



GOUVERNEMENT

*Liberté
Égalité
Fraternité*

RAPPORT THÉMATIQUE
Février 2022

PROSPECTIVE 2040-2060 DES TRANSPORTS ET DES MOBILITÉS

20 ans pour réussir collectivement
les déplacements de demain

Mobilité des personnes

Travaux coordonnés par :

Yves Crozet
Alain Sauvant
Jincheng Ni

Résumé et introduction

Au-delà de la reprise de la présentation globale de la démarche de prospective des mobilités, ce rapport du groupe voyageurs comporte les parties suivantes :

- Un constat de la situation des mobilités des voyageurs en France actuellement
- La présentation des politiques contrastées étudiées
- La présentation de la construction des scénarios et leurs principaux résultats

Des annexes plus techniques viennent préciser ces éléments, et leurs déclinaisons selon les territoires et les situations individuelles et collectives diversifiées.

Pour ce qui concerne le constat de la situation actuelle, les éléments clés sont les suivants :

La voiture particulière règne en maître dans la mobilité des voyageurs terrestres, en France comme en Europe. Elle répond par sa souplesse d'utilisation à la plupart des besoins de déplacement, sauf quelques exceptions. Ainsi, les transports collectifs et ferroviaires ne présentent des parts modales non négligeables que dans certains sous-ensembles très particuliers : Île-de-France et le cœur de quelques grandes agglomérations, ainsi que les axes suffisamment massifiés pour bénéficier de la grande vitesse ferroviaire. La part des modes doux ou actifs est globalement très faible également, en tout cas en voyageurs-km.

À très longue distance, l'avion apporte par sa vitesse la solution la plus adaptée aux voyageurs et règne également en maître sauf lorsque les temps de trajet ferroviaires sont compétitifs.

Si la réponse aux besoins semble globalement bien adaptée, elle ne l'est pas pour quelques publics spécifiques (ménages à bas revenus, personnes ne pouvant conduire,...) et surtout elle pose des problèmes à la fois sur le plan écologique, à la fois globaux dans le cadre du dérèglement climatique, mais aussi plus locaux avec la pollution de l'air, ainsi que des problèmes de qualité de vie pour les riverains dans les espaces les plus denses (bruit, effet de coupure, accidentologie, espace réduit pour d'autres activités que la circulation et le stationnement,...). La situation actuelle n'est donc à l'évidence pas satisfaisante.

Des progrès importants ont été effectués dans les motorisations décarbonées, mais leur diffusion en France présente un certain retard par rapport à de nombreux pays en Europe. Sont pointés dans ce cadre le retard français dans l'accompagnement de ces nouvelles motorisations, notamment les recharges rapides interurbaines, les équipements des immeubles collectifs qui constituent d'importants points de blocage, malgré la chance de disposer d'ores et déjà d'une électricité largement décarbonée.

Également, malgré les investissements publics conséquents, et les évolutions légales et réglementaires pourtant dynamiques, les parts modales des modes alternatifs à la voiture à une seule personne et à l'avion (modes collectifs, ferroviaires, modes doux et actifs, et l'usage partagé de la voiture), restent encore très modérées et ne progressent guère. La qualité des transports collectifs et ferroviaires laisse aussi largement à désirer. Le vieillissement inéluctable de la population imposera vraisemblablement un renforcement d'un besoin de commodité, peu favorable *a priori*, en l'absence d'investissements inclusifs suffisants, aux alternatives à l'autosolisme du fait de la difficulté renforcée des ruptures de charge.

La crise sanitaire est même venue renforcer la défiance vis-à-vis des transports collectifs, et il est trop tôt pour savoir si cet effet durera au sortir espéré de cette crise. Elle a en revanche permis d'esquisser de nouveaux modes de vie, avec un renforcement du télétravail, mais dont la rémanence n'est pas complètement acquise. Ces évolutions pourraient être la manifestation des progrès importants des télécommunications, qui devraient encore se renforcer dans les années qui viennent pour devenir de plus en plus immersives, laissant envisager des évolutions sociétales potentielles.

La rémanence du frémissement dans l'usage du vélo et des modes doux constaté à cette occasion n'est pas non plus acquise.

Sur la base de ces constats, plusieurs hypothèses de politiques de sobriété sont construites, pour explorer le champ des possibles d'ici 2060. Dans tous les cas, le trafic tendanciel, avant les politiques publiques, croît sous l'influence de la croissance économique, certes modérée (1,4 % par an et par habitant, plus un peu moins que 0,1 % par an pour la population), ce qui finit par produire un quasi-doublement des voyageurs-km au bout de 40 ans, tiré surtout par la croissance du transport aérien, nettement plus élastique et bénéficiant de la croissance mondiale plus forte qu'en France, même si les transports intérieurs pourraient croître significativement également de l'ordre de 60 %.

Dans le cas d'une politique individualiste, le trafic routier pourrait croître bien au-delà de l'effet tendanciel, si le véhicule autonome (dont on ne sait pas s'il sera là demain ou après-demain, ni s'il sera exclusivement terrestre ou également aérien) ne faisait pas l'objet d'une régulation publique autre que de sécurité, notamment du fait de la multiplication des retours à vide. Les dégâts tant écologiques que du point de vue de la congestion et de la qualité de vie des riverains pourraient être considérables.

Dans la politique « ambition de base », les tendances actuelles sont poursuivies, menant à des éléments de sobriété de mobilités voyageurs, à la fois par la maîtrise de la demande finale en évitant des déplacements substituables par voie de télécommunications (télétravail et assimilés, pouvant atteindre deux jours par semaine pour 30 % des actifs), un développement du covoiturage et des modes collectifs et ferroviaires de manière adaptée à la diversité des territoires et des situations individuelles, par exemple les compositions familiales, les besoins en terme d'emplois ou de modes de vie mais aussi les situations de handicap ou au moins de difficultés à se déplacer.

Le covoiturage pourrait surtout concerner les périphéries des grandes agglomérations, qui ne présentent pas la densité requise pour des solutions collectives, au moyen de voies réservées, sans gêner les transports collectifs. Dans les espaces plus centraux, les transports collectifs lourds et rapides (ferroviaires, métros, trams, bus à haut niveau de service) devraient voir leurs offres renforcées en capacité et en nombre de lignes, nécessitant donc des investissements à cet effet dont les délais de mise en œuvre peuvent être parfois longs. Enfin, les modes doux et actifs pourraient être davantage favorisés par des voies sécurisées plus systématiques. Dans les espaces ruraux, un partage plus successif (autopartage plutôt que covoiturage) pourrait être encouragé. En effet, compte tenu des faibles intensités de trafic en milieu rural, le partage simultané des véhicules (covoiturage) impliquerait nécessairement des temps d'attente rédhibitoires. Effectuées à bon escient en fonction des caractéristiques des différents territoires, ces différentes alternatives à l'autosolisme pourraient souvent apporter aussi des réductions de coût de revient, bénéfiques pour le pouvoir d'achat, au prix d'efforts d'investissements publics redéfinis mais mieux ciblés. Ces investissements publics devraient également favoriser en urgence l'accompagnement des motorisations décarbonées, notamment l'avitaillement énergétique (recharges

électriques interurbaines, équipement des immeubles collectifs, recharges énergétiques décarbonées (biogaz notamment)).

Dans la politique de sobriété forte, ces tendances sont renforcées. Par exemple, il est supposé qu'en prenant appui sur les progrès escomptés des télécommunications, il soit possible d'envisager deux jours par semaine pour 30 % des actifs en télétravail (ou similaire), et de modérer l'effet rebond à une part faible des déplacements érudés. La politique comprend également une meilleure maîtrise de l'aménagement urbain, ce qui permet aussi de limiter les impacts en matière d'usage des sols sur le dérèglement climatique et la perte de biodiversité.

Toutefois, l'ampleur de la contrainte climatique frappe. Même en supposant la meilleure politique de motorisation (division par 8 des émissions en gCO₂/véhicule-km des voitures, ce qui implique au-delà de la motorisation, la fabrication décarbonée du véhicule et de sa batterie le cas échéant), la politique de sobriété forte ne suffit pas à atteindre la neutralité des mobilités voyageurs. Il convient dans ce cas d'envisager une chronique de valeur d'action carbone (prix que la société se donne pour guider ses politiques relatives au carbone) allant au moins jusqu'à 500 €/tCO₂ à long terme.

Ce qui nécessite, pour que l'acceptabilité soit au rendez-vous, que la hausse des prix des carburants soit effectuée dès lors que des alternatives crédibles au véhicule thermique soient proposées et que le marché de l'occasion (la plupart des acheteurs personnes physiques n'achètent pas de véhicules neufs, qui sont en général achetés par les entreprises, les loueurs, et quelques personnes physiques de plus de 55 ans ou aisées) en comprenne une proportion significative, et que des redistributions soient prévues pour les ménages les moins aisés, peut-être les 30 % les plus fragiles en terme d'ordre de grandeur. Ces redistributions pourraient être quelque peu modulées selon les territoires, avec notamment des possibilités de redistribution collective sous forme d'investissements dans les transports publics et ferroviaires et pour les modes doux et actifs dans les espaces urbains et les axes denses.

La tension sur l'objectif de décarbonation des motorisations évoqué ci-dessus impose de tester ce qu'il pourrait se passer si cet objectif n'était pas atteint, même avec des motorisations entièrement décarbonées, mais par exemple un moindre allongement de la durée de vie des batteries ou une production moins décarbonée menant à limiter la division des gCO₂ par voiture-km par 4, ce qui reste malgré tout un objectif ambitieux, ou bien si l'on rencontrait des difficultés dans les programmes de recherche et développement décarbonés (terrestres et aériens), ou de limitation des ressources minérales ou autres (biocarburants par exemple) disponibles, un contexte mondial peu coopératif sur le plan des industries de construction des véhicules, ou des difficultés sensibles en matière de pollution des milieux ou de l'acceptabilité des évolutions.

Dans ce cas, la neutralité des mobilités voyageurs rendrait nécessaires des politiques de sobriété des mobilités bien plus renforcées. Si le contexte est un peu délicat à décrire avec précision, tant on se situerait dans un scénario de rupture, les premiers éléments indiquent des mesures très délicates, pouvant comprendre des valeurs du carbone bien plus élevées (peut-être aux alentours de 5 000 €/tCO₂) ainsi que potentiellement dans certaines situations des mesures de limitation plus quantitatives des émissions de carbone, par exemple pour le transport aérien intercontinental où les émissions dans un seul trajet peuvent parfois atteindre celles d'une année de circulation en véhicule thermique.

Sommaire

Résumé et introduction	3
1 Une nouvelle approche prospective est nécessaire, autour des trois déterminants : décarbonation, numérisation et sobriété.....	8
1.1 Une analyse prospective orientée vers l'aide à la décision	8
1.2 Les scénarios envisagés.....	8
1.3 L'urgence climatique surplombe les réflexions. Décarboner presque totalement les transports en une génération ne se fera pas au dernier moment	10
1.3.1 Le constat : Le secteur des transports a augmenté ses émissions directes de plus de 10 % par depuis 1990, il est question ici qu'il les divise par dix d'ici 2050.....	11
1.4 Le défi : Partager collectivement les enjeux du climat, l'urgence d'agir et donner de la visibilité à chacun sur l'avenir.....	14
2 Situation actuelle de la mobilité des personnes et perspectives contextuelles	16
2.1 Une hégémonie de la voiture en transport intérieur et de l'avion à l'international....	16
2.2qui répond très globalement aux besoins de mobilité	19
2.3 La place des modes alternatifs est un peu réduite en France par rapport à l'Europe.....	19
2.4avec cependant des points d'ombre et de préoccupation sur l'accès à la mobilité..	23
2.5 Des problèmes de qualité parfois préoccupants	24
2.6 Des problèmes écologiques locaux	25
2.7 Une part importante et croissante des transports dans les émissions de gaz à effet de serre	28
2.8 Des mesures de politique publique qui vont dans le bon sens mais dont le caractère suffisant ne fait pas consensus	30
2.9 Des évolutions récentes suite à la crise sanitaire en cours	32
3 Cinq politiques de mobilité des personnes contrastées illustrant le champ des possibles.....	34
3.1 Principes de définition des politiques	34
3.2 Les cinq leviers pour la décarbonation des mobilités issus de l'identité de Kaya	35
3.3 Trois révolutions contextuelles majeures touchant les mobilités au cours des prochaines décennies.....	36

3.4 La politique de mobilité individualiste (ou de sobriété faible)	37
3.5 La politique de sobriété moyenne	38
3.6 La politique de sobriété forte	43
3.7 Politique de « sobriété très forte » pour la neutralité (pari technologique)	44
3.8 Politique de « sobriété ultra forte » pour la neutralité (pari sociétal).....	44
4 La construction des scénarios : déclinaison mobilité des personnes	50
4.1 Les principaux résultats des scénarios.....	50
Conclusion.....	64
Annexes.....	65
Annexe 1 : Composition du groupe sur les mobilités des voyageurs.....	66
Annexe 2 : Liste des séances et exposés du groupe mobilités des voyageurs	68
Annexe 3 : Éléments de support de documentation de la construction détaillée des scénarios	70
3.1 Construction du tendancier PIB	70
3.2 Résumé des hypothèses relatives à la motorisation	70
3.3 Simulations du FIT sur la mobilité partagée associée aux TCU lourds dans les grandes villes, et modalités de leur extrapolation à l'ensemble du territoire.....	71
3.4 Mobilités douces et actives	73
3.5 Télétravail, télé-réunions et télécoms.....	73
3.6 Éléments de rétrospective des flux, émissions et parts modales.....	74
3.7 Exploration d'un scénario géographisé de massification renforcée.....	76
3.8 Aperçu sur le fonctionnement possible d'un système de limitations quantitatives échangeables.....	83
Annexe 4 : Aperçu de synthèse des ambiances technologiques et des politiques de sobriété.....	87
Annexe 5 : Glossaire des sigles et acronymes	88

1 Une nouvelle approche prospective est nécessaire, autour des trois déterminants : décarbonation, numérisation et sobriété

Jusqu'à présent, réaliser un exercice de prospective des transports, ou des mobilités, consistait généralement à prendre en compte divers scénarios de grands cadrages internationaux (évolution des échanges économiques) et macroéconomiques nationaux (évolutions de PIB) plus ou moins raffinés pour en déduire les besoins de déplacements des biens et de personnes qui en résultaient, à analyser les mesures vertueuses susceptibles de les accompagner (internalisation des externalités) et à décrire les conséquences qui en résultaient (notamment les besoins de services et d'infrastructures).

Dans le contexte actuel, ce n'est plus ainsi qu'il faut s'y prendre. Les scénarios présentés ci-dessous sont une tentative de concilier la diversité des futurs possibles et pour chacun de ceux-ci des quantifications utiles pour les illustrer, dans lesquelles on retrouve les moteurs et déterminants classiques de ces calculs.

1.1 Une analyse prospective orientée vers l'aide à la décision

La prospective telle qu'elle a été ici conçue, reste sectorielle et cantonnée au champ des mobilités. Elle se heurte ainsi au caractère nécessairement partiel de ses analyses : il n'était pas ici question de scénarios de rupture tels que guerres, invasions, pandémies non maîtrisées, ruines globales... Non que ces hypothèses seraient trop improbables pour être prises en compte, mais leur description ne renseignerait pas sur les stratégies d'action publique à conduire dans le secteur des mobilités. Les équipes de travail et les parties prenantes consultées dans cet exercice n'auraient pas été armées pour les examiner de façon pertinente. Tout en élargissant fortement le champ des possibles examinés, ceux-ci restent donc ceux qui répondent à des évolutions du monde aujourd'hui connu et non pas à son bouleversement violent.

Tous les aspects de la mobilité n'ont pas été examinés avec le même détail. L'angle de la réflexion est de chercher les questions de choix qui se posent aujourd'hui aux politiques publiques et de les éclairer en poussant sur de longues durées les dynamiques envisagées. Pour cela les émissions de gaz à effets de serre ont été au cœur du travail car elles posent une question surplombante : **est-ce qu'à l'avenir nos mobilités évolueront plutôt librement au gré des progrès technologiques et des évolutions spontanées des modes de vie ou seront-elles limitées par de fortes contraintes économiques ou réglementaires ?**

1.2 Les scénarios envisagés

Les scénarios prospectifs construits par une communauté d'experts animés par le CGEDD et France Stratégie illustrent et documentent de façon détaillée une nouvelle approche prospective de ces questions, dont les déterminants principaux sont les incertitudes technologiques (décarbonation et numérisation) et comportementales (sobriété).

L'analyse a porté sur trois principaux scénarios contrastés :

- Le scénario dit du « pire climatique » allie de faibles progrès technologiques et des comportements tournés vers la consommation individuelle.
- Le scénario dit « ambition de base » prend en compte toutes les mesures prises ou

envisagées aujourd'hui pour atteindre la neutralité carbone et les allie à des progrès technologiques significatifs et des comportements plutôt parcimonieux.

- Le scénario dit « pari technologique » est un *backcasting* à partir d'une situation souhaitée à terme de neutralité carbone, dans une perspective optimiste d'évolution des technologies et des comportements, impliquant des efforts de sobriété.

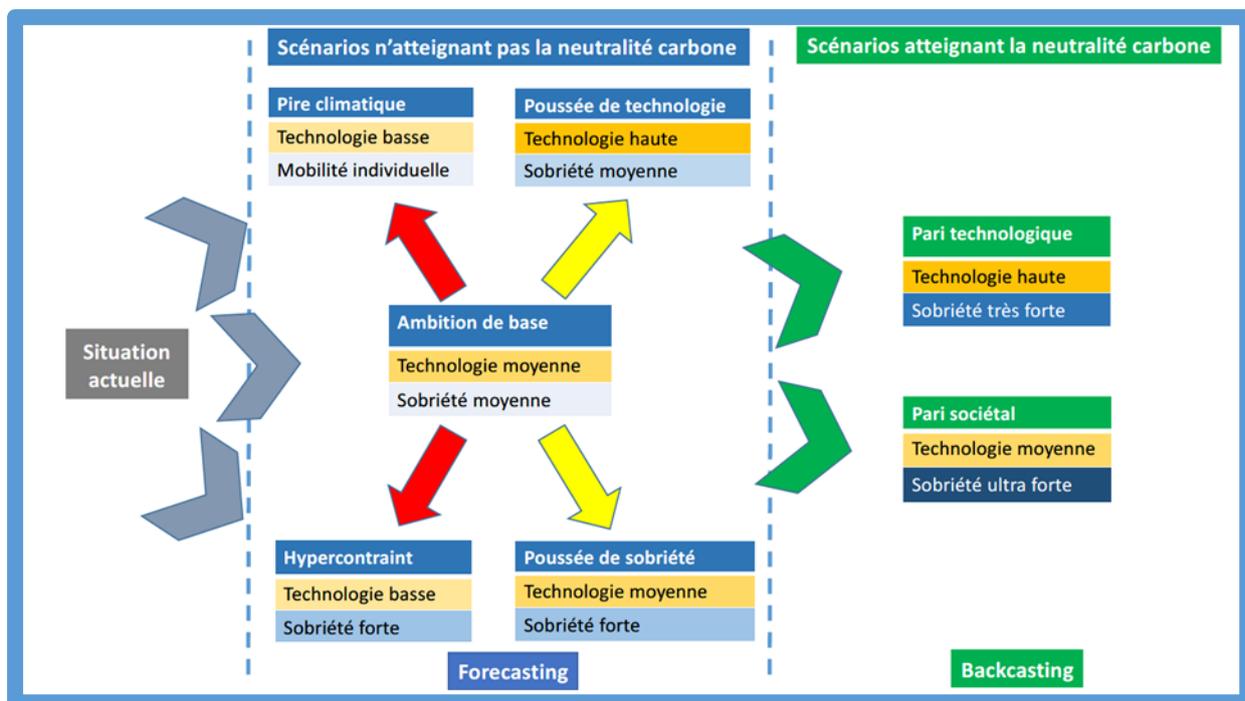


Figure 1 : Les scénarios envisagés.
Source : Prospective 2040-2060, CGEDD-France Stratégie, 2022

Afin d'illustrer d'autres futurs possibles, quatre autres scénarios ont été étudiés :

- Un autre scénario dit « pari sociétal », également un *backcasting* à partir d'une situation souhaitée de neutralité carbone, mais avec une ambition technologique un peu plus limitée ou contrainte ; il s'en suit des efforts de sobriété très renforcés.
- Le scénario dit « hypercontraint » où, à défaut d'amélioration technologique probante, les contraintes d'usages sont fortement renforcées, pour tenter de s'écarter le moins possible de l'objectif d'émission.
- Le scénario dit « poussée de technologie » où les ambitions technologies sont proches de celles du scénario de neutralité carbone « pari technologique » et plus fortes que dans le scénario « ambition de base » et où la sobriété est proche de celle du scénario « ambition de base » et plus faible que dans le scénario de neutralité carbone. « pari technologique ».
- Le scénario dit de « poussée de sobriété » où les progrès technologiques restent similaires à ceux du scénario « ambition de base » et où des efforts supplémentaires de sobriété sont consentis.

De cette analyse ressortent neuf messages principaux qui sont déclinés dans les paragraphes ci-dessous qui n'évoquent que les principaux résultats de l'exercice : le lecteur trouvera dans le rapport transversal et en annexe les résultats associés aux différents scénarios à l'horizon 2060 et dans les rapports des groupes de travail des résultats et des

analyses plus détaillées. Ce travail résulte du croisement de nombreux regards. Il ne prétend pas à une totale homogénéité, car il laisse place à des regards assez contrastés.

Les récits des trajectoires de vie de quatre familles présentées en annexe du rapport « Transversal » montrent l'importance tout à la fois de la prise de conscience individuelle de la nécessaire évolution de nos comportements mais aussi du rôle nécessaire d'information et d'accompagnement par les pouvoirs publics qui peuvent favoriser l'adoption et la diffusion des nouvelles technologies.

On appelle dans ce rapport « **sobriété des mobilités** » les améliorations qui relèvent de l'usage et qui concourent à :

- **réduire le nombre et la longueur des déplacements** utilisant des carburants d'origine fossile et encourager le développement des modes actifs, ce qui passe notamment par le report modal et la réduction des besoins qui génèrent les déplacements contraints de biens ou de personnes: urbanisme, pratiques de consommation, télétravail, etc... ;
- **réduire pour un déplacement donné les émissions correspondantes** en recherchant : un moindre autosolisme et une meilleure utilisation des véhicules (covoiturage, augmentation de l'emport,...), une plus grande mutualisation des déplacements, une amélioration des performances de conduite (conduite économe, ...).

Cette sobriété est donc **complémentaire des progrès technologiques** qui portent sur les motorisations, la durée de vie des véhicules et les émissions à la fabrication ou lors du recyclage.

1.3 L'urgence climatique surplombe les réflexions. Décarboner presque totalement les transports en une génération ne se fera pas au dernier moment

La dimension surplombante est celle de l'empreinte écologique de ces activités, et notamment l'empreinte carbone, dont le poids significatif ne peut être traité comme une simple externalité à maîtriser : cette décarbonation des transports doit être quasi totale en l'espace d'une génération pour répondre aux objectifs climatiques¹. Les mutations nécessaires à la décarbonation de ces déplacements de biens et de personnes sont urgentes, mais à des degrés de maturité technologique et d'accessibilité économique très divers et constituent une incertitude majeure des projections à 2040 et 2060.

¹ À titre d'exemple, le point 9 de la stratégie européenne de mobilité durable et intelligente proposée par la Commission européenne en décembre 2020 est établi avec l'objectif de réduire d'un facteur dix les émissions directes (à l'échappement) sur un périmètre qui comprend les transports terrestres et les transports maritime et aérien intra-européens, alors que ces mêmes émissions ont augmenté de 10 % dans les vingt dernières années

1.3.1 Le constat: Le secteur des transports a augmenté ses émissions directes de plus de 10 % par depuis 1990, il est question ici qu'il les divise par dix d'ici 2050

1.3.1.1 De très fortes réductions sont nécessaires pour atteindre la neutralité carbone

L'article 4 de l'Accord de Paris prévoit l'atteinte de la neutralité carbone à l'échelle mondiale dans la seconde partie de ce siècle défini comme **un équilibre entre les émissions anthropiques par les sources et les absorptions anthropiques par les puits de gaz à effet de serre**, sur la base de l'équité, et dans le contexte du développement durable et de la lutte contre la pauvreté». La France a adopté en 2019 ce même objectif de neutralité carbone à l'horizon 2050 en précisant dans la loi relative à l'énergie et au climat² que cet objectif conduit à diviser les émissions de gaz à effet de serre par un facteur supérieur à six par rapport à la situation de 2019. Le présent exercice de prospective relatif au secteur des transports repose sur une appréciation plus large, et donc plus exigeante, de la neutralité que celle de ces textes :

- Sont également prises en compte ici les émissions de gaz à effet de serre en amont de la production des carburants (environ 20 % des émissions directes des carburants produits) ainsi que celles des transports maritimes et aériens internationaux au départ de la France (qui ajoutent 17 % aux émissions du transport en France, et 20 % quand on comptabilise également les soutes achetées hors de France³): dans la comptabilisation actuelle de l'ONU et donc dans la loi française, ces transports ne relèvent pas des États, mais de l'OACI pour l'aérien et de l'OMI pour le maritime ; on se place donc ici non pas du point de vue de la responsabilité institutionnelle au regard des engagements pris, mais de la réalité de la contribution du secteur des transports aux émissions.
- L'exercice utilise une comptabilisation en empreinte environnementale et s'appuie sur des analyses de cycle de vie. Il prend donc en compte les émissions liées à la fabrication des produits finis et des biens intermédiaires fabriqués en France et importés (en retirant le total correspondant aux exports)⁴.
- Le présent exercice évoque également les effets sur le climat des émissions, notamment de l'aviation, d'autres GES que le CO₂, à savoir les émissions de NOx et de vapeur d'eau (qui dans une vision pessimiste pourrait ajouter un effet de court terme non négligeable comportant néanmoins une forte incertitude⁵).

² Loi n° 2019-1147 du 8 novembre 2019 relative à l'énergie et au climat, <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000039355955>

³ Un certain nombre de navires au départ de la France achètent leurs carburants à moindre coût dans des ports étrangers : le détail du calcul figure dans le rapport transport maritime et ports.

⁴ Le rapport de la CCTN (p123) de 2017 estime la fabrication des véhicules à 0,4 tCO₂ par habitant. Par ailleurs, les infrastructures routières représenteraient 7 % des empreintes des véhicules, auxquelles il faudrait ajouter celles des infrastructures de chemins de fer et TCU lourds.

⁵ Un facteur radiatif équivalent pour la vapeur d'eau de l'ordre de deux fois les émissions aériennes de CO₂ est utilisé, sur la base des travaux de Bock et al. *Contrail cirrus radiative forcing for future air traffic*, Atmos. Chem. Phys., 19, 8163–8174, 2019, <https://acp.copernicus.org/articles/19/8163/2019/>. Ceci amène à ajouter aux émissions actuelles un chiffre de 45 MtCO₂ (chiffre qui correspond essentiellement à un effet de court terme renouvelé en permanence, qui peut donc disparaître très rapidement si une nouvelle technologie apparaît).

1.3.1.2 Pourquoi être sorti ici du cadre des stratégies et modes de comptabilité officiels ? Le raisonnement en empreinte carbone s'impose

Un raisonnement sur les seules émissions à l'usage peut, au moins en théorie, conduire à des choix technologiques qui auraient des effets collatéraux qui contrebalancent les avantages attendus en renforçant les émissions de l'amont et de l'aval du cycle de vie. Un raisonnement en empreinte traite toutes les composantes liées à ces choix et apporte la cohérence d'ensemble souhaitable.

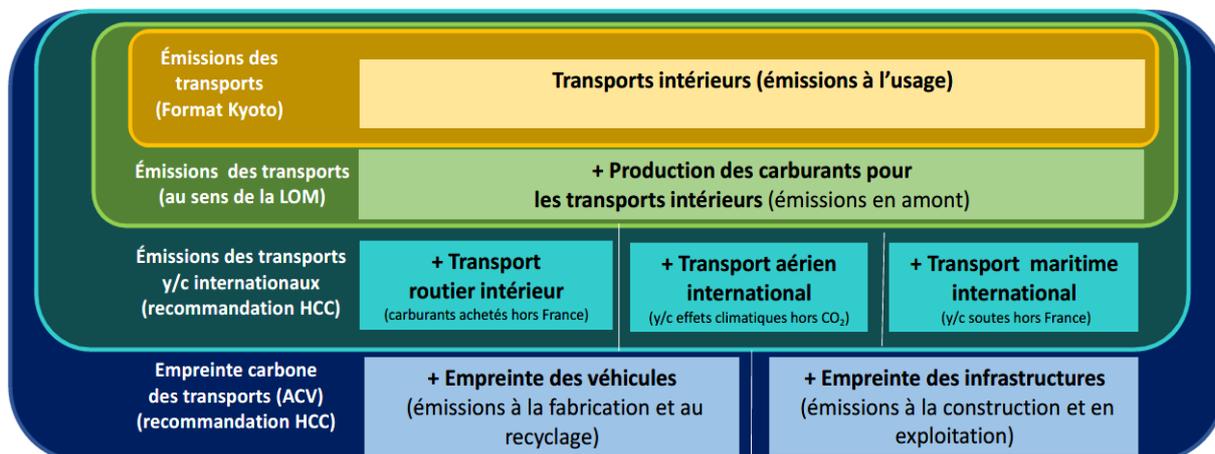


Schéma 1 : Empreinte carbone complète
 Source : Prospective 2040-2060, CGEDD-France Stratégie, 2022.

En pratique (voir les développements du rapport transversal et le texte en annexe sur ce sujet) ces deux approches ne conduisent généralement pas à des stratégies vraiment différentes, au moins à court terme : l'électrification des motorisations à partir d'électricité décarbonée (ou l'utilisation de carburants neutres en carbone) est un chemin indispensable, qui est bien induit par la neutralité des émissions à l'usage, mais ne suffira pas *in fine* pour la neutralité en empreinte et doit être complétée par une sobriété plus forte.

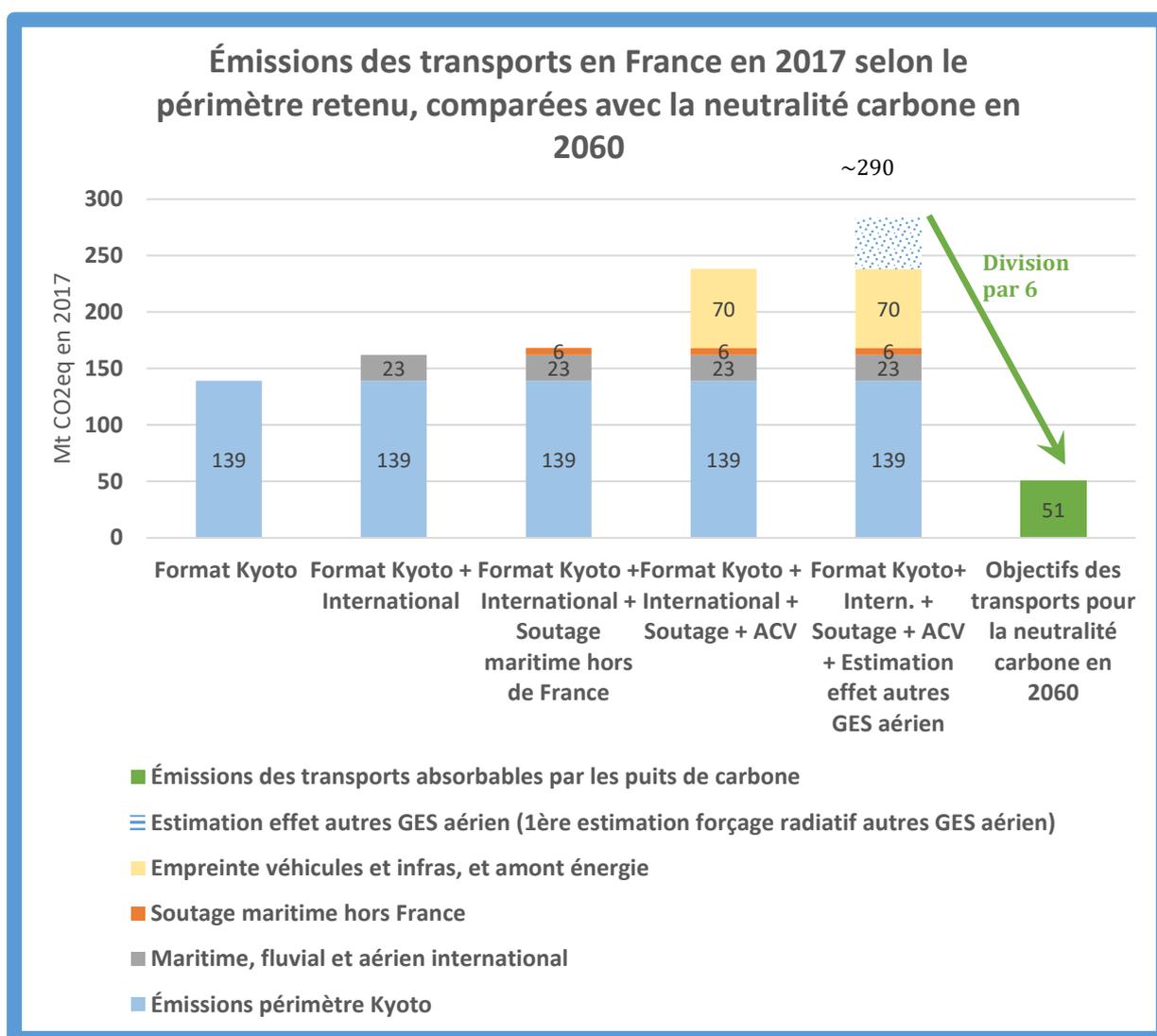


Figure 2 : Émissions de GES du transport : i) au format Kyoto, ii) en incluant l'international; iii) le soutage maritime hors de France, iv) les émissions liées à l'amont pétrolier et à l'empreinte des véhicules (format ACV), v) les effets de court terme de l'aérien
Source : Prospective 2040-2060, CGEDD-France Stratégie, 2022.

