



GOUVERNEMENT

*Liberté
Égalité
Fraternité*

RAPPORT TRANSVERSAL
Février 2022

PROSPECTIVE 2040-2060 DES TRANSPORTS ET DES MOBILITÉS

20 ans pour réussir collectivement
les déplacements de demain

Travaux coordonnés par :

Dominique Auverlot
Pierre-Alain Roche
Alain Sauvant

Avec les contributions de :

Nadine Asconchilo, Francis Beaucire,
Régine Bréhier, Geoffroy Caude, Jean
Colard, Yves Crozet, Pascal Hornung,
Michel Massoni, Jincheng Ni, Michel
Savy et Arnaud Zimmermann

Résumé

Le CGEDD et France Stratégie ont conduit, avec de nombreux experts durant les années 2020 et 2021, une démarche prospective concernant les mobilités couvrant la période de 2020 à 2060, avec des jalons principaux en 2030, 2040, 2050 et 2060.

Cet important travail collectif s'est matérialisé par plusieurs documents : un premier document dit de synthèse résume les principaux messages ; il est accompagné par le présent rapport transversal qui détaille la méthodologie, expose les éléments communs aux diverses démarches entreprises et donne une première vision d'ensemble à travers treize angles d'analyse et huit conséquences pour les politiques publiques. Six rapports thématiques, présentés ci-après, abordent les sujets de façon plus approfondie. Le lecteur trouvera de plus en annexe du présent rapport transversal, les principaux chiffres et indicateurs associés aux différents scénarios élaborés dans le cadre de cette prospective. Enfin, des « tranches de vie », également en annexe, cherchent à illustrer ce que pourraient être dans le futur les déplacements de plusieurs familles.

Les six rapports thématiques :

- Le rapport **mobilité des personnes** a étudié et quantifié les différents scénarios retenus pour le transport de voyageurs ; il part d'une analyse de la situation actuelle de la mobilité des voyageurs terrestres et aériens en France ; il effectue une revue des possibilités des évolutions des flux et des émissions en tenant compte des travaux du groupe motorisation ; sont également explorées les possibilités de réduction de la demande de mobilité des voyageurs, du renforcement de l'usage des modes actifs, ainsi que du renforcement de la massification du transport de voyageurs terrestres aux moyens notamment du covoiturage et des transports collectifs et ferroviaires, en adaptant les politiques esquissées à la diversité des densités des territoires.
- Le rapport **transports terrestres de marchandises et leur logistique** a cherché à éclairer les évolutions possibles des trafics routiers ferroviaires, fluviaux et de la logistique urbaine et celles de leurs émissions de GES en tenant compte des travaux du groupe motorisation sachant que l'enjeu principal est bien celui de la décarbonation du transport routier ; la massification des flux sur les différents modes de transport et le report modal sur le fer et la voie d'eau en lien avec les ports maritimes et les logistiques associées sont un pari qui s'inscrirait en rupture avec les tendances historiques.
- Le rapport **transport maritime de marchandises et ports** s'est efforcé de quantifier les flux maritimes, qui sont essentiellement de nature internationale et d'estimer les émissions de GES associées tant en haute mer qu'au port ; la décarbonation du transport maritime combinera nouveaux moyens de propulsion utilisant des sources d'énergie décarbonée ou neutres en carbone, *design* et *retrofit* des navires et mesures d'exploitation visant à réduire les consommations énergétiques ; un des enjeux importants est celui de la cohérence des décisions prises à ce sujet aux niveaux européen et international à l'OMI.
- Le rapport **mobilités-aménagement** a évalué la contribution d'une politique d'aménagement à la réduction des émissions dues aux transports et à la mobilité. La réflexion s'est appuyée sur la recherche de la forme urbaine idéale à cet égard. Le recours à un polycentrisme maillé et une urbanisation en doigts de gant émerge de l'analyse. Conscient de la difficulté depuis 50 ans à lutter contre la

périurbanisation, le rapport propose schématiquement de viser, pour les plus petites unités, la constitution de gros bourgs d'environ 6 000 habitants, alliant qualité de vie, logement abordable et densité. La réduction des émissions est modeste mais elle ne cesse de croître avec le temps ce qui doit encourager la mise en œuvre rapide d'une telle politique.

- Le rapport **motorisation** a réalisé une revue détaillée des technologies disponibles ou envisageables et quantifié pour chacun des modes de transport les réductions possibles des émissions de gaz à effet de serre. Les analyses menées, à partir d'ACV simplifiées, des différentes motorisations alternatives et des carburants associés montrent la possibilité de gains extrêmement importants dans la réduction des émissions de gaz à effet de serre ; mais leur déploiement suppose la mise en place de leviers économiques adaptés qui soient acceptés de la part des Français : ils doivent donc donner lieu à des politiques redistributives favorables aux premiers déciles.
- Le rapport **risques et incertitudes** a travaillé à « préciser ce que nous ne savons pas », à la fois du point de vue des évolutions des technologies, des possibilités d'évolution des pratiques de mobilité ou bien de l'importance des enjeux de la transition écologique ; il esquisse à cet effet plusieurs méthodes pouvant éclairer les décisions publiques en horizon incertain (notamment Méthode de Monte Carlo, options réelles, info-gap). Il examine également les mérites d'une politique de décision flexible en fonction de l'observation des évolutions des incertitudes.

L'approche proposée présente les principaux traits suivants :

- **Elle met l'accent sur l'urgence climatique et sur les enjeux d'acceptabilité et d'équité sociale**, documente et interroge les questions de sobriété qui sont aujourd'hui au cœur de nombreux débats. Sans ignorer toutes les autres dimensions du questionnement sur les mobilités du futur, elle constate que le plus grand déterminant de celles-ci sera la question de l'empreinte carbone.
- **Elle traite de l'enjeu des émissions de gaz à effet de serre du secteur par une approche en empreinte carbone « complète »** incluant une analyse en cycle de vie des véhicules et des infrastructures. De plus elle élargit le périmètre aux transports internationaux maritimes et aériens concernant la France, qui ne sont pas les secteurs les plus aisés à décarboner. Elle est donc beaucoup plus exigeante que les analyses en émissions à l'usage (périmètre de Kyoto¹) ou en empreinte des carburants concernant les seuls transports terrestres (loi d'orientation des mobilités). En cela elle complète les analyses habituelles faites aux échéances de 2030 et de 2050 par deux grandes échéances au regard de la « neutralité en empreinte complète » en 2040 et 2060.
- **Elle combine des approches dites de « *backcasting* » partant d'un objectif à terme de neutralité carbone complète, et des approches dites de « *forecasting* » qui déroulent des futurs possibles, que ceux-ci soient considérés comme désirables ou non.** Les approches de *forecasting* retracent diverses situations de technologie et de sobriété, mais ne sont pas construites pour atteindre strictement cette neutralité en empreinte complète. Ce sont elles qui ont été les plus discutées dans les ateliers

¹ Les émissions de gaz à effet de serre comprennent, dans le format dit du périmètre de Kyoto, utilisé par la Convention cadre des Nations Unies sur les changements climatiques, les émissions de la France métropolitaine et des Outre-mer inclus dans l'UE, mais n'inclut pas les émissions internationales du maritime et de l'aérien.

thématiques, car elles sont les plus ancrées dans les tendances qui s'amorcent aujourd'hui. Les approches de *backcasting* « neutralité complète » tracent, au regard d'une estimation des puits de carbone affectables au secteur, une trajectoire du « budget empreinte carbone » collectif. Elles distinguent deux variantes mixant de façon contrastée les contributions de la technologie et celle de la sobriété. La plus radicale en terme d'évolution des comportements a été ajoutée à la suite des observations recueillies lors des consultations et relectures d'un premier projet de rapport.

- Elle tente des approches exploratoires pour prendre en compte les incertitudes et les risques dans l'organisation des politiques publiques.

Sept scénarios pour rendre compte des futurs possibles

Afin d'illustrer de manière détaillée l'approche prospective des mobilités, sept scénarios ont été construits selon deux principaux déterminants : les évolutions technologiques et les comportements (Figure 1).

Cinq de ces scénarios relèvent d'une logique de *forecasting*, c'est-à-dire qu'il ne prennent pas l'objectif de neutralité carbone comme une donnée d'entrée :

- Le scénario « ambition de base » intègre l'ensemble des mesures et objectifs décidés aujourd'hui. Les progrès technologiques y sont importants et les comportements plutôt parcimonieux. C'est donc un scénario plus ambitieux qu'une prolongation des tendances actuelles.
- Les scénarios « poussée de sobriété » et « poussée de technologie » considèrent l'un davantage d'efforts en termes de sobriété et l'autre des avancées technologiques plus marquées.
- Le scénario « hypercontraint » fait l'hypothèse qu'en l'absence d'amélioration technologique probante, les contraintes d'usage sont fortement renforcées.
- Le scénario du « pire climatique » allie de faibles progrès technologique et une faible évolution des usages.

Deux autres scénarios ont été construits dans une logique de *backcasting* à partir de l'objectif de neutralité carbone « complète » en 2060, l'un jouant davantage sur les leviers technologiques (« pari technologique »), l'autre sur les leviers comportementaux (« pari sociétal »). Le scénario « pari technologique » retient les mêmes hypothèses technologiques que le scénario « poussée de technologie », mais avec davantage de sobriété. Le scénario « pari sociétal » retient les mêmes hypothèses technologiques que les scénarios « ambitions de base » et « poussée de sobriété », mais est beaucoup plus volontariste que tous les scénarios de *forecasting* en termes de sobriété.

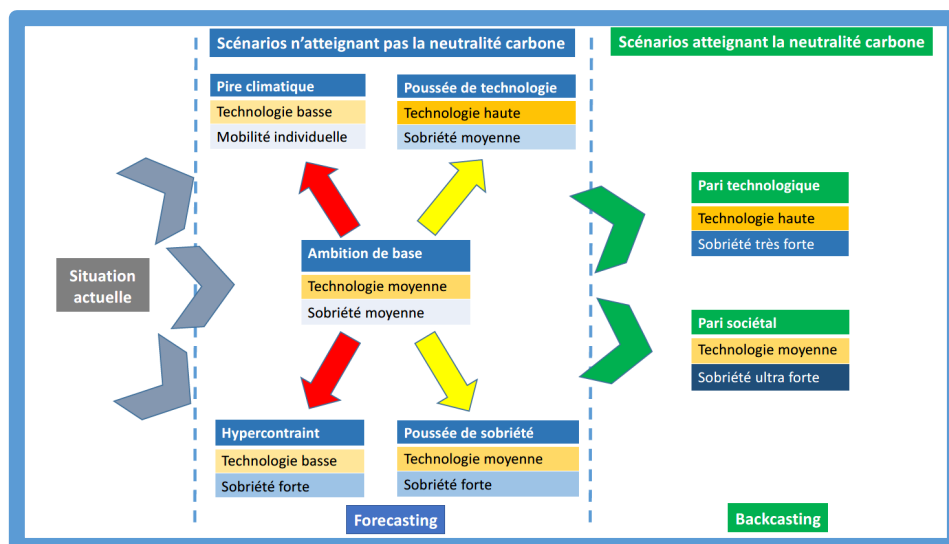


Figure 1 : les scénarios envisagés – Source : CGEDD-France-Stratégie, 2022

Le scénario « ambition de base », affiche une baisse de 59 % de son empreinte carbone par rapport à 2018 (à 122 MtCO₂). Cette baisse serait obtenue malgré une forte progression des déplacements, des ménages comme des marchandises (respectivement +64 % et +50 %).

Seuls les deux scénarios de *backcasting* atteignent (par construction) la neutralité carbone en empreinte à horizon 2060), c'est-à-dire une émission résiduelle de 51 MtCO₂, correspondant à 53 % des émissions négatives (puits de carbone) de l'ensemble des secteurs qui sont estimées à 95 MtCO₂. Le scénario « pari sociétal » suppose une baisse de 14 % du nombre de voyageurs*km, et une stagnation des tonnes transportées. Le scénario « poussée de technologie », qui fait des hypothèses en termes de déplacements très proches du scénario « ambition de base » (8 % de plus de déplacements voyageurs, autant de tonnes transportées) permet néanmoins de s'approcher de la neutralité empreinte (61 MtCO₂), et même d'atteindre la neutralité carbone en émissions.

Situation 2017	Scénarios n'atteignant pas la neutralité carbone						Scénarios atteignant la neutralité carbone		
	2040 2060 unité						2040 2060 unité		
	Pire climatique			Poussée de technologie			Pari technologique		
296 Mt CO ₂	362	470	Mt CO ₂	154	61	Mt CO ₂	154	51	Mt CO ₂
1316 Md voy-km	1869	2599	Md voy-km	1710	2323	Md voy-km	1589	2017	Md voy-km
1823 Md t-km	2448	3299	Md t-km	2206	2743	Md t-km	2130	2173	Md t-km
	Ambition de base						Pari sociétal		
	213	122	Mt CO ₂				142	51	Mt CO ₂
	1690	2155	Md voy-km				1322	1126	Md voy-km
	2206	2743	Md t-km				1871	1815	Md t-km
	Hypercontraint			Poussée de sobriété					
	254	207	Mt CO ₂	200	105	Mt CO ₂			
	1566	1896	Md voy-km	1589	1974	Md voy-km			
	2139	2180	Md t-km	2139	2180	Md t-km			
	Forecasting						Backcasting		

Figure 2 : Les résultats quantifiés des scénarios (Légende détaillée : voir) – Source : CGEDD-France-Stratégie, 2022

Ce rapport transversal envisage treize angles d'analyses ...

- L'urgence climatique surplombe la démarche prospective et conduit à sortir des carburants d'origine fossile d'ici 2050 ; la technologie peut y contribuer beaucoup mais elle ne sera pas suffisante, ce qui nécessite d'agir aussi sur les comportements. La technologie ne pourra cependant se développer que si les leviers économiques et réglementaires nécessaires sont mis en place.
- La sobriété apparaît comme une nouvelle valeur de la mobilité, insuffisamment partagée cependant, tandis que les bienfaits de la vitesse sont remis en question, mais sont toujours réclamés par certains.
- La démographie, et notamment le vieillissement de la population, sont déterminants pour les besoins de mobilité du futur, tandis que les nouvelles générations peuvent être pionnières des nouvelles mobilités.
- Les contraintes sociales et les disparités territoriales seront au cœur du débat du vivre ensemble et de l'acceptabilité, pour réussir à se projeter dans une mobilité décarbonée et imaginer les termes du « nouveau contrat social ».
- Dans une perspective de neutralité carbone, la notion d'aménagement du territoire pose question entre densification des métropoles, polycentrisme maillé, habitat en doigts de gant, pour concilier les aspirations à la sobriété et répondre à l'attente de qualité de vie, d'espace et de logements abordables.
- Les infrastructures de transport ne répondent que partiellement aux défis de la qualité de vie, de la fracture territoriale et du changement climatique ; vieillissantes, elles engendrent des problèmes de qualité de service et elles n'ont pas toujours suivi le développement urbain.
- Entre opportunité et méfiance, la numérisation devrait prendre une place considérable, et modifier de plus en plus nos déplacements ; il faut cependant veiller à ce qu'elle ne crée pas un fossé numérique au sein de la population et à ce qu'elle n'interdise pas un certain nombre de déplacements à ceux qui ne maîtrisent pas (ou ne disposent pas) des outils numériques les plus récents.
- La logistique urbaine est confrontée au développement rapide du e-commerce et de la livraison instantanée, qui fait émerger le besoin de stratégies collaboratives pour une meilleure efficacité environnementale et économique.
- Les modes de transport de fret alternatifs à la route pourraient connaître un renouveau. Celui-ci doit s'appuyer sur des mesures pragmatiques, planifiées avec des objectifs clairs et chiffrés, notamment en terme de coûts.
- Le transport maritime, entre mondialisation et relocalisation, et le transport aérien, perturbé par la COVID-19, doivent s'adapter à la transition énergétique.
- Les déplacements intérieurs de voyageurs sont en transition, à des degrés divers, vers les modes actifs et alternatifs, les transports collectifs, le covoiturage et le véhicule électrique.
- Des incertitudes majeures demeurent dans de nombreux domaines : diffusion des progrès technologiques, acceptabilité sociale et territoriale, gravité des conséquences du dérèglement climatique, etc...
- La crise sanitaire COVID-19 a accéléré certaines tendances : le télétravail, la fuite

des centres villes, le e-commerce ; elle pourrait modifier nos comportements sur le moyen terme et aggraver la difficulté des acteurs à anticiper l'avenir, laissant craindre des procrastinations qui ne seraient pas cohérentes avec l'urgence climatique.

... et identifie huit conséquences pour les politiques publiques

- Partager collectivement les enjeux du climat, l'urgence d'agir et donner de la visibilité à chacun sur l'avenir.
- Mettre en place les mesures d'accompagnement nécessaires à la réussite de la transition énergétique.
- Mettre en place rapidement les leviers économiques (et réglementaires) efficaces de la décarbonation par la technologie.
- Mener des politiques de mobilité visant à la sobriété, adaptées et coordonnées aux différentes échelles géographiques et temporelles pertinentes.
- Instaurer une politique d'aménagement exigeante en capitalisant sur les leçons du passé.
- Amener les pratiques de la logistique urbaine vers la neutralité carbone.
- Piloter dynamiquement les politiques publiques en fonction des évolutions des incertitudes.
- Favoriser le développement des industries permettant la décarbonation du transport et le recyclage.

De ce travail ressortent neuf messages principaux ...

1. **L'urgence climatique surplombe les réflexions sur le futur de la mobilité².** Décarboner presque totalement les transports en une génération constitue un effort considérable et ne se fera pas au dernier moment. Les incertitudes ne doivent pas détourner de l'urgence à agir.
2. **Les usages des transports peuvent connaître des changements profonds.** De nouvelles pratiques, allant vers une mobilité plus mutualisée, plus collective, plus inclusive s'expérimentent au sein de groupes pionniers souvent très jeunes, et permettent de répondre également à des évolutions comme le vieillissement de la population qui génère des besoins spécifiques de commodité des déplacements. La révolution en cours du numérique permet des améliorations notables, mais peut avoir des effets négatifs dont l'identification doit permettre la mise en place d'une régulation pertinente.
3. **Il est possible de définir des politiques de décarbonation robustes,** malgré les incertitudes sur le devenir des technologies et sur l'évolution de nos comportements, sous réserve de les réviser périodiquement.
4. **Des développements technologiques volontaristes, déjà amorcés, pourraient permettre une réduction notable des émissions du transport** mais leur déploiement rapide est loin d'être acquis. La mise en place de leviers

² Les termes de mobilités et de transports employés ici couvrent, sauf précision contraire, à la fois les déplacements des personnes et ceux des marchandises.

économiques et réglementaires précoces est indispensable (interdictions de commercialisation de certaines motorisations à des échéances prévues avec dix ou vingt ans d'anticipation, normes européennes d'émissions, zones à faibles émissions « mobilité » - ZFE-m ...) pour parvenir au résultat. Ils seront d'autant plus efficaces qu'ils seront décidés à l'échelle internationale. Ils ne produiront enfin leur effet que si le chemin est jalonné d'étapes intermédiaires et accompagné à chacune de celles-ci et qu'*in fine* la réalité du marché et des pratiques aura précédé l'entrée en vigueur des mesures d'interdiction. Parmi les solutions possibles, le basculement vers des motorisations électriques pour notamment les voitures et les poids lourds est d'autant plus pertinent que la France présente l'avantage de produire une électricité peu carbonée. La mise en œuvre généralisée à l'échelle mondiale de ces nouvelles technologies reste cependant soumise à la rareté des ressources. Si la décarbonation des motorisations est la priorité la plus visible aujourd'hui, les émissions à la fabrication, à l'usage, au recyclage des véhicules et à la mise en place des infrastructures deviendront des facteurs essentiels comme les usages et le nombre de passagers par véhicules. Pour réduire l'empreinte, il ne suffit pas de convertir les motorisations.

5. **La reconversion de l'industrie française et européenne du secteur, dont le poids économique est important (le chiffre d'affaires cumulé en France de l'industrie automobile et de la filière aérospatiale représente environ 250 milliards d'euros)³, est urgente** pour rester dans la compétition internationale. Elle demande un appui public pour les entreprises et leurs employés et les territoires qui les accueillent. À travers le soutien à ces secteurs, qui représentent plusieurs centaines de milliers d'emplois directs, il s'agit, non pas de chercher à prolonger des industries fortement émettrices de gaz à effet de serre, mais de les aider à se reconverter et à produire des véhicules et des engins décarbonés pour soutenir l'emploi industriel en France.
6. **Le transport de marchandises et la logistique qui lui est associée sont indispensables à notre économie et à sa compétitivité** dans un espace européen et international très concurrentiel. Ces secteurs sont vitaux dans la mesure où ils sont au service de l'ensemble des entreprises françaises, qu'elles soient industrielles, agricoles ou de distribution, exportatrices ou importatrices. Ces secteurs riches en emploi connaissent des évolutions fortes des conditions de travail et des statuts associés. Dans les trajectoires vers la neutralité carbone, ils vont fortement évoluer : la décarbonation des modes routiers et maritimes, la massification des transports par voie terrestre ou maritime, le report modal et l'optimisation des chaînes logistiques sont donc des priorités pour les politiques publiques. Elles doivent notamment se traduire par la rédaction de plans d'actions concrets pour le fret ferroviaire avec des objectifs intermédiaires bien définis, par la mise en place de stratégies collectives pour la logistique nationale avec un accent particulier sur les plateformes plurimodales et sur les aires urbaines pour la logistique urbaine, et par le maintien d'un juste équilibre entre les rythmes de décarbonation du secteur maritime décidés en Europe et à l'OMI. La mise en place effective dans les coûts d'un signal prix carbone est également souhaitable à une échelle aussi large que possible pour respecter les conditions de concurrence entre acteurs économiques.

³ <https://www.insee.fr/fr/statistiques/5896539> et <https://www.insee.fr/fr/statistiques/2016146>

7. **La neutralité carbone complète ne peut être atteinte qu'en associant une plus grande sobriété d'usage** (voyageurs et marchandises) aux progrès technologiques : mobilités actives, covoiturage, mutualisation et massification, réduction du nombre et de la longueur des parcours, report modal et développement de la qualité de service et de la fréquentation des transports collectifs.... Il n'est pas acquis que les évolutions de comportement d'usage, dont la nécessité même n'est pas encore totalement partagée, résultent spontanément d'une démarche collective de « sobriété heureuse », qui s'étendrait progressivement à l'ensemble de la société. Le système de transport à terme pourrait donc reposer sur la mise en place de signaux économiques et sur un degré renforcé d'organisation et de coordination, pouvant inclure des restrictions par des instruments d'action publique.
8. **Le renforcement de la trame urbaine de taille intermédiaire et le développement d'une plus forte attractivité résidentielle des centres urbains sont des facteurs décisifs à long terme** pour la réduction des besoins de mobilité et ainsi des émissions de gaz à effet de serre et des effets sur l'artificialisation des sols et la biodiversité. Leurs effets sont lents et cela justifie des efforts volontaristes d'anticipation.
9. **L'adhésion des Français à ce projet est l'enjeu le plus délicat.** Elle est conditionnée par une répartition jugée équitable des efforts collectifs tant au sein de la société française que quand elle se compare aux autres pays. Elle repose sur la prise en compte de la diversité des univers de choix (l'accessibilité réelle des alternatives) et sur la mise en place simultanée, voire préalable, des mesures d'accompagnement nécessaires, en faveur en particulier des premiers déciles. Les plus riches, qui émettent plus et pour lesquels les choix sont plus ouverts, doivent s'attendre à être appelés à contribuer proportionnellement plus aux efforts. Cette adhésion ne pourra cependant être véritablement obtenue qu'à l'issue d'un débat de société, bénéficiant de toute l'information possible et permettant à chacun d'envisager son devenir dans le cadre de cette transition.

... un défi intermédiaire difficile pour 2030 : la participation du secteur des transports à l'objectif européen de réduction de 55 % par rapport à 1990

La baisse de l'empreinte carbone des émissions de GES en 2030 du secteur des transports ne dépasse pas une trentaine de pourcents dans la plupart des scénarios simulés (pour les transports terrestres en ACV). Le secteur semble donc en risque, à cette courte échéance, de rester loin de contribuer au *pro rata* de ses émissions, à l'objectif envisagé par la Commission européenne d'une réduction en 2030, tous secteurs confondus, de 55 % des émissions par rapport à 1990 (objectif rehaussé par rapport à l'engagement actuel de la France d'une réduction de 40 %). Ce retard s'observe déjà aujourd'hui : le secteur des transports a ainsi connu une nette augmentation de 1990 à 2017 non seulement de ses émissions directes (+15 % en incluant l'international) mais aussi de son empreinte carbone (+21 %).

Ce résultat s'explique par l'affirmation politique seulement récente de l'urgence climatique et de l'objectif de la neutralité carbone, malgré les mises en garde précoces de la communauté scientifique, et par des choix industriels qui n'avaient probablement pas assez anticipé la nécessité de ces innovations. Il en résulte aujourd'hui des délais difficilement compressibles pour pouvoir atteindre l'objectif lié à la montée en puissance

de la production et de la commercialisation des motorisations décarbonées pour les véhicules neufs, à l'inertie du renouvellement du parc et enfin à la faiblesse actuelle du marché de l'occasion pour ces nouvelles technologies. De manière simplifiée, la part des véhicules décarbonés dans le parc automobile en 2030 correspondra globalement à la part des véhicules décarbonés dans la vente des véhicules neufs en 2024.

Cela suppose aussi de rattraper un très grand retard, d'augmenter très rapidement le nombre de bornes de recharges accessibles (51 243 points de charge au 30 novembre 2021)⁴ pour les VL et les PL sur route, autoroute et en milieu urbain (y compris dans les copropriétés) et de rendre ces véhicules financièrement accessibles pour une large part de la population (bonus écologique pour l'achat de véhicule, prime à la conversion ...). Aller au-delà suppose des politiques résolues de sobriété combinant le développement des offres alternatives et des signaux économiques incitatifs : développer le covoiturage et les mobilités actives, renforcer la part modale des transports en commun urbains et du ferroviaire, inciter au télétravail, et mettre en place des taxes élevées sur les carburants. Ces options ne doivent pas être repoussées en attendant que soient seuls engrangés les résultats de la décarbonation des motorisations. Elles sont également indispensables pour respecter les objectifs de 2030.

... et une conclusion : le chemin ne va pas de soi et est à construire collectivement, mais vite.

- La non atteinte de l'objectif de neutralité carbone, que les auteurs ont volontairement qualifié de surplombant, se pose évidemment non seulement à l'échelle française, mais aussi européenne et mondiale, pour ce secteur et pour l'ensemble de l'économie. Elle aurait par ailleurs des effets négatifs dont les coûts potentiels peuvent atteindre dans certaines estimations des niveaux vertigineux, et qui sont au minimum bien suffisants pour amplement justifier que les transports et la mobilité intègrent pleinement cette priorité.
- La perception des modes de vie désirables n'est pas une donnée intangible, elle procède de l'éducation, du partage du projet et du récit collectif. Aujourd'hui cette perception est en forte évolution chez une part de la population et sans doute particulièrement chez les plus jeunes, mais les comportements individuels ne sont pas exempts d'incohérences et de contradictions.
- La promesse généralisée et démocratique de la mobilité individuelle libératrice par la voiture, et dans une certaine mesure également l'avion, a constitué pendant près d'un demi-siècle un élément de projet collectif socialement fédérateur. Les points de vue divergent aujourd'hui sur le degré de contrainte qui s'opérera *in fine* sur les mobilités des personnes et des marchandises.
- On ne peut plus se contenter de considérer les mobilités et les transports comme la résultante passive des préférences des acteurs économiques : ils sont en eux-mêmes au cœur des transitions. Au-delà du dynamisme des offreurs à répondre au mieux aux attentes, celui des utilisateurs à se tourner vers des modes de vie générant moins de mobilités sera indispensable à la neutralité carbone.
- Au vu de la maturité des technologies et de l'urgence de l'objectif de neutralité complète, une meilleure sobriété semble clairement nécessaire et il est loin d'être

⁴ baromètre national des infrastructures de recharge ouvertes au public », déployé par le Ministère de la Transition écologique avec l'Avere-France et le GIREVE (Groupement pour l'Itinérance des Recharges Électriques de Véhicules) <https://www.gireve.com/fr/archives/30807>

acquis qu'elle puisse être la résultante de la seule évolution spontanée des pratiques individuelles. L'analyse conduite n'est pas en mesure pour autant de préciser le niveau de contrainte réglementaire ou économique qu'il conviendrait que des politiques publiques imposent pour y parvenir, car l'efficacité opérationnelle de tels bouquets de mesures est soumise aux difficiles questions de l'acceptabilité. Olivier Blanchard et Jean Tirole soulignent que « *si elles sont envisagées, certaines mesures impopulaires comme un prix du carbone suffisamment élevé ou un recul de l'âge effectif de départ à la retraite doivent s'inscrire, pour être acceptées, dans une approche globale, un ensemble plus large de mesures qui prennent en compte les effets distributifs, les représentations des citoyens et la question de la confiance* »⁵.

- L'objet d'une prospective n'est pas de construire les nouveaux récits collectifs qui emporteraient l'adhésion : la démarche souligne cependant l'importance de l'éducation et de la dynamique intergénérationnelle dans ce processus.
- La question des chemins empruntés par la société est ainsi plus délicate que celle du point d'atterrissage à long terme, question par ailleurs floue en raison des incertitudes. Cette prospective essaye d'apporter une première approche, très modeste, de cette nécessaire analyse de l'arbre des décisions des acteurs publics. Cette matière est assez nouvelle et de nombreux progrès sont nécessaires.

⁵ *Les Grands défis économiques*, rapport de la Commission internationale présidée par Olivier Blanchard et Jean Tirole, https://www.strategie.gouv.fr/sites/strategie.gouv.fr/files/atoms/files/fs-2021-rapport_les_grands_defis_economiques-juin_0.pdf

Sommaire

Résumé	3
1 Les fondements de la prospective 2040-2060 des mobilités	17
1.1. Les raisons d'un nouvel exercice de prospective des transports.....	17
1.2. Tenir compte des incertitudes et des risques liés à l'évolution des technologies et des comportements	25
1.3. La prospective 2040-2060.....	26
2 Les scénarios et leurs trajectoires jusqu'en 2060	35
2.1. La construction de sept scénarios pour le futur	35
2.2. La description des cinq scénarios dits de <i>forecasting</i>	39
2.3. La description des deux scénarios de neutralité carbone.....	43
2.4. Résultats globaux.....	46
2.5. Six principaux enseignements des scénarios.....	58
2.6. Le défi de 2030 : même avec des politiques vigoureuses, la baisse des émissions des mobilités d'ici 2030 ne dépassera pas une trentaine de pourcents par rapport à 1990, et restera donc bien en dessous de l'ambition européenne de 55 %.....	62
3 Les principaux angles d'analyse de la démarche.....	65
3.1. L'urgence climatique surplombe la démarche prospective et conduit à renoncer à l'usage des hydrocarbures d'origine fossile d'ici 2050	65
3.2. La sobriété apparaît comme une nouvelle valeur de la mobilité, insuffisamment partagée cependant, tandis que les bienfaits de la vitesse sont remis en question, mais sont toujours réclamés par certains.....	67
3.3. Les besoins de mobilité vont évoluer.....	69
3.4. Les contraintes sociales et les disparités territoriales seront au cœur du débat du vivre ensemble et de l'acceptabilité.....	71
3.5. Dans une perspective de neutralité carbone, la notion d'aménagement du territoire pose question entre densification des métropoles, polycentrisme maillé, habitat en doigts de gant.....	74
3.6. Les infrastructures de transport ne répondent que partiellement aux défis de la qualité de vie, de la fracture territoriale et du changement climatique.....	77
3.7. Entre opportunité et méfiance, la numérisation devrait prendre une place considérable.....	78
3.8. La logistique urbaine est confrontée au développement rapide du e-	

commerce et de la livraison instantanée.....	81
3.9 Les modes de transport de fret alternatifs à la route pourraient connaître un renouveau	83
3.10 Le transport maritime, entre mondialisation et relocalisation, et le transport aérien, perturbé par la COVID-19, doivent s'adapter à la transition énergétique.....	87
3.11 Les déplacements intérieurs de voyageurs sont en transition vers les modes actifs et alternatifs, les transports collectifs, le covoiturage et le véhicule électrique.....	89
3.12 Des incertitudes majeures demeurent dans de nombreux domaines.	91
3.13 La crise sanitaire COVID-19 a accéléré certaines tendances : le télétravail, la fuite des centres-villes, le e-commerce.....	92
4 Les conséquences concernant les politiques publiques	95
4.1 Partager collectivement les enjeux du climat, l'urgence d'agir et donner de la visibilité à chacun sur l'avenir	95
4.2 Mettre en place les mesures d'accompagnement nécessaires à la réussite de la transition énergétique	98
4.3 Mettre en place rapidement les leviers économiques et réglementaires efficaces de la décarbonation par la technologie	100
4.4 Mener des politiques de mobilité visant à la sobriété, adaptées et coordonnées aux différentes échelles géographiques et temporelles	105
4.5 Instaurer une politique d'aménagement exigeante en capitalisant sur les leçons du passé	108
4.6 Accompagner les pratiques de la logistique urbaine vers la neutralité carbone	110
4.7 Piloter dynamiquement les politiques publiques en fonction des évolutions des incertitudes.....	111
4.8 Favoriser le développement des industries permettant la décarbonation du transport et le recyclage.....	113

Annexes.....	117
Annexe 1. Participants à la démarche.....	119
Annexe 2. Les résumés des rapports thématiques.....	124
Annexe 3. Tranches de vie mobile dans une trajectoire menant à la neutralité carbone	136
Annexe 4. Les principaux indicateurs de synthèse associés aux scénarios en 2040 et 2060.....	156
Annexe 5. Glossaire des sigles et acronymes	161



1 Les fondements de la prospective 2040-2060 des mobilités

1.1. Les raisons d'un nouvel exercice de prospective des transports

Sans même évoquer les réflexions prospectives sur l'aménagement des territoires et de leurs transports, bien illustrées par la vision de Paul Delouvrier sur le devenir de l'Île-de-France⁶, le recours à la prospective et à la compréhension de l'avenir, pour reprendre les expressions de Gaston Berger⁷, ont toujours servi à éclairer le futur des transports. Le partage modal entre le rail, la route et les voies d'eau, les instruments de régulation de ce partage, la tarification routière obligatoire, le tour de rôle, les concessions et les péages, les nouvelles infrastructures à réaliser ont constamment fait l'objet de réflexions au sein du monde des transports depuis plus d'un siècle⁸. La plupart de ces questions sont toujours d'actualité : elles ont été présentes dans les débats des assises de la mobilité conduites au 4^e trimestre 2017 qui, dans une démarche conjuguant écoute des attentes des citoyens, des territoires, et des acteurs du secteur, ont précédé la loi d'orientation sur les mobilités afin de préparer une politique qui réponde aux besoins des transports du quotidien.

Plusieurs éléments de « compréhension de notre avenir » amènent cependant à poser aujourd'hui différemment les termes d'une prospective des transports : le renforcement de l'urgence climatique, le défi des pollutions atmosphériques, l'évolution de nos comportements qui dans ce contexte vont sans nul doute influencer très fortement le devenir des transports, mais aussi des politiques publiques associées. De plus, ces dernières devront prendre en compte, plus que jamais, les fortes incertitudes qui pèsent aujourd'hui sur le devenir des technologies carbonées et décarbonées et sur l'évolution des comportements, partagés entre la soif de déplacements toujours plus lointains et plus rapides et la nécessité de la sobriété.

⁶ Voir notamment : <https://books.openedition.org/psorbonne/2426?lang=en>

⁷ Gaston Berger est un philosophe et haut fonctionnaire français, connu principalement pour ses études sur Husserl et pour ses travaux sur la caractérologie et la prospective.

⁸ On peut ainsi citer à titre d'exemples : le rapport J. Toutée sur la coordination des transports. Conseil national économique, mai 1932. *L'automobile de l'an 2000*, Adrien Duffau, L'Expansion octobre 1971 ; *Scénarios du futur*, François de Closets, 1978 et 1979 ; *Prospective de la mobilité quotidienne*, Alain Bieber, Marie-Hélène Massot, Jean-Pierre Orfeuill, 1993.

Les prévisions d'émissions de gaz à effet de serre de la Prospective 2050 du Conseil général des ponts et chaussées : un exercice à revisiter

En 2006, le Conseil général des ponts et chaussées avait publié un rapport de prospective des transports à horizon 2050. Celui-ci traçait des futurs possibles des transports et de la mobilité, en déduisait quelques recommandations pour l'action publique et identifiait un certain nombre de points communs aux différents scénarios étudiés :

- l'impact du changement modal vers les transports collectifs urbains, les TER ou le fret ferroviaire serait assez faible dans tous les cas ;
- les TGV et l'aviation continueraient de croître, portés par la croissance des déplacements à longue distance alors que les déplacements courts stagneraient ;
- les réductions d'émissions de CO₂ des transports routiers et la moindre dépendance au pétrole variaient selon les scénarios. Les politiques menées à l'égard des véhicules et des carburants étaient appelées à jouer un rôle majeur :
 - le véhicule le plus répandu resterait polyvalent : un même véhicule serait utilisé tant pour les déplacements quotidiens que pour les départs en vacances. Le moteur thermique garderait sa prédominance. Les motorisations hybrides rechargeables se généraliseraient, permettant de diminuer les émissions de CO₂ et polluants. Les rendements énergétiques des moteurs thermiques continueraient à progresser ;
 - une incorporation croissante de biocarburants durables permettrait les réductions d'émissions dans les parcours à longue distance ; l'usage de l'électricité pour la courte distance se généraliserait ;
- le transport routier de marchandises resterait largement dominant et serait peu électrifié ; la taille des PL passerait de 40t à 44t, voire 60t dans un scénario, ce qui permettrait à la fois une baisse des émissions et une baisse des prix.

Ces dispositions cherchaient à assurer une division par trois des émissions de gaz à effet de serre des transports terrestres à l'horizon 2050 par rapport à 2000, loin des objectifs actuels de division par dix de ces mêmes émissions. Depuis cette parution, une meilleure connaissance de l'évolution climatique, dont la rapidité est sans précédent dans l'histoire humaine, et la trajectoire réelle des émissions ont très sensiblement modifié la donne.

1.1.1 L'urgence climatique amène à repenser le futur des transports et de la mobilité

Le premier volume du sixième rapport scientifique du GIEC, paru début août 2021, montre que les émissions de gaz à effet de serre dues aux activités humaines ont élevé les températures d'environ 1,1 °C depuis la période 1850-1900 et conclut que l'augmentation de la température mondiale, en moyenne sur les vingt prochaines années, devrait atteindre ou franchir le seuil de +1,5 °C. Il fait valoir qu'à moins de réductions immédiates, rapides et massives des émissions de gaz à effet de serre, la limitation du réchauffement aux alentours de 1,5 °C, ou même à 2 °C, sera hors de portée⁹.

Lors du sommet pour la planète le 12 décembre 2020, le secrétaire général de l'ONU a

⁹ https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2021/08/IPCC_WGI-AR6-Press-Release_fr.pdf

appelé les gouvernements à déclarer l'état d'urgence climatique dans leur pays jusqu'à ce que la neutralité carbone soit atteinte, tandis que, fin 2019, l'Union européenne avec le pacte vert et la France avec la loi climat-énergie se sont engagées à atteindre la neutralité carbone à l'horizon 2050.

Comme le souligne le rapport de l'ONU¹⁰ de décembre 2020, « le transport est responsable de près du quart des émissions mondiales de gaz à effet de serre et ses émissions devraient doubler d'ici 2050 ». « Mais l'humanité [selon ce rapport] peut réduire cette augmentation en adoptant la mobilité électrique à la fois pour les particuliers et les transports publics, et en créant des espaces sûrs où les personnes pourront marcher, pédaler et utiliser d'autres formes de transports non motorisés. De telles pratiques auront également d'autres bénéfices. Ainsi, en l'absence de réduction des émissions des véhicules, la mortalité résultant de l'exposition aux gaz d'échappement dans les zones urbaines devrait augmenter de plus de 50 % d'ici 2030 ».

La Commission européenne a présenté en décembre 2020 la stratégie de l'Union européenne de mobilité durable et intelligente destinée à relever le défi de la réduction de 90 % des émissions (à l'échappement) du secteur des transports d'ici 2050 : « Afin d'atteindre nos objectifs climatiques, les émissions provenant du secteur des transports doivent s'inscrire nettement à la baisse. La stratégie présentée aujourd'hui bouleversera la façon dont les personnes et les marchandises circuleront partout en Europe et permettra de combiner aisément différents modes de transport au cours d'un même trajet. »¹¹

1.1.2 Les émissions du secteur des transports ont augmenté de plus de 10 % depuis 1990

Les transports sont aujourd'hui le secteur le plus émissif de gaz à effet de serre dans notre pays : le tableau ci-dessous montre que, si l'on ajoute l'aérien et le maritime international, comme le préconise le Haut conseil pour le climat, les émissions françaises du transport représentent, en 2017, 33, 2 % des émissions de gaz à effet de serre nationales (contre 24,9 % en 1990) mais, surtout, elles ne sont pas sur la bonne trajectoire. Tandis que les émissions nationales ont baissé de près de 19 % de 1995 à 2018, celles du secteur des transports, dominées très largement par le domaine routier, ont augmenté en valeur absolue de 15 % (soit 21,3 MtCO₂), alors que, dans les trente prochaines, nous devrions les diviser par un facteur dix. Le message de la convention citoyenne pour le climat est le même lorsqu'elle « invite les acteurs économiques à mener une action plus volontariste en faveur de la transition écologique ». En moins d'une génération, les transports et la mobilité vont devoir apprendre à se passer d'hydrocarbures d'origine fossile, y compris dans les secteurs de l'aérien et du maritime. Nous devons donc repenser le futur de nos transports.

¹⁰ Rapport 2020 sur l'écart entre les besoins et les perspectives en matière de réduction des émissions, UNEP, UNEP DTU Partnership, <https://www.unenvironment.org/fr/emissions-gap-report-2020> et <https://www.unep.org/interactive/six-sector-solution-climate-change/> : « Transport is responsible for about one-quarter of all greenhouse gas emissions. The sector's emissions are set to double by 2050. But humanity can reduce that tally by up to 4.7 Gt by embracing electric vehicles, both privately and in public transit systems, and by creating safe spaces where people can walk, cycle and use other forms of non-motorized transport. Doing those things would have other benefits, as well. For instance, without action to cut vehicle emissions, deaths from exposure to exhaust fumes in urban areas are set to increase by over 50 per cent by 2030 ».

¹¹ Déclaration de Frans Timmermans, premier Vice-Président exécutif de la Commission européenne en charge du pacte vert pour l'Europe, 9 décembre 2020 *Une transformation fondamentale du secteur des transports : la Commission présente son plan en faveur d'une mobilité verte, intelligente et abordable*, Communiqué de presse de la Commission européenne, Bruxelles, le 9 décembre 2020, https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/fr/ip_20_2329

Émissions (MtCO ₂ eq)	1990	2000	2010	2017
Route	116,3	133,8	131,6	131,2
Fer	1,1	0,8	0,6	0,4
Fluvial	0,8	1,0	1,2	1,2
Maritime (y compris international)	9,6	11,2	9,1	6,7
Aérien (y compris international)	12,9	20,7	20,8	22,4
TOTAL Transports	140,7	167,4	163,2	162,0
TOTAL tous secteurs France hors UTCATF ¹² (avec aérien et maritime internationaux)	564,4	576,5	535,9	487,5
Part des transports dans le total (%)	24,9 %	29,0 %	30,5 %	33,2 %

Tableau 1 : Émissions de GES de la France incluant l'aérien et le maritime international
- Source : CCTN¹³, Calculs CGEDD

Quatre raisons sont principalement à l'origine de cette augmentation :

- malgré les progrès techniques réalisés, les émissions des véhicules particuliers ont connu une très légère hausse de 1990 à 2017 (+4,8 MtCO₂e) : l'augmentation de la demande, plus de 25 % de 1990 à 2018, l'évolution défavorable des silhouettes des VL vers des formes de type SUV, et l'écart croissant entre la courbe des émissions des véhicules neufs lors de l'homologation et celle des émissions réelles n'ont pas permis de diminuer les émissions malgré les progrès technologiques réalisés ;
- les émissions des poids lourds ont augmenté très légèrement de 1,8 MtCO₂e, ce qui constitue en soi un résultat très positif, même s'il est loin d'une division par deux ou par quatre des émissions, puisque le transport de marchandises en t.km a augmenté sur la même période de près de 60 % ;
- dans ce format, les émissions des VUL ont par contre augmenté de 7,4 MtCO₂e de 1990 à 2017, tandis que le trafic VUL en Mt.km a connu un accroissement de près de 70 % ;
- enfin, l'aérien international a connu une forte hausse de 8,4 MtCO₂e en 1990 à 17,4 MtCO₂e principalement en raison de l'augmentation du trafic¹⁴ : la diminution de 25 % des émissions unitaires (en kg de CO₂ par passagers équivalents-kilomètres-transportés¹⁵) observée de 2000 à 2018 n'a donc pas suffi à contenir la hausse des émissions.

Ainsi, ni le progrès technologique, ni les actions de sobriété au sens large du terme (report

¹² Le secteur UTCATF (Utilisation des terres, changement d'affectation des terres et foresterie) permet de rapporter les flux de CO₂ entre différents réservoirs terrestres (biomasse, sols, etc.) et l'atmosphère qui ont lieu sur les surfaces gérées d'un territoire. Il peut ainsi constituer une source nette ou un puits net de CO₂.

¹³ Données 2018 (format Kyoto) : <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/les-comptes-des-transports-en-2018-56e-rapport-de-la-commission-des-comptes-des-transports-de-la>

¹⁴ Tandis que les émissions de l'aérien domestique restaient quasiment stables : 5 MtCO₂e en 2017 contre 4,5 MtCO₂e en 2010.

¹⁵ L'unité employée est le "passager-équivalent-kilomètre-transporté" (PKTeq), avec l'équivalence 100 kg de fret ou de poste = 1 passager.

modal, plans de déplacement urbains, évolution des comportements...) n'ont permis de réduire jusqu'à présent les émissions du secteur du transport.

1.1.3 Un raisonnement en empreinte carbone est nécessaire

Un raisonnement en empreinte carbone permet, d'une part, de prendre en compte l'ensemble des émissions liées au transport des personnes et des marchandises et, d'autre part, de comparer plus facilement les avantages et les inconvénients d'une technologie qui n'émet pas de GES lors de la circulation du véhicule (véhicule électrique par exemple) mais qui en émet plus à la fabrication d'un véhicule thermique.

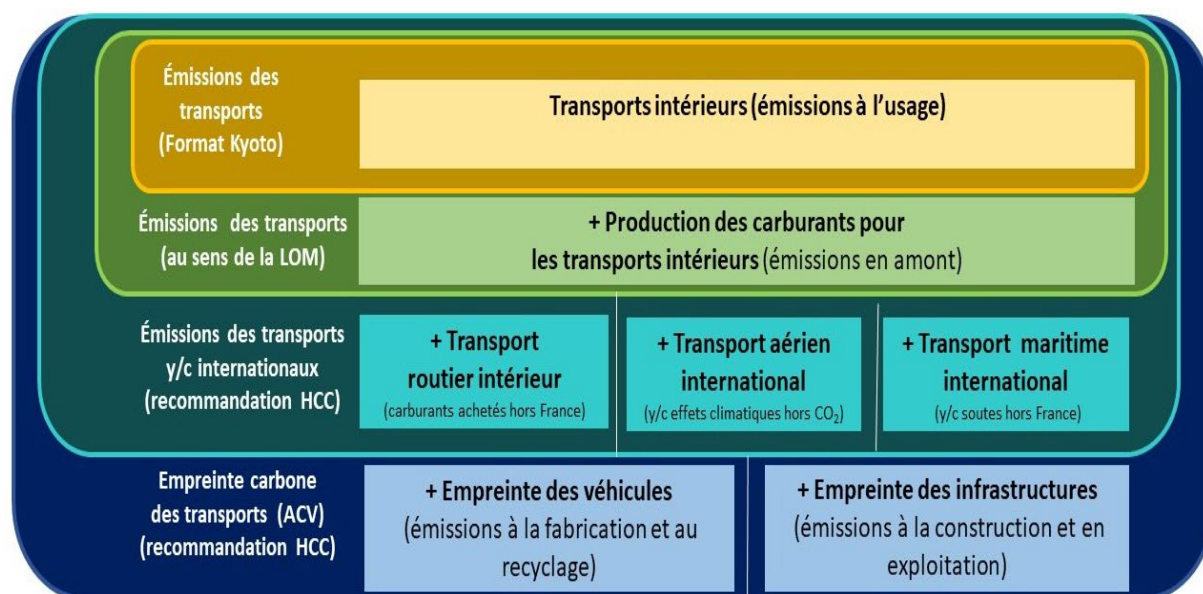


Figure 3 : Empreinte carbone complète des véhicules - Source : CGEDD-France-Stratégie, 2022.

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 la loi climat-énergie :

- 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 y inclut également les soutes achetées hors de France¹⁶) : 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

¹⁶ 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.

importés (en retirant le total correspondant aux exports)¹⁷. Les travaux du CGDD¹⁸ ont estimé que, dans cette comptabilité, les émissions de la France étaient en 2014 de 720 MtCO₂e, soit 66 % de plus que celles de l'inventaire national. Ceux du Haut-Conseil pour le climat¹⁹ aboutissent à une empreinte carbone de la France en 2018 de 749 MtCO₂e en 2018, soit 11,5 tCO₂e par habitant, empreinte environ 70 % plus élevée que l'inventaire national. Dans ce même rapport, le Haut-Conseil pour le climat précise de plus « qu'un objectif de réduction des émissions importées d'au moins 65 % d'ici à 2050 et de l'empreinte carbone de 80 % par rapport à 2005 permettrait de limiter le réchauffement planétaire à 1,5°C, et permettrait à la France d'affirmer son *leadership* mondial ».

- 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 incertitude²⁰).
- Le présent exercice prolonge à 2060 les perspectives de la stratégie nationale bas carbone (SNBC) en vigueur actuellement, qui prévoit d'augmenter les puits de carbone²¹ (naturels et technologiques) d'un facteur 2 par rapport à aujourd'hui et d'atteindre une valeur légèrement supérieure à 80 MtCO₂ en 2050 : un chiffre de 95 MtCO₂ est ainsi retenu à l'horizon 2060. Ce choix est un peu moins optimiste que celui réalisé récemment par l'Ademe dans son rapport Transitions 2050 qui envisage à 2050 un puits de carbone (naturel et technologique) compris, suivant les scénarios, entre 94 et 134 MtCO₂, ce haut de fourchette correspondant à un « pari réparateur » assis sur des technologies dont « certaines d'entre elles ne sont pas matures ».
- Les données sur les réductions possibles des émissions liées à l'amont et à l'aval de l'usage des véhicules en circulation sont incertaines à ce stade.

Au final, en prenant en compte les empreintes des véhicules et des infrastructures (ce qui revient à inclure dans le secteur des transports une partie des émissions de l'industrie), et les émissions amont liées à la fabrication des carburants, les émissions du secteur des

¹⁷ 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.

¹⁸ <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/estimation-de-l'empreinte-carbone-de-1995-2019>

¹⁹ *Maîtriser l'empreinte carbone de la France*, Rapport du Haut-Conseil pour le climat, 6 octobre 2020, <https://www.hautconseilclimat.fr/actualites/le-hcc-presente-son-rapport-maitriser-l'empreinte-carbone-de-la-france/>

²⁰ 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). Le lecteur pourra également consulter le rapport remis en novembre 2020 par l'EASA à la Commission européenne sur les effets non CO₂ de l'aérien : *The significance of combined non-CO₂ climate impacts from aviation activities, previously estimated to be at least as important as those of CO₂ alone, is fully confirmed by the report* : https://ec.europa.eu/clima/news-your-voice/news/updated-analysis-non-co2-effects-aviation-2020-11-24_en

²¹ Un puits de carbone désigne le processus qui extrait, par un mécanisme naturel ou artificiel, les gaz à effet de serre de l'atmosphère, soit en les détruisant par des procédés chimiques, soit en les stockant sous une autre forme. Les principaux puits de carbone naturels sont les océans et certains milieux continentaux comme les forêts en formation, les tourbières, etc.

transports ainsi élargi représenteraient 48 % du total tous secteurs en 2017. À ce total, devrait également être ajouté le forçage radiatif lié aux autres gaz à effet de serre du transport aérien dont l'effet instantané présente de fortes incertitudes, mais semble loin d'être négligeable.

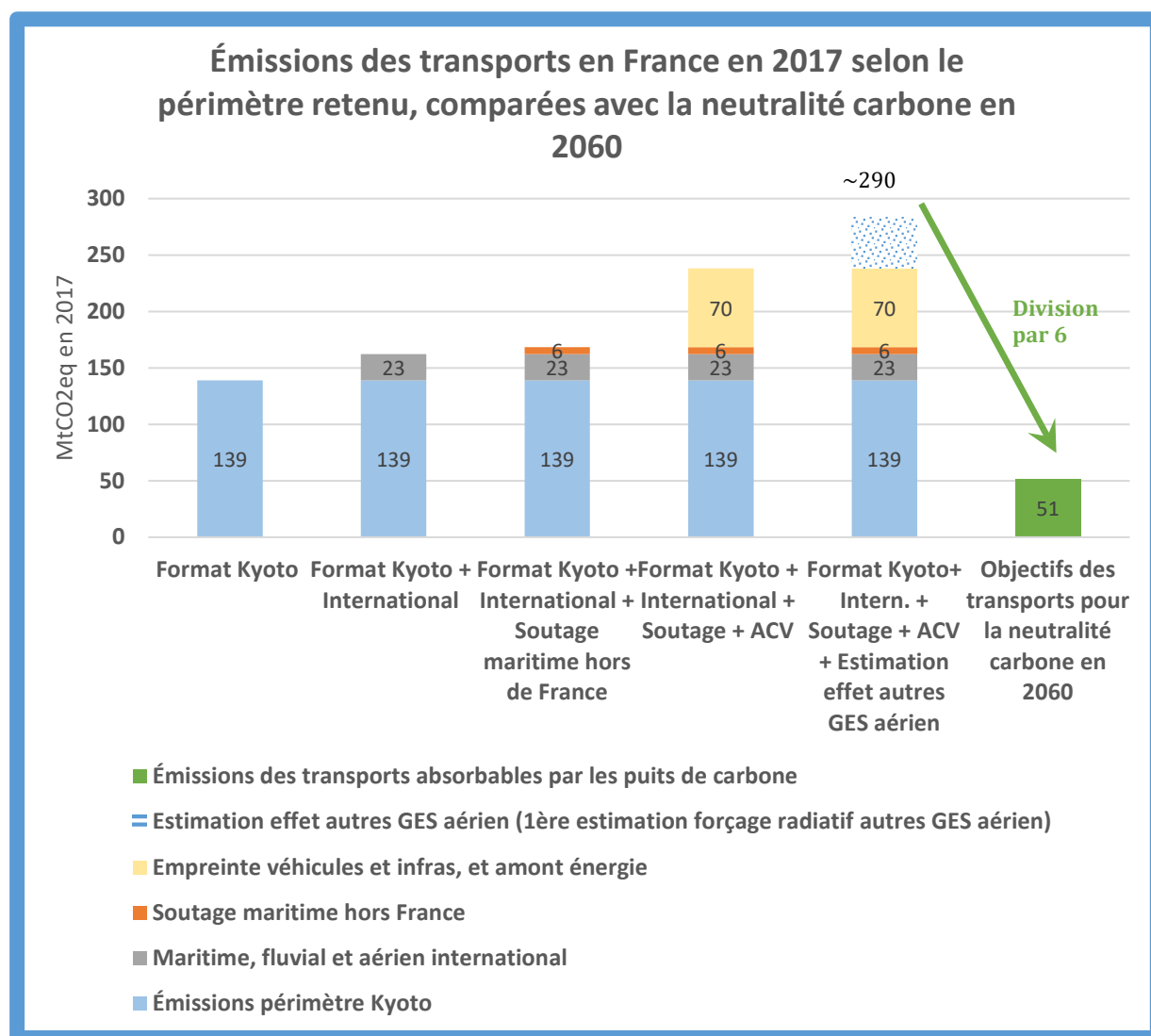


Figure 4 : Émissions de GES du transport : i) au format Kyoto, puis en incluant ii) l'international, iii) le soutage maritime hors de France, iv) les émissions liées à l'amont pétrolier et à l'empreinte des véhicules (format ACV), v) les effets de court terme de l'aérien. Source : CGEDD-France-Stratégie, 2022

1.1.4 La sensibilité croissante aux effets de la pollution locale renforce la nécessité de cette réflexion

Les concentrations de polluants dans les villes européennes restent préoccupantes et entraînent des conséquences sur la santé des populations, qui se chiffrent en « centaines de milliers de décès prématurés ». Même si d'autres secteurs émetteurs sont concernés (chauffage résidentiel, agriculture, chantiers...), la contribution des transports est significative : ainsi, en Île-de-France, le transport routier contribue à hauteur de 55 % des émissions d'oxydes d'azote, 19 % des particules PM₁₀ et 21 % des particules PM_{2,5}²². L'analyse

²² Source : Observatoire de l'air en Île-de-France, données Airparif, 2017

de la qualité de l'air montre que les concentrations de ces polluants sont aussi plus élevées le long des axes fortement circulés. Plusieurs grandes villes européennes ont ainsi annoncé à court terme des limitations de circulation pour les véhicules les plus polluants, suite au scandale du *dieselgate*²³ et aux dépassements à répétition des normes européennes de qualité de l'air. La part des ventes de diesel continue de décroître en France, mais aussi dans la plupart des pays européens, au profit aujourd'hui principalement de l'essence. En juillet 2020, le Conseil d'État a ordonné au gouvernement d'agir pour améliorer la qualité de l'air dans plusieurs zones en France, sous peine d'une astreinte de dix millions d'euros par semestre de retard.

En août 2021, le Conseil d'État a estimé que les mesures prises aujourd'hui ne permettraient pas d'améliorer la situation dans le délai le plus court possible, et a condamné l'État à payer l'astreinte de dix millions d'euros pour le premier semestre de l'année 2021²⁴.

Là encore, une évolution plus volontariste, qui passe par une réflexion sur le devenir de nos transports et de nos mobilités, est nécessaire.

1.1.5 Réconcilier les comportements et les modes de vie avec la nécessaire transition écologique et énergétique

Le transport ou la mobilité sont des intermédiaires économiques qui rendent possibles des consommations ou des usages. Ils ne sont donc généralement pas recherchés pour eux-mêmes. Les bénéfices que l'on en tire sont attachés à l'atteinte d'un but et non au déplacement en lui-même, dont on ne perçoit bien souvent directement que les désagréments (émissions, bruit, temps passé, accidents, coût, etc.). Les modifier pour réduire les émissions de gaz à effet de serre ou la pollution locale suppose ainsi une évolution plus générale des pratiques de vie, et implique d'importants enjeux économiques et sociaux.

