour en faire ressortir les différences saillantes. Des chiffrages pourraient être réalisés pour conforter ces comparaisons et mettre en avant les différences d'ordre de grandeur entre les deux visions.

### A. La vision *efficente* restreint le risque d'échouer nos actifs

Les choix d'investissement actuels (qu'ils soient dans la continuité des choix passés, ou alternatifs) sont risqués dans le sens où ils pourraient s'avérer être de futurs actifs « épave » (*stranded assets*).

Si ces choix s'orientent vers des modes de mobilité fortement consommateurs d'énergie, alors ils supposent implicitement la présence d'une énergie abondante et peu chère, accessible à tous, pour le siècle à venir. En creux, ils posent comme acquis (1) que les ressources en énergie primaire pour alimenter les véhicules, et/ou les ressources en matériaux nécessaires à la production énergétique et à la production de véhicules et d'infrastructures, seront abondantes et peu chères, (2) que l'approvisionnement vers la France de ces ressources sera continuellement assuré (donc une situation géopolitique stable avec nos fournisseurs), et (3) que les diverses pollutions générées par les systèmes énergétique et de mobilité n'auront pas d'effet haussier sur leur prix (un effet qui peut être subi, via une dégradation du capital productif, ou qui peut être « choisi », via une internalisation des pollutions dans le prix<sup>13</sup>). Et ce sur une échelle de temps de l'ordre du demi-siècle au siècle.

Les évolutions sociétales, technologiques, géopolitiques, économiques et énergétiques sont très difficiles à prévoir sur le long terme. **Le verrouillage d'un système de mobilité fortement consommateur d'énergie et de matériaux mènerait à prolonger un ensemble d'infrastructures de long terme qui risquent de ne pas être pérennes en raison de contraintes grandissantes (géologiques et environnementales) sur les ressources énergétiques et les matériaux.** Le risque que courent nos investissements est d'autant plus grand que le système que nous allons verrouiller est consommateur en ressources énergétiques et en matériaux.

La *mobilité efficiente*, de par sa consommation en énergie et en matériaux beaucoup plus faible, lève en grande partie le risque d'investir dans des infrastructures qui ne seront jamais entièrement « rentabilisées », tout en assurant un haut niveau de mobilité.

### B. Des émissions de GES à l'usage équivalentes localement pour les deux visions...

Le système de *mobilité efficiente*, ainsi que le système *tout-voiture électrique*, sont quasi-neutres en GES (sur leur phase d'usage, du puit à la roue). Dans le cas du système de *mobilité efficiente* :

- Il est extrêmement sobre en consommation d'énergie par rapport au système *tout-voiture électrique*.
- L'énergie nécessaire provient des muscles (mobilité active), de l'électricité (nucléaire, ENR, très sobres en GES), du biogaz, biofuel et du bio-kérosène (quasi-neutres en GES) en fonction de la filière voiture sélectionnée.

Les deux effets se cumulent pour **une décarbonation encore plus importante pour la *mobilité efficiente* que pour celle du système *tout-voiture électrique*.**

<sup>13</sup> Un exemple de telle pollution est le CO<sub>2</sub>. Ces effets peuvent être des *risques physiques* de dégradation de capital productif lors d'événements climatiques violents, ou bien des *risques de transition* liés à des décisions politiques d'internaliser le coût de la pollution dans le prix (par exemple via une taxe carbone).

## C. ...mais fortement réduites sur le cycle de vie pour le système de mobilité dans la vision *efficiente*

D'autre part, on peut s'attendre à une réduction significative de l'empreinte carbone extra-territoriale de la *mobilité efficiente* en comparaison au *tout-voiture électrique*, étant donnée une **réduction des importations de voitures, d'équipements tels les batteries, de matériaux, et d'énergie** ; ceci est permis par une réduction significative de la masse et de la vitesse moyennes des véhicules utilisés, ainsi que par une réduction de leur usage et donc un moindre renouvellement annuel des voitures.