1.3.1.3 In fine, quel facteur de réduction des émissions ?

Sur la base de ces éléments, le présent exercice retient à titre de simplification que l'atteinte de la neutralité carbone (au sens défini ci-dessus de l'empreinte carbone du secteur) correspond à un facteur global de l'ordre de 6 de réduction des émissions qui est formée de :

- réductions plus importantes liées aux émissions en circulation des transports terrestres (environ 8);

- réductions moyennes liées à l’empreinte des matériaux fabriqués en France et à l’étranger : le présent exercice a été prudent sur cette réduction en ne considérant qu’un facteur de réduction voisin selon les cas de 30 % ;
- réductions plus difficiles à obtenir notamment dans l’aérien (environ 4 en incluant l’aérien international et les autres gaz à effet de serre), voire le maritime, international.

Emissions GES 2040 2060 tous modes (terre air mer)				
Scénarios	1990	2017	2040	2060
<i>Scénarios de forecasting</i>				
Pire climatique	244	296	362	470
Ambition de base	244	296	213	122
Poussée de technologie	244	296	154	61
Poussée de sobriété	244	296	200	105
Hypercontraint	244	296	254	207
<i>Scénarios de backcasting</i>				
Pari technologique	244	296	142	51
Pari sociétal	244	296	159	51

Tableau 1 : Émissions de GES en ACV tous modes à 2040 et 2060 en MtCO_{2e}.
Source : Prospective 2040-2060, CGEDD-France Stratégie, 2022.

1.4 Le défi : Partager collectivement les enjeux du climat, l’urgence d’agir et donner de la visibilité à chacun sur l’avenir

Selon l’expression de l’Organisation mondiale de la météorologie, les concentrations atmosphériques de gaz à effet de serre et la chaleur qu’elles induisent ont désormais « propulsé la planète sur un terrain inconnu ».

La transition écologique et énergétique ne pourra être menée à bien que si une majorité de Français en partage les enjeux, les problématiques et l’urgence d’agir. À défaut d’un illusoire consensus sur les actions retenues, on pourrait rechercher pour fluidifier et enrichir le débat public une compréhension commune des termes du débat, aussi bien sur les causes et les conséquences du changement climatique, que sur les moyens et les outils réglementaires et économiques possibles jeu (taxe carbone, marché carbone...) pour le prévenir.

Le développement de l’internet qui nous permet d’accéder instantanément à une grande partie des connaissances scientifiques de l’humanité divise plutôt que rassemble : chacun finit en effet par trouver ses informations dans ses propres réseaux sociaux conduisant ainsi à des cultures très éloignées les unes des autres. Trois pistes pourraient nous guider dans ce partage :

- **La mise à disposition des décideurs et du public des connaissances et des débats scientifiques** : c’est ce que font le GIEC et l’IPBES tous les six ou sept ans avec leurs rapports scientifiques. Convenons cependant que le résumé pour décideurs du GIEC n’est pas d’une lecture aisée et demande quelques explications. C’est ce que

font également parfois les économistes, avec plus de difficultés, compte tenu des positions contrastées inhérentes à cette discipline : le rapport rédigé sous la présidence d'Olivier Blanchard et de Jean Tirole sur les grands défis économiques en est un bon exemple.

- **La création de lieux de débats, nationaux ou locaux, *ad hoc***: Au-delà de la démocratie représentative, des débats *ad hoc* permettent d'éclairer la décision : le Grenelle de l'environnement a ainsi conduit à une première loi adoptée quasiment à l'unanimité. La crise des gilets jaunes montre que le partage des enjeux du climat, de la biodiversité et de l'urgence de l'action est aujourd'hui insuffisant : la mise en place d'une assemblée, regroupant notamment les élus et les collectivités locales, les experts publics, les ONG, les syndicats de salariés, les organisations patronales, la convocation de la science, le dialogue entre l'exécutif et cette assemblée est une méthode possible. Il y en a certainement d'autres, y compris en local, une voie possible également étant celle de citoyens tirés au sort à l'image de la Convention citoyenne sur le climat ou des « *citizens' assemblies* » irlandaises par exemple qui ont contribué à construire des consensus larges sur des sujets sociétaux très diversifiés.
- **Le recours à des autorités indépendantes chargées d'évaluer la politique du gouvernement** : c'est le rôle du Haut conseil pour le climat et du *Climate change Committee* au Royaume-Uni (qui a inspiré la création du HCC).

2 Situation actuelle de la mobilité des personnes et perspectives contextuelles

2.1 Une hégémonie de la voiture en transport intérieur et de l'avion à l'international...

La mobilité des voyageurs en France repose pour l'essentiel sur la voiture particulière. Le parc roulant comprenait d'après le CCFA près de 33 millions de voitures en 2018, à rapporter à 49 millions de français de plus de vingt ans, soit un peu plus de deux voitures pour trois adultes en âge de conduire.

L'hégémonie de la voiture marque aussi les parts modales : ainsi, elle représentait cette même année 757 milliards de voy-km sur un total de 939 en transports intérieurs en 2018, soit un peu plus de quatre kilomètres parcourus sur cinq par les voyageurs (source CCTN 2018).

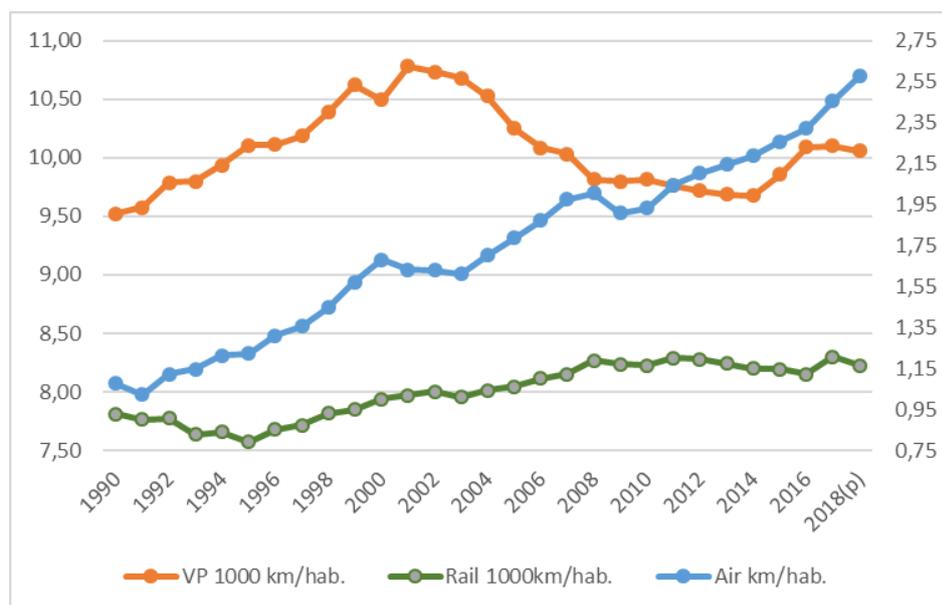


Illustration 1 : Circulation sur l'A10 - Crédit : Laurent Mignaux / Terra

Depuis le début des années 2000, le trafic automobile plafonne en termes de voyageur-km/habitant « peak-car », mais en France un « peak-rail » s'est aussi manifesté depuis une dizaine d'années. Un léger découplage existe donc entre croissance du revenu et distances parcourues. Mais cela n'est pas vrai si on intègre les distances parcourues en avion à l'international par les personnes résidant en France.

VP échelle de gauche

Rail et air, échelle de droite

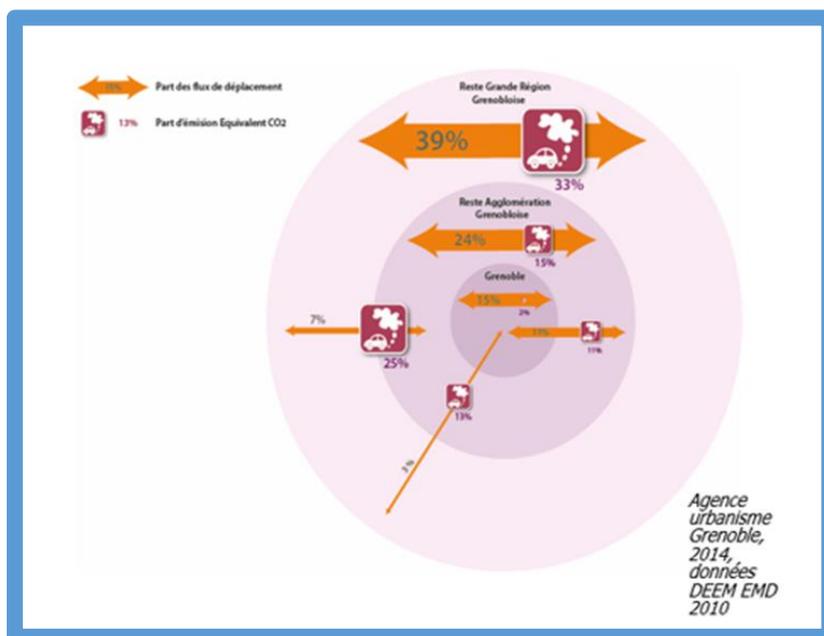


Graphique 1 : Part modale voyageurs - Source : d'après Comptes transports de la Nation 2018

La multiplication par 2,5 en trente ans des kilomètres parcourus en avion provient bien sûr de sa vitesse physique. Elle rend accessible en un temps limité des destinations souvent hors d'atteinte pour les autres modes. Mais la progression de l'aérien provient surtout de sa vitesse économique qui a progressé de façon continue. La vitesse économique correspond au temps de travail nécessaire pour acheter un déplacement. Référons-nous pour simplifier au salaire horaire minimum. En 1980, il fallait 784 heures de Smic pour acheter un vol AR entre Paris et Singapour, soit une vitesse économique de 30 km/h. Pour New-York, 140 heures suffisaient soit une vitesse économique de 85 km/h. En 2019, les chiffres étaient respectivement : pour Singapour, environ 78 heures de travail, soit 300 km/h ; pour New-York 50 heures de travail, soit 240 km/h. Au même moment, un voyage en TGV correspondait pour une personne payée au Smic à une vitesse économique de 80 km/h, mais 200 km/h pour un Ouigo, ce qui explique le succès de cette offre et sa pertinence pour concurrencer l'aérien sur des distances pouvant aller jusqu'à 1 000 km⁶.

⁶ En combinant vitesse physique et vitesse économique, on obtient la vitesse généralisée

La voiture règne particulièrement en maître dans les espaces périurbains et les déplacements orbitaux, comme le montre le graphique 2 :



Graphique 2 : Part modale automobile - Source : Agence urbanisme de Grenoble, cité par Damien Verry 2019 (Cerema)

L'avion prédomine en revanche dans les transports internationaux en dehors de la proximité.



Illustration 2 : Hall départ Terminal 2E, aéroport de Roissy-Charles de Gaulle - Crédit : Arnaud Bouissou / Terra

Les modes doux et actifs ne sont significatifs que sur des distances très faibles, et donc pèsent peu dans les parcours des voyageurs.

Les modes collectifs ne sont majoritaires que dans les zones ou axes très denses, le cœur de l'Île-de-France essentiellement et quelques relations inter-régionales majoritairement en TGV aux alentours de deux heures de trajet.

2.2 ...qui répond très globalement aux besoins de mobilité

Si cette hégémonie a pu se développer au cours des 70 dernières années, c'est que la voiture permet un trajet direct de porte à porte, sans temps d'attente ni de correspondance. À part les exceptions citées ci-dessus, elle constitue le mode de déplacement de bout en bout présentant le coût généralisé le plus faible, essentiellement le temps de trajet le plus rapide.

Elle fournit une mobilité pour tous. Son coût global est de l'ordre de 14 % de la dépense de consommation des ménages (tous modes), et ce ratio est assez constant dans le temps d'ailleurs. S'il s'agit d'un des postes significatifs de dépense, certes derrière le logement, sa part reste globalement raisonnable eu égard aux services rendus. Son usage devient de plus en plus individuel avec une baisse tendancielle du taux d'occupation moyen au fur et à mesure de la croissance modérée du parc.

Les quelques exceptions à l'hégémonie de la voiture concernent des situations particulières :

- les très longues distances, où l'avion permet avec ses vitesses de pointe de plus de 800 km/h de compenser les temps additionnels pour rejoindre et traverser les aéroports ;
- les zones très denses, et encore surtout sur les radiales de/vers le centre, surtout en Île-de-France et quelques zones centrales de grandes agglomérations, du fait de la congestion routière en heure de pointe, et de la rareté du stationnement ;
- quelques trajets interurbains essentiellement en TGV, voire quelques radiales autour de Paris, où la vitesse élevée en ligne (300 km/h) permet de compenser les allongements de parcours pour aller de/vers la gare, et ce encore dans la zone des deux à trois heures de trajet ferroviaire uniquement ;
- les trajets très courts, où les modes doux permettent d'éviter le problème du stationnement ou d'aller jusqu'à la voiture.

En ce sens, globalement les formes de déplacement constatées s'expliquent donc assez largement par les temps et les coûts de transports subis par leurs utilisateurs.

2.3 La place des modes alternatifs est un peu réduite en France par rapport à l'Europe....

La part modale des transports collectifs urbains en France se situe légèrement en-dessous de la moyenne en première approche, avec des fréquences constatées tant dans les grandes villes qu'en zone rurale qui semblent inférieures à celles de l'Allemagne.



Illustration 3 : Tram Montpellier - Crédit : Arnaud Bouissou / Terra

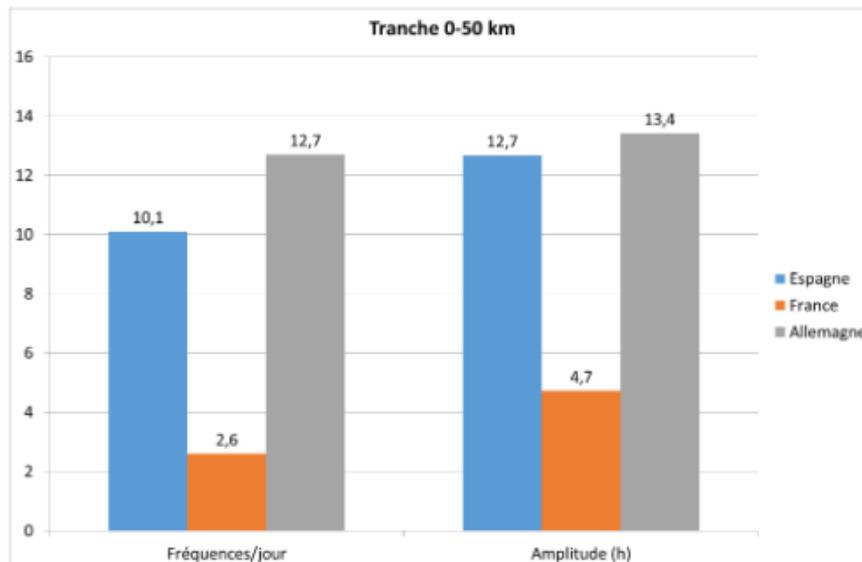
À cet effet, des sondages effectués en zone rurale par l'AQST⁷ illustrent ces différences de fréquences constatées, (tirage au sort de deux points de chaque pays éloignés de moins de 50 km, avec service incluant si nécessaire des correspondances) par exemple de 2,6 fréquences utiles par jour (y compris avec correspondances) en France contre 10,1 en Espagne ou 12,7 en Allemagne. Les amplitudes (différence entre l'heure du dernier départ et celle du premier) également sont nettement plus faibles en France, avec 4,7 heures entre le premier et le dernier service, contre 12,7 en Espagne ou 13,4 en Allemagne.

Les différences de qualité de la planification des correspondances entre la France et l'Allemagne (qui met en œuvre plus souvent des services cadencés à horaires répétés) semblent constituer un facteur souvent déterminant des différences constatées en fréquences et en amplitudes entre ces deux pays.

Dans le panel considéré, seules 20 % des liaisons comportaient un segment ferroviaire en France, contre 60 % en Allemagne.

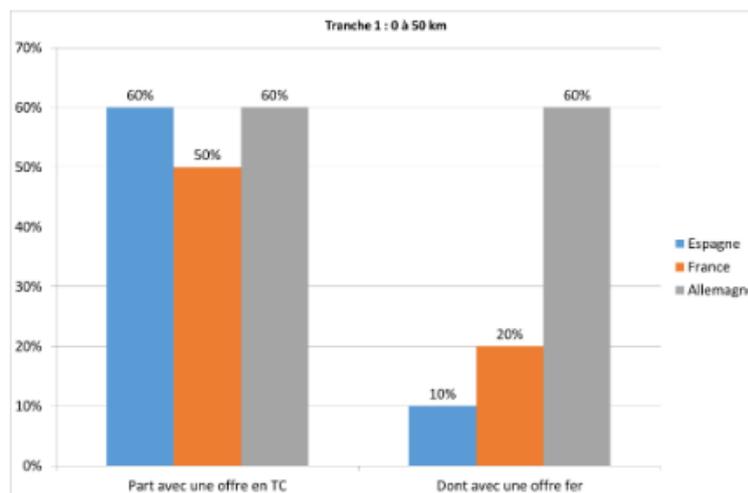
⁷ Voir Comparaison de la qualité de la desserte en transports publics réguliers depuis les zones rurales en France, en Espagne et en Allemagne, AQST, 2019
http://www.qualitetransports.gouv.fr/IMG/pdf/desserte_en_transports_collectifs_en_zone_rurale.pdf

De mauvaises fréquences et amplitudes en France



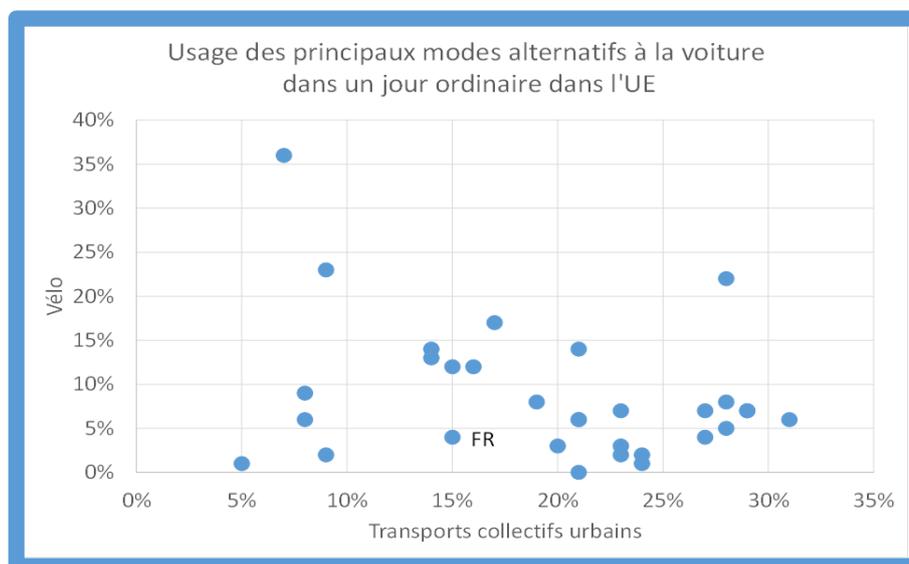
Graphique 3 : Fréquences et amplitudes journalières en Espagne, en France et en Allemagne dans des panels de couples de points à moins de 50 km dans chaque pays - Source : AQST

Une offre ferroviaire pour davantage de liaisons en Allemagne



Graphique 4 : Taux de présence comparés d'une offre ferroviaire en Espagne, France et Allemagne dans les panels de couples de points origine destination tirés au sort à moins de 50 km - Source : AQST

La part modale du vélo en France est particulièrement faible, avec peu d'itinéraires sécurisés continus, menant globalement à une part de la voiture un peu plus élevée que la moyenne européenne au quotidien. Ainsi, on dénombreait 4 % d'usage du vélo pour un déplacement dans un jour ordinaire en France, contre 36 % aux Pays-Bas, 23 % au Danemark, 13 % en Belgique et 12 % en Allemagne.



Graphique 5 : Principaux modes alternatifs à la voiture (TCU en horizontal et vélo en vertical). - Le cas de la France est identifié par la mention FR - (source Eurobarometer <https://europa.eu/eurobarometer/surveys/detail/2226> enquête de 2014)

En revanche, la part modale française en train à longue distance est un peu plus élevée que la moyenne de l'Europe occidentale, essentiellement du fait d'un réseau de TGV bien développé, dans un contexte géographique favorable.



Illustration 4 : TGV Thalys - Crédit : Arnaud Bouissou / Terra

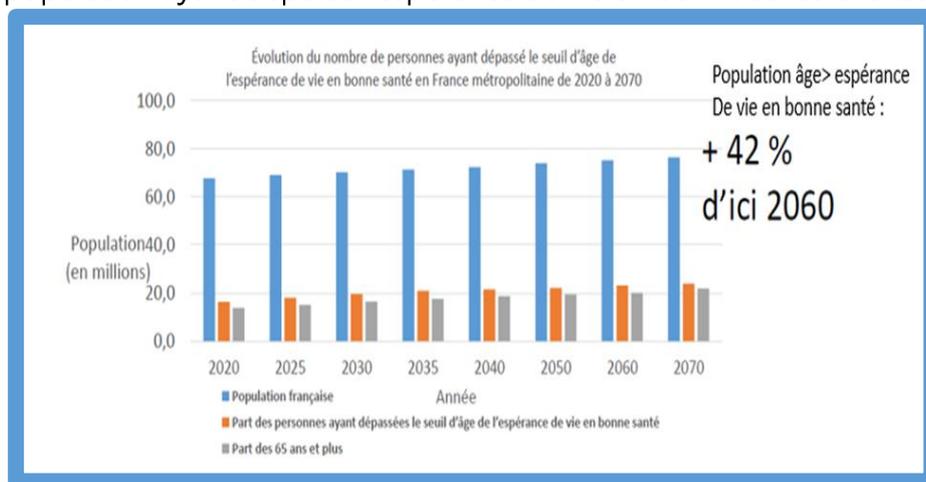
2.4 ...avec cependant des points d'ombre et de préoccupation sur l'accès à la mobilité

Si globalement, on peut conclure que la voiture a permis l'accès de tous à une mobilité rapide et abordable, il reste néanmoins quelques zones d'ombre :

- la mobilité du décile⁸ le plus pauvre, où les coûts de la voiture viennent à dépasser une part acceptable des revenus globaux ;
- l'accès à une seule voiture par ménage même avec plusieurs actifs dans les classes moyennes inférieures, qui impose donc des contraintes sur la mobilité d'une des personnes du ménage, ainsi que des limites sur la mobilité globale du ménage du fait de contraintes économiques, surtout ceux qui sont contraints à des déplacements longs et nombreux ;
- la mobilité d'une partie des seniors ou de certaines personnes en situation de handicap qui ne leur permet plus de conduire en sécurité ;
- les jeunes n'ayant pas encore l'âge de conduire, qui sont donc dépendants des transports scolaires ou de leurs parents, qui doivent y consacrer un temps non négligeable.

La ville et les modes de vie ayant été largement construits de fait autour de la voiture, sauf dans le cœur de l'Île-de-France et quelques hyper-centres urbains, l'impossibilité de conduire mène souvent à l'exclusion de la société en dehors de ces quelques territoires, ou au moins à des contraintes très fortes liées à des transports collectifs lointains et peu fréquents, particulièrement dans les petites villes et le monde rural. Mises bout à bout, ces situations peuvent concerner plus d'un français sur trois si on ne prend pas en compte les enfants de moins de quinze ans, ce qui est loin d'être négligeable.

Avec le vieillissement de la population, on peut d'ailleurs s'attendre à ce que le problème du risque d'exclusion des seniors puisse s'aggraver, avec une estimation d'une hausse de 42 % de la population ayant dépassé l'espérance de vie en bonne santé d'ici 2060.



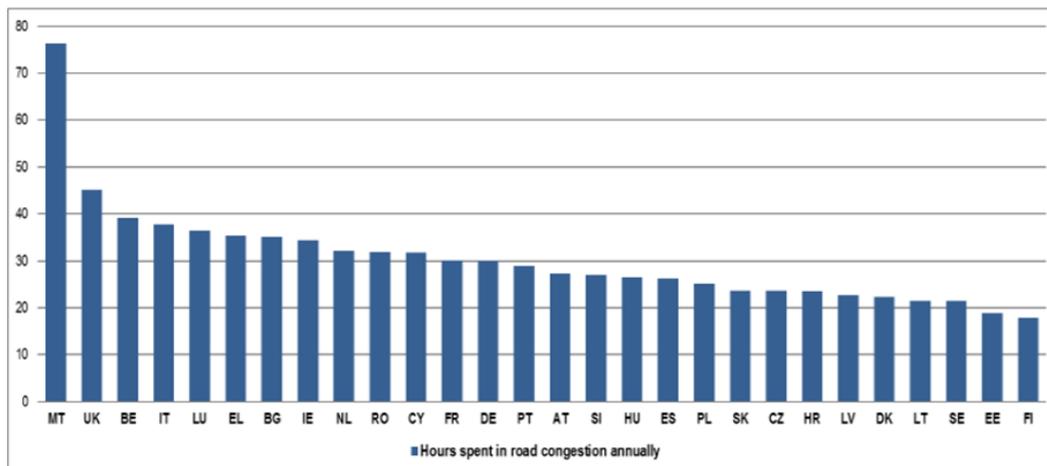
Graphique 6 : Évolution de la population plus âgée que l'espérance de vie en bonne santé entre 2020 et 2070 – Source : Sabine Madin, stage Polytech Tours à l'AQST

⁸Selon le classement Insee des individus suivant leur niveau de revenus par déciles (des 10 % les plus pauvres aux 10 % les plus riches)

2.5 Des problèmes de qualité parfois préoccupants

Du fait de sa faible densité globale, la France ne présente pas de problèmes de congestion routière particulièrement préoccupants au regard des moyennes européennes, à quelques exceptions importantes près :

- l'Île-de-France qui concentre la majorité des heures de bouchon au quotidien, ainsi que les hyper-centres de quelques grandes agglomérations ;
- quelques infrastructures routières interurbaines, notamment en saison estivale sur le principal axe Nord-sud et en pointe hebdomadaire près de grandes étoiles autour de l'Île-de-France et de quelques grandes agglomérations.

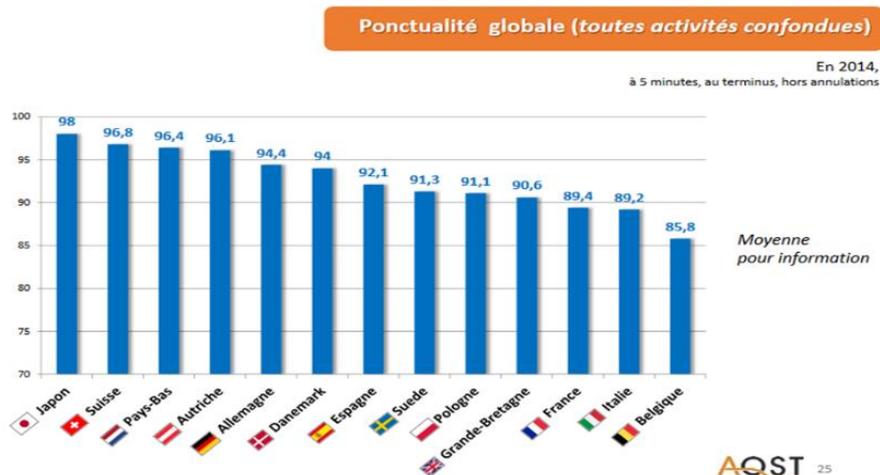


Data source: European Commission, Joint Research Centre, based on TomTom data. Data for Cyprus include Nicosia agglomeration on both sides of the demarcation line. For methodological reasons, the data for Malta are of limited comparability with the ones for the other countries studied.

Graphique 7 : Nombre d'heures annuel passées dans les bouchons en Europe

Source UE : <https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/2019-transport-in-the-eu-current-trends-and-issues.pdf>

Dans les transports ferroviaires, on constate également des taux de retard parmi les plus mauvais d'Europe, notamment en Île-de-France qui concentre deux minutes de retard des voyageurs sur trois en France. Ce constat est probablement à relier avec les très fortes intensités des trafics dans cette région très dense.



Graphique 8 : Ponctualité globale (toutes activités confondues) dans le monde - Source : AQST, parangonnage de qualité de service dans les transports ferroviaires de voyageurs en Europe et au Japon, 2017

http://www.qualitetransports.gouv.fr/IMG/pdf/Parangonnage_de_la_qualite_de_service_dans_les_transports_ferroviaires_de_voyageurs_-_AQST.pdf

La complémentarité entre les modes de transport est également en retrait, avec un faible nombre de parkings relais notamment.

2.6 Des problèmes écologiques locaux

Malgré les importants progrès dans la réduction des polluants locaux à la source, la question reste d'actualité dans les zones denses, du fait des incidences sanitaires de la pollution de l'air mises en évidence par diverses études sanitaires. La question de l'impact des particules ultrafines émerge également, ainsi que celle de la représentativité des cycles de mesures employés.

On note à cet égard un faible nombre de zones à faibles émissions mobilité (ZFE-m) en France, quatre existantes et sept supplémentaires en mai 2021 contre 47 en Allemagne et encore davantage en Italie.

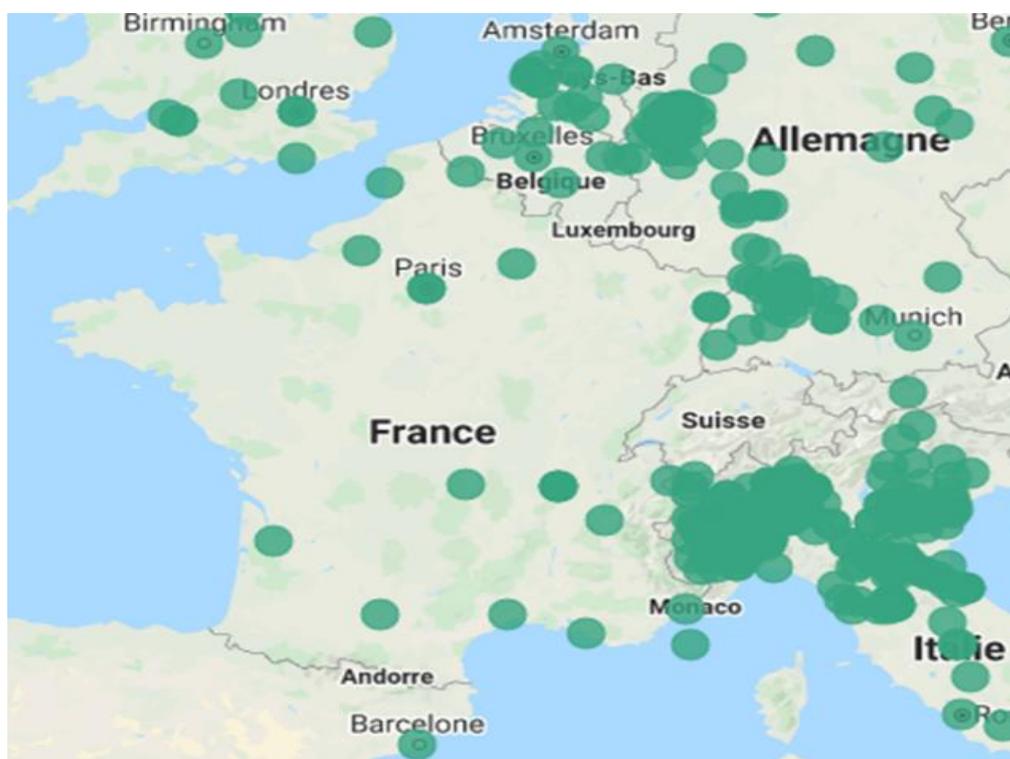


Figure 3 : Carte des ZFE-m existantes ou en projet en Europe
Source : <https://urbanaccessregulations.eu/userhome/map> 14 mai 2021

Il reste également de nombreux points noirs du bruit, malgré leur résorption progressive.

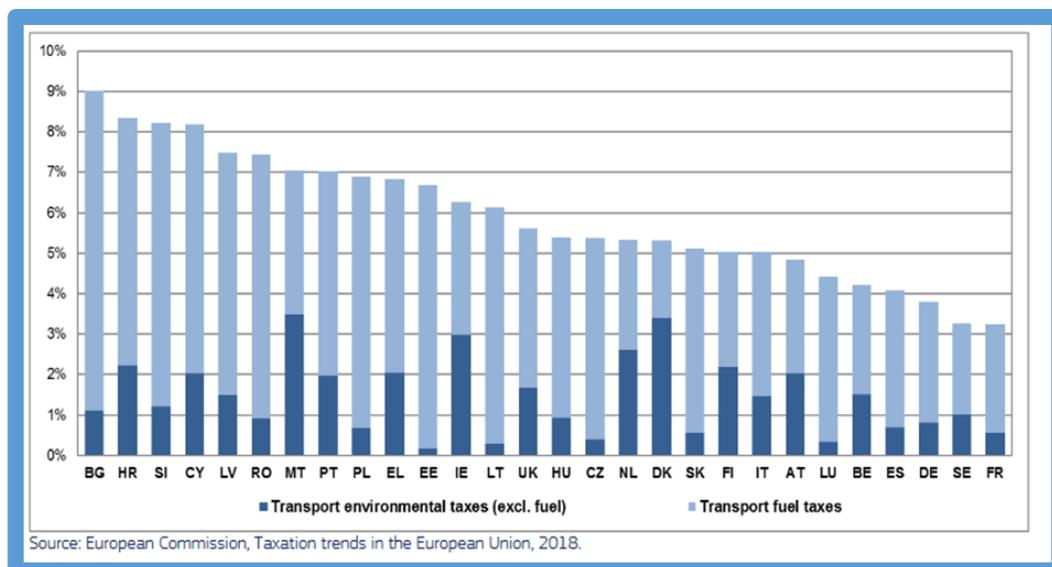
Le faible recours au vélo, certes en hausse, ainsi que la part globalement décroissante de la marche à pied contribuent également, entre autres effets, à des incidences négatives en matière de santé publique liées à l'excès de sédentarité.