Or, l'urgence climatique appelle à des changements profonds dans nos façons de vivre, de consommer et de se déplacer, en un mot à plus de sobriété. Les tendances les plus visibles des changements aujourd'hui, développement des *low costs* aériens ou multiplication des livraisons instantanées à domicile par exemple, révèlent plutôt une aspiration à plus de rapidité : seule une faible minorité de la population traduit ses préoccupations environnementales dans un ajustement spontané vers plus de sobriété et vers des modes de transports lents, voire du non-déplacement, ainsi que vers de nouvelles formes de mobilité grâce aux progrès numériques. Ainsi, l'enquête « Conditions de vie et aspirations » du Crédoc²⁵ montre, ce qui est une source d'optimisme, que les jeunes Français délaissent de plus en plus la voiture individuelle, se tournent vers des modes de transports alternatifs (covoiturage, vélo partage, transports en commun) et sont prêts à s'impliquer dans des pratiques collaboratives. Mais la part modale du véhicule particulier reste supérieure à 80 % et le transport aérien intérieur est le mode qui, avec une augmentation de 15 %, a le

²³ Le scandale du *dieselgate* correspond à l'utilisation par *Volkswagen* d'abord cité puis aussi par un certain nombre d'autres constructeurs, de dispositifs interdits destinés à réduire les émissions polluantes de NOx lors d'essais d'homologation de véhicules diesel.

²⁴ <https://www.conseil-etat.fr/actualites/actualites/pollution-de-l-air-le-conseil-d-etat-condamne-l-etat-a-payer-10-millions-d-euros>

²⁵ *Pour protéger l'environnement, les jeunes se tournent vers des transports alternatifs et les pratiques collaboratives*, Lucie Brice, Patricia Crouette et Sandra Hoibian, Credoc, Avril 2018, chapitre du rapport du CGDD sur les Modes de vie et pratiques environnementales des Français,

<https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/sites/default/files/2018-10/thema-03-modes-vie-pratiques-environnementales-francais-b.pdf>

plus progressé depuis 2012²⁶.

De plus, la mobilité des personnes et des biens est un domaine où les tensions et attentes contradictoires sont fortes : l'histoire récente a vu des mesures engageant des transitions volontaristes buter sur de très fortes réticences. La crise des bonnets rouges qui a fait reculer le gouvernement sur l'écotaxe en 2014, puis celle des gilets jaunes qui a conduit en 2018 à abandonner la trajectoire de taxation du carburant initialement envisagée, ont montré que les tentatives d'adresser des signaux économiques à des acteurs qui ne sont pas préparés à les recevoir conduisent à une impasse.

Ainsi, là encore, la réflexion est nécessaire pour réconcilier l'évolution de nos comportements non seulement avec l'urgence climatique et la réduction des pollutions locales, mais aussi avec les conséquences économiques de leur prise en compte.

1.2 Tenir compte des incertitudes et des risques liés à l'évolution des technologies et des comportements

La connaissance prospective du fonctionnement du système climatique (terre-océan-atmosphère) a notablement progressé grâce aux travaux collectifs de la communauté scientifique menés ces trente dernières années ce qui permet au premier volume du sixième rapport scientifique du GIEC d'affirmer « qu'à moins de réductions immédiates, rapides et massives des émissions de gaz à effet de serre, la limitation du réchauffement aux alentours de 1,5 °C, ou même à 2 °C, sera hors de portée ».

Mais, à l'inverse, l'évolution des technologies aussi bien que des comportements des personnes ainsi que les moyens économiques dont elles disposeront pour réaliser les mutations nécessaires restent soumis à de grandes incertitudes. Nul ne peut dire si les motorisations à base d'énergie fossile auront laissé la place en moins d'une génération à des moteurs neutres en carbone. Nul ne peut dire quel sera le véritable avenir de l'aviation long courrier entre la persistance de l'usage du kérosène fossile, le recours massif à des biocarburants durables, qui lui permettrait de garder le *design* actuel des appareils, et le développement d'un avion hydrogène qui, sur la longue distance, pourrait ressembler à une aile volante. L'évolution des comportements est tout aussi incertaine : la recherche d'une vitesse toujours plus élevée dans les transports va-t-elle s'effacer devant les aspirations à des transports plus lents, voire du non-déplacement, et de nouvelles formes de mobilité permises par les progrès du numérique ? Permises par le numérique, la personnalisation des produits dès l'usine de fabrication, même si elle est située en Chine, entraînera-t-elle une complexification de la chaîne logistique jusqu'au consommateur et une multiplication des transports ou s'intégrera-t-elle dans l'optimisation actuelle du transport de fret ? Les politiques publiques trouveront-elles les moyens de réconcilier les incitations économiques nécessaires à la transition écologique avec le refus de citoyens qui ne s'en sentent pas les moyens : « près d'un Français sur trois estime ainsi vivre dans un territoire délaissé par les pouvoirs publics »²⁷. Le relatif retard pris dans la révolution

²⁶ Chiffres en voyageurs kilomètres. *Bilan annuel des transports en 2019*, Ministère de la transition écologique https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/sites/default/files/2021-02/datalab_82_bilan_transports_2019_decembre2020.pdf

²⁷ « Près d'un Français sur trois estime vivre dans un territoire délaissé par les pouvoirs publics », Nelly Guisse et Sandra Hoibian, Credoc, Octobre 2017, <https://www.credoc.fr/publications/pres-dun-francais-sur-trois-estime-vivre-dans-un-territoire-delaissé-par-les-pouvoirs-publics-1>

numérique²⁸, les inégalités territoriales et de revenus, la fiscalité, les évolutions du marché du travail, la compétitivité ou encore l'adoption des technologies numériques par les personnes âgées sont autant de facteurs d'incertitude pour l'avenir.

Enfin, sans même évoquer le devenir incertain de la construction européenne, la situation internationale présente des facteurs de fragmentation du monde (poursuite et non résolution de conflits régionaux, accroissement des différentiels de développement, dont les tensions provoquent par exemple des restrictions au commerce des biens et à la liberté de circulation et des entraves aux flux migratoires) qui pourraient conduire à un monde non coopératif et à un reflux de la mondialisation. De plus les risques relatifs à l'approvisionnement énergétique et à la disponibilité de nombreuses ressources, notamment de l'eau, laissent craindre de nouvelles tensions géopolitiques.

1.3 La prospective 2040-2060

1.3.1 Objectifs de la démarche

Les travaux répondent à une commande de la ministre, présidente du Conseil général de l'environnement et du développement durable (CGEDD), incluse dans le programme de travail de ce dernier. Le CGEDD et France Stratégie se sont associés pour mener à bien cette nouvelle démarche qui a démarré en 2019.

La mobilité s'entend ici comme un déplacement de biens ou de personnes, quels que soient les modes utilisés (y compris l'aérien, le fluvial et le maritime), les motorisations et les distances parcourues, en France ou en origine ou à destination de celle-ci, ou en transit.

Cette prospective des mobilités 2040-2060 a pour objectif principal d'examiner comment la France pourrait atteindre, pour la part qui revient aux transports et à la mobilité, la neutralité carbone qu'elle ambitionne pour 2050 et, plus généralement, d'envisager le futur de nos déplacements. Cet exercice s'intéresse donc aux différents facteurs explicatifs du niveau des émissions, en particulier aux motorisations ainsi qu'aux comportements de mobilité des ménages qui dépendent eux-mêmes de leur consommation de biens et services mais aussi des conséquences de l'urbanisation sur la mobilité. Elle a pour ambition de donner des clefs de réflexion et des indications :

- sur les outils d'aide à la décision publique dans un monde de plus en plus incertain ;
- sur les inscriptions sociales et territoriales des évolutions de la mobilité ;
- et sur les articulations entre mobilité, planification urbaine et aménagement du territoire.

L'aide à la décision publique que peut apporter un exercice de prospective, dans un contexte d'incertitude, est de faire apparaître les efforts d'anticipation rendus nécessaires par les délais, souvent importants, d'obtention des effets attendus (pour éviter l'effet de mur), et inversement les risques de « fausses manœuvres » (dépenses ou actions sur des pistes qui ont de forts risques d'être rapidement ou à moyen terme obsolètes, voire qui vont à l'encontre des objectifs poursuivis). Elle peut enfin aider à discerner les leviers dont l'effet sera prépondérant et ceux qui restent mineurs et à estimer le niveau de satisfaction

²⁸ Voir notamment : 5G : « La France est plombée par des grands groupes ayant du mal à engager leur transformation numérique », Philippe Lemoine, https://www.lemonde.fr/idees/article/2020/10/13/5g-la-france-est-plombée-par-des-grands-groupes-ayant-du-mal-a-engager-leur-transformation-numerique_6055796_3232.html

d'objectifs individuels et collectifs (niveau de vie, qualité de vie, efficacité économique et sociale, préservation de l'environnement) dans différents cas.

Le présent exercice cherche ainsi à faire émerger une vision partagée des conséquences d'un certain nombre de choix possibles de politique publique aux différents niveaux, des possibilités de les décentraliser, mais aussi de la gravité des conséquences et des risques associés si certains choix n'étaient pas effectués, à moyen comme à long terme.

1.3.2 Organisation des travaux

Cette démarche de prospective s'est construite en collaboration avec de nombreux acteurs, notamment des industriels et entreprises des transports, des administrations, des ONG et associations : qu'ils en soient ici remerciés.

Cinq groupes de travail thématiques ont été constitués pour mener à bien cette nouvelle prospective :

- le groupe motorisation a réalisé une revue détaillée des technologies disponibles ou envisageables et quantifié pour chacun des modes de transport les réductions possibles des émissions de gaz à effet de serre ;
- le groupe voyageurs a étudié et quantifié les différents scénarios retenus pour le transport de voyageurs ;
- le groupe marchandises a cherché à éclairer d'une part les évolutions possibles des trafics routiers, ferroviaires, fluviaux et de la logistique urbaine et les émissions de GES dans quelques-uns des scénarios proposés; d'autre part celles des trafics maritimes et portuaires qui font l'objet d'un rapport séparé ;
- le groupe aménagement a évalué la contribution d'une politique d'aménagement sur les émissions de CO₂ dues aux transports et à la mobilité ;
- le groupe risques et incertitudes a travaillé à « préciser ce que nous ne savons pas ».

1.3.3 Méthodologie

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 susceptibles de les accompagner (internalisation des externalités) et à décrire leurs conséquences (notamment les besoins de services et d'infrastructures).

Dans le contexte actuel, nous avons fait le choix de procéder autrement.

La méthodologie mise en œuvre relève du compromis entre deux approches :

- une approche exploratoire, dite de *forecasting*, qui consiste classiquement à partir du contexte économique et de variables exogènes, à envisager des mesures de politique publique, à modéliser la demande qui en résulte et les parts modales, et à en analyser les conséquences ; la construction de ces scénarios repose sur les paramètres technologiques et comportementaux ;
- une approche normative rétrospective, dite de *backcasting*, qui commence par la définition d'un avenir souhaitable, puis fonctionne à rebours pour identifier les

politiques et les programmes qui relieront cet avenir spécifié au présent.

Deux horizons principaux de temps sont proposés, 2040 et 2060, mais les échéances intermédiaires 2030 et 2050 sont également regardées :

- 2040 : horizon à vingt ans, correspondant à un horizon vraisemblable de « prévisibilité » de la montée en puissance des évolutions technologiques et des comportements connus ou envisagés aujourd'hui et associée à des réseaux d'infrastructures existants ou décidés ;
- 2060 : horizon de long terme (ambition de profondeur prospective analogue à celle de l'exercice de 2006) où les scénarios sont beaucoup plus ouverts, mais encore reliés à des décisions prises aujourd'hui (infrastructures de transport, organisation des territoires, recherche et technologies...).

Afin de mener à bien cet exercice, au sein de chaque groupe, le travail a été structuré autour de sept scénarios, décrits dans le chapitre 2, chacun étant décliné en un narratif et une simulation.

1.3.3.1 Quelques éléments de cadrage

Les simulations de la présente prospective s'appuient sur quelques éléments communs de cadrage.

La démographie²⁹

Au 1^{er} janvier 2021, la population française s'élevait à 67,4 millions d'habitants. Dans son scénario central de fin 2021, l'Insee³⁰ prévoit 69,2 millions d'habitants en 2040 et 68,7 en 2060 (y compris Mayotte). Les principales hypothèses de ce scénario sont de moins de 1,95 enfants par femme en début de période, un solde migratoire positif de 70 000 habitants par an et une fécondité et un risque de décès évoluant comme lors des dernières années. Plusieurs scénarios alternatifs sont présentés, avec une fourchette d'incertitude de l'ordre de la dizaine de millions en plus ou en moins à l'horizon 2060 ce qui semble toutefois assez faible du fait des incertitudes sur le solde migratoire notamment dans un contexte de forte croissance démographique du continent africain, dont la population pourrait, selon les prévisions de l'ONU, augmenter de près de 90 % d'ici à 2050³¹. En outre, la population de l'espace francophone devrait connaître une croissance très forte et pourrait atteindre 700 millions d'habitants vers 2050 : sous les effets croissants du changement climatique, une partie d'entre elle pourrait être attirée par les emplois et le niveau de vie existant en France.

Des crises économiques ou climatiques dans les pays d'origine pourraient accroître les flux migratoires, même si les pays de destination sont souvent proches des pays d'origine pour les trois quarts des migrants : l'Allemagne a cependant accueilli plus d'un million de réfugiés à la suite de la crise syrienne de 2015³². Selon la Banque mondiale³³, plus de 140 millions de personnes pourraient ainsi devenir des réfugiés climatiques d'ici 2050. D'un

²⁹ *World population prospects 2019*, ONU, <https://population.un.org/wpp/Publications/>

³⁰ 68,1 millions d'habitants en 2070 : une population un peu plus nombreuse qu'en 2021, mais plus âgée : <https://www.insee.fr/fr/statistiques/5893969>

³¹ <https://www.atlas-mag.net/article/evolution-demographique-en-afrique-une-croissance-de-la-population-a-un-rythme-effrene>

³² *Angela Merkel face à la crise migratoire de 2015 : entre précautions d'usage et formules « politiquement correctes »* Philippe Verronneau, <https://doi.org/10.4000/ilcea.11997>

³³ Groundswell—Preparing for Internal Climate Migration, World bank report, March 2018

autre côté, les populations très pauvres migrent peu, si bien que la résorption de la très grande pauvreté dans le monde pourrait aussi être un facteur de croissance des migrations. Inversement, il peut aussi y avoir des surprises à la baisse (crise sanitaire (pouvant être amplifiée dans un contexte d'inefficacité des antibiotiques), développement d'une émigration ...) amenant à s'interroger sur une fourchette d'incertitude plus forte que celle prise en compte par l'Insee.

Dans tous les cas, l'âge moyen de la population devrait être plus élevé (avec un effet de rajeunissement possible toutefois en cas de forte immigration). En 2050, une personne sur six (contre une sur neuf aujourd'hui) devrait avoir plus de 65 ans. Les questions d'adaptation aux handicaps en tenant compte du vieillissement de la population sont aussi à considérer pour repenser les transports et la mobilité. Ces facteurs créent une incertitude supplémentaire sur le degré de vieillissement de la population et la dynamique économique.

Le contexte macroéconomique³⁴

Comme l'écrivait France stratégie avant la crise de la COVID-19, le contexte économique et institutionnel européen reste incertain. La période 2007-2016 demeurera dans les mémoires parce que la crise financière aura été l'occasion d'un basculement historique : au cours de ces dix ans, les six septièmes de la croissance mondiale sont venus des pays émergents. Pour les années à venir, dans un contexte d'incertitude élevée marqué par la faiblesse des gains de productivité et la faiblesse des taux d'intérêt réels à long terme, il paraissait raisonnable de tabler, au niveau mondial, sur une croissance voisine des 3,5 % enregistrés au cours de la dernière décennie. Cependant, fin 2019, l'OCDE constatait que le rythme de l'économie mondiale se situait plutôt autour de 3 % en raison notamment des évolutions de l'économie chinoise qui se tourne en 2021 plus fortement vers son marché intérieur. Le présent exercice conservera cette vision de la croissance, même si, comme le souligne le paragraphe ci-dessous, la crise de la COVID-19 a profondément affecté l'économie mondiale et pourrait probablement accentuer les inégalités entre les pays.

En France, la hausse de la dette publique et une croissance plutôt faible réduisent les marges de manœuvre et imposent davantage d'efficience dans la dépense publique. On ne peut pas exclure, surtout dans un contexte de croissance faible et potentiellement ralentie, que cela réduise assez durablement les possibilités de l'investissement public, qui soutient une partie des investissements de transports, ou du financement de l'exploitation de services collectifs de transport.

Sur le plan économique, la transition énergétique pour atteindre la neutralité carbone va demander des investissements massifs, des subventions publiques importantes pour favoriser la R&D et le développement des technologies bas carbone, une évolution extrêmement rapide du secteur industriel et des dépenses d'accompagnement non seulement à l'égard des industries concernées, de leurs employés, des territoires associés, mais aussi à l'égard des Français qui devront payer, de manière directe à travers des taxes ou indirecte à travers des normes, leurs émissions de CO₂. Ainsi que Jean Pisani-Ferry³⁵ le souligne, en prenant l'exemple du secteur automobile dont les investissements, les brevets et le savoir-faire dans la fabrication des véhicules thermiques seront en partie perdus dès

³⁴ Le premier paragraphe provient de la note de France stratégie

<http://francestrategie1727.fr/thematiques/la-croissance-mondiale-d-une-decennie-a-l-autre/>

³⁵ *Climate Policy is Macroeconomic Policy, and the Implications Will Be Significant*, Jean Pisani-Ferry, August 2021, Policy Brief, Peterson institute for International economics

<https://www.piie.com/system/files/documents/pb21-20.pdf>

2035, si le paquet *Fit for 55* de la Commission européenne, qui prévoit la fin de la vente des véhicules neufs émetteurs de gaz à effet de serre à cette date, est adopté, les conséquences macroéconomiques d'une transition énergétique - trop longtemps différée et devenue urgente - seront probablement notables sur la croissance et les emplois. Il est de plus probable que ces investissements publics massifs et les coûts privés (fiscalité, redevances, prix de l'énergie...) qu'ils entraîneront ne seront acceptables que dans un scénario de croissance soutenue et de dynamique positive des revenus des particuliers.

Une étude de sensibilité a été conduite, pour chacun des scénarios, selon des hypothèses haute et basse d'évolution du PIB. Elle montre que ce paramètre n'est pas le facteur d'incertitude le plus déterminant dans cet exercice prospectif. La performance économique du pays et sa capacité à créer de la richesse (ce dont le PIB ne rend compte que de manière imparfaite³⁶) deviennent le déterminant non du volume des échanges (les tests de sensibilité montrent que cela ne joue que sur 10 % à 30 % *in fine* des résultats des projections), mais de la capacité à faire face aux mutations nécessaires pour :

- acquérir les outils de déplacements compatibles avec les objectifs mondiaux ;
- adapter les outils industriels ;
- disposer des moyens d'organiser l'effort de redistribution nécessaire pour assurer la faisabilité sociale.

Si notre pays ne parvenait pas à dégager les ressources financières, cela signifierait au mieux une relégation progressive au plan international, si la communauté internationale et les pays leaders relèvent effectivement le défi, et au pire des effets environnementaux délétères, si la communauté internationale elle-même ne le relève pas. Faire partie du petit peloton des pays qui maîtriseront et produiront ces technologies et qui donneront le *tempo* des efforts de sobriété est essentiel pour l'économie française.

Les mutations du travail³⁷

Les technologies numériques, mais aussi les transformations de l'entreprise et l'évolution des attentes des actifs se conjuguent pour mettre en cause la prédominance de l'emploi salarié stable, à plein temps et entièrement en présentiel. Intermittence, nouvelles formes de travail indépendant, poly-activité, et bien entendu télétravail, se développent. Les mêmes personnes pourront ainsi effectuer une partie de leur travail depuis leur domicile, voire passer d'un statut à l'autre, ou cumuler plusieurs statuts. La vitesse et l'étendue de cette transformation demeurent incertaines. Dans cette vision d'un travail éclaté entre plusieurs lieux, voire plusieurs activités, la notion même des liaisons quotidiennes entre le domicile et le travail, effectuées durant les périodes de pointe du matin et du soir, pourrait s'estomper pour laisser la place à plusieurs déplacements dans la journée permettant de passer d'un lieu à un autre en fonction des horaires de chacun, voire à un habitat plus éloigné du travail et à quelques déplacements hebdomadaires.

1.3.3.2 La prospective de long terme doit tenir compte des tendances révélées par la crise sanitaire

À première vue, on pourrait penser qu'il n'y aurait pas beaucoup de liens entre l'analyse

³⁶ Sur ce débat, le lecteur pourra consulter avec intérêt le rapport de la commission Stiglitz-Sen-Fitoussi intitulé *The Commission on the Measurement of Economic Performance and Social Progress* ainsi que le tableau de bord des dix indicateurs de la richesse nationale retenus par le Conseil économique social et environnemental et France Stratégie, en collaboration avec le Cnis et le service statistique public : <https://www.insee.fr/fr/statistiques/3281778>

³⁷ <http://francestrategie1727.fr/thematiques/nouvelles-formes-du-travail-et-de-la-protection-sociale/>

de la présente crise économique et sanitaire d'une part et une démarche de prospective des mobilités de long terme à vingt et quarante ans d'autre part, les horizons de temps des deux démarches étant *a priori* très différents. Ce serait pourtant une erreur : la crise de la COVID-19 au-delà de ses impacts sanitaires et économiques a modifié, de façon plus ou moins durable, le comportement de ceux qui y ont été confrontés et a servi de révélateur à certaines tendances de la société qui peuvent se prolonger dans le temps, en particulier le recours accru au télétravail.

Sur le plan économique, les prévisions de l'OCDE publiées en septembre 2021 faisaient état d'une reprise nettement plus rapide que ce qui était anticipé un an auparavant, comme le montrent les diagrammes ci-dessous. Non seulement les économies avancées du G20 retrouveraient en 2022, grâce à la manière dont ils ont géré la crise, un rythme de croissance comparable à celui d'avant crise, mais ils effaceraient de plus la perte de croissance liée à la COVID-19.

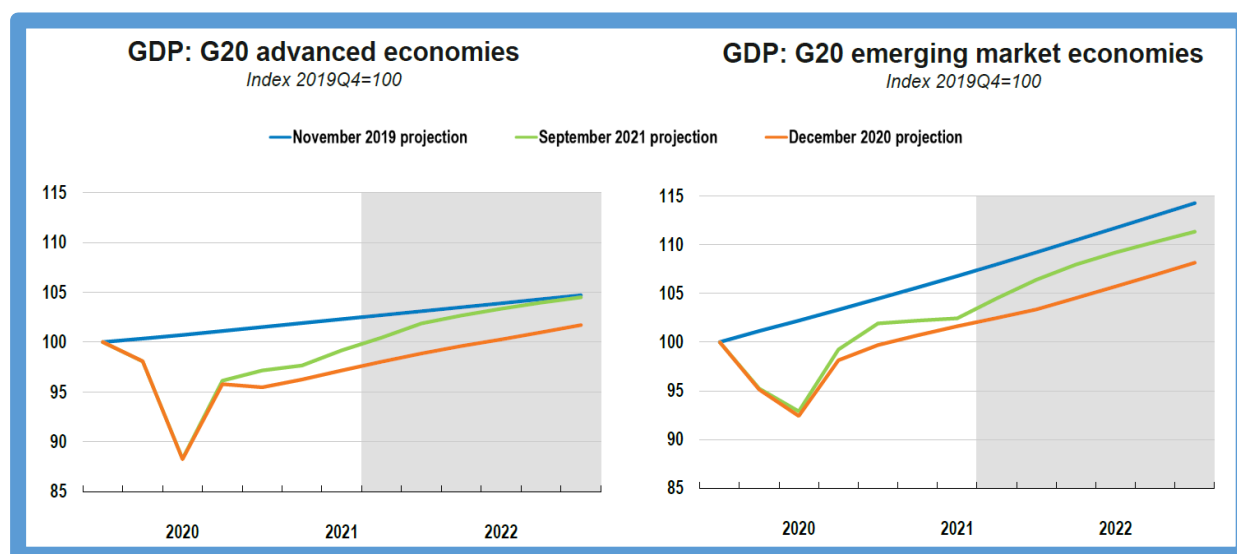


Figure 5 : Les prévisions économiques des différents pays du G20 en septembre 2021³⁸

Selon les estimations de la Banque de France datées de septembre 2021, la France devait retrouver fin 2021 son niveau de PIB de 2019, et connaître en 2022 une année de forte croissance (qui pourrait être voisine de 4 % en tout cas dans une hypothèse d'absence de dégradation significative de la situation sanitaire), avant de revenir vers un rythme d'évolution plus proche du rythme de croissance d'avant la crise sanitaire.

³⁸ *Keeping the recovery on track*, OECD INTERIM ECONOMIC OUTLOOK, 21 SEPTEMBER 2021, Mathias Cormann and Laurence Boone, OECD Secretary-General and OECD Chief Economist

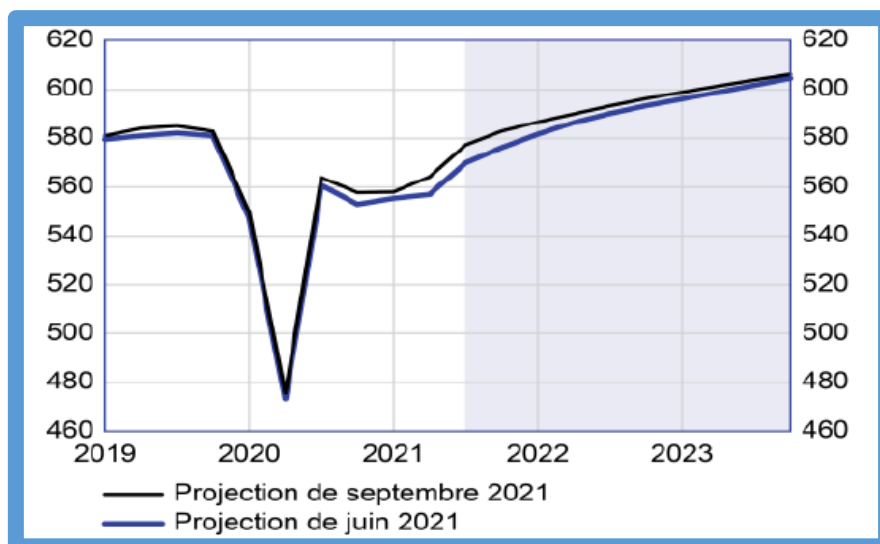


Figure 6 : Niveau du PIB français réel (en volume prix chaînés en milliards d'euros 2014)
Source : Insee jusqu'au 2ème semestre 2021, prévisions Banque de France au-delà³⁹

À l'inverse, les pays émergents du G20 n'arriveraient pas à compenser la croissance perdue durant la crise de la COVID-19. De plus, le taux de vaccination inégal suivant les pays, les tendances inflationnistes, les dettes élevées d'un certain nombre de pays sont susceptibles de compromettre cette reprise. L'économie mondiale post-crise risque donc d'accentuer encore plus fortement qu'auparavant les écarts entre les pays riches, comme entre les États-Unis dopés par leur plan de relance, et d'autres, moins fortunés, d'Amérique du sud et d'Afrique subsaharienne notamment, qui n'auront pas retrouvé en 2022 leur niveau de PIB/habitant de 2019⁴⁰. Dans ce contexte, il paraît donc raisonnable de prendre pour cet exercice, une croissance économique de notre pays quasi-équivalente à celle qui prévalait avant la crise.

Cette tendance macroéconomique *a priori* favorable sauf forte dégradation sanitaire nouvelle pour les économies avancées ne doit cependant pas occulter les difficultés propres à certains secteurs : pour ne citer que deux exemples du domaine des transports, le trafic aérien a subi de lourdes pertes et n'a pas encore retrouvé, à l'automne 2021, son niveau de trafic de 2019. De même, le secteur automobile connaît une reprise difficile en raison d'une baisse de la demande, de la pénurie mondiale de composants – en particulier des semi-conducteurs – ainsi que de la hausse générale des coûts des matières. Plus généralement, le niveau d'emploi au deuxième trimestre 2021 est encore inférieur dans beaucoup de pays du G20 à ses valeurs du quatrième trimestre 2019, sauf en Australie et en France.

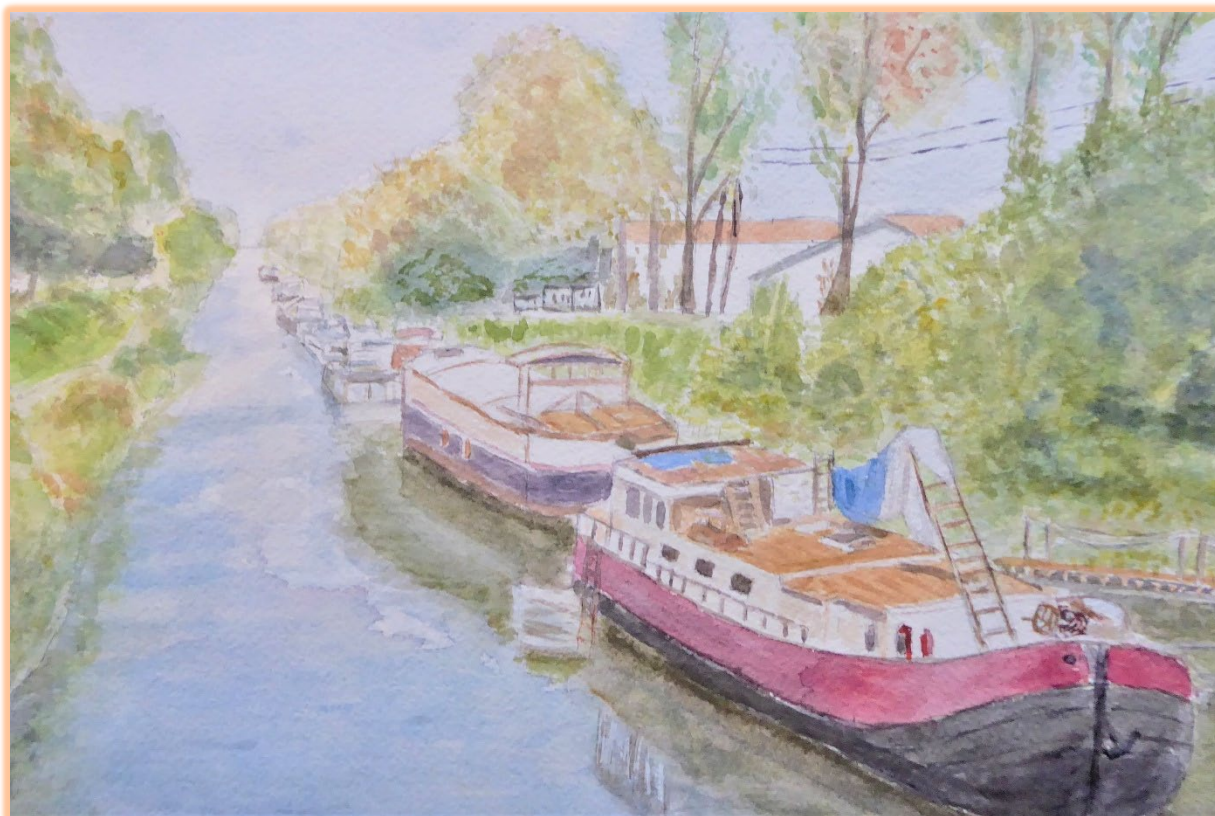
Dans un contexte de fragmentation du monde par blocs régionaux et de rivalité économique exacerbée entre ceux-ci, le débat public autour de ces difficultés d'approvisionnement se tient sur le terrain de l'indépendance stratégique pour les États ou de l'efficacité des stratégies de localisation des sous-traitants pour les entreprises. Il peut conduire à des évolutions plus ou moins importantes dans les flux de marchandises.

³⁹ *Projections macroéconomiques* France, 13 septembre 2021, Banque de France, <https://publications.banque-france.fr/projections-macroecologiques-septembre-2021>

⁴⁰ Voir notamment *L'économie mondiale 2022*, CEPPII, septembre 2022, http://www.cepii.fr/cepii/fr/publications/economie_mondiale.asp

Dans un rapport de 2018⁴¹, le forum international des transports envisage ainsi un retour à une régionalisation plus marquée de la production, grâce notamment au déploiement de l'intelligence artificielle et de l'automatisation des usines, ce qui conduit à une augmentation du commerce intra-régional et à une diminution du trafic international d'environ 20 %.

⁴¹ *Decarbonising Maritime Transport Pathways to zero-carbon shipping by 2035*, International forum transport, 2018, <https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/decarbonising-maritime-transport.pdf>



2 Les scénarios et leurs trajectoires jusqu'en 2060

Dans une approche simplifiée inspirée de la méthode Futuribles⁴², le travail de construction méthodologique des scénarios repose sur le choix de deux variables principales, la sobriété et le développement technologique : ce sont en effet principalement ces deux variables qui vont permettre ou non de se rapprocher de la neutralité carbone envisagée pour la France dès 2050.

2.1 La construction de sept scénarios pour le futur

Les scénarios et leurs trajectoires sont construits à l'aide de ces deux variables en croisant, selon le schéma du tableau ci-dessous :

- trois ambiances contrastées d'évolution des technologies de motorisation ;
- cinq politiques contrastées de sobriété.

	Technologie basse	Technologie moyenne	Technologie haute
Sobriété basse	« Pire climatique »	« Ambition de base »	« Poussée de technologie »
Sobriété moyenne			
Sobriété forte	« Hyper-contraint »	« Poussée de Sobriété »	« Pari technologique »
Sobriété très forte			
Sobriété ultra forte			
		« Pari sociétal »	

Tableau 2 : Les sept scénarios croisant trois ambiances technologiques et cinq politiques de sobriété

Au-delà de l'année de base 2017 pour laquelle on reprend les données de la CCTN⁴³, les scénarios comprennent des estimations pour les années 2025, 2030, 2040, 2050, 2060 :

- des flux de transport (voyageurs-km et tonnes-km par an) ;
- des flux de trafic (véhicules-km par an) pour le mode routier ;
- des émissions de gaz à effet de serre (GES) en MtCO₂eq par an.

Les transports et les trafics sont estimés d'une part à partir d'une trajectoire de la croissance économique jusqu'en 2060 en utilisant des coefficients d'élasticité et d'autre part à partir d'effets exogènes (par exemple le taux de télétravail). Des hypothèses sur l'évolution des émissions unitaires des véhicules neufs, puis sur celle du parc de véhicules en circulation permettent alors de calculer des estimations des émissions annuelles de gaz à effet de serre.

⁴² La méthode Futuribles est basée sur l'exploration des futurs possibles d'un système, à partir de la combinaison des hypothèses associées à ses variables ou ses composantes. À l'origine utilisée en innovation technologique, cette méthode se prête aussi à la construction de scénarios prospectifs. La trame d'un scénario sera alors une combinaison des hypothèses sur l'évolution des variables du système ; chaque scénario représentant un jeu d'hypothèses différent.

⁴³ Commission des Comptes transports de la Nation (devenue en 2021 la formation transport de la Commission de l'Économie du Développement Durable)

Une originalité de la démarche a consisté à estimer les émissions de GES en ne se limitant pas à celles des moteurs, mais en y incluant également, dans une démarche de type ACV⁴⁴, l'amont pétrolier, l'empreinte des véhicules et des infrastructures, ainsi que les émissions de l'aérien et du maritime international depuis et au départ de la France. Une approche des effets de l'émission de la vapeur d'eau de l'aérien est également incluse à travers une équivalence « instantanée » en GES.

Cette démarche présente l'intérêt de prendre en compte l'ensemble des émissions liées aux mobilités, et de pouvoir comparer par exemple les émissions d'un véhicule thermique à celles d'un véhicule électrique, qui interviennent principalement lors de la phase de fabrication de la batterie ou de production d'électricité : elle est donc plus globale puisqu'elle cherche à prendre en compte l'ensemble des émissions, qu'elles interviennent sur notre territoire ou à l'extérieur de celui-ci. Elle permet également d'envisager une relocalisation d'industries sur notre territoire sans accroître le total des émissions. En revanche, il convient de rappeler que certaines hypothèses sont encore en débat dans la communauté scientifique, notamment la prise en compte des effets de la vapeur d'eau émise par le secteur aérien, ou sont moins précises comme les clés relatives aux flux internationaux. La prise en compte des empreintes des infrastructures comporte également de fortes incertitudes.

Le cadrage macro-économique central est commun à tous les scénarios, et repose :

- sur la moyenne des évolutions du PIB par habitant du comité d'orientation des retraites (COR) 2021 en France⁴⁵. L'effet de rétroaction des scénarios sur l'évolution du PIB n'est pas pris en compte ;

2017-2025	2025-2030	2030-2040	2040-2050	2050-2060
0,97 %	1,34 %	1,45 %	1,38 %	1,49 %

Tableau 3 Hypothèses d'évolution du PIB par habitant (taux de croissance annuel moyen) retenues dans les sept scénarios

- sur le scénario central de population française de l'Insee⁴⁶ (2021) correspondant à une population de 69,2 millions d'habitants en 2040 et 68,7 millions d'habitants en 2060 ;
- et sur des données de cadrage mondiales issues de l'OCDE (PIB par habitant) et de l'ONU (population).

2.1.1 Cinq scénarios dits de *forecasting* ne parvenant pas à la neutralité de l'empreinte carbone « complète »

L'analyse a porté sur cinq scénarios contrastés de *forecasting* qui ne prennent pas l'objectif de neutralité carbone en empreinte à terme comme une donnée d'entrée :

- Le scénario dit « ambition de base » prend en compte toutes les mesures prises ou envisagées aujourd'hui et les complète par des progrès technologiques significatifs

⁴⁴ Analyse du Cycle de Vie

⁴⁵ Sauf pour le transport maritime où d'autres hypothèses ont été retenues, cf. rapport transport maritime et ports

⁴⁶ Voir : « 68,1 millions d'habitants en 2070 : une population un peu plus nombreuse qu'en 2021, mais plus âgée », Insee première n° 1881 paru le 29/11/2021 : <https://www.insee.fr/fr/statistiques/5893969>

essentiellement fondés sur les technologies matures et des comportements plutôt parcimonieux amplifiant les pratiques de télétravail, de covoiturage, etc. Ce n'est donc pas un scénario « *business as usual* », mais un scénario qui extrapole l'accroissement des efforts qui ont commencé pour atteindre les objectifs fixés par la loi d'orientation des mobilités et la loi climat et résilience (en particulier à 2050 : zéro émissions des transports terrestres en phase d'utilisation, réduction de 50 % des émissions du transport aérien, réduction d'au moins 50 % des émissions maritimes mondiales).

- 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 : renforcement du télétravail, développement des modes ferroviaires et TCU lourds en lien avec un renforcement du covoiturage, augmentation de la taxe carbone à 500€/tCO₂ en 2060 avec élargissement au transport aérien.
- Le scénario dit « poussée de technologie » où les ambitions technologiques sont très fortes, et qui suppose que des technologies qui sont encore au stade de la recherche parviennent à mûrir et à se déployer sans contrainte particulière de ressources : neutralité carbone en phase d'usage des nouveaux avions et poids lourds dès 2040, fortes baisses de coût des technologies bas carbone. La sobriété y est proche de celle du scénario « ambition de base ».
- 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, sans toutefois y parvenir.
- Le scénario dit du « pire climatique » allie de faibles progrès technologiques et des comportements tournés vers la consommation individuelle : maintien de l'autosolisme, reports modaux vers la voiture, pas de régulation d'usage à l'arrivée des véhicules autonomes terrestres ou des drones.

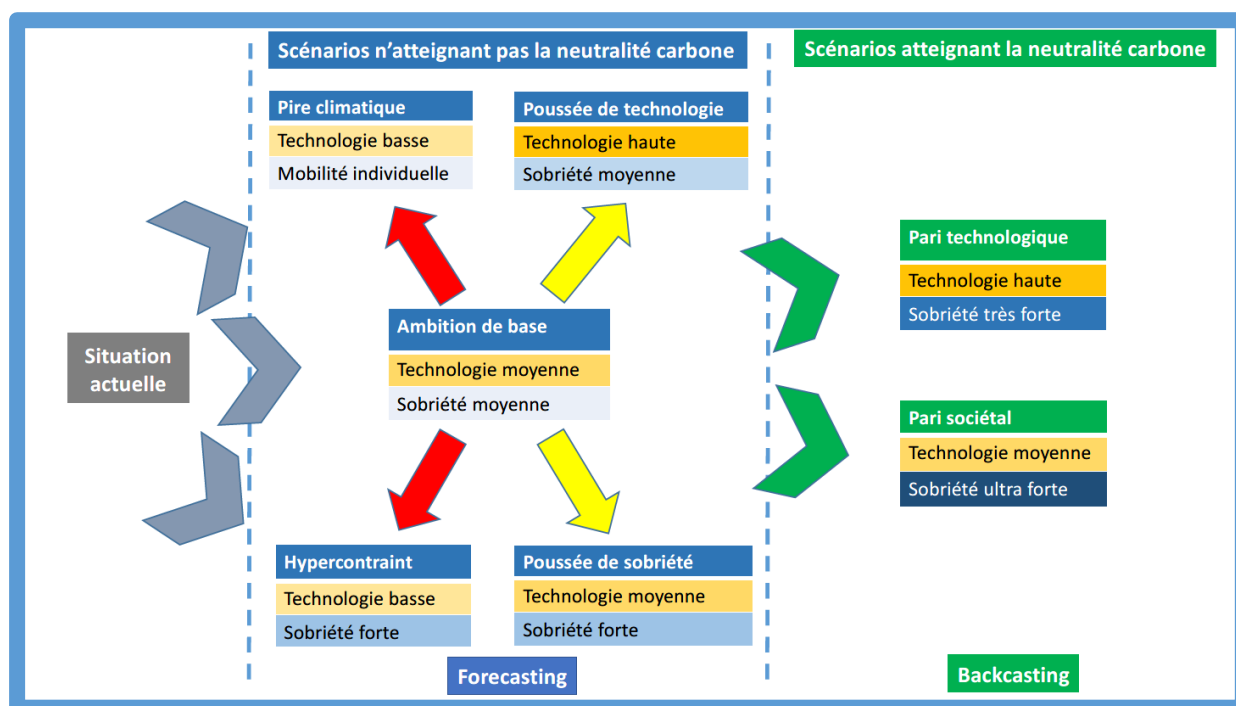


Figure 7 : Les scénarios envisagés - Source : Prospective 2040-2060, CGEDD-France-Stratégie, 2022

2.1.2 Deux scénarios contrastés d'atteinte de la neutralité carbone (*backcasting*)

Aucune des trajectoires précédentes, on le verra, n'atteint la neutralité carbone en ACV : deux scénarios de neutralité carbone ont donc été envisagés dans une démarche dite de *backcasting*, consistant à partir de l'objectif à atteindre, en l'occurrence la neutralité de l'empreinte carbone « complète » du secteur à 2060, à chercher les mesures à envisager pour y parvenir.

Ce *backcasting* suppose la définition d'une cible d'émissions positives compensées par des émissions négatives. Celle-ci est largement dépendante des perspectives d'évolutions des puits de carbone naturels et technologiques envisageables et attribuables au secteur (soit par la réglementation, soit par le prix). Le choix fait ici est celui de prolonger à 2060 les perspectives de la stratégie nationale bas carbone (SNBC) en vigueur actuellement, qui prévoit d'augmenter les puits de carbone (naturels et technologiques) d'un facteur 2 par rapport à aujourd'hui et d'atteindre une valeur légèrement supérieure à 80 MtCO₂ en 2050 : un chiffre de 95 MtCO₂ est ainsi retenu à l'horizon 2060. Ce choix est un peu moins optimiste que celui réalisé récemment par l'Ademe dans son rapport *Transitions 2050*⁴⁷ qui envisage à 2050 un puits de carbone (naturel et technologique) compris, suivant les scénarios, entre 94 et 134 MtCO₂, ce dernier correspondant à un « pari réparateur » incluant des puits technologiques correspondant à des technologies n'ayant pas encore atteint leur maturité.

Dans le présent exercice, l'application de cette démarche a consisté à identifier des mesures supplémentaires de sobriété par rapport aux deux scénarios de *forecasting* intitulés « poussée de technologie » et « poussée de sobriété ». Ces deux scénarios sont en réalité très contrastés :

- Le scénario dit du « pari technologique » est optimiste quant aux progrès technologiques (identique sur ce point au scénario « poussée de technologie »). Pour pouvoir atteindre la neutralité carbone, il suppose de plus un renforcement très significatif des efforts de sobriété allant légèrement au-delà du scénario « poussée de sobriété ».
- Le scénario dit du « pari sociétal » s'appuie sur des progrès technologiques significatifs mais allant un peu moins loin, ou sur des limites de ressources, (comme le scénario « ambition de base »), mais demande pour parvenir à la neutralité carbone de recourir à des efforts de sobriété nettement plus importants encore que le scénario « poussée de sobriété ».

Dans leur principe, les réflexions proposées dans le présent document concernent l'ensemble de la France. Toutefois, certains territoires présentent des spécificités marquées et devraient donc faire l'objet de travaux complémentaires pour les prendre en compte, par exemple la métropole francilienne, les territoires de montagne ou insulaires et a fortiori les Outre-Mer, au vu de problématiques spécifiques incluant selon les cas des enjeux de continuité territoriale, ou bien de contextes juridiques, économiques et sociaux ainsi que des situations de vulnérabilités particulières vis-à-vis du dérèglement climatique.

Les différents scénarios sont présentés succinctement ci-dessous. Pour plus de précisions, le lecteur est invité à consulter les narratifs détaillés des scénarios présentés dans les rapports des différents groupes de travail. Le rapport transversal se concentre sur la

⁴⁷ Cf. page 12 du rapport *Transitions 2050 : choisir maintenant, agir pour le climat*

<https://transitions2050.ademe.fr/>

présentation des simulations et des hypothèses qui les sous-tendent. Les narratifs des rapports sectoriels se sont davantage appuyés sur le dire d'experts. Les scénarios présentés ici et leurs résultats peuvent s'en éloigner sur certains points, notamment sur la trajectoire de la valeur du carbone et sur les leviers économiques mis en œuvre pour la traduire dans l'économie, qui ont été précisés dans la phase finale de la réflexion.

2.2 La description des cinq scénarios dits de *forecasting*

2.2.1 Le scénario « ambition de base »

Le scénario « d'ambition de base » s'appuie sur les décisions déjà prises, les prolonge et les amplifie en s'inscrivant ainsi dans la continuité des politiques actuelles⁴⁸ : il ne s'agit pas d'un scénario central ou de référence au sens classique du terme. Il suppose en effet que dans le prolongement de l'ambition envisagée aujourd'hui, les gouvernements successifs et la société dans son ensemble adoptent de nouvelles mesures, conformément aux objectifs de la loi d'orientation sur les mobilités et de la loi climat et résilience :

- neutralité carbone directe (hors ACV) des transports terrestres dès 2050 ;
- interdiction de la vente de voitures utilisant des énergies fossiles carbonées d'ici 2040 (ce qui peut conduire à recourir à l'électricité à batteries ou à hydrogène, au biogaz, aux biocarburants, à l'hybride avec biogaz ou biocarburants) ;
- fin de la vente des poids lourds neufs utilisant majoritairement des énergies fossiles en 2040, la nette progression de la disponibilité des biocarburants durables et des e-fuels pour l'aérien ;
- instauration des ZFE-m (zones à faibles émissions « mobilité ») conduisant à la suppression des véhicules Crit'Air3, donc des diesels sans filtres à particules, dans toutes les agglomérations de plus de 150 000 habitants en 2030 et à des interdictions à plus court terme de circulation de l'ensemble des diesels (VP ou VUL) dans certaines agglomérations (2024 par exemple pour la ZFE-m du Grand Paris) ;
- adoption par l'OACI d'un objectif de réduction de 50 % des émissions de CO₂ du transport aérien à l'horizon 2050 (malgré l'augmentation du trafic) ;
- apparition vers 2035-2040 des premiers avions neutres en carbone à l'émission ;
- réduction d'au moins 50 % des émissions maritimes mondiales par rapport à 2008.

Dans le domaine de la sobriété, il prend en compte un renforcement modéré des politiques publiques actuelles. Le scénario comporte ainsi :

- une massification des transports de voyageurs, grâce au développement des transports ferroviaires et collectifs lourds (BHNS, métro, RER, tramway, tram-trains), articulé avec des services de véhicules partagés. Ces services partagés font l'objet d'incitations, par exemple des accès à des couloirs réservés dès lors que les vitesses des bus ne sont pas impactées, ou à des stationnements prioritaires ;
- les politiques menées sont calibrées en fonction des densités des zones concernées, avec des taux de partage des véhicules plus élevés dans les zones les plus denses, avec une moyenne toutes zones de hausse de ce taux de 15 % (par exemple passage de 1,4 personnes par voiture à 1,6) ;
- le trafic des TCU lourds et du ferroviaire urbain pourrait augmenter de l'ordre de 33 %. S'y ajoute un renforcement des infrastructures pour les modes actifs et doux, par des

⁴⁸ C'est d'ailleurs ce qui a été réalisé pour la SNBC avec les mesures supplémentaires (AMS).

continuités d'itinéraires et le traitement de points durs non encore équipés, ce qui permet l'augmentation de leurs parts modales qui atteignent des chiffres comparables à ceux de nos principaux voisins, comme par exemple l'Allemagne⁴⁹, où la part modale atteint environ 12 % contre 3 % environ en France ;

- dans la continuité des nouvelles habitudes de mobilité prises lors de la crise sanitaire, un *mix* de télétravail et de travail en présentiel est encouragé lorsqu'il est possible, pouvant aller jusqu'à deux jours sur cinq à distance en moyenne pour 30 % de la population. Une partie des déplacements longue distance pour motif professionnel (jusqu'à 30 % de ceux-ci) fait l'objet d'une substitution par des moyens de télécommunications.

Compte tenu de la sensibilité de la population aux prix des carburants, le signal prix carbone n'est pas explicitement traduit dans l'économie : la contribution climat énergie de la TICPE subsiste à son niveau actuel dans un premier temps. Le deuxième marché mis en place sous l'impulsion de la Commission européenne pourrait cependant conduire dans le temps à une augmentation modérée de la contribution climat énergie qui atteindrait ainsi 113 €/tCO₂ en 2040 et 250 €/tCO₂ en 2060 (au lieu de 2030 dans l'évolution préconisée par la Commission Quinet dans le cadre des travaux menés pour la France stratégie⁵⁰).

2.2.2 Le scénario « poussée technologique »

Ce scénario est marqué par un très net renforcement du développement technologique dans le sillage des États-Unis et de la Chine et dans une ambiance internationale tirée par la compétition internationale et le marché mondial plutôt que par la coopération. Ce scénario est optimiste quant aux résultats des innovations aujourd'hui envisagées, et suppose le déploiement de technologies qui restent à mettre au point en particulier dans les secteurs aérien et maritime. Il suppose la disponibilité des ressources naturelles nécessaires pour y parvenir (terres rares, etc...).

La neutralité carbone directe est atteinte pour les nouveaux avions à partir de 2040 et pour l'ensemble de la flotte aérienne (correspondant à l'utilisation de l'électricité, de l'hydrogène et des biocarburants durables suivant les segments, hors empreinte des véhicules et des infrastructures) en 2060.

Dans le domaine routier, les premiers PL neutres en carbone font leur apparition dans la décennie actuelle si bien que les poids lourds neufs sont neutres à l'émission à partir de 2040 (conformément à la loi portant lutte contre le dérèglement climatique et renforcement de la résilience face à ses effets) et la neutralité carbone « directe » (hors empreinte) des VP et des PL est obtenue en 2050 ; un basculement vers les véhicules professionnels neutres en carbone intervient dès 2030 ; le *sourcing* le plus décarboné possible des matériaux pour les véhicules (batteries, caisse,...) ainsi que leur recyclage ou leur réutilisation dans une deuxième vie après la mobilité deviennent la règle générale notamment au-delà de 2040 ; la disponibilité de biocarburants avancés et de carburants de synthèse décarbonés à destination principalement de l'aérien est assurée grâce à une bonne mobilisation de l'appareil industriel et à une répercussion des coûts sur les voyageurs.

Dans cette ambiance de diffusion du progrès technologique, le coût des technologies bas carbone baisse rapidement et les coûts d'évitement des GES par les technologies sont

⁴⁹ Voir par exemple : <https://www.fub.fr/velo-ville/villes-qui-aiment-velo/villes-qui-aiment-velo-france-etrananger>

⁵⁰ <https://www.strategie.gouv.fr/publications/de-l'action-climat>

plutôt faibles : dans l'automobile par exemple, le véhicule électrique devient ainsi moins cher que son équivalent thermique vers 2025⁵¹ et il en est de même pour les poids lourds vers 2030 ; des dispositifs de capture et stockage du carbone se généralisent à partir de 2030 dans l'industrie et dans le maritime, mais pas pour les poids lourds malgré l'offre commerciale de certaines entreprises⁵².

Afin de permettre l'évolution rapide des technologies, le signal prix carbone est explicitement traduit dans l'économie sous forme d'une palette d'outils différents (normes, marchés, taxes, bonus/malus ...) : la trajectoire implicite de la valeur du carbone augmente à un rythme supérieur à celui préconisé par la Commission Quinet dans le cadre des travaux menés pour France Stratégie⁵³, en raison de la volonté d'atteindre, dans le domaine des transports, une neutralité carbone de l'empreinte de la France, autrement dit une neutralité carbone tenant compte des émissions à l'amont du cycle pétrolier et de celles produites pour la fabrication des biens importés (et exportés). Néanmoins, afin de tenir compte de la sensibilité de l'opinion au prix du carburant, le volet contribution climat énergie de la TICPE n'augmente que de façon modérée à travers la mise en place d'un signal prix carbone européen conformément à la proposition de la Commission européenne de juillet 2021⁵⁴ et atteint ainsi 113 €/tCO₂ en 2040 et 250 €/tCO₂ en 2060 (au lieu de 2030), tandis que les normes de décarbonation de la construction des véhicules et leurs batteries sont renforcées pour se rapprocher de la neutralité carbone.

L'Union européenne impose un pourcentage obligatoire de biocarburants de plus en plus élevé⁵⁵ au cours du temps pour les vols au départ des aéroports européens. Une taxe carbone est instaurée sous forme de mécanisme d'ajustement carbone à la frontière conformément à la proposition de la Commission européenne de juillet 2021.

2.2.3 Le scénario « poussée de sobriété »

Ce scénario est marqué, sans plus de performance technologique que le scénario de l'ambition de base, par un renforcement des politiques de sobriété.

Ainsi, un renforcement du télétravail et des télé-activités, en s'appuyant sur le progrès des télécommunications, est recherché : à 2060, 50 % des actifs télétravaillent en moyenne trois jours par semaine, avec un effet rebond restant à 50 %). Le niveau de la taxe carbone est également renforcé pour aller vers 500 €/tCO₂ en 2060 (y compris en aérien).

Les politiques de développement des modes ferroviaires et de TCU lourds sont accélérées, en conjonction avec un renforcement du covoiturage. Les taux de remplissage moyens sont modulés en fonction de la densité des zones. L'encouragement des modes actifs et doux est renforcé. À cet effet, des mesures de partage de voirie sont prises, augmentant

⁵¹ Même si cette affirmation est discutable, Volkswagen annonce que le TCO de ses véhicules électriques est déjà moins élevé que celui des véhicules thermiques équivalents. Voir notamment : <https://www.automobile-propre.com/comparatif-chez-volkswagen-lelectrique-serait-moins-cher-que-le-thermique/>

⁵² *Transport technologies : Mobile Carbon Capture*, Saudi Aramco, <https://www.aramco.com/en/creating-value/technology-development/transport-technologies/mobile-carbon-capture#>

⁵³ Correspondant à 250 €/tCO₂e, et environ 500 et 750 €/tCO₂e : il s'agit d'euros courants 2019 (autrement dits d'une valeur courante sans tenir compte de l'inflation à partir de 2019) <https://www.strategie.gouv.fr/publications/de-l'action-climat>

⁵⁴ Dans le cadre du paquet *Fit for 55*, la Commission a proposé la mise en place à partir de 2027 d'un deuxième marché de quotas d'émissions de gaz à effet de serre portant sur le transport et le chauffage et s'appliquant aux importateurs d'hydrocarbures.

⁵⁵ Sachant qu'il n'existe pas de limite technique supérieure au taux d'incorporation.

l'allocation de l'espace en faveur des TC, du covoiturage et des pistes cyclables, au détriment de la voiture à une seule personne, et du stationnement.

Sous réserve d'un bilan carbone positif en analyse en cycle de vie, davantage de nouvelles infrastructures de transport collectif lourdes sont construites en ville et sur les grands axes interurbains. Les interfaces intermodales sont développées, notamment les parking relais autour des grands axes de transports collectifs lourds.

Ceci résulte notamment du choix d'une valeur du carbone plus élevée, qui a pour conséquence une augmentation des emports moyens et un plus grand recours aux transports collectifs.

Pour les marchandises, l'accès à la voirie ou au stationnement peut être rendu plus rare, notamment dans les cas de remplissages faibles des véhicules. Les capacités des nœuds ferroviaires sont renforcées, et des améliorations voire des constructions de lignes nouvelles fret ou mixtes sont engagées, sous réserve de bilan carbone favorable en cycle de vie.

L'étalement urbain est davantage limité.

2.2.4 Le scénario « hyper contraint »

Ce scénario illustre les risques d'échec si les progrès technologiques envisagés dans le scénario d'ambition de base ne sont pas au rendez-vous. Il se place dans l'hypothèse où la société cherche à minimiser néanmoins l'empreinte carbone, sans y parvenir toutefois, par des mesures de sobriété seules.

Une transition énergétique mal préparée et/ou trop rapide, une volonté de développer toutes les technologies en même temps ou, à l'inverse, d'en privilégier une qui ne sera finalement pas retenue au niveau international peuvent en effet conduire à des coûts économiques trop importants pour l'industrie, pour les ménages ou pour les dépenses publiques. Le maintien des contraintes, en l'absence de technologies bas carbone efficaces, amène à des dépenses élevées, et, même en cas de politique redistributive, à une aggravation des inégalités sociales. Dans ce scénario le gouvernement impose des mesures de plus en plus drastiques (et de plus en plus mal acceptées par la population), ce qui entraîne la fermeture ou la délocalisation d'une partie de l'appareil industriel, une forte augmentation des importations et un ralentissement marqué de la croissance économique. Ce scénario aboutit vraisemblablement à des conflits sociaux et/ou à une crise qui ne permet plus de poursuivre la transition vers la neutralité carbone.