## D. La vision *efficiente* réduit les consommations en ressources énergétiques et en matériaux

Le système de *mobilité efficiente* génère par conception une moindre consommation en ressources énergétiques et en matériaux que le système de mobilité *tout-voiture électrique*.

D'une part, les voitures du système *tout-voiture électrique* roulent chaque année davantage que celles du système *efficient*. Il faut donc les renouveler plus souvent, ce qui implique d'extraire plus de matériaux (ou plus d'énergie pour recycler ces matériaux), et plus d'énergie pour transformer ces matériaux.

D'autre part, la plus grande consommation d'énergie du système *tout-voiture électrique* affecte le système énergétique qui l'alimente, ce qui nécessite, au choix :

- Une grande capacité de production électrique renouvelable (éoliennes, panneaux PV), donc une consommation de matériaux et notamment de matériaux importés, rares et peu recyclables ;
- Une capacité accrue en production nucléaire, donc en uranium (importé et non renouvelable), en matériaux de construction, en gestion des déchets.

Ainsi, **pour assurer une même unité de service de mobilité, le *tout-voiture électrique* est moins efficient en ressources que le système de *mobilité efficiente***<sup>14</sup>.

## E. La vision *efficiente* permet une meilleure accessibilité aux activités pour les personnes en situation de vulnérabilité physique, cognitive ou économique

La vision *efficiente* améliore l'accessibilité aux activités par rapport au *tout-voiture électrique*, pour les personnes en situation de vulnérabilité physique ou cognitive qui ne peuvent pas conduire de voiture. La présence d'alternatives à la voiture, notamment les vélos à assistance électrique (et les tricycles ou encore les fauteuils roulants électriques), le covoiturage et les transports collectifs, dans chaque type de zone, permet à ces personnes d'accéder à leurs activités, et ce même si la voiture autonome n'est pas encore au point dans tous les territoires (notamment peu denses), ou trop chère.

Le système de *mobilité efficiente* améliore également l'accessibilité pour les personnes en situation de précarité économique par rapport au système *tout-voiture électrique*.

- D'un côté, la mobilité vendue « au km » dans la vision *efficiente* propose un ensemble de services ajoutés (gestion de flotte, entretien, remplacement du véhicule en cas d'immobilisation...), qui induisent des coûts supplémentaires pour l'utilisateur par rapport au *tout-voiture électrique* (supposés ici de l'ordre de 20% du prix au kilomètre). Les aménagements permettant la mobilité efficiente que sont la mise en place de télécentres pour favoriser le télétravail et les aménagements mineurs de voirie pour réaffecter l'espace existant entre les différents modes seront également à la charge de la collectivité.
- De l'autre côté, les surcoûts sont plus que compensés au global par un moindre usage des véhicules consommateurs en énergie, et par le choix de véhicules mieux dimensionnés, plus sobres en

<sup>14</sup> Autrement dit, le système *tout-voiture électrique* requiert plus d'énergie par personne.kilomètre et par an (en J/p.km/an), et plus de matériaux par personne.kilomètre et par an (en kg/p.km/an), en tenant compte du cycle de vie, que le système de *mobilité efficiente*.



matériaux (donc moins coûteux d'un ordre de grandeur en première approximation<sup>15</sup>), et plus durables, réduisant sensiblement le coût du kilomètre (de l'ordre de 50 %<sup>16</sup>).

- La redéfinition des politiques d'aménagement du territoire induira des modifications lentes d'urbanisme (repolarisation du territoire plutôt que poursuite de l'étalement urbain) qui seront réalisées au rythme du cycle de vie des bâtiments, induisant des coûts égaux entre les deux scénarios. Les autres mesures sont d'ordre fiscal ou réglementaire, donc n'induisent pas de coûts supplémentaires pour la collectivité.