Illustration 5 : Vélos en ville - Crédit : Arnaud Bouissou / Terra

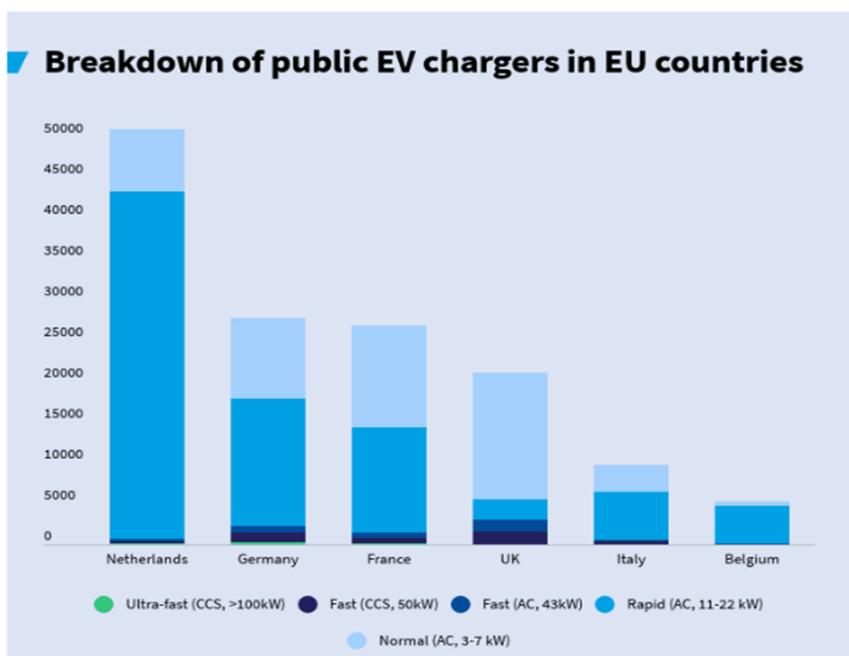
Les effets de coupure des infrastructures transports peuvent contribuer à la fragmentation des espaces, et donc nuire à la biodiversité, mais les transports ne sont probablement pas le secteur impactant le plus cette dernière.

Enfin, on notera que les taxes environnementales sur les transports étaient les plus faibles de l'UE en 2016 en termes de pourcentage de l'ensemble des taxes qui sont par ailleurs parmi les plus élevées d'Europe, la faiblesse du ratio pouvant certes être liée au niveau élevé du dénominateur.



Graphique 9 : Taxes environnementales en Europe (hors carburant en bleu clair, carburant en bleu foncé)
 Source : <https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/2019-transport-in-the-eu-current-trends-and-issues.pdf>

La densité de points de recharge électriques urbains et périurbains reste à 69,6 pour 100 000 habitants en 2018, derrière les taux de 275,4 aux Pays-bas ou 200,1 au Danemark, mais néanmoins un peu au-dessus de la moyenne européenne (2018).

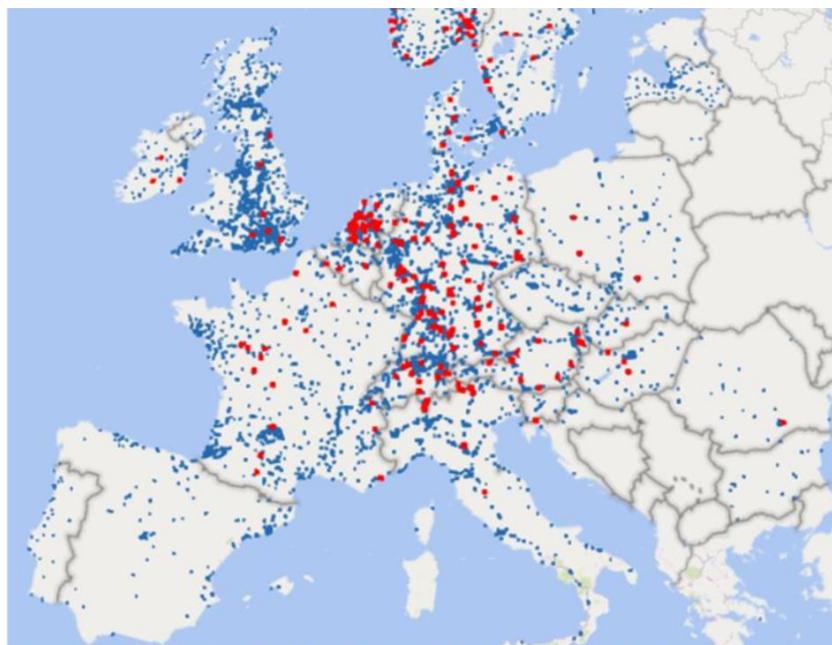


Graphique 10 : Comparaison rapidité de chargement des bornes électriques en Europe

Source : Transport and the Environment, d'après données de chargemap et plugsurfing, janvier 2020

<https://www.transportenvironment.org/sites/te/files/publications/01%202020%20Draft%20TE%20Infrastructure%20Report%20Final.pdf>

La carte suivante montre le retard français encore plus marqué en ce qui concerne les points de recharge très rapides (>100 kW) par rapport à l'Allemagne et aux Pays-Bas et divers pays d'Europe centrale vers 2019.



Map 1: Distribution of CCS fast (blue) and CCS ultra-fast (red) public charge points
(source: T&E analysis of Plugsurfing and OpenChargeMap data)

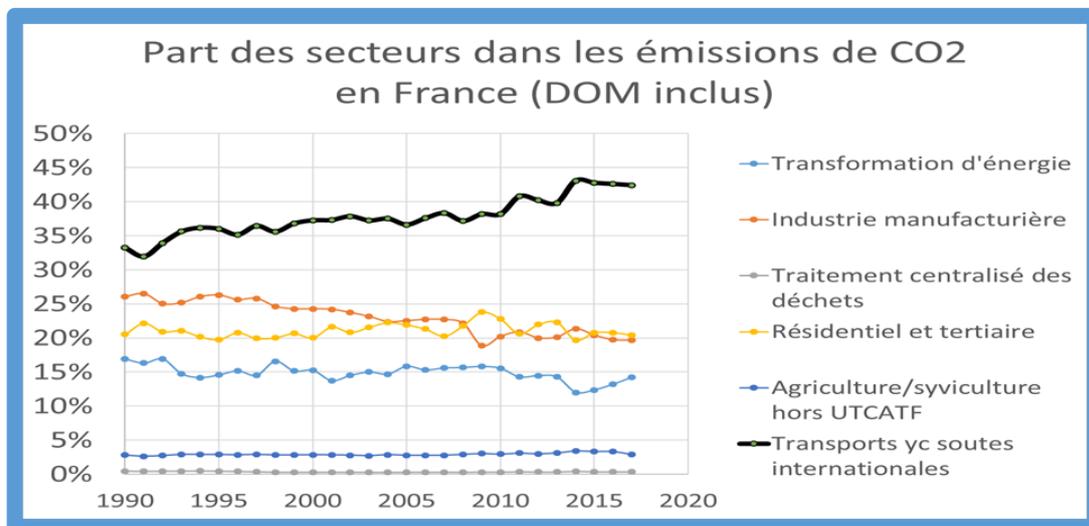
Figure 4 : Bornes électriques de chargement rapide et ultra-rapide en Europe

Source : Transport and the environment

<https://www.transportenvironment.org/sites/te/files/publications/01%202020%20Draft%20TE%20Infrastructure%20Report%20Final.pdf>

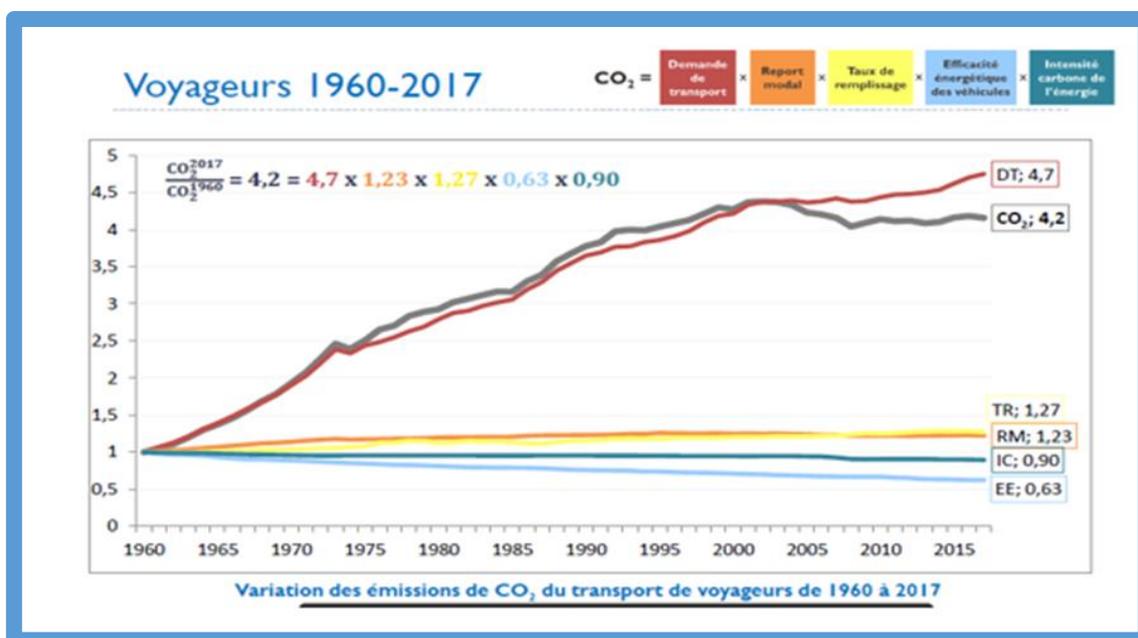
2.7 Une part importante et croissante des transports dans les émissions de gaz à effet de serre

Avec environ 40 % des émissions françaises, dont 2/3 pour les voyageurs, les transports sont le secteur le plus émissif de gaz à effet de serre (GES), et leur part est croissante⁹.



Graphique 11 : Émissions de CO₂ en France - Part des secteurs ; Source CGEDD d'après données CCTN

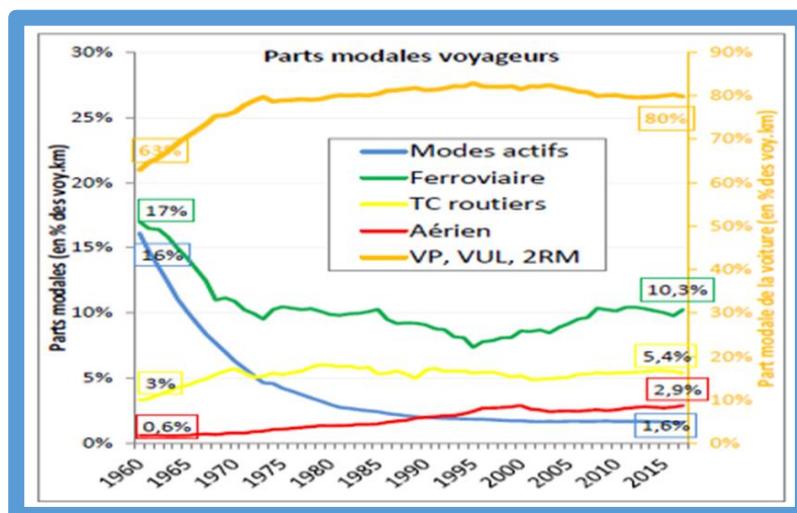
L'analyse des causes de ces évolutions montre que les hausses des GES sont essentiellement à relier à une hausse de la demande de transport (voyageurs-km), assortie d'un peu de contre report modal et de baisse du remplissage moyen, malgré quelques progrès en intensité carbone et efficacité énergétique.



Graphique 12 : Variation des émissions de CO₂ du transport voyageurs de 1960 à 2017
Source : thèse Aurélien Bigo 2020

⁹ 23 % en 1990, au format Secten

Le graphique 13 illustre les limites des résultats des politiques de report modal, qui ont peut-être évité le pire (scénario de type Nord-américain), mais dont les résultats semblent néanmoins limités, surtout si on examinait les déplacements de la vie quotidienne (hors effet du TGV sur les parts modales donc).



Graphique 13 : Comparaison des parts modales voyageurs en pourcentage entre 1960 et 2015
Source : thèse Aurélien Bigo 2020

En termes de méthode, il est important de raisonner en analyse sur le cycle de vie. Si aujourd'hui l'essentiel des émissions de GES est lié aux émissions des moteurs, il devrait en être autrement dans l'avenir dans la mesure où, au fur et à mesure que les énergies utilisées deviendront largement décarbonées, la part des émissions liées aux empreintes des véhicules devrait devenir importante voire prépondérante.

Les GES « tirés¹⁰ par les transports » comprennent les émissions de CO₂ directes, mais aussi les empreintes des véhicules et des infrastructures, de l'amont des énergies, les autres GES, ainsi que les flux internationaux¹¹ touchant la France. La majoration¹² pour tenir compte de ces effets pour les modes terrestres se situe vers 57 %.

Pour l'aérien, les soutes internationales pèsent 17,2 MtCO₂eq en 2017, contre 5 pour le domestique. Dans ce mode, Bock¹³ et al situent le pouvoir radiatif de la vapeur d'eau à 1,5 à 2 fois¹⁴ celui du CO₂.

Les émissions des transports¹⁵ de 139 Mt CO₂eq inclus dans la comptabilité Secten ne représentent donc que la moitié du total.

¹⁰ Cette notion est donc plus complète que celle utilisée par exemple pour estimer les émissions du secteur des transports en comptabilité Secten (découlant des accords de Kyoto), ou par exemple dans la SNBC. À cet égard, même s'il n'y a pas d'obligation juridique, et si les méthodologies restent bien sûr à affiner, et des travaux de recherche à ce sujet souhaitables, on peut rappeler que le HCC recommande de raisonner en cycle de vie incluant les empreintes, les GES de toute nature, et de prendre en considération les transports internationaux touchant la France.

¹¹ Un sens

¹² 0,9 tCO₂eq/hab/an pour l'empreinte des véhicules, TCU et divers (CCTN 2017 p122), 7,2 % des GES des transports routiers pour celle des infrastructures (étude Cete), et 3,5 Mt CO₂eq pour les DROM

¹³ Contrail cirrus radiative forcing for future air traffic, Lisa Bock and Ulrike Burkhardt, <https://www.atmos-chem-phys.net/19/8163/2019/>

¹⁴ En tendance de croissance actuelle

¹⁵ Voyageurs et marchandises

2.8 Des mesures de politique publique qui vont dans le bon sens mais dont le caractère suffisant ne fait pas consensus

Le paquet de mesures le plus emblématique des dernières années en France a été la loi d'orientation des mobilités (LOM). Parmi les principaux acquis¹⁶ de cette loi (secteur voyageurs), on peut citer :

- la possibilité pour les autorités organisatrices de proposer plus facilement des nouveaux services de mobilité (par exemple le covoiturage, assorti le cas échéant de voies réservées) ainsi que dans la mobilité solidaire ou en faveur des personnes en situation de handicap ;
- un cadre de régulation pour les offres de vélos et trottinettes en libre-service, de manière à mieux cohabiter avec les autres usagers de la voirie ;
- un cadre permettant d'autoriser la circulation de véhicules autonomes en régime permanent ;
- l'inscription dans la loi de l'objectif de neutralité carbone en 2050 (champ terrestre et aérien domestique), ainsi qu'une baisse de 37,5 % des émissions de GES d'ici 2030 et l'interdiction de ventes de véhicules à énergies fossiles carbonées en 2040 ;
- un plan vélo avec des objectifs de triplement d'ici 2024 et un plan de points publics de recharge électrique, avec des objectifs de quintuplement d'ici 2022 ;
- la poursuite du bonus-malus automobile sur les émissions de CO₂ ;
- la création d'un forfait de mobilité durable pour le covoiturage et le vélo ;
- une programmation de 13,4 milliards d'euros d'investissements sur 2018-2022, avec ¾ dans le ferroviaire, avec comme trois principales priorités l'entretien du réseau existant, la désaturation des nœuds et le désenclavement routier ;
- une éco-contribution sur le transport aérien, et la perspective de nouveaux trains de nuit.

Par ailleurs, une loi « climat résilience » a été votée en 2021, dont le volet « se déplacer » propose les mesures principales (secteur voyageurs) suivantes¹⁷ :

- des mesures de limitation des voitures les plus polluantes dans 45 villes d'ici 2025, ainsi que le portage au niveau européen de la fin de vente des véhicules les plus émetteurs de GES (95 gCO₂/km) en 2030 ;
- le déploiement de voies réservées, outre aux bus, au covoiturage et aux véhicules à très faibles émissions, la favorisation des parkings relais ;
- l'élargissement de la prime à la conversion pour l'acquisition d'un vélo à assistance électrique ;
- la limitation des vols intérieurs si une alternative existe à moins de 2h30, et l'obligation de compenser en carbone les vols intérieurs, ainsi que l'encadrement des extensions d'aéroport.

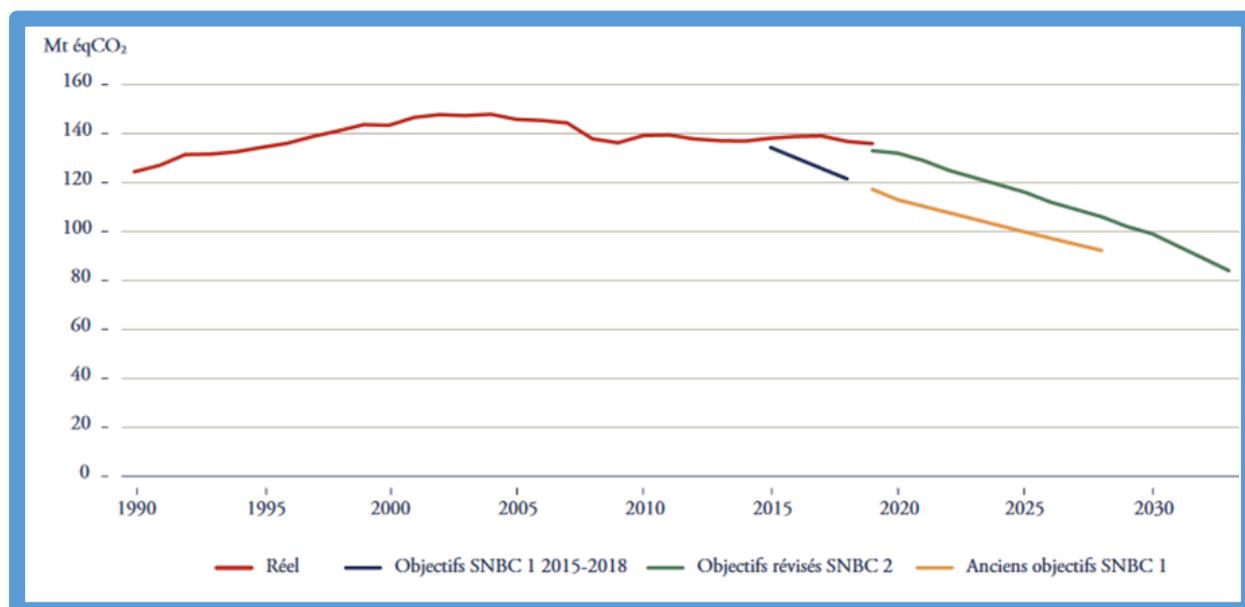
¹⁶ Voir Mesures clés de la LOM, DGITM <https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/LOM%20-%20Mesures%20cl%C3%A9s.pdf>, seules quelques mesures phares sont reprises ici

¹⁷ Texte de loi sur le site Légifrance : <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000043956924>

Ces mesures constituent à l'évidence des avancées en matière de mobilité des voyageurs. Pour autant, le caractère suffisant, notamment face à l'ampleur du changement climatique, semble faire débat.

Ainsi, dans l'arrêt Grande Synthèse, le Conseil d'État¹⁸ note que la France a régulièrement dépassé les plafonds d'émissions qu'elle s'était fixés, avec un report de l'essentiel des efforts au-delà de 2020, et a donc enjoint le gouvernement à justifier que son refus de prendre des mesures complémentaires demandée par la commune requérante était compatible avec le respect de la trajectoire d'émissions de réduction de 40 % des GES d'ici 2030.

Le Haut conseil du climat (HCC) rappelle dans le domaine des transports la nécessité d'intégrer les émissions au cours du cycle de vie du véhicule, et reprend les données du Citepa pour montrer que le dépassement des plafonds a également touché le secteur des transports domestiques.



Graphique 14 : Émissions de CO₂ sur le cycle de vie d'un véhicule - Données entre 1990 et 2030
Source : rapport HCC 2020

On notera que si les interrogations concernent la mise en œuvre des objectifs 2030 de réduction des GES, en Allemagne, la Cour constitutionnelle¹⁹ a partiellement cassé la loi climat de ce pays pour ne pas avoir présenté des objectifs au-delà de 2030.

Dans ses attendus, elle prévoit que « la réduction des émissions de gaz à effet de serre exigée par le droit constitutionnel sera considérable, une fois passé le cap de l'année 2030. Il n'est pour l'heure pas possible de déterminer si cette réduction sera si massive qu'elle pourrait engendrer des restrictions intolérables aux droits fondamentaux. Le risque de contraintes considérables est cependant élevé, et ce risque ne peut être concilié avec les

¹⁸Voir : <https://www.conseil-etat.fr/actualites/actualites/emissions-de-gaz-a-effet-de-serre-le-gouvernement-doit-justifier-sous-3-mois-que-la-trajectoire-de-reduction-a-horizon-2030-pourra-etre-respectee>

¹⁹Voir : <https://www.bundesverfassungsgericht.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/FR/2021/bvg21-031.html>

libertés fondamentales qui en seront affectées à l'avenir que si des mesures de précaution sont prises pour assurer une gestion des réductions nécessaires après 2030 qui ménage les droits fondamentaux ».

Et elle en déduit que « les dispositions contestées entraînent pour la liberté pleinement protégée par la Loi fondamentale un effet anticipé similaire à celui d'une ingérence (eingriffsähnliche Vorwirkung) ».

En pratique, cela a amené les autorités allemandes à proposer 65 % de réduction des GES d'ici 2030, puis 88 % en 2040 et l'anticipation de la neutralité carbone (périmètre Kyoto) dès 2045.

2.9 Des évolutions récentes suite à la crise sanitaire en cours

La crise sanitaire a modifié significativement les déplacements. Au-delà de l'impact pendant la crise elle-même lié aux comportements de précaution individuels et aux mesures gouvernementales inédites depuis plusieurs décennies, il est possible que la crise sanitaire présente des effets rémanents sur les déplacements, même si les incertitudes restent très fortes à ce stade.

Lors des successives vagues épidémiques, jusqu'à un tiers environ de la population a télétravaillé, essentiellement des cadres et quelques employés. Cette situation inédite a révélé d'importants progrès dans les possibilités de substitution de télécommunications aux déplacements, et a conduit à un processus d'apprentissage des outils de télécommunication. Cet apprentissage a également été collectif par ses impacts sur les relations au travail et les « effets de club » (ou « effet de réseau », autrement dit lorsque la valeur du service croît avec celle du nombre d'utilisateurs) liés à la pluralité des acteurs modifiant leurs comportements.

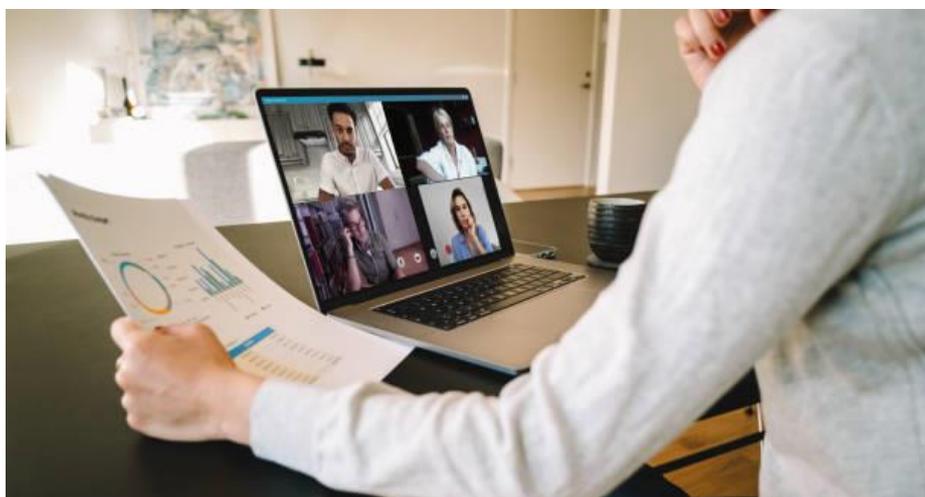


Illustration 6 : Télétravail - Crédit : Pixabay

On peut de ce fait s'attendre pour cette population non négligeable mais minoritaire à une certaine rémanence de cette pratique. L'ampleur de la rémanence est cependant à relativiser, par exemple au vu du retour important au travail en présentiel constaté entre les vagues épidémiques.

Il est possible que le mode de travail hybride que pourraient retenir certains travailleurs mène également à un éloignement du domicile par rapport au lieu de travail, peut-être à une double résidentialité, et une dévalorisation au moins relative des espaces centraux. Un allongement des distances moyennes domicile travail par déplacement pourrait en découler. Également, la baisse de trafic routier pourrait baisser les temps de trajet et libérer des capacités de stationnement, rares et du coup induire un contre report modal dans les centres des villes. La réutilisation du temps libéré pourrait induire également du trafic.

Des rémanences similaires pourraient toucher les déplacements professionnels locaux et surtout interurbains qui ont significativement chuté pour ces populations pendant la crise sanitaire.

Pendant les vagues de crise, on a également constaté des comportements d'évitement des transports collectifs menant à un renforcement de l'usage du vélo, au moins en saison propice, encouragé par les « coronapistes », mais aussi de la voiture, ayant mené à des achats supplémentaires de véhicules d'occasion. Du fait de l'absence « d'effets de club », la rémanence de ce report modal est un peu moins évidente, mais possible.

La crise sanitaire n'étant pas à ce jour terminée, il est difficile de quantifier ces effets, sauf à dire que vraisemblablement, plus la crise durera et plus les rémanences liées aux apprentissages semblent probables. Pour le report modal vers la voiture, une rémanence semble vraisemblable pendant la durée de vie des véhicules d'occasion achetés lors de la crise, mais semble plus incertaine au-delà, dans la mesure où les temps et prix des trajets n'auront pas évolué significativement. L'avenir est peut-être plus ouvert pour le développement du vélo, notamment si une partie significative des nouvelles infrastructures provisoires devaient être pérennisées.

3 Cinq politiques de mobilité des personnes contrastées illustrant le champ des possibles

3.1 Principes de définition des politiques

Cinq politiques contrastées de mobilité voyageurs sont présentées :

- une politique individualiste (ou de « sobriété faible »), avec peu de régulation publique des mobilités mais incluant les acquis de la présente situation et ses prolongements immédiats ; (*forecasting*)
- une politique de « sobriété moyenne », avec une régulation publique des mobilités prolongeant au-delà de 2025 les décisions déjà prises, mais sans rupture majeure ; (*forecasting*)
- une politique de « sobriété forte », avec une régulation publique des mobilités forte, allant au-delà des décisions déjà prises, mais sans nécessairement atteindre la neutralité des mobilités voyageurs ; (*forecasting*)
- une politique de « sobriété très forte », avec une régulation publique des mobilités très forte, au-delà des décisions déjà prises, une identification de ce qui serait nécessaire pour aboutir en 2060 à une neutralité des mobilités voyageurs dans le périmètre complet décrit plus haut (ACV, international inclus, tous GES) dans l'hypothèse technologique la plus ambitieuse, donc dans la lignée des accords de Paris ; (*backcasting*)
- une politique de « sobriété ultra forte », avec une régulation publique des mobilités ultra forte, bien au-delà des décisions déjà prises, une identification de ce qui serait nécessaire pour aboutir en 2060 à une neutralité des mobilités voyageurs dans le même périmètre, mais dans une hypothèse technologique un peu moins ambitieuse.

Ces mesures sont croisées avec des ambiances de technologie de motorisation et des véhicules pour aboutir à sept scénarios :

- le scénario « pire climatique » qui croise ambiance technologique basse et politique de mobilité individualiste ; (*forecasting*)
- le scénario « ambition de base » qui croise ambiance technologique moyenne et politique de sobriété moyenne ; (*forecasting*)
- le scénario de « poussée technologique » qui croise ambiance technologique haute et politique de sobriété moyenne ; (*forecasting*)
- le scénario de « poussée de sobriété » qui croise ambiance technologique moyenne et politique de sobriété forte ; (*forecasting*)
- le scénario hypercontraint qui explore les conséquences d'un croisement de l'ambiance technologique basse et de la politique de sobriété forte ; (*forecasting*)
- le scénario de « pari technologique » atteignant la neutralité, qui croise ambiance technologique haute et politique de sobriété très forte, pour aboutir à la neutralité des mobilités ; (*backcasting*)
- le scénario de « pari sociétal » atteignant la neutralité, qui croise ambiance technologique moyenne et politique de sobriété ultra forte, pour aboutir à la neutralité des mobilités. (*backcasting*)

	Technologie basse	Technologie moyenne	Technologie haute
Sobriété faible	Pire climatique		
Sobriété moyenne		Ambition de base	Poussée de technologie
Sobriété forte	Hypercontraint	Poussée de sobriété	
Sobriété très forte			Pari technologique
Sobriété ultra forte		Pari sociétal	

3.2 Les cinq leviers pour la décarbonation des mobilités issus de l'identité de Kaya²⁰

Schématiquement, cinq leviers peuvent aider à réduire les GES, selon l'identité de Kaya : demande transports, report modal, taux de remplissage, efficacité énergétique, intensité carbone de l'énergie (cf. schéma ci-dessous).

Les potentiels d'efficacité énergétique des véhicules et d'intensité carbone sont repris des travaux du groupe motorisation. Les scénarios doivent donc décrire dans leurs principes :

- les politiques de mobilité envisageables (éléments rouge, orange et jaune) ;
- les moyens de garantir les évolutions des éléments bleus clair et foncé.

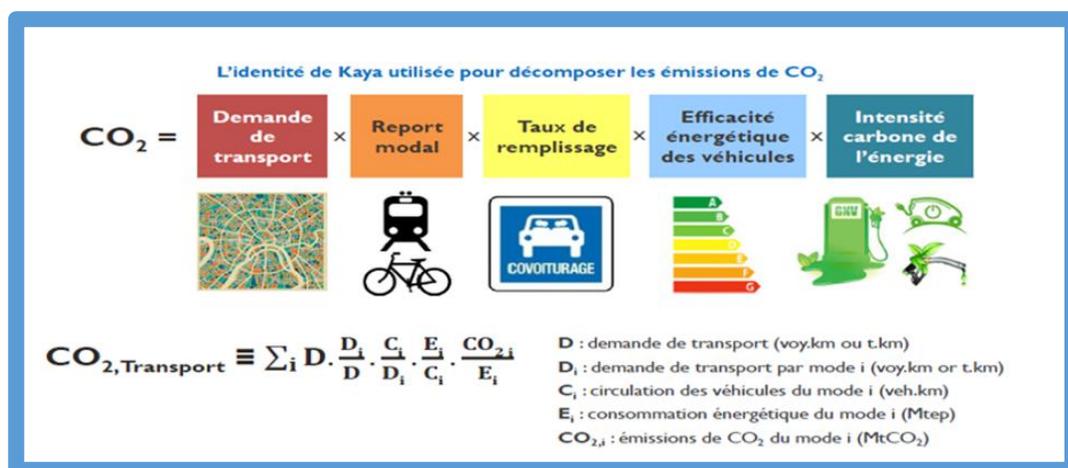


Illustration 7 : Identité de Kaya - Source : thèse d'Aurélien Bigo 2020

²⁰ Voir : Yoichi Kaya et Keiichi Yokobori, *Environment, energy, and economy: strategies for sustainability: Tokyo conference on Global Environment, Energy and Economic Development (1993)*, United Nations Univ. Press, Tokyo, 1997, 381 p

3.3 Trois révolutions contextuelles majeures touchant les mobilités au cours des prochaines décennies

Les politiques sont construites en tenant compte des évolutions vraisemblables de trois révolutions majeures susceptibles d'impacter les mobilités d'ici 2040 et 2060. Elles opèrent dans ce contexte et font, le cas échéant, levier pour atteindre les objectifs visés.

- Une révolution des télécommunications

La crise sanitaire a révélé l'impact des progrès des télécommunications qui ont rendu possible un autre rapport à l'espace pour une partie minoritaire des professions à ce stade (cadres essentiellement). Chaque génération de télécoms amène une multiplication des débits d'information par environ 50 à 100; dans la téléphonie mobile, la 5G est en cours de déploiement, et les opérateurs sont en train de définir une sixième génération (6G), débutant vers 2030, qui devrait permettre des télécommunications très immersives, avec des débits allant jusqu'à de l'ordre de 5 % de la puissance de calcul du cerveau humain²¹.