2.2.5 Le scénario du « pire climatique »

Ce scénario constitue une deuxième illustration des risques d'échec dans l'atteinte des objectifs de réduction des émissions de gaz à effet de serre. Il est marqué par l'absence de développement de nouvelles technologies bas carbone, par une faible diffusion du progrès technologique liée à la défiance de la population à l'égard de la technologie et par un délitement progressif de l'Accord de Paris. Les mesures de régulation nécessaires à la lutte contre le réchauffement climatique ne sont pas acceptées par la population et ne sont donc mises en œuvre que de manière extrêmement modérée, ce qui en limite fortement l'efficacité. Dans ce scénario, les ventes de véhicules neufs décarbonés ne représentent que 30 % des véhicules neufs à 2040, le marché de l'occasion des véhicules électriques ne se développe que lentement, l'incorporation de biocarburants durables reste faible, voisin de 5 % à 10 % dans l'aérien à 2040, tandis que le maritime n'adopte pas de carburants neutres en carbone. L'autosolisme perdure et les reports modaux en faveur de la voiture

constatés pendant la crise sanitaire se prolongent. Aucune régulation d'usage n'est mise en place à l'arrivée des véhicules autonomes terrestres ou des drones. Il en découle une baisse du taux d'emport moyen des voitures ainsi qu'un développement de la circulation de véhicules vides pour assurer les repositionnements. Globalement, tant en voyageurs qu'en marchandises terrestres, le nombre de circulations pourrait doubler de ce fait.

2.3 La description des deux scénarios de neutralité carbone

2.3.1 Le scénario « pari technologique »

Ce scénario repose sur un développement optimiste de la technologie équivalent au scénario poussée de technologie mais aussi sur des actions renforcées de sobriété. Une taxe carbone et/ou des dispositifs quantitatifs de contingentement du carbone émis sont mis en place dans l'ensemble des modes, notamment routier et aérien, (voyageurs et marchandises) à un niveau suffisant pour atteindre la neutralité des mobilités.

Comme dans le scénario « poussée technologique », le progrès technologique est favorisé par un très net renforcement de la coopération mondiale dans la lutte contre le changement climatique propice à la mise au point de nouvelles technologies bas carbone et la diffusion rapide du progrès technologique ainsi qu'à l'adoption au niveau mondial d'objectifs ambitieux globaux, mais aussi sectoriels pour l'aviation et le maritime.

Dans le domaine des véhicules terrestres, les progrès technologiques conduisent à une fabrication largement décarbonée des véhicules, y compris des batteries pour les véhicules électriques au-delà de 2040.

Du point de vue des politiques de sobriété, il est supposé quelques éléments au-delà des politiques figurant dans le scénario de « poussée de sobriété ». Pour les voyageurs terrestres, la politique est identique à celle du scénario de « poussée de sobriété ». Pour les marchandises, il est visé une réduction de 5 % en 2060 des tonnes-kilomètres au moyen de contrats verts incitatifs.

Dans le mode aérien, les voyageurs réduisent également leur nombre de voyages et/ou leurs portées d'environ un cinquième (22 %) sous l'effet de mesures comme par exemple la modération voire l'interdiction de la publicité et le renforcement de l'information sur les dommages.

Le marché ETS⁵⁶ est étendu au maritime international (avec la participation de la Chine et des États-Unis), le signal prix carbone résultant du dispositif Corsia⁵⁷ se rapproche des prix de l'ETS.

L'OMI adopte ainsi un objectif de neutralité carbone pour les nouveaux navires à partir de 2030 et de neutralité carbone à 2050.

L'OACI adopte en 2022 des objectifs similaires pour les nouveaux avions à partir de 2040 et de neutralité carbone directe pour l'ensemble de la flotte aérienne (correspondant à l'utilisation de l'électricité, de l'hydrogène et des biocarburants durables suivant les

⁵⁶ Le marché EU ETS (en anglais) ou SEQUE, système européen d'échange de quotas d'émissions a été créé en 2005 afin d'imposer un plafond d'émissions aux secteurs très émetteurs de l'UE. Sous ce plafond, les installations reçoivent ou achètent des quotas d'émission qu'elles peuvent échanger les unes avec les autres. Ces installations doivent restituer chaque année autant de quotas (1 quota = 1 tonne de CO₂) que leurs émissions vérifiées de l'année précédente.

⁵⁷ *Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation*

segments) pour 2060, hors empreinte des véhicules et des infrastructures, résultat qui est atteint grâce à un recours massif à des énergies décarbonées mais aussi à une compensation par des procédés d'émissions négatives, certifiés sur le plan international. Des surcoûts significatifs sur les voyages aériens en découlent, notamment en long courrier. Au-delà de mécanismes de solidarité généraux qui devraient alors être renforcés, des mécanismes de financement particuliers sont mis en œuvre à l'égard des personnes habitant les départements et territoires d'Outre-Mer pour permettre leurs déplacements depuis ou jusque le territoire métropolitain.

2.3.2 Le scénario « pari sociétal »

Si les progrès technologiques sont ceux du scénario « ambition de base », par exemple l'électrification du parc VL mais sans allongement de durée de vie des batteries ou production décarbonée de ces dernières, les mesures de sobriété à envisager pour atteindre la neutralité en empreinte sont beaucoup plus importantes (politique dite ultra forte) encore.

- 50 % de la population active télétravaille trois jours par semaine, avec 25 % d'effet rebond seulement⁵⁸.
- Le remplissage des véhicules est porté à plus de 3,3 personnes en moyenne (contre 1,4 actuellement) et le stationnement est fortement contraint, il y a 33 % d'usage des transports en commun dans les grandes agglomérations (au lieu de 19 % actuellement). Les grands axes routiers urbains sont reconfigurés avec une voie bus, une voie covoiturage, une piste cyclable continue et un trottoir élargi. Le vélo représente 14 % des voyageurs-km. Les investissements des TCU lourds seraient importants, allant bien au-delà de la seule augmentation de capacité (par exemple des voies supplémentaires, un système de signalisation plus performant permettant le passage de trains supplémentaires...) et incluraient des lignes nouvelles (train, métro, tram, BHNS...).
- L'extension urbaine serait quasiment gelée, avec toutefois un peu de construction neuve dans les zones près des gares et stations de TCU lourds, ainsi que la facilitation des correspondances intermodales entre les TCU et le covoiturage en parcours terminal.
- Ces mesures de partage de voirie et d'investissement TCU ne suffisent toutefois pas, et ne contribuent pas à la sobriété des mobilités en dehors des espaces centraux. Une hausse de taxe carbone au-delà de 500 €/tCO₂ au niveau requis pour atteindre la neutralité des mobilités poserait des problèmes ingérables de redistribution compte tenu de l'hétérogénéité des situations. De ce fait, une carte carbone destinée à limiter les émissions des *hypermobiles* serait alors envisagée pour ramener la part des personnes qui émettent 80 % des GES à un peu plus de 60 % seulement.
- 50 % des voyages aériens à motif professionnel sont substitués par des visio-conférences ou des audio-conférences et la demande globale est réduite au moyen d'une carte carbone, ramenant la part des personnes qui émettent 80 % des GES de ce secteur à 30 % seulement.
- La capacité des aéroports est gelée, les investissements se limitent au renouvellement et à la qualité de service ; du fait de la baisse de demande, une partie

⁵⁸ L'effet rebond est à comprendre comme le ratio entre les voy-km supplémentaires effectués par le télétravailleur (à court terme du fait du temps disponible additionnel, et à long terme du fait de sa potentielle relocalisation plus éloignée) par rapport à ceux qu'il économise du fait de ses déplacements édulés vers le travail.

de la capacité aéroportuaire est reconvertie à d'autres usages. En marchandises, une réduction complémentaire de 35 % (à la politique de poussée de sobriété) des tonnes-km est obtenue par des politiques de limitation quantitatives.

Encadré : l'emport moyen des véhicules en fonction de la valeur de l'action carbone

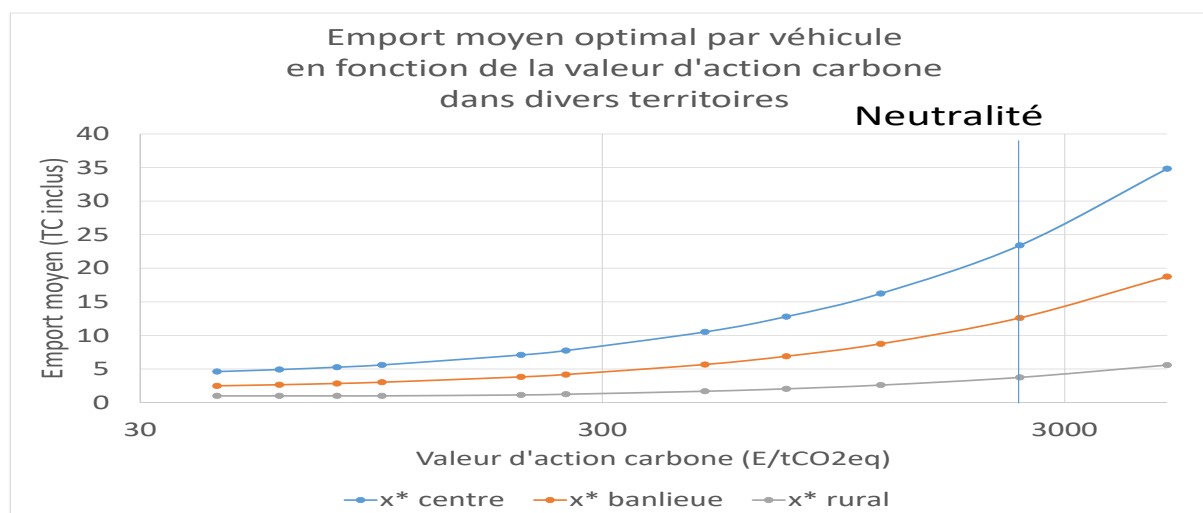


Figure 8 – Evolution de l'emport moyen optimal en fonction de la valeur d'action carbone dans divers territoires. Source CEDD France stratégie Prospective des mobilités 2040-2060

Clé de lecture : Avec une valeur d'action carbone de 2400 E/tCO₂eq, l'emport moyen optimal est de 23 personnes par véhicule en zone centre, 13 en zone de banlieue, et 4 en zone rurale

Le graphique ci-dessus illustre l'effet des politiques de ce scénario sur un indicateur d'emport moyen⁵⁹ (regroupant l'effet du partage modal avec les modes collectifs et ferroviaire, et celui du covoiturage) par type de territoire : dense = central (en bleu), moyennement dense = banlieue (en orange), rural = peu dense (en gris)). La situation actuelle se trouve à gauche (44 €/tCO₂), le scénario « ambition de base » (moyen) se situe aux alentours de 250 €/tCO₂, et le scénario de neutralité à droite se situe à hauteur de 2400 €/tCO₂.

Le principe du modèle⁶⁰ consiste à simuler le comportement du voyageur en minimisant la somme de ses coûts monétaires y compris la taxe carbone et des coûts liés au temps passé. La massification réduit les coûts monétaires du fait d'un effet d'échelle, mais de l'autre induit des pertes de temps liées à l'attente des voitures partagées ou des transports collectifs. Ainsi plus la valeur d'action carbone est élevée, et plus le niveau de massification est élevé.

Dans le scénario « ambition de base » (qui est associé à une valeur carbone à 250 €/tCO₂ en 2060), les emports en zone dense croissent jusqu'à huit voyageurs par véhicule, pouvant résulter d'un renforcement des TC lourds et ferroviaires et des bus essentiellement. Ils ne sont que de quatre en zone de moyenne densité, avec davantage de bus et de covoiturage. Pour la zone rurale, la voiture individuelle reste pertinente avec toutefois un peu de développement du covoiturage.

⁵⁹ Si le partage modal est de 5 % de trains remplis à 100 voyageurs par train, de 3 % de bus remplis à 10 voyageurs par bus, et 92 % de voitures remplies en moyenne à 1,4 personnes par voiture, l'indicateur global d'emport est de $(0,05 \times 100) + (0,03 \times 10) + (0,92 \times 1,4) = 6,6$.

⁶⁰ Décrit de manière plus détaillée dans le rapport thématique mobilité des personnes.

Dans le scénario de neutralité en cas de non atteinte complète des objectifs de décarbonation des motorisations (par exemple division par 5,2 au lieu de 8 des gCO₂/VL-km (menant à une valeur carbone 2 400 €/tCO₂), le remplissage moyen en zone dense (autour de 24 voyageurs par véhicule se situe un peu au-dessus de celui des autobus franciliens (17 voyageurs par véhicule aujourd'hui), ce qui impose dans ce type de zone un recours majoritaire aux TC ferroviaires et lourds, ainsi qu'aux autobus. Dans la zone moyennement dense, avec un indicateur d'emport moyen de treize voyageurs par véhicule, ceci suppose une situation intermédiaire (mix équilibré de renforcement des TC lourds, d'un peu de ferroviaire, d'autobus et de covoiturage). Dans la zone peu dense, dans ce même scénario, le remplissage se situe autour de quatre voyageurs par véhicule, ce qui suppose une forte part de covoiturage, ainsi que des mini bus et quelques autobus.

2.4 Résultats globaux

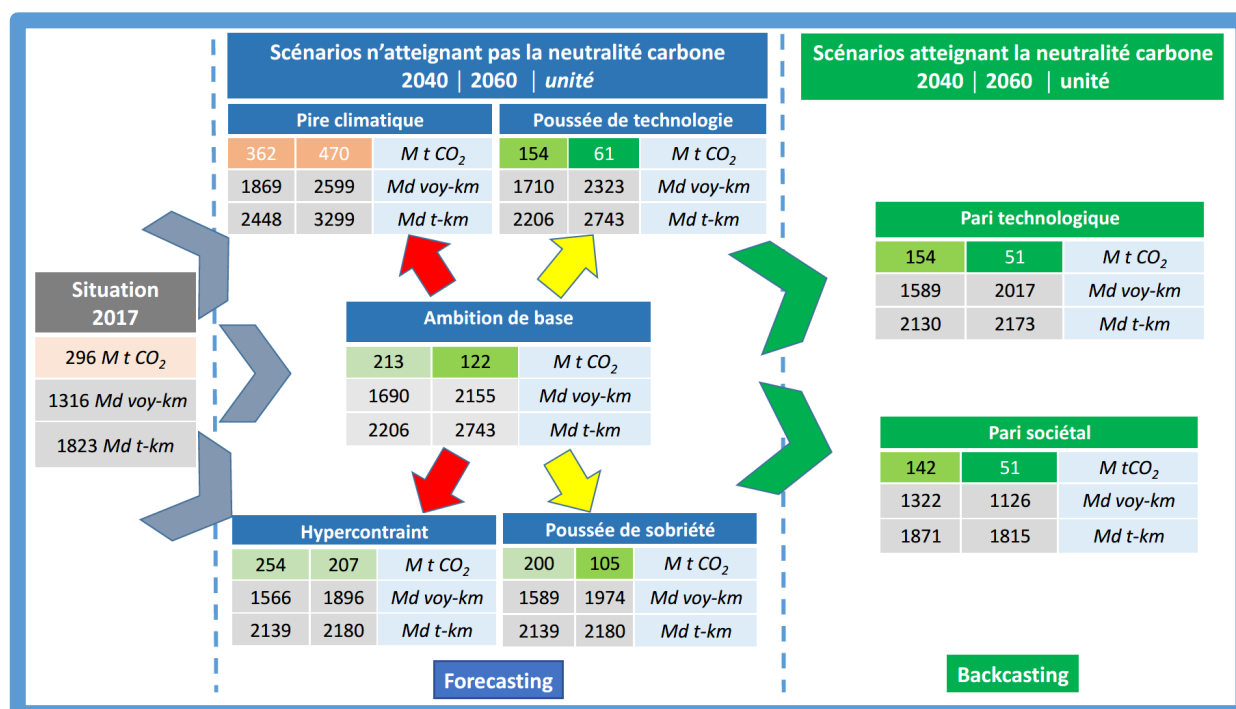


Figure 9 : Trois indicateurs de synthèse des évolutions envisagées par les différents scénarios aux échéances 2040 (colonnes de gauche) et 2060 (colonnes de droite).

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

Première ligne : l'empreinte CO₂ globale du secteur (millions de tonnes de CO₂) Ces émissions étaient de 244 MtCO₂ en 1990. Les couleurs distinguent les écarts à cette référence.

Deuxième ligne : les quantités de déplacements voyageurs (milliards de voyageurs-kilomètres). Est intégrée la moitié des déplacements internationaux (essentiellement aériens) ayant la France pour origine et destination.

Troisième ligne : les transports de marchandises (milliards de tonnes-kilomètres). Est intégrée la moitié des transports internationaux (essentiellement maritimes) ayant la France pour origine ou destination.

Si les deux scénarios de neutralité sont les seuls qui (par construction) atteignent la neutralité des émissions pour le secteur des mobilités, d'autres s'en approchent (poussée technologique, poussée de sobriété) et à un moindre degré le scénario « ambition de base » et le scénario « hyper-contraint », du moins tant qu'il est accepté par l'opinion publique. Cependant les voies pour y parvenir arriver sont très différentes comme le montrent les

graphiques ci-après. Le scénario du « pire climatique » s'en éloigne en revanche avec une augmentation des émissions de GES parallèle à celle du PIB.

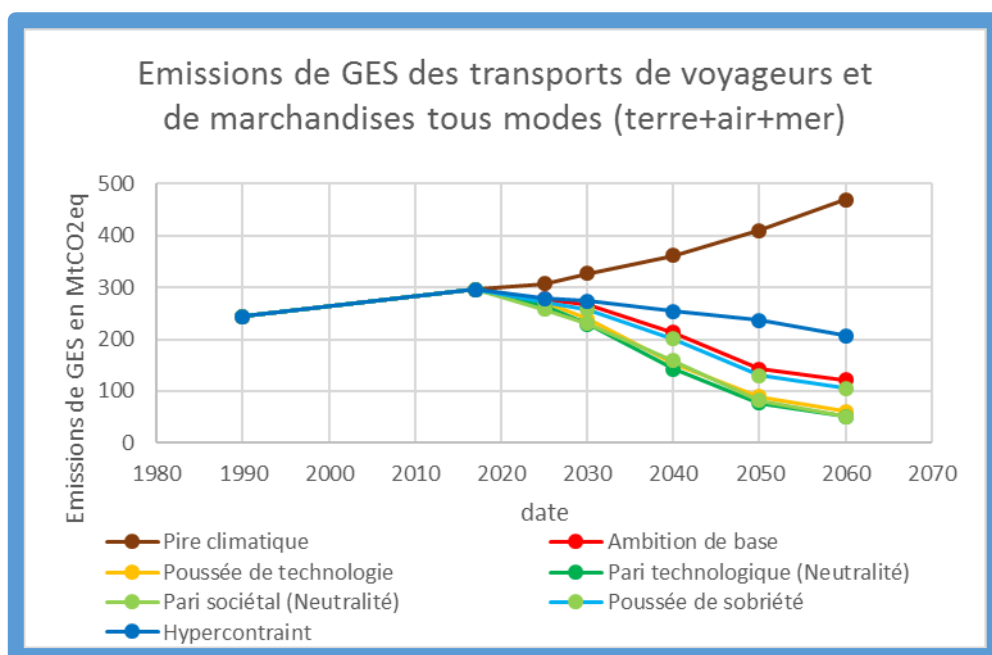


Figure 10 Emissions de GES tous modes (voyageurs et marchandises selon les scénarios)
Source CGEDD et France stratégie Prospectives des mobilités 2040-2060

De manière plus précise, les émissions de GES des différents scénarios figurent dans le tableau ci-dessous⁶¹. Les scénarios de neutralité aboutissent à 51 MtCO₂ en 2060, soit 53 % des émissions négatives estimées tous secteurs confondus à 95 MtCO₂.

Voyageurs et marchandises tous modes terre+air+mer							
Emissions de GES en MtCO ₂ eq	1990	2017	2025	2030	2040	2050	2060
Tendance selon le PIB	244	296	315	336	380	422	470
Pire climatique	244	296	308	327	362	411	470
Ambition de base	244	296	278	266	213	143	122
Poussée de technologie	244	296	271	240	154	90	61
Pari technologique (Neutralité)	244	296	265	230	142	78	51
Pari sociétal (Neutralité)	244	296	258	230	159	82	51
Poussée de sobriété	244	296	273	257	200	130	105
Hypercontraint	244	296	279	274	254	236	207

Tableau 4 : Emissions de GES tous modes (voyageurs et marchandises) selon les scénarios
Source CGEDD et France stratégie Prospectives des mobilités 2040-2060

⁶¹ ACV, modes internationaux et tous GES inclus. L'estimation n'inclut pas l'effet utilisation des sols, estimé toutefois de l'ordre d'une dizaine de MtCO₂eq en 2060 dans le scénario du « pire climatique » en cas d'absence de politique relative à l'artificialisation des sols induite par la construction neuve. L'effet serait en revanche très faible dans le scénario de neutralité comportant des politiques d'arrêt de l'artificialisation des sols.

2.4.1 Les déplacements des voyageurs

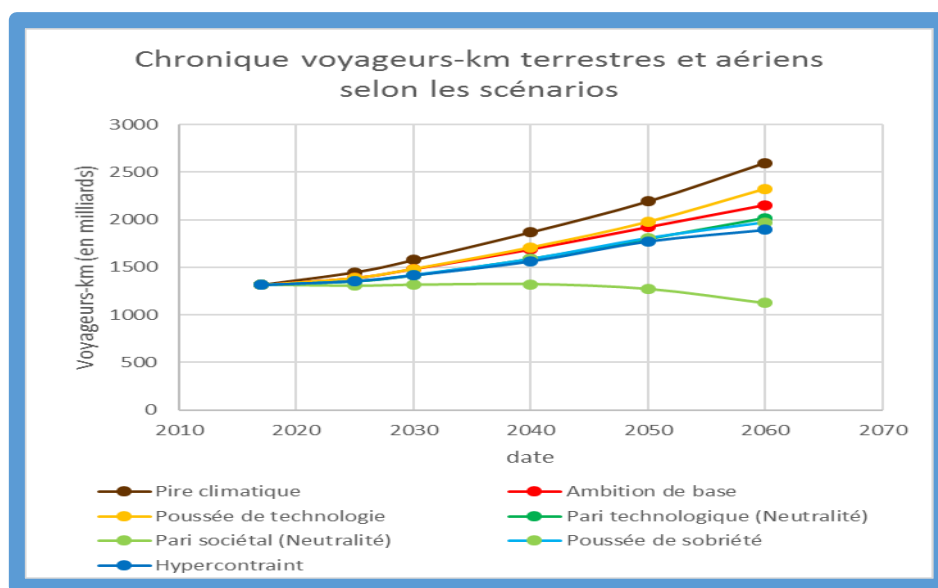


Figure 11 : Voyageurs-km terrestres et aériens selon les scénarios
Source : CGEDD et France stratégie Prospectives des mobilités 2040-2060

Les trajectoires des émissions de GES du transport terrestre de voyageurs montrent ci-après de façon très claire que la réduction des émissions va se décomposer en deux phases et changer de paradigme au cours du temps :

- la réduction des émissions de gaz à effet de serre à l'échappement constitue la priorité actuelle : la mise en œuvre en 2040 de l'interdiction de vente des véhicules thermiques émetteurs de gaz à effet de serre d'origine fossile et de la fin de la vente des poids lourds neufs utilisant majoritairement des énergies fossiles conduit à une première réduction forte des émissions communes aux quatre scénarios qui prend son plein effet vers 2050 au moment où le nombre de véhicules utilisant des combustibles d'origine fossile aura décru fortement ;
- la réduction des émissions de gaz à effet de serre de la fabrication des véhicules et de leur recyclage ainsi que des émissions liées à la fabrication (biocarburants par exemple) ou à l'utilisation des combustibles qui ne seront pas d'origine fossile constituera alors ce qu'on pourrait appeler la seconde phase de décarbonation du secteur. Dans cette deuxième étape, l'évolution de la trajectoire vers la neutralité carbone reposera alors entièrement sur la recherche de technologies améliorant encore l'empreinte des véhicules et des carburants et sur les actions de sobriété ;

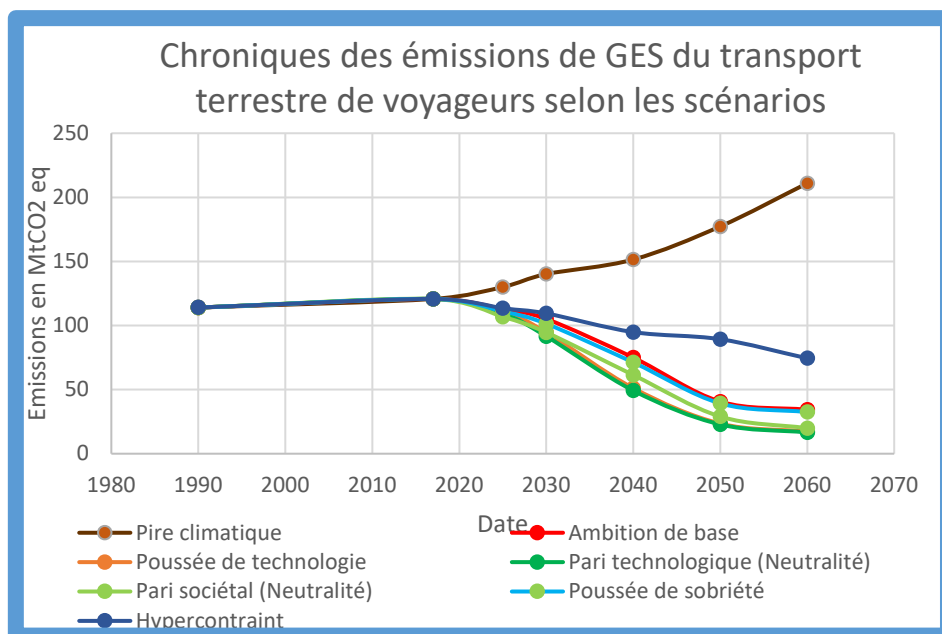


Figure 12 : Chroniques des émissions de GES des transports terrestres selon les scénarios
Source : CGEDD-France Stratégie, 2022

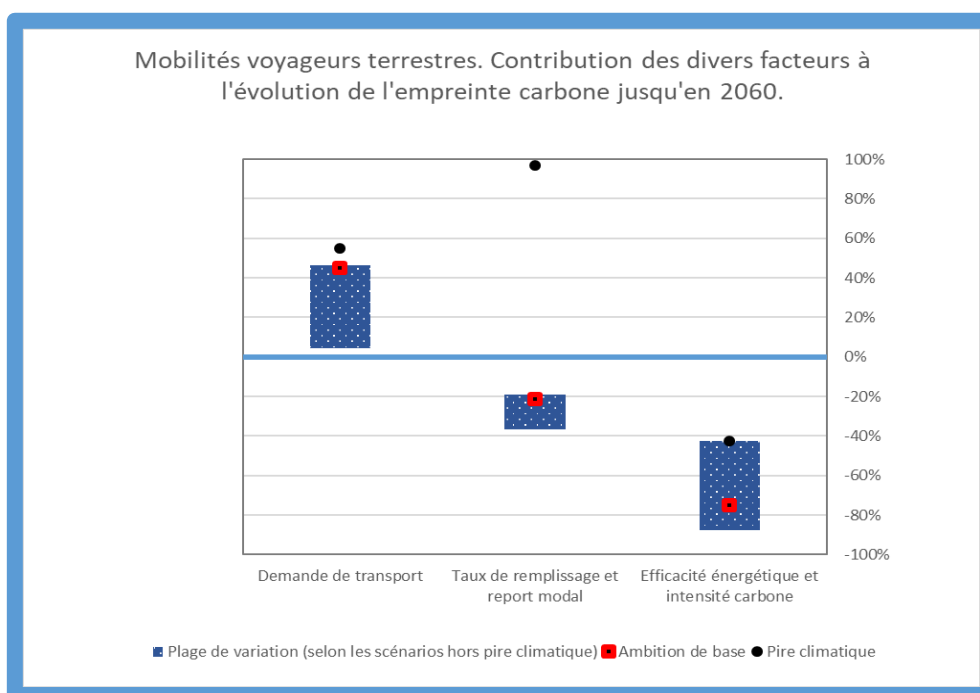


Figure 13 : Contributions à l'évolution de l'empreinte carbone des mobilités des voyageurs terrestres, selon les scénarios.

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

Le rectangle bleuté représente la plage de variation obtenue pour chacun des facteurs dans les différents scénarios, hormis les valeurs très différentes du scénario du pire climatique.

Les scénarios permettant les plus fortes réductions de GES se distinguent cependant par l'évolution à terme de la mobilité qui, selon les scénarios, continue sa croissance, stagne ou décroît :

- les scénarios « ambition de base » et « poussée technologique » maintiennent un dynamisme des transports (se traduisant par un nombre de voyageurs-km important). Le nombre de véhicules-km peut être un peu plus modéré du fait des politiques de massification et de report modal ;
- les scénarios de « poussée de sobriété », « hyper contraint » et de « pari technologique » (« neutralité ») voient une progression plus modérée des transports (voyageurs-km). Cette moindre progression est liée aux politiques de sobriété renforcées qui se situent en nette rupture par rapport aux pratiques actuelles. Les trafics (véhicules-km) y baissent du fait des politiques de massification ;
- pour parvenir à la neutralité, le scénario du « pari sociétal » conduit, du fait de mesures d'efficacité énergétique et de décarbonation (biocarburants, hydrogène vert,...) moins puissantes, à devoir limiter le nombre de voyageurs-km terrestre (qui reste quasiment le même entre aujourd'hui et 2060) et des passagers-kilomètres du transport aérien (qui sont réduits de moitié).

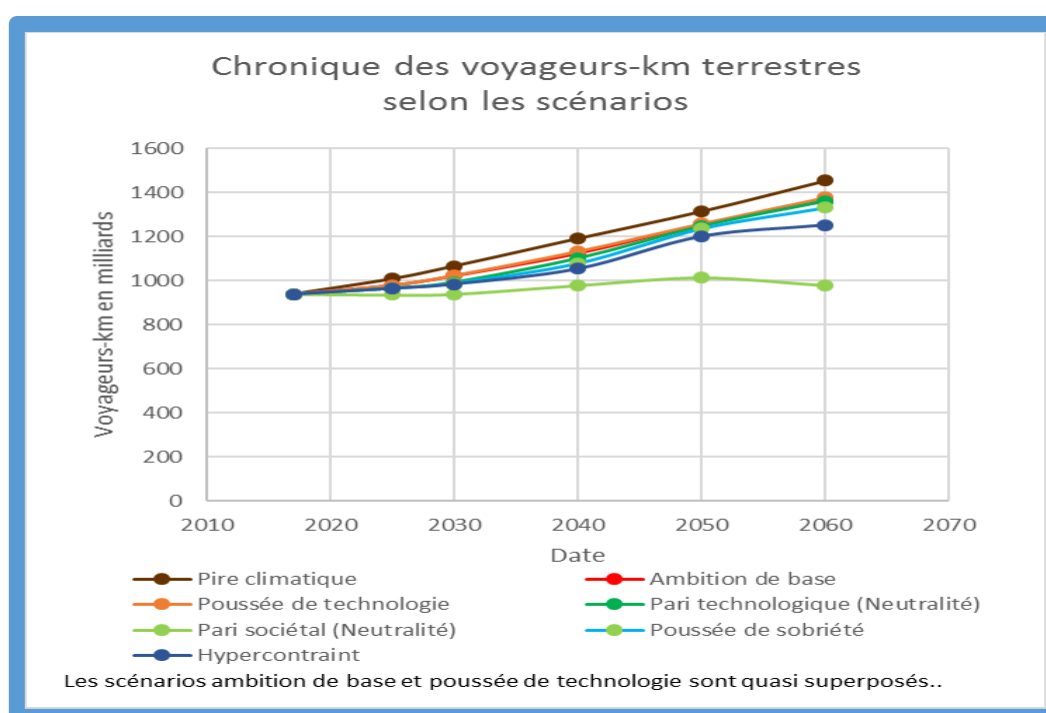


Figure 14 : Voyageurs-km terrestres selon les scénarios -
Source : CGEDD et France stratégie Prospective des mobilités 2040-2060

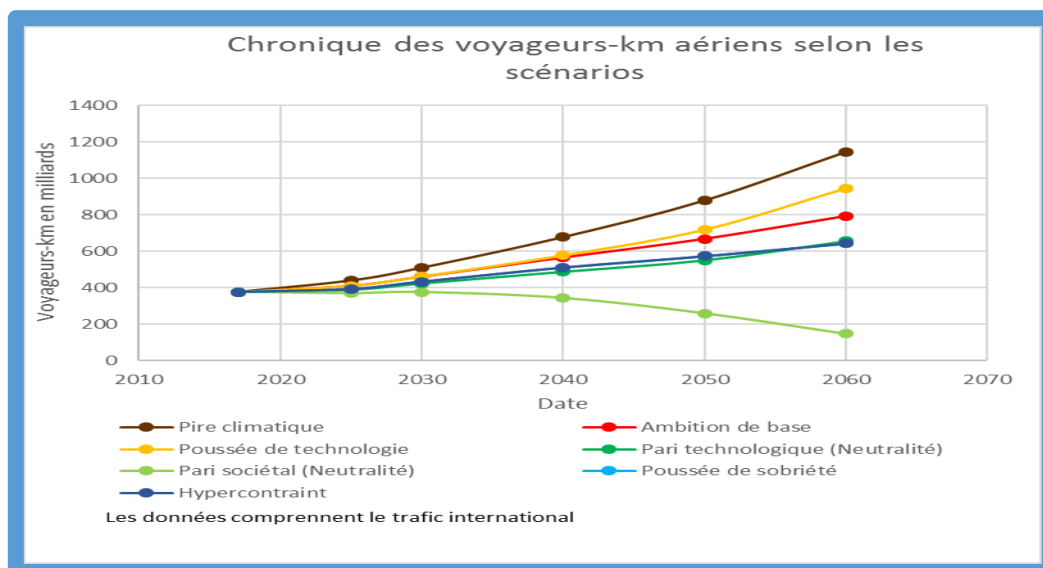


Figure 15 : Chroniques des voyageurs-km aériens selon les scénarios
Source : CGEDD et France stratégie Prospectives des mobilités 2040-2060

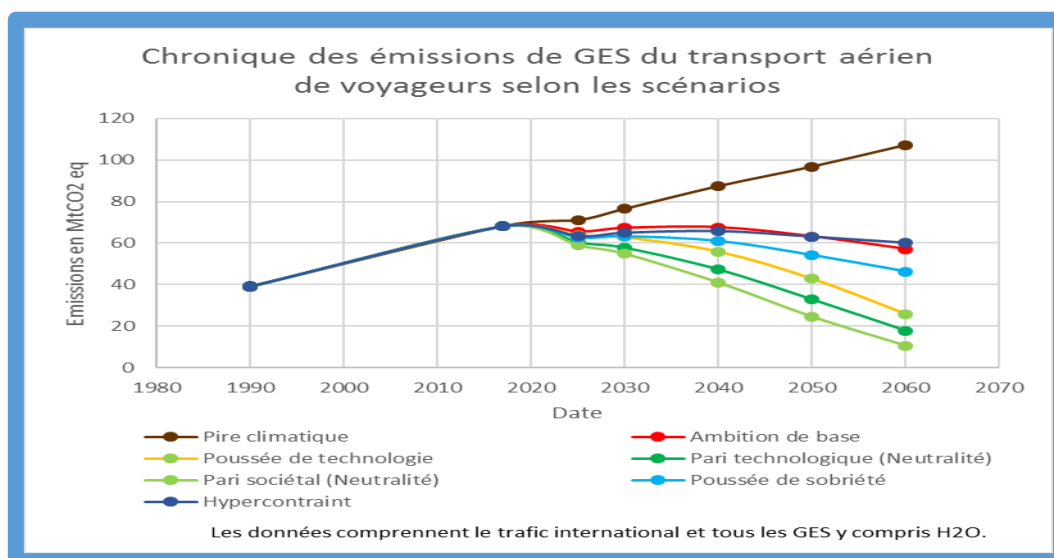


Figure 16 : Chronique des émissions de GES du transport aérien de voyageurs selon les scénarios
Source CGEDD et France stratégie Prospectives des mobilités 2040-2060

2.4.2 Le transport terrestre de marchandises

Les évolutions des émissions du transport de marchandises terrestres sont assez similaires à celles des émissions des voyageurs terrestres, avec néanmoins un décalage de quelques années lié à la plus grande difficulté à décarboner les motorisations des véhicules de transport routier de marchandises à usage interurbain. On retrouve les deux phases de décarbonation, des énergies puis des véhicules eux-mêmes.

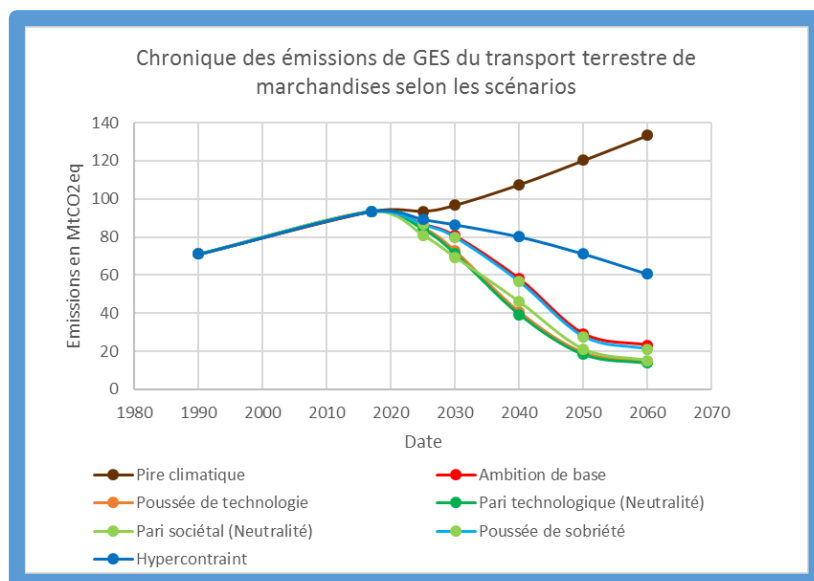


Figure 17 : Chronique des émissions de GES du transport terrestre de marchandises selon les scénarios
Source CGEDD et France stratégie Prospectives des mobilités 2040-2060

Du point de vue des tonnes-km, les scénarios « ambition de base » (et « poussée de technologie », « poussée de sobriété », « hypercontraint ») ainsi que pari technologique (« neutralité ») font apparaître un dynamisme du trafic. Le scénario de « pari sociétal » (« neutralité ») connaît en revanche une baisse des tonnes-km. Seul le scénario du « pire climatique » voit une augmentation encore plus forte des tonnes-km liée à la baisse de coûts de revient liée à une conduite autonome non régulée.

Le diagnostic est assez similaire en ce qui concerne les circulations en véhicules-km. Cependant les effets de massification peuvent jouer davantage dans certains scénarios, particulièrement pour les trajets urbains où peuvent être implémentées des contraintes liées à la rareté de l'espace en ville.

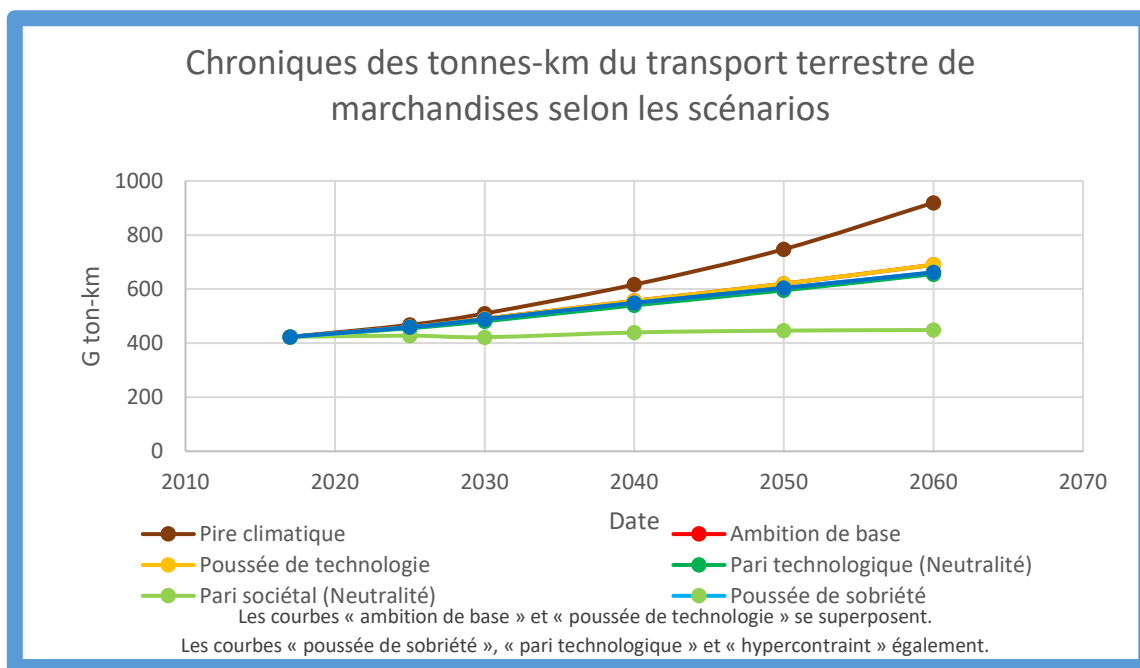


Figure 18 : Chronique des tonnes-km du transport terrestre de marchandises selon les scénarios
Source CGEDD et France stratégie Prospectives des mobilités 2040-2060

2.4.3 Le transport maritime

Le transport maritime français ne donne pas lieu aujourd'hui à un suivi statistique contrairement au trafic portuaire. Il a donc fallu estimer la demande de transport maritime en France, en l'associant aux trafics des ports français, ainsi que les émissions de GES correspondantes.

Trois scénarios transversaux éclairent la démarche : celui du « pire climatique », celui de « l'ambition de base » et celui de neutralité carbone⁶², proche du « pari technologique ».

2.4.3.1 Évolution de la demande de transport maritime

Le trafic maritime rattaché aux ports français en 2017 est estimé dans une fourchette comprise entre 1 200 et 1 600 Gtkm : on retient le chiffre de 1 400 Gtkm.

Évaluer les émissions de GES associées suppose d'aller au-delà des seules estimations du Citepa qui, par souci de cohérence internationale de la CCNUCC, ne prend pour ce faire que les carburants chargés dans chaque pays. L'évaluation conduite permet d'aboutir à une estimation de l'ordre de 12 Mt de CO₂e en 2017 portée à 13,8 Mt en y ajoutant les émissions maritimes de la plaisance et de la pêche.

Les projections réalisées dans les trois scénarios repartent de l'année 2008 qui sert de référence à l'OMI (qui s'est engagée en 2018 à obtenir une réduction d'au moins 50 % des émissions du trafic maritime mondial en 2050, quel que soit le niveau du trafic atteint). Elles prennent comme hypothèse que les effets de la pandémie neutralisent toute croissance du trafic entre 2018 et 2025.

Dans le scénario du « pire climatique », la croissance du trafic maritime reprend à partir de 2025 au rythme de 1,4 % par an si bien qu'il croît de 31 % en 2040 et de 70 % en 2060 par rapport à 2025.

Dans le scénario « ambition de base » la croissance est plus faible, de l'ordre de 1,1 % par an, ce qui correspond peu ou prou à la croissance des trafics des ports européens de 2000 à 2018 si bien que les croissances sont de 18 % en 2040 et de 47 % en 2060 par rapport à 2025.

Dans le scénario de neutralité carbone, l'atelier s'est inspiré des projections utilisées par le programme climat du club de Rome pour le port de Rotterdam en 2013 qui projetait un plafonnement du trafic de ce port en 2040 pour retenir un plafonnement similaire des trafics portuaires français. On aboutit à un plafond des trafics maritimes français autour de 1 630 Gtkm vers 2045. Ceci traduit le fait d'avoir un moindre recours aux ressources non renouvelables dans les processus de production.

Le dernier scénario de neutralité carbone qui s'écarte sensiblement du scénario « ambition de base » après 2040 a été établi à dire d'expert : il a conduit à s'interroger sur les incertitudes qui accompagnent ces projections de trafics, notamment parce qu'elles ne s'appuient pas sur une estimation des niveaux de variation des quatre grandes catégories de fret que sont pour le transport maritime les vrac liquides, les vrac solides, les conteneurs et les marchandises diverses non conteneurisées : en effet le scénario de

⁶² Ce scénario allie de façon optimale avancées technologiques et mesures de politique publique (notamment au niveau OMI) en vue d'atteindre la neutralité carbone, en émissions directes, dans les transports maritimes en 2050 à l'échelle internationale. Ce scénario pourrait conduire, dans le cas idéal, à une neutralité carbone sur le cycle de vie complet des navires vers 2060. Il se combine aussi avec un plafonnement du trafic portuaire français à partir de 2045 lequel régresse ensuite légèrement.

neutralité carbone prévoit un plafonnement du trafic maritime associé au trafic portuaire vers 2045 autour de 1 630 Gt.km ainsi qu'une légère décroissance de ces trafics entre 2045 et 2060.

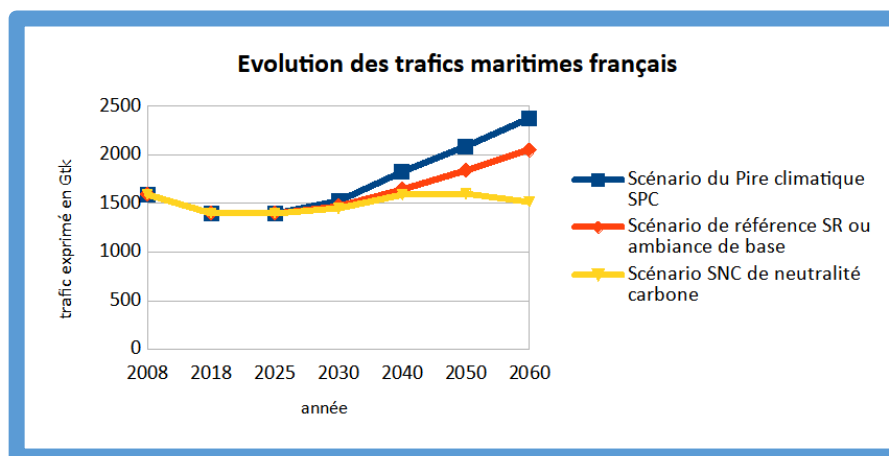


Figure 19 : Evolution des trafics maritimes français selon les scénarios - Source : CGEDD-France Stratégie, 2022

La question sous-jacente porte notamment sur le rythme de décroissance dans cette dernière période, eu égard à une possible réduction accélérée en France du recours aux énergies carbonées.

Ont été identifiées comme principales sources d'incertitude : les conséquences de la politique climatique européenne issues du Pacte vert et des mesures proposées par le paquet *Fit for 55* pour le maritime ; le rythme d'évolution du commerce international et l'évolution du trafic Transmanche après le Brexit ; le développement de nouveaux trafics liés à la transition énergétique, comme les vracs solides liés aux besoins en matériaux comme le cuivre, le nickel, le lithium, le graphite, les terres rares et les sables ou encore comme le transport de gaz carbonique liquide par voie maritime, comme conséquence de la décarbonation de l'industrie. À ces facteurs peut s'ajouter la possible relocalisation industrielle associée.

Le cumul des incertitudes sur la nature des trafics maritimes aux horizons 2040/2060 a conduit le groupe à ne pas remettre en cause la projection de demande de trafic maritime du scénario de neutralité carbone et à conserver le rythme modéré de décroissance du trafic maritime envisagé après 2045. Ce choix va dans le sens de la prudence pour les estimations d'émissions de GES de ce scénario, car toute décroissance plus rapide des trafics après 2045 conduira de facto à des émissions moindres.

Par souci d'exhaustivité et à titre purement indicatif, les trafics maritimes ont été extrapolés pour les quatre scénarios non étudiés par l'atelier transport maritime et ports, ce qui donne le diagramme suivant :

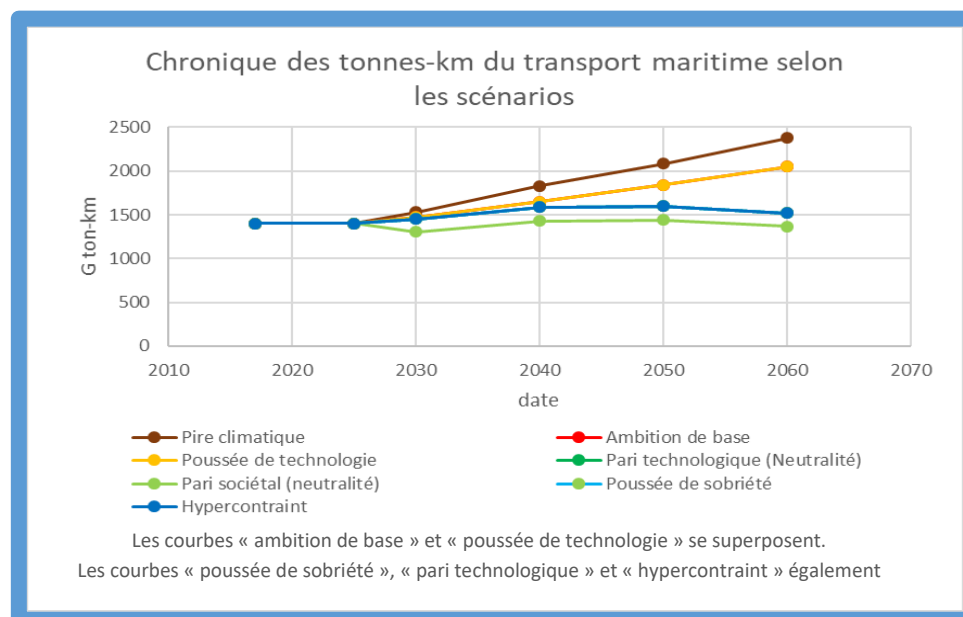


Figure 20 : Chroniques des trafics maritimes selon les sept scénarios
Source : CGEDD-France stratégie, 2022

2.4.3.2 Estimation des émissions de CO₂e du secteur maritime

La projection des émissions a été obtenue en combinant et en différenciant les trois grandes familles de mesure contribuant à la décarbonation du transport maritime : *design* et *rétrofit* des navires d'une part ; mesures d'exploitation et assistance vélique d'autre part ; recours à des propulsions décarbonées ou neutres en carbone applicable aux nouvelles générations de navires.

Dans le scénario du « pire climatique », on retrouve le niveau d'émissions de 2008 ce qui revient à dire que les mesures de réduction adoptées ne parviennent pas à compenser les augmentations de trafic maritime. Ce scénario ne laisse pas entrevoir d'évolutions technologiques significatives et témoigne d'un manque de mesures complémentaires par rapport à celles décidées aujourd'hui.

Les réductions des émissions liées au *design* et au *rétrofit* atteignent de façon combinée 30 % en 2050, sachant qu'une part de 15 % est déjà atteinte aujourd'hui ; la réduction de vitesse et l'assistance vélique ne sont pas appliquées ; l'introduction de la flotte neutre en carbone ne démarre qu'après 2050 et ne touche que 5 % de la flotte en 2060.

Dans le scénario « ambition de base » les émissions se stabilisent à partir de 2030, puis décroissent sous l'effet de la nouvelle génération de navires neutres en carbone, si bien que les objectifs de l'OMI de diviser par deux en valeur absolue les émissions du transport maritime sont presque obtenus en 2050 dans le cas des trafics français. Ces évolutions sont rendues possibles grâce à l'amélioration du *design* et du *rétrofit* des navires qui permettent de gagner 40 % d'émissions en 2050, ce gain étant réputé identique en 2060 ; dans une moindre mesure grâce à la réduction de la vitesse des navires et à l'utilisation de la propulsion vélique en appoint sur certaines routes favorables, avec des gains unitaires estimés à 5 % en 2050 et à 10 % en 2060 ; grâce enfin à la modification des systèmes de propulsion pour utiliser progressivement des carburants décarbonés ou neutres en

carbone, en recourant soit dans un premier temps au GNL avec une expérimentation réussie de la capture et du stockage du carbone à bord de certains navires, soit avec d'autres types de carburants : ammoniac, méthanol, voire biocarburants, sachant que le niveau d'incertitude à ce sujet reste fort : ainsi , dans le scénario « ambition de base », la flotte décarbonée ou neutre en carbone constitue 5 % de la flotte en 2040, 20 % en 2050 et 50 % en 2060.

Dans le scénario de neutralité carbone (proche du « pari technologique »), la décroissance des émissions est plus forte puisqu'on combine :

- l'introduction plus rapide d'une flotte décarbonée ou neutre en carbone (5 % en 2025, 20 % en 2030, 50 % en 2040, 80 % en 2050 et 95 % en 2060) ce qui suppose que l'OMI, l'UE et l'ensemble des armateurs adoptent ces nouvelles propulsions et que les approvisionnements soient disponibles dans les principaux ports ;
- un gain lié au *design* et au *rétrofit* des navires allant jusqu'à 50 % de baisse d'émissions unitaires en 2050 ;
- une réduction de consommation d'énergie liée à la réduction de vitesse et à la propulsion vélique de 10 % en 2050 et de 15 % en 2060, ce qui là aussi représente un apport non négligeable.

Au total les émissions sont réduites d'un facteur 6 par rapport à 2008.

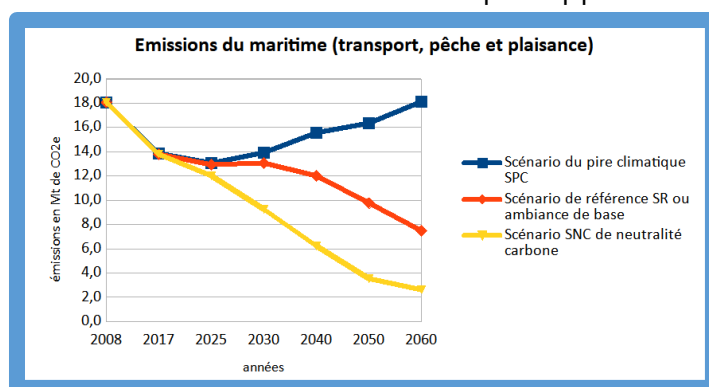


Figure 21 : Emissions du transport maritime selon les scénarios - Source : CGEDD et France stratégie 2040-2060

Par souci d'exhaustivité et à titre purement indicatif, les émissions de GES ont été extrapolées pour les quatre scénarios non étudiés par l'atelier transport maritime et ports, ce qui donne le diagramme suivant :

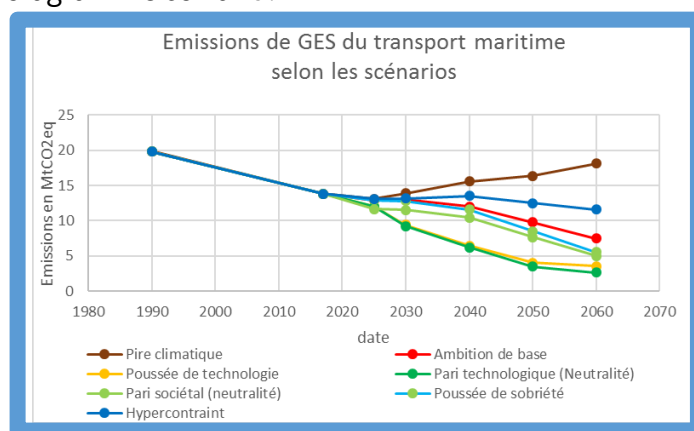


Figure 22 : Chronique des émissions de GES du transport maritime selon les 7 scénarios
Source : CGEDD et France stratégie 2022

2.4.4 Évolution des trafics portuaires français et des émissions correspondantes

En repartant des trafics portuaires français figurant dans la base Eurostat, soit 352 Mt en 2008, en se plaçant dans l'hypothèse d'une part constante de marché des ports français, et en supposant comme pour le transport maritime que le niveau de 2018 n'est recouvré qu'en 2025, trois scénarios sont associés aux trafics maritimes touchant les ports français :

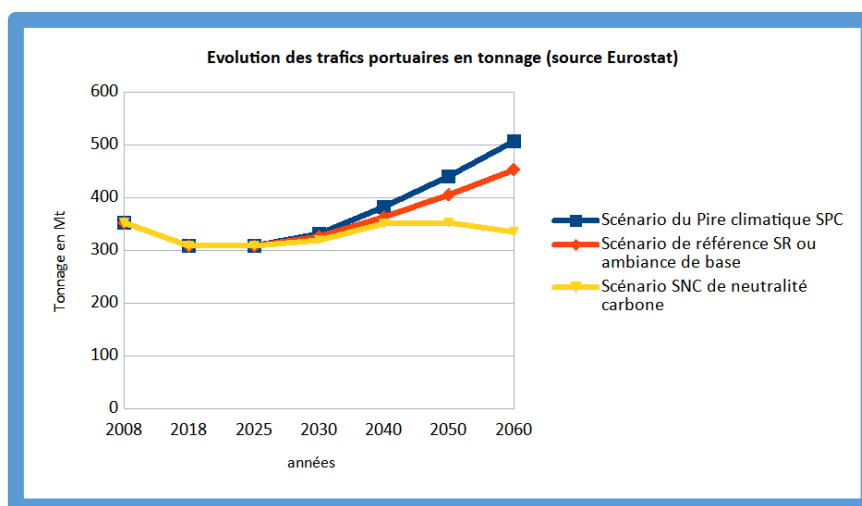


Figure 23 : Evolution des trafics portuaires en tonnage selon les scénarios
Source : CGEDD-France Stratégie, 2022

Dans le scénario du « pire climatique », le trafic atteint 440 Mt en 2050 ; dans le scénario « ambition de base » 406 Mt à ce même horizon tandis que, dans le scénario de neutralité carbone, il plafonne autour de 360 Mt en 2045 (projection inspirée du programme climat du club de Rome).

Les émissions du transport maritime dans les ports ont été estimées sur la base d'un niveau d'émission égal à 6 % de celui du transport maritime mondial (correspondant aux valeurs indiquées en 2020 par le système MRV instauré de façon similaire par l'OMI et par l'UE) et projetées avec des hypothèses d'électrification à quai et d'évolution des navires dans les trois scénarios également.

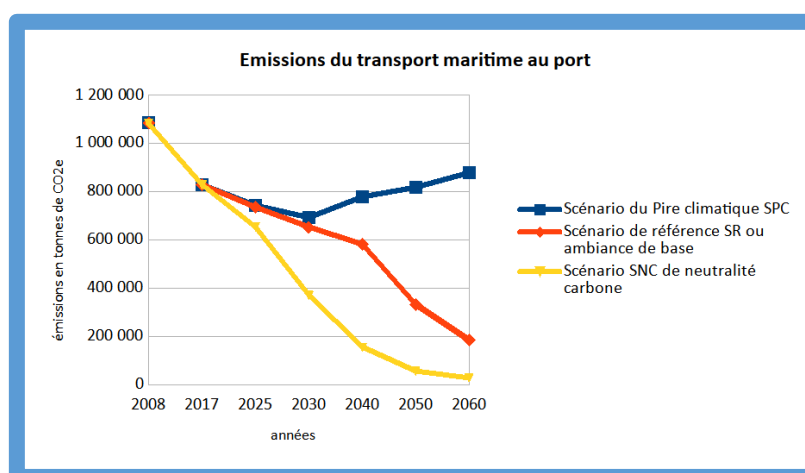


Figure 24 : Emissions du transport maritime au port selon les scénarios
Source CGEDD et France stratégie Perspectives des mobilités 2040 2060

On constate que le niveau d'émission au port se situe autour de 800 kt aujourd'hui : il correspond en partie aux émissions liées au déchargement des cargaisons de vrac liquides par les moyens du bord. Ce niveau d'émission continue de croître dans le scénario du « pire climatique » à partir de 2030, tandis qu'aussi bien dans le scénario « ambition de base » de référence que dans le scénario de neutralité carbone, les émissions baissent considérablement en grande partie du fait de la progression de l'électrification à quai, mais aussi avec l'introduction d'une flotte de navires neutres en carbone - ce qui permet de passer en deçà des 200 kt d'émissions avec le scénario de neutralité carbone tandis qu'on n'arrive à ce niveau qu'en 2060 avec le scénario « ambition de base ».