On peut donc s'attendre au global à une **réduction de l'ordre de 30 % du coût au kilomètre dans la vision *efficente* (augmentation du niveau de service incluse)** par rapport à la vision *tout-voiture électrique*.

## F. La vision *efficente* améliore la santé des personnes et réduit l'accidentologie

La vision *efficente* réduit significativement la sédentarité par un usage accru des véhicules à propulsion musculaire, assistée électriquement ou non. L'usage de tels véhicules est associé à une **baisse de la mortalité pour raisons de santé et à une baisse de l'accidentologie**, par rapport à l'usage de la voiture<sup>17</sup>.

## G. Elle permet une indépendance en énergie et en matériaux plus grande, un système plus résilient

La **moindre consommation des ressources énergétiques et de matériaux** du système de *mobilité efficiente* mène implicitement à une indépendance de la France plus grande vis-à-vis de ces ressources que dans le *tout-voiture électrique*.

Pour la même raison, la vision *efficente* est supérieure en termes de résilience aux chocs énergétiques (baisse de la disponibilité en gaz, pétrole, uranium) ou économiques (crise économique), grâce aux solutions « low tech » et peu énergivores (vélos, VAE, VEL, TC urbains et régionaux, voitures à carburants alternatifs, légères et peu puissantes, à longue durée de vie). Celles-ci **assurent un service minimal et abordable, ce qui se traduit par un système de mobilité plus résilient et donc une économie française moins impactée en cas de crise**.

## H. La vision *efficente* réduit l'espace au sol dédié à la mobilité dans les zones urbaines...

Dans les zones urbaines denses, la vision *efficente* induit une moindre emprise au sol pour assurer la mobilité : d'une part, la place prédominante des TC et des cycles (report modal) y dégagera plus d'espace public par rapport au *tout-voiture électrique*. D'autre part, toutes les voitures de l'urbain dense sont partagées dans la vision *efficente* et sont donc moins nombreuses que les voitures électriques (autonomes ou non) dans la vision *tout-voiture électrique*. Cela permet de dégager de l'espace, qui peut alors être réaffecté à d'autres fonctions (espaces verts, commerces, logement...).

<sup>15</sup> Une voiture électrique entrée de gamme mise sur le marché du neuf coûte environ 20 000 € HT ; un vélo à assistance électrique mis sur le marché du neuf coûte environ 1 500 € HT, un speed-pedelec environ 3000 € HT. La subvention à l'achat d'une voiture électrique est de l'ordre de 5000 €. Celle d'un vélo électrique est de l'ordre de 200 €.

<sup>16</sup> En supposant dans la vision *efficente* que, sur 100 personne.kilomètres (p.km) faits en voiture dans le *tout-voiture électrique*, 5 sont évités dans le système *efficient*, 20 sont faits en voiture similaires à celles du *tout-voiture électrique*, 50 le sont en voiture légère, en covoiturage ou en transport en commun (division du coût par 2 par rapport au *tout-voiture électrique*), 25 le sont en VEL (véhicules électriques légers) (division par 10 du coût par rapport au *tout-voiture électrique*). On suppose que les p.km faits autrement qu'en voiture (environ 15%, faits en transport en commun majoritairement) sont faits de la même manière dans les deux visions, à un coût moyen du p.km deux fois moindre que celui du p.km en voiture du *tout-voiture électrique*.

<sup>17</sup> Voir par exemple (Observatoire régional de santé d'Ile-de-France, 2012)

## I. ... et peut réduire ou augmenter l'espace au sol dans les zones peu denses, en fonction des choix énergétiques dans les deux visions

Dans les territoires moins denses (périurbain, rural), l'emprise au sol du système *efficient*, dans lequel une part importante des habitants a une VLLD, sera équivalente à celle du *tout-voiture électrique*.

Le système de production électrique prendra significativement plus de place dans la vision *tout-voiture électrique* si le mix électrique français se dirige vers une part importante de renouvelables (champs d'éoliennes et de panneaux photovoltaïques plus nombreux pour assurer la demande électrique plus élevée que dans la vision *efficiente*)<sup>18</sup>.