Par exemple, le projet Hexa-X 6G²² en donne un aperçu sur les cas d'usage dans le diagramme suivant :

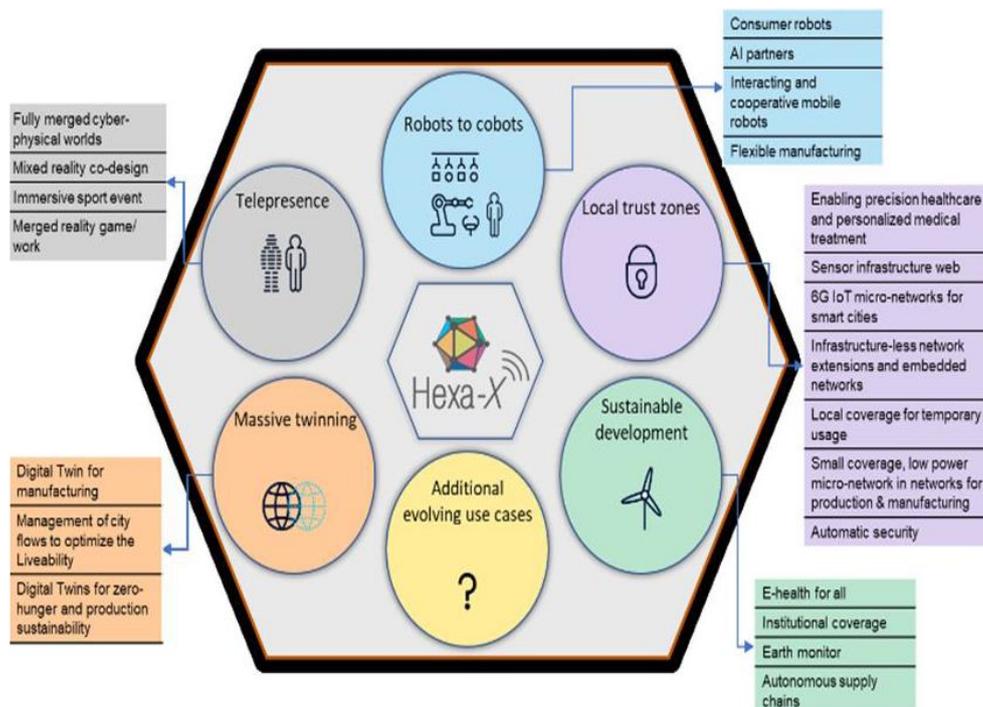


Illustration 8 : Projet Hexa-X 6G : Source Hexa-X 6G

²¹ Voir « Wireless communications and applications above 100 GHz, Opportunities and challenges for 6G and beyond », juin 2019, IEEE access, Theodore S Rappaport et al, page 78733 :

<https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8732419> qui indique que « de manière ambitieuse, si la bande des 100 GHz est utilisée, 1 petabit par seconde, soit 5 % de la capacité de calcul du cerveau humain en temps réel pourrait être transportée dans la communication sans fil radio ».

²² Voir "Hexa-X 6G use cases" : https://hexa-x.eu/wp-content/uploads/2021/02/Hexa-X_D1.1.pdf

Il devrait en ressortir une certaine réduction de la nécessité de la coïncidence des lieux entre humains, et entre humain et machine dans la majorité des professions, ce qui est susceptible d'impacter fortement les mobilités. Au-delà de la sixième génération (années 2030), la visibilité est faible, mais devraient également apparaître vers 2040 environ des formes d'intelligence générale artificielle susceptibles de modifier en profondeur les modes de vie.

- Une révolution des technologies de conduite allant vers l'autonomie

Les technologies d'assistance à la conduite progressent fortement. Ont lieu en 2021 des expériences de conduite autonome, avec retrait du conducteur de sécurité dans quelques zones très délimitées en conditions nominales contextuelles. Il est difficile de donner un calendrier précis des progrès dans la conduite autonome, il semble cependant faire consensus que son déploiement devrait être progressif, et probablement commencer par des robo-taxis partagés qui permettront d'amortir les surcoûts sur plusieurs passagers.

Des premiers déploiements sont envisagés vers le milieu des années 2020, et donc l'hypothèse conventionnelle utilisée ci-après est celle d'une large disponibilité de cette technologie de conduite autonome dans la plupart des zones et des circonstances vers 2040.

- Une révolution des motorisations et des énergies

Les progrès des motorisations décarbonées en termes de baisse des coûts semblent conséquents. Il est retenu, sur la base des travaux du groupe motorisation, une asymptote de la réduction des émissions en ACV des voitures décarbonées menant à une division par 4 (ambiance moyenne), voire par 8 (ambiance haute avec technologies certes moins certaines).

À noter que dans certaines configurations, une partie plus ou moins importante des énergies décarbonées pourrait être intermittente, menant à esquisser des principes de gestion de cette intermittence dans le secteur des mobilités voyageurs.

3.4 La politique de mobilité individualiste (ou de sobriété faible)

Cette politique comporte peu de régulation publique des mobilités mais inclut les acquis de la présente situation et ses prolongements immédiats. Elle est croisée avec une ambiance de motorisation basse pour mener au scénario du « pire climatique ».

Il n'y a pas de mesures supplémentaires de régulation au-delà de celles définies explicitement dans la LOM. Les objectifs de la loi non fondés sur des plans d'action détaillés ne sont pas atteints. Les réseaux de transports collectifs et ferroviaires sont maintenus pour les lignes principales, avec quelques développements limités.

En particulier, aucune mesure de régulation n'est prise pour accompagner l'arrivée des véhicules autonomes. Il en ressort une chute tendancielle des taux d'occupation vers le ratio 0,7 constaté pour les nombres de clients des taxis et VTC du fait des retours à vide. Par rapport à un ratio actuel de près de 1,4 en déplacement local, il en ressort en première approche une multiplication par deux des trafics des voitures-km. Cette hausse touche également les déplacements interurbains dans une proportion similaire, avec des possibilités de contre report modal local et interurbain lié à l'attractivité renforcée de la voiture.

En dehors des centres villes, le réseau routier absorbe cette hausse de trafic. La conclusion est moins évidente dans les zones congestionnées, qui voient de ce fait émerger de manière non régulée une offre de drones de transport de passagers dont la demande est favorisée par les temps gagnés par rapport aux embouteillages en surface.

En matière de décarbonation des véhicules, aucun effort particulier n'est mené pour l'électrification des premières voitures ; seules les « deuxièmes voitures » à parcours local peuvent être électrifiées, menant à 30 % de VE à long terme, ce qui semble en première approche compatible avec les cibles d'émissions européennes sur les véhicules neufs en 2030.



Illustration 9 : Voiture électrique en charge - Crédit : Pixabay

Pour les avions, il n'est pas prévu de taxe carbone ni de limites de capacités aéroportuaires ou autres. Les progrès tendanciels des motorisations aériennes (1,4 % par an) sont néanmoins poursuivis.

3.5 La politique de sobriété moyenne

Dans cette politique, une régulation publique des mobilités est mise en place pour prolonger au-delà de 2025 les décisions déjà prises, mais sans rupture majeure dans l'acceptabilité prévisionnelle. Elle est croisée avec l'ambiance de motorisation moyenne pour donner le scénario ambition de base.

Les principaux axes de la politique menée y sont les suivants :

- politique de maintien du coût de revient moyen de la voiture-km pour son utilisateur malgré la conduite autonome et la motorisation électrique ou décarbonée ; le moyen de ce maintien du coût de revient peut passer par divers dispositifs ou leur combinaison : abonnements pour l'usage aux réseaux de voirie et/ou tarification à l'usage de ces réseaux, taxe sur les véhicules en particulier les plus émissifs, ou sur les énergies utilisées dans un contexte de mobilité,...
- politique de taxe carbone modérée en VP (113 €/tCO₂ en 2040 et 250 €/tCO₂ en 2060), assortie d'un système de redistribution (jusqu'au 3^{ème} décile, prenant en compte les surcoûts sous conditions de ressources pour un ménage utilisant un véhicule décarboné) ;
- politique d'encouragement d'un renforcement du taux d'occupation des voitures dans les grandes villes, avec redéploiement d'une partie de la voirie, avec complémentarité modale renforcée et investissements de capacité dans les nœuds et maillons critiques des TCU lourds et ferroviaires ;
- politique d'encouragement renforcée des vélos et des mobilités douces, avec redéploiement en leur faveur d'une partie de l'espace voirie ;

- politique d'encouragement du télétravail et des télé-réunions professionnelles, via des plans de mobilité d'entreprise, mais sans obligations strictes néanmoins ;
- sensibilisation renforcée aux mobilités décarbonées, avec conseils individualisés proposés ;
- politique de modération de l'étalement urbain en continuité avec la situation actuelle ;
- mise en place d'une taxe carbone modérée dans le secteur aérien ;
- absence de limitations quantitatives des mobilités.

Le principal enjeu sur le plan des émissions de GES dans cette politique est de créer les conditions pour atteindre l'objectif légal de 100 % de véhicules à énergie décarbonée en 2040. À cet effet, s'il peut y avoir une place pour le biogaz, notamment en milieu rural près des installations de production, il semble difficile d'atteindre cet objectif sans une grande part de véhicules électriques (VE) à électricité décarbonée. S'il semble probable que les VE soient compétitifs vers 2026 en coût sur le cycle de vie par rapport aux véhicules thermiques (en tenant compte de la TICPE toutefois), l'objectif ne pourra manifestement être tenu que si les obstacles liés à l'usage sont levés, y compris pour la première voiture qui est utilisée aussi en usage interurbain.

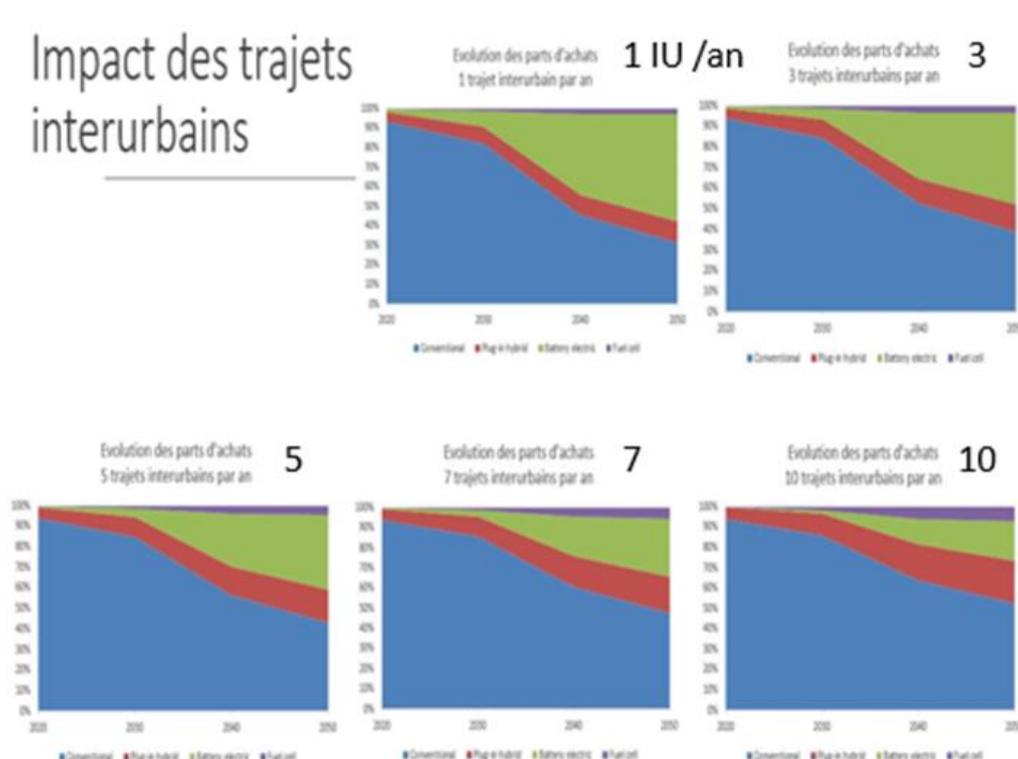


Figure 5 : Évolution des parts d'achat de différentes motorisations selon le nombre de voyages interurbains IU par an (entre 1 et 10 par an selon les graphiques) ; thermique en bleu, hybride rechargeable en rouge, électrique en vert, H₂ en violet - Source : stage Victor Lesaulnier, CGEDD 2020

Chaque graphique représente les évolutions de parts d'achats de différentes motorisations, selon le nombre de voyages interurbains (IU) effectués par an, avec les mêmes hypothèses de modélisation. Les motorisations conventionnelles thermiques (y compris hybrides) sont en bleu, les hybrides électriques rechargeables en rouge, les véhicules à batterie en vert, et ceux à hydrogène en violet. Le modèle est de type « logit »

et estime la part de la motorisation en fonction de son coût monétaire et de sa facilité d'usage (par exemple temps de charge, accès aux ZFE-m, ...).

Plus le nombre de trajets interurbains est faible, et moins il y a de temps passé aux recharges interurbaines, donc plus la part des motorisations électriques est importante toutes choses égales d'ailleurs.

Ce qui suppose un changement de paradigme pour les points de recharge rapide (>50 kW) et surtout ultra-rapide (>100 kW) sur route interurbaine de manière à éviter les temps de recharge non compétitifs. Également, posséder un véhicule électrique en tant que résident d'un immeuble collectif ou locataire ne doit pas être plus compliqué que posséder un véhicule thermique, ce qui implique un pré-équipement des places de stationnement dans ces cas pour que l'acheteur bénéficie d'une solution instantanée.

Le deuxième sujet consiste à éviter l'effet rebond lié au passage au véhicule décarboné, ce qui signifie que le coût de revient au km ne doit pas baisser. Une approche pourrait passer par la mise en place d'un abonnement d'usage des réseaux, pouvant être combiné avec un tarif à l'unité pour répondre à des besoins plus occasionnels. Il pourrait couvrir notamment les coûts de maintenance, d'exploitation et de développement des réseaux.

Un sujet délicat est celui de la transition, dans la mesure où l'on peut s'attendre dans les années 2030 à une coexistence de véhicules électriques, d'autres véhicules décarbonés et de véhicules thermiques. Un levier possible pourrait être un système de bonus-malus ajustable au fur et à mesure de la baisse des coûts de production des VE, de manière à pénaliser les véhicules les plus émissifs du moment et encourager ceux qui le sont le moins.

Agir via le bonus-malus et des normes en ACV à la vente présente l'avantage de ne pas piéger les utilisateurs par des hausses de TICPE en cours de vie du véhicule.

Le troisième sujet consiste à éviter l'effondrement du taux de remplissage lié au développement non régulé du véhicule autonome, grâce à une politique de partage de voirie comprenant des voies réservées abondantes. Les simulations du FIT²³ indiquent un potentiel de 30 % de GES en moins dans les grandes villes, correspondant à environ 15 % en moyenne nationale, car le levier espace urbain ne devrait pas être très efficace ailleurs.



Illustration 10 : Panneau stationnement réservé, cars scolaires et covoiturage - Crédit : Laurent Mignaud / Terra

²³ Forum international des transports: Mobilités partagées dans le Grand Dublin: <https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/shared-mobility-simulations-dublin.pdf>

Elle s'appuie sur une politique de voies réservées encourageant des voitures mieux remplies, combinée avec une fluidité des interfaces voiture-TCU lourds (y compris parking relais). Elle devrait être assortie d'investissements de capacités dans les lignes et axes critiques de TCU lourds et de ferroviaire urbain et périurbain de manière à absorber la demande provenant des reports modaux ainsi induits.

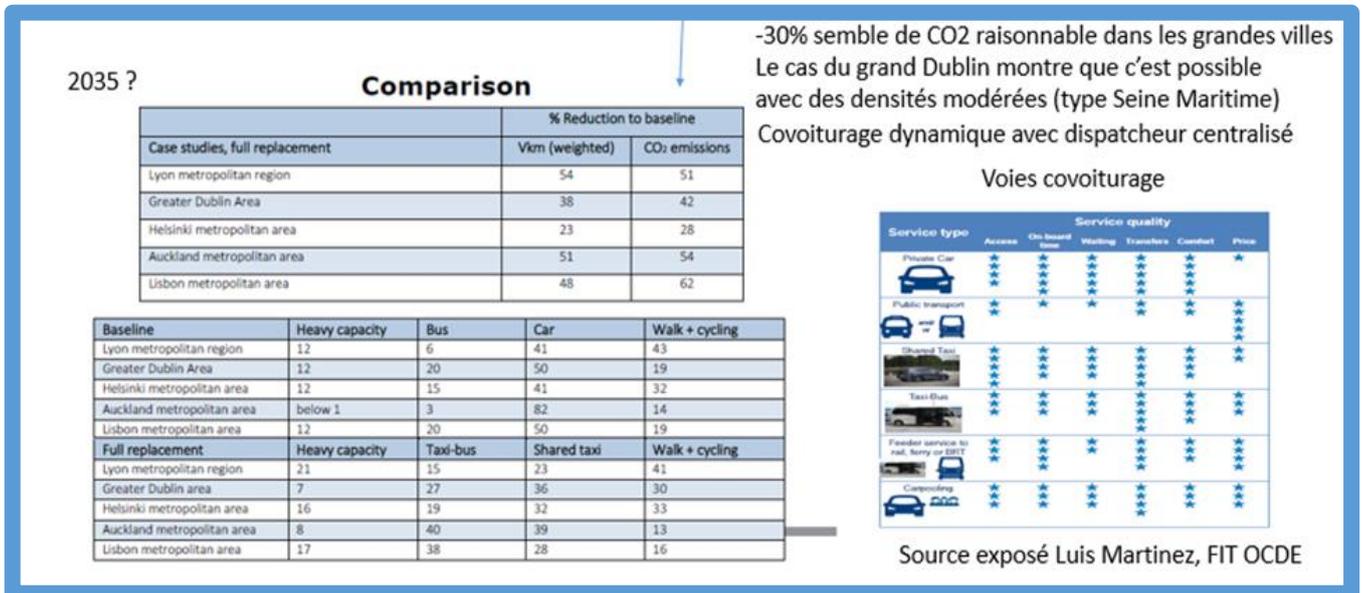


Figure 6 : Rapport émissions de CO₂ et aménagements de voies dédiées en Europe - Source CGEDD d'après FIT 2020

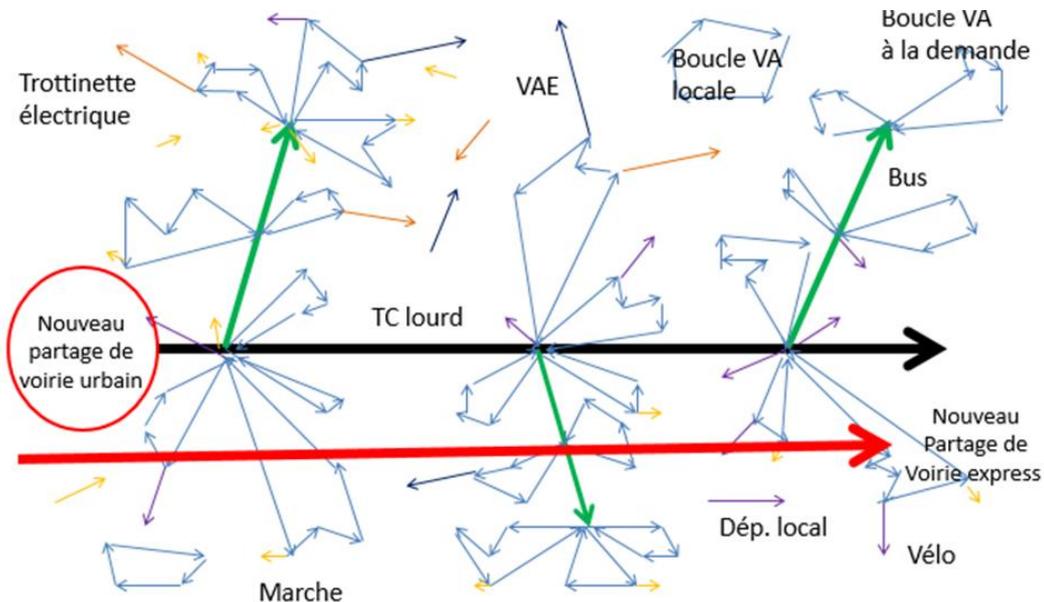
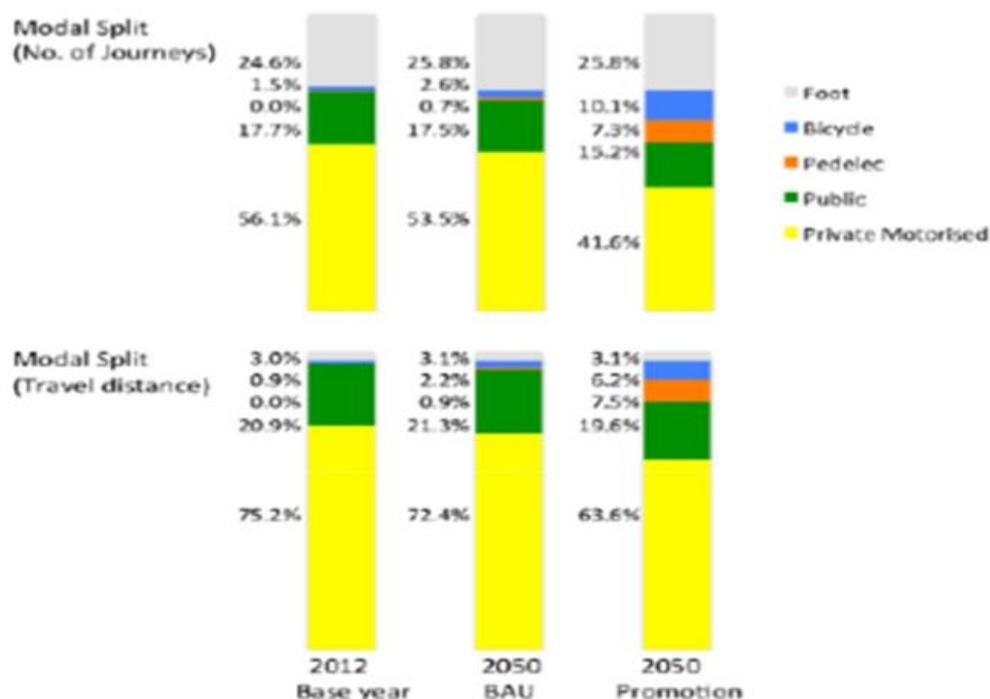


Figure 7 : Partage voiries urbaines : Source : Prospective 2040-2060, CGEDD-France Stratégie, 2022.

Le quatrième sujet pourrait passer par le renforcement de l'usage des vélos et mobilités douces et actives. Au vu de la part modale du vélo en France de l'ordre de 3 % quand elle se situe à 10 % environ en Allemagne, il semble qu'il y ait un potentiel non négligeable, de l'ordre de 5 % sur les GES à l'échelle nationale.



Graphique 15: Parts modales (en haut en déplacements, en bas en voy-km) en 2012 avec projection en 2050 selon divers scénarios (base 2012, BAU 2050, scénario 2050 de promotion des vélos et des VAE); en gris marche à pied, en bleu vélo, en rouge VAE, en vert TC, en jaune voiture - Source: Thèse Frédéric Rudolph, université Wuppertal, 2015

Le cinquième sujet est d'essayer de pérenniser certains acquis de modération des déplacements issus de la crise sanitaire, en s'appuyant notamment sur des plans de mobilité des entreprises. Il peut s'agir du télétravail, avec une hypothèse de long terme à hauteur de deux jours par semaine en moyenne pour 30 % de la population active, et un tiers des déplacements professionnels semblent atteignables, à condition d'encourager ce type de pratiques individuelles et surtout collectives. Un effet rebond est inévitable, de l'ordre de 50 %, mais dans l'autre sens un effet de réduction des émissions de CO₂ de l'immobilier de bureau semble possible en accompagnant cette évolution par une politique de flex-office.

Enfin le sixième sujet est celui d'une taxe carbone dans le transport aérien, y compris international, pour en modérer la demande, à un niveau de quelques centaines d'euros par t CO₂. Elle permettrait également, outre les gains de productivité moteur, de viabiliser aussi le recours aux agro-carburants autant que possible. Inclure dans l'assiette les émissions de vapeur d'eau inciterait à optimiser les trajectoires de manière à éviter ces émissions qui semblent assez considérables en termes de forçage radiatif, même si des recherches complémentaires seraient sûrement justifiées à ce sujet.

Au total, on arrive à un ordre de grandeur de 25 % d'effet de modération des trafics (15 % par effet hausse de l'emport moyen VP et un peu de report modal TC lourd en complémentarité modale, et 10 % pour le reste) et donc du GES par ces éléments, par rapport à la tendance indexée sur la croissance du PIB.

Toutefois, les simulations effectuées montrent que même dans le meilleur des cas technologiques envisageable aujourd'hui, on resterait très loin de la neutralité GES du transport de voyageurs.

3.6 La politique de sobriété forte

Cette politique se caractérise par une régulation publique des mobilités forte, allant bien au-delà des décisions déjà prises, et allant encore au-delà des mesures de sobriété moyenne.

Les principaux axes de la politique menée sont alors les suivants :

- politique de hausse du coût de revient moyen de la voiture-km, malgré la conduite autonome et la motorisation électrique ou décarbonée, passant par une taxe carbone allant jusqu'à 196 €/t CO₂ en 2040 et 500 €/t CO₂ en 2060, menant à un signal prix kilométrique pour que le véhicule électrique soit également sensibilisé à terme aux impacts de l'allongement des distances (domicile-travail, loisirs...) et aux conséquences en matière d'occupation de l'espace ; en contrepartie, sous conditions de ressources, un dispositif de redistribution serait mis en place pour les trajets du quotidien, notamment dans les espaces périurbains et ruraux où il est difficile de mettre en place des transports collectifs attractifs ;
- politique de renforcement vigoureux du taux d'occupation des voitures dans les grandes villes, avec redéploiement important d'une partie de la voirie, au prix de temps d'attente majorés, complémentarité modale renforcée et investissements de capacité forts dans les nœuds et maillons critiques des TCU et ferroviaires ;
- politique d'encouragement massif des vélos et des mobilités douces, avec redéploiement en leur faveur d'une grande partie de la voirie ;
- politique de renforcement du télétravail et des télé-réunions professionnelles, avec des plans de mobilité en entreprise comprenant des obligations plusieurs jours par semaine lorsque c'est possible, menant à terme en moyenne à deux jours de télétravail par semaine pour 30 % des actifs ;
- politique de canalisation autour des grands axes des TC lourds de l'étalement urbain, en renforçant la cohérence entre les stratégies de cohérence territoriale et les mesures d'urbanisme opérationnel à diverses échelles territoriales (cf. politiques de RaumOrdnung allemande²⁴ ou autrichienne ou helvétique) ; effet modéré de 2 % sur les déplacements ;

²⁴ Voir par exemple pour le cas allemand : Planungsebene Bund- und Bundesraumordnung : <https://www.forschungsinformationssystem.de/servlet/is/53282/>



Figure 8 : Cohérence territoriale et mesures d'urbanisme opérationnel à diverses échelles territoriales (cas de l'Allemagne) : source : <https://www.forschungsinformationssystem.de/servlet/jis/53282/>

Clé de lecture : 3 niveaux territoriaux de planification (Land, région, commune), rattachés à une conférence des ministres des Länder pour la planification (littéralement l'ordre) spatiale (Raumordnung) contribuant à la planification spatiale fédérale (Bundesraumordnung) ; il y a une mise en cohérence par ajustement descendant (« Anpassung ») en rouge et un flux remontant (« Gegenstrom ») en bleu.

- mise en place d'une taxe carbone plus forte dans le secteur aérien.

3.7 Politique de « sobriété très forte » pour la neutralité (pari technologique)

Cette politique comprend les mesures de la politique de sobriété forte (y compris une taxe carbone à 500 €/tCO₂ et deux jours de télétravail pour 30 % de la population active) mais inclut aussi quelques mesures supplémentaires, nécessaires pour atteindre la neutralité des mobilités.

Dans l'aérien, une réduction de trafic résulte d'un effet dit sociétal lié à un développement d'un comportement de type *flight-shame* (honte de voler), avec un effet de baisse supplémentaire de 22 % à terme de 2060 sur les trafics, résultant notamment d'une politique de limitation des publicités pour les voyages au loin ainsi que des mesures de sensibilisation.

Dans l'hypothèse où les progrès des motorisations ne seraient pas aussi élevés qu'escomptés dans l'ambiance haute de motorisation, par exemple se limitant en 2060 à division par 5,2 au lieu de 8 des émissions en gCO₂/VL-km, l'atteinte de la neutralité carbone nécessiterait des mesures de sobriété nettement plus importantes. Cette variante a été utilisée pour le modèle de Monte Carlo relatif à la gestion des incertitudes.

3.8 Politique de « sobriété ultra forte » pour la neutralité (pari sociétal)

Cette politique vise à aboutir à la neutralité carbone, mais dans une ambiance technologique de motorisation moins ambitieuse (technologie moyenne). De ce fait les mesures de sobriété doivent être davantage renforcées.

Le télétravail y est porté à trois jours par semaine, pour 50 % des actifs, en faisant

l'hypothèse que le taux d'emplois télétravaillables augmente un peu du fait des progrès des technologies des télécommunications. Des politiques de limitation de l'effet rebond sont engagées pour limiter cet effet à 25 % au lieu de 50 %.

La part modale des modes doux est également renforcée, de 2 % supplémentaires.

Les restrictions en matière d'aménagement sont également renforcées, avec un effet de baisse supplémentaire des trafics terrestres de 1 %.

Cette politique inclut des limitations quantitatives des mobilités, autant que possible liées aux émissions de carbone (carte carbone), sans exclure des limitations administratives si nécessaire également, touchant les transports aériens, y compris internationaux et surtout intercontinentaux, visant les hypermobiles, et si besoin les transports terrestres interurbains aussi, en essayant de préserver la mobilité du quotidien sauf en cas d'impossibilité rigoureuse.

Ainsi les hypermobiles produisant 80 % des émissions terrestres verraient leurs émissions ne peser que 62 % des émissions avant application de type carte carbone.

Pour les hypermobiles qui produisent 80 % des émissions aériennes, ils verraient leurs émissions ne peser que 30 % des émissions avant application des mesures de type carte carbone. Les mesures de restriction sont donc plus renforcées dans le mode aérien que dans les modes terrestres où la mobilité du quotidien reste souvent indispensable.

Il peut être utile d'expliquer pourquoi dans un tel scénario renforcé des politiques de signaux prix ne semblent pas suffisantes, et qu'il ait fallu envisager également des politiques quantitatives ciblées GES (de type « carte carbone »).

Un scénario basé essentiellement sur une taxe carbone a été envisagé dans un premier temps, dans le contexte d'une politique d'internalisation des coûts externes par un signal prix approprié, qui présente les importants mérites d'être *a priori* efficace, proportionné, efficient, et décentralisable.

Cependant il mènerait, pour atteindre la neutralité des transports de voyageurs vers 2060, à des niveaux de taxe de l'ordre d'au moins 12 000 €/t CO₂ voire davantage, du fait de la faible élasticité prix des trafics, même à long terme (nécessité de multiplier les prix par plus de 6 pour réduire les trafics de l'ordre de 2, d'où un équivalent de prix pour 14 km (distance parcourue actuellement avec 1 litre de 8,2 euros, soit 2 890 €/t CO₂ à motorisation actuelle et 12 000 €/t CO₂ en tenant compte par exemple d'une division par 4 des GES en ACV par km).

À ce niveau de taxe carbone, des problèmes d'inclusion majeurs devraient apparaître pour les populations les plus défavorisées, au-delà de ce qui peut raisonnablement être corrigé par des mesures de redistribution. Si un ménage moyen consacre environ 15 % de son budget aux transports, un ménage modeste y consacre une fraction nettement supérieure, de l'ordre de 30 % à la moitié du revenu moyen. Si l'on multipliait le prix de la mobilité par 6, même avec une réduction des km parcourus, on aboutirait à une situation incompatible avec un niveau de vie inclusive d'autant plus qu'une telle taxe carbone viendrait toucher d'autres éléments essentiels du niveau de vie (chauffage, alimentation, ...).

Un tel scénario se situe donc probablement bien au-delà d'une internalisation d'effets externes que l'on pourrait considérer comme une correction marginale, mais plutôt comme un scénario de crise majeure et durable, impliquant des mesures de nature également atypiques.

Les quotas de carbone pourraient être pour l'essentiel négociables (si on ne le faisait pas, un marché parallèle s'instaurerait probablement de toute façon, sauf à envisager une répression drastique peu désirable). En variante, une taxe modeste sur les échanges reste possible si l'on voulait en réduire la fluidité des échanges pour davantage d'égalité, au prix de moins de liberté, ce qui permettrait également le financement de mesures de décarbonation collectives (investissements dans des TCU lourds par exemple).

Ce qui n'exclut pas une taxe carbone (terrestre et aérien) à un niveau acceptable pour contribuer à réduire la demande, mais elle ne semble pas pouvoir constituer l'unique levier.

Les graphiques ci-dessous rappellent l'impact majeur des hyper-mobiles sur les émissions de GES, tant terrestres qu'aériennes.

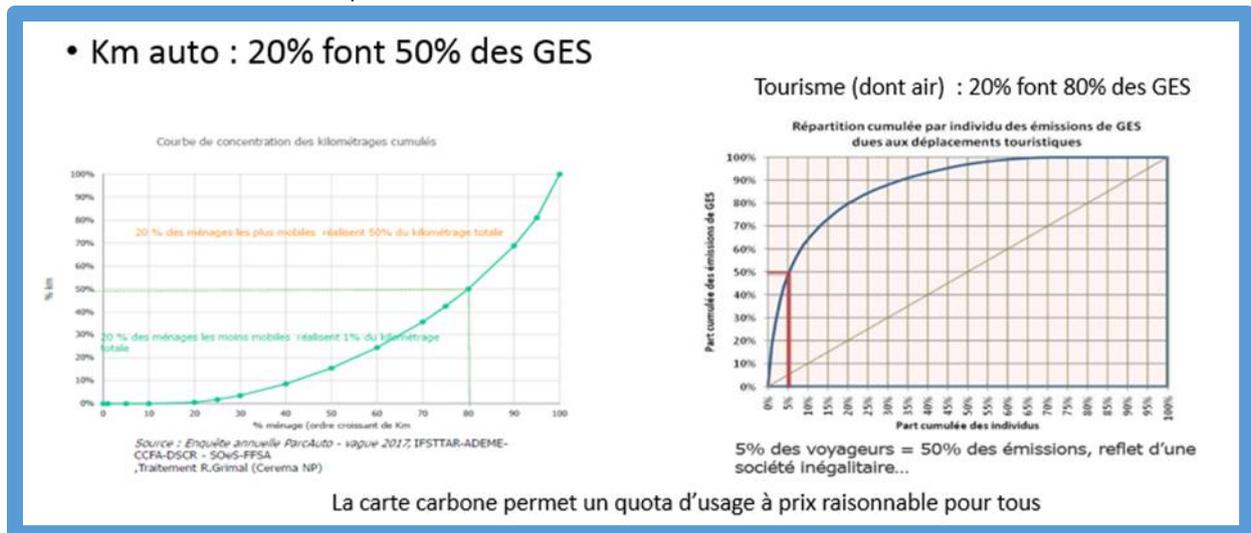


Figure 9 : Part des émissions 20 % les plus mobiles dans les déplacements automobiles (à gauche) et touristiques, pour la majorité aériens (à droite). Sources Damien Verry (Cerema), Jean-Paul Ceron, Ghislain Dubois (université de Limoges)

Clés de lecture : 20 % des personnes émettent 50 % du CO₂ automobile ; 20 % des personnes émettent 80 % des GES des déplacements touristiques, pour la plupart des émissions l'avion

La figure 10 illustre les transactions possibles sur un marché de quotas négociables du carbone pour la mobilité, selon les niveaux de revenu et les propensions à se déplacer.