2.5 Six principaux enseignements des scénarios

Enseignement 1 : La décarbonation du secteur transports se fera en deux étapes ; la deuxième, correspondant à la décarbonation de l'empreinte des véhicules, doit être initiée sans tarder.

La décarbonation des motorisations : le respect de l'objectif de neutralité carbone des transports terrestres d'ici 2050, fixé en décembre 2019 par la loi d'orientation des mobilités (LOM), suppose la mise en œuvre de politiques de décarbonation des motorisations extrêmement ambitieuses ainsi que la diminution progressive des ventes de véhicules thermiques (limitées par exemple à 40 % des ventes neuves de VL dès 2030), conduisant à leur arrêt en 2040, voire 2035 comme le propose la Commission européenne, de sorte que le nombre de véhicules émetteurs de gaz à effet de serre d'origine fossile circulant en 2050 soit le plus faible possible.

La décarbonation de l'empreinte des véhicules : en 2050, la plupart des véhicules devraient bénéficier de carburants décarbonés ; ce seront donc les émissions à la fabrication du véhicule (ou de son combustible), autrement dit l'empreinte carbone, qui seront le premier facteur d'émissions. Le respect de l'objectif plus général de neutralité carbone de l'économie française à 2050 implique de mener, en parallèle des actions de décarbonation des motorisations, des politiques de réduction de l'empreinte carbone des véhicules (et des carburants d'origine non fossile utilisés) qui peuvent s'appuyer autant sur la technologie (division des émissions de GES par km passant de 4 à 8 en VL, fabrication décarbonée, allongement de la vie des batteries, ...) que sur les actions de sobriété.

Enseignement 2 : La décarbonation des motorisations apporte une réduction des émissions de GES nettement plus importante que les gains attendus des politiques de sobriété, mais elle ne suffira pas à atteindre la neutralité carbone du transport dans un calcul en ACV ; les politiques de décarbonation par la motorisation et par la sobriété doivent donc être menées en parallèle de manière résolue.

L'effet des politiques de motorisation des VL ne peut ainsi amener qu'une division par 5,2 des émissions, alors qu'il convient pour atteindre la neutralité carbone de les diviser par environ 8, dans un contexte où les trafics auront tendance à augmenter en lien avec la croissance économique. De plus, les possibilités des progrès des motorisations sont encore plus faibles en aérien ; seules les possibilités de progrès des motorisations en marchandises seraient proches de la division par 8, mais elles ne représentent qu'un tiers du total des GES liés aux transports.

La figure 25 ci-après montre que l'apport des politiques de décarbonation des motorisations à la réduction des émissions de GES des mobilités de voyageurs terrestres est supérieur à celui des politiques de sobriété d'un facteur voisin de trois dans le scénario de référence. Cet enseignement est à relier avec le fait que la démarche a été conduite en analyse de cycle de vie et comprend les émissions à la fabrication et à l'international. Le constat correspond aux hypothèses les plus favorables tant en disponibilité de ressources naturelles (minérales, ...), qu'en acceptabilité sociale et territoriale, et avec le mode d'estimation de la quote-part des émissions négatives le plus favorable (prorata des émissions par secteur à l'année de base).

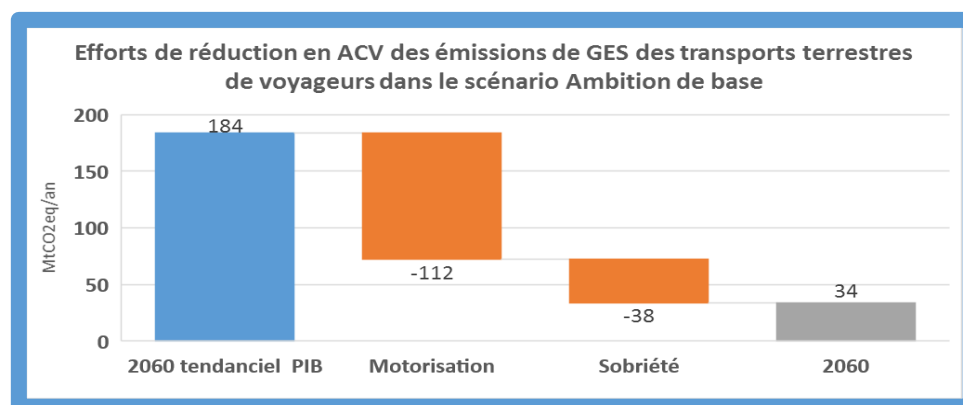


Figure 25 : Décomposition des efforts de réduction des émissions de GES des transports terrestres de voyageurs dans le scénario ambition de base en ACV.

Source CGEDD et France stratégie Prospectives des mobilités 2040 2060

Les émissions de GES du transport terrestre de voyageurs (121 MtCO₂ en 2017) seraient portées à 184 MtCO₂ sous l'effet de la croissance du PIB. Elles sont réduites⁶³ de 38 MtCO₂ par les politiques de sobriété et de 112 MtCO₂ par les politiques de motorisation figurant au scénario de référence, menant à 34 MtCO₂ dans ce scénario.

Enseignement 3 : Le véhicule partagé, le covoiturage, le recours aux modes alternatifs et aux modes doux, et le télétravail constituent les principaux leviers de réduction des émissions des politiques de sobriété.

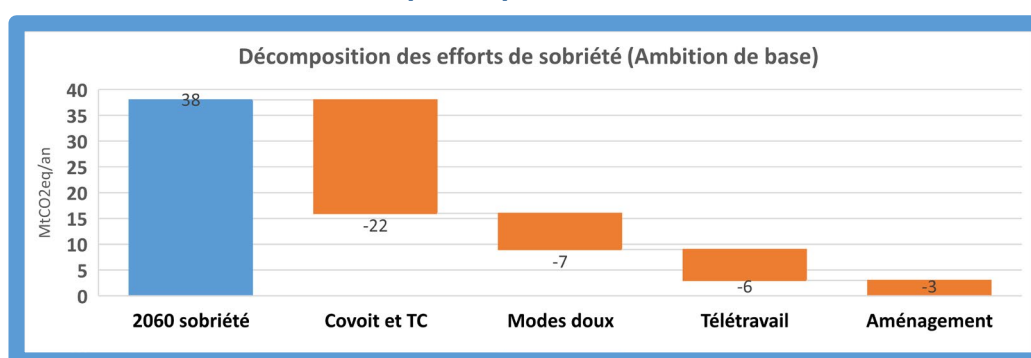


Figure 26 : Décomposition des effets de sobriété pour les émissions de GES des transports terrestres de voyageurs dans le scénario ambition de base en ACV

Source : CGEDD et France stratégie Prospectives des mobilités 2040 2060

⁶³ Le % d'effet de la part de la sobriété est $ps = \frac{1-cs}{2-cs-cm}$ et celui de la part motorisation est $pm = \frac{1-cm}{2-cs-cm}$, où cs et cm sont les coefficients multiplicatifs des émissions liés aux mesures de sobriété et de motorisation. (Em_avec_mesures_sobriété du scénario de référence = cs*Em_sans_mesures_sobriété) et idem pour cm pour les mesures de motorisation. Puis l'effet sobriété est estimé comme la différence totale (ici 184-34) multipliée par le ratio ps/(ps+pm).

Dans la modélisation effectuée, le covoiturage et le report vers les TC, suivis du recours aux modes alternatifs et aux modes doux, ainsi qu'au télétravail constituent les principaux leviers des politiques de sobriété en matière de réduction des émissions, ce qui ne préjuge pas des mesures économiques et du signal prix carbone à mettre en œuvre pour actionner ces leviers.

Les politiques d'encouragement du partage de véhicules, coordonnées au renforcement des TC lourds, l'encouragement des modes doux et le télétravail peuvent contribuer significativement à la réduction des émissions liée à la sobriété, et à la décongestion des villes et grands axes.

La réduction de 22 MtCO₂eq provenant d'une politique de renforcement des modes TC lourds et ferroviaires ainsi que du covoiturage résulte d'une extrapolation des principaux scénarios du FIT dans des villes de plus d'un million d'habitants et de leur adaptation à des villes plus petites et moins denses. Le FIT a notamment simulé la mobilité dans le grand Dublin, qui présente une densité similaire à celle de la Seine maritime. Cette réduction, s'appuyant sur le recours à des voies réservées et des facilités de stationnement pour les véhicules utilisés en covoiturage, provient à la fois d'une hausse du taux d'emport par voiture (typiquement 2,4 au lieu de 1,4) et d'un trafic supplémentaire de report de 30 % dans les TCU lourds (métros, trams...) et le ferroviaire. Ainsi, le nombre de véhicules-km est fortement réduit, ce qui conduit à la fois à moins d'émissions, mais aussi à la décongestion de la voirie urbaine, et à une possibilité de redéploiement de l'espace urbain vers d'autres usages que la circulation et le stationnement.

La politique d'encouragement des modes doux (réduction de 7 MtCO₂e) résulte d'une extrapolation des simulations effectuées par des travaux allemands (université de Wuppertal) et portugais (LNEC⁶⁴) sur la base d'enquêtes en préférence déclarées. Elles modélisent le progrès du vélo et des modes doux dans une hypothèse où des pistes sécurisées continues sont proposées plus systématiquement.

L'effet des politiques de télétravail (6 MtCO₂e) et des activités en distanciel (par exemple télé-enseignement, télé-médecine, télé-démarches...) résulte du taux de travailleurs (ou usagers) éligibles, du nombre de jours par semaine et d'un taux d'effet rebond.

Comme le montre le rapport thématique sur l'aménagement du territoire, l'effet d'une politique d'aménagement mieux maîtrisée (planification spatiale coordonnée⁶⁵ entre les collectivités de différents niveaux territoriaux, menant à un moindre étalement urbain, orientation de la construction autour de bourgs proches des gares ferroviaires et de stations de TCU lourd) serait plus modéré, mais pourrait s'amplifier dans le très long terme. Cet effet n'est que de 3 MtCO₂eq en 2060. Ceci est principalement lié à la forte inertie de l'habitat urbain, où la construction neuve ne représente chaque année qu'environ 1 % du parc. À très long terme, au-delà de 2060 l'effet des politiques d'aménagement pourrait être plus conséquent et atteindre, par exemple une valeur deux fois plus élevée, soit 6 MtCO₂eq en 2100 au même rythme.

Par ailleurs, la politique de zéro artificialisation nette (ZAN) évite une dégradation de la capacité d'absorption du CO₂ par les sols qui, en l'absence de cette politique, pourrait atteindre environ 10 MtCO₂e.

⁶⁴ LNEC- *Laboratorio Nacional de Engenharia Civil* (Laboratoire national portugais de génie civil)

⁶⁵ Similaires aux politiques de Raumordnung germaniques.

Enseignement 4 : La décarbonation des motorisations des transports de marchandises devrait bénéficier de celle des voyageurs, et la suivre avec quelques années de retard.

La décarbonation du transport de marchandises devrait bénéficier des progrès technologiques réalisés pour les véhicules particuliers avec un décalage de l'ordre d'une demi-décennie environ : le coût des batteries pour les poids lourds, qui reste aujourd'hui très élevé, devrait en particulier connaître une décroissance très rapide dans les prochaines années et se rapprocher de ceux constatés pour les véhicules légers⁶⁶. Le premier secteur décarbonable concernera les parcours locaux, et notamment la logistique urbaine qui utilise principalement des véhicules utilitaires légers et des poids lourds de moins de 19 tonnes ; viendra ensuite le transport régional. Les technologies qui permettront la décarbonation des poids lourds longue distance ainsi que du maritime sont en revanche plus incertaines.

Cette évolution sera favorisée par la mise en place progressive des ZFE-m dans les 43 métropoles de plus de 150 000 habitants, avec des calendriers différents, qui conduiront dans un premier temps à une interdiction de circulation pour les véhicules les moins bien classés dans l'échelle Crit'air, puis, à partir de 2040, à l'arrêt progressif des véhicules émetteurs de gaz à effet de serre d'origine fossile. Les camions frigorifiques et de déménagement pourraient cependant bénéficier de certaines dérogations.

Enseignement 5 : La décarbonation de l'aviation sera de plus en plus nécessaire du fait de la forte croissance attendue de ce mode, mais difficile du fait de ses spécificités.

Le transport aérien international contribue à la majorité des émissions de ce mode et croît fortement, au-delà de 3 % par an. Ses spécificités rendent toutefois sa décarbonation plus difficile, mais des solutions existent (biocarburants, carburants de synthèse). La modération des trafics la plus simple passe par la substitution de télécommunications à une partie des déplacements professionnels.

Enseignement 6 : Le scénario du « pire climatique » montre que, en l'absence de régulation, l'arrivée du véhicule autonome pourrait amener à doubler à terme les trafics et les émissions, car il favorise les trajets individuels et la circulation des véhicules à vide.

S'il est très difficile de dater la survenance des véhicules autonomes, les hausses de trafics et transports sont susceptibles d'être très importantes, de l'ordre d'une multiplication par deux des véhicules-km tant en voyageurs qu'en marchandises (et leurs émissions), comme le montrent les flux du scénario « pire climatique » (retours à vide, renforcement de l'auto-solisme). Ce point devra donc être encadré, le moment venu, en fonction du développement effectivement constaté des véhicules autonomes (navettes pour les transports publics, robots-taxis, navettes sur rails, voire, de façon plus lointaine, véhicule individuel).

⁶⁶ Au coût près des dispositifs de refroidissement ajoutés dans les batteries d'une certaine taille.

2.6 Le défi de 2030 : même avec des politiques vigoureuses, la baisse des émissions des mobilités d'ici 2030 ne dépassera pas une trentaine de pourcents par rapport à 1990, et restera donc bien en dessous de l'ambition européenne de 55 %

La baisse de l'empreinte carbone des émissions en GES en 2030 du secteur des transports ne dépasse pas une trentaine de pourcents dans la plupart des scénarios simulés (pour les transports terrestres en ACV). Le secteur semble donc en risque, à cette courte échéance, de rester loin de contribuer au *prorata* de ses émissions, à l'objectif envisagé par la Commission européenne d'une réduction en 2030, tous secteurs confondus, de 55 % des émissions par rapport à 1990⁶⁷ (objectif rehaussé par rapport à l'engagement actuel de la France d'une réduction de 40 %). Ce retard s'observe déjà aujourd'hui : le secteur des transports a ainsi connu une nette augmentation de 1990 à 2017 non seulement de ses émissions directes (+15 % en incluant l'international) mais aussi de son empreinte carbone (+21 %).

Ce résultat s'explique par l'affirmation de l'urgence climatique et de l'objectif de la neutralité carbone, malgré les mises en garde précoces de la communauté scientifique, et par des choix industriels qui n'avaient probablement pas assez anticipé la nécessité de ces innovations. Il en résulte des délais vraisemblables de la montée en puissance des motorisations décarbonées, qui sont eux-mêmes dépendants de ceux des investissements verts (par exemple les bornes de recharge), de la modification de l'appareil industriel et de la baisse du coût de revient des véhicules décarbonés. Vient ensuite s'y ajouter l'inertie du parc dans lesquels les innovations liées aux véhicules neufs ne se diffusent que lentement : la durée de vie des voitures est de plus d'une dizaine d'années, celle des avions ou des navires dépasse régulièrement la vingtaine d'années et atteint même la soixantaine pour certains bateaux.

La part des véhicules décarbonés dans le parc automobile en 2030 correspondra globalement à la part des véhicules décarbonés dans la vente des véhicules neufs en 2024 : à titre d'exemple, si on atteignait une part de véhicules décarbonés à la vente de 30 % dès 2024 – ce qui représenterait déjà une nette hausse par rapport aux niveaux du premier semestre 2021 (17 % de véhicules électriques et véhicules hybrides rechargeables neufs en France, mais 27 % en Allemagne par exemple) –, il faudrait s'attendre, compte tenu d'une durée de vie de l'ordre d'une douzaine d'années, à un taux de véhicules de même nature d'environ 30 % dans le parc après cinq ans en 2030 (soit moins d'une demi-vie de six ans), auquel il faudrait ajouter une réduction de 10 à 15 % des émissions des véhicules thermiques. Le potentiel de politiques de sobriété à court terme semble assez limité également, hors rupture, du fait des délais nécessaires pour les infrastructures de report modal et les inerties comportementales, ce qui mène à 40 % au total par rapport à 2017 (dans un raisonnement en ACV qui minore les gains des émissions en circulation). Mais les émissions de 2017 se situent 15 % (en ACV) au-dessus de celles de 1990, et donc on aboutit à une réduction d'une trentaine de pourcents environ par rapport à 1990.

Cela suppose aussi de rattraper un très grand retard et d'augmenter très rapidement le nombre de bornes de recharges accessibles (51 243 points de charge au 30 novembre 2021) pour les VL et les PL sur route, autoroute et en milieu urbain (y compris dans les copropriétés) et de rendre ces véhicules financièrement accessibles pour une large part de la population (bonus écologique pour l'achat de véhicule, prime à la conversion ...).

⁶⁷ L'objectif porte sur les émissions à l'usage de tous les secteurs mais n'inclut pas leur empreinte carbone.

Aller au-delà suppose des politiques résolues de sobriété combinant le développement des offres alternatives et des signaux économiques incitatifs : développer le covoiturage et les mobilités actives, renforcer la part modale des transports en commun urbains et du ferroviaire, inciter au télétravail, et mettre en place des taxes élevées sur les carburants. Ces options ne doivent pas être repoussées en attendant que soient seuls engrangés les résultats de la décarbonation des motorisations. Elles sont également indispensables pour respecter les objectifs de 2030.



3 Les principaux angles d'analyse de la démarche

3.1 L'urgence climatique surplombe la démarche prospective et conduit à renoncer à l'usage des hydrocarbures d'origine fossile d'ici 2050

Le changement climatique oblige à engager, et à mener à bien en moins d'une génération, une évolution majeure du mix énergétique dans le domaine des transports : ainsi que l'a montré la révision 2020 de la Stratégie nationale bas carbone (SNBC)⁶⁸, il faut renoncer à l'usage des hydrocarbures d'origine fossile et les remplacer par des technologies décarbonées. L'ampleur du défi est telle qu'il doit constituer un engagement de premier rang pour l'action publique et que toutes les autres mesures publiques doivent intégrer cette contrainte : il n'est pas possible, au regard des conséquences qu'elles pourraient entraîner pour les générations futures, d'ignorer leur impact sur le climat.

Depuis la seconde guerre mondiale, les Français ont vécu plusieurs transitions énergétiques avec la relance du charbon au lendemain de la guerre, l'avènement du pétrole avec la généralisation de l'automobile, les chocs pétroliers et le programme nucléaire, le développement des énergies renouvelables ; néanmoins, ces évolutions n'ont pas touché le domaine des transports qui durant tout le vingtième siècle, à l'exception du transport ferroviaire de voyageurs, ont utilisé le pétrole et ses dérivés de façon quasi exclusive.

3.1.1 La technologie peut beaucoup mais ne suffira probablement pas : la neutralité carbone demande d'aller plus loin et d'agir sur les comportements

L'ampleur de l'urgence climatique fait porter un nouveau regard sur le progrès technologique, qui s'avère au terme de ce rapport indispensable à la recherche de la neutralité carbone : l'innovation est nécessaire pour inventer, en moins d'une génération, une mobilité qui ne repose plus sur l'usage des hydrocarbures d'origine fossile.

Les calculs réalisés en ACV montrent que des gains extrêmement importants sont possibles à la fois pour les véhicules légers, mais aussi pour les bus et les poids lourds. Seconde bonne nouvelle : plusieurs technologies semblent disponibles pour atteindre des résultats comparables : hydrogène, biogaz, électricité. Chacune d'entre elles comporte cependant un certain nombre d'écueils : coût et disponibilité pour le biogaz, coût et sécurité pour l'hydrogène, pollution locale liée à la fabrication des batteries pour les véhicules électriques, et naturellement disponibilité des ressources ce qui conduit, dans toute la mesure du possible et du raisonnable sur le plan économique à prévoir la possibilité de développer plusieurs technologies différentes.

Le tableau ci-dessous donne une idée des gains possibles pour un véhicule neuf aux horizons 2040 ou 2060 : il suppose cependant des changements importants dans notre utilisation des technologies. Pour obtenir de tels résultats, la durée de vie des véhicules particuliers est ainsi allongée en moyenne à 300 000 km en 2060 et les émissions à la fabrication sont réduites, grâce à l'allègement du véhicule et à des procédés et des matériaux plus décarbonés, de 30 %.

⁶⁸ Voir <https://www.ecologie.gouv.fr/strategie-nationale-bas-carbone-snbc>

Facteur de réduction par rapport à un véhicule thermique 2019 (véhicule neuf)	VP segment C ⁶⁹	VUL	Bus	PL 40 t
2040	4	4,6	7	8
2060	8	8	10	10

*Tableau 5 : Facteurs de réduction des émissions de GES des différents véhicules en ACV à 2040 et 2060
Source : Rapport motorisation, prospective 2040-2060, CGEDD-France Stratégie, 2021*

L'autoroute électrique alimentant les véhicules par caténaires ou par le sol (par induction ou par conduction) pourrait constituer une solution attractive : elle permettrait en effet de réduire la taille des batteries. Mais les technologies ne sont pas mûres aujourd'hui pour cet usage : il ne peut donc y avoir de choix aujourd'hui d'une technique qui se déploierait dans l'Union européenne. Elles rencontrent de plus un problème de financement : les transporteurs n'achèteront des PL adaptés à ce système que lorsqu'il sera déployé très largement sur les autoroutes européennes ce qui conduit, comme dans une industrie de réseau, à un financement à perte de l'infrastructure au départ. Par ailleurs, les caténaires peuvent être arrachées si le poids lourd quitte trop brusquement sa voie de circulation.

Mais le progrès technologique ne pourra constituer à lui seul la solution à cet impératif. Cette conclusion apparaît nettement lorsqu'on considère le maritime et l'aérien pour lesquels les perspectives sont moins favorables et lorsqu'on prend en compte également l'ensemble des émissions de gaz à effet de serre liées aux mobilités, en incluant non seulement les émissions des moteurs, mais aussi les empreintes des véhicules et des infrastructures dans une approche en analyse de cycle de vie (ACV).

En outre, si les perspectives technologiques semblent favorables, rien ne dit cependant que ces technologies vont être adoptées : leur mise en œuvre est en effet soumise à de nombreuses incertitudes liées au développement même de ces technologies, mais aussi à leur vitesse d'appropriation par la population.

On voit donc qu'il faudra très probablement aller plus loin encore, et donc envisager des mobilités des personnes et des biens plus sobres. Il peut s'agir de limiter les déplacements en nombre ou en portée, ou de les massifier. Les attentes de la société en matière de qualité de la vie dans les espaces denses viennent également renforcer cette exigence, ce qui implique de privilégier l'allocation de l'espace urbain aux mobilités qui en consomment le moins (transports collectifs, covoiturage, modes doux). La réduction de l'artificialisation des sols devient également de plus en plus indispensable à la survie de la biodiversité, et à son développement. L'ensemble de ces facteurs conduit à mieux partager l'usage des espaces publics entre les mobilités et les autres usages propres à la vie de la cité.

3.1.2 De plus, la technologie ne pourra se développer que si les leviers économiques et réglementaires sont présents

L'optimisation spontanée d'un acteur économique en matière de choix technologiques est *a priori* dictée par la recherche d'un équilibre entre la valeur qu'il accorde à un bien et le montant qu'il doit dépenser pour l'acquérir. L'intégration de considérations plus collectives passe donc par une intervention publique qui peut jouer sur les prix, limiter les quantités disponibles, instaurer des normes ou mettre en place une politique de la

⁶⁹ Les véhicules du segment C correspondent à des véhicules compacts de moyenne gamme (type Peugeot 308 ou Renault Mégane IV).

demande. Ces différentes formes d'action publique permettent ainsi l'internalisation des coûts externes tout en restant globalement compatibles avec une économie concurrentielle.

Le développement des énergies renouvelables ou des batteries nous a montré que les technologies vertes progressent par apprentissage. Dans une première phase, la stimulation de la recherche, la commande publique de volumes retenus (de préférence dans plusieurs pays) mais à un prix élevé, la mise en place d'incitations fiscales et/ou financières et l'attribution d'aides aux industriels concernés permettent la production et la vente des premiers exemplaires et l'émergence d'une nouvelle technologie. La hausse des volumes ainsi vendus permet alors une baisse des niveaux de prix jusqu'à atteindre, si tout se passe bien, le moment où la nouvelle technologie présente des coûts compatibles avec le marché.

On a ainsi constaté d'importantes baisses des coûts de production des batteries, qui laissent entrevoir, pour le consommateur final, une parité de coût de revient entre le véhicule électrique et le véhicule thermique vers 2025. Pour d'autres technologies, les perspectives d'aboutir à des coûts compétitifs semblent nettement plus lointaines, mais pas impossibles non plus : c'est par exemple le cas de l'hydrogène vert.

3.2 La sobriété apparaît comme une nouvelle valeur de la mobilité, insuffisamment partagée cependant, tandis que les bienfaits de la vitesse sont remis en question, mais sont toujours réclamés par certains

Le temps humain reste un des principaux facteurs de valeur économique, du fait de sa rareté ultime liée aux limites du temps disponible au cours de la vie. On le retrouve par ailleurs comme principal facteur de production pour la même raison, tant dans le travail que dans le capital qui est largement du temps de travail passé accumulé. Toutefois, la montée en puissance d'autres formes de rareté (environnement sain, ou bien liées aux limites relatives aux ressources naturelles) peut laisser entrevoir une appréciation plus équilibrée des composantes d'un développement durable.

3.2.1 Une donnée nouvelle : l'émergence d'un appétit de sobriété qui n'est pas encore totalement partagé

Plusieurs facteurs font émerger un débat sur la notion de « sobriété », qu'on peut définir, dans son principe, comme une certaine modération des mobilités, voire comme un souhait de recentrage vers la satisfaction de besoins plus fondamentaux. Cette notion inclut en pratique également tout ce qui concourt à réduire les trafics des modes les plus émissifs, en particulier le report modal vers les modes collectifs terrestres, ferroviaires, doux et actifs, ainsi que les mobilités partagées. Elle prend probablement sa source dans le renforcement de la conscience de la contrainte climatique globale d'une part, mais aussi dans la perception plus aiguë que jamais que « le temps du monde fini commence » pour reprendre l'expression de Paul Valéry (1931), et dans le développement d'un nouveau regard sur la qualité de vie dans les espaces les plus denses. Si elle prend une acuité particulière au lendemain du premier choc pétrolier de 1973, le terme lui-même de

sobriété énergétique fait sa première apparition dans la loi en 2015⁷⁰.

L'ampleur de ces attentes de sobriété fait cependant débat et elle est donc variable. Elle dépend sûrement de la représentation que chacun peut avoir des poids relatifs des avantages et inconvénients des mobilités.

Cette interrogation est parfois reliée à celle plus globale sur les avantages et inconvénients de la (dé-)croissance, et sur la nature des objectifs que devrait se donner la société pour elle-même.

De manière moins radicale, la sobriété des mobilités peut également s'inscrire dans la recherche d'une croissance économique durable - qui permet de couvrir nos dépenses sociales -, mais structurée différemment, autrement dit d'une autre croissance (alter-croissance) plus protectrice de la biodiversité et de notre planète, moins riche en produits et services intenses en carbone et ressources terrestres, responsable de moins d'externalités et surtout respectueuse des générations futures.

La sobriété des mobilités

On appelle dans ce rapport « sobriété des mobilités » les améliorations qui relèvent de l'usage et qui concourent à réduire les émissions et les dommages environnementaux liés aux mobilités. Elles consistent :

- Dans la sphère des politiques de mobilité :
 - à diminuer le nombre et la longueur des déplacements dommageables pour l'environnement en favorisant le report modal et en encourageant les mobilités actives ;
 - à diminuer, pour des déplacements donnés, leur impact en recherchant un moindre autosolisme et une meilleure utilisation des véhicules (covoiturage, augmentation de l'emport, mise en commun des véhicules...) ainsi qu'en améliorant les performances de conduite (y compris en interurbain par la diminution des vitesses).
- Dans les sphères de l'aménagement du territoire, de l'urbanisme, du travail et des autres politiques publiques, à adopter des mesures concourant à réduire les besoins qui génèrent les déplacements contraints de biens ou de personnes (urbanisme, pratiques de consommation, télétravail, etc...).

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

3.2.2 Des signaux contradictoires s'agissant de la vitesse

Avec la remise en question de la croissance des flux vient aussi celle de la vitesse. Le temps de transport était autrefois pensé comme un temps nécessairement perdu, donc à minimiser autant que possible.

Plusieurs facteurs ont pu faire évoluer le regard sur la vitesse. D'une part, les nouvelles technologies de la communication peuvent rendre le temps de transport plus productif et plus utile, si bien que la qualité du temps passé prend de plus en plus d'importance. D'autre part, la vitesse est souvent corrélée aux émissions de nuisances, ce qui amène aussi à la

⁷⁰ « Art. L. 100-2.-Pour atteindre les objectifs définis à l'article L. 100-1, l'État, en cohérence avec les collectivités territoriales et leurs groupements et en mobilisant les entreprises, les associations et les citoyens, veille, en particulier, à : 1°) maîtriser la demande d'énergie et favoriser l'efficacité et la sobriété énergétiques ... »

considérer moins positivement.

Ces deux constats sont à adapter selon les contextes ; ainsi en zone urbaine, les possibilités de valorisation du temps passé peuvent être réduites si un minimum de confort n'est pas au rendez-vous ou si les temps de trajet sont trop courts pour être utilisés. Par ailleurs, les vitesses sont limitées par les contraintes de sécurité routière ou la congestion.

La recherche de déplacements plus rapides n'est cependant pas abandonnée pour autant : la mise au point de nouveaux avions supersoniques outre-Atlantique, de trains à sustentation magnétique en Chine, ou le désir en France de modes de déplacements plus rapides (TGV notamment) ne constituent que quelques exemples de ces objets dont le développement souhaité par certains peut heurter les aspirations envisagées ci-dessus. Sans même évoquer le développement attendu du transport aérien international auquel la nouvelle classe moyenne des pays émergents, de la Chine et de l'Inde en particulier, voudra, en toute logique, accéder.

3.3 Les besoins de mobilité vont évoluer

3.3.1 La démographie, et notamment le vieillissement de la population, sont déterminants pour les besoins de mobilité du futur

La révision récente des prévisions de long terme de l'Insee pour la population française⁷¹ montre qu'au-delà d'une vingtaine d'années, où les effets tendanciels sont forts, des inflexions marquées de la fertilité et de l'évolution de l'espérance de vie à la naissance peuvent intervenir. Les scénarios bâtis initialement sur le scénario central connu de l'Insee repris par le COR ont donc été recalculés fin 2021, pour tenir compte de ces dernières projections. Le scénario central actuel de l'Insee cible la population française autour de 68,7 millions d'habitants en 2060, soit un niveau assez proche de l'actuel (67,4 millions en 2021) alors que la prévision antérieure, datant de 2016, était de 75,2 millions d'habitants : dans ce scénario, la population atteindrait 69,3 millions d'habitants en 2044 avant de décroître progressivement. Ceci ne tient pas compte des inévitables aléas, à de telles échéances, sur les flux migratoires.

De manière schématique, ce qui importe le plus pour le système de mobilités est probablement la fraction de la population qui sera susceptible de connaître des difficultés à se déplacer. D'un côté l'espérance de vie s'allonge tendanciellement (hors effet de la pandémie) – jusqu'en 2040, où environ un habitant sur quatre aurait 65 ans ou plus -, mais de l'autre l'espérance de vie en bonne santé semble globalement stagner. Il en résulte qu'on peut s'attendre à une hausse d'une quarantaine de pourcents de la part de la population ayant dépassé l'espérance de vie en bonne santé d'ici 40 ans. Certes, cet indicateur est imparfait car il est basé sur des enquêtes déclaratives, mais il donne toutefois une indication de tendance probablement globalement assez robuste.

Plusieurs conséquences découlent de ces constats. La croissance modérée de la population, toutes choses égales d'ailleurs, devrait alimenter à un degré modéré également celle des mobilités des personnes et des biens.

Le vieillissement accroît aussi la nécessité d'investissements et de services pour une mobilité des personnes et des livraisons plus inclusives. Cela recouvre la réduction des

⁷¹ 68,1 millions d'habitants en 2070 : une population un peu plus nombreuse qu'en 2021, mais plus âgée, Élisabeth Algava et Nathalie Blanpain (Insee), INSEE Première, paru le 29 novembre 2021, <https://www.insee.fr/fr/statistiques/5893969>

obstacles tant dans les transports collectifs que sur la voirie principalement urbaine et péri-urbaine, et, plus généralement, la facilitation des déplacements des personnes souffrant d'un handicap, qu'il soit lourd ou léger.

Enfin, en dehors de quelques centres-villes, la place prise par la voiture dans la mobilité interroge les politiques d'accompagnement des publics ne pouvant plus conduire en toute sécurité. Les progrès des systèmes d'assistance à la conduite devraient probablement pouvoir permettre, dans le futur, de retarder l'âge de la fin de la mobilité motorisée qui constitue souvent une rupture majeure de mode de vie.

Enfin, les questions des modalités de la diffusion des technologies numériques au sein d'une population de plus en plus âgée ne doivent pas être éludées.

3.3.2 Des nouvelles générations pionnières des nouvelles mobilités ?

L'image que présente le Crédoc des jeunes générations⁷² est contrastée : il souligne que les 20-30 ans ont une forte sensibilité environnementale, sont bien conscients du réchauffement climatique en cours et s'attendent à ce que les conditions de vie qui en résulteront deviennent plus pénibles ; ils conservent de l'espoir dans le développement technologique mais éprouvent un sentiment d'impuissance sur leur capacité à jouer un rôle dans cette évolution et ont toujours du mal à traduire dans leurs actes de consommation leurs préoccupations environnementales.

La recherche de transports durables constitue cependant une exception : 56 % des jeunes ont ainsi déjà eu recours à du covoiturage pour une courte distance (contre 31 % de l'ensemble de la population), et 46 % sur de longues distances (vs 30 %)⁷³. Mais, ils continuent à prendre l'avion (28 % des jeunes déclarent avoir pris l'avion deux fois ou plus au cours des douze derniers mois (+9 points au-dessus de la moyenne selon l' Enquête Tendances de Consommation 2018 auprès des 18-24 ans uniquement)) et, parmi les jeunes, les ruraux et les actifs restent attachés à la voiture.

3.3.3 Les loisirs et le tourisme

La crise pandémique a stimulé une extension des pratiques de loisirs fondés sur des localisations de moindre distance, mais aussi le développement d'une offre touristique de loisirs fondés sur les mobilités actives : marche, randonnée, cyclisme. De ce point de vue, l'émergence de l'offre de cycles à assistance électrique a contribué à sortir les pratiques de plein air de la sphère des sportifs en parfaite conditions physiques et bien entraînés vers des usagers occasionnels de moindres capacités physiques, qui y trouvent un effort raisonnable et bénéfique. Le facteur crucial est la création d'une capacité de parcours qui offre une liberté d'accès élargie mieux compatible avec les attentes de variété, de visite de sites culturels, etc. La dynamique reprise par les collectivités locales de renforcement des

⁷² Voir en particulier <https://www.credoc.fr/publications/environnement-les-jeunes-ont-de-fortes-inquietudes-mais-leurs-comportements-restent-consumeristes>

Pour protéger l'environnement, les jeunes se tournent vers des transports alternatifs et les pratiques collaboratives Lucie BRICE, Patricia CROUTTE et Sandra HOIBIAN Centre de recherche pour l'étude et l'observation des conditions de vie (Credoc) dans Modes de vie et pratiques environnementales des Français, CGDD, <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/modes-de-vie-et-pratiques-environnementales-des-francais>

⁷³ *Opinions et pratiques environnementales des Français en 2015*, Chiffres & statistiques, CGDD, 2016, Eric Pautard

infrastructures dédiées est considérable et elle a changé d'échelle. Ce tourisme de loisir fondé sur des localisations à moindre distance présente également l'intérêt de concerner une partie beaucoup plus large du territoire français, en valorisant la fréquentation des campagnes par rapport au littoral et à la montagne, même si eux-mêmes contribuent à cette mutation. Ce renforcement d'offre et le développement des emplois de service liés à ces loisirs sont des conditions indispensables à la pérennisation de ces évolutions.

3.4 Les contraintes sociales et les disparités territoriales seront au cœur du débat du vivre ensemble et de l'acceptabilité

3.4.1 Pour quelques segments, l'offre de solutions décarbonées a déjà émergé et devrait s'accélérer

Il existe quelques segments où l'offre de solutions décarbonées est déjà rentable pour le consommateur. Ainsi, en tenant compte du bonus-malus automobile, l'achat d'un véhicule électrique neuf à usage local par un ménage aisé propriétaire de sa maison individuelle et circulant significativement est d'ores et déjà compétitif en argent et en temps sur la durée de vie du véhicule. Quelques flottes de livraison urbaines utilisent aussi des motorisations décarbonées (électriques ou biogaz), notamment pour des questions d'image ou de contraintes liées au bruit.

De plus, dans quelques zones très centrales, une offre de motorisation décarbonée en transports collectifs (trains, métros, trams, bus à motorisation décarbonée) associée à des fréquences importantes et facilement compréhensibles de l'utilisateur est présente.

La bonne nouvelle, somme toute assez récente, est que - du fait du progrès technologique, en particulier sur les batteries, - la vente des véhicules décarbonés est en forte croissance et que le coût total de possession devrait être équivalent à celui du véhicule thermique classique vers le milieu des années 2020 pour les véhicules légers, probablement un peu plus tard pour les véhicules lourds. La part⁷⁴ des motorisations alternatives (électriques et hybrides rechargeables) dans les immatriculations neuves s'établissait à 11 % en 2020 alors qu'elle était inférieure à 3 % en 2019. Avec la baisse attendue du prix des batteries, cette croissance devrait se poursuivre : en 2020, les ventes de voitures électriques en Norvège ont représenté 54 % des ventes et ont ainsi, pour la première fois, dépassé celles des voitures à essence, diesel et hybrides.

3.4.2 Mais la société peine à se projeter dans une mobilité décarbonée et à imaginer les termes du « nouveau contrat social »

Toutefois l'urgence climatique ne donne pas la possibilité d'attendre plusieurs décennies la maturité des offres de véhicules à énergie décarbonée. Au-delà de la baisse du coût de revient, plusieurs autres obstacles doivent être franchis.

Un premier sujet est celui de l'accès à la prise de recharge pour les déplacements de la vie quotidienne, qui pose encore des difficultés en dehors des propriétaires occupant une maison individuelle, en particulier dans les copropriétés, mais aussi sur le réseau routier. Cet obstacle est plus important sur le réseau routier en milieu rural où moins d'un tiers des véhicules sont à usage essentiellement local (secondes voitures en général) : dès que la part de déplacements à longue distance (au-delà de l'autonomie du véhicule) devient non

⁷⁴ <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/essor-des-ventes-de-voitures-neuves-motorisations-alternatives-en-2020>

marginale, la disponibilité de recharges interurbaines rapides (moins d'une demi-heure) devient en effet nécessaire.

Un second sujet est celui de l'accès à la mobilité décarbonée des classes moyennes et pauvres. L'achat de véhicules neufs est le fait des entreprises et des ménages aisés, souvent de plus de 55 ans. Les autres ont majoritairement recours au marché des véhicules d'occasion. Même s'il se développe régulièrement et peut-être désormais comparé, en nombre de véhicules vendus, au marché du neuf, le marché de l'occasion reste limité et offre des modèles qui paraissent anciens du fait de la rapidité des progrès technologiques. La difficulté d'accès des ménages pauvres, voire d'une grande partie de la classe moyenne, aux véhicules décarbonés est renforcée par la hausse de la part des dépenses « pré-engagées » (notamment les loyers et les emprunts immobiliers, qui ont été encouragés par des taux d'intérêt historiquement bas). À ceci s'ajoutent les efforts à effectuer pour la transition écologique de l'habitat, qui est également souvent plus délicate pour les ménages modestes vivant dans des logements peu onéreux mais mal isolés.

Enfin, l'application d'une hausse de la taxe carbone conduit à des situations territoriales très contrastées. Si les territoires les plus denses présentent une offre de transports collectifs, il n'en va pas de même dans les territoires moins denses. Par ailleurs, on trouve plus de services à proximité dans un territoire dense. De ce fait les parcours par ménage et par an en voiture sont un peu plus importants dans les territoires ruraux, ou les couronnes périurbaines éloignées, même si les différences ne sont pas considérables à l'exception du centre de l'Île-de-France.

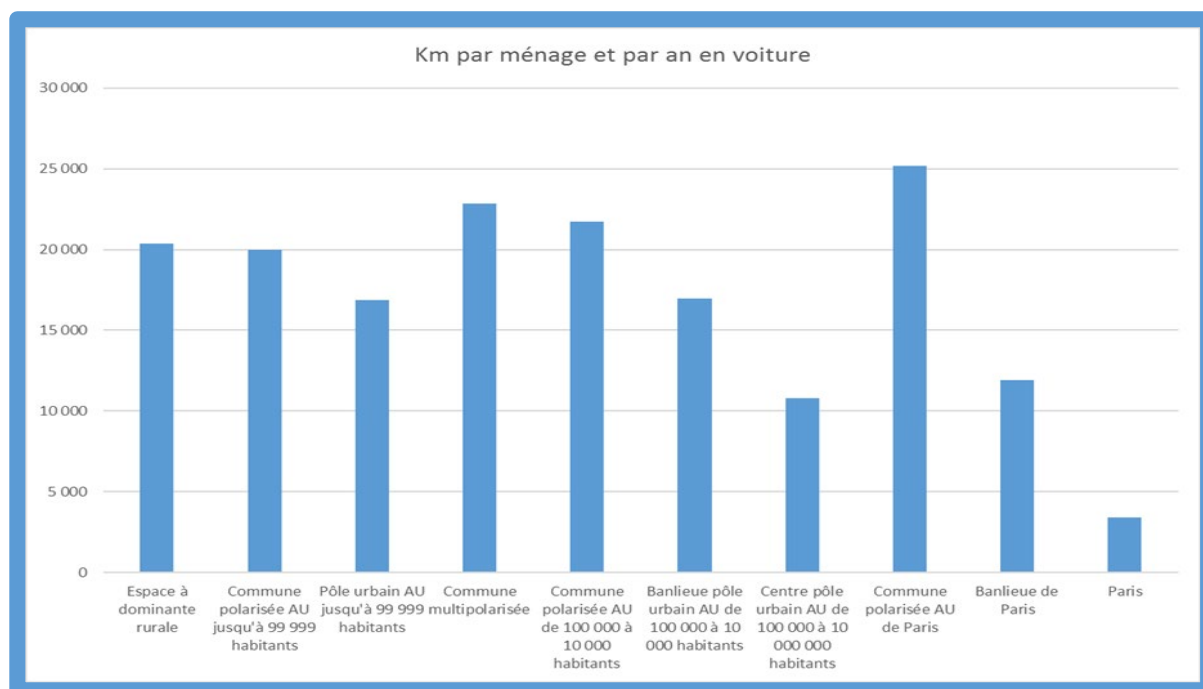


Figure 27 : Kilométrage moyen parcouru en voiture par an par un ménage selon son implantation géographique (AU=aire urbaine) - Source CGEDD et France stratégie Prospectives des mobilités 2040 2060 d'après Insee

3.4.3 Les univers de choix et les contraintes/marges de manœuvre des personnes sont extrêmement disparates

Les sujets évoqués précédemment sont probablement les obstacles les plus significatifs à la diffusion des véhicules décarbonés. Mais les analyses plus fines révèlent des situations

très disparates d'un ménage à l'autre en fonction de caractéristiques souvent encore mal identifiées. Il suffit par exemple d'une inquiétude vis à vis de l'autonomie réelle du véhicule électrique ou de la peur de ne pas trouver une borne de recharge durant son trajet pour que le ménage ne choisisse pas le véhicule électrique.

Le graphique ci-dessous⁷⁵ montre que si les émissions de CO₂ par ménage sont corrélées aux déciles de niveau de vie, leur dispersion au sein de chaque décile reste considérable : seul un tiers de cette dispersion peut être relié à des facteurs explicatifs connus. Ceci rend le ciblage de politiques de compensations d'une politique de hausse de taxe carbone particulièrement complexe. Les aides, qui ne peuvent en effet être versées qu'en fonction de variables connues, ne permettront pas de « compenser » correctement la perte de pouvoir d'achat des individus concernés. Les personnes dites *hypermobiles*, se concentrent essentiellement dans les déciles les plus élevés de revenus de la population. Elles représentent à elles seules une part considérable des émissions : 20 % de la population la plus mobile génèrent 80 % des émissions.

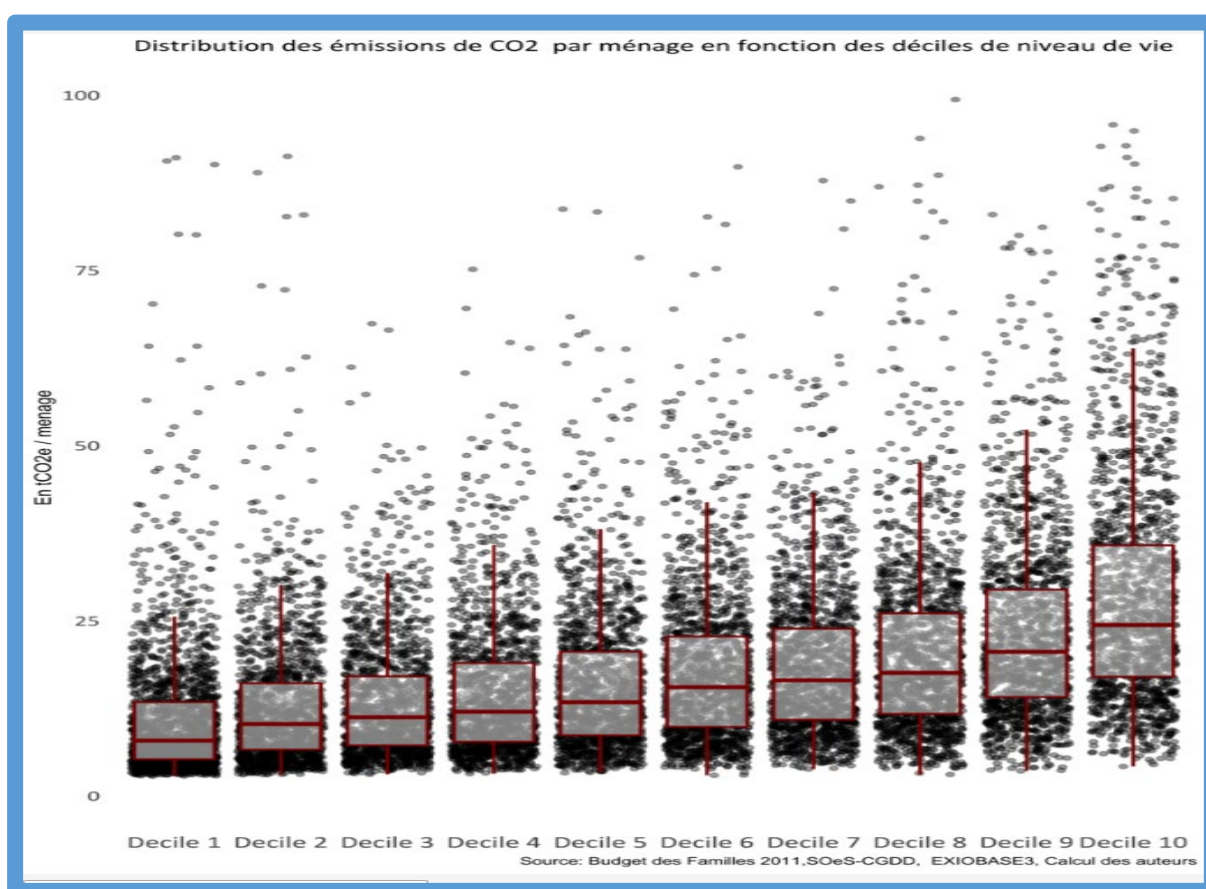


Figure 28 : distribution des émissions de CO₂ par ménage en fonction de leur décile de niveau de vie
Source Thomas Douenne

⁷⁵ Les effets de la fiscalité écologique sur le pouvoir d'achat des ménages : simulation de plusieurs scénarios de redistribution, Focus N° 030-2019, Conseil d'analyse économique, Thomas Douenne, Mars 2019, <https://www.cae-eco.fr/Les-effets-de-la-fiscalite-ecologique-sur-le-pouvoir-d-achat-des-menages-463> Ce Focus constitue un complément méthodologique à la Note du CAE n° 50 : *Pour le climat : une taxe juste, pas juste une taxe*, Dominique Bureau, Fanny Henriot et Katheline Schubert,

3.4.4 Des aspirations contrastées en matière de déplacements lointains (tourisme...) et notamment de transport aérien

Une autre dimension est celui des déplacements très lointains. Malgré le TGV et un certain renouveau des trains de nuit, ou l'émergence d'une offre de trains à bas coûts mais souvent moins rapides, le train ne peut constituer une solution que pour une minorité de trajets aujourd'hui effectués en avion, du fait notamment des temps de voyage : il peut néanmoins se substituer à l'aérien sur des trajets courts. La grande majorité des émissions de gaz à effet de serre du transport aérien est cependant liée aux flux à très longue distance et donc hors champ de la substitution modale. Dans ce domaine, à moins de limiter les déplacements touristiques, l'essentiel du chemin vers la neutralité carbone va donc reposer sur la décarbonation de l'aérien l'avion lui-même.

3.5 Dans une perspective de neutralité carbone, la notion d'aménagement du territoire pose question entre densification des métropoles, polycentrisme maillé, habitat en doigts de gant

3.5.1 Le choix des formes urbaines : entre les aspirations à la sobriété et l'attente d'espace et de logements abordables

La forme des villes influence la mobilité et les émissions de gaz à effet de serre. Les études et les travaux académiques ont montré le rôle de la densité de l'habitat dans la consommation d'énergie des ménages pour se déplacer : les grandes métropoles mondiales consomment d'autant moins de carburants fossiles par habitant qu'elles sont plus densément peuplées. La différence atteignait un facteur sept entre les villes d'Amérique du nord et les villes d'Asie dans les années 1990. Les enquêtes mobilité montrent également un moindre usage de la voiture et une plus faible distance de déplacement dans les zones urbaines comparées aux couronnes.

La convergence des politiques publiques pour réduire les émissions de CO₂ pourrait ainsi sembler appeler en matière d'urbanisme et d'aménagement des mesures favorisant une métropolisation plus importante et la recherche systématique de densité.

Une politique d'aménagement semblable a été portée par les pouvoirs publics durant les cinquante dernières années en France. Elle n'a cependant pas permis de freiner la périurbanisation, car elle n'a pas apporté une réponse au renchérissement de l'immobilier dans les zones denses et donc au développement en périphérie d'une offre répondant à la demande des ménages (logements abordables et de plus grandes tailles). Aussi, cette relative dispersion de l'habitat n'est pas sans conséquence si une taxe carbone devait être instaurée. Elle aurait un impact significatif sur les budgets des ménages en particulier ceux des ménages à faibles revenus.

Dans le cadre d'un modèle d'économie urbaine qui prend en compte l'aspiration à un logement plus grand et les coûts des déplacements, des émissions de CO₂ et du logement, la ville agglomérée dense ne s'impose pas nécessairement pour produire l'*optimum* socio-économique. Diverses formes sont possibles y compris un centre dense avec une couronne desservie par la voiture⁷⁶. La bonne forme urbaine dépend du jeu des valeurs relatives entre

⁷⁶ Le type de transport optimal dans chaque zone est celui qui présente le plus faible coût unitaire. Voir rapport mobilités-aménagement.

les coûts des transports collectifs et de la voiture, la compensation carbone, et des prix de l'immobilier et du foncier.

3.5.2 L'aménagement en Europe du nord peut inspirer une politique à la fois rigoureuse et acceptable

L'observation de l'Allemagne, de l'Angleterre et du Danemark, pays plus denses en habitants que la France, permet de constater que ces pays arrivent à mieux gérer l'occupation des sols : le partage modal est un peu moins favorable à la voiture qu'en France et la surface urbanisée par habitant est plus faible.

Deux modèles d'urbanisation semblent ressortir : le polycentrisme maillé et les doigts de gant. Le premier correspond à la hiérarchie de villes et de bourgs qui donne un réseau maillé. Appelé aussi modèle des lieux centraux (Christaller), il résulte d'une organisation dans laquelle chaque offre de biens, de services et d'emploi s'installe dans le lieu qui minimise les coûts de déplacement des habitants de la ville et des villes voisines⁷⁷ et qui équilibre l'offre et la demande. La figure 29 ci-après l'illustre pour le sud du massif central⁷⁸. C'est le réseau des préfectures et sous-préfectures en France avant la diffusion de la voiture particulière.

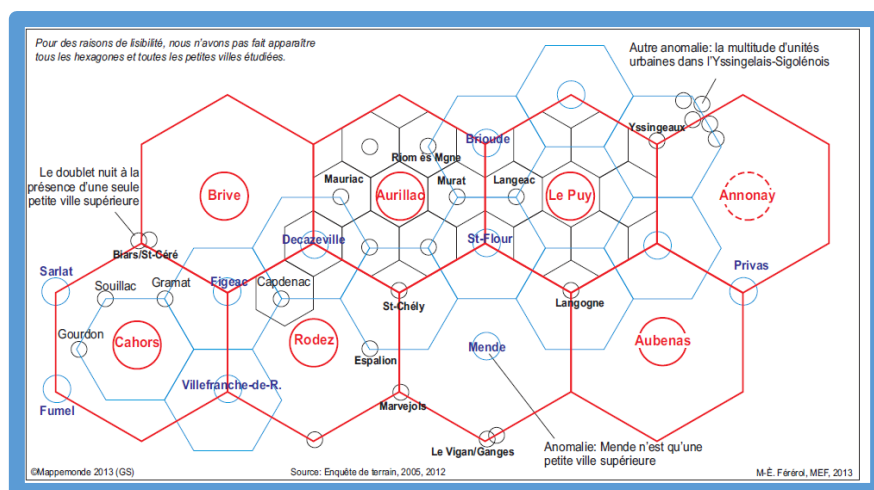


Figure 29 : Schéma d'implantation des villes du sud du massif central
Source : M.-E. Féréol, 2013

Lecture : Un hexagone représente l'aire desservie (et tributaire) en biens et services par la ville qui occupe son centre. Ainsi un habitant du sud-est de Murat ira souvent à Murat, un peu moins souvent à Saint-Flour et pour ses besoins plus rares à Aurillac, etc. ce qui minimise ses déplacements.

Le deuxième modèle, des doigts de gant, est celui que l'on trouve à Copenhague⁷⁹. L'urbanisation s'est développée et est contrainte le long des infrastructures de transport,

⁷⁷ Par exemple, un habitant du sud-ouest de Mauriac couvre une partie de ses besoins à Mauriac, puis pour des usages moins fréquents à Decazeville et pour les plus rares à Aurillac, etc. ce qui minimise ses déplacements

⁷⁸ *Le modèle de Christaller et les espaces interstitiels du Massif central*, Marie-Eve Féréol, 2013, n°112, M@ppemonde <http://mappemonde-archive.mgm.fr/num40/articles/art13402.html>

⁷⁹ Le *Finger Plan* est la directive nationale de planification pour le Grand Copenhague. Le *municipal planning* doit, selon ce document, délimiter les aires autour des stations/gares existantes (1 000 m et 1 200 m au maximum selon le secteur « paume » ou « doigts ») et à l'intérieur, la zone centrale doit être tracée sur la base d'une distance de marche à pied de 600 m. Les activités de service et les bureaux sont à localiser (avec des souplesses évidemment) dans ces zones centrales (si plus de 1 500 m² de bureau par exemple).

en particulier le long des lignes de transport collectif. Selon le type d'occupation, une construction n'est possible qu'à une distance maximale des gares d'environ 600 m.

En Allemagne, l'aménagement permet en créant la densité suffisante, de pouvoir aller à la gare à pied, d'emprunter des transports collectifs fréquents et sur une large amplitude horaire pour le travail ou les études, et de trouver une offre de commerces et de services satisfaisant les besoins quotidiens. Il n'est pas fait appel à des métropoles toujours plus grandes.

La faible densité de population en France rend l'émergence de ces modèles plus difficile que dans ces pays à la densité plus élevée. Mais c'est une voie prometteuse. Elle nécessite cependant des efforts en termes de développement des transports collectifs et de meilleure répartition des services publics, à rebours de la politique les concentrant dans les plus grands centres urbains.

3.5.3 La qualité de vie en ville, le partage de voirie et les aspirations aux mobilités douces

Garder des habitants dans des villes et gros bourgs plus denses, voire les reconquérir après leur départ dans le périurbain, implique de leur offrir des aménités importantes. L'espace public doit être accueillant en étant spacieux, bien conçu et bien entretenu. La propreté et la sécurité font partie intrinsèque de cette qualité. Les parcs publics végétalisés doivent être multipliés pour redonner un contact avec la nature alors que souvent la minéralité a été privilégiée pour réduire les coûts d'entretien des espaces verts.

La bataille de la mobilité se gagne également par la construction d'un réseau de circulations douces. Si l'on veut permettre aux habitants d'aller plutôt à pied ou en bicyclette qu'en voiture, il faut offrir un maillage continu et sans rupture (*seamless*), tant pour les piétons que pour les cyclistes. À cet égard, il est important d'introduire ces liaisons douces dans les programmes d'aménagement ou de reconquête de friches industrielles et commerciales. Le partage de la voirie est utile mais sans pénaliser excessivement l'utilisation de la voiture. Un soin particulier doit être apporté aux lieux d'échanges multimodaux, aux infrastructures de recharge des véhicules électriques, au stationnement des vélos et à l'accueil de la logistique urbaine.

Laisser plus souvent sa voiture au garage, ou se passer d'en posséder une, suppose à côté des circulations douces d'offrir des transports collectifs plus fréquents. L'équation économique n'est pas simple car seule une fréquence élevée des services de transport sur une large plage horaire peut compenser la souplesse d'utilisation de la voiture. Elle est cependant facilitée si l'on arrive à constituer à minima des gros bourgs denses et à concentrer l'habitat, les bureaux et les équipements publics le long des lignes de transport collectif structurantes, ce qui semble le cas en Allemagne⁸⁰.

En parallèle, les collectivités devront engager des actions pour s'adapter au changement climatique comme la réduction des îlots de chaleur ou rendre les espaces publics plus perméables aux eaux de pluie.