Par contre si la vision *efficiente* se dirige vers le biogaz ou les biofuels, de l'espace sera dédié à leur production.

**La prise d'espace au sol dans les zones peu denses dépend donc des choix énergétiques qui sont faits dans les deux visions.**

## J. Et l'emploi ?

Concernant l'emploi, **il est difficile d'évaluer la tendance.**

La vision *efficiente* permet une réduction des importations d'uranium et de matériaux pour construire les ENR et/ou les centrales nucléaires ; elle permet une réduction des importations de voitures et de batteries. Le biogaz ou biofuel peuvent être produits en France, ainsi que les divers véhicules du système *efficient*. Ces effets vont dans le sens d'une augmentation de l'emploi net en France.

Les services du *tout-voiture électrique* sont remplacés par des services aux modes alternatifs et des services de location de véhicules dans la vision *efficiente*, ce qui peut être jugé neutre en termes de création nette d'emplois.

Enfin, des emplois dans le secteur automobile et dans la production d'électricité en France sont détruits dans la vision *efficiente*, par rapport au *tout-voiture électrique*.

Ces différents effets de sens contraires devraient être chiffrés pour comparer l'impact sur l'emploi des deux visions.

---

<sup>18</sup> Ainsi la vision *efficiente* relâche une partie de la contrainte sur le système de production électrique, et permet plus de liberté quant au choix de transition dans ce secteur.

## Annexe

Les tableaux ci-dessous décrivent les différents moyens en place dans système de *mobilité efficiente*, permettant de répondre à chaque besoin de l'utilisateur. Les « / » se comprennent comme des « ou ». Les « + » signifient une connexion intermodale entre les deux modes de part et d'autre du signe « + ».

		Zone dense	
		Fort flux	Faible flux
Longue distance	Charge	modes urbains + (VLT covoiturage/ VLT seul)	modes urbains + VLT seul
	Accompagnement	(TGV/ TC régional/ Avion) + modes urbains	VLT covoiturage
	Seul	(TGV, TC régional, Avion) + modes urbains	VLT seul
Moyenne distance	Charge	modes urbains + (VLT covoiturage/ VLT seul)	modes urbains + VLT seul
	Accompagnement	modes urbains + (TC express/ AB covoiturage/ VLT covoiturage)	modes urbains + (AB/ VLT)
	Seul	modes urbains + (TC express/ AB covoiturage/ VLT covoiturage)	modes urbains + (AB seul, VLT seul)
Courte distance	Charge	Vélo cargo/ AT covoiturage/ AT seul/ (modes urbains + (VLT covoiturage/ VLT seul))	Vélo cargo/ AT seul/ (modes urbains + VLT seul)
	Accompagnement	Vélo cargo/ VEL/ AT covoiturage/ TC urbains	Vélo cargo/ AT
	Seul	Vélo/ VAE/ VEL/ VLS/ TC urbains	Vélo/ VAE/ VEL/ VLS

		Zone moyennement dense	
		Fort flux	Faible flux
Longue distance	Charge	(VAE/ VEL) + TC express + (VLT covoiturage/ VLT seul)	(VAE/ VEL) + TC express + VLT seul
	Accompagnement	(VC/ VEL/AB) + TC express + (TGV/ TC régional/ Avion) + modes urbains	(VC/ VEL/AB) + TC express + VLT
	Seul	(VAE/ VEL) + TC express + (TGV/ TC régional/ Avion) + modes urbains	(VAE/ VEL) + TC express + VLT seul
Moyenne distance	Charge	(VAE/ VEL) + TC express + VLT covoiturage/ VLT seul	(VAE/ VEL) + TC express + VLT seul
	Accompagnement	AB / (AB + TC express + modes urbains)	AB/ (AB + modes urbains)
	Seul	AB covoit / ((vélo/ VAE/ VEL) + TC express) + modes urbains	AB seul + modes urbains
Courte distance	Charge	Vélo cargo/ AB covoiturage/ AB seul/ VLT covoiturage/ VLT seul	Vélo cargo/ AB seul/ VLT seul
	Accompagnement	Vélo cargo/ VEL/ AB covoiturage	Vélo cargo/ VEL/ AB covoiturage
	Seul	Vélo/ VAE/ VEL	Vélo/ VAE/ VEL