Marché de quotas de carbone : simulation du comportement des ménages :

Avec niveau de quota moyen = contrainte moyenne :			
	Se déplace beaucoup spontanément	Se déplace moyennement spontanément	Se déplace peu spontanément
Riche	Achète des quotas	Neutre	Vend des quotas
Moyen	Achat de quotas et/ou modération du déplacement	Neutre	Vend des quotas
Pauvre	Modération du déplacement	Neutre	Vend des quotas

Avec niveau de quota strict = contrainte forte :			
	Se déplace beaucoup spontanément	Se déplace moyennement spontanément	Se déplace peu spontanément
Riche	Achète des quotas	Achète des quotas	Vend des quotas
Moyen	Achat de quotas et/ou modération du déplacement	Achat de quotas et/ou modération du déplacement	Vend des quotas
Pauvre	Modération du déplacement	Modération du déplacement	Vend des quotas

Avec niveau de quota pas strict = niveau de contrainte faible :			
	Se déplace beaucoup spontanément	Se déplace moyennement spontanément	Se déplace peu spontanément
Riche	Achète des quotas ou a suffisamment de quotas pour couvrir ses déplacements	Vend des quotas	Vend des quotas
Moyen	Achète des quotas ou a suffisamment de quotas pour couvrir ses déplacements	Vend des quotas	Vend des quotas
Pauvre	Modération du déplacement ou a suffisamment de quotas pour couvrir ses déplacements	Vend des quotas	Vend des quotas

Légende
 Non contraint
 Contraint
 Moyennement contraint

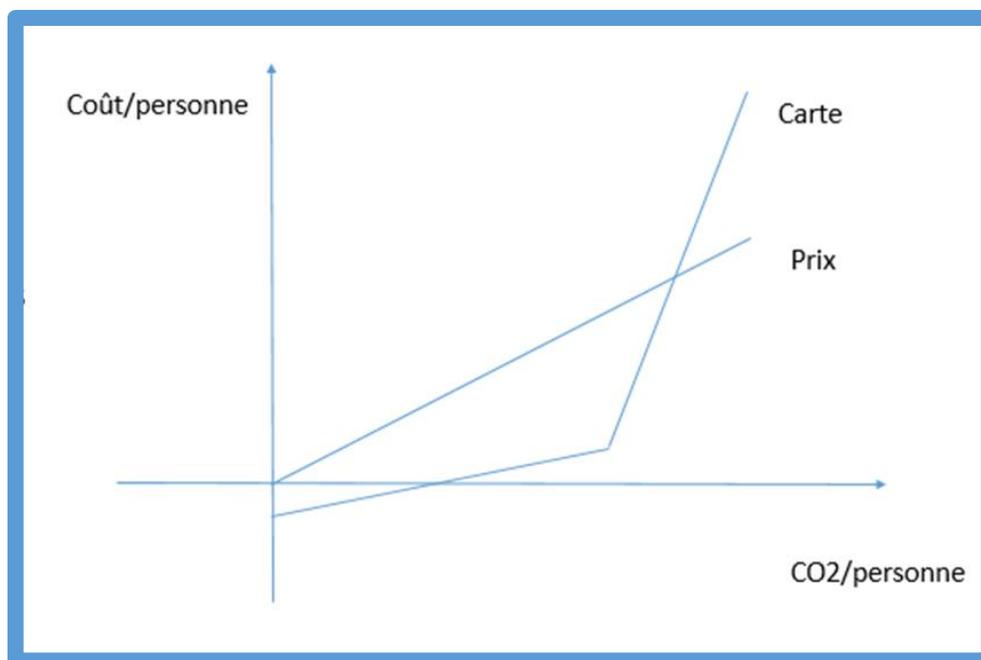
Figure 10 : Marché de quotas de carbone et simulation du comportement des ménages - Source : stage de Marion Buisson (ENPC) au CGEDD 2020

Le graphique ci-après illustre le fonctionnement de la carte carbone : en-dessous d'une certaine quantité de carbone considérée comme correspondant à des besoins « essentiels » (point d'inflexion du graphique), la valeur d'action carbone est faible (possibilité d'une taxe néanmoins).

Le voyageur souhaitant se déplacer au-delà des quantités considérées comme essentielles (se déplacer davantage, ou utiliser des modes peu massifiés ou très émissifs), doit acheter des points à d'autres voyageurs émettant moins que la quantité limite essentielle, à un tarif unitaire élevé (pente élevée).

L'ordonnée à l'origine (négative donc un avantage) correspond à la redistribution dont bénéficie le voyageur qui ne se déplacerait pas. Il reste un avantage pour un voyageur se déplaçant peu ou privilégiant les modes massifiés ou peu émissifs.

Pour davantage d'efficacité, la carte carbone pourrait être mutualisée avec d'autres secteurs (par exemple chauffage, alimentation très carbonée, ...), surtout les secteurs les plus émissifs de manière à minimiser les coûts de fonctionnement du système. Le système serait basé sur des technologies de l'information modernes impliquant des coûts de mesure faibles et des garanties relatives à la protection des libertés informatiques (CNIL).



Graphique 16 : Carte carbone élargie : Source : Prospective 2040-2060, CGEDD-France Stratégie, 2022.

Clé de lecture : dans un schéma de taxe, le coût par personne est proportionnel aux émissions par personne ; dans un schéma de carte, les faibles émetteurs bénéficient d'un gain (égal à valeur absolue de l'ordonnée à l'origine) lié à la cession de points, le coût unitaire des premières émissions (pente) par personne est faible, et, au-delà du seuil (au niveau du point anguleux), ce coût unitaire devient plus élevé

Évidemment, au-delà du caractère de rupture, le recours à des méthodes quantitatives (de type carte carbone visant les hyper-mobiles terrestres et aériens) poserait des problèmes redoutables d'allocation des quotas. Tous les hyper-mobiles ne le sont pas par pur choix, certains s'y retrouvent pour partie contraints par les circonstances (par exemple des lieux de travail éloignés au sein d'un couple, des familles éloignées géographiquement, des situations professionnelles spécifiques, ...), ce qui poserait le sujet de cas d'exemptions dont les modalités de gestion administratives seraient à l'évidence complexes.

On voit peut-être un premier cas d'application dans les voyages aériens d'agrément long courrier, où les émissions peuvent dépasser en quelques heures celles d'une année de déplacements terrestres. Une complexité serait toutefois liée à la part importante du tourisme dans l'activité économique française, où des solutions devraient être recherchées, par exemple l'encouragement de séjours longs des étrangers lointains, ainsi que le développement des séjours touristiques en France des Français et des européens, ou bien celui de l'attractivité de la France pour les nomades digitaux dont le nombre est probablement appelé à se développer.

L'autre question probablement posée serait de nature juridique, à savoir la compatibilité avec les libertés publiques, notamment celle d'aller et venir. Sa limitation ne se conçoit raisonnablement que si d'autres garanties constitutionnelles sont menacées, mais on se situe implicitement dans ce scénario dans le cas où le droit à vivre dans un environnement sain serait menacé, ce qui constitue aussi une liberté garantie, et donc ouvre la voie à un difficile exercice d'équilibre entre les libertés par les pouvoirs publics sous le regard du juge, perspective difficile et peut-être pas si lointaine qui n'a manifestement pas échappé au juge constitutionnel allemand²⁵.

L'autre élément qui ressort de ce scénario est que les restrictions proposées dans cette politique seraient moins inacceptables si elles faisaient l'objet de mesures de précaution pour les éléments à forte inertie technique ou sociétale : infrastructures lourdes, notamment de TC, aménagement des villes, urbanisme,... Plus il y aura, le moment venu si ce scénario devait être implémenté, des possibilités de déplacements massifiés, et moins les restrictions devraient être significatives.

Augmenter le remplissage des voitures, au prix d'un allongement des temps de parcours, donc d'un renforcement des voies bus et covoiturage peut se faire relativement rapidement, mais pas le développement d'une nouvelle ligne de métro ou de train suburbain. Des dispositifs de précaution (études de projets capacitaires en TC lourds, réservations de bandes de terrain en banlieue) devraient être déjà accélérés pour constituer le minimum d'un effet anticipé tel que défini dans le concept d'ingérence du futur (« eingriffähnliches Vorwirkung ») de la Cour constitutionnelle allemande.

On trouvera en annexe des précisions techniques complémentaires sur ce scénario, comprenant un modèle qui en simule à grande maille les effets sociaux et territoriaux contrastés pour en maximiser l'efficacité. Schématiquement, on aboutit à un système de transport terrestre reposant, outre la substitution par les télécoms lorsqu'elle est possible :

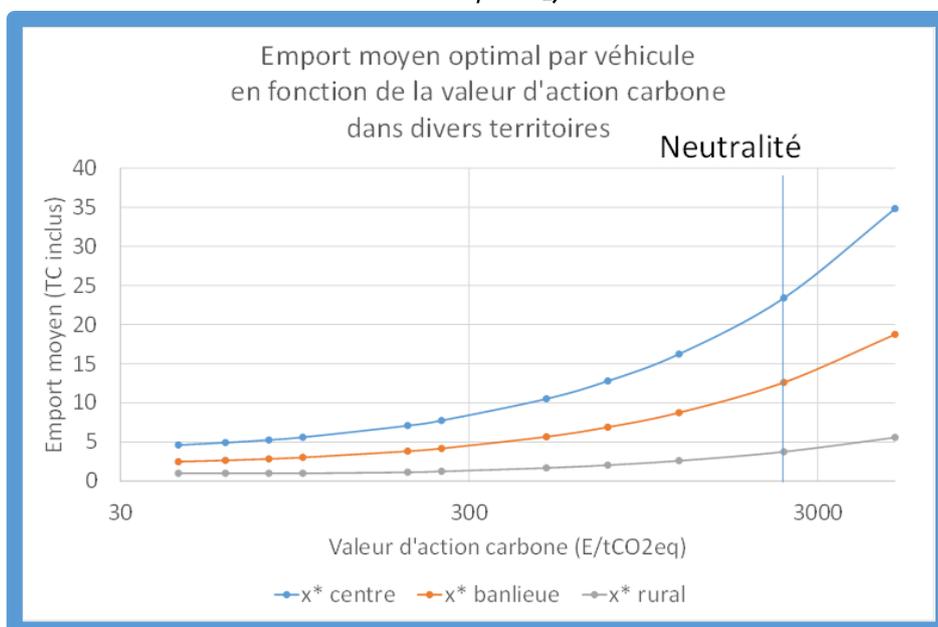
- dans le centre des grandes agglomérations sur un renforcement des TC lourds (trains, RER, métros, trams, BHNS) et des pistes vélos ; à cet effet des investissements importants de capacité seront nécessaires, comprenant soit des augmentations de capacité sur place, soit des lignes nouvelles, selon les contextes ; eu égard à la complexité de ces investissements, leur conception et planification doivent intervenir souvent plusieurs dizaines d'années avant leur mise en service ;
- dans les banlieues sur des voitures à fort taux de remplissage, complémentaires aux TC lourds, ainsi que sur des moins lourds, des pistes vélos et sur un urbanisme permettant d'éviter des déplacements lointains avec des solutions de proximité ;

²⁵ Voir la traduction en langue française de la décision de rejet partiel de la loi climat en date du 24 mars 2021 sur le site de la Cour constitutionnelle allemande (BVerfG) :

https://www.bundesverfassungsgericht.de/SharedDocs/Entscheidungen/FR/2021/03/rs20210324_1bvr265618fr.html

- dans les banlieues très lointaines, les petits bourgs et le rural, sur un trajet terminal dans un véhicule minimaliste et partagé successivement dans le temps (autopartage villageois) et articulé en complémentarité avec des véhicules massifiés et des TC sur les grands axes.

Le graphique 17 montre l'évolution efficiente des remplissages moyens selon les territoires et le niveau de la valeur d'action carbone (cf. présentation du modèle en annexe, la neutralité étant ici avec une hypothèse de division par 5,2 des $\text{gCO}_2/\text{VL-km}$ en 2060 menant à une valeur d'action carbone à 2400 €/tCO₂) :



Graphique 17 : Emport moyen optimal par véhicule en fonction de la valeur d'action carbone dans divers territoires : Source : Prospective 2040-2060, CGEDD-France Stratégie, 2022.

clé de lecture : avec une valeur d'action carbone de 2400 €/tCO₂eq (trait vertical), le remplissage optimal en zone rurale est de 4 personnes par véhicule, 12 en banlieue, et 23 en centre ; l'échelle horizontale est logarithmique

La construction d'un scénario respectant la neutralité des mobilités a pour finalité de donner un point de repère de l'effort supplémentaire qui devrait être entrepris pour atteindre la neutralité.



Illustration 11 : Mobilité alternative - Source : Pixabay

4 La construction des scénarios : déclinaison mobilité des personnes

Le principe de construction des scénarios est, à chaque horizon de temps t, d'estimer les émissions de GES de chaque scénario comme produit de :

Émissions GES (scénario, t)

=

Émissions_GES_du_tendancier_PIB(t)*Coeff_sobriété(scénario,t)*Coeff_motorisation(scénario,t)

Un calcul est effectué pour les modes terrestres et un autre pour le mode aérien.

La construction du scénario tendancier selon PIB est effectuée au moyen d'élasticités. Les scénarios sont ensuite construits en combinant l'effet des mesures de politiques des mobilités, ainsi que l'effet des variations de prix au moyen d'une élasticité du trafic au prix.

Pour estimer les effets sur les prix, il est fait l'hypothèse d'un maintien des autres taxes que la taxe carbone au sein de la TICPE, au même taux par véhicule-km qu'aujourd'hui.

Au-delà des transports (voyageurs-km), trafics routiers (véhicules-km) et des émissions de GES, à titre plus indicatif, des estimations de parts modales des TCU lourds (train de banlieue, RER, métro, tram, BHNS) dans les grandes agglomérations sont effectuées, ainsi qu'un nombre de voyageurs par véhicule dans les grandes agglomérations. Elles sont construites au moyen de règles de 3 par rapport aux simulations du FIT sur une étude de cas, supposée correspondre en première approche à la politique de sobriété moyenne (scénario ambition de base).

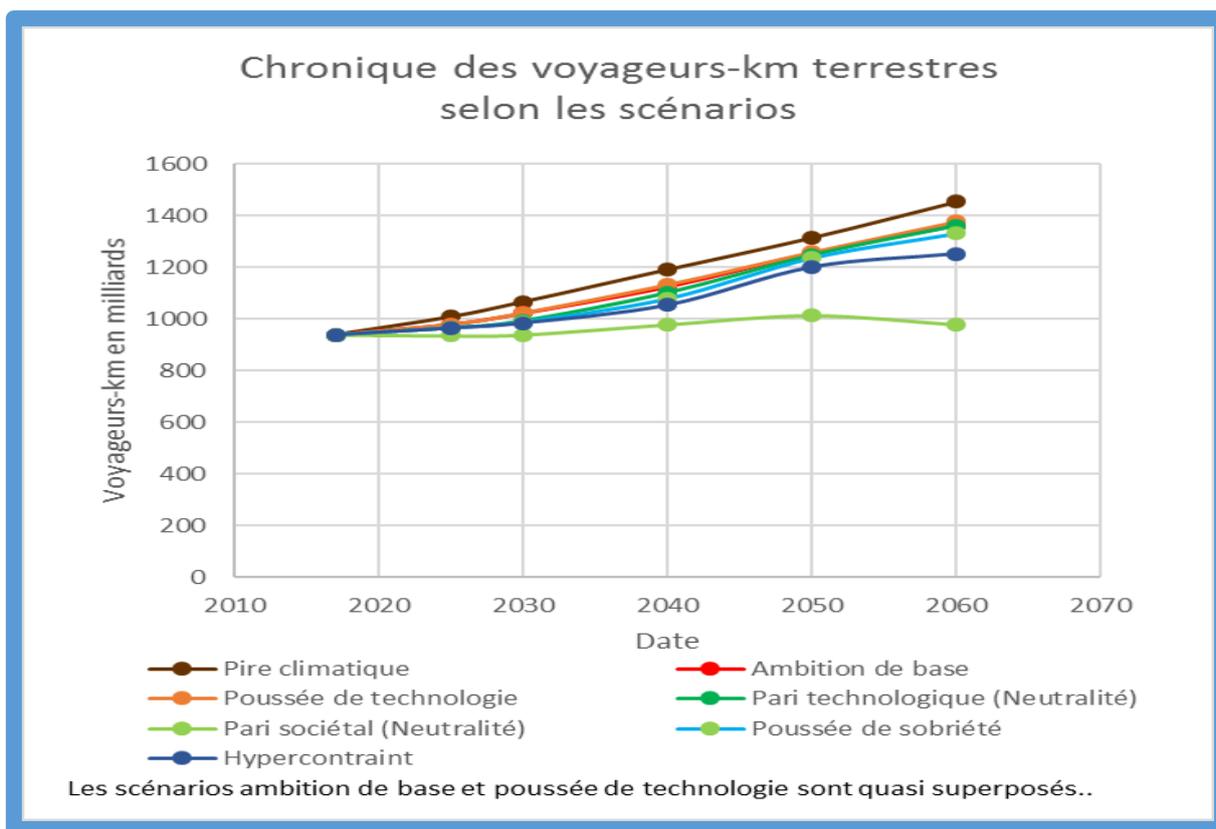
4.1 Les principaux résultats des scénarios

Les estimations sont les suivantes pour ce qui concerne les :

- voyageurs-km ;
- véhicules-km (voitures particulières seulement) ;
- GES (en ACV, tous GES, y compris international) pour les mobilités des voyageurs.

À titre plus indicatif, des estimations de parts modales des TCU lourds dans les grandes agglomérations, ainsi qu'un nombre de voyageurs par véhicule dans les grandes agglomérations.

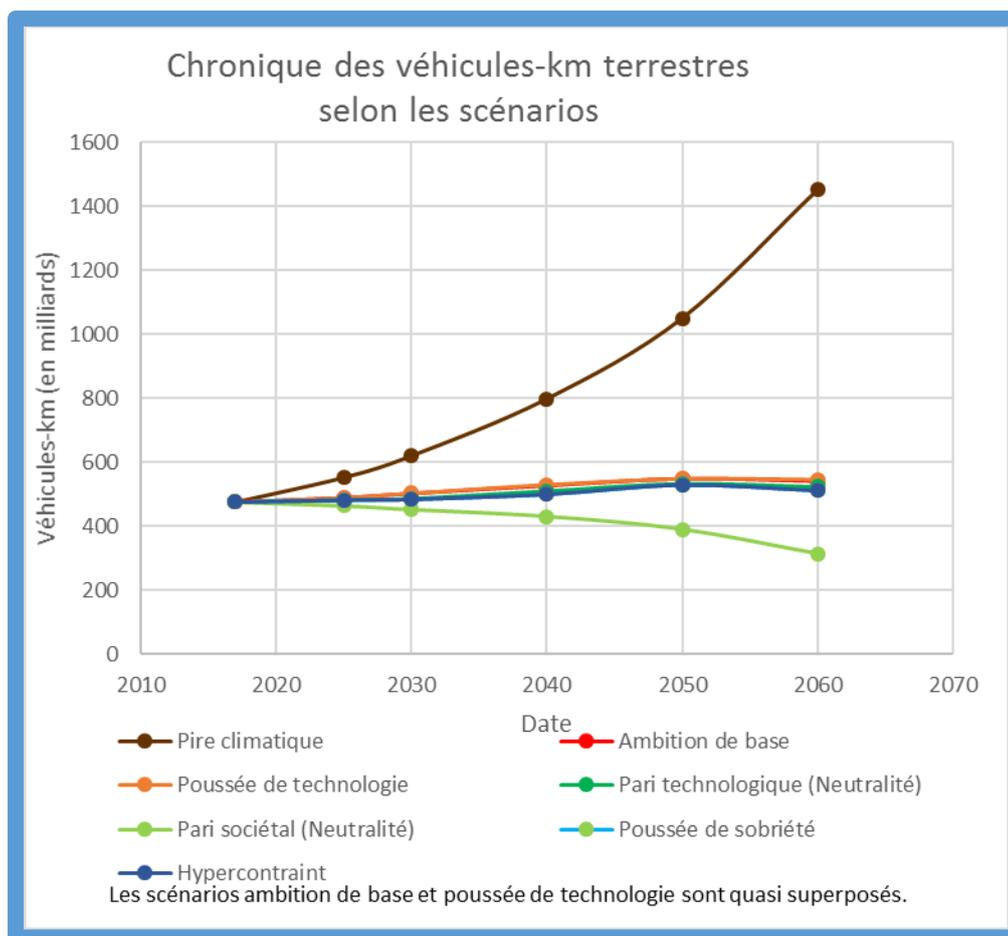
a) Ensemble des modes terrestres



Graphique 18 : Chroniques des voyageurs- km terrestres selon les scénarios
 Source : Prospective 2040-2060, CGEDD-France Stratégie, 2022.

Modes terrestres	2017	2025	2030	2040	2050	2060
G Voy-km						
Tendance selon le PIB	940	1009	1067	1192	1315	1454
Pire climatique	940	1009	1067	1192	1315	1454
Ambition de base	940	980	1022	1124	1255	1362
Poussée de technologie	940	980	1024	1133	1259	1377
Pari technologique (Neutralité)	940	967	994	1102	1248	1362
Pari sociétal (Neutralité)	940	937	940	979	1014	979
Poussée de sobriété	940	966	989	1079	1237	1331
Hypercontraint	940	966	985	1055	1202	1254

Tableau 2 : Comparatif des voyageurs-km selon les scénarios (en milliards de voy-km par an)
 Source : Prospective 2040-2060, CGEDD-France Stratégie, 2022.

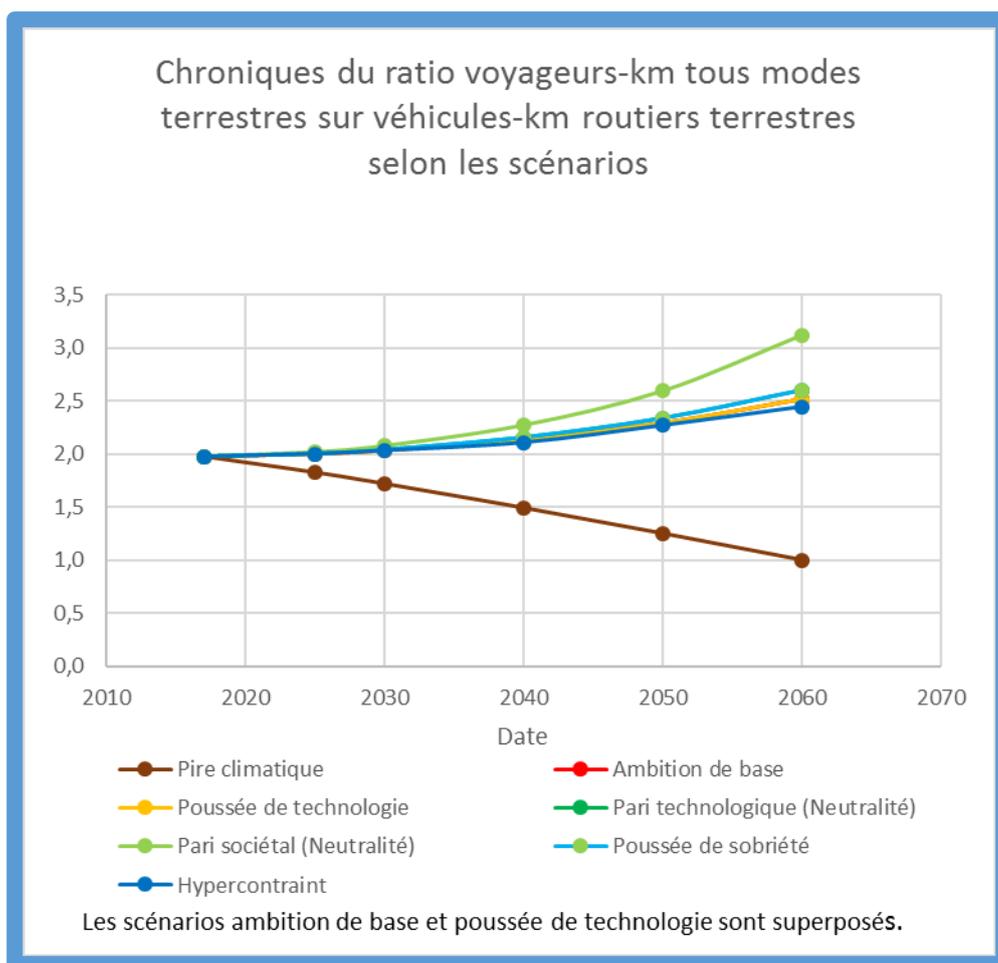


Graphique 19 : Chronique de véhicules-km terrestres selon les scénarios (VP seulement pour les véhicules)
 Source : Prospective 2040-2060, CGEDD-France Stratégie, 2022.

Modes terrestres	2017	2025	2030	2040	2050	2060
G Veh-km						
Tendance selon le PIB	476	510	538	599	659	726
Pire climatique	476	553	621	799	1050	1451
Ambition de base	476	490	503	527	548	541
Poussée de technologie	476	490	504	531	549	547
Pari technologique (Neutralité)	476	483	487	511	534	524
Pari sociétal (Neutralité)	476	464	453	431	391	314
Poussée de sobriété	476	482	485	500	529	512
Hypercontraint	476	482	485	500	529	512

Tableau 3 : Comparatif des véhicules-km selon les scénarios (en milliards de véhicules-km par an)
 Source : Prospective 2040-2060, CGEDD-France Stratégie, 2022.

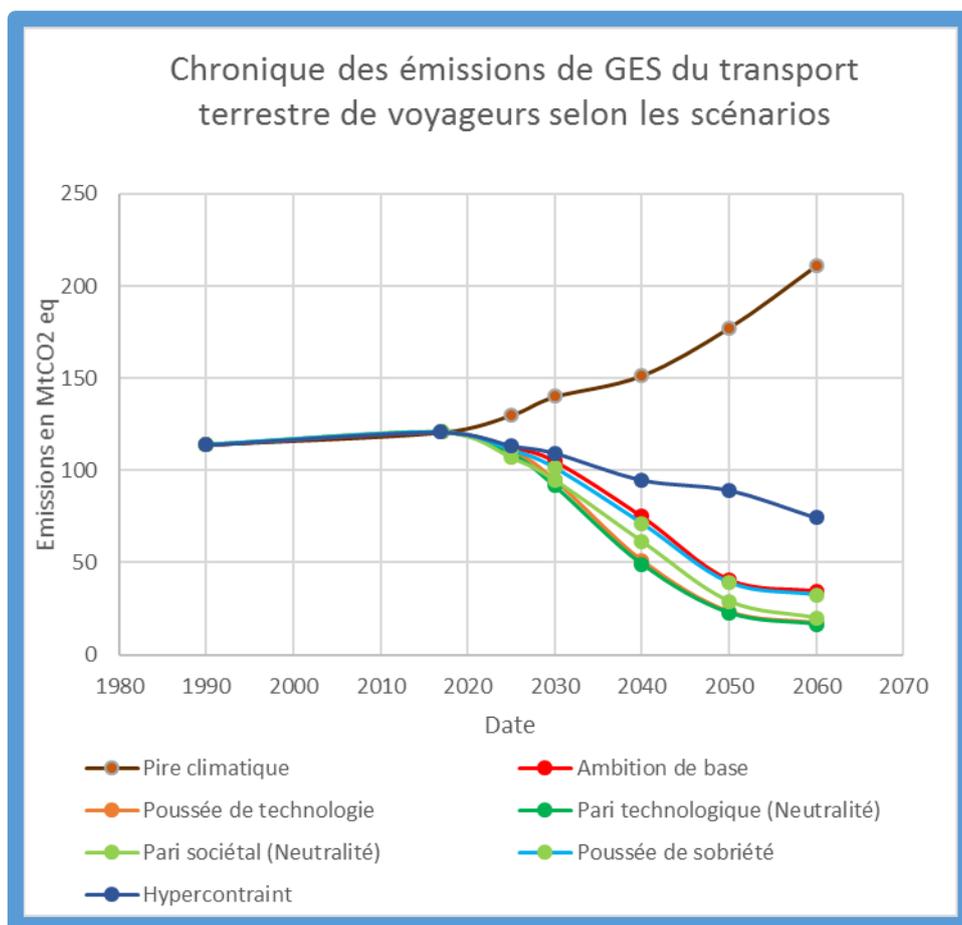
Le graphique ci-après donne les évolutions du *ratio* entre les voyageurs-km et les véhicules routiers, ce qui illustre l'intensité conjointe du covoiturage et du report modal vers les modes non routiers.



Graphique 20 : Chronique du ratio entre les voyageurs-km et les véhicules-km routiers selon les scénarios
Source : Prospective 2040-2060, CGEDD-France Stratégie, 2022.

Modes terrestres	2017	2025	2030	2040	2050	2060
ratio Voy-km tous modes/Veh-km routiers						
Tendance selon le PIB	1,98	1,98	1,98	1,99	2,00	2,00
Pire climatique	1,98	1,83	1,72	1,49	1,25	1,00
Ambition de base	1,98	2,00	2,03	2,13	2,29	2,52
Poussée de technologie	1,98	2,00	2,03	2,13	2,29	2,52
Pari technologique (Neutralité)	1,98	2,00	2,04	2,16	2,34	2,60
Pari sociétal (Neutralité)	1,98	2,02	2,08	2,27	2,59	3,12
Poussée de sobriété	1,98	2,00	2,04	2,16	2,34	2,60
Hypercontraint	1,98	2,00	2,03	2,11	2,27	2,45

Tableau 4 : Comparatif du ratio entre les voyageurs-km et les véhicules-km routiers selon les scénarios
Source : Prospective 2040-2060, CGEDD-France Stratégie, 2022.

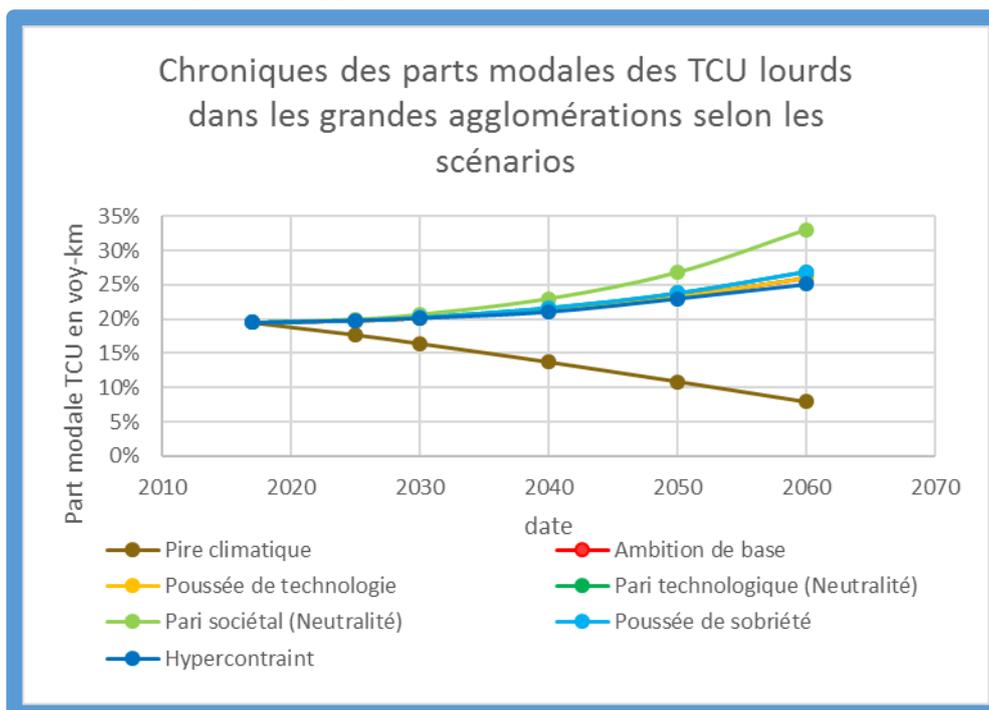


Graphique 21 : Chronique des émissions de GES du transport terrestre de voyageurs selon les scénarios
 Source : Prospective 2040-2060, CGEDD-France Stratégie, 2022.

Modes terrestres	1990	2017	2025	2030	2040	2050	2060
Emissions GES							
Tendance selon le PIB	114	121	129	137	152	167	184
Pire climatique	114	121	130	140	151	177	211
Ambition de base	114	121	113	105	75	41	34
Poussée de technologie	114	121	111	95	51	23	17
Pari technologique (Neutralité)	114	121	109	92	49	23	17
Pari sociétal (Neutralité)	114	121	107	95	61	29	20
Poussée de sobriété	114	121	111	101	71	39	32
Hypercontraint	114	121	113	109	95	89	74

Tableau 5 : Comparatif des émissions de GES des modes terrestres (voyageurs) en ACV en MtCO₂eq par an
 Source : Prospective 2040-2060, CGEDD-France Stratégie, 2022.