⁸⁰ Par exemple, la ligne ferrée Kaiserslautern (100 000 habitants) / Lauterecken-Grumbach, d'environ 35 km, compte 14 arrêts, dessert trois communes fusionnées d'environ 10 000 habitants chacune avec 16 trains par jour aller-et-retour de 5h du matin environ à 20h. En France, la ligne Rennes (215 500 habitants) / Rétiers, d'une longueur équivalente, compte sept gares et dessert deux petites villes (4 500 et 8 500 habitants) avec sept TER par jour (plus huit bus directs Janzé puis Rétiers) de 7h30 à 19h30 (et très peu le week-end).

3.6 Les infrastructures de transport ne répondent que partiellement aux défis de la qualité de vie, de la fracture territoriale et du changement climatique

3.6.1 Un stock d'infrastructures vieillissantes qui engendre des problèmes de qualité de service

Certaines de nos infrastructures de transport sont âgées⁸¹ : cela amène des besoins de financement d'entretien et de renouvellement importants, à la fois pour maintenir l'âge moyen et aussi le rajeunir lorsque les infrastructures sont particulièrement vieillissantes. Cet âge avancé est un des facteurs contributeurs des problèmes grandissants de qualité de service rencontrés dans les transports.

Ce constat concerne toutes les infrastructures des métropoles, mais plus particulièrement les infrastructures ferroviaires en zones urbaines et sur les grands axes. Il s'agit là d'une menace pour les transports collectifs à un moment où ils seraient particulièrement utiles.

L'importance de cet effort de renouvellement peut aussi être vue comme une opportunité de modernisation des fonctionnalités, pour mieux répondre aux besoins actuels avec les technologies les plus efficaces, à condition de mener les analyses de besoin appropriées au bon moment.

3.6.2 Des infrastructures lourdes de transport collectif local qui n'ont pas toujours suivi le développement urbain

Malgré le développement des tramways et des bus à haut niveau de service, les infrastructures lourdes de transport collectif local ou partagées (par exemple les nœuds ferroviaires) sont souvent insuffisantes pour faire face aux besoins engendrés par la croissance des agglomérations et par leur étalement géographique, sans recourir à la voiture ou au camion. Leur faiblesse est également un facteur contribuant à la congestion menant à des temps de parcours plus longs et plus aléatoires.

3.6.3 Des infrastructures interurbaines insuffisamment adaptées aux défis de la réduction des émissions et du changement climatique

Si le réseau ferroviaire à grande vitesse a été beaucoup développé, l'ensemble des infrastructures interurbaines semble encore insuffisamment adapté au défi de la neutralité carbone.

Les contraintes de capacité sur le réseau ferroviaire, particulièrement dans les nœuds, contribuent notamment à la mauvaise performance du fret ferroviaire. De plus, les grandes infrastructures ferroviaires mais aussi routières sont souvent vulnérables aux dommages liés au dérèglement climatique, en particulier aux inondations, mais aussi aux tassements différentiels inégaux qui pourront se produire à l'avenir dans les sols, en particulier dans les argiles⁸².

⁸¹ Voir sur ce point l'avis du COI de 2018 qui soulignait l'urgence d'une remise à niveau de l'entretien et de la régénération du réseau routier non concédé et la nécessaire remise à niveau d'un patrimoine ferroviaire qui a commencé à se dégrader

https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/2018.02.01_rapport_coi.pdf

⁸² Voir notamment <https://www.cerema.fr/fr/actualites/observatoire-routes-sinistrees-secheresse-optimiser>

Le retard constaté en matière de recharges électriques rapides interurbaines est également une lacune majeure en matière d'adaptation aux défis de la neutralité carbone pour les véhicules routiers.

3.6.4 Les risques de fracture territoriale urbain/rural

Dans un monde où l'innovation ouverte intervient principalement dans les agglomérations, le poids économique des métropoles augmente de plus en plus : ainsi, en France, sur la période 2006-2013, les créations d'emplois se sont concentrées sur les aires urbaines de plus de 500 000 habitants⁸³. Cette situation pose bien entendu le risque d'une fracture entre l'urbain et le rural si la richesse de la métropole n'irrigue pas suffisamment le territoire qui l'entoure.

Le territoire métropolitain est, de plus, un des pays les moins denses de l'Europe occidentale, ce qui pose la question des infrastructures de desserte des territoires ruraux et de faible densité avec davantage d'acuité que chez nos principaux voisins. Même si les trafics qui y sont constatés sont souvent plus faibles que dans les zones plus denses, leur délaissement pourrait constituer un risque important et réel de fracture territoriale dans l'accès à l'activité et à la qualité de vie, mais pourrait être également perçu comme un symbole de « l'abandon des territoires ruraux ».

Si la remise en état des infrastructures dégradées constitue alors une solution, l'optimisation de l'organisation du service de transport, par exemple la qualité des correspondances des transports collectifs, en est une autre. Dans cette perspective, le débat sur l'avenir des petites lignes ferroviaires prend une acuité particulière et leur évolution, doit être décidée en étroite liaison avec les territoires. Ce débat devrait de plus permettre de porter un regard sur l'ensemble des infrastructures de communication (transport et télécommunications) ainsi que, de manière plus générale, sur la localisation des services publics, afin d'envisager des optimisations globales susceptibles d'une plus grande efficacité que la juxtaposition de politiques sectorielles.

3.7 Entre opportunité et méfiance, la numérisation devrait prendre une place considérable

3.7.1 Les nouveaux usages du numérique vont modifier de plus en plus nos déplacements

Si le début des télécommunications accessibles au plus grand nombre remonte aux années 1970, la généralisation du smartphone et des communications à haut débit a marqué ces dernières années et permet désormais quasiment à chacun de rester connecté quels que soient l'endroit où il se trouve, l'heure de la journée ou l'appareil qu'il utilise. Elle a ainsi rendu possible le développement extraordinaire des réseaux sociaux qui créent de nouvelles communautés citoyennes, qui remplacent pour partie les médias traditionnels et leurs agences de presse, et qui peuvent permettre la mobilisation de centaines, voire de milliers, d'individus en quelques minutes. Elle favorise également le recours au télétravail et aux téléconférences, auxquels la crise sanitaire a incontestablement donné un coup d'accélérateur. Certains imaginent même, dans le cours des prochaines décennies, le développement de mondes virtuels dans lesquels chacun d'entre nous, muni de lunettes

⁸³ *Dynamique de l'emploi et des métiers : quelle fracture territoriale ?* Frédéric Lainé, 2017, note d'analyse France stratégie, <https://www.strategie.gouv.fr/publications/dynamique-de-lemploi-metiers-fracture-territoriale>

3D, se déplace et interagit avec d'autres personnes grâce à son double virtuel.

L'effet de ces télécommunications sur les mobilités est difficile à envisager. D'un côté, le télétravail et les téléconférences devraient permettre d'économiser des déplacements professionnels. De l'autre, une induction de trafic est à attendre des contacts personnels et professionnels noués à très longue distance au moyen des télécommunications, mais également des télétravailleurs qui, exerçant leur activité en télétravail, auront la possibilité de quitter la ville et perdraient le bénéfice des transports en commun⁸⁴. D'un côté, ils peuvent permettre d'optimiser les déplacements, mais, de l'autre, ils entraînent une consommation d'énergie supplémentaire et peuvent entraîner une fracture numérique à l'égard des personnes à l'écart de ces technologies, les personnes âgées et les personnes les plus pauvres. D'un côté, ils peuvent permettre le développement de services nouveaux grâce au e-commerce, de l'autre ils peuvent conduire à un développement exponentiel de la livraison instantanée et à la congestion des centres urbains ainsi qu'à une mainmise sur les données par les géants du numérique. D'un côté, ils permettent un développement inespéré du covoiturage et de nombreuses initiatives tournées vers de meilleures mutualisations, de l'autre, ils peuvent entraîner un surcroît de déplacements. A l'inverse, certains envisagent le développement dans les prochaines décennies de mondes virtuels dans lesquels chacun d'entre nous, muni de lunettes 3D, se déplacerait et interagirait avec d'autres personnes grâce à son double virtuel.

D'un point de vue plus qualitatif, ces nouveaux modes de communication pourraient contribuer à une meilleure résilience des activités face à des aléas météorologiques, à des dysfonctionnements dans les transports ou à des mesures de précaution sanitaires.

3.7.2 Dans un monde numérique, la distance entre le domicile et le travail peut fortement augmenter

Si le rythme de déplacement quotidien au cours de la semaine est amené à évoluer, la donne de la localisation de l'habitat et de l'activité peut elle-même être impactée. Ainsi, si les déplacements entre le domicile et le travail étaient moins fréquents, on peut s'attendre à des nouvelles localisations plus éloignées, ainsi qu'à une augmentation des bi-localisations. En retour, les localisations des espaces de travail pourraient évoluer.

L'ampleur de ces phénomènes est cependant pour l'instant à relativiser, car elle ne semble toucher que les cadres et quelques professions intermédiaires, qui ont à la fois la possibilité de télétravailler et les moyens financiers de choisir leur logement, voire d'en avoir deux : soit un tiers de la population active. Mais la part des professions concernées pourrait augmenter avec le progrès des télécommunications et les numérisations des processus de travail.

L'impact sur les émissions de gaz à effet de serre est encore à relativiser davantage car le temps libéré du télétravailleur peut être utilisé pour de nouvelles activités qui nécessitent elles aussi des mobilités : l'installation du télétravailleur en zone moins dense ne signifie pas renoncement à accéder aux aménités offertes par les centralités (et celles-ci sont alors obtenues à des coûts environnementaux plus élevés), tout comme télétravail ne signifie pas renoncement à toute forme de présentiel, le coût des regroupements en présentiel en

⁸⁴La part modale des TC croît avec la taille des agglomérations ; elle se situe (en voyageurs-km) aux environs d'un tiers en Île-de-France, alors qu'elle n'est que de l'ordre de 13 % dans de très grandes agglomérations (Lille, Lyon, Marseille) et de l'ordre de 5 % dans des agglomérations de taille moyenne. Élise Laforge. Villes et agglomérations urbaines moyennes : quelles politiques de mobilité? Enjeux, limites et perspectives. Gestion et management. 2015. dumas-01903714 <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01903714/document>

présentiel devenant alors significatif, compte-tenu de l'accroissement des distances.

3.7.3 Le numérique peut redonner de l'attractivité aux transports publics

Les progrès de la numérisation modifient également les modalités des déplacements : *Blablacar*, qui annonce rassembler désormais plus de 10 millions de membres en Europe en constitue l'exemple le plus emblématique. On pourrait ainsi passer d'une offre de transport à des services de mobilité (« *mobility as a service* ») au sein de villes et de territoires devenus plus intelligents.

Ces éléments sont générateurs de nouvelles opportunités pour les transports publics : les progrès de l'information donnée aux voyageurs pourraient en effet permettre d'attirer une clientèle occasionnelle qui était souvent exclue des transports publics du fait des difficultés à trouver l'information sur les horaires, théoriques, mais aussi en temps réel. La combinaison d'offres de transports publics avec celles des nouvelles mobilités (vélos ou engins de déplacements de proximité par exemple) devraient également doper les possibilités de déplacements aisés et propres. Encore faut-il que, dans un monde agile où les applications les plus utiles viennent du réseau, les données du transport soient largement ouvertes.

Ces nouveautés pourraient ainsi asseoir une nouvelle ère de complémentarité modale, susceptible, en améliorant le remplissage, de favoriser aussi le modèle économique des transports publics urbains et interurbains.

Ces perspectives sont cependant à modérer par plusieurs risques. D'un côté, il y a le risque d'exclusion de publics qui éprouvent des difficultés à utiliser les technologies du numérique, surtout si les canaux de vente et d'information traditionnels étaient supprimés trop rapidement. De l'autre côté, le risque de mainmise sur les données par les géants du numérique pourrait réduire les bénéfices résultant de leur ouverture au plus grand nombre.

3.7.4 L'intelligence artificielle ne permet pas aujourd'hui le développement du véhicule autonome : l'automatisation de la conduite semble néanmoins possible à terme pour certains usages

L'intelligence artificielle connaît d'importants progrès, tant en performances qu'en baisse de coût de revient, qui touchent de nombreux secteurs économiques. Elle est d'ores et déjà de plus en plus utilisée dans les transports pour l'optimisation des tournées de véhicules par exemple.

17 ans après le « *challenge* » de la DARPA⁸⁵ qui donna naissance dans un désert californien aux *premiers* véhicules autonomes, le véhicule totalement autonome n'est toujours pas là. Les véhicules de *Waymo* sont mis en déroute par des cônes de chantier et l'*Autopilot* de Tesla a embouti ces derniers mois plus d'une dizaine de véhicules stationnés sur la route, à tel point que Yoshua Bengio, prix Turing 2019, a déclaré que leur intelligence n'atteignait même pas celle d'un enfant de ... deux ans !

Nul ne peut prédire aujourd'hui ni la date à laquelle des véhicules totalement autonomes

⁸⁵ Le défi lancé en novembre 2004 par la DARPA, *Defense Advanced Research Projects Agency*, de faire rouler un engin autonome dans le désert de Mojave à l'est de Los Angeles est considéré comme le point de départ du développement des véhicules autonomes.

Voir notamment <https://www.wired.com/story/darpa-grand-challenge-2004-oral-history/>

pourraient apparaître ni la méthode à utiliser : le recours à des ordinateurs de plus en plus puissants permettra-t-il de surmonter les limites actuelles ? Faut-il au contraire chercher à apprendre le « sens commun » aux algorithmes d'intelligence artificielle comme l'envisage la DARPA ? Faut-il attendre une nouvelle évolution majeure de l'intelligence artificielle ? De manière quasi certaine, on devrait assister au développement de plus en plus important de systèmes d'aide à la conduite : aide au maintien dans la voie (« *lane keeper* ») ou à la gestion des accélérations et freinages du véhicule (« *adaptive cruise control* »), prise en charge d'opérations simples (à vitesse réduite) de type valet de parking. Des services de navettes publiques et de robots-taxis sur des itinéraires parfaitement définis ou dans des zones limitées devraient progressivement voir le jour, sous réserve de leur acceptabilité, avec des vitesses de plus en plus élevées. Le développement d'un véhicule autonome à un prix raisonnable pour les particuliers reste par contre beaucoup plus incertain.

À terme pourra donc se poser la question de l'impact potentiel d'une telle technologie sur le modèle économique des flottes de transport de biens et de personnes, et de la régulation à mettre en place pour que le véhicule autonome soit réellement au service des territoires : elle dépendra des progrès technologiques réalisés et des performances des véhicules mis en service.

3.8 La logistique urbaine est confrontée au développement rapide du e-commerce et de la livraison instantanée

3.8.1 Dispersion croissante des comportements et foisonnement des acteurs

La logistique urbaine porte des enjeux importants pour le fonctionnement de l'économie et pour la qualité de vie dans les villes. Aussi, le dernier kilomètre est un sujet de préoccupation majeur. Il représente une part importante des coûts : 20 % à 50 % du coût de livraison⁸⁶. Dans la grande distribution, le coût du dernier kilomètre représente environ 30 % de la valeur de la marchandise (environ 15 euros pour un panier moyen de 80 euros et de 25 kg)⁸⁷.

On estime généralement que les véhicules utilitaires légers utilisés pour les livraisons représentent 25 à 30 % des émissions de GES en ville tandis que celles de la logistique urbaine routière représentent de 15 à 20 % des émissions du transport routier de marchandises⁸⁸. Aux déplacements des professionnels, il convient d'ajouter les déplacements des particuliers pour effectuer des achats (environ 20 %⁸⁹ des déplacements des ménages).

La logistique urbaine implique une grande diversité d'acteurs : chargeurs, prestataires logistiques, transporteurs, collectivités territoriales, clients finaux parmi lesquels figurent les particuliers. Leurs interactions sont multiples et de natures très diverses.

Avec le développement du e-commerce, les particuliers-clients finaux ont pris une place plus importante dans la chaîne de logistique urbaine : si auparavant l'industrie fournissait

⁸⁶ « Étude prospective des enjeux de la livraison du dernier kilomètre sous forme mutualisée et collaborative, ainsi que leurs articulations avec le concept d'internet physique » réalisée par le groupement PMP – Logicités – LAET et ELV Mobilités.

⁸⁷ Ibidem

⁸⁸ Voir rapport thématique « transports terrestres des marchandises et leur logistique »

⁸⁹ Source Cerema

en très grand nombre un ensemble produits restreint, le développement du numérique permet désormais à chacun d'obtenir un produit individualisé dès la fabrication⁹⁰, ce qui implique l'individualisation du produit dans la chaîne du transport. L'augmentation des volumes en jeu, les choix faits en matière de livraison, à domicile, en relais-colis, au magasin en *click and collect* ... ont un impact non négligeable sur l'organisation des flux du dernier kilomètre.

Bien que le marché soit très concentré (75 % du chiffre d'affaires total est réalisé par 1 % des sites⁹¹), le paysage du commerce en ligne en France participe à ce foisonnement des acteurs, des *pure players* aux industriels et commerçants, petits ou grands, sans oublier les grandes sociétés de commerce omnicanal, acteurs tant du commerce traditionnel que du commerce en ligne.

De plus, les études menées s'accordent sur la diversité et la diversification croissante des comportements des consommateurs en matière d'e-commerce, ainsi que sur une nette convergence – avant la crise sanitaire - des pratiques au plan mondial, témoignant d'une unification des modes de vie métropolitains : convergence des chaînes logistiques, des applis, des marques et des produits.

3.8.2 La demande de livraisons toujours plus instantanées

L'évolution récente la plus marquante est sans conteste la réduction des délais de livraison, en particulier dans les métropoles et grandes villes, au point que l'on peut distinguer la catégorie des « livraisons instantanées » (*on-demand deliveries*). La compétition que se livrent les plateformes tend à encourager la demande d'immédiateté de la part des consommateurs.

Ce phénomène encore récent évolue à un rythme très rapide. Le professeur Holguin-Veras du *Rensselaer Polytechnic Institute* de New-York a étudié notamment le cas de la ville de Boston. La livraison instantanée y représente aujourd'hui 20 % des livraisons aux particuliers et, toutes choses continuant à évoluer au rythme actuel, son volume rejoindrait avant quinze ans celui des livraisons traditionnelles aux particuliers.

Les livraisons instantanées exercent une forte pression sur la livraison et ont un impact important en matière d'émissions de CO₂, d'usage de l'espace public et même, comme le soulignent les travaux de Laetitia Dablanc⁹², de condition sociale de la livraison.

L'évolution ne concerne pas que le volume des livraisons effectuées. Elle touche aussi le concept même de livraison instantanée comme le montre la tendance émergente des livraisons de courses en moins de quinze minutes.

La livraison instantanée concerne essentiellement des achats quotidiens qui répondent à une envie ou un besoin immédiat. Dans ce schéma, le coût réel de la livraison est transparent pour le consommateur et les vendeurs doivent l'intégrer dans le prix du produit. Un des inconvénients de son développement est de donner au client final l'illusion que le transport a un coût nul pour lui ou pour l'environnement.

⁹⁰ Voir en particulier : *L'Age de la multitude*, Nicolas Colin, Henri Verdier, 2012

⁹¹ « Pour un développement durable du commerce en ligne » – rapport CGEDD, France Stratégie et IGF.

⁹² « Étude sur les livreurs des plateformes de livraison instantanée du quart nord-est de Paris » sur la base d'une enquête réalisée par 6t-bureau de recherche pour le compte de l'Université Gustave Eiffel, la Chaire Logistics City et l'ANR MOBS sous la direction de Laetitia Dablanc

3.8.3 Le besoin de stratégies collaboratives pour une meilleure efficacité environnementale et économique

La littérature semble s'accorder sur la valeur des stratégies collaboratives - le fait pour un acteur de travailler avec d'autres acteurs en amont, en aval ou autour de lui-même - comme moyen de progresser vers une meilleure efficacité et une meilleure régulation de la logistique urbaine.

Le foisonnement des acteurs tant publics que privés ne facilite ni la définition ni la mise en œuvre des politiques dans ce domaine. Les chartes de logistique urbaine sont une réponse à cette difficulté et permettent aux collectivités de s'engager conjointement avec les opérateurs économiques présents sur leur territoire. Le programme InTerLUD 93 (Innovations Territoriales et Logistique Urbaine Durable) est destiné à déployer ce dispositif sur le territoire national, accompagner les collectivités et les opérateurs économiques, et faciliter leur dialogue et leurs engagements dans le cadre de ces chartes.

Toutefois, il demeure un risque majeur pour les années à venir : celui d'une sous-optimisation génératrice d'inefficacités, de surcoûts ou d'atteintes à l'environnement. Ce risque concerne toutes les filières et tous les acteurs. Il peut prendre, soit la forme d'un *squeeze*, c'est-à-dire une appréciation erronée des besoins en matière d'approvisionnement des zones urbaines (par méconnaissance ou par défaut de coordination...) conduisant à un sous-dimensionnement des infrastructures (accès au centre-ville, places de livraison...), soit celle du foisonnement et de la dispersion des comportements des consommateurs (par exemple : e-consommateurs cumulant livraisons à domicile, multiples retours de marchandises et déplacements en magasin).

3.9 Les modes de transport de fret alternatifs à la route pourraient connaître un renouveau

L'une des pistes fréquemment préconisée, tant au niveau national qu'europpéen, des politiques de transport est celle du report modal, notamment de la route vers le chemin de fer, voire de la route vers le transport maritime avec les « autoroutes de la mer ».

L'étude réalisée en 2020 pour le compte de l'agence européenne de l'environnement par Fraunhofer ISI et CE Delft⁹⁴ montre les gains réalisés en termes d'émission par le report modal : environ 113 gCO₂eq/tkm en passant du transport routier au transport ferroviaire et de 104 gCO₂eq/tkm en passant au transport fluvial.

⁹³ <https://www.ademe.fr/expertises/mobilite-transports/passer-a-laction/dossier/programme-interlud/descriptif-programme>

⁹⁴ "Methodology for GHG Efficiency of Transport Modes" conducted by Fraunhofer ISI and CE Delft at the request of the European Environment Agency (EEA) <https://cedelft.eu/publications/methodology-for-ghg-efficiency-of-transport-modes/>

	gCO ₂ eq / tkm
Fret aérien	1 036
PL routier	137
Fluvial	33
Ferroviaire	24
Maritime	7

Tableau 6 : Emissions moyennes de GES pour le transport de marchandises selon le mode, EU 27, 2020
(Source : Fraunhofer ISI et CE Delft)

3.9.1 Le fret ferroviaire entre déclin et renaissance

Le volume de transport en fret ferroviaire a été divisé par plus de deux depuis son apogée au cours des années 1970 et s'est stabilisé autour d'une trentaine de milliards de tonnes-km, soit une part modale de l'ordre de 10 %. Depuis des décennies, plusieurs politiques publiques ont été mises en œuvre pour enrayer ce déclin. On a tenté la relance de l'investissement en faveur du fret et des infrastructures qu'il utilise, puis l'ouverture à la concurrence pour insuffler un nouveau dynamisme concurrentiel. On a également essayé de mieux internaliser les coûts externes du transport routier de marchandises au moyen d'une éco-redevance, mais cette politique n'a pas été acceptée, notamment du fait de la perte de compétitivité des territoires éloignés du cœur de l'Europe. Peut-être la situation aurait-elle été pire en l'absence de ces politiques, mais leur succès n'est pas patent.

La comparaison avec la situation des pays européens limitrophes, où le fret ferroviaire avoisine 17 % de part modale, soit presque deux fois plus, n'est pas à l'avantage de notre pays. Si une partie de l'écart trouve probablement son origine dans le plus fort taux de services au sein de l'économie française, d'une industrie moins tournée vers les produits de base, d'une moins grande densité d'activité, d'une localisation à la pointe occidentale de l'Europe, et d'un réseau ferré souvent moins maillé, la comparaison montre qu'il y a sûrement des marges de progrès possibles.

Si la nécessité de monter en qualité, en s'appuyant notamment sur le renforcement des technologies numériques, fait consensus, les pistes de relance par des investissements proportionnés aux enjeux restent encore à affiner, en tenant compte de l'impératif de la transition écologique et de l'opportunité qu'elle représente pour le fret ferroviaire (dès lors qu'il n'utilise plus de locomotives diesel).

C'est tout l'objet de la stratégie nationale pour le développement du fret ferroviaire publiée en septembre 2021. Dans son avis sur cette stratégie, le Conseil d'orientation des infrastructures demandait récemment avec insistance sa traduction en plans d'action concrets partant des besoins exprimés par les acteurs économiques et les territoires⁹⁵. C'est cette stratégie par étape qui est esquissée dans la figure ci-dessous, mais qu'il reste à préciser.

⁹⁵ Avis téléchargeable sur le site du COI : <https://www.ecologie.gouv.fr/conseil-dorientation-des-infrastructures-coi>

Priorités	Nouveaux atouts	Actions sur la demande, les services et le matériel	Actions sur les infrastructures	Modèle de financement	Résultats attendus
2021-2027 Phase 1 : sauver et redresser	Mobilisation collective et européenne Révision RTE-T Plateformes services et infrastructures	Communication – marketing – connaissance Sillons : qualité de service indicateur action/perf à définir Matériel Semelles composites ...% Automatisation ...% Décarbonation FF ...%	Infrastructures ERTMS ...km AF au gabarit ...km CTC équipés ... ITF modernisés ... Capillaires rénovés ... km Triages...	Aides au fonctionnement Aides à l'innovation Plans de relance Investissements Etat Collectivités Acteurs privés	Maintien tissu économique Stabilisation générale trafic Amorce localisée de la croissance
2028-2032 Phase 2 : Développer	Gains d'exploitation Eco-contribution	Communication – marketing – connaissance Sillons : qualité de service indicateur action/perf à définir Matériel Semelles composites 100 % Automatisation ...% Décarbonation FF ...%	Infrastructures ERTMS ...km AF au gabarit ...km CTC équipés ... ITF modernisés ... Capillaires rénovés ... km Triages...	Nouveau modèle économique (opérateurs et GI) Aides à l'innovation Investissements Etat Collectivités Acteurs privés	Combiné et autoroutes ferroviaires > x2 Trains complets ↗ Wagons isolés ↗ OFF ↗
2033-2043 Phase 3 : Amplifier	Désaturation des nœuds Grands itinéraires européens	Communication – marketing – connaissance Sillons : qualité de service indicateur action/perf à définir Matériel Automatisation ...% Décarbonation FF ...%	Infrastructures ERTMS ...km AF au gabarit ...km CTC équipés ... ITF modernisés ... Capillaires rénovés ... km Triages	Equilibre économique (opérateurs et GI) Aides à l'innovation Investissements Etat Collectivités Acteurs privés	Part modale x2 ou plus

Figure 30 : Proposition de cadre de synthèse de la formalisation des étapes, de leurs moyens et de leurs résultats attendus (source : COI⁹⁶)

3.9.2 Les ports français confrontés à la baisse du trafic des produits pétroliers peuvent tirer parti des transitions énergétique et écologique en s'appuyant sur le fluvial et le ferroviaire

Les ports maritimes français, dont l'équilibre financier dépend encore largement des trafics d'hydrocarbures, sont confrontés à la fois à une réduction de volume de ces trafics, sans doute plus rapide que celle qui avait été escomptée, et aux enjeux de décarbonation qui touchent d'abord leurs zones industrielles (rappelons à titre indicatif que plus du tiers des émissions de gaz carbonique de l'industrie en France se concentrent sur les zones industrielles de Dunkerque, d'Haropa et de Marseille-Fos), ainsi que le transport maritime au port et dans les approches portuaires, dont les émissions sont estimées à 6 %⁹⁷ des émissions globales de ces transports maritimes internationaux.

Les riverains vivent aussi de plus en plus mal les émissions de polluants atmosphériques des navires à quai, ce qui requiert la possibilité de fournir rapidement aux navires de l'électricité à quai, puis de faciliter l'accès aux énergies décarbonées au fur et à mesure que les technologies alternatives auront montré leur pertinence économique et technique. Dans le même registre, les ports fluviaux français ne pourront maintenir l'avantage compétitif dans les villes où des ZFE-m seront introduites, que s'ils favorisent aussi la décarbonation des unités fluviales qui les desservent.

Face à cette situation qui leur impose dans le même temps de conserver les grandes implantations industrielles liées aux hydrocarbures, les ports maritimes peuvent, pour

⁹⁶ Figure extraite de l'avis du conseil d'orientation des infrastructures sur la stratégie de développement du fret ferroviaire, figure 15 page 60

<https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/COI%20avis%20SDFF%20VDEF%202021-05-31.pdf>

⁹⁷ Cf. rapport transport maritime et ports

favoriser ces transitions énergétique et écologique, pendant la période de transition rapide des dix prochaines années, attirer sur les espaces qu'ils gèrent des entreprises œuvrant dans le domaine de la décarbonation ou de la production d'énergie décarbonée. Les ports maritimes peuvent ainsi accélérer la transition environnementale, en accroissant leur aptitude à la gestion équilibrée d'espaces naturels et en allant jusqu'à « reconstruire le port sur le port » pour éviter d'accroître l'artificialisation nette d'espaces littoraux ou proches du littoral.

Les ports peuvent aussi s'appuyer sur les transports massifiés pour réduire les émissions des pré- et post-acheminements terrestres. En effet, la stratégie nationale portuaire fixe pour ambition aux ports de faire croître de 60 % à 80 % la part de marché qu'ils détiennent sur le marché intérieur français des conteneurs (qui reste un segment de marché à croissance soutenue) et de faire progresser la part modale actuelle des modes massifiés que sont le fer et le fleuve qui se situe autour de 23 % des trafics totaux hors oléoducs pour atteindre 30 % de part modale.

De même, la stratégie nationale de relance du fret ferroviaire comprend une série de mesures destinées à faciliter la progression de la desserte ferroviaire des ports telles que : la réalisation des services d'autoroutes ferroviaires Calais-Sète et Cherbourg-Mouguerre ; la généralisation à l'ensemble des axes logistiques et portuaires des démarches de mise en réseau de la recherche, en partenariat avec les grands ports maritimes et la communauté de la recherche portuaire ; l'accélération des travaux de développement des infrastructures de report modal vers les transports massifiés ferroviaires et fluvial grâce au volet portuaire du plan de relance ; l'inscription d'un objectif de report modal vers le fret ferroviaire pour les trois grandes portes d'accès maritimes (HAROPA, Marseille et Dunkerque) ; accompagner la montée en puissance des plateformes services et infrastructure et les doter d'une boîte à outils pour le développement du fret ferroviaire.

3.9.3 Un rebond attendu du fluvial grâce à la transition énergétique et à ses implantations à l'intérieur des ZFE-m

Tout comme le chemin de fer, qui a connu son trafic de fret maximal au début des années 1970, le transport fluvial, qui atteint 14 Gt.km en 1970, a subi de plein fouet les deux chocs pétroliers de 1973 et 1978, le développement du programme nucléaire et le déplacement de la sidérurgie de l'Est de la France vers les ports maritimes : d'où un trafic de l'ordre de sept milliards de tonnes-kilomètres, si bien que sa part modale se situe en deçà de 2 % aujourd'hui. La création de VNF dans les années 1990, la suppression du tour de rôle et l'aide à la reconversion de la flotte enclenchent une dynamique positive et un rebond qui est largement amplifié aujourd'hui par la conclusion du Contrat d'objectifs et de performance de VNF qui, conjugué au plan de relance de 2020, permet de régénérer le réseau fluvial et d'en améliorer la qualité de service ; de plus, la liaison Seine-Nord-Europe, maillon central de la liaison européenne Seine-Escaut reliera en 2028 les bassins de la Seine et du Nord de la France au réseau fluvial européen à grand gabarit.

La transition énergétique et la possibilité pour le transport fluvial décarboné de pénétrer au cœur de plusieurs grandes agglomérations comme Paris, Lyon, Lille ou Strasbourg vont amplifier cette dynamique, d'autant que les cinq États-membres de la CCNR ont adopté en 2018 à Mannheim une déclaration commune qui demande à cette commission de mettre au point une feuille de route de décarbonation du transport fluvial avec deux horizons de temps : 35 % de réduction des GES et des émissions polluantes en 2035 et réduction quasi-totale de celles-ci en 2050. Cette dynamique devrait permettre au trafic fluvial de retrouver d'ici 2050 le niveau de trafic des années 1970 tout en limitant les

émissions autour de 100 kt⁹⁸.

3.10 Le transport maritime, entre mondialisation et relocalisation, et le transport aérien, perturbé par la COVID-19, doivent s'adapter à la transition énergétique

Les modes maritimes et aériens présentent la particularité d'être des modes principalement internationaux, avec un poids important du transport intercontinental. Leur gestion est dès lors effectuée dans le cadre d'une gouvernance mondiale (OMI, OACI⁹⁹) définie par des traités et où l'assentiment d'une majorité d'États constitue une condition nécessaire d'évolution, ce qui ne favorise pas l'adoption de nouvelles mesures et l'intégration des objectifs environnementaux : l'OACI n'a toujours pas adopté d'objectifs de réduction des émissions de gaz à effet de serre à 2050, et si l'OMI a adopté des mesures, « celles-ci ne suffiront pas à atteindre les objectifs de décarbonation du secteur »¹⁰⁰. La concurrence entre les acteurs y est particulièrement vive car elle est à l'échelle mondiale par nature.

La baisse des coûts du transport maritime de marchandises a contribué au renforcement de la mondialisation. Si celle-ci a permis des gains de pouvoir d'achat par la baisse des coûts de production industrielle, engendrée par le renforcement de la division internationale du travail, cette mondialisation est aujourd'hui devenue moins consensuelle.

La crise sanitaire a révélé la fragilité des chaînes logistiques mondiales, qui semblent toutefois n'avoir globalement pas si mal tenu que cela, eu égard à l'ampleur de la crise. La mondialisation a cependant également constitué un point de vigilance en matière d'emploi industriel dans les pays développés. Avec le développement de la robotisation, il n'est d'ailleurs pas si évident que la production industrielle dans les pays émergents soit toujours aussi avantageuse, laissant poindre une perspective d'une relocalisation de certaines productions, par exemple de celles où la réactivité aux évolutions de la demande finale est prioritaire, mais aussi sans doute dans les segments de marché réputés stratégiques.

Du point de vue des émissions de gaz à effet de serre du transport maritime, les hausses de trafic ont été globalement compensées par les gains unitaires (sachant que, comme le montre le rapport du groupe de travail sur le maritime, l'analyse fine est rendue plus complexe du fait d'un soutage croissant effectué hors de France). Celles de l'aérien domestique et international ont augmenté de 70 % de 1990 (13 MtCO₂e) à 2017 (22,4 MtCO₂e) alors que les émissions unitaires ont diminué de 25 %.

La transition dans le transport aérien et le transport maritime est plus difficile que dans le reste du secteur des transports. En effet, il n'existe pas aujourd'hui de solution technologique qui permette d'assurer leur neutralité carbone sur longue distance : les solutions seront à adapter selon les différents segments. Cependant, la décarbonation de ces deux secteurs repose principalement sur trois piliers : l'amélioration à la conception, la réduction des émissions en exploitation et la mise au point de carburants et de motorisations neutres en carbone.

⁹⁸ Cf. rapport thématique sur les transports terrestres de marchandises et son annexe sur le transport fluvial

⁹⁹ OMI : organisation maritime internationale - OACI : organisation de l'aviation civile internationale - Les deux relèvent de l'ONU.

¹⁰⁰ <https://www.ecologie.gouv.fr/decarbonisation-du-transport-maritime-international-lomi-adopte-des-mesures-concretes-il-reste>

Le secteur du transport maritime est engagé dans un processus de réduction de ses émissions de GES et des autres polluants atmosphériques, tant au niveau international avec l'OMI qu'eupéen et national. Mais les mesures prises par l'OMI apparaissent insuffisantes pour atteindre les objectifs de réduction de 50 % des émissions internationales du secteur en 2050 par rapport à 2008.

Le secteur du transport aérien cherche à réduire ses émissions de GES depuis longtemps, car le coût du carburant pèse fortement dans le prix du billet d'avion. La construction aéronautique n'a eu de cesse de rechercher l'économie en carburant comme argument de vente de son aviation commerciale. Cette politique se couplait parfaitement avec les exigences de réduction d'émissions. Cependant, la croissance économique du secteur conduit à faire le constat que le renouvellement des flottes, en raison du cycle de vie des avions, et les gains dus à la technologie ne permettent pas de diviser par deux, entre 2005 et 2050, l'empreinte carbone de l'aviation, sans adopter des mesures fortes, en rupture avec le passé. Le développement d'une aviation ultra sobre, l'optimisation des trajectoires de vol, le déploiement des biocarburants durables sont nécessaires et constituent les seules solutions à moyen-terme pour l'aviation long courrier. Cependant, les ressources de biocarburants durables risquent d'être probablement insuffisantes pour répondre à la demande nationale comme mondiale. Le carburant de substitution vers lequel l'aviation européenne pourrait converger est l'hydrogène. Mais ce carburant nécessite des ruptures technologiques qui ne sont pas encore suffisamment maîtrisées. Il doit donc donner lieu à l'engagement de programmes de R&D significatifs.

Le mode aérien a connu d'importants progrès de productivité, notamment avec les compagnies *low-cost*, qui ont renforcé sa démocratisation et ont conduit à une forte hausse de trafic international (de plus de 3 % par an), même si son usage reste majoritairement le fait des déciles les plus aisés. Les trafics nationaux ont connu une hausse nettement plus modérée, avec le développement du réseau des trains à grande vitesse. Les services réguliers de transport aérien public de passagers concernant les liaisons aériennes à l'intérieur du territoire français, dont le trajet est également assuré sur le réseau ferré national sans correspondance et par plusieurs liaisons quotidiennes d'une durée inférieure à deux heures trente, sont interdits à partir du dernier dimanche de mars 2022¹⁰¹ : des transports aériens décarbonés pourront être assurés sur ces liaisons, ce qui devrait favoriser l'émergence des transports aériens utilisant majoritairement des biocarburants et/ou des e-fuels ou recourant dans le futur à l'électricité ou à l'hydrogène. Toutefois l'enjeu est à relativiser du fait de la nette prédominance des moyens et longs courriers dans les émissions.

L'évolution de ce secteur pose la question de l'articulation des politiques nationales, européennes (par exemple les systèmes de quotas de type ETS¹⁰²) et mondiales (par exemple les mesures prévues par l'accord CORSIA¹⁰³), dans un contexte où la décarbonation du mode est particulièrement difficile, afin de donner un signal prix carbone clair à l'utilisateur.

Certains acteurs posent la question de l'acceptabilité à long terme de la croissance de ce mode, pour lequel les émissions d'un passager pendant un seul vol intercontinental peuvent s'approcher de celles d'une voiture pendant toute une année : le scénario de

¹⁰¹ Cette interdiction n'a cependant pas vocation à s'appliquer à des services aériens assurent majoritairement le transport de passagers en correspondance. Cf. article 142 de la loi n° 2021-1104 du 22 août 2021 portant lutte contre le dérèglement climatique et renforcement de la résilience face à ses effets <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000043956924>

¹⁰² Que la Commission européenne propose d'étendre aussi au transport maritime avec Fitfor55

¹⁰³ *Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation*

neutralité de l'AIE envisage une stagnation des passagers-km à long terme, mais le nombre de passagers pourrait continuer à croître du fait d'une baisse de la longueur moyenne des parcours.

3.11 Les déplacements intérieurs de voyageurs sont en transition vers les modes actifs et alternatifs, les transports collectifs, le covoiturage et le véhicule électrique

3.11.1 Un report modal qui ne progresse au mieux que marginalement

Le mode routier continue de régner en maître sur les déplacements terrestres de voyageurs, avec une part des modes collectifs et ferroviaires stagnant autour de 10 % en moyenne nationale, tant en local qu'en interurbain, malgré d'importants investissements. Seules les zones les plus denses (radiales de l'Île-de-France, centre-ville des grandes agglomérations) et les très grands axes TGV connaissent des parts modales majoritaires des modes alternatifs à la voiture.

Si les nouvelles offres d'autocar ou de covoiturage interurbains ont pu apporter des réponses à des besoins de publics spécifiques, notamment modestes, elles n'ont pas bouleversé le paysage modal.

Des nouvelles offres de mobilité locale ont émergé également (vélos, VAE, trottinettes...) mais sans influence significative, à ce stade, sur les modes de déplacements prédominants. Elles ont en revanche parfois contribué à renouveler la question de l'usage de la voirie, par exemple entre usagers circulant à des vitesses différentes dans les mêmes parties de la voirie.

En ville, si la poursuite de l'étalement urbain a pu contribuer à améliorer parfois les conditions de logement, elle n'a pas favorisé le recours aux modes massifiés. Il en va probablement de même des évolutions du monde du travail vers davantage de fragmentation et de flexibilité.

3.11.2 L'essor attendu des mobilités actives et des micro-mobilités

Les données issues de l'Enquête Mobilité des Personnes 2018-2019 (Source : SDES, Insee) montrent que 44 % à 60 % des déplacements effectués en semaine¹⁰⁴ sont inférieurs à 5 km, selon la typologie de la commune de résidence. Seulement 19 % à 36 % de ces déplacements sont aujourd'hui effectués en modes actifs. Ceci montre la marge de report modal possible vers les modes actifs pour satisfaire ces besoins de déplacement, aussi bien en ville qu'à la campagne.

¹⁰⁴ https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/sites/default/files/2021-12/2_1_1_emp2019_mobilite_locale_semaine_caracteristiques_sociodemographiques_individus.xlsx

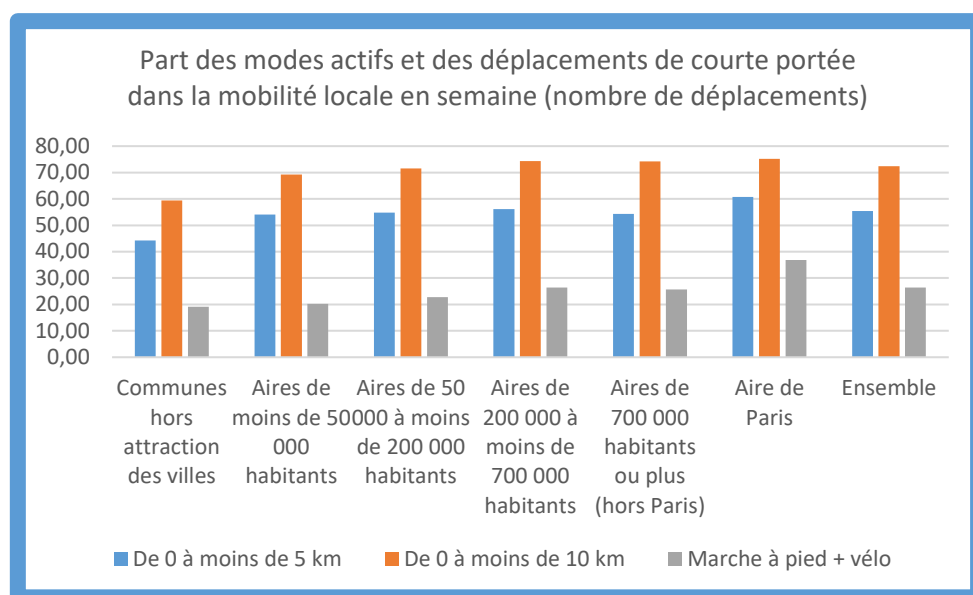


Figure 31 : Part des modes actifs et des déplacements de courte portée dans la mobilité locale en semaine (nombre de déplacements) - Source : Enquête mobilité des personnes, SDES, Insee

La progression de la part modale des modes actifs, qui se situe actuellement à environ 3 % (en voyageurs.km) en France, vers un niveau équivalent à celui de nos voisins européens (12 % en Allemagne par exemple) semble dès lors possible. Elle nécessite cependant le déploiement d'itinéraires sécurisés, le développement des services de micro-mobilités¹⁰⁵ ainsi que des mesures d'accompagnement, comme par exemple le programme « Savoir Rouler à Vélo »¹⁰⁶ à destination des enfants de six à onze ans (qui vise à généraliser l'apprentissage du vélo et la formation nécessaire à une réelle autonomie sur la voie publique avant l'entrée au collège) ou encore celui qui porte sur la prise en main et la maîtrise de son vélo à assistance électrique (VAE)¹⁰⁷.

3.11.3 Le potentiel de réduction des émissions de GES du partage de la voiture est important

Malgré le développement des offres de covoiturage, le taux de remplissage de la voiture a plutôt baissé et reste en dessous de 1,4 voyageurs en urbain (encore moins en pointe) et de l'ordre de 1,7 en interurbain. La progression de la multi-motorisation et la fragmentation des ménages en sont les causes les plus probables.

Pour autant, au-delà du renforcement des modes collectifs et ferroviaires, la hausse de l'import moyen des voitures semble pouvoir constituer un levier important face à la contrainte environnementale. Des expériences sont menées pour essayer de faire émerger un nombre suffisant d'utilisateurs pour le développement du covoiturage urbain. Mais

¹⁰⁵ Les micro-mobilités intéressent les déplacements de courtes ou moyennes distances (moins de 10 km) en début ou en fin de parcours (premiers ou derniers kilomètres), le plus souvent dans des zones urbaines. Ils sont souvent réalisés avec des engins de déplacement personnel légers, compacts, portatifs, électriques ou non, qui peuvent être complémentaires ou utilement remplacer d'autres moyens de transport. Ces véhicules fonctionnent généralement à des vitesses inférieures à 25 km/h et peuvent être possédés, ce qui est le cas le plus répandu, ou partagés. (Source : rapport CGEDD (à paraître) : Nouveaux services de mobilité partagé – Situation et perspectives)

¹⁰⁶ <https://www.education.gouv.fr/lancement-du-programme-savoir-rouler-velo-5258>

¹⁰⁷ Cf. la formation proposée par la Fédération française des Usagers de la Bicyclette (FUB) aux souscripteurs du service VELIGO Location en Île-de-France <https://www.veligo-location.fr/securite-conseils-veligo/>

cette voie reste encore assez incertaine du fait des contraintes que cela pourrait faire porter sur l'usage du véhicule.

Là encore, les nouvelles technologies de la communication devraient faciliter la coopération entre les individus et permettre un taux de remplissage des véhicules plus important.

3.11.4 La voiture électrique constitue une rupture d'usage importante mais surmontable

La voiture thermique est une voiture multi-usage, qui peut être utilisée à la fois pour des déplacements locaux et à plus longue distance sans difficulté majeure. La voiture électrique l'est moins naturellement, du fait des contraintes de recharge, notamment en interurbain. Une recharge rapide en une demi-heure dépasse largement le temps d'un plein, mais elle peut cependant correspondre à la pause déjeuner. De plus, le développement à moyen terme des batteries à électrolyte dit solide pourrait raccourcir cette durée de recharge.

La solution intermédiaire de l'hybride rechargeable, qui aurait pu introduire une certaine continuité d'usage, semble assez décevante du point de vue de son efficacité en matière de décarbonation. Le recours aux biocarburants et biogaz paraît utile mais présente des limites en matière de potentiel global. Quant à l'hydrogène, les enjeux de baisse de coût restent majeurs.

Le marché des véhicules électriques prend enfin son essor : il s'est vendu trois fois plus de véhicules électriques neufs en 2020 qu'en 2019 et l'année 2021 a vu une nouvelle accélération notable du déploiement des véhicules électriques et hybrides rechargeables qui représentaient 16 % des ventes sur les huit premiers mois de l'année. Ce décollage pourrait être accéléré si les conditions de l'attractivité étaient renforcées, par exemple en octroyant des facilités de circulation ou de stationnement en ville et si des bornes de recharge étaient déployées en nombre suffisant.

À plus long terme, des synergies intelligentes entre conduite autonome, massification, complémentarité modale et décarbonation devraient être recherchées. Des architectures de données passager-véhicule-infrastructure-nuage, qui pourraient se révéler cruciales, commencent à émerger dans le monde.

3.12 Des incertitudes majeures demeurent dans de nombreux domaines

Le problème du futur est qu'il est moins certain que le passé. Au-delà de cette boutade, l'environnement dans lequel évolueront les mobilités présente de très nombreuses incertitudes dont plusieurs sont radicales. Si les chapitres précédents ont mis en lumière celles qui s'attachent aux technologies, au développement du véhicule autonome, et à leur acceptation par la société, il en existe bien d'autres...

3.12.1 Les diverses mesures envisagées rencontreront des difficultés en matière d'acceptabilité sociale et territoriale

On peut énoncer de nombreuses pistes de mesures de politiques publiques, mais leur acceptabilité reste par nature incertaine, tant qu'elles n'ont pas été étendues à grande échelle. On peut bien sûr observer des expériences ayant eu lieu dans le monde, procéder

à des tests sur échantillons, mais le risque demeure majeur.

Le modèle économique du secteur des transports sera impacté par une évolution significative des énergies de motorisation. D'un côté, des investissements nouveaux seront nécessaires pour accompagner la transition écologique. De l'autre, les recettes publiques, notamment les taxes assises sur les carburants, devraient voir leurs produits réduits par cette transition. Ceci pose la question des moyens de retrouver un équilibre entre recettes et dépenses. Leur acceptabilité sociale et territoriale restera un défi du fait d'évolutions potentiellement contrastées entre les contributeurs.

3.12.2 Le degré de gravité des conséquences du dérèglement climatique est peut-être sous-estimé

Si le dérèglement climatique ne fait pas de doute, l'ampleur de ses conséquences et les valeurs des dommages qu'il pourrait causer restent très incertaines. Certaines conséquences sont relativement cernées (remontée des niveaux marins avec des fourchettes d'incertitude temporelles globales et locales). D'autres font consensus mais l'ampleur de leurs conséquences reste incertaine, comme par exemple les événements météorologiques exceptionnels. D'autres enfin présentent des incertitudes radicales, telle l'ampleur des atteintes à la biodiversité provoquées par le dérèglement climatique. Il est possible qu'il y ait encore d'autres conséquences insoupçonnées à ce jour. Les réactions des individus et des collectifs, face aux manifestations du changement climatique, sont tout aussi difficiles à prévoir, même si l'augmentation du nombre des réfugiés climatiques est une certitude.

3.13 La crise sanitaire COVID-19 a accéléré certaines tendances : le télétravail, la fuite des centres-villes, le e-commerce

Si, comme nous l'avons vu dans le chapitre précédent, les conséquences macroéconomiques de la COVID-19 pourraient être moins importantes que ce qui avait été envisagé fin 2020 pour les pays avancés du G20, l'incertitude sur l'évolution de la situation sanitaire, le taux de vaccination inégal suivant les pays, les tendances inflationnistes, les dettes élevées d'un certain nombre de pays peuvent compromettre la reprise. Cette situation masque de plus les difficultés rencontrées par certains secteurs et par certaines entreprises - dont la situation financière reste fragile¹⁰⁸ - ainsi que les traces que la COVID-19 pourrait laisser dans notre société et dans nos comportements.

3.13.1 Elle pourrait modifier nos comportements sur le moyen terme

Pendant ses phases les plus aigües, la crise sanitaire a bouleversé les comportements de mobilité d'une partie de la population. Les apprentissages collectifs de nouveaux outils de télétravail ou de téléconférences devraient modifier à moyen terme les déplacements de certaines catégories de population, notamment des cadres. À l'échelle de la population française, l'effet reste à relativiser : seul un tiers environ des emplois¹⁰⁹, le plus souvent occupés par des diplômés du supérieur, se prêtent au télétravail, et tous n'adopteront pas

¹⁰⁸ Voir notamment Euler Hermes : <https://www.maddyness.com/2021/10/06/euler-hermes-defaillance-entreprise-2022/>

¹⁰⁹ Et avec de fortes disparités géographiques, comme le montre une note de l'OFCE, qui indique 50 % pour l'Île-de-France mais moins de 30 % pour la Basse-Normandie :

<https://www.oecd.org/coronavirus/policy-responses/les-capacites-en-termes-de-teletravail-peuvent-entraîner-des-couts-de-confinement-différents-selon-les-territoires-08920ecf/>

cette modalité, ou ne l'adopteront que de manière assez marginale. Conséquence notable - en particulier sur le quartier de La Défense, où de nombreuses entreprises ont continué à pratiquer le télétravail deux jours par semaine après les périodes de confinement - l'immobilier de bureaux fait face à une chute de la demande et cherche à se réinventer en offrant de nouvelles organisations de l'espace intérieur, permettant de faire revenir les salariés en présentiel pour une partie de leur temps.

Parallèlement au développement du télétravail, un certain nombre de personnes ont choisi de quitter les grands centres urbains et de s'installer dans des villes moyennes ou même en dehors des villes.

L'usage du vélo a progressé dans les zones urbaines du fait des pistes provisoires créées dans ce cadre et devrait sortir renforcé de cet épisode. En revanche, les craintes liées à la situation sanitaire ont pu amener certains ménages à se détourner des transports collectifs, temporairement et parfois plus durablement, par exemple si un véhicule additionnel a été acquis.

Le recours au e-commerce et à la livraison instantanée a également été amplifié durant la crise et devrait se poursuivre à court terme, en se confondant d'ailleurs avec l'augmentation attendue avant la crise.

3.13.2 Au sortir de la crise de la COVID-19, des tendances apparues pendant la crise aggravent la difficulté des acteurs à anticiper l'avenir

Les modifications des structures économiques et sociales entraînées ou accélérées par la crise sanitaire laissent entrevoir un monde plus incertain, à la fois pour les mobilités, mais aussi leurs déterminants (évolution des villes, de l'économie...), d'autant plus que l'horizon de sortie de la crise sanitaire s'avère encore incertain. L'équilibre des finances publiques s'est également dégradé pour faire face aux conséquences de la crise.

Ces incertitudes ne sont pas toujours propices aux investissements privés et publics, qu'on pourrait avoir tendance à repousser le temps d'espérer y voir plus clair.

3.13.3 Dans ces circonstances, on peut craindre des procrastinations qui ne sont pas cohérentes avec l'urgence climatique

Si la crise sanitaire peut amener à réorienter certains investissements en fonction des évolutions des comportements, l'urgence climatique reste présente et même semble se renforcer au vu des nouveaux éléments issus du GIEC. Les investissements dans le report modal, le déploiement des bornes de recharge et le verdissement des flottes de tous les modes ne peuvent donc pas attendre, ou doivent être retardés le moins possible compte tenu de la situation financière de certains opérateurs.



4 Les conséquences concernant les politiques publiques

4.1 Partager collectivement les enjeux du climat, l'urgence d'agir et donner de la visibilité à chacun sur l'avenir

Bonnets rouges, gilets jaunes, anti-vaccins, manifestations contre les OGM, les gaz de schistes... La contestation des innovations, des taxations ou des risques réels ou perçus qui leur sont associés, forme un véritable kaléidoscope de postures très diverses.

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. Nombre des parties prenantes considèrent encore aujourd'hui que les progrès technologiques suffiront à eux seuls à résoudre les difficultés du secteur des transports qui pourrait ainsi s'exonérer de la plus difficile question de la sobriété. Le caractère lointain et incertain des projections de long terme peut conduire à considérer ce débat comme prématuré.

À défaut d'un illusoire consensus sur les actions retenues, il reste donc d'actualité d'enrichir le débat public par 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 (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 :

- **Mettre les connaissances scientifiques à disposition des décideurs et du public :** 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 explications¹¹⁰. C'est ce que font également parfois les économistes, avec plus de difficultés, compte tenu des positions contrastées inhérentes à cette discipline : le rapport¹¹¹ rédigé par une commission rassemblant 26 économistes, français ou étrangers renommés, sous la présidence d'Olivier Blanchard et Jean Tirole a ainsi cherché à éclairer le débat relatif aux trois défis majeurs que constituent le climat, les inégalités et la démographie sur des bases objectives et scientifiques.
- **Créer des lieux de débats, nationaux ou locaux, appropriés :** au-delà de la démocratie représentative, des débats *ad hoc*, s'appuyant sur la connaissance scientifique, permettent d'éclairer la décision. Le Grenelle de l'environnement a ainsi conduit à une première loi adoptée quasiment à l'unanimité. Plus récemment, sans aller jusqu'à la mise en place formelle d'une assemblée, la vaste concertation préalable à la loi d'orientation des mobilités a été jugée par de très nombreux acteurs comme l'un des facteurs clés de son adoption unanime. Très récemment, la convention citoyenne sur le climat, issue du Grand Débat national, a permis

¹¹⁰ Voir par exemple https://archive.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5_SYR_FINAL_SPM_fr.pdf

¹¹¹ *Les Grands défis économiques*, rapport de la Commission internationale présidée par Olivier Blanchard et Jean Tirole, https://www.strategie.gouv.fr/sites/strategie.gouv.fr/files/atoms/files/fs-2021-rapport_les_grands_defis_economiques-juin_0.pdf

d'adopter également un certain nombre de mesures, mais, en refusant de tenir un discours sur la taxe carbone et les outils économiques à mettre en œuvre pour réduire les émissions - ce que demandaient pourtant les économistes -, celle-ci n'a pas réussi à s'emparer de la dimension économique de la problématique. 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 : les conférences de citoyens, la convention citoyenne sur le climat, la mise en place d'assemblées regroupant notamment les élus et les collectivités territoriales, les experts publics, les ONG, les syndicats de salariés, les organisations patronales, bénéficiant des apports de la science et d'un dialogue avec l'exécutif, sont des méthodes possibles. Il y en a certainement d'autres, y compris en local.

- **Évaluer plus systématiquement les politiques de l'État et des collectivités territoriales** en recourant notamment à des autorités indépendantes chargées d'évaluer la politique du gouvernement : c'est le rôle du Haut-Conseil pour le climat¹¹² et du *Climate change Committee*¹¹³ au Royaume-Uni (qui a inspiré la création du HCC).

À plus court terme, cinq ans après les assises de la Mobilité qui avaient permis de préparer la nouvelle loi d'orientation des mobilités, deux thèmes mériteraient d'être débattus, au plus près des territoires, à la lumière des objectifs de réduction et de la proposition de la Commission de les renforcer à 2030 (en passant d'un objectif européen de réduction à 2030 de - 40 % à - 55 % par rapport à 1990) :

- **Celui de la sobriété des déplacements** : le présent rapport a montré la nécessité d'agir sur ce levier et en a proposé une définition consistant à réduire le nombre et la longueur des déplacements utilisant des carburants d'origine fossile et à en réduire l'impact en encourageant le report modal et le développement des modes actifs. Ce cadre est-il partagé ? Quels objectifs se donne-t-on ? Peut-on envisager à terme, comme le fait le scénario pari sociétal, des réductions de 20 % de nos déplacements et des transports de marchandises dans un monde où la technologie ne serait pas au rendez-vous ? Comment embrasser l'ensemble des leviers d'action pour initier une tendance favorable ?
- **Celui des signaux économiques permettant d'atteindre ces objectifs et des mesures redistributives associées**. Ils doivent permettre d'orienter l'ensemble des comportements vers plus de sobriété sans que les dépenses contraintes des premiers déciles n'augmentent. Faut-il envisager une taxe carbone indépendante du niveau de revenus et des mesures de redistribution ou faut-il envisager une taxe progressive ? Faut-il attendre le développement d'un marché d'occasion suffisant du véhicule électrique avant d'envisager une taxation carbone des carburants plus élevée qu'aujourd'hui ? Comment traiter les cas particuliers, tel celui de l'infirmière en milieu rural qui utilise chaque jour son véhicule thermique sur des dizaines de kilomètres ?