		Zone rurale	
		Fort flux	Faible flux
Longue distance	Charge	VLLD + (VLT covoiturage/ VLT seul)	VLLD + VLT seul
	Accompagnement	VLLD + (TGV/ TC régional/ Avion) + modes urbains	VLLD + VLT
	Seul	VLLD + (TGV/ TC régional/ Avion) + modes urbains	VLLD + VLT seul
Moyenne distance	Charge	VLLD/ (VLLD + (VLT covoiturage/ VLT seul))	VLLD/ (VLLD + VLT seul)
	Accompagnement	VLLD + TC région + modes urbains	VLLD
	Seul	VLLD + TC région + modes urbains	VLLD
Courte distance	Charge	VLLD/ (VLLD + (VLT covoiturage/ VLT seul))	VLLD/ (VLLD + VLT seul)
	Accompagnement	Vélo cargo/ VEL/ VLLD	Vélo cargo/ VEL/ VLLD
	Seul	Vélo/ VAE/ VEL	Vélo/ VAE/ VEL

## Références

- CGDD. (2008). *Fichiers détail de l'Enquête nationale transports et déplacements 2008*. Récupéré sur [http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/transports/r/transport-voyageurs-deplacements.html?tx\\_ttnews%5Btt\\_news%5D=22128](http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/transports/r/transport-voyageurs-deplacements.html?tx_ttnews%5Btt_news%5D=22128)
- Observatoire régional de santé d'Ile-de-France. (2012). Les bénéfices et les risques de la pratique du vélo - Évaluation en Île-de-France. Récupéré sur <http://www.ors-idf.org/index.php/fr/publications/180-politiques-publiques-et-sante/670-les-benefices-et-les-risques-de-la-pratique-du-velo-evaluation-en-ile-de-france>
- The Shift Project. (2017). *Décarboner la mobilité dans les zones de moyenne densité*. Récupéré sur <http://www.theshiftproject.org/fr/cet-article/publication-du-rapport-decarboner-la-mobilite-dans-les-zones-de-moyenne-densite-cest-pos>
- The World Bank. (2009). *Climate Change and the Economics of Targeted Mitigation in Sectors with Long-Lived Capital Stock*. Policy Research Paper.



## Auteur

### Nicolas RAILLARD

**Chef de projet** – + 33 (0)6 46 35 43 70 | nicolas.raillard@theshiftproject.org

Nicolas Raillard a rejoint le Shift après avoir été ingénieur en stratégie système pendant 4 ans. Diplômé de l'ISAE-Supaéro et du Georgia Institute of Technology (USA), il a obtenu le mastère spécialisé « Environment International Management » des Mines ParisTech / Tsinghua University (Chine). Il met aujourd'hui en œuvre ses compétences en gestion des systèmes complexes dans la transition écologique, et notamment dans la mobilité périurbaine et les systèmes électriques.

## The Shift Project

*The Shift Project* est un think tank qui œuvre en faveur d'une économie post-carbone. Association loi 1901 reconnue d'intérêt général et guidée par l'exigence de la rigueur scientifique, notre mission est d'éclairer et influencer le débat sur la transition énergétique en Europe. Nos membres sont de grandes entreprises qui veulent faire de la transition énergétique leur priorité.

Contact presse : Jean-Noël Geist, Chargé des affaires publiques et de la communication  
+ 33 (0) 6 95 10 81 91 | jean-noel.geist@theshiftproject.org