À titre plus indicatif, les parts modales des TCU lourds (train de banlieue, RER, métro, tram, BHNS) dans les grandes agglomérations seraient les suivantes selon les scénarios :

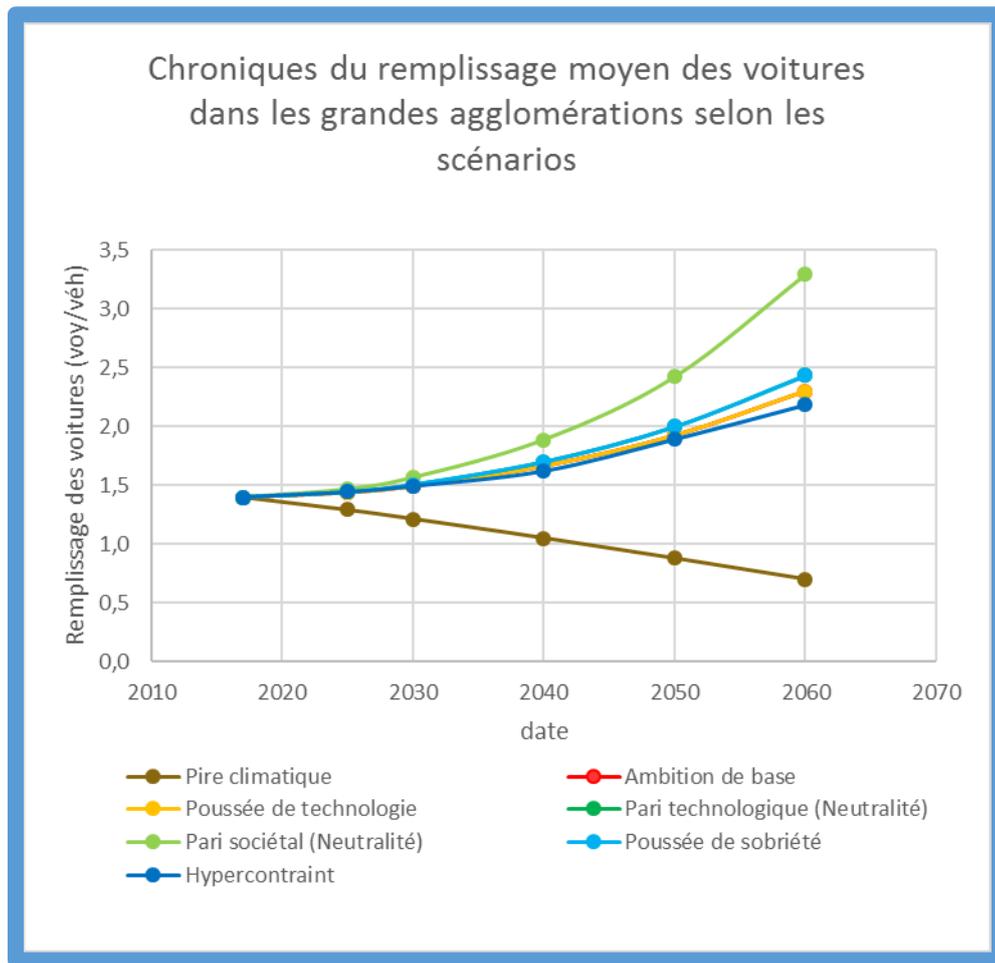


Graphique 22 : Chronique des parts modales des TCU lourds dans les grandes agglomérations selon les scénarios
Source : Prospective 2040-2060, CGEDD-France Stratégie, 2022.

Part modale TCU lourds dans les grandes agglos	2017	2025	2030	2040	2050	2060
Pire climatique	19%	18%	16%	14%	11%	8%
Ambition de base	19%	20%	20%	21%	23%	26%
Poussée de technologie	19%	20%	20%	21%	23%	26%
Pari technologique (Neutralité)	19%	20%	20%	22%	24%	27%
Pari sociétal (Neutralité)	19%	20%	21%	23%	27%	33%
Poussée de sobriété	19%	20%	20%	22%	24%	27%
Hypercontraint	19%	20%	20%	21%	23%	25%

Tableau 6 : Comparatif des parts modales des TCU lourds dans les grandes agglomérations selon les scénarios
Source : Prospective 2040-2060, CGEDD-France Stratégie, 2022.

Les remplissages moyens des véhicules dans les grandes agglomérations suivent ces évolutions selon les scénarios :



Graphique 23 : Chroniques du remplissage moyen des voitures dans les grandes agglomérations selon les scénarios
 Source : Prospective 2040-2060, CGEDD-France Stratégie, 2022.

Remplissage moyen des voitures dans les grandes aggllos							
	2017	2025	2030	2040	2050	2060	
Pire climatique	1,40	1,29	1,22	1,05	0,88	0,70	
Ambition de base	1,40	1,44	1,49	1,66	1,92	2,30	
Poussée de technologie	1,40	1,44	1,49	1,66	1,92	2,30	
Pari technologique (Neutralité)	1,40	1,45	1,51	1,70	2,00	2,44	
Pari sociétal (Neutralité)	1,40	1,47	1,57	1,89	2,42	3,30	
Poussée de sobriété	1,40	1,45	1,51	1,70	2,00	2,44	
Hypercontraint	1,40	1,44	1,49	1,62	1,89	2,18	

Tableau 7 : Comparatif du remplissage moyen des voitures dans les grandes agglomérations selon les scénarios
 Source : Prospective 2040-2060, CGEDD-France Stratégie, 2022.

Emissions GES de la Mobilité Terrestre 2060

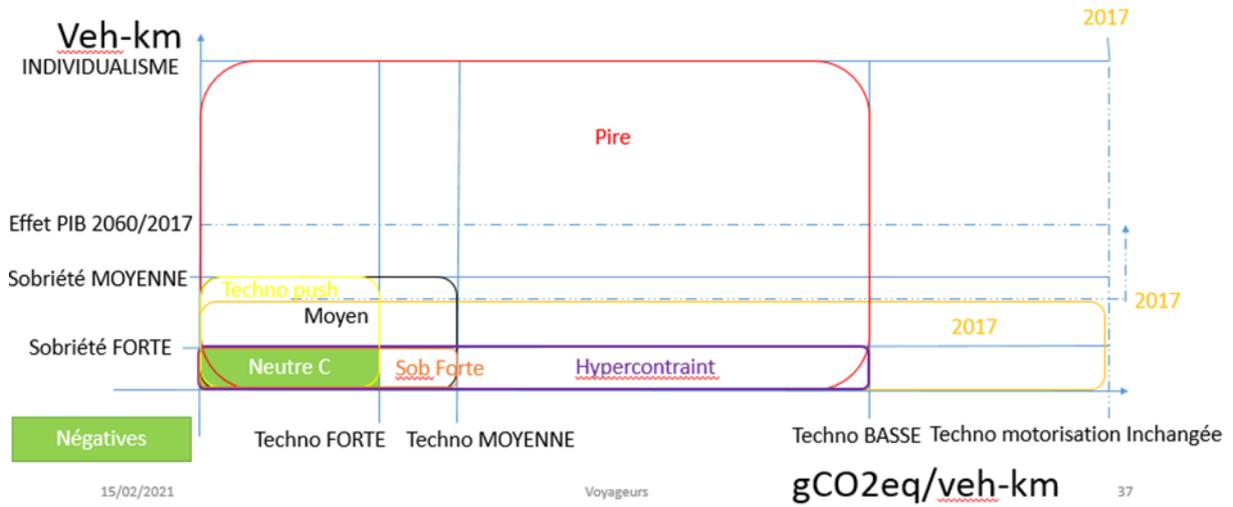


Illustration 12 : Émissions GES de la mobilité terrestre en 2060
 Source : Prospective 2040-2060, CGEDD-France Stratégie, 2022.

L'axe horizontal donne les émissions unitaires, l'axe vertical les trafics, et les surfaces des rectangles donnent les émissions de GES.



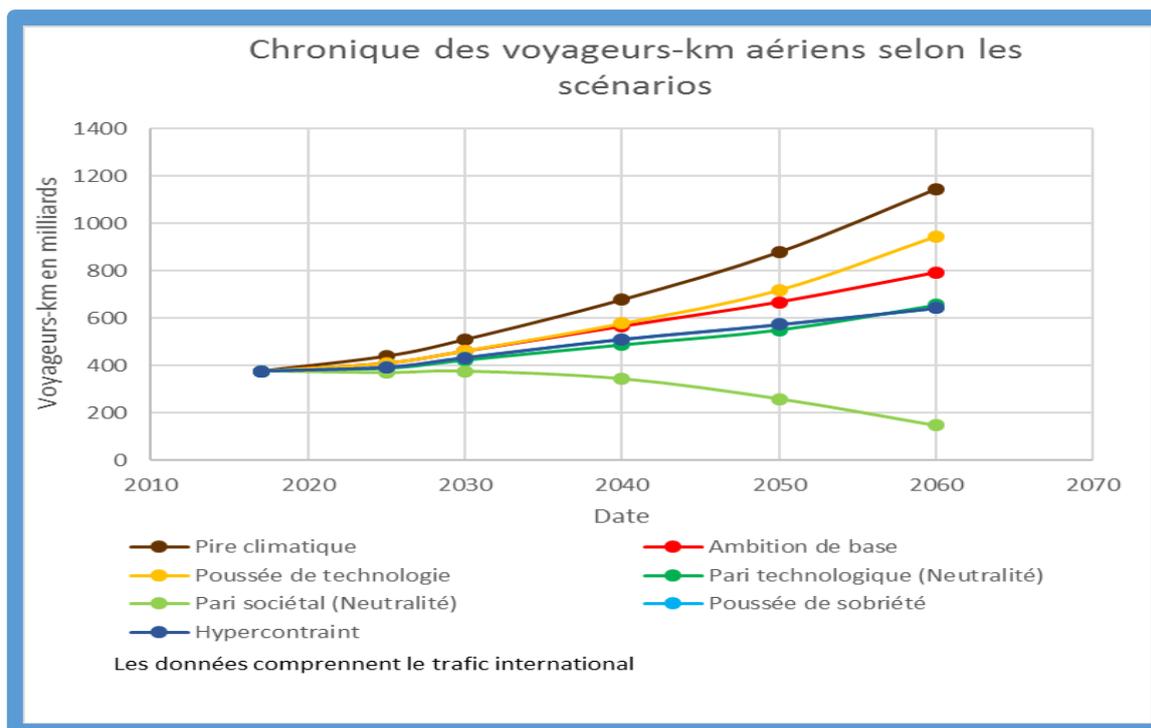
Illustration 13 : Divers modes de transport terrestre - Crédit : Arnaud Bouissou / Terra

b) Mode aérien

Les estimations sont les suivantes pour ce qui concerne les :

- voyageurs-km ;
- GES (en ACV, tous GES, y compris international) pour les mobilités des voyageurs.

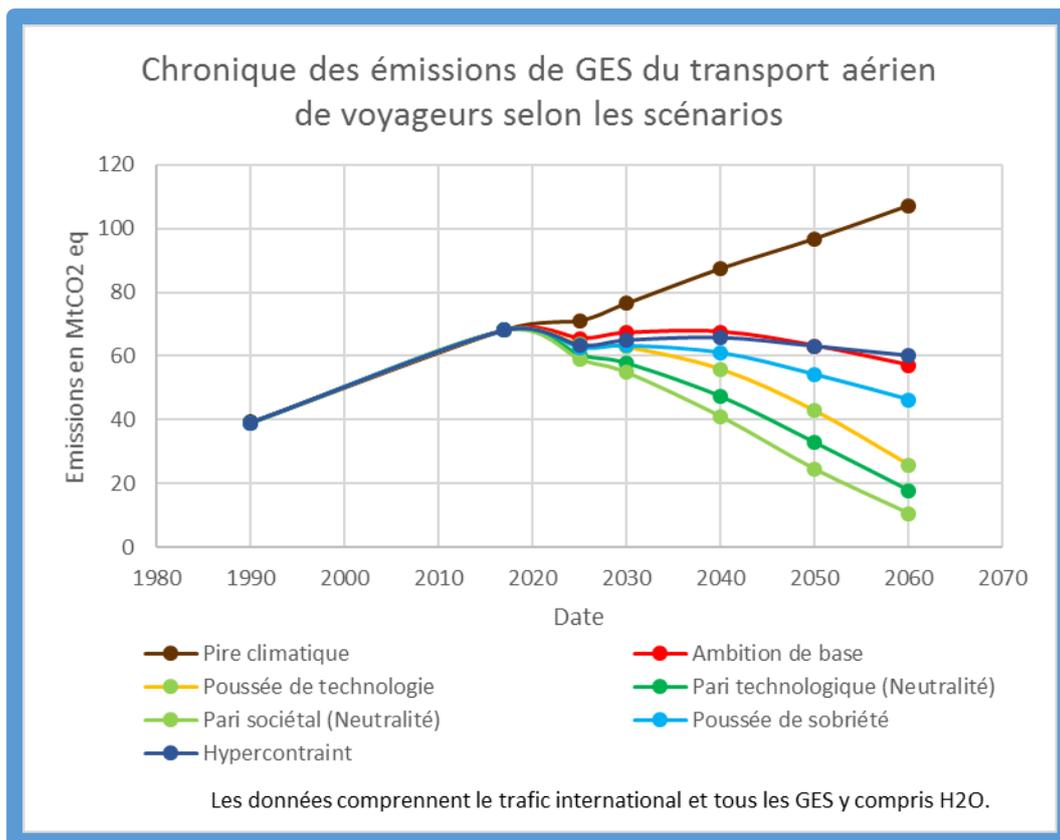
Les émissions de GES incluent également ceux du transport aérien de marchandises, souvent effectué dans les mêmes avions que les voyageurs.



Graphique 24 : Chronique d'évolution du transport aérien de voyageurs (milliards de voy-km) y compris international - Source : Prospective 2040-2060, CGEDD-France Stratégie, 2022.

Aérien	2017	2025	2030	2040	2050	2060
G voy-km						
Tendance selon le PIB	376	439	509	677	878	1145
Pire climatique	376	439	509	677	878	1145
Ambition de base	376	410	460	565	668	793
Poussée de technologie	376	410	461	577	719	947
Pari technologique (Neutralité)	376	388	423	487	550	656
Pari sociétal (Neutralité)	376	369	375	343	259	147
Poussée de sobriété	376	392	433	511	573	643
Hypercontraint	376	392	433	511	573	643

Tableau 8 : Comparatif des voyageurs-km aériens selon les scénarios y compris international - Source : Prospective 2040-2060, CGEDD-France Stratégie, 2022.



Graphique 25 : Chronique des émissions de GES en ACV du transport aérien de voyageurs selon les scénarios, y compris international
Source : Prospective 2040-2060, CGEDD-France Stratégie, 2022.

Aérien							
Emissions de GES en MtCO2 eq							
	1990	2017	2025	2030	2040	2050	2060
Tendance selon le PIB	39	68	71	77	89	101	115
Pire climatique	39	68	71	76	87	97	107
Ambition de base	39	68	66	67	68	63	57
Poussée de technologie	39	68	64	63	56	43	26
Pari technologique (Neutralité)	39	68	60	58	47	33	18
Pari sociétal (Neutralité)	39	68	59	55	41	25	11
Poussée de sobriété	39	68	63	63	61	54	46
Hypercontraint	39	68	63	65	66	63	60

Tableau 9 : Comparatif des émissions de GES en ACV du mode aérien en MtCO₂eq par an, y compris international
Source : Prospective 2040-2060, CGEDD-France Stratégie, 2022.

Emissions de la Mobilité **Aérienne** 2060

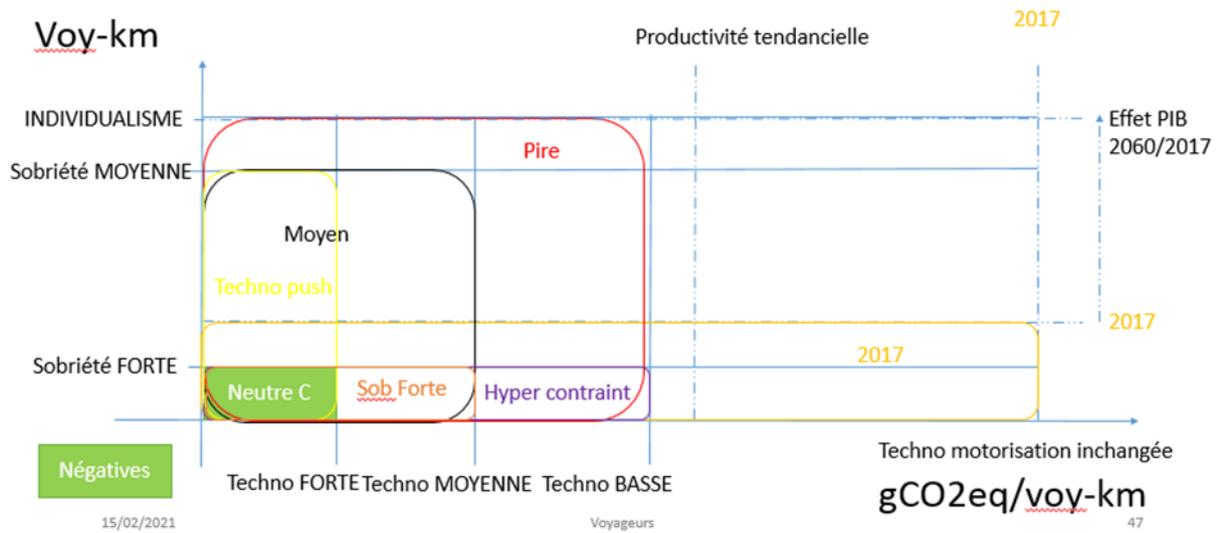


Illustration 14 : Émissions GES de la mobilité aérienne en 2060, en ACV, y compris international
 Source : Prospective 2040-2060, CGEDD-France Stratégie, 2022.

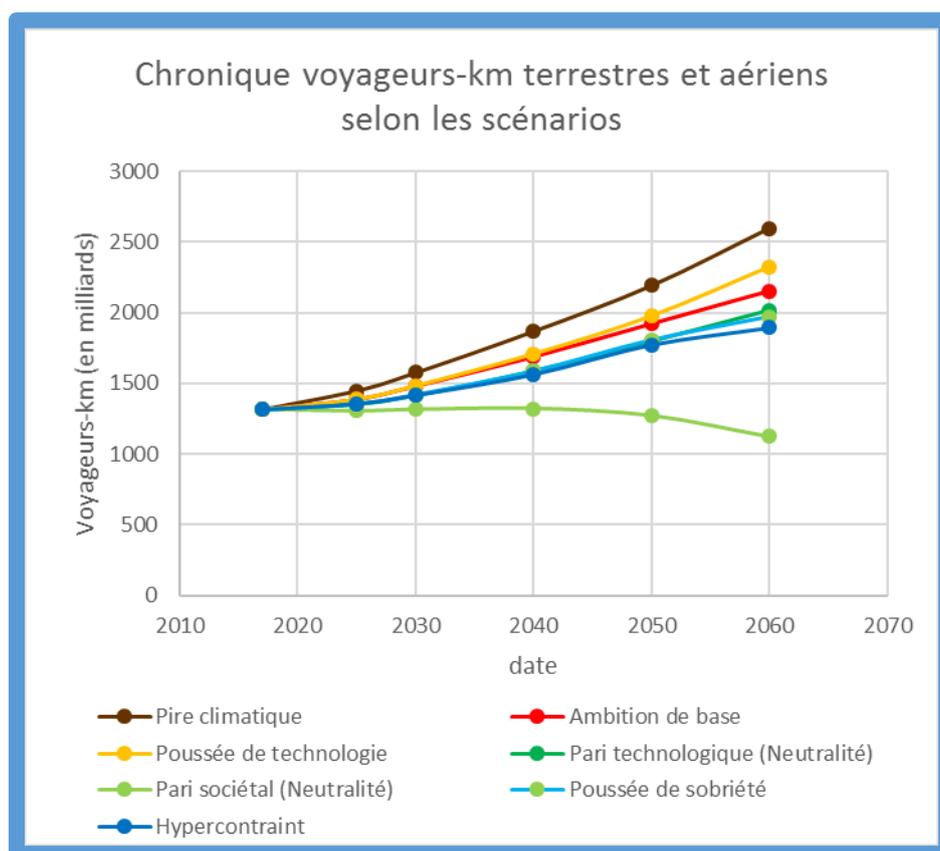


Illustration 15 : Airbus A320 - Crédit : Pixabay

c) Ensemble des modes voyageurs terrestres et aériens

Les estimations sont les suivantes pour ce qui concerne les :

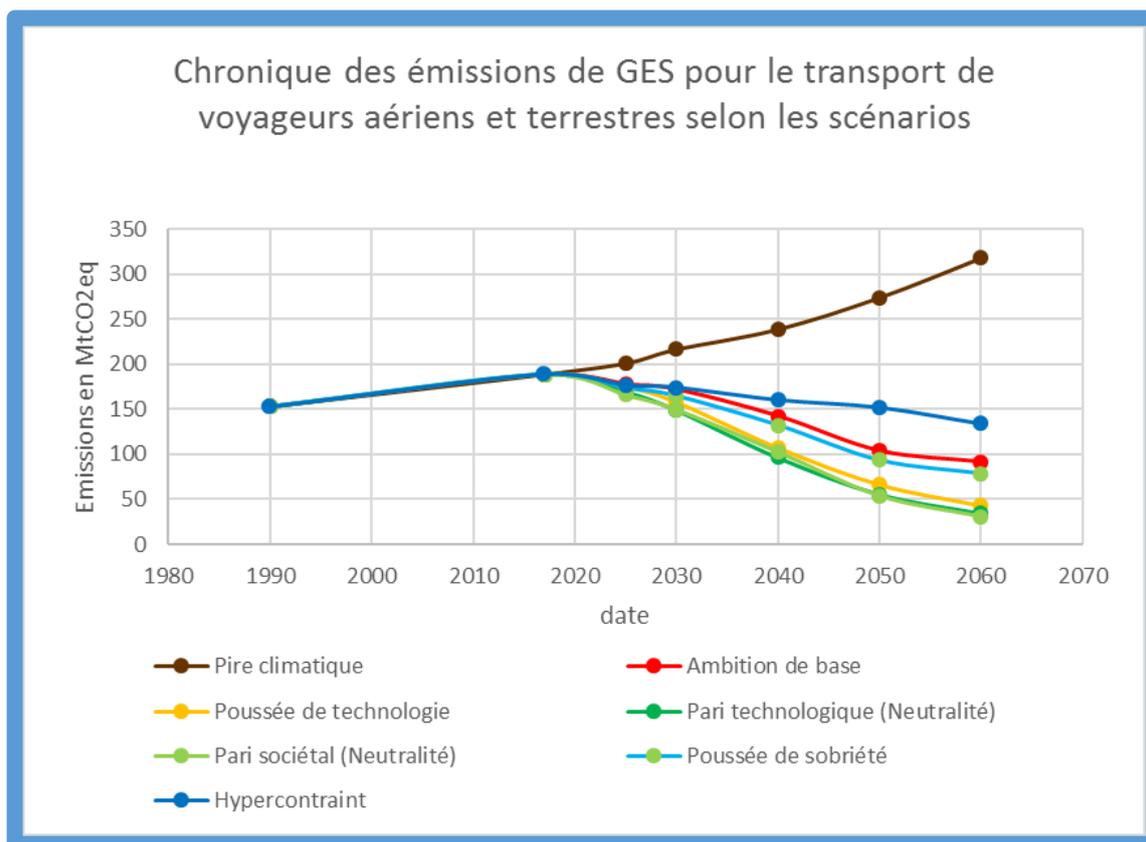
- voyageurs-km ;
- GES (en ACV, tous GES, y compris international) pour les mobilités des voyageurs.



Graphique 26 : Chronique des voyageurs-km terrestres et aériens selon les scénarios
Source : Prospective 2040-2060, CGEDD-France Stratégie, 2022.

Somme voyageurs terre+air	2017	2025	2030	2040	2050	2060
Voy-km en milliards						
Tendance selon le PIB	1316	1449	1576	1869	2193	2599
Pire climatique	1316	1449	1576	1869	2193	2599
Ambition de base	1316	1390	1482	1690	1923	2155
Poussée de technologie	1316	1390	1485	1710	1977	2323
Pari technologique (Neutralité)	1316	1355	1417	1589	1798	2017
Pari sociétal (Neutralité)	1316	1306	1315	1322	1273	1126
Poussée de sobriété	1316	1359	1422	1589	1809	1974
Hypercontraint	1316	1358	1418	1566	1775	1896

Tableau 10 : Comparatif des voyageurs-km terrestres et aériens (milliards de voyageurs-km par an)
Source : Prospective 2040-2060, CGEDD-France Stratégie, 2022.



Graphique 27 : Chronique des émissions de GES en ACV pour le transport de voyageurs aériens et terrestres selon les scénarios
 Source : Prospective 2040-2060, CGEDD-France Stratégie, 2022.

Somme voyageurs terre+air Emissions de GES en MtCO2eq	1990	2017	2025	2030	2040	2050	2060
Tendance selon le PIB	153	189	201	214	241	268	299
Pire climatique	153	189	201	217	239	274	318
Ambition de base	153	189	178	172	143	104	91
Poussée de technologie	153	189	175	158	107	66	43
Pari technologique (Neutralité)	153	189	169	149	96	56	34
Pari sociétal (Neutralité)	153	189	166	149	102	54	31
Poussée de sobriété	153	189	174	165	132	94	79
Hypercontraint	153	189	177	174	161	152	135

Tableau 11 : Comparatif des émissions des voyageurs terrestres et aériens (en MtCO2eq par an) en ACV selon les scénarios
 Source : Prospective 2040-2060, CGEDD-France Stratégie, 2022.



Illustration 16 : Différents modes de déplacement - Crédit : Pixabay

Conclusion

La démarche de prospective permet de donner des premiers éclairages sur le champ des possibles. Ils semblent très contrastés, du fait des nombreuses incertitudes. Ces éclairages pourraient aider à mieux concevoir les politiques publiques, ainsi que les plans, programmes et projets.

Si plusieurs tendances lourdes peuvent être identifiées à l'échelle des prochaines décennies, par exemple le vieillissement des populations, ou bien les progrès des télécommunications, il semble que le dérèglement climatique présente le premier risque systémique pesant sur les mobilités des voyageurs.

Sa bonne gestion suppose des inflexions de politiques très rapides, notamment dans un premier temps dans les investissements verts, notamment l'accompagnement des motorisations décarbonées. Mais ces dernières, si elles sont indispensables, ne suffiront pas, et des évolutions des modes de vie vers davantage de sobriété dans les déplacements semblent indispensables. Elles devront à l'évidence être substantielles, adaptées aux différents territoires et aux différentes situations individuelles. Inévitablement, elles devront aussi passer par une hausse progressive mais substantielle de la valeur d'action du carbone, en fonction des alternatives présentes et en étant accompagnées sur le plan social, territorial, et sociétal, le plus en amont possible.

Des mesures de limitation quantitative, bien sûr aussi efficaces et proportionnées que possible, ne semblent pas pouvoir malheureusement être totalement exclues dans les scénarios les plus contraints.

Comme on ne peut pas à l'évidence prévoir ni les évolutions des technologies, ni l'ampleur des conséquences du dérèglement climatique, ni les limites de l'acceptabilité sociétale, il semble indispensable pour ne pas perdre de temps précieux d'élaborer des plans d'actions contrastés pour apprendre à gérer les éventualités les plus difficiles. Cette culture de la gestion de l'incertitude devrait être largement partagée et co-construite par l'ensemble des voyageurs dans le débat et le dialogue éclairé à tous les échelons territoriaux et incluant toutes les couches de la société.

Annexes

Annexe 1 : Composition du groupe sur les mobilités des voyageurs

Président du groupe : Yves Crozet (LAET)

Secrétaires du groupe : Alain Sauvant (CGEDD) et Jincheng Ni (France stratégie)

Membres du groupe :

Nadine Asconchilo (CGEDD)	Fabien Couly (ART)
Dominique Auverlot (CGEDD)	Marie Degremont (France stratégie)
Philippe Ayoun (CGEDD)	Guislain Dubois (Université Limoges)
Marie-Anne Bacot (CGEDD)	Bruno Fulda (CGEDD)
Sylvie Banoun (CGEDD)	Caroline Gallez (UGE)
Alexandre Barbusse (AQST)	Philippe Géri (SNCF Réseau)
Francis Beaucire (Université Cergy)	Richard Grimal (Cerema)
Geneviève Besse (CGEDD)	Kevin Guittet (DGAC)
Aurelien Bigo (CREST)	Fanny Hanen (SNCF Réseau)
Anne Bouland (SNCF Réseau)	Pascal Hornung (CGEDD)
Virginie Boutueil (ENPC)	Denis Huneau (CGEDD)
Yann Briand (IDDRI)	Arantxa Julien (CGDD)
Régine Bréhier (CGEDD)	Vincent Kaufmann (EPFL)
Julien Brunel (SNCF réseau)	Michel Lamalle (CGEDD)
Geoffroy Caude (CGEDD)	Jean Laterrasse (UGE)
Jean-Paul Ceron (Université Limoges)	Jacques Le Guillou (CGEDD)
Jean Colard (France stratégie)	Thierry Lempereur (CGEDD)
Jean Coldefy (Expert)	Julien Lepoutre (DGAC)
François Combes (UGE)	Fabien Leurent (ENPC)
Patricia Correze-Lenee (CGEDD)	Jean-Loup Madre (UGE)

Simon Martin (DG Trésor)	Hervé Philippe (DGITM)
Michel Massoni (CGEDD)	Rémi Pochez (DGITM)
Kiarash Motamedi (CGDD)	Emile Quinet (ENPC)
Jean-Marc Moulinier (CGDD)	Charles Raux (ENPC)
Dany Nguyen-Luong (Institut Paris région)	Michel Rostagnat (CGEDD)
Jean-Pierre Orfeuil (Expert)	Florian Tedeschi (Institut Paris région)
Arnaud Passalacqua (Université Paris Diderot)	Hervé de Tréglodé (CGEDD)
Olivier Paul-Dubois-Taine (IESF)	Michel Savy (ENPC)
Julie Pelata (Cerema)	Pierre Van Cornewal (TDIE)
Nathalie Penfornis (Vedecom)	Damien Verry (Cerema)
Sophie Peng-Casavecchia (DGITM)	Nicolas Wagner (ART)

Les auteurs remercient Marion Buisson, stagiaire de l'ENPC (PAPDD) au CGEDD, Victor Lesaulnier, stagiaire de l'ENTPE au CGEDD et Sabrina Madin et Chloé Vallon, stagiaires de Polytech Tours à l'AQST.

Annexe 2 : Liste des séances et exposés du groupe mobilités des voyageurs

Séance 1 - 10 février 2020 : Introduction aux mobilités voyageurs

- Présentation de la démarche de prospective des mobilités, Alain Sauvart (CGEDD)
- Prospective des mobilités voyageurs, à la recherche des variables clé, Yves Crozet (LAET)
- Comment décarboner les transports en France d'ici 2050 (équation de Kaya), Aurélien Bigo (CREST)
- Débat

Séance 2 - 10 mars 2020 : Aspects transversaux des mobilités voyageurs

- Mobilité et émissions de GES: une analyse des comportements individuels, Damien Verry (Cerema)
- Compléments et alternatives à la taxe carbone, typologie des changements de comportement et des attitudes des voyageurs, Charles Raux (LAET)
- Les enseignements des scénarios de l'IDDRI, volet voyageurs, Yann Briand (IDDRI)
- Débat

Séance 3 - 3 avril 2020 : Voyages aériens et à très longue distance (>1000 km)

- Problématique des mobilités aériennes et très longue distance, Yves Crozet (LAET)
- Quelques pistes de continuité et de rupture relatives aux motorisations aériennes et les énergies associées, Dominique Auverlot (CGEDD)
- Comment réduire les émissions de GES du tourisme et du transport associé avec le minimum d'impact négatif sur l'économie, Jean-Paul Ceron et Ghislain Dubois (Université de Limoges)
- Débat

Séance 4 - 11 mai 2020 : Mobilité des Voyageurs de la vie quotidienne dans les espaces périphériques et aperçu sur les aspects sociaux et territoriaux

- Problématique des mobilités de la vie quotidienne et aspects sociaux territoriaux, Yves Crozet (LAET)
- Vers une mobilité bas carbone : une démarche de compréhension-action pour modérer les déplacements et leurs consommations d'énergie dans les zones peu denses : Olivier Paul Dubois Taine avec Edouard Freund (IESF)
- Premiers éclairages sur les aspects sociaux et territoriaux d'une trajectoire allant vers la neutralité carbone, Marion Buisson (ENPC en stage au CGEDD)
- Débat

Séance 5 - 4 juin 2020 : Mobilité des Voyageurs interurbaine 100-1000 km

- La problématique des mobilités interurbaines, par Yves Crozet (LAET)
- Quelles évolutions pour le choix modal interurbain voyageurs, Benjamin Besnard (LAET)
- Quel « policy-mix » pour accélérer l'électrification du parc de voitures, notamment face aux questions de l'usage interurbain, Kara Kockelman (Université du Texas, Austin)
- Débat

Séance 6 - 8 juillet 2020 : Mobilité de la vie quotidienne dans les territoires métropolitains (urbains, périurbains)

- La problématique des mobilités de la vie quotidienne urbaines et périurbaines, Yves Crozet (LAET)
- Quelles évolutions pour la mobilité plus décarbonée des voyageurs dans les territoires urbains et périurbains, Luis Martinez et Olga Petrik (FIT-OCDE)
- Les conséquences sur la mobilité du vieillissement de la population et d'options de solutions de mobilité pour les personnes à mobilité réduite, Sabine Madin (Polytech Tours, en stage à l'AQST)
- Débat

Séance 7 - 16 septembre 2020 : Scénarios de mobilité voyageurs dans diverses ambiances de technologies de motorisations

- La problématique des scénarios de mobilité voyageurs, Yves Crozet (LAET)
- Premier jet de scénarios de mobilité voyageurs dans diverses ambiances technologiques contrastées, Alain Sauvant (CGEDD)
- Débat

Annexe 3 : Éléments de support de documentation de la construction détaillée des scénarios

3.1 Construction du tendancier PIB

Avant d'estimer l'effet des politiques de motorisation et de sobriété, un scénario « tendancier PIB » est construit tenant compte de la croissance économique.

Les transports (voyageurs-km) croissent avec le PIB, et les transports les plus rapides encore plus : 0,5 pour l'élasticité²⁶ des voyageurs-km au PIB/habitant pour la vie quotidienne, 1 pour l'interurbain et 1,7 pour l'aérien²⁷.