¹¹² <https://www.hautconseilclimat.fr/>

¹¹³ <https://www.theccc.org.uk/>

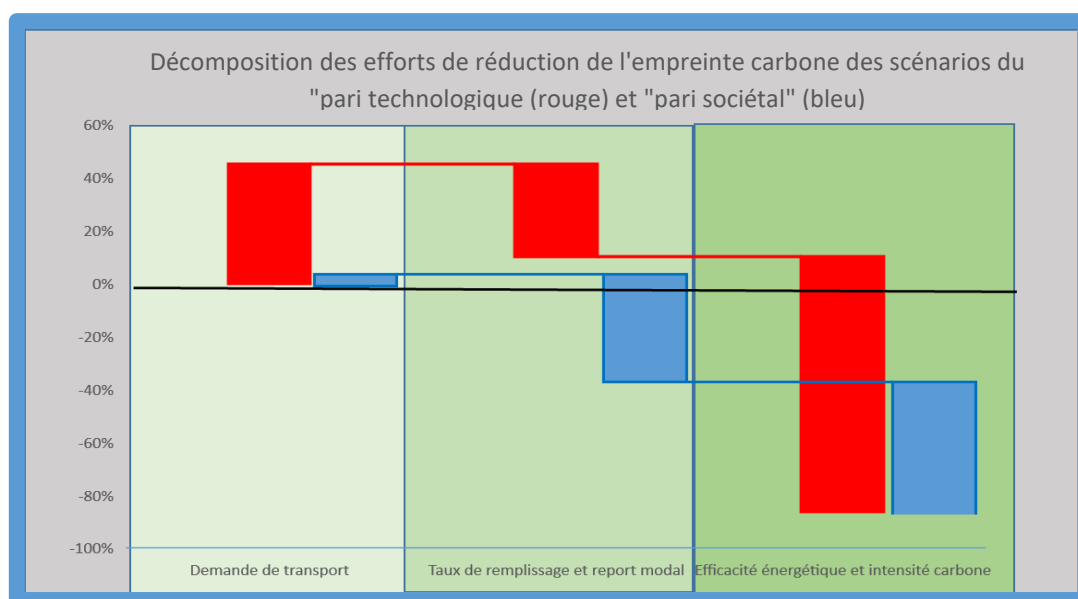


Figure 32 : Diagramme en cascade des contributions à l'évolution de l'empreinte carbone jusqu'en 2060 pour les deux scénarios de neutralité (« pari technologique » et « pari sociétal »).
Source : Prospective 2040-2060, CGEDD-France Stratégie, 2022

Lecture de gauche à droite, en partant de la ligne horizontale d'origine, en additionnant les réductions provenant des variations de la demande de transport, puis en retranchant les effets dus au taux de remplissage et au report modal, et enfin ceux provenant de l'efficacité énergétique et de l'intensité carbone

Ce sont des questions de ce type qui méritent d'être abordées franchement : les réponses qu'elles appellent comportent en effet une part de technicité, mais elles doivent également tenir compte de l'expression des souhaits des usagers ou de leurs représentants afin de construire un chemin collectif.

Les mesures qui semblent inévitables sont rejetées : la contribution climat énergie a été rejetée notamment parce qu'elle devait être acquittée pour un déplacement domicile-travail tandis que le mode aérien, réputé s'adresser à une clientèle plus aisée, en était exempté. (Cette analyse portant sur les taxations environnementales est cependant tronquée et les comparaisons des taxations entre modes de transports sont complexes : alors que les infrastructures de transports terrestres sont essentiellement payées par des budgets publics (hors autoroutes concédées), le secteur aérien paye ses coûts d'infrastructures ; par ailleurs, sont à la charge des compagnies -et donc des passagers- des coûts de sécurité ou de sûreté qui ne sont pas répercutés dans d'autres secteurs). Moins il y a d'exemptions à la règle, plus celle-ci a des chances d'être acceptée. Mais inversement, elle n'est pas applicable sans mesure d'accompagnement pour les plus démunis : l'uniformité n'est pas équitable et la progressivité, quand elle se révèle praticable, peut utilement contribuer à réduire les mécanismes de compensation complexes.

La société a besoin de prévisibilité. Chacun doit pouvoir être rassuré sur sa capacité à s'inscrire dans les perspectives que l'avenir lui réserve ; chacun doit pour cela comprendre les conséquences pour lui-même et sa famille, non seulement de l'évolution du climat mais aussi des mesures prises pour ralentir cette évolution.

Cette préconisation s'applique également à l'ensemble du secteur économique qui est également demandeur d'indications sur le rythme futur de la transition : comme le

soulignent Olivier Blanchard et Jean Tirole¹¹⁴, « les acteurs économiques ont besoin d'un cadrage prospectif et, à défaut de certitude, d'une visibilité sur la nature des décisions qui seront prises dans dix ou vingt ans et qui auront des répercussions déterminantes sur eux ». En un mot, la transparence et la compréhension des enjeux sont des conditions nécessaires à la réussite de la transition vers la neutralité carbone.

4.2 Mettre en place les mesures d'accompagnement nécessaires à la réussite de la transition énergétique

Quels que soient les outils économiques finalement retenus pour mettre en œuvre la transition énergétique (taxe, marché de quotas, normes, interdiction de circulation pour certains véhicules, réglementation, mécanisme d'ajustement aux frontières...), le consommateur va devoir adapter son comportement et sera amené à payer un coût de plus en plus élevé pour ses émissions de CO₂ : en 2030, le coût annuel pour un Français dont l'empreinte carbone serait de dix tonnes pourrait ainsi atteindre 2 500 euros¹¹⁵ (pour une valeur du carbone en 2030 de 250€/tCO₂, correspondant, si cette valeur était traduite en une taxe sur les carburants, à un surcoût de 0,66 € par litre de gazole).

Un exemple de politique redistributive

Le graphique ci-dessous illustre un exemple possible de politique redistributive face à une hausse de taxe carbone modulée selon le décile de revenus. Il se situe dans une trajectoire avec une taxe carbone de 250 €/tCO₂ en 2030 et 500 €/tCO₂ en 2040 et examine la situation d'un ménage moyen motorisé du 3^{ème} décile¹¹⁶. Son revenu disponible¹¹⁷ est de 1179 €/mois et il parcourt 16 268 km en voiture par an.

En 2030, si ce ménage circule en véhicule thermique¹¹⁸, le montant annuel de la taxe carbone qu'il doit verser est majorée de 316 €/an par rapport à la situation actuelle. Celui-ci n'est majoré que de 28 €/an s'il circule en véhicule électrique, en faisant l'hypothèse d'une taxe carbone s'appliquant aux émissions à la fabrication du véhicule. En 2040, s'il circule en véhicule thermique, la taxe carbone est majorée de 699 €/an par rapport à la situation actuelle. Elle n'est majorée que de 124 €/an s'il circule en véhicule électrique ou décarboné.

On suppose ensuite que les ménages des 1^{er} au 3^{ème} déciles bénéficient d'une aide (chèque transport) de 28 euros par an en 2030, portée à 124 euros par an en 2040. Ainsi, compte tenu des aides, le ménage ayant choisi un véhicule électrique ou décarboné voit un bilan net inchangé. Le ménage qui aurait conservé un véhicule thermique voit en revanche sa situation financière se dégrader de 4 % de son revenu hors dépenses pré-engagées, ce qui l'incite à basculer vers une motorisation électrique ou décarbonée. Sur la base de 30 millions

¹¹⁴ *Les grands défis économiques*, Rapport de la Commission internationale présidée par Olivier Blanchard et Jean Tirole, <https://www.strategie.gouv.fr/publications/grands-defis-economiques-commission-internationale-blanchard-tirole>

¹¹⁵ En prenant pour référence la valeur de 250 €/tCO₂ à 2030 établie par le groupe de travail de France stratégie présidé par Alain Quinet.

¹¹⁶ Selon le classement Insee des individus suivant leur niveau de revenus par déciles (des 10 % les plus pauvres aux 10 % les plus riches)

¹¹⁷ Selon la définition de l'Insee, le revenu disponible est le revenu à la disposition du ménage pour consommer et épargner. <https://www.insee.fr/fr/metadonnees/definition/c1458>

¹¹⁸ Sur une base de 4 litres aux 100 km et 2,4 kgCO₂/litre de carburant

de ménages, pour les 30 % de ménages du 1^{er} au 3^{ème} décile inclus, le coût total de ce chèque transport ciblé serait de 250 millions d'euros en 2030 et 1,1 milliards d'euros en 2040.

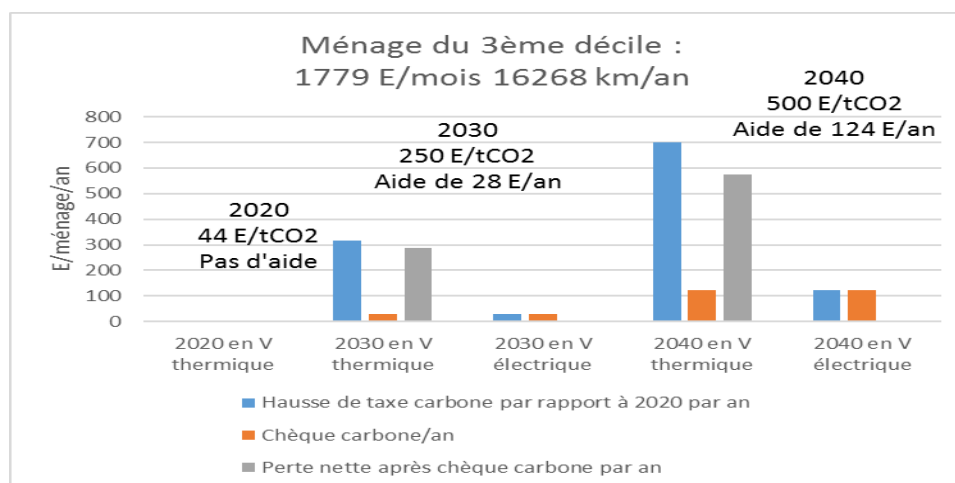


Figure 33 : Impacts de diverses politiques sur un ménage du 3^{ème} décile parcourant 16 268 km
Source CGEDD et France stratégie Prospectives des mobilités 2040-2060

En bleu figure la hausse de dépense de mobilité liée à diverses hypothèses de taxe carbone, avant compensation (montant de la compensation en orange) et après compensation (en gris) ; ainsi, en 2040, si ce ménage circule en véhicule électrique, et si la taxe carbone est portée à 500 €/tCO₂, sa dépense n'évoluera pas s'il reçoit une aide de 124 € par an

Ce ciblage pourrait comporter, de plus, une modulation territoriale, avec une majoration de la somme versée pour les territoires ruraux et les couronnes périurbaines éloignées où les parcours moyens sont souvent plus importants, atteignant alors 180 €/an et par ménage en 2040 (au prorata des km), et une minoration dans les centres-villes.

Il est donc souhaitable de mettre en place des mesures d'accompagnement même s'il n'y a pas de taxe carbone explicite sur les carburants, ce qui pose la question de l'origine des recettes consacrées à ces mesures, de les concevoir le plus en amont possible¹¹⁹, et de les adapter en fonction des mesures économiques effectivement retenues.

De telles mesures devront être mises en œuvre non seulement pour soutenir le pouvoir d'achat des premiers déciles, mais également pour accompagner la transition industrielle qui va avoir lieu et qui conduira à la reconversion d'un certain nombre d'entreprises, mais aussi, parfois, à leur fermeture. Dans ce cas, et les contrats de territoire en sont une première approche, il est souhaitable de mettre en place des dispositifs d'aide à la reconversion des salariés, mais aussi de soutenir les territoires et les collectivités concernées qui perdent les taxes provenant de l'activité des industries et les impositions perçues sur les habitants qui quittent le territoire pour retrouver un emploi.

À l'exemple des travaux menés par la filière automobile, les études prospectives des mutations des filières et de leurs effets sur l'emploi et les besoins de compétence constituent un moyen d'anticiper ces évolutions. Elles permettent d'identifier le besoin de

¹¹⁹ Voir notamment les CAE : *Pour le climat : une taxe juste, pas juste une taxe*, Dominique Bureau, Fanny Henriet et Katheline Schubert, note 50 du CAE, mars 2019 ; *Les effets de la fiscalité écologique sur le pouvoir d'achat des ménages : simulation de plusieurs scénarios de redistribution*, Thomas Douenne, focus CAE, mars 2019.

nouvelles compétences¹²⁰ et, à l'inverse, les profils de poste en déclin, et d'en déduire les actions de formation à entreprendre.

Il ne faut cependant pas sous-estimer la difficulté de la mise en place des mesures redistributives compte-tenu de la très grande disparité qui existe entre les individus d'un même décile. Il y a bien sûr des disparités en moyenne selon les zones géographiques puisqu'il est plus facile d'utiliser les transports collectifs et de tout trouver à proximité dans les centres des grandes villes que dans le périurbain lointain ou le milieu rural. Au-delà, dans une même zone géographique et toujours à même revenu, certaines personnes vont se retrouver à se déplacer bien plus que d'autres, par exemple du fait de l'exercice d'une profession nécessitant beaucoup de déplacements, ou bien des circonstances de la vie, par exemple d'un éloignement des lieux de travail de deux conjoints, qui ne résulte pas forcément d'un choix.

La note du CAE de mars 2019, intitulée *Pour le climat : une taxe juste, pas juste une taxe*¹²¹, analyse en détail ces différents points et propose une redistribution favorisant les premiers déciles et tenant compte de la zone géographique d'installation (et de la possibilité de recourir à des modes de transport décarbonés). Elle souligne de plus l'intérêt d'aider les ménages à adopter des équipements décarbonés et envisage également des mécanismes permettant de lisser, dans une certaine mesure, l'impact des envolées des prix du pétrole, difficilement supportables par les premiers déciles. Au-delà de ces considérations techniques, cette redistribution, pour pouvoir être acceptée, doit être largement discutée, débattue et optimisée tant dans ses principes que dans ses modalités.

Enfin, la disparition progressive de la TICPE devra être, au moins partiellement, compensée par la création de nouvelles recettes. Celles-ci pourraient porter soit sur la consommation de manière générale (TVA), soit, à terme, sur les autres ressources énergétiques en veillant à ne pas retarder la transition vers la neutralité carbone.

4.3 Mettre en place rapidement les leviers économiques et réglementaires efficaces de la décarbonation par la technologie

Comme le rappelle le début de ce rapport, les émissions de gaz à effet de serre du transport ont augmenté en France de plus de 10 % dans les trente dernières années. Or, pour respecter les objectifs fixés à l'émission par la Stratégie européenne de mobilité durable et intelligente, nous devons diviser par 10 les émissions directes du transport dans les trente prochaines années.

4.3.1 Mettre en place une large palette de leviers économiques pour réussir la décarbonation du secteur routier

Les perspectives technologiques semblent cependant favorables dans le secteur routier : les analyses menées, à partir d'ACV simplifiées, des motorisations alternatives et des

¹²⁰ Même si l'évolution globale de l'emploi va dépendre de la mobilisation des différents pays et de leur capacité à attirer sur leurs territoires les usines de production de ces technologies. Voir notamment : https://www.strategie.gouv.fr/sites/strategie.gouv.fr/files/atoms/files/fs-2018-rapport_les-politiques-publiques-en-faveur-des-vehicules-a-tres-faibles-emissions_0.pdf

¹²¹ *Pour le climat : une taxe juste, pas juste une taxe*, Dominique Bureau, Fanny Henriet et Katheline Schubert, mars 2019, note CAE n° 50, <https://www.cae-eco.fr/Pour-le-climat-une-taxe-juste-pas-juste-une-taxe>

carburants associés montrent la possibilité de gains extrêmement importants dans la réduction des émissions de gaz à effet de serre. Rien ne dit cependant que ces technologies vont être adoptées. La définition des leviers économiques permettant d'aller sur le long terme vers la neutralité carbone prend dès lors une grande importance. Ils doivent respecter la neutralité technologique sans s'abstenir pour autant de marquer une nette préférence pour les motorisations et les carburants neutres en carbone (au détriment des carburants d'origine fossile).

La recherche de l'efficacité énergétique ne suffit plus, il est nécessaire de recourir à des carburants « neutres en carbone » : ce doit être la priorité. Même si elle ne suffit pas à atteindre la neutralité carbone, l'efficacité énergétique doit cependant être poursuivie avec détermination (mais en priorité seconde) : elle réduit en effet les émissions de GES dans la phase de transition. De plus, en abaissant la consommation, elle permet de diminuer le coût des technologies décarbonées et donc de la transition énergétique.

La définition d'une trajectoire de référence du signal prix carbone pour l'ensemble de l'économie est une boussole nécessaire pour guider l'action des pouvoirs publics et des acteurs privés avec comme corollaire la nécessité de calculer le coût de la tonne de CO₂ évitée pour les différents projets envisagés. Compte tenu de l'acceptation incertaine par la population de toute taxe nouvelle ou de tout alourdissement de taxes existantes, la transition sera vraisemblablement orchestrée non par un seul signal prix du carbone, mais par une palette de leviers économiques ; ceci pose le problème de leur chevauchement, de leur compatibilité, ainsi que de la visibilité (et de la crédibilité) de long terme du signal prix et nécessite un pilotage fin, d'autant plus difficile que ces leviers seront décidés à des niveaux différents : international (OMI, OACI, CCNUCC), européen, national, local.

Cette palette d'outils constitue probablement une des conditions de réussite de la transition énergétique : elle est certes éloignée de la vision classique du signal prix unique dont la traduction dans l'économie permettrait de résoudre tous les problèmes, mais elle est probablement plus adaptée à la complexité de notre société et à ses différents groupes qui sont sensibles à un levier plutôt qu'un autre et qui peuvent s'opposer à l'un eux. Avec des mesures diversifiées atteignant des publics différents, cette palette d'outils pourrait provoquer de plus des effets d'entraînement qui s'additionnent.

Les deux principaux leviers économiques qui vont réellement guider la décarbonation du secteur des transports seront ainsi constitués par :

- **Les normes européennes sur les émissions des véhicules** obligeant les constructeurs, sous peine d'amendes conséquentes, à augmenter progressivement la part des véhicules à motorisation alternative dans leurs ventes.
- **Les dates fixant l'interdiction de vente de véhicules neufs émetteurs de gaz à effet de serre d'origine fossile.** Dans un monde concurrentiel, si aucun constructeur n'est capable de produire des véhicules neutres en carbone à la date donnée, la date est repoussée. Si plusieurs d'entre eux y arrivent, la date est maintenue.

D'autres leviers joueront un rôle d'accompagnement non négligeable :

- les ZFE-m qui peuvent jouer un rôle d'accélérateur de la décarbonation ;
- le bonus/malus qui (plutôt que de les interdire) pénalise les véhicules les plus émissifs et dont l'augmentation progressive permet de financer le bonus accordé

aux véhicules propres¹²² ;

- le suramortissement pour les véhicules professionnels ;
- une prime à la casse dans la période de transition entre véhicules thermiques et décarbonés, qui permettra d'accélérer l'évolution vers la neutralité carbone.

L'augmentation de la contribution climat énergie ou la mise en place, comme la Commission européenne le propose, d'un marché de quotas propre aux transport et au chauffage, n'est probablement pas indispensable pour atteindre à terme la neutralité carbone du parc, puisque les mesures précédentes devraient mener progressivement à l'interdiction de la vente des véhicules thermiques émetteurs de gaz à effet de serre d'origine fossile. Cependant, en reprenant les propos d'Olivier Blanchard et Jean Tirole, un tel signal-prix permet de faire de meilleurs choix et d'écarter les solutions trop coûteuses. Il sert notamment à faire prendre conscience à chacun de ses émissions, à réduire les kilomètres parcourus avec des véhicules thermiques (ce qui est particulièrement important pour réduire les émissions durant la période où les véhicules thermiques sont encore présents), à favoriser les solutions sobres en carbone et dans une certaine mesure le report modal. Le propos d'Olivier Blanchard et Jean Tirole est sans ambiguïté : « Bien qu'impopulaire, pour de bonnes comme de mauvaises raisons, la tarification du carbone est indispensable à la transition car elle encourage l'adoption de comportements plus écologiques, et stimule la R&D verte de façon transparente et efficace »¹²³. Cette tarification est donc souhaitable. Elle permet également d'encaisser des recettes pour financer les mesures redistributives.

Toutefois, une hausse substantielle de cette contribution climat énergie rencontrera un degré d'acceptation d'autant plus important que les alternatives au véhicule thermique deviendront crédibles pour une grande majorité des usages et se seront largement diffusées. Il convient donc de procéder dès maintenant aux investissements verts (recharges interurbaines, infrastructures de report modal, par exemple) nécessaires à cette crédibilité. Lorsque les alternatives seront devenues crédibles, une accélération des évolutions de cette contribution, probablement assez mesurée au départ, deviendra envisageable, ce qui contribuera également à l'équilibre économique des investissements verts dans la durée.

Au-delà de 2040, l'essentiel des émissions pourrait provenir de la construction du véhicule (batteries incluses), ce qui devrait amener à imposer à court terme la mise en place d'une comptabilité de l'empreinte carbone et le recyclage des batteries et, dans un deuxième temps, à fixer une trajectoire de réduction des valeurs de cette empreinte pour les émissions à la fabrication et au recyclage des batteries.

Cette politique pourrait être menée de manière similaire pour les VUL et dans ses principes pour le transport routier de marchandises avec pour le moment, une interdiction d'ici 2040 de vente des véhicules lourds neufs affectés au transport de marchandises et utilisant majoritairement des énergies fossiles, même s'il subsiste des incertitudes sur l'emploi de l'hydrogène et/ou de l'électricité sur la longue distance.

¹²² Compte tenu de l'augmentation du nombre de véhicules électriques vendus, le montant global du bonus a donc vocation à augmenter, même si le bonus accordé à chaque véhicule devrait diminuer avec la baisse du prix des véhicules électriques et de leur coût total d'utilisation qui devrait se rapprocher de plus en plus de celui du véhicule thermique dans les prochaines années.

¹²³ *Les grands défis économiques*, Rapport de la Commission internationale présidée par Olivier Blanchard et Jean Tirole, <https://www.strategie.gouv.fr/publications/grands-defis-economiques-commission-internationale-blanchard-tirole>

4.3.2 Décarboner le secteur maritime conduit à expérimenter de nouvelles technologies et à réduire fortement les émissions de la flotte actuelle

Il n'existe pas aujourd'hui de consensus sur la technologie qui pourrait permettre la décarbonation du transport maritime à long terme même si le recours à des carburants neutres en carbone est jugé nécessaire pour atteindre la neutralité. Il apparaît de plus que le *design* initial du navire (et dans une mesure moindre son *rétrofit* pour la flotte existante), ainsi qu'une combinaison de mesures opérationnelles peuvent très fortement réduire les émissions de gaz à effet de serre. Il convient enfin de poursuivre avec détermination le développement de l'électrification à quai des navires afin de réduire les émissions à l'escale, dont le quatrième rapport de l'OMI sur les émissions de gaz à effet de serre¹²⁴ a montré toute l'importance.

Une triple priorité s'en déduit :

- Il est nécessaire de mener des expérimentations sur les différentes techniques possibles : hydrogène, ammoniac, biogaz, gaz d'origine fossile avec CCS, méthanol, électricité pour les trajets courts, e-fuels (en particulier le méthane de synthèse). En complément, l'assistance vélisque, et, dans un nombre limité de cas la propulsion vélisque, peuvent également amener une réduction de la consommation énergétique.
- Dans la période de transition jusqu'à la neutralité carbone du maritime, il est nécessaire de faire les meilleurs efforts pour réduire les émissions correspondantes et de piloter la réduction des émissions de gaz à effet de serre par des indicateurs d'émissions de CO₂ à la fabrication et en exploitation.
- Il est également nécessaire de veiller à ce que le différentiel de prix entre carburants carbonés et décarbonés ou neutres en carbone soit atténué pour ne pas créer d'inertie dans cette transition, grâce à un bon équilibre entre les mesures réglementaires et la mise en place d'incitations favorisant le recours aux énergies décarbonées.

Comme le souligne l'exercice de prospective maritime du DNV d'août 2021¹²⁵, il peut dès lors être intéressant, sinon souhaitable, pour un armateur qui souhaite éviter le risque de coût échoué (*stranded asset*), de s'équiper d'un navire pouvant à terme utiliser un carburant neutre en carbone (hors biocarburant) ce qui peut conduire à choisir un moteur pouvant fonctionner à moyen terme avec un tel carburant et à prévoir la possibilité de modifier les capacités de stockage et d'installer les équipements de sécurité nécessaires (en particulier pour l'ammoniac et l'hydrogène).

Le recours aux biocarburants (y compris sous forme de méthanol) peut également présenter de l'intérêt, notamment en période de transition en attendant les solutions totalement décarbonées, car ils permettent, à coût modéré pour certains, de continuer à opérer les navires existants en répondant aux objectifs de l'OMI. Mais, compte-tenu de leur relative rareté et des compétitions d'usage associées, il est difficile de considérer les biocarburants comme la solution principale à long terme pour le transport maritime, sauf dans quelques cas particuliers comme celui de la pêche hauturière.

¹²⁴ <https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Environment/Documents/Fourth%20IMO%20GHG%20Study%202020%20-%20Full%20report%20and%20annexes.pdf>

¹²⁵ *Energy Transition Outlook 2021: Maritime Forecast to 2050*, DNV, August 2021, <https://eto.dnv.com/2021/maritime-forecast-2050/about>

4.3.3 Décarboner le secteur aérien conduit à mettre au point des avions ultra sobres, à accélérer les recherches d'avions neutres en carbone et à développer les biocarburants

Le secteur aérien présente encore moins de possibilités technologiques de décarbonation. L'électrification y semble très difficile sauf pour de petits avions avec distances courtes. L'utilisation de l'hydrogène liquide représente un défi passionnant et redoutable pour la recherche.

La décarbonation du transport aérien nécessite donc de mener de front :

- Les actions d'efficacité énergétique : la mise au point d'avions ultra sobres (avec une réduction attendue de 30 % de la consommation par rapport aux meilleurs avions d'aujourd'hui, ce qui n'est pas irréaliste, puisque depuis les années 60, chaque nouvelle génération d'avion apporte un gain d'efficacité énergétique d'environ 20 %), l'amélioration des trajectoires...
- La suppression des émissions au sol, hors décollage et atterrissage.
- Le développement des carburants neutres en carbone, que ce soit la production de biocarburants durables ou les recherches sur les avions électriques (de portée régionale au plus) ou sur l'avion hydrogène.

Dans les trente prochaines années, la neutralité carbone du secteur aérien reposera sur l'utilisation de biokérosène durable et donc sur la mise en place d'un taux d'incorporation de biocarburants de plus en plus élevé. Là encore, la mise en place (à un niveau européen, voire mondial) d'un signal-prix carbone significatif permettrait d'accélérer la décarbonation.

Ces leviers doivent être accompagnés, comme le souligne le Secrétaire général de l'ONU¹²⁶, de la fixation au niveau international d'un objectif ambitieux de réduction des émissions de gaz à effet de serre du secteur aérien mondial, soit par l'OACI – ce qu'elle n'a pas fait à la date de ce rapport - soit, à défaut, dans le cadre de la CCNUCC¹²⁷. Les compagnies aériennes européennes, en février 2021, puis l'Association du transport aérien international, l'IATA, qui regroupe plus de 250 compagnies, en octobre, se sont engagées à atteindre une neutralité carbone nette de leur activité en 2050.

¹²⁶ « *Let's be honest. While member states have made some initial steps through the International Civil Aviation Organization and the International Maritime Organization to address emissions from shipping and aviation, current commitments are not aligned with the 1.5-degree goal of the Paris Agreement. In fact, they are more consistent with warming way above 3 degrees. Adopting a new set of more ambitious and credible targets that are truly consistent with the goals of the Paris Agreement must be an urgent priority for both these bodies in the months and years ahead. The priorities are clear: i) Phase out the production of internal combustion engine vehicles by 2035 for leading manufacturing countries, and by 2040 for developing countries, ii) Zero emission ships must be the default choice, and commercially available for all by 2030, in order to achieve zero emissions in the shipping sector by 2050, iii) Companies must start using sustainable aviation fuels now, in order to cut carbon emissions per passenger by 65 % by 2050. iv) All stakeholders have a role to play, from individuals changing their travel habits, to businesses transforming their carbon footprint* ». 14 October 2021, Remarks to the Second Global Sustainable Transport Conference, António Guterres. <https://www.un.org/sg/en/node/260099>

¹²⁷ L'article 2-2 du Protocole de Kyoto prévoyait que : « Les Parties visées à l'annexe I cherchent à limiter ou réduire les émissions de gaz à effet de serre non réglementées par le Protocole de Montréal provenant des combustibles de soute utilisés dans les transports aériens et maritimes, en passant par l'intermédiaire de l'Organisation de l'aviation civile internationale et de l'Organisation maritime internationale, respectivement ». L'accord de Paris ne reprend pas cette disposition.

4.4 Mener des politiques de mobilité visant à la sobriété, adaptées et coordonnées aux différentes échelles géographiques et temporelles

L'irruption de l'enjeu du dérèglement climatique dans les politiques de mobilité au-delà de la décarbonation est récente. La prise de conscience de la nécessité d'aller au-delà d'une division par 4 des émissions ainsi que des limites potentielles de certaines technologies (par exemple des limites quantitatives sur les disponibilités de biocarburants) ont amené à s'interroger sur l'opportunité de mener des politiques de mobilité visant à la sobriété, au-delà des seules accélérations des évolutions technologiques. Ces politiques correspondent non seulement à une certaine modération des mobilités, voire à un recentrage vers la satisfaction des besoins les plus fondamentaux, mais aussi à un meilleur remplissage des véhicules et à un report modal depuis les modes les plus émissifs vers les modes collectifs terrestres, le ferroviaire, ainsi que vers les modes doux et actifs. L'ampleur des incertitudes sur le niveau de sobriété des mobilités qu'il serait souhaitable de viser reste à l'évidence majeure. Les outils à envisager ne seront probablement pas les mêmes selon qu'il suffirait d'évolutions mineures ou qu'il serait nécessaire de recourir à des ruptures majeures.

4.4.1 Utiliser des leviers d'action différents suivant les territoires, urbains ou ruraux

Le véhicule électrique constitue une rupture dans l'usage des véhicules. La garantie de disposer de recharges à un niveau suffisant le long des différents axes interurbains et aux différents moments de la semaine et de l'année, y compris en pointe, sera une des clés de succès de cette transition.

En zone rurale, la présence de recharges à un niveau suffisant sera une clé de succès des politiques territoriales. Le biogaz, qui contribue à l'activité agricole locale, constitue également une piste intéressante dans ces zones, mais son usage dans les transports risque de ne pas être prioritaire dans un monde neutre en carbone.

Dans les centres-villes, les politiques de ZFE-m peuvent faire levier à la fois pour les politiques de lutte contre la pollution locale de l'air et le dérèglement climatique. L'espace y étant rare, l'accès privilégié au stationnement ou à des voies réservées y constitue aussi un levier puissant. Enfin, l'accès des ménages, propriétaire ou locataires, résidant en habitat collectif à une prise de recharge sans délai ni procédure complexe est également une clé du succès.

4.4.2 Quatre pistes d'action

Quatre voies peuvent ainsi être envisagées :

- **L'intensification des politiques actuelles.** Les politiques de sobriété des mobilités (encouragement de substitution à la mobilité : télétravail, téléenseignement, télémedecine, téléprocédures...) se sont développées dans les zones denses pour des raisons liées à la qualité de la vie en ville. Elles pourraient être renforcées, en privilégiant les modes les moins consommateurs d'espace (modes massifiés, modes doux). Leur extension progressive à des espaces un peu moins denses, dans une approche de type « tâche d'huile » pourrait amener à des gains supplémentaires. Dans les périphéries des villes, la voiture risque de rester indispensable longtemps, et il y convient de s'appuyer surtout sur des politiques de partage du véhicule, avec des interfaces modales de grande qualité permettant des trajets en transport en

commun lourds fiabilisés et à capacité renforcée dans les espaces centraux. La fluidité des interfaces modales est une clé de succès essentielle ; l'amélioration de la qualité des nœuds de correspondance multimodaux et de l'information des voyageurs, y compris en temps réel, permet la massification des flux et constitue un autre facteur majeur de réussite d'une politique de sobriété.

- **L'évolution des modes de vie.** Une deuxième approche concerne les modes de vie et les apprentissages individuels et collectifs. Elle recouvre en particulier la question, mise en exergue par la crise sanitaire, du télétravail et des téléconférences. Le choix de recourir à l'une de ces formes plutôt qu'à un déplacement n'est pas seulement un choix individuel, mais dépend également de l'attitude du collectif (entreprises, groupes...), voire des mesures publiques prises en faveur de ces formes de travail. L'étalement des pointes (quotidiennes, hebdomadaires, annuelles) constitue une autre possibilité d'optimisation : elle évite, en effet, des investissements inutiles et améliore la qualité de vie. Elle implique cependant des décisions de la part des générateurs des flux (entreprises, quartiers d'affaires, universités, hôpitaux...) au-delà de la sphère des mobilités, qui peuvent probablement être encouragées, sinon impulsées, par les pouvoirs publics à des niveaux géographiques appropriés¹²⁸.
- **La modification du modèle économique des gestionnaires d'infrastructures de modes massifiés.** Les recettes actuelles de certains acteurs, par exemple d'un gestionnaire d'infrastructure, sont souvent réalisées au prorata des péages liés au trafic. De ce fait, une perspective de modération du trafic risque de nuire à leur équilibre économique et de les inciter à des efforts commerciaux pour attirer le trafic. Dès lors, un rééquilibrage du modèle économique, avec l'introduction d'une rémunération comprenant d'autres composantes –telles que la qualité du service pour les péages ferroviaires- pourrait contribuer à mieux aligner les intérêts des différents acteurs de la chaîne en faveur d'une politique de sobriété des mobilités.
- **La mise en place de signaux prix carbone.** Réclamée par la plupart des économistes, elle permet à chacun de prendre conscience de ses émissions et l'incite à réorienter ses actions. Elle peut prendre la forme d'une contribution climat énergie incluse dans le prix du carburant, mais aussi d'un marché : le paquet « *fit for 55* » publié par la Commission en juillet 2021 envisage ainsi l'instauration d'un marché de carbone portant sur les importateurs et les distributeurs de carburants fossiles et permettant de répercuter un signal- prix carbone sur les consommateurs. Dans un avenir plus lointain, et si des mauvaises surprises se multipliaient liées au dérèglement climatique, on ne peut pas complètement exclure un recours à des approches cherchant à limiter la quantité de carbone émise par chacun d'entre nous. Une des voies potentielles pourrait constituer, dans certains secteurs de la mobilité, à mettre en œuvre des quotas individuels d'émissions, en cherchant à limiter les déplacements interurbains les plus émissifs et à protéger les usages les plus indispensables, notamment les besoins du quotidien. Le cas le plus emblématique pourrait être le déplacement intercontinental, où les émissions d'un seul trajet sont souvent comparables à celles d'une voiture sur toute une année : selon Jean-Paul Ceron et Ghislain Dubois¹²⁹, 5 % des individus émettent 50 % des émissions dues aux déplacements touristiques, le plus souvent en avion, ce qui pose

¹²⁸ voir notamment : Projet 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

¹²⁹ Source : Tourisme Transports Territoires Environnement Conseil, *Le monde est à nous ? Analyse socioéconomique* des émissions de gaz à effet de serre dues aux déplacements de tourisme et de loisirs, 2009.

la question des politiques visant les *hypermobiles*.

Une tel système pourrait avoir comme objectif d'induire, non pas une réduction du nombre de passagers intercontinentaux sauf situation gravissime, mais de renforcer la massification des vols, quitte à réduire légèrement les fréquences tout en préservant la possibilité de voyager.

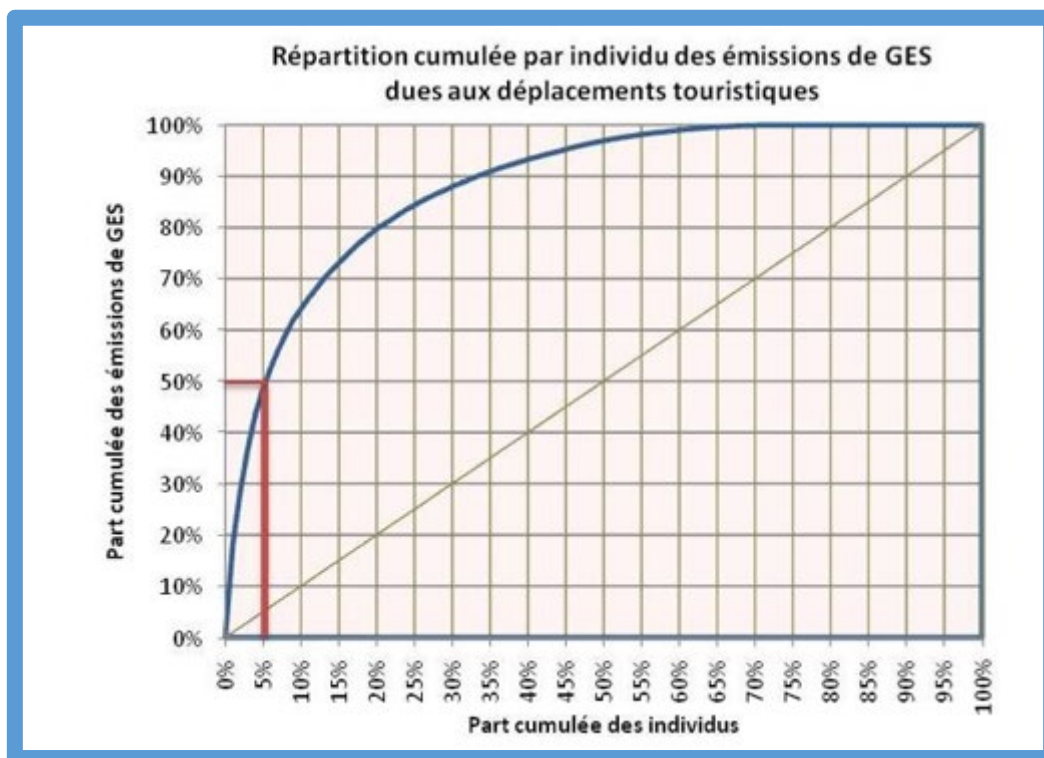


Figure 34 : Répartition cumulée par individus des émissions de GES dues aux déplacements touristiques¹³⁰

Hormis l'aérien, la définition et la mise en œuvre de ces politiques revient le plus souvent aux collectivités territoriales, notamment les autorités organisatrices des mobilités mais pas seulement : les communes responsables de la circulation et de la voirie sont, par exemple, également concernées. La clé de la réussite consiste à arriver à articuler, dans le dialogue, ces politiques aux différentes échelles territoriales dans un cadre cohérent, dans le respect du principe constitutionnel de la libre administration des collectivités¹³¹.

4.4.3 Massification et mutualisation

Pour ne pas limiter, au-delà du nécessaire, les déplacements, ces différents leviers devraient déboucher sur une massification des transports conduisant d'ici 2060 :

- au moins à un doublement du trafic voyageurs des transports collectifs urbains lourds (ferroviaire, métro, tramway), issu à parts similaires :
 - du report modal vers des infrastructures, nouvelles ou déjà existantes mais plus capacitaires (ferroviaire et métro) et de qualité accrue ;
 - de la hausse tendancielle du trafic liée à la croissance économique ;

¹³⁰ Ibidem

¹³¹ L'article 72 de la Constitution dispose que les collectivités s'administrent librement « dans les conditions prévues par la loi ».

- à un quadruplement du trafic du vélo et des modes actifs, reposant sur un rattrapage des parts modales pour aboutir à un niveau comparable à celui de l'Allemagne (12 % de vélo contre 3 % en France) et sur la systématisation d'itinéraires continus et sécurisés ;
- à un quadruplement au moins du trafic de covoiturage¹³², grâce notamment au développement d'applications numériques reliant le passager aux véhicules et à l'infrastructure, et lui permettant un accès facile aux modes collectifs ;
- à un doublement au moins du transport ferroviaire interurbain de voyageurs, lié à la hausse tendancielle du trafic et au report modal des liaisons aériennes les plus courtes ; la réalisation d'un certain nombre d'infrastructures à grande vitesse afin de desservir toutes les capitales régionales, ainsi que l'amélioration des principaux nœuds ferroviaires et d'incrément de capacité des principales lignes à grande vitesse permettraient d'accélérer cette évolution ;
- un triplement du trafic ferroviaire de marchandises, provenant d'une hausse de la qualité du transport et de sa productivité, et de la réalisation d'investissements de capacité et de modernisation efficaces, en particulier dans le numérique, ainsi qu'à un doublement du niveau de trafic fluvial.

4.5 Instaurer une politique d'aménagement exigeante en capitalisant sur les leçons du passé

L'aménagement doit être mis à contribution pour lutter contre le réchauffement climatique car il produit des effets sur la mobilité, même s'il ne faut pas oublier que la technologie du transport (son coût) détermine historiquement les urbanisations possibles.

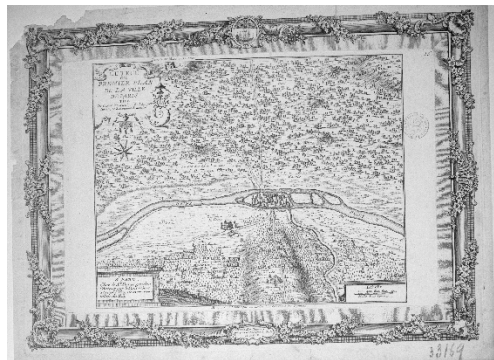


Figure 35 : Lutèce ou premier plan de la ville de Paris - Source : Terra

Les chances de succès reposent sur le respect des trois exigences du développement durable, sociale, économique et environnementale.

Le constat présenté au 3.5 a montré que quelques principes simples peuvent fonder une urbanisation qui réduira le besoin de mobilité des ménages tout en préservant un mode de vie attendu par nos concitoyens.

De façon schématique, l'idéal serait de favoriser, pour les plus petites unités, la croissance et l'urbanisation des gros bourgs et des petites villes avec un objectif minimum de population de 5 000 à 6 000 habitants et de réserver la construction neuve¹³³ aux seules

¹³² Cf. simulation du FIT sur le grand Dublin, avec un emport moyen passant de 1,4 à 2,4 passagers par véhicule

¹³³ Cette offre nouvelle peut se faire aussi avec des logements réhabilités à la place de logements neufs.

communes situées sur les axes structurants de transports collectifs existants ou à venir. Cette façon de procéder, outre qu'elle a montré ses effets bénéfiques, est certainement l'une des seules qui permette de concilier la densification de l'habitat et son acceptabilité par les ménages. En effet, elle laisse la possibilité d'un logement abordable et de bénéficier d'un cadre de vie plus proche de la nature face à une politique, « repoussoir » pour certains, concentrant les ménages dans les plus grandes villes et leurs banlieues.

Néanmoins, ces principes nécessitent d'être plus exigeant et directif dans l'urbanisation. Favoriser et réserver les logements neufs au minimum aux gros bourgs a pour implication de restreindre, voire arrêter, la construction dans les plus petits villages et bourgs. Pour prendre la mesure du défi, il faut noter qu'il y a en France plus de 20 000 communes de moins de 1 000 habitants. La mise en œuvre de cette politique n'est probablement pas possible dans le cadre de la gouvernance des intercommunalités actuelles. Il faut trouver les moyens de donner un poids plus important aux intérêts de l'intercommunalité face à l'intérêt des communes constituantes. Cela n'interdit pas de laisser des villages plus petits croître pour atteindre ces quelques milliers d'habitants s'ils sont bien situés sur les axes de transports collectifs, à l'exemple de l'Allemagne ou de la Suisse. Les documents de planification que sont les PLUi et les SCoT seront des appuis efficaces à condition que la gouvernance soit adaptée.

La promesse de concilier une urbanisation plus sobre en déplacements avec un cadre de vie amélioré suppose de la part des collectivités, en particulier des intercommunalités, de satisfaire deux exigences. Tout d'abord être capable de ramener des services, des commerces et des emplois dans la ville-centre et les gros bourgs : au minimum, ces collectivités doivent se concentrer sur l'offre de services publics, les autres activités relevant plutôt d'une logique de marché. L'autre besoin est de bâtir une offre de transport collectif de grande qualité et donc coûteuse : les efforts que devront consentir les intercommunalités à ce titre bénéficieront également aux politiques nationale et européenne de lutte contre le changement climatique et devront sans doute être confortés par des concours financiers de la part de l'État et de l'Union européenne.

Enfin, l'urbanisation est un processus long où les évolutions en flux prennent des décennies pour produire des effets dans le parc (stock) de logements. La réduction des émissions due à un meilleur aménagement est estimée à -7,5 % en 2050 et -9,8 % en 2060. Il faut donc commencer maintenant pour être prêt en 2050. La mise en œuvre d'une politique contraignante serait évidemment facilitée par l'existence d'une taxe carbone au bon niveau mais cette perspective ne paraît pas envisageable sans mécanisme efficace de redistribution à destination d'une partie des ménages aux revenus modestes. La transformation du parc automobile thermique vers un parc de véhicules électriques, qui est à portée et qui est indispensable pour apporter une forte réduction aux émissions de gaz à effet de serre, doit être bien prise en compte car les ménages pourraient être plus rétifs à des contraintes de l'urbanisation s'ils ont le sentiment, erroné, que les véhicules électriques n'émettent pas de gaz carbonique. Ce point d'attention est rappelé car le succès mitigé de la lutte contre la périurbanisation dans les décennies passées est dû pour partie au relâchement de la contrainte - les chocs pétroliers et le prix du pétrole - à l'origine même de cette lutte.

À l'inverse, une meilleure urbanisation évitant la consommation d'espaces naturels et agricoles ne tient pas qu'à la nécessité de réduire le besoin de mobilité des ménages pour abaisser les émissions de CO₂. Elle est aussi indispensable au maintien de la biodiversité et au respect du principe d'une artificialisation nette nulle (ZAN). Les raisons de conduire une politique d'aménagement vertueuse au point de vue environnemental sont donc nombreuses.

4.6 Accompagner les pratiques de la logistique urbaine vers la neutralité carbone

Un examen des évolutions récentes montre que, en matière de logistique urbaine, les entreprises et les consommateurs se sont appropriés les progrès techniques, numériques ou organisationnels. Or, pour s'inscrire sur la trajectoire recherchée de réduction des émissions de gaz à effet de serre dans le cadre de la lutte contre le réchauffement climatique, il est nécessaire qu'une partie de ces progrès soit également utilisée par la puissance publique pour amener les comportements vers davantage de sobriété.

Il est sans doute illusoire de vouloir établir un catalogue des pistes d'action pour les années à venir. La diversité des situations locales appelle des réponses adaptées et de nouvelles solutions technologiques ou numériques viendront « rebattre les cartes ».

Quatre pistes d'actions semblent devoir être privilégiées pour renforcer l'efficacité de l'action publique en matière de logistique urbaine :

- convaincre et mobiliser les consommateurs pour faire évoluer les comportements et créer les conditions de l'acceptabilité de mesures plus contraignantes ;
- examiner les moyens spécifiques d'internalisation des coûts de l'impact environnemental des livraisons¹³⁴ ;
- favoriser les stratégies collaboratives, actions d'optimisation ou de mutualisation engagées par les opérateurs privés ou par les collectivités publiques ;
- suivre dans le temps les données relatives à la logistique urbaine pour identifier les mesures les plus efficaces.

Même si les consommateurs n'ont pas suffisamment conscience de l'impact de leurs choix (livraison lente plutôt qu'instantanée, limitation des retours...) sur le bilan des émissions de CO₂ du secteur, leur participation active aux stratégies qui devront être mises en place pour réduire les émissions est pleinement nécessaire. Les convaincre et les mobiliser en ce sens est une priorité. C'est d'ailleurs le sens des premières recommandations de la Charte d'engagements environnementaux des acteurs du commerce en ligne pour la réduction du commerce en ligne proposée par France Logistique et France Stratégie en juillet 2021 : « informer le consommateur de l'impact environnemental de la livraison » et « offrir au consommateur la possibilité d'identifier les produits du catalogue au meilleur bilan environnemental »¹³⁵.

Si 34 % des acheteurs en ligne se disent prêts à payer plus pour une livraison plus écologique, les enquêtes font ressortir le respect de l'environnement au dernier rang des critères de choix ; la livraison gratuite vient en tête, puis le lieu de livraison, le domicile étant le premier choix. Les abonnés représentent le tiers des e-acheteurs et sont les moins écoresponsables¹³⁶. Informer le consommateur sur le bilan environnemental du service de la livraison, éviter de faire de la livraison express l'option par défaut, s'agissant des délais livraison, interdire la mention « livraison gratuite » sont autant de pistes suggérées pour infléchir les comportements.

Les restrictions d'usage de l'espace public (ZFE-m, réglementation de la livraison...) sont

¹³⁴ Voir rapport thématique sur le transport de marchandises terrestres

¹³⁵ <https://www.strategie.gouv.fr/publications/filieres-de-commerce-ligne-de-logistique-responsables-premieres-signatures-chartes>

¹³⁶ « Définition de profils d'acheteurs types en e-commerce » - enquête réalisée par Harris interactive pour le compte de l'Ademe – juin 2020

des outils pour inciter les entreprises à optimiser les tournées de livraison. Mais leur impact sur le comportement des consommateurs est faible. Malgré les difficultés de mise en œuvre ou d'acceptabilité, un signal prix à leur égard paraît nécessaire en complément des mesures à destination des professionnels pour orienter leurs comportements vers davantage de sobriété.

Faire payer la livraison, et en particulier la livraison express, à un tarif incluant son impact environnemental, notamment en matière d'émissions de CO₂, serait un moyen efficace de réguler le comportement des consommateurs et de l'amener vers davantage de sobriété, pour autant que ce coût lui soit explicitement répercuté. Cette proposition recouvre plusieurs notions différentes consistant à combattre la notion de livraison gratuite : obliger l'expéditeur à indiquer dans la facture le coût de livraison, et faire payer au client final le coût de livraison réel auquel on ajoute le paiement des externalités, ce dernier devant être reversé à la collectivité.

Si elle est répercutée sur le consommateur, une mesure de taxation des colis, assortie d'une surtaxe des livraisons instantanées, paraît répondre à l'objectif de guider le comportement du consommateur vers une plus grande sobriété en matière d'émissions de CO₂. Une mise en œuvre permettant de s'assurer des résultats peut cependant se révéler particulièrement complexe pour de multiples raisons : il n'existe pas (encore) de méthodologie pour attribuer le coût des externalités à chaque livraison, une part des colis arrivant directement de l'étranger... La question de l'efficacité de la mesure au regard de son périmètre (français ou européen) devra être posée.

Les stratégies collaboratives peuvent s'appuyer sur le développement d'outils numériques et un dialogue régulier et la concertation entre les parties prenantes, que ce soit au sein de la chaîne logistique elle-même, entre acteurs privés et publics, ou avec les riverains et ONG, grâce notamment à la mise en place des chartes de logistiques urbaine. Mais la diversité des acteurs impliqués et la complexité des modèles économiques associés demanderont beaucoup d'agilité de la part des acteurs publics pour adapter les mesures aux différentes situations.

Aussi, il conviendrait de créer les conditions d'une régulation efficace et lisible, propre à encourager les collaborations et mutualisations. À cet égard, l'émiettement, au sein d'une même zone urbaine, des décisions de régulation dans certains domaines (typiquement la circulation ou le stationnement) constitue sans nul doute un frein. La présence d'une autorité organisatrice sur le périmètre pertinent et dotée des moyens d'action appropriés serait un facteur de lisibilité et de cohérence de l'action publique.

L'urgence climatique impose de se concentrer sur les mesures qui ont le plus fort impact ou à tout le moins d'écarter celles qui n'en ont pas ou vont à l'encontre du résultat escompté. Cette capacité d'évaluation repose sur la disponibilité de données suffisantes : elle peut nécessiter la création d'un véritable observatoire de la logistique urbaine et le recours à de nouvelles méthodes de collecte.

4.7 Piloter dynamiquement les politiques publiques en fonction des évolutions des incertitudes

Le devenir des mobilités est incertain, à la fois du fait de l'ampleur des développements technologiques encore à faire, des impacts du dérèglement climatique et des autres enjeux environnementaux, et aussi de l'acceptation incertaine de certains leviers économiques qui, parfois après des années d'acceptation silencieuse, se transforme en véritable opposition lorsque la mesure va entrer en vigueur (gilets jaunes ou bonnets rouges).

4.7.1 L'ampleur des mesures de sobriété nécessaires reste incertaine

De ce fait, l'ampleur des politiques publiques qui devront être menées, y compris en matière de sobriété, reste également très incertaine. Elle demandera donc à être réévaluée au cours du temps au fur et à mesure que de nouvelles informations seront recherchées et obtenues. Ceci devra donc amener à réviser périodiquement des politiques publiques (du type de celles déjà existantes comme la PPE¹³⁷ ou la SNBC).

On ne peut pas exclure que des mesures de sobriété particulièrement contraignantes soient nécessaires si les nouvelles informations s'avéraient inquiétantes, que ce soit du côté des technologies ou des conséquences du changement climatique.

4.7.2 Produire des plans intégrant les effets possibles dans divers scénarios et les actualiser tous les cinq ans

À cet effet, afin de ne pas perdre un temps précieux dans la mise en œuvre des mesures, il est important de produire des plans d'actions contrastés « au cas où » (ou « *what if* »). Ces plans d'actions, à réviser périodiquement par exemple tous les cinq ans, pourraient être guidés par des trajectoires de la valeur du carbone se situant, de manière plus ou moins importante, au-dessus d'une trajectoire de référence comme celle du groupe présidé par Alain Quinet menant à 250 €/tCO₂ en 2030 et 775 €/tCO₂ en 2050.

De manière à pouvoir les mettre en œuvre rapidement à grande échelle le cas échéant, il conviendrait d'en expérimenter la mise en place à plus petite échelle afin de s'assurer de leur faisabilité technique et de leur acceptabilité. Un parangonnage de démarches similaires étrangères peut également être utile dans ce contexte.

Ces plans d'actions contrastés devraient également conduire à la mise en place de dispositifs de précaution raisonnables (réservations de terrains pour des infrastructures massifiées, dispositions d'urbanisme, renforcement des actions de recherche à long terme).

La prévention de deux principaux risques est le cœur de cette logique de plans d'action : réagir trop peu revient à s'exposer à des dommages considérables, amplifiés par les risques liés aux irréversibilités ; mais réagir trop, ou de façon malencontreuse en raison d'informations insuffisantes, c'est risquer des efforts d'évitement se révélant *in fine* disproportionnés, et difficilement supportables par l'économie nationale.

4.7.3 Faire de l'acceptabilité le cœur de la réflexion et non son accessoire

Ces plans d'action pourraient utilement intégrer l'ensemble des décisions publiques aux échelles territoriales appropriées, et conduire à des dialogues notamment entre l'État et les autorités organisatrices de la mobilité pour une plus grande réactivité de l'ensemble des pouvoirs publics face aux incertitudes. Au-delà, l'association de la société civile à leur élaboration permettra de les améliorer et sera un gage de leur future acceptabilité.

4.7.4 Préparer les échéances lointaines par des jalons crédibles

L'incertitude devant l'acceptation d'un levier économique, qui peut conduire l'opinion publique à le refuser lorsqu'il prend sa pleine mesure, plaide pour la mise en œuvre d'une

¹³⁷ Programmation pluriannuelle de l'énergie

<https://www.ecologie.gouv.fr/programmations-pluriannuelles-lenergie-ppe>

palette de leviers économiques différents (même s'ils se chevauchent parfois), et pour une préparation de leur mise en œuvre de sorte qu'elle apparaisse comme s'inscrivant dans une « continuité naturelle » : ainsi, l'interdiction de la vente des véhicules thermiques en 2040 pourra être considérée comme allant de soi si, l'année précédente, 90 % environ des véhicules neufs vendus n'émettent pas de gaz à effet de serre d'origine fossile. Sinon, l'objectif risque d'être repoussé, le moment venu.

4.7.5 Approfondir l'application des méthodologies de la décision en avenir incertain

Les approches concrètes et explicites de prise en compte des temporalités dans les processus de décision publique sont encore assez rares et la question de la prospective des mobilités semble un champ privilégié pour des réflexions approfondies : certaines des technologies envisageables ne sont pas aujourd'hui matures, mais supposent des anticipations fortes, les coûts sont incertains, les comportements des parties prenantes aux signaux des pouvoirs publics sont peu prévisibles, y compris avec des possibilités de rejet massif et brutal. Le rapport thématique « risques et incertitudes » réunit des éléments de méthodologie, propose des inventaires de risques et la définition d'arbre des décisions, présente des travaux simplifiés réalisés avec des outils sommaires, appliqués au secteur de la mobilité des voyageurs, permettant la mise en œuvre de calculs d'options réelles ou d'autres méthodes. Le but est ici d'insister sur la nécessité de développer ces sujets de façon approfondie avec des outils beaucoup plus complets et robustes.

4.8 Favoriser le développement des industries permettant la décarbonation du transport et le recyclage

La France possède dans le domaine des transports des entreprises industrielles qui sont à la pointe de la technologie et qui sont parmi les premières au monde dans leur domaine, que ce soit dans l'automobile, le ferroviaire ou l'aéronautique. Il s'agit non seulement de grands groupes connus dans le monde entier, mais aussi de leurs réseaux de sous-traitants qui par l'excellence, parfois mondiale, de leurs techniques concourent à la réussite de la filière dans laquelle ils s'inscrivent. Ces secteurs vont être d'autant plus impactés par la transition vers la neutralité carbone qu'ils utilisent les énergies fossiles. L'exemple de Kodak montre que les acteurs historiques peuvent avoir du mal à anticiper la révolution qui concerne leur secteur. Dans un monde concurrentiel, ce sont d'abord ces entreprises qui doivent inventer les transports du futur et en préparer la réalisation.

Mais, en s'inspirant du manifeste franco-allemand pour une politique industrielle européenne adaptée au XXI^{ème} siècle¹³⁸, ou de la Communication de la Commission européenne en faveur d'une nouvelle stratégie industrielle pour l'Europe¹³⁹, l'État peut chercher à mener une véritable stratégie de politique industrielle en faveur des industries permettant le transport décarboné.

L'État peut ainsi assumer classiquement un rôle d'accompagnateur en :

- participant aux recherches de très long terme qui dépassent l'horizon de temps

¹³⁸ <https://ue.delegfrance.org/manifeste-franco-allemand-pour-une#Manifeste-franco-allemand-pour-une-politique-industrielle-europeenne-nbsp>

¹³⁹ *Une nouvelle stratégie industrielle pour l'Europe* Communication de la commission au Parlement européen, au Conseil européen, au Conseil, au Comité économique et social européen et au Comité des régions, COM/2020/102 final

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?qid=1593086905382&uri=CELEX%3A52020DC0102>

habituel et le cadre classique de vision d'un industriel : hydrogène dans les avions, batteries organiques... ;

- cherchant à accompagner le développement des entreprises innovantes et le passage à l'échelle : c'est typiquement le cas de l'aide apportée aux expérimentations de navires ou de bateaux neutres en carbone, utilisant l'électricité, l'hydrogène vert, l'ammoniac, le GNL associé à un dispositif de capture du CO₂ produit... ;
- suscitant des coopérations à l'échelle européenne des entreprises capables de relever les défis de demain : c'est typiquement l'exemple des PIIEC¹⁴⁰ dans le domaine des batteries et de l'hydrogène.