Le COR a produit en 2021 un scénario proche de 1,4 % en moyenne pour la croissance du PIB/habitant par an environ. Le tableau ci-dessous donne les taux de croissance annuels moyens (TCAM) du PIB par habitant pour diverses périodes.

PIB/hab	2017-25	2025-30	2030-40	2040-50	2050-60
TCAM	0,97%	1,34%	1,45%	1,38%	1,49%

L'Insee²⁸ a produit un scénario central en 2021 menant à une population de 69,2 millions d'habitants en 2040 puis 68,7 millions d'habitants en 2060.

La croissance liée au PIB des flux aériens internationaux est forte, proche de 4 %, car tirée aussi par le dynamisme des économies mondiales plus élevé que celui de la France et de l'Europe. Des progrès des émissions des moteurs sont pris en compte dans ce tendancier à hauteur de 1,4 % par an.

3.2 Résumé des hypothèses relatives à la motorisation

Le véhicule électrique (VE) se développe avec la forte baisse du coût des batteries, avec 6 % des ventes neuves en France²⁹ en 2020.

On retiendra ici l'hypothèse de production électrique la plus favorable, avec une électricité très décarbonée. Il reste inévitablement des émissions en amont de l'électricité. L'extraction minière, la construction du véhicule et de sa batterie, et sa déconstruction émettent aussi des GES. Les émissions par véhicule-km pourraient être divisées par 4 en ACV³⁰. (ambiance « technologique moyenne »)

²⁶ D'après France stratégie, <https://www.strategie.gouv.fr/sites/strategie.gouv.fr/files/atoms/files/estimation-des-c3a9lasticitec3a9s-des-trafics-routiers-et-ferroviaires-au-pib1.pdf>

²⁷ Moyenne d'une source OACI <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-01305412/document> et d'une source DGAC https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/Notes_thematiques_N06_mars_2007.pdf

²⁸ Voir : <https://www.insee.fr/fr/statistiques/5893969>

²⁹ Mais déjà plus de 50 % des ventes neuves en Norvège (électrique + hybride rechargeable)

³⁰ Analyse en cycle de vie

Même avec une extraction minière et une fabrication davantage décarbonées³¹, un allongement de la durée de vie de la batterie, ainsi que du recyclage, il semble difficile d'aller au-delà d'une division des GES par véhicule-km par 8 en ACV en 2060. (ambiance « technologique haute »).

Est pris en compte une tendance annuelle à la baisse de 1 % par an des émissions des VP à moteur thermique (1,2 % en hypothèse haute et 0,8 % en hypothèse basse) tant qu'il en existe.

Des normes d'émissions des véhicules neufs sont déjà fixées en Europe en gCO₂ moteur/veh-km pour 2030. Elles pourraient ensuite être renforcées et inclure des éléments en ACV, car la part des GES liée à l'empreinte du véhicule serait majoritaire.

3.3 Simulations du FIT sur la mobilité partagée associée aux TCU lourds dans les grandes villes, et modalités de leur extrapolation à l'ensemble du territoire

Des simulations détaillées du³² FIT (OCDE) en 2019 montrent qu'un système de véhicules partagés pourrait réduire de 30 % les GES dans les grandes villes. Le cas de l'aire du grand Dublin montre qu'un tel système pourrait être viable dans cette vaste zone, dont la densité de 200 hab/km² est assez modérée (Seine-Maritime), si on met en place une péréquation tarifaire favorable aux banlieues éloignées.

Une extrapolation a été effectuée pour les territoires de moyenne densité (en dessous de 200 hab/km² mais au-dessus de 100 hab/km²) avec des effets moitié moindres en baisse de GES.

Les simulations montrent que les temps d'attente y restent très modérés, et compensés par la décongestion. Des voies réservées covoiturage rendent le partage des véhicules attrayant. Ce système est basé sur un dispatcheur central appariant en temps réel offre et demande. Les aspects qualitatifs ne sont pas à négliger : confiance dans les autres passagers à bord, attentes à l'abri et avec services (café, ...) aux correspondances, garanties de délai raisonnable.

³¹ Une part de biogaz est également envisageable.

³² Lisbonne, Helsinki, Auckland, Dublin, Lyon Le modèle ayant servi à la calibration est celui de Dublin <https://www.itf-oecd.org/shared-mobility-dublin>

2035 ?

Comparison

Case studies, full replacement	% Reduction to baseline	
	Vkm (weighted)	CO ₂ emissions
Lyon metropolitan region	54	51
Greater Dublin Area	38	42
Helsinki metropolitan area	23	28
Auckland metropolitan area	51	54
Lisbon metropolitan area	48	62

Baseline	Heavy capacity	Bus	Car	Walk + cycling
Lyon metropolitan region	12	6	41	43
Greater Dublin Area	12	20	50	19
Helsinki metropolitan area	12	15	41	32
Auckland metropolitan area	below 1	3	82	14
Lisbon metropolitan area	12	20	50	19
Full replacement	Heavy capacity	Taxi-bus	Shared taxi	Walk + cycling
Lyon metropolitan region	21	15	23	41
Greater Dublin area	7	27	36	30
Helsinki metropolitan area	16	19	32	33
Auckland metropolitan area	8	40	39	13
Lisbon metropolitan area	17	38	28	16

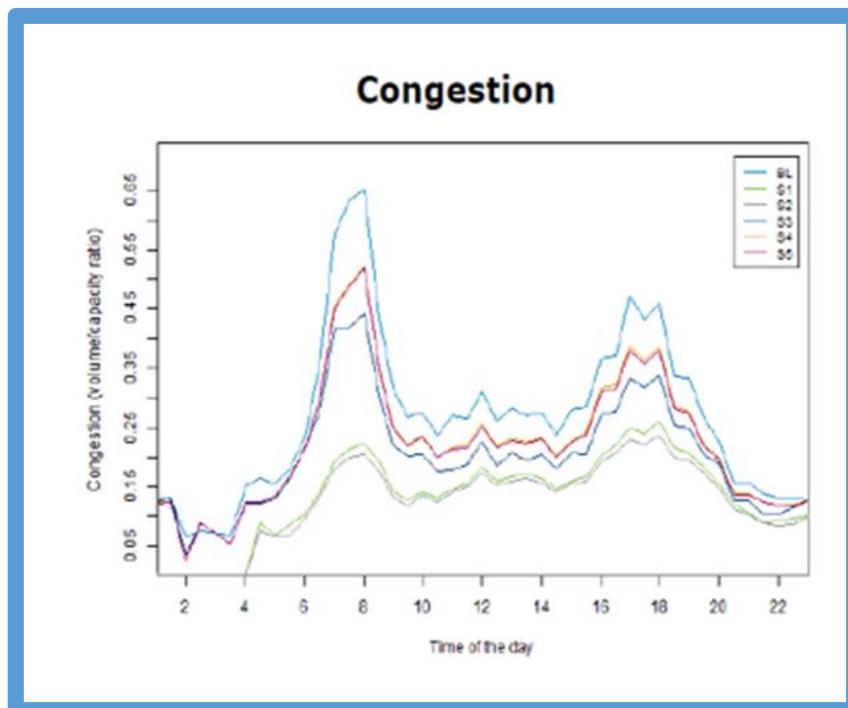
-30% semble de CO₂ raisonnable dans les grandes villes
 Le cas du grand Dublin montre que c'est possible
 avec des densités modérées (type Seine Maritime)
 Covoiturage dynamique avec dispatcheur centralisé

Voies covoiturage

Service type	Service quality					
	Access	On board time	Waiting	Transfer	Comfort	Price
Private Car	★	★	★	★	★	★
Public transport	★	★	★	★	★	★
Shared Taxi	★	★	★	★	★	★
Taxi-Bus	★	★	★	★	★	★
Transfer service to rail, ferry or BRT	★	★	★	★	★	★
Commuting	★	★	★	★	★	★

Source exposé Luis Martinez, FIT OCDE

Rappel : Figure 6 - Source CGEDD d'après FIT



Graphique 28 : Congestion selon les heures-Source : FIT (OCDE) Cas de Lisbonne

Le schéma montre une réduction plus forte des niveaux de congestion aux heures de pointe (scénario en bas du diagramme par rapport au BL (*baseline*) en bleu clair en haut correspondant à la situation actuelle).

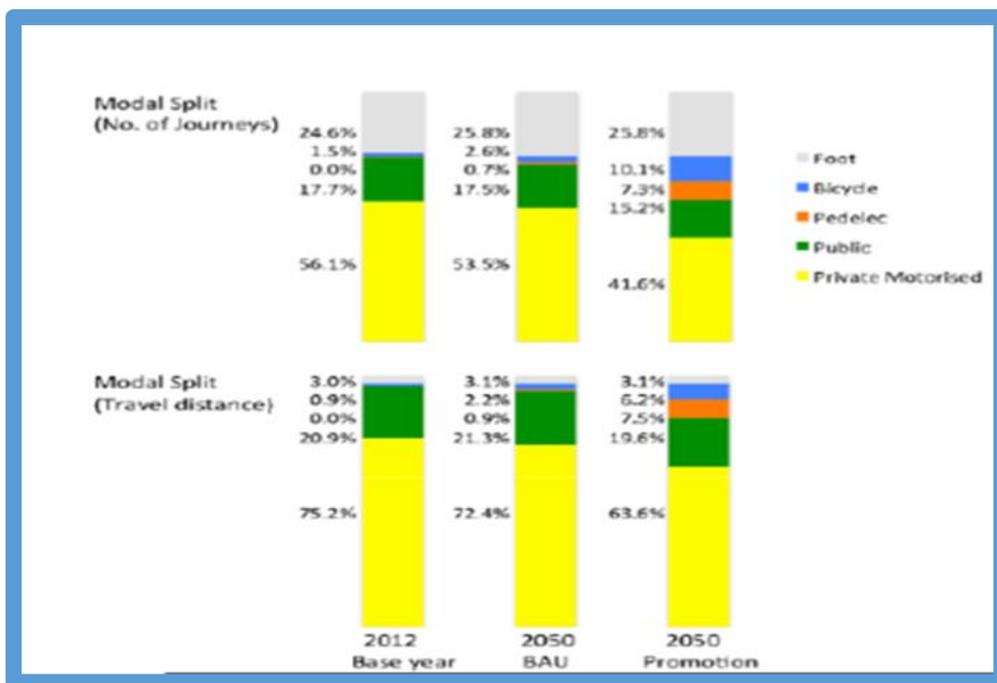
Les scénarios avec le moins de congestion en heure de pointe sont les plus massifiés, et donc aussi les moins émissifs, tant en GES qu'en polluants locaux ou en bruit.

Ce système qui serait complémentaire aux TCU lourds (trains, métros, trams, BHNS, ...) est sensible à l'échange voyageurs près des gares. La centaine de voyageurs en quelques minutes le soir sortant des trains vers des voitures et minibus partagés, pourrait être guidés par une signalétique physique et de la réalité augmentée. Pour les TCU lourds les plus

chargés, des investissements de capacité face à la hausse de trafic (BHNS ou trams capacitaires, automatisation de métros avec plus de fréquence, dispositifs CBTC pour les trains), avec des développements neufs sont à prévoir.

3.4 Mobilités douces et actives

Des itinéraires sécurisés pour les vélos, trottinettes, et VAE sont essentiels pour le report modal vers le vélo, d'après des enquêtes en préférences déclarées³³, avec un potentiel de réduction des émissions de GES de l'ordre³⁴ de 5 %. Un traitement des points durs impliquera des investissements ou des restrictions de la voirie accordée à l'automobile, au-delà d'un simple marquage au sol.



Rappel : graphique 15 - Source : Frédéric Rudolph, université de Wuppertal

3.5 Télétravail, télé-réunions et télécoms

La crise sanitaire a changé le regard sur le télétravail et les substitutions par les télécoms. Si le télétravail concerne aujourd'hui surtout les cadres³⁵ soit 30 % des actifs, ce taux pourrait augmenter, par la numérisation des processus des employés, et des télécoms³⁶

³³ Frédéric Rudolph, Université de Wuppertal et Elisabete Arsenio, LNEC (Portugal) Assessing the market potential of electric bicycles and ICT for low carbon school travel: a case study in the smart city of Águeda

³⁴ Frédéric Rudolph Promotion of Pedelecs as a Means to Foster Low-Carbon Mobility: Scenarios for the German city of Wuppertal <https://d-nb.info/1064498272/34>

³⁵ Enquêtes OFCE printemps 2020. <https://www.ofce.sciences-po.fr/pdf/pbrief/2020/OFCEpbrief67.pdf>

³⁶ Si un chirurgien pourrait télé-opérer, le télétravail ouvrier deviendrait envisageable

plus performantes. Le tout télétravail³⁷ ne semble pas probable, mais deux jours par semaine, pour ceux qui le peuvent, serait envisageable dans la politique de sobriété moyenne.

Avec pour éviter le télétravail à plusieurs dans le même logement, la possibilité d'un tiers lieu de proximité, y compris peut-être en location dans le salon du voisin solidaire, parti à son bureau qui toucherait ainsi un revenu complémentaire. Au-delà d'un effet rebond à court terme³⁸ modéré, il y a à long terme le risque de localisations plus distantes, mais réduit si une part de présentiel est maintenue. Par contre, le *flex-office* pourrait réduire les GES des bureaux, recentrés sur l'échange et la convivialité.

Des réductions de GES pourraient être obtenues sans inconvénient majeur : substitution du déplacement pour les achats par du e-commerce massifié, avec gain de temps pour le client, télé-procédures, et autres actions diverses sur les générateurs de flux³⁹. Les émissions supplémentaires en télécoms⁴⁰ ne changent pas significativement le bilan GES, sauf déplacements très courts.

Pour les déplacements professionnels, l'usage des audio-/visio-conférences ayant émergé lors de la crise sanitaire pourrait être pour partie maintenu, menant à 30 % des déplacements-km en moins, surtout les plus lointains, et des économies pour les entreprises. La hausse des GES télécoms induites serait négligeable par rapport aux GES transport éludés.

Le télé-tourisme par contre semble peu vraisemblable. Les GES pourraient être en revanche un peu réduits par massification des flux (modules moyens plus gros, moindres fréquences, davantage de correspondances) par effet d'échelle.

3.6 Éléments de rétrospective des flux, émissions et parts modales

Ainsi⁴¹, de 1960 à 2017, les voyageurs-km ont été multipliés par 4,7 avec plus 23 % de contre report modal et 27 % de baisse de remplissage. Ce qui a mené à une multiplication par 4,2 des GES, un peu moindre que la hausse de la demande du fait de 34 % de gain d'efficacité énergétique et 10 % d'intensité carbone.

³⁷ Enquête CGT <https://ugictcgt.fr/dossier-presse-enquete-teletravail/>

³⁸ Enquête Ademe <https://bibliothèque.ademe.fr/mobilite-et-transport/3776-caracterisation-des-effets-rebond-induits-par-le-teletravail.html>

³⁹Projet BMA Bretagne mobilité augmentée et dossier des IESF https://www.iesf.fr/offres/doc_inline_src/752/BMA-17.12.14_Assises-contribution-cloture.PDF

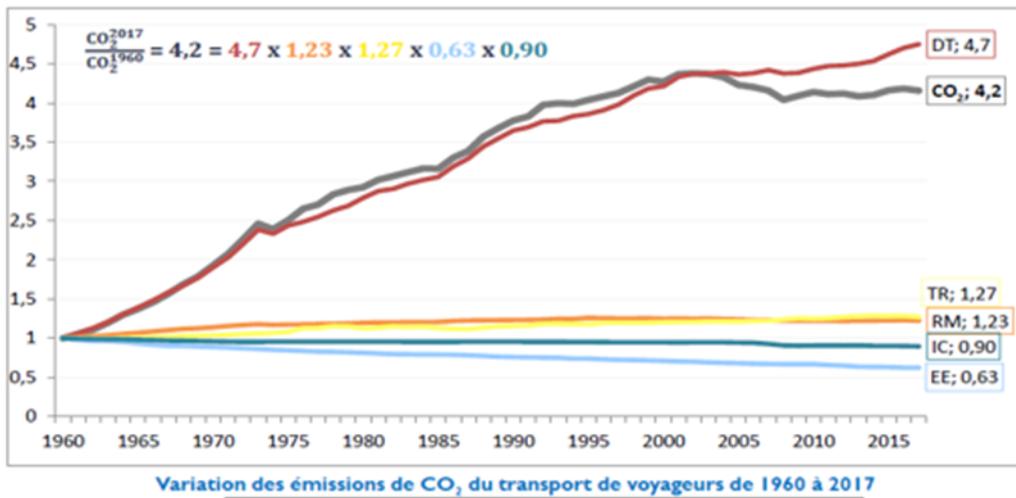
⁴⁰ Voir Belkhin, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095965261733233X?via%3DiHub>

On notera qu'une grande part des GES des télécoms étant liée à l'empreinte des équipements et pas à l'usage

⁴¹ Thèse Aurélien Bigo (identité de Kaya)

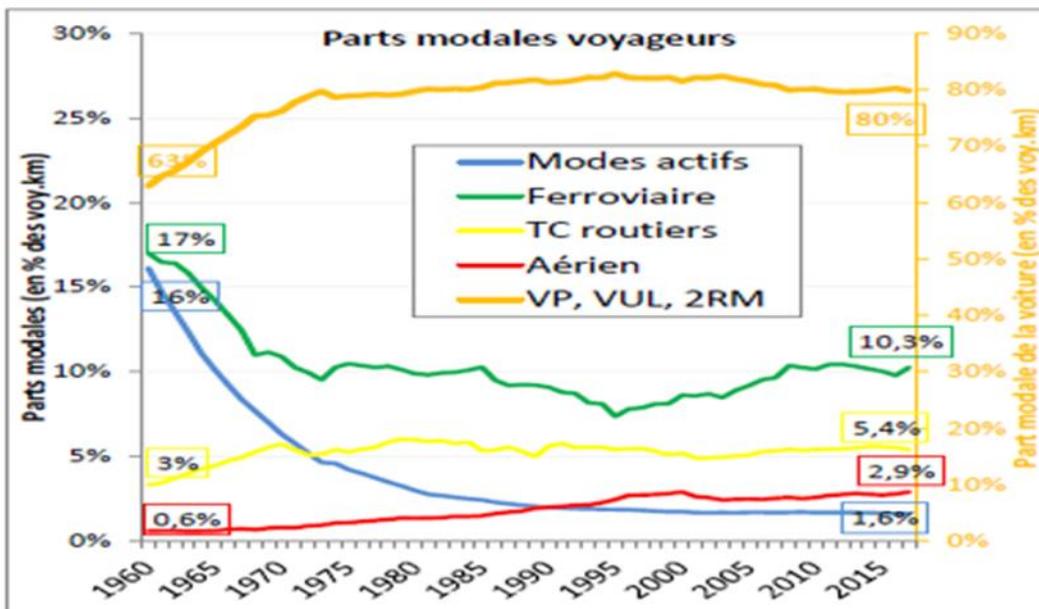
Voyageurs 1960-2017

$$\text{CO}_2 = \text{Demande de transport} \times \text{Report modal} \times \text{Taux de remplissage} \times \text{Efficacité énergétique des véhicules} \times \text{Intensité carbone de l'énergie}$$



Rappel : Graphique 12 - Source : thèse d'Aurélien Bigo 2020

Côté report modal, on ne peut que constater aussi l'effet modéré des politiques menées à ce jour, malgré 40 milliards d'investissements dans les TGV et LGV, ainsi que les investissements dans les TCU et leurs coûts de fonctionnement. Ceci dit, en leur absence, la situation aurait été vraisemblablement pire encore.



Rappel : Graphique 13 - Source : thèse⁴² d'Aurélien Bigo 2020

⁴² Voir : <http://www.chair-energy-prosperity.org/publications/travail-de-these-decarboner-transport-dici-2050/>

3.7 Exploration d'un scénario géographisé de massification renforcée

Un système de mobilité partagée, inspiré de celui du FIT, pourrait être encore plus massifié. Un plus gros véhicule émet nettement moins qu'à proportion du nombre de sièges. Cet effet d'échelle routier⁴³ serait combiné avec un report sur les modes lourds (trains, métros, trams, BHNS lourds,...) en zone centrale et sur les grands axes.

La contrepartie de la massification serait la hausse des temps d'attente. On aboutirait à un système inspiré de celui des taxis collectifs fréquent dans les pays émergents, en bénéficiant toutefois de l'informatique du XXIème siècle pour un appariement efficace.

Le modèle ci-dessous⁴⁴ illustre comment on pourrait optimiser la vitesse généralisée écologique, ratio entre la distance divisée par la somme du temps de trajet, du temps de travail pour payer le trajet et du temps pour restaurer les dommages environnementaux occasionnés.

$$\text{Vitesse généralisée écologique} = \frac{\text{Distance}}{T_Voyage + T_Non_qualité + T_Travail + T_Environnement}$$

T_Voyage : Le temps du voyage

T_Non_qualité : Le temps ressenti supplémentaire lié aux insuffisances de qualité

T_Travail : Le temps de travail nécessaire pour se payer le voyage

T_Environnement : Le temps de travail pour restaurer la dégradation de l'environnement causée par le voyage

On note :

VAC la valeur d'action carbone que la société donne à l'économie d'une tonne de CO₂

VT la valeur du temps du voyageur par heure

x l'emport moyen

eM l'effet d'échelle des émissions à l'emport

eT l'effet d'échelle du temps passé à l'emport

v la vitesse

⁴³ Inévitable car la route dépasse 60 % de part modale

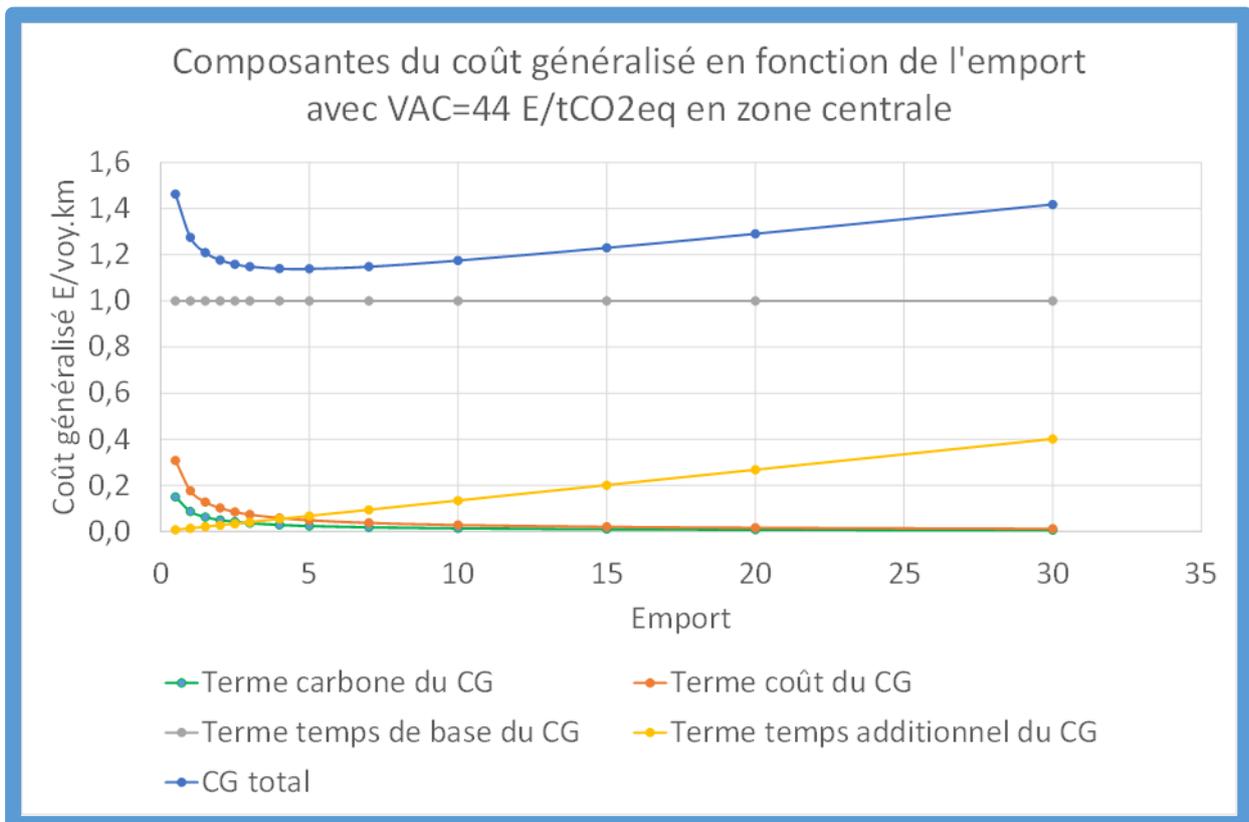
⁴⁴ Il s'agit d'un modèle de type stratégique. Évidemment, la réalité est bien plus complexe, par exemple les temps d'attentes seraient à pondérer au vu de leur ressenti (*a priori* mauvais pour les correspondances, et plutôt bon pour l'attente au départ si le temps peut-être facilement valorisé par le voyageur). Par ailleurs, dans un tel système, un déplacement pourrait parfois être composé de plusieurs trajets articulés entre eux, dans un ou plusieurs modes, et la longueur des trajets unitaires résulterait également d'une optimisation. D'un côté plus chaque trajet unitaire est long, moins il y a besoin de correspondances mais de l'autre côté, plus il y a un risque de temps d'attente long pour qu'un véhicule se dirige dans la direction souhaitée. Le résultat des optimisations peut également dépendre des heures de passage et du degré de solidarité entre les heures ou les zones.

M, C et Z des paramètres dépendant respectivement des technologies de motorisation, de coût de véhicule, et de la densité de la zone.

Le voyageur minimise son coût généralisé CG, somme du coût carbone, des autres coûts, du temps d'attente et du temps hors attente soit, pour 1 voy.km :

$$CG = \frac{M * VAC}{x^{1-eM}} + \frac{C}{x^{1-eM}} + (Z * VT * x^{eT}) + \frac{VT}{v}$$

L'emport optimal ressort à cinq voyageurs en zone dense actuellement avec VAC=44 €/tCO₂eq, proche de 89 % de voyageurs en voiture avec emport de 1,4 ; 8 % en bus avec emport de 10, et 3 % en TCU lourds avec emport de 100.



Graphique 29 : Composantes du coût généralisé en fonction de l'emport avec VAC=44 €/tCO₂eq en zone centrale ; Source : Prospective 2040-2060, CGEDD-France Stratégie, 2022.

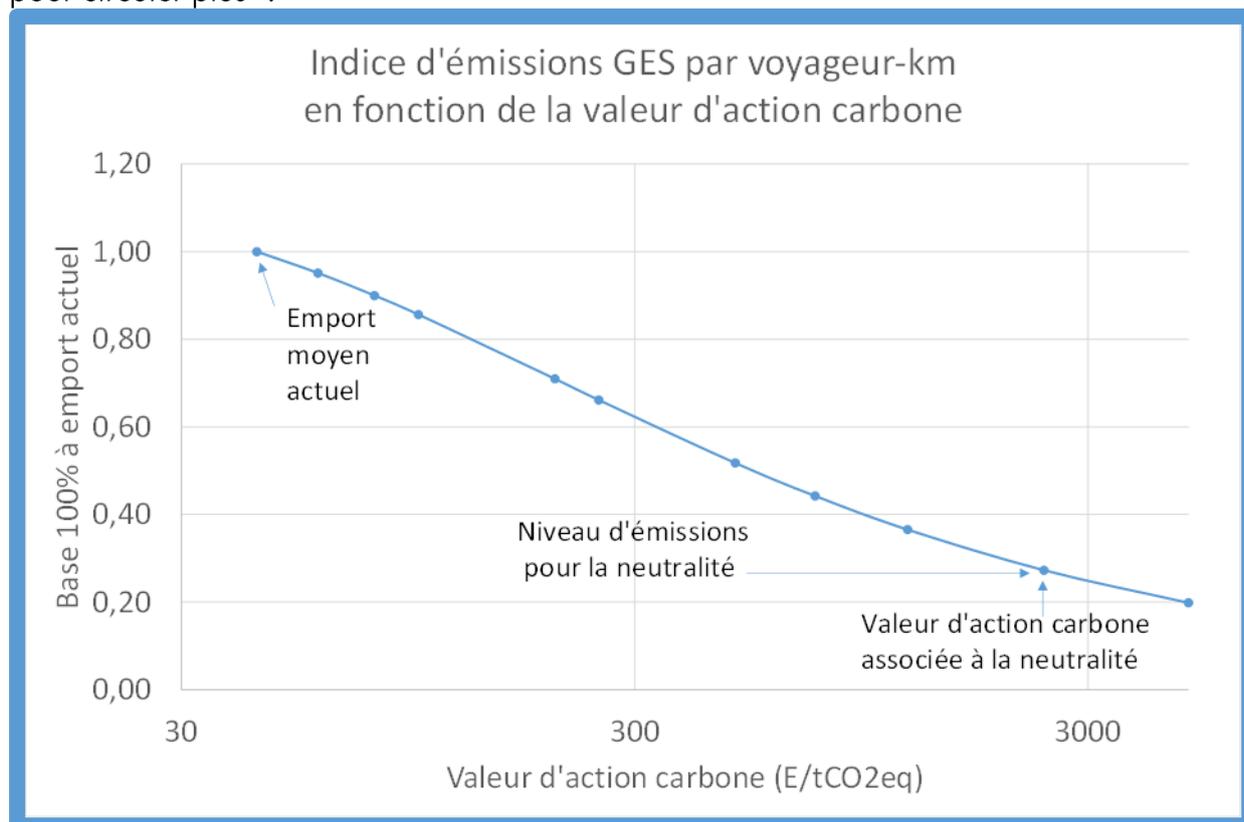
Clé de lecture : avec un emport de 30 personnes par véhicule en moyenne, le coût généralisé se situe à 1,4 €/voyageur-km, dont 1 euro pour le temps de base, 0,4 euros pour le temps additionnel, les autres termes du coût généralisé étant très faibles par rapport aux premiers dans ce cas massifié ; en revanche, avec un emport d'une personne en moyenne, le coût généralisé total se situe à 1,46 €/voyageur-km, dont le terme de carbone se situe à 0,18 euros et le coût de production à 0,32 €/voyageur-km, le terme de temps additionnel étant en revanche nul dans ce cas très peu massifié

L'emport moyen optimal est :

$$x^* = \left[\frac{((M * VAC) + C) * (1 - eM)}{Z * VT * eT} \right]^{\frac{1}{1+eT-eM}}$$

Quand la VAC monte, l'import optimal croît, et donc les GES décroissent par effet d'échelle. Pour atteindre la neutralité, il faut multiplier les GES par 0,4=25/55. Mais probablement il sera plus difficile de bénéficier d'un effet de massification dans l'aérien, ce qui amène un besoin de réduction plus fort en terrestre, autour de 0,3. On obtient une VAC compatible avec la neutralité autour de 2400 €/tCO₂eq (dans une hypothèse de division des gCO₂/veh-km par 5,2 seulement), par massification. Une réduction des vitesses interurbaines pourrait sûrement baisser un peu cette estimation.

C'est élevé, mais beaucoup moins que la VAC par hausse des prix (25 000 €/tCO₂eq), montrant qu'on s'est approché de l'efficacité. Autrement dit, on peut « massifier plus pour circuler plus ».



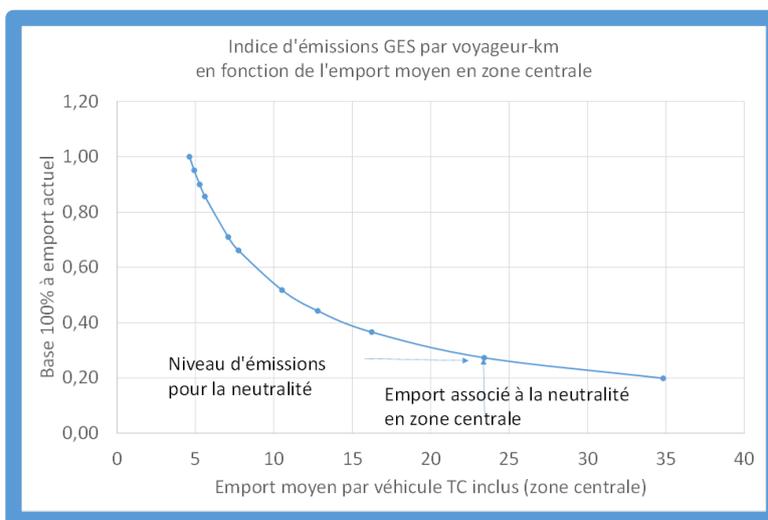
Graphique 30 : Indice d'émissions GES par voyageur-km en fonction de la valeur d'action carbone
 Source : Prospective 2040-2060, CGEDD-France Stratégie, 2022.

Clé de lecture : avec une valeur d'action carbone à 2400 €/tCO₂eq, l'indice d'émissions en GES par voyageur-km se situe à 0,22 fois la valeur actuelle ; avec une valeur d'action carbone à 44 €/tCO₂eq (TICPE actuelle) le même indice se situe à 1, soit la valeur actuelle ; l'échelle horizontale est logarithmique

Graphique obtenu avec l'ambiance technologique haute, menant à :

M	0,0019567	E/tCO ₂ eq
C	0,176	E

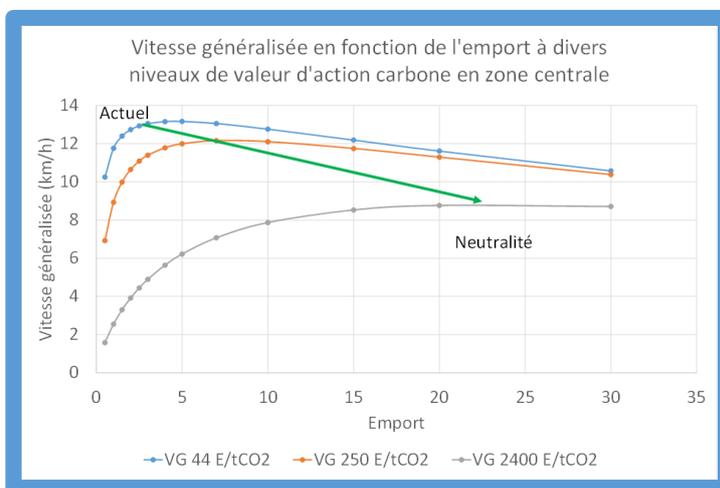
Le graphique ci-dessous illustre l'effet d'échelle lié à la massification⁴⁵ (zone centrale), avec $eM=0,2$ (estimé sur les différences entre une voiture et un bus).



Graphique 31 : Indice d'émissions GES par voyageur-km en fonction de l'emport moyen en zone centrale : Source : Prospective 2040-2060, CGEDD-France Stratégie, 2022.

Clé de lecture : avec les hypothèses sous-jacentes, la neutralité carbone des mobilités des passagers se situe avec un emport moyen de 24 personnes, et un indice d'émissions de GES par rapport à la situation actuelle de 0,22

Globalement, la vitesse généralisée décroît quand la valeur d'action carbone croît mais le recours à une massification croissante permet d'en limiter l'effet en restant à l'optimum de chaque situation, comme l'indique la flèche qui montre le parcours du couple emport*vitesse généralisée quand la valeur d'action carbone augmente vers celle qui correspond à la neutralité.



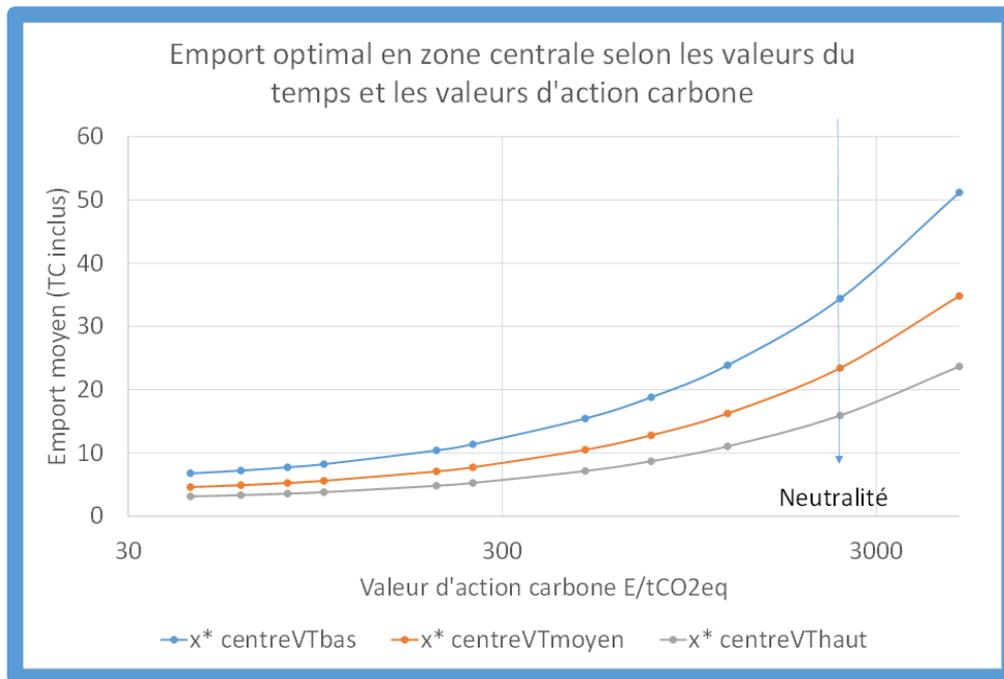
Graphique 32 : Vitesse généralisée en fonction de l'emport à divers niveaux de valeur d'action carbone en zone centrale

Source : Prospective 2040-2060, CGEDD-France Stratégie, 2022.

Clé de lecture : en zone centrale, avec une valeur d'action carbone de 44 €/tCO₂eq, la vitesse généralisée optimale est de 13 km/h correspond à un emport de 4 personnes; avec une VAC de 250 €/tCO₂eq, elle est de 12 km/h et se situe à un emport de 7 personnes, et avec une VAC de 2400 €/tCO₂eq, elle est de 8,6 km/h et se situe à un emport de 22 personnes;

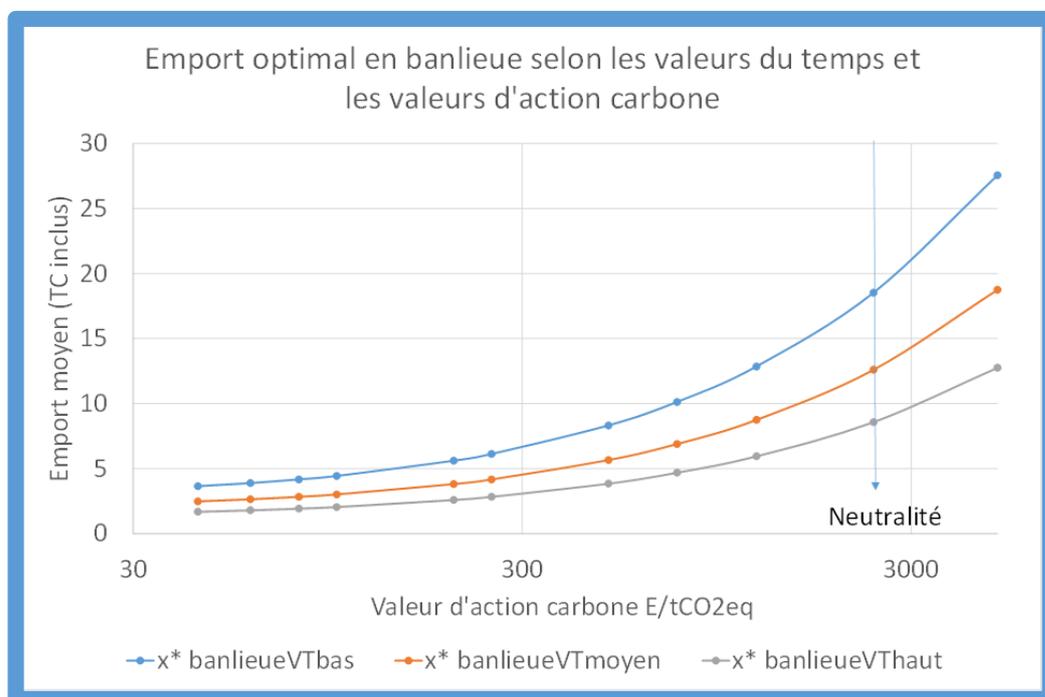
⁴⁵ En pratique, il y a une granulométrie (vélo, voiture, minibus, midibus, bus; bus articulé, tram, métro, train,...) mais qui ne change pas les principes de l'analyse, à part des effets probables des indivisibilités.

Quand la valeur du temps VT augmente, l'emport moyen optimal diminue, car le voyageur est moins prêt à attendre d'être regroupé.

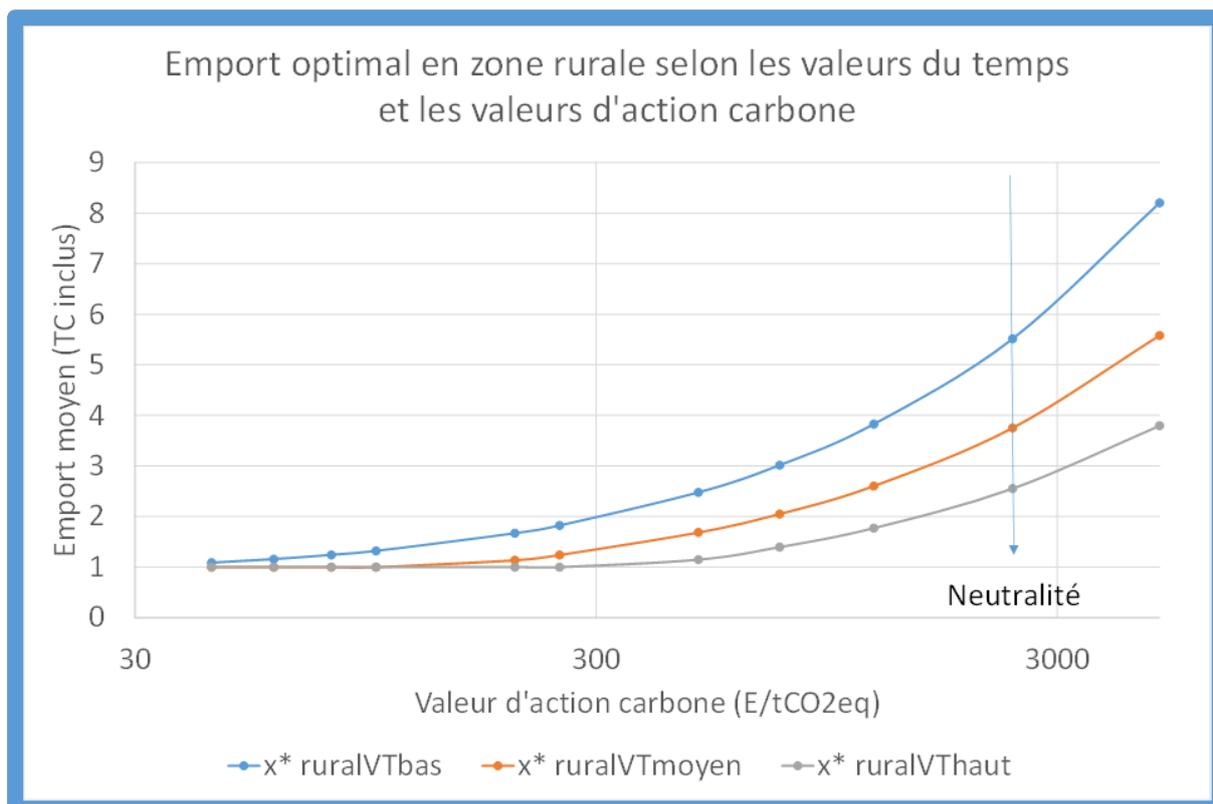


Graphique 33 : Emport optimal en zone centrale selon les valeurs du temps
 Source : Prospective 2040-2060, CGEDD-France Stratégie, 2022.

Clé de lecture : avec une valeur d'action carbone de 2400 €/tCO₂eq, les emports optimaux sont de 34, 23 et 16 personnes selon les valeurs du temps basse, moyenne et haute respectivement



Graphique 34 : Emport optimal en banlieue selon les valeurs de temps et les valeurs d'action carbone
 Source : Prospective 2040-2060, CGEDD-France Stratégie, 2022.



Graphique 35 : Emport optimal en zone rurale selon les valeurs du temps et les valeurs d'action carbone
 Source : Prospective 2040-2060, CGEDD-France Stratégie, 2022.

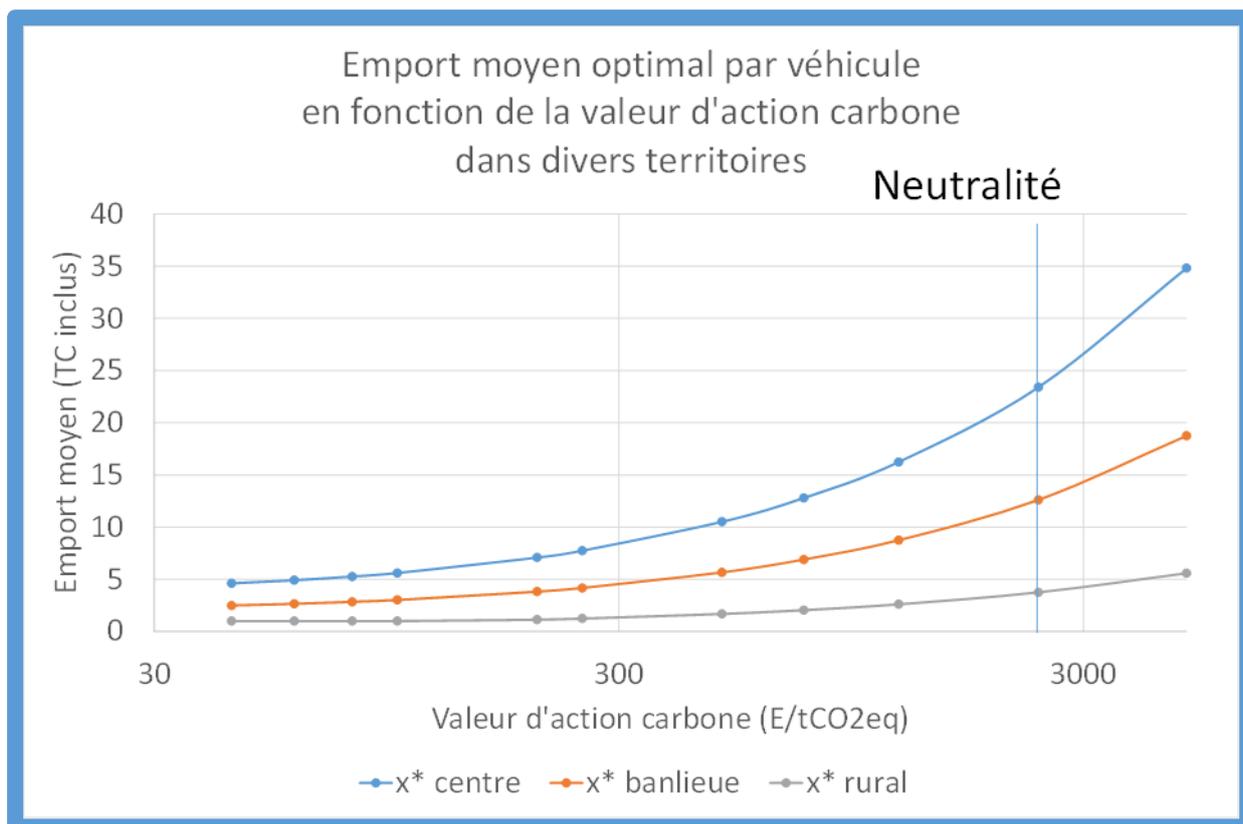
La valeur du temps retenue est de 15 €/voy.h en base, 30 €/voy.h en variante haute et 7,5 €/voy.h en variante basse.

L'emport moyen optimal croît avec la densité de trafic de la zone ou l'axe. Trois cas types sont retenus ici pour estimer Z : par sens, en zone centrale, 5 voy/mn, en banlieue 1 voy/mn et en rural ou banlieue éloignée 1 voyageur toutes les 3 mn⁴⁶.

eT=1 du fait de la linéarité de l'attente avec le degré de massification.

Z (zone centrale)	0,000891	voy.h
Z (banlieue)	0,002714	voy.h
Z (rural ou banlieue éloignée)	0,024038	voy.h

⁴⁶ Et des flux plus faibles aux heures creuses, donc moins d'emport aussi.



Graphique 36 : Emport moyen optimal par véhicule en fonction de la valeur d'action carbone dans divers territoires
Source : Prospective 2040-2060, CGEDD-France Stratégie, 2022.

Dans la situation actuelle (VAC=44 €/Mt CO₂eq), l'emport optimal en banlieue obtenu est de 2,5, par exemple 91 % en voiture (1,4 voy), 8 % en bus (10 voy) et 1 % en TCU semi lourds (40 voy).

Pour grouper cinq voyageurs dans une voiture de cinq places si le flux est de 5 voy/mn, le dernier attendra 1 mn. Si le flux est d'un voyageur toutes les 3 mn, il attendra 15 mn, ce qui est très défavorable. La densité est donc l'ennemie de la massification.

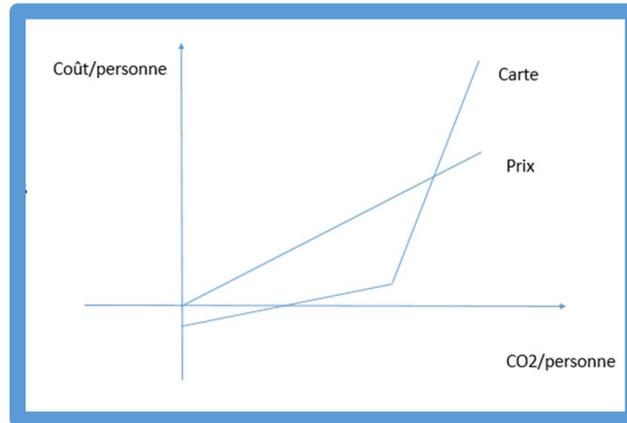
En zone rurale, l'emport optimal ne dépasse pas 2 jusqu'à une VAC de 750 €/t CO₂eq. La massification y est peu opérante, un partage de véhicule minimaliste ou l'usage de vélo ou VAE serait à privilégier pour les déplacements locaux ou rejoindre un point de regroupement sur la grand-route.

Un modèle similaire pourrait également être construit pour étudier les possibilités de massification du transport aérien. Dans une certaine mesure, probablement moindre qu'en mobilité terrestre, l'usage d'avions plus massifiés pourrait réduire les GES, au prix d'un plus grand nombre de correspondances.

Un modèle analogue devrait être construit pour ce qui concerne une optimisation des vitesses. Le sujet concerne probablement surtout une partie des trajets interurbains, dans la mesure où les vitesses urbaines sont largement déterminées par des considérations de sécurité routière. Là aussi, lorsque la valeur d'action carbone augmente, la vitesse optimale décroît en général.

3.8 Aperçu sur le fonctionnement possible d'un système de limitations quantitatives échangeables

On pourrait aussi recourir à des limites quantitatives. Une carte carbone donnerait un droit à émettre d'une quantité plafond par an, avec des possibilités d'acheter⁴⁷ des quotas supplémentaires en cas de dépassement à ceux qui en auraient à revendre.



Rappel : Graphique 16 – Carte carbone élargie
 Source : Prospective 2040-2060, CGEDD-France Stratégie, 2022.

Le point d'inflexion de la courbe « carte » carbone correspond à la quantité protégée (« essentiel ») au-delà de laquelle il convient d'acheter des points pour répondre à des attentes « non essentielles », dont le prix carbone unitaire (pente) est plus élevé.

L'ordonnée à l'origine correspond à la redistribution pour celui qui n'émet pas. En dessous de la quantité protégée, la pente résulte d'une taxe carbone modérée.

Ce système présente le mérite d'organiser de manière directe une nécessaire redistribution sociale et territoriale. Elle peut certes théoriquement accompagner une taxe carbone, mais peu acceptable si la taxe est vécue comme une perte sèche pour celui qui ne voit pas le lien avec les dépenses publiques. Certains travaux⁴⁸ indiquent de ce fait une meilleure acceptabilité d'une telle approche en quotas qu'en taxe, sauf pour les plus riches.

Marché de quotas de carbone : simulation du comportement des ménages :

Avec niveau de quota moyen = contrainte moyenne :			
	Se déplace beaucoup spontanément	Se déplace moyennement spontanément	Se déplace peu spontanément
Riche	Achète des quotas	Neutre	Vend des quotas
Moyen	Achat de quotas et/ou modération du déplacement	Neutre	Vend des quotas
Pauvre	Modération du déplacement	Neutre	Vend des quotas

Avec niveau de quota strict = contrainte forte :			
	Se déplace beaucoup spontanément	Se déplace moyennement spontanément	Se déplace peu spontanément
Riche	Achète des quotas	Achète des quotas	Vend des quotas
Moyen	Achat de quotas et/ou modération du déplacement	Achat de quotas et/ou modération du déplacement	Vend des quotas
Pauvre	Modération du déplacement	Modération du déplacement	Vend des quotas

Avec niveau de quota pas strict = niveau de contrainte faible :			
	Se déplace beaucoup spontanément	Se déplace moyennement spontanément	Se déplace peu spontanément
Riche	Achète des quotas ou a suffisamment de quotas pour couvrir ses déplacements	Vend des quotas	Vend des quotas
Moyen	Achète des quotas ou a suffisamment de quotas pour couvrir ses déplacements	Vend des quotas	Vend des quotas
Pauvre	Modération du déplacement ou a suffisamment de quotas pour couvrir ses déplacements	Vend des quotas	Vend des quotas

Légende
 Non contraint (vert)
 Contraint (orange)
 Moyennement contraint (jaune)

Rappel : Figure 10 - Marché de quotas de carbone et simulation du comportement des ménages
 Source : Marion Buisson, stage ENPC au CGEDD 2020

⁴⁷ Avec des taxes sur les transactions en variante finançant des investissements appropriés.

⁴⁸ Voir Charles Raux, Laet

Les quotas pourraient ne pas être individuels mais plus collectifs, en les imposant non pas aux voyageurs mais aux entités d'organisation de la massification. Rémunérées par le trafic pour les inciter à produire une offre de qualité, elles devraient acheter, à ceux qui en auraient trop, des quotas s'ils n'ont pas atteint les objectifs attribués de plafond GES.

Pour les déplacements interurbains terrestres et aériens, la maximisation⁴⁹ de l'activité touristique (hébergement, services, transports,...) ou la minimisation des GES mène à voyager moins souvent en intercontinental en y groupant plusieurs voyages⁵⁰, et en privilégiant des destinations continentales, idéalement desservies en train. Un système de quotas permettrait de garantir de tels changements, au-delà de possibles évolutions spontanées liées à la prise de conscience possible des conséquences du dérèglement climatique.

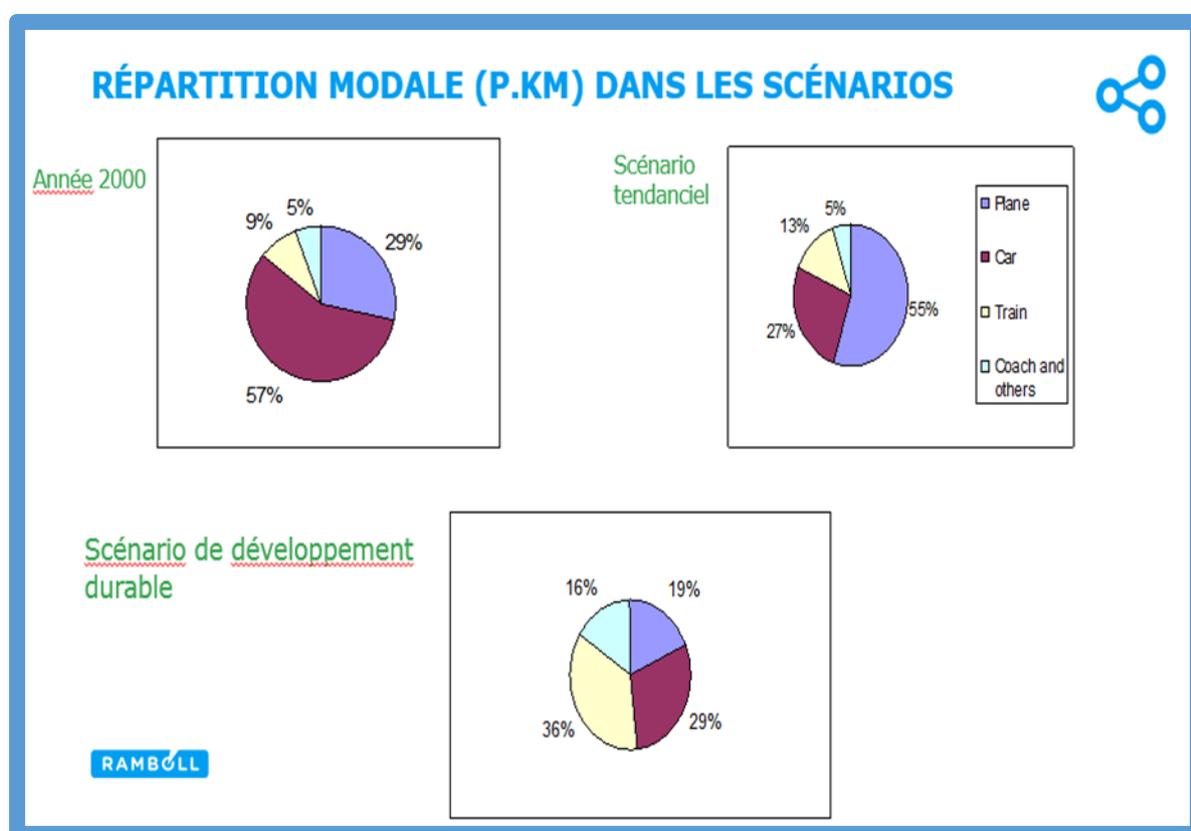


Illustration 17 : Répartition modale (en P.KM=voy-km) dans les scénarios - Source : exposé Jean Paul Ceron (Université de Limoges) et Ghislain Dubois (Ramboll) (l'avion est en bleu), la voiture en rouge, le train en jaune, l'autocar et divers en vert)

Les GES pourraient être comptés en s'appuyant par exemple sur un système proche de celui des miles aériens. Un choix pourrait être proposé entre taxe carbone ou bien

⁴⁹ Voir Jean-Paul Ceron et Ghislain Dubois

⁵⁰ Schéma pouvant être facilité par le télétravail à destination, ou pendant le trajet dans un mode moins rapide et moins émissif (TGV, train,...)

adhésion à un centre de gestion de quotas agréé, évitant la difficile gestion de quotas obligatoires. Ceux qui ne voudraient pas adhérer au système pourraient toujours faire le choix d'une taxe. En relevant son niveau progressivement, et avec des offres massifiées de bonne qualité, les adhérents à la carte carbone pourraient devenir majoritaires.

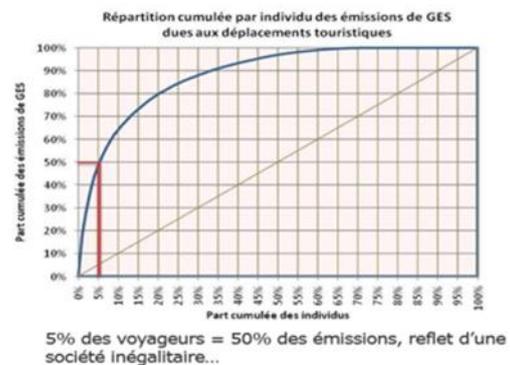
Ce système pourrait aider à réduire les GES des hypermobiles, préservant des possibilités raisonnables de mobilité pour tous. 20 % de la population émet 50 % des GES de la mobilité terrestre⁵¹ et 80 % de celles en avion⁵². Au plan global,⁵³ la situation pourrait être encore plus contrastée.

• Km auto : 20% font 50% des GES



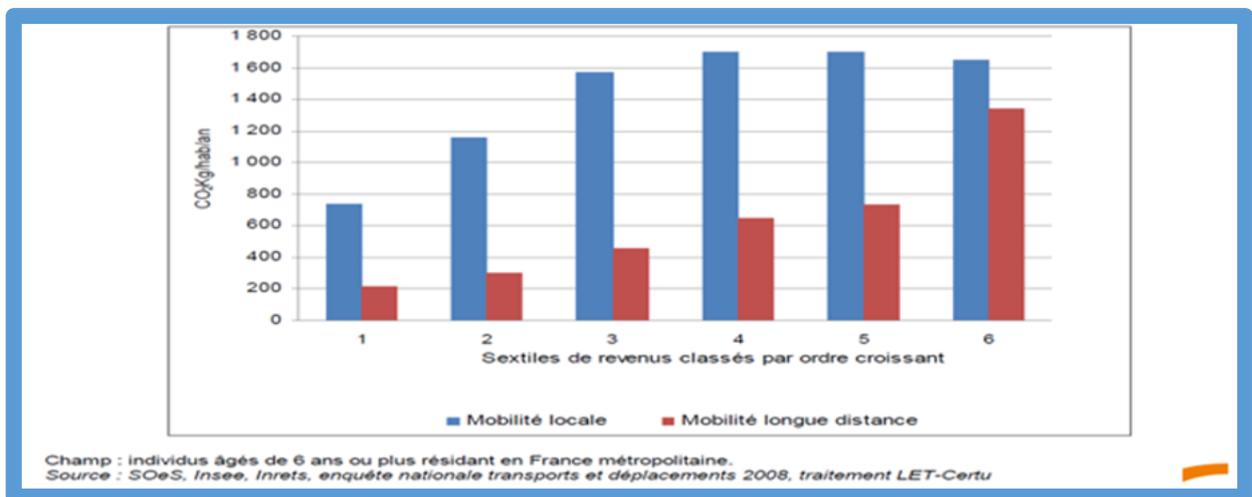
La carte carbone permet un quota d'usage à prix raisonnable pour tous
Source exposé Damien Verry

Tourisme (dont air) : 20% font 80% des GES



Source exposé JP Ceron G Dubois

Rappel : Figure 9 – Part des hyper-mobiles dans les déplacements automobiles et touristiques



Graphique 37 : Émissions annuelles de CO₂, liées aux déplacements des résidents selon le niveau de revenus des ménages par habitant (revenus par unité de consommation) : source exposé Damien Verry (Cerema) d'après enquête ENT D

⁵¹ D'après Damien Verry, Cerema

⁵² D'après Jean-Paul Ceron (sur base enquête tourisme)

⁵³ D'après Oxfam, les 1 % les plus riches émettent deux fois plus de GES (tous secteurs) que les 50 % les plus pauvres au niveau mondial.

Des cas d'exemptions seraient toutefois à prévoir, car certains hyper-mobiles voyagent pour des visites à des proches très loin, du fait de lieux de travail subis éloignés au sein d'un couple, de déplacements professionnels à fort enjeu pour l'emploi.

Un problème toutefois étant que la substitution des transports par les télécoms pour maintenir l'effet d'agglomération est imparfaite sur le plan qualitatif, menant vraisemblablement à des conséquences négatives sur l'activité économique.

Sur le plan des grands principes du droit, on peut rappeler que la Constitution prévoit qu'une restriction des libertés doit être « appropriée, nécessaire et proportionnée »⁵⁴. Ce principe pourrait donner les garanties pertinentes relatives à d'éventuelles limites à la liberté d'aller et venir rendues nécessaires en cas de crise écologique majeure.

⁵⁴ Jean-Marc Sauvé, Vice-président honoraire du Conseil d'État

Annexe 4: Aperçu de synthèse des ambiances technologiques et des politiques de sobriété

Ambiances technologiques

Ambiance HAUTE	<p>100 % VL électriques ou autres décarbonés, à la vente en 2040, 100 % dans le parc en 2060,</p> <p>avec progrès de durée de vie batterie</p> <p>et de la décarbonation de la production, déconstruction, recyclage menant à une division des émissions unitaires par 8 en ACV en 2060.</p> <p>Avions 100 % décarbonés en 2060 (électrique à moins de 1000 km, et agro-carburants),</p> <p>ou en variante 40 % H₂ et 60 % agrocarburants en 2060.</p> <p>Inflexion forte de trajectoires pour économiser 60 % de la vapeur d'eau émise lors des traînées de condensation.</p>
Ambiance MOYENNE	<p>100 % ou presque de VL électriques ou autres décarbonés, à la vente en 2040, 100 % dans le parc en 2060,</p> <p>menant à une division des émissions unitaires de CO₂ par 4 en ACV en 2060.</p> <p>Avions 50 % décarbonés en 2060 (incorporation agro-carburants).</p> <p>Inflexion moyenne de trajectoires pour économiser 20 % de la vapeur d'eau émise lors des traînées de condensation.</p>
Ambiance BASSE	<p>30 % VL électriques ou autres décarbonés, à la vente en 2040, 30 % dans le parc en 2060,</p> <p>menant à une division des émissions unitaires de CO₂ par 4 en ACV des véhicules décarbonés.</p> <p>Avions 20 % décarbonés en 2060 (incorporation agro-carburants).</p> <p>Pas d'inflexion de trajectoires pour économiser de la vapeur d'eau émise lors des traînées de condensation.</p>

Annexe 5 : Glossaire des sigles et acronymes

Acronyme	Signification
5G et 6G	Télécommunications mobiles de 5 ^{ème} génération et de 6 ^{ème} génération
ACV	Analyse en cycle de vie
AQST	Autorité de la qualité de service dans les transports
AR	Aller- Retour
BHNS	Bus à haut niveau de service
BL	<i>Baseline (scénario de base)</i>
CBTC	<i>Communication based train control</i>
CCFA	Comité des Constructeurs Français d'Automobiles
CCTN	Commission des Comptes des Transports de la Nation (devenue formation transports de la Commission des Comptes et de l'Economie de l'Environnement)
CEREMA	Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement
CETE	Centre d'Etudes Techniques de l'Equipement
CGDD	Commissariat Général au Développement Durable
CGEDD	Conseil général de l'environnement et du développement durable
CITEPA	Centre Technique de référence en matière de Pollution Atmosphérique et de changement climatique
CNIL	Commission nationale informatique et libertés
CO ₂	Dioxyde de carbone
CO ₂ e ou CO ₂ eq	CO ₂ équivalent
COR	Conseil d'Orientation des Retraites
CREDOC	Centre de Recherche pour l'Etude et l'Observation des Conditions de Vie
CREST	Centre de recherche en économie et statistique
DROM	Départements et Régions d'Outre-Mer
ENPC	Ecole nationale des ponts et chaussées
IDDRI	Institut du développement durable et des relations internationales
IESF	Société des Ingénieurs et scientifiques de France
FIT	Forum International du Transport
GES	Gaz à effet de serre
GIEC	Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du climat

Acronyme	Signification
HCC	Haut Conseil du climat
INSEE	Institut National de la Statistique et des Études Économiques
IPBES	Plateforme intergouvernementale scientifique et politique sur la biodiversité et les services écosystémiques
LAET	Laboratoire aménagement économie transports
LGV	Ligne à grande vitesse
LOM	Loi d'orientation des mobilités
NO _x	Oxydes d'azote
OACI	Organisation internationale de l'aviation civile
OCDE	Organisation de Coopération et de Développement Economiques
OMI	Organisation internationale maritime
ONG	Organisation non Gouvernementale
ONU	Organisation des Nations Unies
PIB	Produit intérieur brut
SNBC	Stratégie Nationale Bas Carbone
TC	Transport collectif
TCU	Transport collectif urbain
TER	Train Express Régional
TGV	Train à Grande Vitesse
TICPE	Taxe Intérieure de Consommation sur les Produits Energétiques
UE	Union Européenne
VAC	Valeur d'action carbone
VAE	Vélo à assistance électrique
VE	Véhicule électrique
VP	Voiture particulière
VHR	Véhicule hybride rechargeable
VTC	Voiture de transport avec chauffeur
ZFE-m	Zone à faibles émissions - mobilité

[Site internet du CGEDD : « Les derniers rapports »](#)
[Site internet de France Stratégie : « Publications »](#)