Il peut également favoriser une politique de la demande, au-delà des aides directes ou indirectes aux entreprises, afin d'entrer dans un cercle vertueux dans lequel l'augmentation des ventes conduit à une accélération du progrès technologique et à une baisse du prix des produits, entraînant de fait une augmentation de la demande. C'est notamment l'exemple du bonus/malus ou du suramortissement pour les véhicules propres, ou des mesures du PIA¹⁴¹ en faveur de l'hydrogène.

Plus généralement, il appartient à l'État de créer un climat de confiance et de partenariat avec les filières concernées pour les aider, notamment par l'évolution des textes et l'instauration d'un cadre réglementaire propice à l'expérimentation, par les développements des politiques de recherche adéquates, par le soutien à l'innovation et les mesures financières appropriées, à inventer les produits et l'organisation industrielle du monde neutre en carbone de demain.

L'industrie automobile représente aujourd'hui plus de 210 000 emplois¹⁴², la filière aéronautique et spatiale emploie directement 263 000 salariés¹⁴³, la filière ferroviaire française représentant quant à elle plus de 200 000 emplois industriels directs autour du matériel roulant, des infrastructures et de la signalisation. Le soutien à ces secteurs, crucial en terme d'emploi, est destiné à aider les entreprises concernées à produire des véhicules et des engins décarbonés.

- Pour le secteur automobile, il s'agit de l'aider à se repositionner sur le véhicule électrique et sur la fabrication des batteries, mais aussi, de manière peut-être moins connue, sur la fabrication de moteurs électriques, sur le recyclage des batteries ainsi que sur le développement de l'ordinateur de bord des véhicules¹⁴⁴.
- Pour le secteur aéronautique, qui représente une industrie fortement exportatrice en France, la poursuite des recherches sur l'avion du futur et la montée en puissance d'une filière de biokérosène (voire d'e-kérosène) sont une priorité.

¹⁴⁰ Depuis 2014, les projets importants d'intérêt européen commun (PIIEC) autorisent les États membres à contourner les règles de concurrence. Ils permettent de subventionner massivement des projets d'industrialisation dans des secteurs stratégiques. En temps normal, seules les aides à la R&D sont autorisées. <https://www.usinenouvelle.com/article/les-piiec-se-multiplient-pour-re-lancer-des-filieres-technologiques-en-europe.N1079984>

¹⁴¹ Programme d'investissements d'avenir <https://www.gouvernement.fr/le-programme-d-investissements-d-avenir>

¹⁴² Source Insee : <https://www.insee.fr/fr/statistiques/2016146>

¹⁴³ <https://www.insee.fr/fr/statistiques/5896539>

¹⁴⁴ Cf. page 71 et suivantes du rapport du député Damien Pichereau sur le déploiement du véhicule autonome en Europe : <https://www.ecologie.gouv.fr/soutien-linnovation-dans-domaine-du-vehicule-automatise-remise-du-rapport-du-depute-damien-pichereau>

- L'accompagnement du dynamisme émergent du secteur ferroviaire doit se poursuivre dans le sens indiqué par le récent avenant au Contrat stratégique structurant la filière autour des enjeux d'innovation :
 - décarbonation des derniers engins thermiques (trains hydrogènes et hybrides) ;
 - fabrication de locomotives à batteries sur de courtes distances ou, sur de plus longues distances en particulier pour le fret, de locomotives hybrides (caténares et batteries) ou à hydrogène ;
 - allègement (et recyclage) des matériels roulants et infrastructures adaptées aux différents types de services (y c. en zones moins denses) ;
 - performance et intensification d'usage du réseau grâce au déploiement de la digitalisation des systèmes d'exploitation.
- Pour le secteur maritime et fluvial, il s'agit de soutenir le développement de la propulsion ou de l'assistance à la propulsion vélique, ainsi que les expérimentations d'énergies alternatives aux énergies fossiles (gaz naturel liquéfié avec capture et stockage du CO₂, hydrogène, méthanol, éthanol, diméthyléther)¹⁴⁵ : les solutions électriques constituent, quant à elles, une solution idéale pour des trajets plus courts, en particulier pour le fluvial et les ferries.
- Sans oublier la consolidation et le développement de la filière française de fabrication du vélo (électrique ou non)¹⁴⁶.

Pour permettre que la reconversion d'un certain nombre d'entreprises ne laisse pas de territoire en déshérence, il est enfin souhaitable de mettre en place des dispositifs d'aide à la reconversion des salariés concernés, mais aussi de soutenir les territoires et les collectivités concernés par des projets de territoire volontaristes.

Enfin, le changement technologique lié à la décarbonation de l'économie conduit aussi à identifier de nouveaux besoins en minéraux dont certains deviennent rares ou sont contrôlés par un nombre réduit de pays et à renforcer les filières de recyclage correspondantes.

C'est à cette condition que pourront se développer sur notre territoire les filières industrielles de demain non seulement pour les motorisations alternatives dans l'automobile, les poids lourds, l'aéronautique, le maritime et le fluvial, mais aussi pour le recyclage et le véhicule autonome. Ces politiques qui doivent pouvoir être réorientées en fonction des résultats constatés, devront être poursuivies dans le temps au-delà des alternances politiques.

Dans ce cadre, il est important d'accorder à l'État et à ses services dans le choix des aides à l'innovation un droit à l'erreur ou à des reports imprévus. Certaines des technologies prometteuses aujourd'hui pourront en effet buter sur des obstacles techniques imprévus et nul ne peut prédire avec certitude les technologies qui s'imposeront dans le monde de demain. Le véhicule autonome de niveau 5 devait, selon les annonces, être prêt en 2020, le sera-t-il seulement en 2030 ? À quelle date un avion à hydrogène sera-t-il réellement envisageable ? Quel sera le carburant neutre en carbone des navires du futur ? La généralisation des engins électriques, qui devrait permettre une réduction très importante des émissions de gaz à effet de serre du transport, sera-t-elle acceptée par nos concitoyens ?

¹⁴⁵ Voir Le paragraphe 2 de l'article 25 de la loi de finance initiale 2021-1900 du 30 décembre 2021 pour 2022, https://www.legifrance.gouv.fr/download/pdf?id=tUj-YzZKSB-nAqvlqBHix4iX_erjixoTD_lj3AVXRfk

¹⁴⁶ Cf. rapport de la mission parlementaire sur la filière économique du vélo à paraître en 2022.



Annexes

Annexe 1. Participants à la démarche

Comité de pilotage

La démarche de prospective a été organisée par un comité de pilotage réunissant le CGEDD et France Stratégie ainsi que les animateurs des groupes thématiques :

Dominique Auverlot, Nadine Asconchilo, Francis Beaucire, Régine Bréhier, Geoffroy Caude, Jean Colard, Yves Crozet, Pascal Hornung, Michel Massoni, Jincheng Ni, Bérengère Mesqui, Pierre-Alain Roche, Alain Sauvant et Michel Savy.

Relecture et consultations

Plusieurs membres du CGEDD ont accepté de relire et commenter tout ou partie des documents :

Philippe Ayoun, Jean-Christophe Baudouin, Bruno Depresle, Pascal Douard, Sandrine Godfroid, Denis Huneau, Patrick Lambert, Bernard Larrouturou, Marianne Leblanc Laugier, Philippe Ledenvic, Sylvie Mathon, Michel Pinet, Michel Rostagnat, Arnaud Zimmermann.

La mise en forme et la parution de ces rapports n'auraient pas été possibles sans le travail de Lucinda Dinis da Silva et de Marie Andre-Verhaeghe, les assistantes de la section Mobilité Transport du CGEDD ainsi que de la cellule de communication du CGEDD.

Par ailleurs ont été consultés avant publication du rapport :

- La formation transports de la commission de l'économie du développement des comptes de l'environnement
- L'Union des ports de France et France Logistique pour les volets marchandises
- L'ensemble des participants aux séminaires transversaux réunis tout au long du chantier dans des séances plénières

Intervenants extérieurs ayant présenté des exposés à l'occasion des séances plénières

Lors des séances plénières, le comité de pilotage a demandé à différents experts d'éclairer divers aspects essentiels à la démarche ou de présenter des travaux récents (ne sont pas repris ici les nombreux exposés faits lors des séances d'atelier qui figurent dans les rapports thématiques) :

- Exposé de Thomas Earl de Transport et environnement sur « *how to decarbonize transport* » et de Luis Martinez et Mallaury Trouvé du FIT sur Outlook 2019
- Exposé sur la mobilité en Chine en 2050 par Jincheng Ni de France stratégie et Hervé de Tréglodé consultant
- Exposé contextuel sur l'évolution du comportement des Français, et en particulier des plus jeunes, à l'égard du développement durable par Sandra Hoibian du CREDOC
- Intervention de Hérald Ruijters Commission européenne sur la Stratégie de mobilité durable et intelligente de la Commission européenne
- Exposé d'Alain Petitjean du groupe ALPHA sur le télétravail.

Groupe plénier

Le groupe plénier réunit l'ensemble des participants aux ateliers. Il s'est réuni neuf fois au cours de la démarche, la plupart du temps en visio-conférence.

Nom	Prénom	Organisme
ROCHE	Pierre-Alain	CGEDD/MT
SAUVANT	Alain	CGEDD
AYOUN	Philippe	CGEDD/MT
ASCONCHILO	Nadine	CGEDD/MT
CAUDE	Geoffroy	CGEDD/MT
HUNEAU	Denis	CGEDD/MT
AUVERLOT	Dominique	CGEDD/MT
NATAF	Jean-Michel	CGEDD
BANOUN	Sylvie	CGEDD
LEDENVIC	Philippe	CGEDD
MASSONI	Michel	CGEDD/MT
MENAGER	Thierry	MIGT Bordeaux
TORDJMAN	Florence	CGEDD
CARON	Philippe	CGEDD
LE DALL	Jean	CGEDD
HORNUNG	Pascal	CGEDD/MT
BREHIER	Régine	CGEDD/MT
FULDA	Bruno	CGEDD
VIORA	Mireille	CGEDD
CORREZE-LÉNÉE	Patricia	CGEDD
ROSTAGNAT	Michel	CGEDD
LAMALLE	Michel	CGEDD/MT
DOUARD	Pascal	CGEDD
BERNARD-GELY	Anne	CGEDD
LAMBERT	Patrick	CGEDD/MT
CASTEL	Florence	CGEDD/MT
BAUDOUIN	Jean-Christophe	CGEDD/MT
PONCET	Jean-Damien	CGEDD/BEA-TT
TAILLÉ-ROUSSEAU	Jérôme	CGEDD/MT
DEPRESLE	Bruno	CGEDD

Nom	Prénom	Organisme
LECONTE	Manuel	CGEDD/MT
ZIMMERMANN	Arnaud	CGEDD/MT
BARBUSSE	Alexandre	CGEDD/AQST
TEYSSIER	Julien	CGEDD/AQST
COLARD	Jean	France Stratégie
NI	Jincheng	France Stratégie
MESQUI	Bérangère	France Stratégie
MEILHAN	Nicolas	France Stratégie
DEGREMONT	Marie	France Stratégie
POCHEZ	Rémi	DGITM
DELACHE	Xavier	DGITM
PHILIPPE	Hervé	DGITM
BOULNOIS	Olivier	DGITM
PENG-CASAVECCHIA	Sophie	DGITM
DOLCEMASCOLO	Victor	DGITM
SAUMTALLY	Tibye	DGITM
DIVOL	Elois	DGITM
MOULINIER	Jean-Marc	CGDD
TREVIEN	Corentin	CGDD
MEUNIER	David	CGDD
BESSIÈRE	Sabine	CGDD
GEFFRET	Pierre	CGDD
MARIGOT	Sokorn	CGDD
JACOD	Anne	CGDD
MOTAMEDI	Kiarash	CGDD
KOLLI	Zehir	CGDD
JULIEN	Arantxa	CGDD
PREVOST	Thibault	CGDD

Nom	Prénom	Organisme
BUREAU	Dominique	CGDD
ROUCHAUD	Didier	CGDD
GRIMAL	Richard	CEREMA
VERRY	Damien	CEREMA
CHANUT	Stéphane	CEREMA
CLEMENT	Cécile	CEREMA
PELATA	Julie	CEREMA
FARENC	Jean-Matthieu	CEREMA
DE SOLÈRE	Hélène	CEREMA
COTTET	Marion	CEREMA
CABANNE	Isabelle	DGEC
HAJJAR	Joseph	DGEC
BORMAND	Victor	DGEC
PRÉVORS	Lionel	DGEC
TRÉMÉAC	Yann	ADEME
BIGO	Aurélien	ADEME
BARBUSSE	Stéphane	ADEME
MADRE	Jean-Loup	IFSTTAR
KOVARIK	Jean-Bernard	IFSTTAR
COMBES	François	IFSTTAR
DABLANC	Laetitia	IFSTTAR
KONING	Martin	IFSTTAR
FRÉMONT	Antoine	IFSTTAR
LATERRASSE	Jean	IFSTTAR
GALLEZ	Caroline	IFSTTAR
TRIGUI	Rochdi	IFSTTAR
GUITTET	Kévin	DGAC
TAMBIDORE	Ilangovane	DGAC
LEPOUTRE	Julien	DGAC
CRÉMEL	Stéphane	Bercy
TARRIER	Franck	Bercy
BETRY	Emmanuel	Bercy
MARTIN	Simon	Bercy
ALCAYNA	Simon	Bercy
LEHMANN	Frédéric	Bercy
PINART	Marie-Gaëlle	Bercy

Nom	Prénom	Organisme
LAVERGNE	Richard	Bercy
BOURDON	Tom	Bercy
SAVY	Michel	ENPC
BOUTUEIL	Virginie	ENPC
QUINET	Émile	ENPC
CROZET	Yves	LAET
RAUX	Charles	CNRS LYON
LEURENT	Fabien	ENPC
PASSALACQ	Arnaud	UA
KAUFMANN	Vincent	EPFL
ORTAR	Nathalie	ENTPE
TOILIER	Florence	ENTPE
GARDRAT	Mathieu	ENTPE
DESJARDINS	Xavier	Université Sorbonne
MAULAT	Juliette	Université Paris 1
DE PALMA	André	Expert
GALIANO	Lino	INSEE
ROUX	Sébastien	INSEE
NGUYEN-LUONG	Dany	IAURIF
WAGNER	Nicolas	ART
COULY	Fabien	ART
DUBOIS-TAINE	Olivier-Paul	Expert
ORFEUIL	Jean-Pierre	Expert
BEAUCIRE	Francis	Expert
BACOT	Marie-Anne	Experte
LEUXE	André	Expert
DE TRÉGLODÉ	Hervé	Expert
HAUET	Jean-Pierre	Expert
LEGO	Léna	Experte
NARRING	Pierre	Expert
BRETEAU	Vincent	CL
DAUDE	Caroline	CL
HANEN	Fanny	SNCF
BOULAND	Anne	SNCF

Nom	Prénom	Organisme	Nom	Prénom	Organisme
BRUNEL	Julien	SNCF	GOUBET	Cécile	AVERE
GERI	Philippe	SNCF	BERETTA	Joseph	AVERE
COLARD	Jean	SNCF	LE BIGOT	Nicolas	CCFA
THERON	Lucas	SNCF	LAGARDE	Dominique	ENEDIS
PENFORMIS	Nathalie	VEDECOM	LE NAIRE	Marie-Laure	RENAULT
VAN CORNEVAL	Pierre	TDIE	MASERA	Régis	ARVAL
DURON	Philippe	TDIE	MEYER	Jonas	ENEDIS
KALAYDJIAN	François	IFPEN	MORTUREUX	Marc	PFA AUTO
BOUTER	Anne	IFPEN	GIRARD	Catherine	RENAULT
SABATIER	Jérôme	IFPEN	TORCHEUX	Laurent	EDF
TERNEL	Cyprien	IFPEN	DASSA	François	EDF
COLDEFY	Jean	ATEC			

Aquarelles

Les aquarelles du rapport transversal proviennent des œuvres réalisées par Christian Assailly, ancien membre permanent du CGEDD. Merci à lui.



Annexe 2. Les résumés des rapports thématiques

Mobilité des personnes

Au-delà de la reprise de la présentation globale de la démarche de prospective des mobilités, le 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.

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 : l'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 et 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 (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 (autosolisme) 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 est aussi largement perfectible. 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, qui se combine à une croissance d'un peu moins de 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 des mobilités des 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 des 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 des 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.

Transports terrestres de marchandises et leur logistique

Ce rapport traite des transports de marchandises par voies terrestres (route, fer, fleuve) et il n'aborde pas le sujet des transports maritimes et des ports qui donne lieu à un rapport thématique spécifique, ni du transport de fret aérien qu'il n'a pas été jugé utile d'approfondir dans le cadre de ce travail.

Le rapport s'intéresse aux différents facteurs explicatifs du niveau des émissions, en particulier aux motorisations, ainsi qu'aux comportements de mobilité des ménages et acteurs économiques qui dépendent aussi des conséquences de l'urbanisation sur la mobilité.

Il cherche ainsi à faire émerger une vision partagée des conséquences d'un certain nombre de choix possibles de politique publique aux différents niveaux, des possibilités de les décentraliser, mais aussi de la gravité des conséquences et des risques associés si certains choix n'étaient pas effectués, à moyen comme à long terme.

Si l'on se place du point de vue des niveaux d'émission, on constate que le transport de marchandises émet environ le tiers des émissions de CO₂ de l'ensemble des mobilités et que le transport routier à soi seul pèse 99 % des émissions du transport terrestre, le fer et le fluvial étant à cet égard marginaux alors que leur part modale se situe au niveau de 10 % des déplacements de marchandises. La prospective développée aborde cette réflexion en combinant performances technologiques et sobriété pour décrire les hypothèses sous-jacentes aux différents scénarios considérés.

L'analyse menée par le groupe fret montre que la prolongation des tendances actuelles (scénario tendanciel) conduirait à un accroissement des émissions du transport de marchandises de près de 50 % à l'horizon 2050 si bien que la neutralité carbone passe par la combinaison d'une décarbonation des motorisations et par une sobriété accrue.

La composante technologique est décrite dans le rapport thématique motorisation. Elle n'est pas suffisante pour aboutir à la neutralité carbone et appelle à un effort de sobriété. L'une des possibilités de sobriété est celle de la massification, qui consiste à la fois à mieux remplir les véhicules (routiers) mais aussi à recourir davantage aux modes ferroviaire et fluvial grâce au transfert modal. Ce transfert ne sera bénéfique du point de vue des émissions de GES que si ces modes parviennent également à se décarboner plus complètement, de façon à ne pas perdre l'avantage compétitif qu'ils ont aujourd'hui en termes d'émission unitaire de CO₂ par rapport à la route sur les types de transport où ils sont pertinents.

Une autre possibilité serait la réduction des besoins de transports de marchandises : le groupe n'a pas exploré l'idée d'une réduction significative du recours à moins de matériaux dans les processus de fabrication de biens. On constate que l'indice de consommation intérieure de matières (*domestic material consumption index*) varie peu depuis quelques années. En outre, la France ne devrait pas connaître à l'avenir de forte diminution des flux terrestres de pondéreux énergétiques (charbon principalement), largement disparus dès les années 1980 avec la montée en régime de la production nucléaire, à la différence de pays où la production d'énergie électrique est encore d'origine thermique.

Néanmoins, une telle possibilité doit être considérée dans le rapport thématique « transport maritime et ports » pour les produits pétroliers (qui sont massivement transportés par oléoducs dans leur parcours terrestre et n'apparaissent donc pas dans cette étude), prolongeant ainsi une réflexion menée en 2013 pour le compte du port de Rotterdam par des consultants associés au programme Climat du club de Rome. Au plan

européen on constate la réduction significative du recours aux énergies fossiles qui, sur la base d'un indice 100 en 2000, passent de l'indice 105 de 2003 à 2006 pour descendre à 80 en 2019 et moins de 70 en 2020, tendance qui ne fera que s'accroître, même s'il faut mettre en regard un report partiel sur les biocarburants.

Les possibilités de sobriété dans le transport de marchandises sont à relier à l'organisation logistique qui a deux grandes composantes : la logistique industrielle et celle de distribution.

Pour la logistique industrielle, la diminution des transports maritimes peut provenir d'une certaine forme de réindustrialisation (*reshoring*) mais, même si une politique industrielle plus affirmée aux niveaux français et européen est mise en œuvre, les effets resteront relativement limités en termes de flux. Le FIT/OCDE pour sa part a considéré les possibilités offertes par l'impression 3D, mais les modélisations auxquelles il procède montrent plutôt un accroissement des volumes de transport au niveau mondial avec peut-être des diminutions au niveau français mais le groupe n'a pas eu accès aux projections réalisées pour la France. L'économie circulaire, le recyclage et l'augmentation possible de la durée de vie des produits consommés vont dans un sens favorable et pourront contribuer à la sobriété même s'il ne s'agit pour l'instant que de signaux faibles.

Pour la logistique de distribution, deux éléments peuvent être considérés :

- Le développement de circuits courts par exemple pour l'approvisionnement en produits frais sur des zones géographiques limitées, mais leur impact environnemental en termes de réduction de GES reste à confirmer, d'autant que les transports routiers par véhicules de moindre taille (VUL en particulier) sont beaucoup moins efficaces, sous l'angle énergétique, que le transport par ensembles routiers « maxi-code ».
- Le rôle des plateformes logistiques ou des plateformes d'éclatement. À côté du volet de la distribution urbaine, l'urgence de mieux connecter les nouvelles plateformes aux modes non routiers demeure une condition nécessaire à une meilleure massification. Des entrepôts urbains plus proches des zones de consommation sont également une voie pour réduire les émissions des livraisons vers le consommateur final. Dans les deux cas, ceci suppose aussi de pouvoir disposer d'une offre foncière adaptée aux besoins accrus de nouvelles plateformes et de trouver un juste équilibre entre les besoins fonciers émergents et les politiques de réduction des artificialisations reprises dans la loi relative à la lutte contre le dérèglement climatique.

Sans disposer d'une modélisation sectorielle prospective des différentes filières de marchandises, le groupe s'est efforcé de quantifier les volumes de transport possibles et les émissions de CO₂ associées de façon à éclairer les principaux scénarios transversaux et à décrire les mesures de politique publique susceptibles d'en permettre la réalisation.

Transport maritime de marchandises et ports

Le transport maritime international a largement contribué à la mondialisation des échanges et représente aujourd'hui environ 80 % des flux physiques d'échanges de marchandises. Si on se limite au cas des trafics maritimes associés aux ports français, ils sont estimés par l'atelier de prospective sur les transports maritimes et sur les ports (TMP) autour de 1 200 milliards de tonnes-kilomètres (Gtkm) à rapprocher des flux de transport réalisés par la voie terrestre qui sont estimés autour de 420 milliards de tonnes-kilomètres. Ceci tient évidemment à la distance moyenne parcourue, autour de 3 900 km pour le transport maritime touchant les ports français.

En s'efforçant d'intégrer aussi les soutages réalisés dans d'autres ports européens, l'atelier de prospective TMP est parvenu à quantifier les émissions de CO₂e du transport maritime français autour de 12 Mt pour le seul transport maritime dont une fraction de l'ordre de 6 % est réalisée au port ou en attente au port.

La décarbonation des mobilités qui est l'objet principal de la réflexion prospective engagée par le CGEDD et France Stratégie concerne évidemment le fret qui pèse le tiers des émissions actuelles et le transport maritime sans être le secteur prépondérant en termes d'émissions liées au transport de marchandises du fait de la forte massification qui le caractérise doit également s'organiser pour contribuer à la décarbonation plus large du secteur des transports.

Trois des six scénarios proposés de façon transversale ont été approfondis par l'atelier TMP : le scénario « laxiste » ou scénario « du pire climatique », le scénario « ambition de base » (ou « moyen ») assez proche de celui étudié par la SNBC avec les mesures supplémentaires permettant de se rapprocher de la décarbonation en 2050 et le scénario dit de « neutralité carbone » visant à réduire les émissions au niveau de la part des puits de carbone affectable à cette activité.

L'une des difficultés principales propre à cette prospective porte à la fois sur les incertitudes relatives aux solutions technologiques permettant aux navires de se propulser avec des énergies décarbonées qui prévaudront dans les décennies à venir, sur la capacité à obtenir au niveau international de l'OMI un rythme de réduction suffisamment rapide des émissions, puisque dans le cas français le transport maritime international représente 94 % des flux contre 6 % pour le trafic domestique et sur l'interaction entre les décisions plus volontaristes de l'UE et celles de l'OMI.

Faute d'avoir pu disposer des outils permettant de recourir à une prospective par filière et faute de pouvoir convenablement apprécier les conséquences de la transition énergétique en cours sur les flux transportés à l'avenir par la voie maritime, l'atelier a dû s'appuyer sur les travaux prospectifs globaux menés tant par l'OMI pour le transport maritime que par le FIT/OCDE pour l'ensemble des transports de marchandises au niveau mondial.

L'atelier a ainsi retenu pour le scénario « laxiste » une évolution de trafic tendancielle qui accroît le trafic projeté en 2050 d'un peu moins de 50 % par rapport à la référence initiale de 2017, tandis que dans le scénario « ambition de base » il ne croît que de 30 % environ et que dans le scénario « de neutralité » il plafonne en 2045 autour de 1 610 Gtkm soit à 15 % du niveau de 2017 pour décroître ensuite faiblement sous l'effet d'un moindre recours aux énergies carbonées et d'un plafonnement du volume de matières utilisées par habitant.

Dans le scénario recherché « de la neutralité » (« pari technologique »), les émissions maritimes de CO₂e incluant pour 15 % celles de la plaisance et de la pêche, qui se situaient en 2008 à 18,1 Mt et à 13,8 Mt en 2018 continuent de décroître puisqu'elles descendent à

6,2 Mt en 2040 et à 2,6 Mt en 2060 sous l'effet principal de la combinaison des mesures de *design* et de *rétrofit*, ainsi que de l'introduction d'une flotte utilisant des moyens de propulsion décarbonés dès 2025 avec dans une moindre mesure le recours à des réductions de vitesse limitées et à de l'assistance ou de la propulsion vélique.

Parallèlement, les émissions au port qui se situaient autour de 1,1 Mt en 2008, passent de 828 kt en 2018 à 654 kt en 2025 pour descendre à 155 kt en 2040 et à 30 kt en 2060, sous l'effet de la généralisation de l'électrification à quai et d'une nouvelle génération de navires à propulsion décarbonée.

Au total la décarbonation du transport maritime est apparue accessible à l'horizon 2050 sans qu'il soit nécessaire de recourir à l'hypothèse d'une réduction significative des vitesses des navires qui aurait pour conséquence de désorganiser profondément les chaînes logistiques internationales. La phase de transition actuelle qui utilise des propulsions au GNL principalement pour limiter les autres émissions atmosphériques nocives comme les SOx pourra être prolongée si la capture et le stockage à bord des navires s'avère faisable et économique. Les expérimentations d'autres technologies de propulsion se multiplient à l'heure actuelle avec des technologies adaptées aux différents types de navires. L'ajustement des dispositions de l'OMI et européennes restera nécessaire pour des conditions d'équité de concurrence, de même que la mise en place de mécanismes de marché assurant une compétition équitable entre armateurs en pointe sur les technologies décarbonées et ceux qui le sont moins. Par ailleurs, les incertitudes portant sur la nature des flux de matière engendrés par la production d'énergie décarbonée et sur les coûts associés à l'utilisation de ces nouvelles formes de propulsion n'ont pas pu être abordées par l'atelier dans ses réflexions faute de disposer de données fiables à ce sujet mais elles pèseront de façon significative sur le rythme de décarbonation du transport maritime.

Mobilités-aménagement

L'aménagement du territoire et des villes influe sur la demande et les besoins de mobilité. Dans une réflexion de court terme sur la mobilité, son impact ne se manifeste que par la prise en compte du réseau d'infrastructures de transport pour calculer les trafics attendus. La prospective à 2040-2060, avec pour objectif d'atteindre la neutralité des émissions nettes en 2050, ouvre une autre dimension avec la possibilité ou la nécessité de modifier l'aménagement du territoire pour rendre le besoin de déplacements plus économe en émissions de CO₂.

Aller vers une plus grande densité de l'habitat apparaît comme une évidence pour réduire les émissions. Ce principe est au cœur des politiques publiques depuis des décennies. Les études le confirment de même que la simple lecture des données des enquêtes mobilité : on se déplace moins en voiture et on consomme moins de carburants dans les territoires les plus denses. Mais lorsque l'on s'intéresse à un modèle économique de ville optimale en terme de déplacements et d'occupation de l'espace par les ménages, le résultat est plus nuancé et montre qu'il n'y a pas de ville idéale unique. C'est parfois une ville centrale desservie uniquement par des transports collectifs, parfois une ville centrale avec une couronne desservie par la voiture, et même une ville peu densément peuplée sans transports collectifs. Le choix parmi celles-ci est déterminé par les valeurs relatives des coûts des déplacements en voiture et en transports collectifs, du prix du foncier, de la tarification du carbone (déterminée *ex ante*) dans un contexte où les ménages préfèrent toutes choses égales par ailleurs des logements plus grands.

Ce résultat conduit à regarder l'urbanisation des pays d'Europe du nord et centrale pour voir si leur modèle présente un intérêt et si des principes d'aménagement s'en dégagent. On constate sur quelques cas que ces pays semblent mieux préserver leurs espaces naturels et agricoles, recourir un peu moins à la voiture et parfois plus aux transports collectifs et que la densité de l'habitat reste raisonnable et offre une qualité de vie. Deux grands schémas émergent : d'une part, le polycentrisme maillé (modèle de Christaller, 1933) comme en Allemagne et, d'autre part, le modèle des doigts de gant comme à Copenhague. Le premier situe les services, les emplois, les divers biens dans une hiérarchie de villes et villages qui équilibre l'offre et la demande pour chacun d'entre eux tout en minimisant les déplacements des habitants. En France, cela correspondrait à l'ancien modèle des préfectures et des sous-préfectures. Le second schéma limite l'urbanisation à une implantation le long des axes structurants, en particulier de transports collectifs, existants ou à venir.

Cette boîte à outils n'est pas d'utilisation facile en France à deux titres. En premier, notre pays présente une plus faible densité de population que les pays examinés avec des espaces peu chers. L'autre relève d'une culture de l'urbanisme qui a intégré la question de la densité et l'a associée à l'importance de la nature dans les représentations et les pratiques de l'espace habité (l'eau aux Pays-Bas, le rural et le forestier pour l'Allemagne par exemple). L'application de ces modèles à l'espace français requiert un effort plus net pour surmonter les facilités offertes par la faible densité à la dispersion des ressources (habitat principalement).

Comme pour les travaux des groupes mobilité et motorisation, trois ambiances d'aménagement ont été retenues (fil de l'eau, sobre, très sobre) qui permettent des gains croissants en réduisant le besoin de mobilité mais au prix de contraintes sur l'urbanisme également croissantes. Des récits sommaires sont proposés pour illustrer les axes de l'aménagement à appliquer, pour préciser la gouvernance nécessaire au succès de cette mise en œuvre et pour décrire les réactions possibles des acteurs à cette politique. Ce

dernier point est important car la politique de lutte contre la périurbanisation sur les dernières décennies est assez proche et n'a pas eu les résultats escomptés probablement par une mauvaise prise en compte du souhait des ménages d'avoir aussi des logements abordables et si possible grands.

Pour l'aménagement très sobre, il est proposé de ramener l'urbanisation, et la construction neuve, des plus petites communes vers les plus gros bourgs et les villes moyennes. La ligne directrice serait de rechercher la création de gros bourgs d'environ 6 000 habitants au moins à l'horizon 2030-2040, ordre de grandeur à adapter aux territoires, et l'arrêt de toute nouvelle urbanisation dans les communes plus petites, en favorisant les gros bourgs et bourgs situés sur une ligne de transport collectif structurant et capacitaire. Cette évolution permettrait de concilier densité et envie d'habiter en créant des sites pouvant offrir de manière viable une plus large palette de services et de commerces, facilitant les déplacements pour le travail et les études avec les transports collectifs, y compris avec un accès à pied à la gare (ou station), et offrant la proximité de la nature. Même si les SCoT et les PLUi peuvent en être les outils, avec le renfort des SRADDET, la gouvernance des intercommunalités actuelle n'est pas adaptée à une telle évolution car elle maintient des logiques communales. Face au comportement des ménages, ce mode de densification paraît plus respectueux de leurs aspirations. Cependant, le développement justifié de la voiture électrique induira une pression importante à la dispersion de l'habitat comme la voiture à moteur thermique a pu le faire par le passé.

La réduction de la mobilité carbonée pourrait être ainsi, en retenant le haut de la fourchette, de 7,5 % en 2050 et 9,8 % en 2060. Cet impact modeste d'un meilleur aménagement peut sembler peu significatif. Ces valeurs résultent de la faiblesse du flux annuel des constructions face au stock de logements. Mais comme on le voit, cet effet s'amplifie avec les années. Il est donc vital d'engager rapidement une nouvelle politique d'aménagement et de la maintenir sur le long terme. Les nouvelles générations devraient être plus sensibilisées à la lutte contre le réchauffement climatique et il faut leur avoir préparé le terrain avec l'aménagement qui s'inscrit dans le temps long et aussi avec une culture à insuffler. Cette politique est aussi nécessaire à la préservation de la biodiversité et à la lutte contre l'artificialisation.

Motorisation

En 2006, le Conseil général des ponts et chaussées a publié une démarche de prospective des transports à horizon 2050 : celle-ci avait permis de tracer des futurs possibles des transports et de la mobilité et d'en déduire quelques recommandations pour l'action publique. Les évolutions intervenues depuis cette date et la nécessité d'aller vers un monde neutre en carbone, prévue par l'Accord de Paris, obligent à revoir la copie. Dès lors, le Conseil général de l'environnement et du développement durable s'est associé à France stratégie pour mener à bien cette nouvelle démarche.

Le rapport rend compte des réflexions menées par le groupe de travail consacré à la décarbonation des motorisations et des véhicules de transport. Elles s'appuient sur :

- un constat d'échec : loin d'avoir connu une diminution, les émissions de gaz à effet de serre du transport sont toujours en 2021 supérieures à celles de 1990 ;
- un objectif extrêmement ambitieux : celui de la neutralité carbone qui suppose de réduire quasiment à zéro les émissions à la circulation du secteur des transports à 2050 et de diminuer l'empreinte carbone des véhicules ;
- une perspective technologique favorable : les analyses menées, à partir d'ACV simplifiées, des différentes motorisations alternatives et des carburants associés montrent la possibilité de gains extrêmement importants dans la réduction des émissions de gaz à effet de serre. Des réductions par 4 à 2040 et 8 à 2060 (par rapport à 2019) de l'empreinte carbone des véhicules particuliers du segment C et des VUL mis en service à ces dates, et par 7 à 2040 et 10 à 2060 pour les bus et les PL 40 tonnes seraient ainsi envisageables. L'approche retenue par le rapport est différente pour l'aérien et le maritime en raison de données plus incertaines en ACV : une division par 2 des émissions directes à 2050 et une neutralité carbone à l'horizon 2060-2070 des segments domestiques et internationaux de l'aérien et du maritime serait possible. Pour le fluvial un objectif de neutralité carbone des émissions directes à l'horizon 2050 est enfin concevable ;
- la construction de trois scénarios technologiques possibles : le développement de ces technologies sera plus ou moins important suivant l'évolution des comportements, la mise en place des leviers économiques et la coopération mondiale.

Pour arriver à de tels résultats, la décarbonation technologique des transports doit avancer suivant cinq axes distincts de manière simultanée :

- le déploiement accéléré des motorisations et des carburants « neutres en carbone », indispensable pour atteindre la neutralité carbone ;
- la mise au point de motorisations et de carburants similaires pour les poids lourds (les premiers prototypes électriques ou hydrogène apparaissent), pour les avions (la filière industrielle du biokérosène est à développer et les recherches sur les avions électriques (à courte distance) et hydrogène à mener) ainsi que pour le maritime (les différents types de carburants et de motorisations neutres en carbone doivent être expérimentés) ;
- la poursuite des efforts d'efficacité énergétique pour réduire les émissions durant la période transition et pour diminuer la facture énergétique du consommateur ;
- la réduction des émissions de la fabrication des véhicules et de leurs batteries qui devrait devenir au-delà de 2040 le facteur essentiel de l'empreinte, suppose la mise en place (si possible à court terme) d'une méthodologie de calcul de ces

émissions, l’affichage de leurs résultats, la définition d’objectifs de réduction (européens de préférence) et la prise en compte de ces valeurs dans un certain nombre de leviers économiques (bonus/malus en particulier) ;

- la réduction des émissions liées à la mise en place et à l’entretien des infrastructures.

Certains considéreront la perspective de la neutralité carbone comme irréaliste. Le constat d’échec, évoqué plus haut, montre en effet que les réductions envisagées ne se concrétisent pas forcément. Vouloir, malgré tout, les réaliser suppose de mettre en place une régulation et des leviers économiques adaptés - et, si possible, pérennes dans le temps - qui soient acceptés de la part des Français.

La définition d’une trajectoire de référence du signal prix carbone pour l’ensemble de l’économie est une boussole nécessaire pour guider l’action des pouvoirs publics et des acteurs privés avec comme corollaire la nécessité de calculer, dans une approche socioéconomique, le coût de la tonne de CO₂ évitée pour les différents projets envisagés et de privilégier ceux pour lesquels cette valeur est la plus faible. Compte tenu de l’acceptation incertaine par la population de toute taxe nouvelle ou de l’alourdissement des taxes existantes, la transition sera vraisemblablement orchestrée non pas par un seul outil économique traduisant ce signal prix du carbone dans l’économie, mais par une palette de leviers économiques (et réglementaires), principalement les normes européennes sur les émissions des véhicules et les dates fixant l’interdiction de vente de véhicules neufs émetteurs de gaz à effet de serre, mais aussi l’instauration des zones à faibles émissions, les ZFE-m, le bonus/malus, le suramortissement pour les véhicules professionnels, la prime à la casse... L’augmentation de la contribution climat énergie ou la mise en place, comme la Commission européenne le propose, d’un marché de quotas propre aux transports et au chauffage, n’est probablement pas indispensable pour atteindre à terme la neutralité carbone du parc puisque les mesures précédentes devraient mener progressivement à l’interdiction de la vente des véhicules thermiques émetteurs de gaz à effet de serre d’origine fossile. Elle devrait cependant permettre de limiter les émissions durant la phase de transition et d’accélérer le passage à des véhicules décarbonés : elle rencontrera un degré d’acceptation d’autant plus important que les alternatives au véhicule thermique deviendront crédibles pour une grande majorité des usages et se seront largement diffusées.

Cette multiplicité de leviers économiques pose le problème de la visibilité (et de la crédibilité) de long terme du signal prix et nécessite un pilotage fin, d’autant plus difficile que ces leviers seront décidés à des niveaux différents : international (OMI, OACI, CCNUCC), européen, national, local. L’accompagnement industriel de cette transformation et les mesures redistributives à mettre en œuvre constituent bien entendu un élément clef de réussite de cette transformation : il faut en prendre conscience et les étudier de façon à en minimiser les effets.

Risques et incertitudes

Le rapport présente les travaux du groupe de travail sur les incertitudes et les risques, qui comprennent des revues de littérature, des tentatives de caractérisation de ces risques et incertitudes dans le domaine spécifique des mobilités et des transports, avec un focus plus particulier encore sur la mobilité des personnes, et enfin des tentatives d'emploi de diverses méthodes pour réaliser une quantification et une analyse des arbres de décision en avenir incertain.

Il s'agit ici essentiellement, avec des outils très simples qui ont supposé des simplifications drastiques, évidemment contestables, d'attirer l'attention sur l'intérêt de développer des démarches structurées et approfondies.

Le rapport du groupe « risques et incertitudes » présente quelques premiers éclairages sur les méthodes utilisables pour éclairer la décision à long terme dans le domaine des mobilités.

Il se compose d'une synthèse qui analyse la nature des principales incertitudes ainsi que d'une présentation d'ensemble des approches utilisables.

Il est complété par plusieurs annexes :

- une annexe tente un premier inventaire des incertitudes touchant les mobilités, que ce soit sur le plan technologique, sociétal ou environnemental, et esquisse une présentation de l'approche basée sur les options réelles, à savoir la valeur économique de la possibilité mais non l'obligation de prendre une décision le moment venu en fonction notamment des circonstances du moment ; elle est appliquée notamment au cas d'une décision de lancement d'un programme d'ampleur de recherche et développement technologique, ainsi qu'au cas de lancement d'une politique de sobriété des mobilités en cas de survenance d'informations nouvelles négatives relatives à la gravité du dérèglement climatique ;
- une autre annexe explore les avantages et inconvénients comparatifs de deux méthodes de décision face aux incertitudes environnementales, l'une (« minimax ») très protectrice par rapport au risque environnemental mais qui prend en compte l'intégralité du champ des possibles, l'autre (« infogap ») un peu moins protectrice, mais présentant dans la plupart des cas des coûts d'évitement plus mesurés, dans la mesure où le champ de la décision possible est restreint à des situations jugées *a priori* présentant une probabilité minimale d'occurrence ;
- une troisième annexe tente une comparaison des coûts d'évitement et des dommages dans le secteur des mobilités terrestres de voyageurs dans divers scénarios ; sur cette base, elle explore, sur la base d'un modèle de type Monte-Carlo, la valeur apportée par une politique de décision dite flexible, dépendant des informations acquises progressivement dans le futur par rapport à une politique de décision non flexible, définie *a priori* en début de période en fonction des informations disponibles en amont ; elle montre l'avantage des politiques flexibles, sauf dans le cas où la présence d'incertitudes radicales pourrait amener à des issues très négatives d'une politique flexible en cas de survenance très rapide de conséquences très négatives ne pouvant être anticipées en amont, ou survenant plus rapidement que le temps de réaction compatible avec l'inertie technique et sociétale du système considéré.

Ces premiers éléments sont inévitablement très exploratoires et mériteraient des explorations complémentaires.

Annexe 3. Tranches de vie mobile dans une trajectoire menant à la neutralité carbone

Cette annexe a pour objet d'essayer de décrire des tranches de vies et de mobilités tout au long d'une trajectoire menant à la neutralité carbone de la mobilité des voyageurs et des marchandises d'ici 2060 (empreinte, international, tous GES inclus).

Il s'agit de présenter les évolutions possibles de quelques profils types contrastés sur les plans social et territorial. Ils n'ont pas vocation à être représentatifs ou exhaustifs, mais plutôt, en cohérence avec le document de trajectoire global, à illustrer ce qui pourrait se passer dans divers cas, plus ou moins concrets.

Pour accroître la lisibilité, chacune des principales caractéristiques sociales et territoriales des profils a, par convention, été figée dans le temps. En situation réelle, ces paramètres sont bien entendu susceptibles d'évoluer sur la durée.

Il s'est donc agi de prendre une photographie à échéances régulières sur la période 2019-2060, de différentes situations familiales (personnes vivant seules ou en couple, avec ou sans enfant), au regard de leurs besoins de mobilité, de manière à couvrir une tranche de vie. La prise en compte d'enfants permet également de relativiser les évolutions de mode de vie avec l'âge au cours de la vie active entre les jeunes et les seniors.

Ce sont donc des situations imaginaires, s'appuyant sur les enseignements de la prospective, mais développées librement par leurs auteurs : elles comportent ainsi une part subjective liée aux projections de chacun sur l'avenir... Pour bien marquer la nature singulière de son contenu, cette annexe a ainsi été rédigée dans une forme de langage traduisant les réactions et questionnements de chacun des protagonistes, parfois comme s'ils s'exprimaient eux-mêmes. Toute ressemblance avec des personnes qui existent ou existeront serait purement fortuite.

Premier cas : ménage A constitué de quatre personnes

Il s'agit d'un ménage composé de deux adultes, une ou un adolescent et une ou un enfant, et résidant dans une maison individuelle d'une banlieue périurbaine éloignée au sein d'une grande métropole. Nous les identifierons de manière neutre par A1, A2, A3 et A4.

Situation en 2019 : A1 40 ans, A2 38 ans, A3 16 ans, A4 7 ans

Les deux adultes travaillent à plein temps et perçoivent chacun un revenu proche du revenu médian des Français.

La personne A1 est employée dans la fonction publique et la personne A2 est commerçante.

A3 est scolarisé au lycée et A4 l'est dans le primaire.

Le travail de A1 est situé dans le centre-ville à 25 km du domicile, et celui de A2 dans le périurbain à 15 km du domicile.

Le ménage part en vacances trois fois par an, en France à 600 km en moyenne de son domicile.

Le ménage possède deux voitures thermiques, achetées d'occasion.

A2 en utilise une tous les jours car il n'y a pas d'offre en TC. Cette voiture est également utilisée pour aller faire les courses en grande surface le samedi.

A1 se rend tous les jours avec la seconde voiture jusqu'à son travail et doit se lever très tôt pour trouver des places libres dans le parking ; il est possible, mais compliqué de se rendre à son travail en TER, car il y a plusieurs correspondances et il faut utiliser la voiture pour se rendre à la gare ; d'une part, les places de parking sont limitées et, d'autre part, des détériorations ont été constatées. A1 ne prend donc le TER que le vendredi, pour éviter les embouteillages trop importants le soir pour rentrer à la maison.

A3 va au lycée avec le bus scolaire, A4 est accompagné vers son école primaire par A1 et doit donc se lever très tôt et rester à la garderie du matin.

Pour les vacances loin du domicile, le ménage se déplace avec l'une de ses voitures. Il n'utilise ni le train ni l'avion.

Situation en 2025 : A1 a 46 ans, A2 a 44 ans, A3 a 22 ans et A4 a 13 ans

L'une des voitures du ménage doit être remplacée du fait de sa vétusté.

Avoir deux voitures électriques n'est pas envisageable, du fait des trois trajets interurbains de 600 km et de la nécessité de patienter au moins une demi-heure pour la recharge au milieu du trajet.

En revanche, le ménage s'est renseigné auprès de ses voisins qui ont acheté un véhicule électrique à crédit. Grâce à un bonus jugé appréciable, les mensualités restent compatibles avec les revenus, mais moins avantageuses qu'en cas d'achat d'un véhicule d'occasion thermique. Il y a par ailleurs trop peu d'offre de véhicules d'occasion électriques. Le ménage se porte donc sur une petite voiture thermique récente d'occasion.

A1 a gardé une partie des habitudes du temps de la crise sanitaire du début des années 2020 ; il télétravaille un à deux jours par semaine, notamment le vendredi, ce qui lui permet de ne pas devoir conduire ces jours-là ; il ne prend donc plus le TER le vendredi.

Le ménage va moins souvent au centre commercial en voiture et se fait de plus en plus livrer des courses commandées sur internet, habitude prise durant les confinements sanitaires des dernières années.

A3, qui a un peu d'argent de poche l'été, le dépense sur internet. Des paquets sont livrés d'autant plus souvent à la maison qu'ils sont parfois retournés dès réception, ce qui agace un peu A1 et A2 qui tentent de convaincre A3 d'aller au moins jusqu'au point relais le plus proche, puisque leur nombre a beaucoup augmenté.

Situation 2030 : A1 a 51 ans, A2 a 49 ans, A3 a 27 ans et A4 a 18 ans

La seconde voiture thermique qui n'avait pas encore été remplacée, a fini par lâcher. Une voiture électrique ferait faire des économies, compte tenu du prix du carburant, mais ce véhicule sert aussi pour les longs voyages. Le niveau d'équipement en bornes de recharge ultra-rapides à 200 kW a permis de réduire considérablement le temps d'attente, mais leur coût d'utilisation est élevé. Le nombre des trajets à longue distance restant faible, l'achat d'un véhicule électrique serait toutefois envisageable.

Par ailleurs, des restrictions ont été instaurées en centre-ville pour les voitures thermiques. Il faut ainsi les garer sur des parkings relais puis prendre un bus vers le centre-ville. Cela reste compliqué, malgré le développement de parkings relais, et le stationnement est payant. Dans ces conditions, l'achat à crédit d'une voiture électrique d'occasion semble

être la meilleure solution, d'autant que les restrictions en centre-ville vont encore bientôt s'accroître. Le modèle envisagé présente une assez grande autonomie, ce qui permettra de ne pas perdre trop de temps pour la recharger sur la route des vacances.

Le ménage achète donc à crédit une voiture électrique d'occasion. Il possède toujours par ailleurs la voiture thermique acquise d'occasion en 2025.

Désormais, les nouvelles voitures doivent être suivies par satellite. Cela permet aux secours d'arriver plus vite sur les lieux et de diffuser des conseils en cas de bouchons pour mieux les éviter. La voiture électrique du ménage est assez récente pour être concernée. A3, qui a fini ses études d'informatique, explique à ses parents comment tout cela fonctionne.

A3 a bien veillé, même si c'est un véhicule d'occasion, à inciter ses parents à contrôler ses émissions de GES en ACV, avant de cocher sur l'imprimé d'achat la case certifiant qu'ils en avaient pris connaissance. Le véhicule a été construit en Europe et sa batterie a été importée d'Asie par la mer, mais avec un navire à propulsion décarbonée qui a permis de réduire son impact. A1 et A2 ont été impressionnés de voir que toutes ces précisions étaient accessibles sur internet.

Situation en 2040 : A1 a 61 ans, A2 a 59 ans, A3 a 37 ans et A4 a 28 ans

La voiture thermique achetée en 2025 a fini par lâcher peu après 2030.

À l'usage, le ménage a été plutôt satisfait du véhicule électrique d'occasion acheté en 2030. Compte tenu notamment des progrès des bornes de recharge et de la réduction du temps nécessaire pour un « plein », le ménage était donc disposé à acheter une seconde voiture électrique, quitte à la prendre moins grande. A3 n'habite en effet plus au domicile familial et A4, étudiant en master de permaculture alternative, a bien indiqué à ses parents qu'il n'est de toutes façons pas envisageable qu'ils achètent autre chose qu'une voiture électrique si vraiment ils en ont besoin, ce dont A4 n'est du reste pas convaincu.

Le recyclage de ce modèle mis en circulation la première fois en 2028 n'était pas vraiment bien prévu, ce qui pose de nombreux problèmes de pollution. Des normes minimales de recyclabilité ont été imposées depuis son acquisition. S'y ajoutent des normes sur l'extraction des minerais et leur transformation, ces processus étant soumis à des quotas de carbone. Des normes ont également été adoptées sur la sécurité au travail dans les mines, car toutes les tâches n'ont pas pu être robotisées et quelques humains sont encore obligés d'intervenir. Ces diverses réglementations renchérissent le coût d'achat des voitures électriques, mais dès lors qu'il n'y a presque plus que des véhicules électriques proposés à l'achat et que les recharges sont très rapides, le choix est quasiment imposé si on veut un véhicule en propriété. Il serait du reste possible d'acheter en option un prolongateur à bio-carburants ou biogaz, mais c'est cher et cela ne vaut pas le coup, sauf si on roule vraiment beaucoup à longue distance, ce qui n'est pas le cas du ménage.

Cette évolution du parc automobile en vingt ans a causé un petit souci, car les voitures électriques sont devenues majoritaires et les recettes de la taxe sur les carburants commencent à fondre. Or, il faut continuer à payer pour la maintenance routière. La baisse des recettes a entraîné une dégradation des routes avec multiplication des nids de poules. A1 et A2 redoutent que les décideurs politiques imposent à chacun de contribuer, d'autant que la circulation a également augmenté du fait de la baisse du coût au km des voitures électriques. Les gens les utilisent de plus en plus, pour tout et n'importe quoi, même si l'effet n'est pas encore trop significatif en 2035.

Les pouvoirs publics ont dans un premier temps privilégié l'augmentation des taxes sur les carburants fossiles pour encourager la migration vers l'électrique, mais aussi pour financer

la réparation des nids de poules. La diminution des véhicules thermiques en circulation ne permet plus désormais de payer l'entretien.

Comme le coût de production des voitures électriques a également baissé, il n'y a plus de bonus à l'achat.

Seules les voitures, dont les durées de vie importantes des batteries amènent à un bon ratio d'émissions en cycle de vie ACV, sont encore l'objet d'un bonus pour les encourager.

Finalement, plutôt que d'acheter une nouvelle voiture à proprement parler, le couple a acheté un « pack » de mobilité équivalent à une voiture, donnant droit à un quota de déplacements en véhicules autonomes partagés, dont le fonctionnement est assez pratique. Le véhicule vient vous chercher le matin. Parfois, il y a des correspondances où il faut monter dans un minibus et même parfois prendre le métro ou le train. L'avantage, c'est que cela coûte un peu moins cher à l'année que la propriété d'une voiture. À la soixantaine, c'est un peu compliqué pour A1 et A2 de s'habituer, mais ils en ont beaucoup entendu parler et A4 les a accompagnés dans la démarche. A3, qui vient d'avoir un enfant, vit sans voiture et partage déjà la plupart des objets du quotidien ; alors, bien sûr, A3 a validé le choix de ses parents.

Le ménage a eu le choix entre plusieurs packs : le « premium » avec lequel on attend peu, les correspondances sont rares et on est en voiture ou minibus ; le « basique+ » avec lequel on doit attendre souvent un peu plus longtemps, parfois on voyage avec un gros bus et le « basique » avec lequel on utilise très souvent des gros bus, beaucoup de train et de métros avec pas mal de correspondance.

A1 a choisi le « basique+ ». Les temps d'attente vers le centre-ville sont corrects. De plus, A1 a le droit d'emprunter les voies réservées sur la route express et la joie de doubler ceux qui sont restés dans leur voiture tout seul et le regardent avec envie lui permet de bien commencer sa journée. Le « basique » aurait certes été moins cher, mais moins confortable : il aurait fallu trop souvent attendre longtemps le TER, il y a quand même des limites à tout ! A1 travaille depuis 40 ans, est un peu plus à l'aise financièrement qu'à ses débuts, alors... Et le « premium » restait quand-même un peu trop cher. A2 a gardé pour l'instant sa voiture individuelle, pour se rendre dans sa boutique en périurbain. Sur la route orbitale que prend A2, il n'y a pas d'embouteillages, alors une voie réservée ne lui apporterait pas à grand-chose ; autant garder sa voiture pour l'instant. D'autant que le covoiturage fonctionne bien, A2 s'est fait des amis depuis quatorze ans de pratique.

Un minibus autonome emmène les enfants du quartier à un point de regroupement vers le car scolaire. C'est appréciable, les petits aujourd'hui ne sont plus obligés de se lever tôt pour partir dans la voiture des parents comme c'était le cas vingt ans plus tôt. Pour les plus grands, avec les nouvelles pistes cyclables continues, le vélo est la meilleure solution pour aller à l'école et cela maintient la forme. La courbe de l'obésité en France a enfin fini par s'inverser, grâce à la pratique accrue des mobilités actives. Elles sont toujours encouragées pour des raisons de santé publique et il ne faut pas relâcher ces efforts vertueux.

En effet, à bien y regarder, avec les véhicules autonomes qui viennent vous chercher pour pas cher en bas de chez vous, les gens marchent moins. Pour permettre de continuer à redresser les comptes de la sécurité sociale, celle-ci réfléchit donc à une solution pour « gamifier » la marche à pied, en s'inspirant des chasses au pokemon du temps jadis, ou à faire payer plus cher l'usage des véhicules autonomes, sauf pour les personnes à mobilité réduite.

Les quartiers proches des métropole, même un peu éloignés du centre comme le leur, se sont bien densifiés tout en privilégiant les cheminement piétons et vélos. Il n'y a donc pas

d'excuses pour ne pas marcher lorsqu'on est valide. Il y a encore pas mal de grues de chantier qui continuent à construire près des villes, mais les constructions ont changé. On pense un peu à de Le Corbusier écologique : il y a des arbres et des potagers dans des étages intermédiaires ouverts. C'est d'ailleurs là que A4 a fait un stage l'année dernière.

Situation en 2050 : A1 a 71 ans, A2 a 69 ans, A3 a 47 ans et A4 a 38 ans

A1, A2, A3, A4, tous sont passés en abonnement à un pack mobilité ; seuls quelques irréductibles détiennent encore une voiture en pleine propriété. Parfois, quand on rentre tard le soir, la voiture qu'on a utilisée peut rester dans le garage. Il s'agit d'une option, mais elle est peu chère et est donc couramment souscrite. Si la voiture est appelée tôt le matin, un robot ouvre la porte du garage pour la laisser partir ; le mode électrique est très silencieux et on ne l'entend pas, mais on reçoit une alerte sur notre montre connectée.

En renforçant le télétravail, A1 qui s'approche de la retraite a pu baisser un peu son palier d'abonnement, ce qui fait quelques économies en plus du repos. La fonction publique s'est alignée sur les entreprises pour maintenir un taux de télétravail important. L'autre soir, la cheffe de A1 est passée avant son départ du bureau et lui a dit : « A1, tu es un de ceux qui sont le plus présents au bureau, tu baisses ma moyenne. Le bureau de direction a dit qu'il pourrait ne pas être gentil avec nous dans les budgets l'an prochain, alors, même si je sais que ce n'est pas ta génération, est ce que tu pourrais faire un petit effort en ne venant plus le mardi aussi ? ». A1, qui a connu l'avant pandémie de 2019, s'est donc résigné à rester chez lui un jour de plus et a même réussi à négocier une mise à jour logicielle anticipée vers un système informatique plus convivial à son domicile, car le sien datait...

En fait, ce que sa supérieure ne pouvait pas deviner, c'est que souvent les enfants de A3, déjà lycéens, sont aussi en télé-études le mardi et ils viennent chez leurs grands-parents, parce qu'il y a plus de place, mais ils ne restent pas toujours dans les chambres. A1 a dû trouver une solution et, par chance, son voisin le laisse travailler dans son salon, à charge de revanche quand c'est lui qui a un appartement trop chargé. Ils sont devenus amis au fil des années et les échanges de service se sont multipliés, ce qui est très naturel chez les plus jeunes comme leurs voisins. D'ailleurs, eux ont transformé leur garage en chambre d'amis quand ils sont arrivés en 2040 dans le quartier. Ils n'ont jamais eu de voiture.

Après, pour ceux qui n'arriveraient pas à s'arranger avec leur voisin, il y a toujours l'appli qui propose « je bosse chez mon voisin pour éviter les ados » : c'est A3 qui en a parlé au dernier apéritif familial en visio grand écran (ça évite des déplacements, on se voit plus souvent et avec les technologies aujourd'hui, sur très grand écran c'est presque comme si on était dans la même pièce). Reste que les frais de commission sont un peu excessifs !

Insensiblement, les voitures et minibus des abonnements se sont remplis. Chaque année pas grand-chose, mais la tendance est là. Cela réduit les émissions de gaz à effet de serre et c'est bien, même si le transport n'est plus trop un problème de ce côté-là. Cela réduit également les embouteillages, c'est bien aussi, mais parfois, il faut attendre un peu plus. Pour A2 qui ne va pas vers le centre-ville, parfois les temps d'attente ont pas mal augmenté ; on peut certes les faire baisser en retenant le pack d'abonnement supérieur, mais c'est plus cher et pour l'instant A2 tient bon, même si l'âge se fait parfois sentir. Les lieux d'attente sont bien abrités, il y a des possibilités d'y prendre un café, on peut y travailler aussi si on veut : après tout on finit par y être presque aussi bien que chez soi.

A2 gère les commandes de la journée pendant son trajet. C'est que le commerce a bien changé depuis ses débuts de carrière : le client anticipe ses achats. Il a tout de même fallu rendre l'utilisation de ces lieux d'attente payants au-delà d'une durée raisonnable, car certains les prenaient pour leurs bureaux. Raison du succès de la politique de qualité de

l'accueil des lieux de correspondance !

Comme A1 et A2 ne prennent pas ou très peu l'avion, encore moins que A3 et A4 qui sont déjà assez peu intéressés, ils touchent un petit quelque chose sur les achats de points des grands voyageurs aériens, ce qui met un peu de beurre dans les épinards si l'on peut dire, car maintenant il y a un petit malus sur le beurre aussi (c'est un aliment carboné). A1 et A2 aiment bien le beurre et la viande depuis leurs jeunes années, même si ce goût est beaucoup moins répandu chez les jeunes générations. C'est donc à leur tour de payer un malus, mais comme il s'agit de production locale, le malus est moindre et cela compense partiellement. Finalement, les bonus de la mobilité payent une partie du malus alimentaire, et le reste paye des dépenses qu'on appelle d'adaptation au changement climatique ; il a par exemple encore fallu reloger les résidents des zones nouvellement inondables, ou ce qu'on appelle le coût des dommages liés au changement climatique, réparer les dégâts de la nième tempête. Cela coûte de plus en plus cher et ne va pas sans doute pas s'améliorer avant très longtemps. Et là, ce ne sont plus des nids de poule qu'il faut réparer ! Heureusement qu'on commence à voir les effets de la densification des zones urbaines amorcée il y a trente ans. On peut loger beaucoup plus de ménages.

Deuxième cas : ménage B composé d'une personne adulte et de son enfant

Il s'agit d'une personne isolée élevant son enfant, habitant en maison individuelle dans un petit bourg rural. Nous les identifierons de manière neutre en tant que B1 et B2.

Situation en 2019 : B1 a 30 ans et B2 a 11ans

B1 travaille à 80 %, avec des revenus légèrement inférieurs au salaire minimum mensuel, sous le régime de l'auto-entrepreneuriat dans le secteur des services à domicile.

B2 fréquente le collège.

B1 se déplace chez ses clients et parcourt 40 km par jour ouvrable en moyenne.

B1 visite une personne de sa famille une fois par an en France à 200 km et passe le reste de ses vacances à son domicile.

B1 possède une voiture qui est nécessaire, au vu de son activité. Il n'y a pas de transports corrects depuis le domicile de B1 vers ses lieux d'intervention. Il s'agit d'une voiture thermique d'occasion, un peu ancienne, qui consomme beaucoup. Heureusement, B1 connaît quelqu'un qui peut la réparer pour pas trop cher.

La voiture est utilisée également pour les courses car il n'y a pratiquement pas de commerce dans le bourg et elle sert également pour le déplacement interurbain annuel. B1 ne prend ni le train ni l'avion.

B2 part au collège en car scolaire, c'est quasi gratuit.

Situation en 2025 : B1 a 36 ans et B2 a 17 ans

Pas de grand changement dans la situation du foyer. La vieille voiture tient toujours tant bien que mal. B2 ne veut plus trop y monter, sauf pour les vacances, mais ronchonne tout le trajet. B1 a pris des renseignements sur les voitures électriques, car les frais d'essence pèsent très lourd par rapport au revenu. Impossible toutefois d'en acheter une, faute d'économies. Payer un loyer pour le leasing d'une voiture électrique lui ferait peut-être

faire des économies, mais il faudrait que ce soit une occasion et il n'y a presque pas d'occasion électriques. S'engager sur un loyer est aussi risqué en cas de baisse d'activité et il n'est pas question pour B1 de réduire les ressources pour B2. En conséquence, tant que sa vieille voiture tient...

Évidemment dans le secteur des services à domicile (B1 assure la promenade et le toilettage de chien à domicile) le télétravail n'est pas possible.

B2 part au lycée en vélo électrique quand il ne fait pas trop mauvais ; c'est bon pour sa santé et lui fait prendre l'air. B2 recourt au covoiturage en hiver ou s'il fait trop chaud l'été.

Comme le centre bourg s'est un peu repeuplé, de nouveaux commerces ont ouvert, ce qui évite de se déplacer loin pour les biens de première nécessité.

Situation 2030 : B1 a 41 ans, et B2 a 22 ans

La vieille voiture n'était plus réparable et il a bien fallu en changer. Il était hors de question d'acheter neuf, faute de finances suffisantes, et toujours pas possible de s'engager sur un loyer au cas où l'activité baisserait.

Ceci dit, l'achat à crédit d'une voiture électrique d'occasion est peut-être une bonne opportunité. Il commence à y avoir du choix dans le marché de l'occasion. Le problème est de savoir combien de temps durera la batterie : heureusement, B1 a réussi à obtenir du garagiste une garantie de reprise à l'issue du crédit, c'est rassurant. À l'usage, B1 mesure les économies, car il n'y a plus besoin d'aller à la pompe à essence.

Cela lui permet d'ailleurs de prêter plus souvent sa voiture à B2 le week-end sans que cela lui coûte grand-chose : c'est un plus auquel B1 n'avait pas pensé initialement.

Toujours pas de télétravail possible dans son métier, mais B1 remarque que c'est, à l'inverse, de plus en plus souvent le cas pour ses clients qui sont présents pendant les soins apportés au chien.

B2 est encore en étude et suit une grande partie de ses cours en visioconférence. C'était déjà le cas lycée et cela s'est progressivement amplifié. B2 va donc à l'université en moyenne deux fois par semaine avec un abonnement tous transports. Une navette passe dans le village et dépose les passagers à la gare à 24 km. Après une heure de TER, B2 prend un vélo en libre-service la plupart du temps. C'est long pour un aller-retour, mais deux fois par semaine ça reste gérable à son âge.

Aux heures creuses, la navette dépose au bourg des livraisons de colis. B1 et B2 peuvent aller chercher leurs commandes dans un des huit points relais : c'est pratique.

Situation en 2040 : B1 a 51 ans et B2 a 32 ans

Les véhicules autonomes partagés sont également arrivés dans le bourg où vit B1. Le problème c'est que les clients sont un peu partout dans les villages et qu'il n'y a pas toujours la possibilité de baisse des coûts de revient liés au partage du véhicule. B1 aurait aimé pouvoir opter pour un tel service, mais l'intérêt n'est pas évident dans son cas. C'est sûr que la conduite autonome, c'est confortable. Ce n'est pas indispensable et ce qui intéresse B1 en priorité, c'est la solution la moins chère, vu le niveau de ses revenus.

Les taxes sur l'essence se sont alourdies, mais cela ne la concerne plus, puisqu'elle roule désormais en véhicule électrique.

Du coup elle a renouvelé sa voiture quand la précédente achetée d'occasion en 2030 a

lâché. C'est bien sûr toujours une électrique avec une batterie pas très grosse. Les systèmes d'aide à la conduite font désormais partie de l'équipement standard : le valet de parking est bien commode (adieu les créneaux !) et même un peu de conduite autonome sur certains parcours ; ce n'est pas possible dans toutes les conditions comme sur les véhicules haut de gamme les plus modernes et les plus récents, mais dans beaucoup un peu quand même. C'est B2 qui l'a influencée.

Le gestionnaire du service de voitures partagées a démarché B1 pour lui proposer son service « Ma voiture vous rend service toute seule » ; en gros, les jours où B1 n'en a pas besoin (un client qu'elle peut rejoindre en bus, un jour ou même une demi-journée sans client), sa voiture est intégrée dans le réseau du gestionnaire ; elle est utilisée par d'autres personnes puis elle est de retour au domicile de B1 à l'heure convenue.

Bien sûr, il a fallu ranger dans la boîte à gants et dans une boîte dans le coffre quelques objets, mais cela se passe plutôt bien. Il y a une garantie de retour à temps, assortie d'une pénalité en cas de retard, ce qui est rarement arrivé. De l'autre côté, si jamais un client l'appelle au dernier moment, le gestionnaire lui met une voiture à disposition ; bien sûr, il faut payer un petit plus si on dépasse le quota prévu. Il y a plusieurs packs possibles, avec plus ou moins de flexibilité, mais globalement c'est plutôt avantageux à condition bien sûr de viser le bon pack.

Au début, elle avait choisi le pack « basique », le moins cher, mais avec de forts suppléments en cas de besoin non prévu. Finalement ce n'était pas le meilleur plan et B1 a retenu l'option « flexibilité + ».

B2 a terminé ses études et commencé à travailler. B2 utilise le service de voiture partagée pour aller à son nouveau travail. C'est parfois cocasse car la voiture qui lui est mise à disposition est la voiture de sa mère ! C'est assez logique cependant que le système de réservation lui propose le véhicule le plus proche, mais ce n'est pas toujours le cas.

B2 a le permis de conduire, mais même à la campagne, certains n'en voient plus l'utilité. Dans les villes, B2 sait qu'il y a longtemps que le permis n'intéresse plus les jeunes, mais à la campagne c'est plus récent.

Parfois B1 n'a pas de covoitureur, mais des comarchandises qu'elle récupère soit aux points relais du bourg et qu'elle dépose en passant dans les habitations isolées, soit à la métropole et peut alors en déposer aux points relais. La plateforme qui gère tout ça, « cocoliszen à la campagne » est vraiment bien faite. Ça rapporte peu, mais c'est surtout un acte citoyen encadré : pas de soucis, que des avantages !

Situation en 2050 : B1 a 61 ans et, B2 a 42 ans

L'abonnement pour la mobilité partagée devient de plus en plus « évolutif » comme l'a dit hier le président de « l'Autorité régionale anti-carbone » qui a décidé le 26 décembre dernier d'un nouveau tour de vis sur les paramètres de réglage. Cela veut dire concrètement que pour que les véhicules soient mieux remplis, il faudra attendre davantage.

D'ailleurs, c'est quoi ce machin de plus, l'Autorité régionale anti-carbone ? L'Europe avait pris des engagements internationaux de baisser les émissions de gaz à effet de serre, avec des pénalités en cas de dépassement des quotas alloués. L'Europe s'était garantie en négociant le même type de pacte avec les États, qui avaient fait de même avec les collectivités locales. Pour éviter de devoir payer des pénalités en cas de dépassement, de plus en plus fortes, il a fallu prendre au sérieux ces budgets carbone. Du coup, la Région de B1 (la plupart des Régions l'a fait aussi) a désigné une bande d'inconnus pour prendre des

mesures automatiques pour réduire les émissions si rien n'est fait ou pas assez. Et pourtant, elles ont déjà tellement baissé par rapport à la jeunesse de B1, surtout dans les transports. Comme ce n'est toujours pas très populaire de continuer à réduire ses émissions, tout le monde est bien content que l'Autorité anti-carbone du coin le fasse avant chaque 31 décembre. Leur travail est assez tranquille, ils doivent calculer le montant du dépassement, puis prendre les mesures adéquates et proportionnées à cet effet. Ceux qui ne sont pas contents peuvent toujours faire un recours juridictionnel, qui vérifie le caractère proportionné des mesures. Pour éviter les trop nombreux recours, on a d'ailleurs dû créer un médiateur et faire davantage de pédagogie. Certaines Régions encadrent l'action de l'Autorité anti-carbone avec des procédures, d'autres peu ou pas du tout ; certaines y mettent des cadres en pré-retraite, d'autres des citoyens tirés au sort ; il paraît qu'une commission d'évaluation pourrait comparer les mérites de ces diverses solutions. En tous cas, pour les transports du quotidien il n'y a plus beaucoup de marge.

B1 et B2 ne prennent jamais l'avion et bénéficient en retour d'une partie des points qu'ont dû acheter les grands voyageurs en avion ; ces derniers sont désormais rejoints par des grands voyageurs routiers, surtout s'ils s'accrochent à leur voiture et refusent de la partager avec d'autres : il y a encore des irréductibles, tant pis pour eux ! Pour le foyer B, le durcissement progressif des barèmes lui rapporte un peu d'argent, ce qui va permettre à B1 de passer au niveau premium de son abonnement de mobilité partagée.

Le bourg ayant pas mal grossi depuis trente ans sans s'être vraiment étalé, B1 a davantage de travail à proximité de son domicile et c'est agréable d'aller travailler quelquefois à pieds.

Troisième cas : ménage C composé d'une personne seule

Il s'agit d'une personne sans enfant résidant seule en immeuble collectif dans une banlieue proche du centre d'une très grande métropole. Nous l'identifierons en tant que C1.

Situation en 2019 : C1 a 29 ans

C1 est cadre et perçoit des revenus d'environ 3 fois le revenu médian.

Son lieu de travail est situé en centre-ville à 10 km de son domicile. C1 doit voyager pour son travail, à raison de dix fois par an en Europe et parfois au-delà.

C1 effectue pour ses loisirs une douzaine de voyages interurbains par an : cinq en France à environ 800 km en moyenne, cinq en Europe à environ 3 000 km en moyenne (essentiellement en avion) ; deux en intercontinental à 10 000 km environ et quelques-uns en train.

C1 possède une voiture thermique. C1 pourrait se rendre à son travail en transports collectifs, mais c'est un peu lent et nécessite de prendre un bus, avant le métro puis un autre bus ensuite. De plus, son travail l'amène à rentrer tard certains soirs et sa banlieue connaît des problèmes de sécurité. C1 utilise donc sa voiture.

Pour ses voyages professionnels annuels en France, deux sont effectués en train, deux en voiture et un en avion. Quatre de ses voyages annuels en Europe sont effectués en avion, et un en voiture. Les deux voyages intercontinentaux annuels le sont en avion.

C1 essaie de compenser ses voyages par des dons pour la reforestation, par bonne conscience. C1 augmente ses dons chaque année depuis le début de son activité professionnelle.

C1 commande beaucoup en ligne, nourriture, vêtements et n'hésite pas à renvoyer si ça ne

lui plaît pas...

Situation en 2025 : C1 a 35 ans

La voiture thermique de C1 a pas mal vieilli, mais elle sert finalement assez peu. Pour les voyages en voiture sur longue distance, une voiture électrique obligerait à patienter pendant les recharges, donc c'est non. Le centre-ville a été interdit aux voitures thermiques les plus anciennes les jours de pic de pollution et sa voiture est désormais dans ces classes d'âge. Ces jours-là, C1 prend les transports en commun : c'est long, mais heureusement cela n'arrive que quelques jours par an. Ceci dit, peut-être la question se posera très vite car les vieilles voitures thermiques sont désormais interdites dans la plupart des centres villes.

La copropriété de C1 a de nouveau organisé un vote obligatoire sur l'installation de prises électriques dans le garage. C1 avait voté non jusqu'à présent, mais, cette fois, 20 % de prises électriques ont dû être installées dans le parking. Il n'y avait plus le choix, c'est une nouvelle norme obligatoire de plus et C1 n'a pas apprécié d'avoir dû payer pour cela dans ses charges, même s'il y avait des aides publiques. C1 est favorable, globalement, aux actions contre le réchauffement climatique. Mais C1 avait constaté, lors du premier vote, qu'il n'y avait qu'une seule voiture électrique dans l'immeuble et que cela faisait donc quand même cher pour si peu. Maintenant, les prises installées sont presque toutes utilisées et il a fallu gérer des échanges un peu compliqués de places de stationnement. En vertu de la mise en place d'une « préférence électrique », les possesseurs de voitures électriques sont prioritaires et tout est fait pour pénaliser ceux qui s'accrochent au thermique. On peut donc penser que les 20 % de places équipées vont vite être insuffisantes et que la copropriété va rapidement appeler une nouvelle tranche de travaux. Il aurait donc mieux valu le faire d'un coup !

C1 télétravaille un jour par semaine en moyenne : c'est bien pour pouvoir se concentrer sur ses dossiers et éviter la séquence fatigante bus, métro et second bus. Il est vrai que c'est aussi une solution pratique les jours de pic de pollution. Parfois, il y a une réunion incontournable et son supérieur lui fait comprendre que sa présence est alors requise.

C1 a enfin pu reprendre le rythme des voyages en avion qui avait dû être suspendu pendant la crise sanitaire du début des années 2020. Dans l'avion où C1 somnolait béatement, le commandant de bord a réveillé les passagers en rappelant combien sa compagnie était fière d'incorporer 1 % de bio-carburants et de replanter une forêt dans une contrée lointaine que ses vols long-courrier desservent et qu'il faudrait peut-être que C1 aille voir l'an prochain... C'est peut-être aussi à cause de tout cela que les prix du billet ont un peu augmenté, mais cela n'inquiète pas trop C1.

Ses livraisons lui coûtent aussi plus cher, mais C1 a bien conscience qu'il y a quelques années le service n'était pas facturé au juste prix. Aujourd'hui, C1 a même un voisin, très sympa d'ailleurs, qui est livreur à vélo avec un CDI et de vraies protections sociales.

Situation 2030 : C1 a 40 ans

La vieille voiture thermique a fini par rendre l'âme ; elle roulait encore très bien, mais le contrôle technique a encore été rendu plus sévère et les réparations qu'il aurait fallu faire étaient trop coûteuses. À croire que ce serait fait exprès pour sortir les voitures comme la sienne du marché ! D'un autre côté, de plus en plus de zones lui étaient interdites.

C'est toujours un peu compliqué d'aller en transports au travail, le problème ce n'est pas tant le train, que le bus pour aller à la gare, pas très fréquent surtout le soir. Maintenant, il

y a un minibus sans chauffeur qui circule aux heures creuses pour aller à la gare, le gros bus restant aux heures de pointe quand-même.

Tout cela est intégré dans l'abonnement aux transports collectifs pour un usage raisonnable d'une trentaine trajets par semaine maximum ; au-delà, il y a un petit supplément, mais C1 a les moyens de se le payer. C'est assez bien sécurisé : il y a des caméras un peu partout qui enregistrent tout (il paraît que les enregistrements sont effacés quelques jours après, mais en est-on sûr ?) ; il faut badger, ce qui permet de savoir au moins qui est qui, et la voiture prend les passagers et les dépose en bas de chez eux ; pas de risque à se retrouver loin de son domicile tard le soir. Le transporteur a essayé de proposer une offre régulière réservée aux femmes, mais il fallait attendre plus longtemps et le service a du coup été arrêté, sauf réservation préalable. Et puis en 2030, on peut enfin laisser derrière certaines questions de genre. La sécurité dans les transports c'est pour tous et toutes.

Heureusement, l'épidémie des années 20 est enfin vraiment finie : plus besoin de porter le masque même si dans les transports les plus âgés l'ont gardé.

Du coup, C1 a essayé de voir ce que cela pouvait donner de ne pas racheter de voiture. Pour ses deux voyages en France ou à l'étranger pas trop loin, C1 a pris le TGV pour l'un et l'avion pour l'autre ; et puis son abonnement avec option « loc10+ » inclut dix jours de location par an en France, en Europe ou dans quelques autres pays de plus en plus nombreux. Si on veut louer plus de 10 jours par an, il faut payer, mais un peu moins cher qu'ailleurs et cela reste intéressant quand même.

En fonction des localisations, qu'il s'agisse de ses vacances lointaines ou de déplacements plus proches, C1 réserve une voiture de location sur place ; c'est assez facile, on peut ouvrir la porte avec le code donné par SMS et il faut bien sûr bien photographier tout au départ pour éviter les mauvaises surprises. On peut évidemment rendre la voiture à un autre endroit que celui où on l'a prise : c'est pratique, en particulier quand il faut aller là où les transports ne vont pas.

Finalement, cela lui fait faire des économies et C1 peut aussi louer son emplacement de parking à sa voisine qui a encore une voiture en pleine propriété comme dans le temps jadis ; cela fait un petit plus non négligeable. D'ailleurs, la voisine a acquis un véhicule électrique et elle était bien contente de ne pas avoir à attendre de faire une demande interminable de droit à la prise comme autrefois.

Plus de soucis de contrôle technique non plus avec le package souscrit, ni de mauvaises surprises au contrôle technique : c'est un autre petit plus non négligeable. Adieu les visites chez le garagiste ! Tous les amis de son âge sont en phase avec ça.

Bientôt les vacances pour aller au soleil à l'autre bout du monde. Les prix des billets d'avion ont encore augmenté : il y a maintenant 15 % de biocarburants obligatoires à incorporer et une taxe carbone (qui viendrait financer des recherches sur un hypothétique avion à hydrogène dont personne ne sait si elles déboucheront vraiment un jour). Le pilote a fièrement annoncé ce quota de biocarburants à bord ; C1 a lu dans le journal que ce serait un peu pour cela (et à cause du changement climatique aussi) que le prix de la tortilla aurait flambé et que, du fait des émeutes, C1 ait dû changer de destination pour ses vacances. Sa conscience continue de titiller C1, qui n'est toutefois pas vraiment de la génération Thunberg, récemment nommée ministre de l'environnement de son pays. Non, C1 veut bien compenser, mais tient encore trop à ses grands voyages.

Avec toutes ces nouvelles taxes, c'est évidemment plus cher de voyager, mais avec les économies faites en renonçant à sa vieille voiture, ça compense.

Un « compte individuel de voyages aériens » obligatoire a été instauré. La compagnie lui a demandé de le lier à son compte de miles, ce que C1 fait sans trop s'en rendre compte d'ailleurs en cliquant encore un lien sans le lire vraiment.

Une fois par an depuis peu, C1 reçoit un relevé consolidé de ses kilométrages en avion, qui comprend une documentation sur la contribution du transport aérien au changement climatique ; il y a quelques photos de bétail affamé par une sécheresse de plus ; on est invité à faire une contribution volontaire supplémentaire et il y a même un montant suggéré, proportionnel au nombre de kilomètres effectués. Ça aide C1 à choisir sa compensation parce que la reforestation, depuis le temps que C1 la finance après chaque voyage, ils ont dû repousser les arbres non ?

D'ailleurs, les publicités pour les voyages en avion sont désormais assorties d'un message « voler trop nuit sérieusement à la planète », que les compagnies doivent aussi diffuser à bord après les messages de sécurité en vol. C1 en tient d'ailleurs à peu près autant compte que le « fumer tue » sur ses paquets de cigarettes, autrement dit pas beaucoup. Mais quand même, C1 a 40 ans et se demande s'il ne faudrait pas commencer à changer ?

Sur les vols long-courriers, les compagnies sont obligées de passer, avant la séance cinéma, un petit film de sensibilisation : heureusement, il suffit d'enlever les écouteurs pour attendre le début du vrai film et savourer un voyage tranquille. C'est comme les images sur les paquets de cigarettes, il suffit de ne pas les regarder et tout va (presque) bien.

Pour ses voyages professionnels, comme ils sont de plus en plus chers, il faut maintenant justifier auprès du contrôleur de gestion qu'une visio-conférence n'était pas possible. C'est casse-pieds ! Certes, on peut toujours essayer de trouver un prétexte, mais parfois cela ne passe pas, d'autant plus qu'aller voir le contrôleur de gestion n'est pas un moment très agréable.

Pour les livraisons en zone urbaine, il y a désormais des points relais personnalisés. La copropriété a racheté leur place de parking à plusieurs copropriétaires qui n'en avaient plus besoin. Ceci a permis au voisin sympa qui était livreur à vélo d'y installer un point relais pour la résidence. L'autre intérêt, c'est qu'on y papote quasi tous les jours, on se croise beaucoup plus même si c'est partiellement automatisé, bien sûr.

Situation 2040 : C1 a 50 ans

C1 continue d'utiliser le service de voitures autonomes électriques partagées. Au centre des grandes villes, c'est un peu devenu la norme, en tout cas pour ceux qui habitent trop loin du métro ou de la gare pour y aller à pied. Il y en a tellement d'ailleurs qu'il a fallu réaménager un peu la gare routière près de la gare de métro, en prenant un peu de place pour la montée dans les voitures au nord et la descente au sud. Cela s'est plutôt bien passé. Il reste des bus même s'il y en a moins : les bus directs demeurent, mais les bus de ramassage en boucle fixe se sont vidés et sont remplacés par ces nouveaux services partagés.

C1 a choisi le pack « premium ». C'est certes un peu plus cher, mais C1 peut se le payer et cela lui permet d'avoir une voiture sans attendre à l'heure de pointe et d'éviter les correspondances. C'est plus reposant aussi et c'est quand même moins cher que posséder une voiture lorsqu'on roule peu.

C1 télétravaille un peu plus, deux à trois jours par semaine. C'est vrai qu'avec la réalité immersive, on a presque l'impression d'être avec ses collègues ; c'est bien de les voir au moins une fois ou deux par semaine quand- même.

Comme il y a davantage de pistes cyclables et que le carrefour un peu dangereux a fait l'objet d'un aménagement, C1 peut désormais faire du vélo pour aller voir des amis à quelques km. C1 reçoit pour cela des petites récompenses de la sécurité sociale, de temps en temps ; c'est souvent très symbolique, mais cela rend un peu « accro » quand même. Il y a aussi des récompenses pour la marche à pied et le jogging, qu'on prouve avec la géolocalisation du téléphone portable.

Pour les voyages en avion, les prix ont encore augmenté. Le taux d'incorporation des bio-carburants commence à plafonner ; les problèmes de tension sur les prix alimentaires dans les pays émergents ont été trop préoccupants et il a fallu lever le pied devant le tollé international suscité par le mouvement d'occupation des aéroports dans plusieurs pays du sud. Les recherches sur l'avion à hydrogène n'ont pas encore débouché sur autre chose qu'un prototype encore très cher que les compagnies ne veulent pas acheter.

La situation ne semble pas s'arranger suffisamment du côté de l'effet de serre non plus. Certes, les avions font des détours de trajectoire pour éviter les nuages les plus humides mais le potentiel de réduction des gaz à effet de serre s'est avéré un peu limité. L'aviation civile est de plus en plus pointée du doigt, dans la mesure où, au quotidien, les voitures émettent de moins en moins de gaz à effet de serre par km.

Le décompte de km de vols qui était purement informatif va désormais être utilisé pour faire payer un peu plus pour les km au-delà de 60 000 km par an en avion ; malheureusement, C1 est dans ce cas, malgré la diminution de ses déplacements professionnels. C'est la nouvelle « contribution climat sur les voyages fréquents en avion » que doivent payer ceux que les opposants appellent les personnes « fichées A », A comme avion bien sûr, et dont C1 fait partie. On les appelle d'ailleurs des miles-carbone, car c'est un peu comme les miles : ils comptent un peu moins si on prend un avion qui incorpore un peu plus d'agro-carburants que la moyenne, ou bien si l'avion est moderne et consomme moins, ou bien encore s'il est plus gros et consomme moins par place.

Mais, heureusement pour C1, il y a pire car ses 70 000 km par an ne dépassent que de 10 000 km le palier fatidique des 60 000 km : c'est encore très raisonnable. Pour ne pas trop payer, prendre le TGV pour une destination étrangère européenne semble une option finalement intéressante pour limiter ce dépassement de quota. Ailleurs, il faut bien y aller en avion ; il n'y a pas tellement d'autres solutions, sauf à ne plus voyager.

À part quelques substitutions par le TGV, C1 a gardé presque le même nombre de vols par an. Il lui faut donc payer un peu plus : cela vient grever son budget, mais C1 tient encore en rognant sur d'autres dépenses. Comme d'autres font de même, il a fallu augmenter les capacités de certaines lignes à grande vitesse et des TGV, pour l'instant sur place. On dit que certains projets de lignes nouvelles pourraient ressortir à cette occasion.

Pour créer une majorité qui soutienne le dispositif « contribution climat sur les voyages fréquents en avion », la moitié du produit de la taxe est redistribuée à ceux qui ne prennent pas ou peu l'avion et l'autre moitié sert à financer des infrastructures de report modal et le verdissement des flottes aériennes. C'est comme cela que les cousins de C1, les ménages A et B touchent un petit virement chaque année à Noël et qu'ils ont soutenu cette innovation, que bien sûr C1 n'a pas apprécié. Mais cela devait bien arriver un jour ! Ses cousins du ménage D se sont abstenus, car ils n'avaient rien à gagner.

Pour les voyages professionnels, il faut toujours aller voir le contrôleur de gestion pour justifier pourquoi la visio-conférence n'était pas possible. Et depuis qu'il a été infligé aux entreprises un malus sur les voyages en avion, le contrôleur de gestion est devenu de plus en plus intraitable. Un des collègues de C1 a été amené à devoir quitter l'entreprise ; les

mauvaises langues disent que la raison de son départ obligé serait qu'il voyageait beaucoup plus en avion que les autres. Le malheureux a désormais plus de temps pour voyager, mais il n'a plus les ressources : c'est pas de chance !

Du coup, il voyage en cargo à propulsion vélique. Aujourd'hui, presque tous les cargos disposent de cabines passagers. C'est un peu long, mais quand on a le temps comme son collègue licencié, autant en profiter.

Situation 2050 : C1 a 60 ans

Au quotidien, les temps d'attente des véhicules s'allongent un peu, mais pas trop dans la proche banlieue où C1 habite. Il paraît d'ailleurs que les gens qui habitent près du centre-ville doivent payer un peu pour ceux qui sont plus éloignés, pour que les temps d'attente y restent raisonnables : ils appellent cela de la péréquation territoriale. C'est insidieux, heureusement qu'un universitaire a publié un papier là-dessus.

Le chef de C1 lui a demandé de télétravailler un jour de plus par semaine et C1 a dû s'y résoudre. Finalement, ce n'est pas si mal. Quand on vient trop au bureau, cela amène à surdimensionner le « flex-office » et à payer des pénalités que l'Autorité locale du carbone a encore remontées l'an dernier. Le contrôleur de gestion veille au grain et, là aussi, c'est comme pour les voyages professionnels en avion devenus très rares pour C1, il faut justifier qu'il était nécessaire de venir au bureau. Quand le chef organise une réunion d'équipe, c'est bien, on est couverts (par contre lui s'il en fait trop il finit par avoir des problèmes). Sinon, il faut expliquer, fournir les justificatifs ; on peut toujours le faire, bien sûr, mais c'est de plus en plus compliqué. Mais bon, s'il faut sauver la planète avec quelques paperasses (dématérialisées bien sûr), ce n'est pas bien grave non plus. Ces jours-là, pouvoir faire la grasse matinée en étant à l'heure au bureau dans le salon, ce n'est pas désagréable !

Mais le problème de C1, ça reste les voyages lointains. C'est sûr que 70 000 km par an, cela fait beaucoup. On n'a pas réussi à faire pousser assez d'agro-carburants. « On ne peut pas non plus affamer la planète, sinon cela fait aussi des problèmes », s'est dit C1 pour se rassurer. Et l'avion à hydrogène n'est toujours pas prêt : il y a un prototype, mais toujours pas assez fiable après dix ans pour être commercialisé ; cela devra encore attendre.

Du coup, même avec son budget qui est pourtant confortable, il ne va plus être possible de prendre aussi souvent l'avion. En France, il y a le T2GV, le train à très très grande vitesse (les anciens TGV, c'est plus long) : quelques nouvelles lignes viennent d'être construites. Il en va de même en Europe et finalement, en prenant le T2GV puis un train de nuit, ou un TGV de nuit, on évite de devoir incrémenter son décompte de carte carbone ; ce n'est pas mal, même si cela prend plus de temps. Cependant, on ne peut plus partir en week-end à Tenerife aussi souvent : il faut se rabattre sur la grande Motte qu'on peut rejoindre en TGV, ou sur Prague ou Berlin avec une partie de T2GV.

Les voyages au long cours, il faut se rendre à l'évidence, ne sont plus aussi accessibles. Certes on peut ruser. On peut essayer de prendre des avions plus modernes ou avec plus d'agro carburants, mais les compagnies le savent et le billet est plus cher finalement : on ne gagne pas grand-chose. Le truc, par contre, c'est d'éviter les vols directs, si c'est un avion trop petit : il vaut mieux faire une correspondance pour prendre ensuite un avion plus grand avec lequel il y a moins de points carbone débités. Heureusement, il y a des comparateurs qui font tout : ils observent les choix pendant quelques temps, soumettent un petit questionnaire et puis ils font une recommandation, souvent très pertinente. Bien sûr, on reste libre de choisir ce qu'on veut, mais en pratique ces comparateurs, qui sont devenus des organisateurs de voyage à part entière, sont très pratiques. Il ne reste pas grand monde qui ne les utilisent pas et ces sociétés ont fini par récupérer tous les bénéfices

du secteur du tourisme. De fil en aiguille, elles se sont concentrées et il n'en reste, en fait, plus que deux ; la rumeur dit même que la petite évite au plus grosse de risquer de se faire démanteler.

C'est d'ailleurs la grande boîte de visioconférences qui en est le propriétaire. Cela lui permet de substituer de la visioconférence en touchant les bonus des pouvoirs publics pour maîtriser la mobilité ; pour les pouvoirs publics, c'est aussi pratique d'avoir un industriel qui est capable de faire accepter les évolutions en douceur.

Pour aller en Amérique latine, les petits malins vont en T2GV jusqu'au sud du Maroc (il y a une correspondance pas trop mal aménagée pour traverser la méditerranée) et au vu de la demande, il serait question de poursuivre la ligne à très très grande vitesse jusqu'à l'aéroport de Dakar pour ensuite prendre l'avion vers le Brésil. Cela fait quand même moins de points sur la carte carbone, ce qui permet de préserver un peu les voyages lointains. De même, pour aller en Chine, on peut prendre le T2GV jusqu'à Kazan-aéroport via Moscou, et ensuite, c'est soit l'avion jusqu'aux confins mongols (avec des points en moins sur la carte carbone) ou le trans-sibérien. Les paysages sont jolis, mais c'est un peu interminable : il n'y a rien qui ressemble plus à un arbre de la taïga qu'un autre arbre de la taïga. Ce sont des voyages du passé, on se croirait au 20ème siècle ! Et comme un train sur cinq est réservé aux marchandises, il faut parfois attendre un peu. C1 y est habituée avec le métro, surtout le soir où les métrofrets sont de plus en plus nombreux au fur et à mesure des heures qui passent. En pleine nuit c'est un sur deux, jusqu'à cinq heures du matin puis ça décroît.

Avec tout cela, C1 part moins souvent, mais reste plus longtemps sur place : un mois l'an dernier en Asie par exemple. Bien sûr, dans la boîte, on ne pouvait pas l'autoriser à s'absenter un mois complet, mais son chef n'a pas refusé sa demande de télétravail depuis l'Asie. D'ailleurs, s'il avait refusé, il aurait dû se justifier. C1 programme les communications en visio-conférence en fonction des fuseaux horaires. Dans sa multinationale, il faut jongler avec, cela. (C'est dommage que la terre ne soit pas plate, mais on ne peut rien y changer !)

Apparemment, il y a un projet, encore expérimental, de télé-tourisme pour toucher encore plus d'incitations à la maîtrise de la mobilité. C'est moins facile que transformer en visioconférence les réunions professionnelles, mais ils ont trouvé dans le massif central près d'une gare de TGV une colline qui a la forme du Macchu Picchu. Ils ont reconstruit quelques ruines au centre et le reste se visite en réalité virtuelle augmentée. Les premiers retours sont assez positifs ; les jeunes touristes aiment bien parce que la visite a été « gamifiée », un peu comme la chasse aux pokemons d'autrefois, mais les plus âgés comme C1 ne s'y font pas trop et continuent de vouloir aller voir le vrai, quand-même. Le site du Macchu Picchu est également satisfait de cette copie lointaine, car il touche des droits sans rien avoir à faire et sans gérer les flux de touristes.

Le secteur du tourisme français se porte donc très bien. Il y a toujours autant de touristes chinois et de plus en plus de touristes venus du continent africain, qui ont de gros moyens. Comme ils restent plus longtemps en Europe quand ils viennent, comme C1 dans ses voyages, ils télétravaillent un peu à destination quand c'est nécessaire. Finalement, les gîtes ruraux français sont toujours très bien remplis. Il faut dire que les campagnes de France sont bien desservies aujourd'hui.

C1 prend souvent un verre avec son voisin pilote de ligne qui lui remémore les péripéties de sa profession, quand il y a eu d'abord une stagnation du transport aérien, il y a bientôt trente ans, puis une baisse des volumes. Ceux qui étaient en place ont fini tranquillement leur carrière : on a maintenu les copilotes à bord et on a même ajouté des mécaniciens comme autrefois, même si tout est automatique. Certes le coût du transport est plus élevé que si l'on n'avait pas réduit les vols, mais en même temps comme cela renchérit le coût

du transport, cela réduit la demande, tout en maintenant les effectifs à un niveau moindre mais acceptable. Il reste des écoles de pilotage des avions, mais elles ont un peu moins d'élèves ou stagiaires ; ceci dit, elles se sont diversifiées dans la formation des télécontrôleurs de sécurité des véhicules autonomes ; c'est un travail qui attire ceux qui veulent bien gagner leur vie en laissant presque tout le temps la machine tout faire. Il y a toujours des types assoiffés de productivité qui veulent réduire les effectifs et puis quand l'accident de la route ou aérien annuel arrive, tout le monde est content cela ne soit pas entièrement automatisé.

Ceci dit, il y a un débat entre C1 et son voisin : l'avion à hydrogène va-t-il finir par être prêt vers 2060 ? Cela permettrait de réduire encore les émissions de gaz à effet de serre, mais d'un autre côté il y a d'autres gens, comme C1, qui aimeraient bien qu'on relâche un peu les quotas aériens. C'est un débat difficile, car il y a aussi ceux qui pensent qu'au vu du réchauffement pas encore maîtrisé, il faudrait maintenant viser un peu de sur-neutralité. Aux dernières nouvelles, une Convention citoyenne devrait bientôt se pencher sur cette épineuse question.

Avec l'âge, C1 doit faire un peu plus attention à sa santé, en raison de soucis de circulation veineuse, à force de trop prendre l'avion. Récemment, un peu en urgence, C1 a dû se faire livrer un médicament par drone un dimanche soir. Elle n'y est pas encore très habituée, mais pour les urgences médicales, cela marche très bien ; ils arrivent avec le bruit de la sirène des pompiers, on ne peut pas les rater. Heureusement que presque tous les appartements disposent maintenant de balcons arborés. Ce sont des puits à carbone et ça permet aux « drones-secours » de se poser.

Quatrième cas : ménage D composé d'un couple et de son enfant

Il s'agit d'un couple avec enfant résidant en maison individuelle dans une banlieue assez proche d'une sous-préfecture. Nous les identifierons en tant que D1, D2 et D3.

Situation en 2019 : D1 a 41 ans, D2 a 44 ans et D3 a 16 ans

D1 et D2 ont chacun des revenus atteignant les trois quarts du revenu médian.

La personne D1 est commerciale et la personne D2 est ouvrière.

Le travail de D1 consiste pour la moitié du temps à démarcher des prospects. D1 parcourt à cet effet 200 km par jour, trois jours par semaine, et se rend les deux autres jours à son bureau situé à 10 km de son domicile.

Le lieu de travail de D2 est également situé à 10 km du domicile, mais pas dans la même direction que celui de D1.

Le ménage se déplace deux fois par an à 200 km de son domicile pour ses vacances, plus une fois par an à 10 000 km pour visiter la famille.

Le ménage possède deux voitures.

D1 utilise une voiture thermique récente en location longue durée dont les frais sont remboursés par l'employeur. D2 en utilise la seconde voiture du ménage.

La voiture de D2 est une voiture thermique d'occasion. Un déplacement vers le travail en bus serait à la rigueur possible, mais les fréquences sont mauvaises et surtout ne conviennent pas à ses horaires souvent décalés et variables dans l'usine où D2 travaille.

Pour les vacances en France, le ménage utilise la voiture de D2 ; elle est moins confortable,

mais pour des raisons d'assurance, l'employeur de D1 en a interdit l'usage à titre privé.

Le déplacement annuel lointain intercontinental pour voir la famille est en avion. Il est prévu de longue date, ce qui permet de bénéficier de tarifs attractifs à 500 euros par personne pour le trajet aller-retour.

D3 a la chance d'aller au lycée à pieds et de pouvoir pratiquer le judo et la flûte traversière en prenant un bus gratuit pour un trajet de 12 minutes.

Les courses sont faites en voiture chaque semaine au centre-ville et une fois par mois à l'hypermarché de la grande zone artisanale à la sortie de la ville.

Situation en 2025 : D1 a 47 ans, D2 a 50 ans et D3 a 22 ans

D1 a changé de voiture, car son employeur lui en affecte une nouvelle tous les cinq ans. Au vu de son profil, il lui a affecté une voiture électrique, avec une bonne autonomie. Pour rassurer D1, il a retenu un modèle avec un prolongateur d'autonomie à essence, en cas de besoin, car il arrive que les 200 km de moyenne quotidienne soient dépassés et les recharges de 30 minutes, c'est long parfois. Ceci dit, comme faire le plein de la recharge en carburants est plus cher qu'en électricité, le remboursement est plus compliqué : il faut envoyer un formulaire au contrôleur de gestion, pour expliquer pourquoi on ne pouvait pas attendre. C'est contraignant mais c'est comme cela maintenant. C'est pourquoi, souvent, D1 préfère effectuer une recharge électrique et prendre un café sur la station d'autoroute que devoir s'embêter à aller voir ce contrôleur de gestion parfois un peu désagréable.

D1 a pu également être remboursé des frais de la borne de recharge électrique rapide installée dans le garage du domicile, pour que la voiture puisse repartir le lendemain matin.

Parfois, D1 reste à la maison en télétravail pour faire les paperasses. Cela lui permet aussi, de temps en temps, de réceptionner les colis car D3, notamment, fait quelques commandes en ligne.

D2 continue d'aller à son travail avec sa vieille voiture thermique, qui sert, par ailleurs, toujours encore pour les vacances en France.

Après les difficultés de la crise du début des années 2020, ils peuvent revoir chaque année la famille à 10 000 km de là, en avion bien entendu. Les prix ont légèrement augmenté d'ailleurs ; il paraît qu'il y aurait quelques nouvelles taxes encore sous prétexte de l'environnement.

Désormais en formation par alternance, D3 pratique le télé-enseignement pour les cours théoriques. D3 était déjà habitué comme lycéen à deux journées par mois en télé-enseignement.

Situation 2030 : D1 a 52 ans, D2 a 55 ans et D3 a 27 ans

D1 a, à nouveau, changé de voiture, que son employeur renouvelle toujours tous les cinq ans pour ne pas être dérangé par des pannes qui pourraient immobiliser un commercial. Le réseau des bornes de charge rapide s'est bien densifié ; les recharges à 250 kW sont bien plus rapides et donc il n'y a plus vraiment besoin de prolongateur d'autonomie.

Pour certains rendez-vous, le client est en fait au télétravail chez lui et préfère un échange en distanciel : dans ces cas-là, D1 télétravaille dans sa voiture. Si, sur une journée, tous les clients demandent du distanciel, il peut aussi rester chez lui. Parfois, cela correspond au jour où D3, qui poursuit ses études, est en télé-enseignement ; il faut alors s'isoler pour ne

pas trop se gêner mutuellement.

La voiture thermique de D2 a lâché. D2 a pu acheter une voiture électrique d'occasion, avec une garantie du revendeur. Les économies sur les frais de carburant sont appréciables. Il paraît que dans la ville préfecture, il y a maintenant le soir des minibus autonomes assez fréquents, mais cela n'a pas encore touché la petite ville sous-préfecture où D2 habite. Les grandes villes peuvent aussi télécharger des films en une fraction de seconde, mais pas D2 : c'est toujours pareil.

Le quota de télé-enseignement pour D3 a beaucoup augmenté.

Le foyer D continue à faire tous les ans un voyage en avion pour voir la famille à 10 000 km. Chaque année, avec les nouvelles taxes, c'est de plus en plus cher, même en réservant longtemps en avance. Si cela continue ainsi, cela pourrait finir par poser problème. D'un autre côté la famille là-bas est de moins en moins nombreuse ; D1 et D2 se demandent s'ils continueront à y aller aussi souvent. D3 ne vient plus systématiquement avec eux.

Ils profitent de chaque voyage pour faire livrer des marchandises pour eux et pour la famille en France. C'est un peu plus long qu'avant, mais le transport est plus propre et rien n'est urgent. Ils récupèrent tout ça en point relais avec la voiture.

Situation en 2040 : D1 a 62 ans, D2 a 65 ans et D3 a 37 ans

La voiture de D1 a été renouvelée. C'est maintenant tous les dix ans, fini l'obsolescence programmée ! Cette fois-ci, son entreprise lui a prescrit une voiture avec une autonomie un peu plus limitée ; il y a beaucoup de bornes de recharge rapide et puis, surtout, cela évite d'entrer dans le champ de la taxe kilométrique sur les véhicules à grosse batterie, sans compter le malus qui va avec. Il faut recharger plus souvent, mais c'est comme ça.

Pour aller à son usine, D2 utilise un service de véhicules partagés autonomes. Ils sont assez fréquents et D2 a retenu une option « 3*8 » adaptés à ses horaires souvent décalés. En pleine nuit, il n'y a bien sûr pas grand monde sur la route, mais ses collègues arrivent et sortent en même temps ; ils peuvent donc se retrouver dans le minibus, qui fait le trajet pour prendre ou déposer chacun à son domicile. Pour que ces boucles ne soient pas interminables, il faut parfois changer de véhicule. Ce n'est pas très gênant, même si à son âge tout ça commence à peser. Bientôt la retraite heureusement...

Pour le voyage en avion pour voir la famille, le ménage est en dessous du seuil des 20 000 km par personne et, de toute façon, il y a une dispense pour les premiers 10 000 km, une fois par an pour une visite à caractère familial. C'est bien, car cela a évité de payer encore une hausse de taxes. Toujours est-il que D1 et D2 n'y vont plus que tous les deux ans et D3 n'y est pas retourné depuis quatre ans. Malgré ça, ils ne perçoivent pas de virement à la Noël comme leur voisin qui ne prend pas l'avion : il est chanceux.

Pour les marchandises de là-bas, avec le réchauffement climatique pas mal de choses poussent maintenant en France et on peut avoir de bons produits locaux pour pas plus cher.

Situation en 2050 : D1 a 72 ans, D2 a 75 ans et, D3 a 47 ans

Avec les progrès des télécommunications, les ex collègues de D2 ont fini par travailler chez eux. Il y a moins besoin d'usines, presque tout ou peut se faire depuis chez soi en télé-opération ; ils ne se voient presque plus entre eux, sauf pour des réunions d'animation. D'ailleurs, on ne fait plus trop la différence entre les ouvriers et les employés : c'est resté une catégorie statistique, mais qui n'a plus que des conséquences sur la caisse de retraite

d'immatriculation. D2 a tout son temps maintenant à la retraite pour profiter de trajets optimisés et de transports à la demande pour rendre visite à ses amis.

D1, à 6 mois de sa retraite, démarche de plus en plus ses prospects à distance. Quand il propose un rendez-vous en présentiel, le prospect n'en veut pas, en général ; il dit que c'est intrusif. Du coup, comme pour D2, ses déplacements se limitent à voir les amis, aller au club de sport pour séniors, voir quelques spectacles (encore que D1, qui est un peu casanier, trouve cela moins bien que son home cinema, mais pas D2, qui voit moins de monde malgré tout depuis sa retraite) et à faire quelques courses à proximité. Et encore : le plus souvent c'est du e-commerce ; le niveau des points carbone est devenu suffisamment élevé pour qu'il vaille mieux faire circuler une camionnette bien remplie. Les parkings de supermarché sont d'ailleurs un peu vides et ils se sont mis à enlever le revêtement en enrobé pour toucher la prime de réduction de l'artificialisation des sols. On y met des éco-pâturages, à qui les superviseurs des quelques supermarchés qui restent donnent les végétaux invendus que les moutons aiment bien. Le e-commerce c'est bien pratique pour D2 : à son âge c'est moins fatigant.

Ils font un voyage en avion tous les trois ans maintenant. Comme ça reste une visite familiale, il y a une exonération de points carbone et, de toute façon, le nombre de km était inférieur au seuil de déclenchement. Mais l'Autorité anti-carbone a quand même ajouté un ticket modérateur pour réduire ces déplacements, en dehors des parents au premier degré. Il reste modique, à ce stade, mais, franchement, avec la réalité virtuelle immersive qui est devenue abordable et conviviale (et quand même bien moins émissive en carbone que l'avion), on doit pouvoir économiser de la fatigue en y allant encore moins souvent.

Finalement ce ticket modérateur aura été utile, confiance pour confiance ; il permet d'expliquer pourquoi on y va un peu moins souvent et dire que c'est encore la faute de l'Autorité anti-carbone. C'est plutôt bien pratique pour rester tranquillement dans le coin. Même s'il ne l'avouera pas, D1 serait bien content que le ticket modérateur soit relevé pour justifier d'aller un peu moins souvent voir sa belle-famille.

D3 lui vit maintenant en couple et compense toutes ses émissions carbone. Autant dire que D3 ne se déplace pas beaucoup, sauf par mobilités actives. Heureusement, D3 n'habite pas trop loin et D1 et D2 le voient d'autant plus souvent que D3 a réduit drastiquement sa consommation de numérique pour usage personnel : son travail fini, finis aussi les méls, textos et visios. Alors D3 prend son vélo et son conjoint sa trottinette et tous les deux viennent dîner une fois par semaine chez D1 et D2. Quel luxe de se déconnecter un moment ! Il faut dire que les nouvelles constructions et les aménagements alentours facilitent ces déplacements de détente : D3 et son conjoint ne croisent aucune voiture pour venir sur les chemins dédiés aux mobilités actives.



Annexe 4. Les principaux indicateurs de synthèse associés aux scénarios en 2040 et 2060

Déplacements terrestres de voyageurs à 2040 et 2060

Tableau 7 : Indicateurs de synthèse des scénarios pour les déplacements terrestres de voyageurs

Voyageurs terrestres 2040 2060								
Scénarios	Demande G voy-km tous modes terrestres	Circulations routières G veh-km routiers	Massification et report modal (Voy-km tous modes/veh-km routiers)	Motorisation en ACV (gCO2/veh-km routier)	GES ACV MtCO2eq	(Indicatif)		
						Part des TCU lourds dans les grandes agglos en voy-km	Remplissage VP dans les grandes agglos	Part des Modes doux en voy-km
1990					114			
2017	940	476	1,98	254	121	19%	1,40	4,0%
2040								
Scénarios de forecasting								
Pire climatique	1192	799	1,49	190	151	14%	1,05	4,0%
Ambition de base	1124	527	2,13	142	75	21%	1,66	5,7%
Poussée de technologie	1133	531	2,13	96	51	21%	1,66	5,7%
Poussée de sobriété	1079	500	2,16	142	71	22%	1,70	5,7%
Hypercontraint	1055	500	2,11	190	95	21%	1,62	5,7%
Scénarios de backcasting								
Pari technologique	1102	511	2,16	96	49	22%	1,70	6,7%
Pari sociétal	979	431	2,27	142	61	23%	1,89	7,3%
2060								
Scénarios de forecasting								
Pire climatique	1454	1451	1,00	145	211	8%	0,70	4,0%
Ambition de base	1362	541	2,52	63	34	26%	2,30	9,0%
Poussée de technologie	1377	547	2,52	32	17	26%	2,30	9,0%
Poussée de sobriété	1331	512	2,60	63	32	27%	2,44	12,0%
Hypercontraint	1254	512	2,45	145	74	25%	2,18	12,0%
Scénarios de backcasting								
Pari technologique	1362	524	2,60	32	17	27%	2,44	12,0%
Pari sociétal	979	314	3,12	63	20	33%	3,30	14,0%

NB : les données de l'année 2017 correspondent aux données des Comptes des transports de la Nation¹⁴⁷.

¹⁴⁷ Les comptes des transports en 2018 - 56ème rapport de la Commission des comptes transports de la Nation devenue en 2021 la formation transport de la Commission de l'Économie du Développement Durable): <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/les-comptes-des-transports-en-2018-56e-rapport-de-la-commission-des-comptes-des-transports-de-la>

Déplacements en avion de voyageurs (y compris à l'international) à 2040 et 2060

Tableau 8 : Indicateurs de synthèse pour les déplacements en avion (y compris à l'international)

Voyageurs aériens 2040 2060			
Scénarios	Demande G voy- km aériens	Motorisation et massification (en gCO ₂ eq/voy-km)	GES ACV tous GES (eq Forçage radiatif) MtCO ₂ eq
Valeurs 1990			39
Valeurs 2017	376	181	68*
Valeurs 2040			
Scénarios de forecasting			
Pire climatique	677	129	87
Ambition de base	565	120	68
Poussée de technologie	577	97	56
Poussée de sobriété	511	120	61
Hypercontraint	511	129	66
Scénarios de backcasting			
Pari technologique	487	97	47
Pari sociétal	343	120	41
Valeurs 2060			
Scénarios de forecasting			
Pire climatique	1145	94	107
Ambition de base	793	72	57
Poussée de technologie	947	27	26
Poussée de sobriété	643	72	46
Hypercontraint	643	94	60
Scénarios de backcasting			
Pari technologique	656	27	18
Pari sociétal	147	72	11

(*) L'estimation inclut l'ensemble du transport aérien, de voyageurs et de marchandises.

Transport terrestre de marchandises à 2040 et 2060

Tableau 9 : Indicateurs de synthèse du transport de marchandises

Marchandises terrestres 2040 2060					
Scénarios	Demande G tonnes-km tous modes terrestres	Circulations routières G veh-km routiers	Massification et report modal (Ton-km tous modes/veh-km routiers)	Motorisation en ACV (gCO ₂ /veh-km routier)	GES ACV MtCO ₂ eq
Valeurs 1990					71
Valeurs 2017	423	137	3,1	682	94*
Valeurs 2040					
Scénarios de forecasting					
Pire climatique	617	235	2,6	457	108
Ambition de base	557	172	3,2	338	58
Poussée de technologie	557	172	3,2	236	41
Poussée de sobriété	549	166	3,3	341	57
Hypercontraint	549	166	3,3	482	80
Scénarios de backcasting					
Pari technologique	540	167	3,2	236	39
Pari sociétal	440	136	3,2	338	46
Valeurs 2060					
Scénarios de forecasting					
Pire climatique	920	439	2,1	304	133
Ambition de base	690	201	3,4	115	23
Poussée de technologie	690	201	3,4	72	15
Poussée de sobriété	662	181	3,7	117	21
Hypercontraint	662	181	3,7	336	61
Scénarios de backcasting					
Pari technologique	656	191	3,4	72	14
Pari sociétal	449	131	3,4	115	15

(*) L'estimation inclut tous les VUL, particuliers et professionnels.

Transport maritime de marchandises à 2040 et 2060¹⁴⁸

Tableau 10 : Indicateurs de synthèse du transport maritime de marchandises pour les différents scénarios à 2040 et 2060

Marchandises maritimes 2040 2060			
Scénarios	Demande G tonnes-km	Motorisation et massification (gCO ₂ eq/ton-km)	GES ACV MtCO ₂ eq
Valeurs 1990			20
Valeurs 2017	1400	9,9	14
Valeurs 2040			
Scénarios de forecasting			
Pire climatique	1831	8,5	16
Ambition de base	1649	7,3	12
Poussée de technologie	1649	3,9	6
Poussée de sobriété	1590	7,3	12
Hypercontraint	1590	8,5	14
Scénarios de backcasting			
Pari technologique	1590	3,9	6
Pari sociétal	1431	7,3	10
Valeurs 2060			
Scénarios de forecasting			
Pire climatique	2380	7,6	18
Ambition de base	2052	3,6	7
Poussée de technologie	2052	1,7	4
Poussée de sobriété	1518	3,6	6
Hypercontraint	1518	7,6	12
Scénarios de backcasting			
Pari technologique	1518	1,7	3
Pari sociétal	1366	3,6	5

¹⁴⁸ Tous les scénarios n'ont pas été vus par le groupe marchandises qui a procédé à l'analyse de trois scénarios adaptés à ce domaine qui ont ensuite été retranscrits dans l'ensemble des scénarios par souci de cohérence d'ensemble.

Émissions de GES (en ACV) tous modes terre+air+mer à 2040 et 2060

Tableau 11 : émissions de gaz à effet de serre en empreinte carbone « complète » (y compris le maritime et l'aérien international) pour les différents scénarios à 2040 et 2060 (MtCO2eq/an)

Émissions GES 2040 2060 terre air mer				
Scénarios	1990	2017	2040	2060
Scénarios de forecasting				
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
Scénarios de backcasting				
Pari technologique	244	296	142	51
Pari sociétal	244	296	159	51

Annexe 5. Glossaire des sigles et acronymes

Acronyme	Signification
3D	Trois dimensions
ACV	Analyse en cycle de vie
AIE	Agence internationale de l'énergie
AU	Aire urbaine
CAE	Conseil d'analyse économique
CCNR	Commission centrale pour la navigation du Rhin
CCNUCC	Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques
CCS	Capture et stockage du carbone
Cerema	Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement
CGDD	Commissariat général au développement durable
CGEDD	Conseil général de l'environnement et du développement durable
Citepa	Centre interprofessionnel technique d'études de la pollution atmosphérique
CO ₂	Dioxyde de carbone
COP (de VNF)	Contrat d'objectifs et de performance (de Voies navigables de France)
COR	Conseil d'orientation des retraites
CORSIA	Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation
DARPA	Defense Advanced Research Projects Agency
DNV	Det Norske Veritas
EEDI	Energy Efficiency Design Index - index d'efficacité énergétique à la conception
ETS	Système communautaire d'échanges de quotas d'émissions (<i>Emission trading system</i>)
FIT	Forum international des transports
G20	Groupe des 20 pays économiquement les plus forts
GES	Gaz à effet de serre

Acronyme	Signification
GIEC	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
GNL	Gaz naturel liquéfié
HCC	Haut conseil pour le climat
IATA	Association du transport aérien international
Insee	Institut national de la statistique et des études économiques
InTerLUD	Programme d'innovations territoriales et logistique urbaine durable
IPBES	Plateforme intergouvernementale scientifique et politique sur la biodiversité et les services écosystémiques
IPCEI	Important project of common european interest
OACI	Organisation internationale de l'aviation civile
OCDE	Organisation de coopération et de développement économiques
OGM	Organisme génétiquement modifié
OMI	Organisation maritime internationale
ONG	Organisation non gouvernementale
ONU	Organisation des Nations unies
PIA	Programme d'investissements d'avenir
PIB	Produit intérieur brut
PL	Poids lourd
PLUi	Plan local d'urbanisme intercommunal
PPE	Programmation pluriannuelle de l'énergie
R&D	Recherche et développement
SCoT	Schéma de cohérence territoriale
SNBC	Stratégie nationale bas carbone
TC	Transport en commun
TCU	Transport en commun urbain
TER	Train d'équilibre régional
TGV	Train à grande vitesse

Acronyme	Signification
TICPE	Taxe intérieure de consommation sur les produits énergétiques
VAE	Vélo à assistance électrique
VNF	Voies navigables de France
VP	Véhicule particulier
VUL	Véhicule utilitaire léger
ZAN	Zéro artificialisation nette
ZFE-m	Zone à faibles émissions « mobilité »

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