DEEP DECARBONIZATION PATHWAYS

TRAJECTOIRES DE DÉCARBONATION PROFONDE
du transport de marchandises

EN FRANCE

Yann Briand et Johannes Svensson, *Iddri*
Martin Koning et François Combes, *Université Gustave Eiffel*
Gwennaël Lamy, Prabodh Pourouchottamin et Jean-Michel Cayla, *EDF R&D*
Julien Lefevre, *Cired*

RAPPORT DESCRIPTIF, DÉCEMBRE 2019

IDDRI

Copyright © 2019 Iddri

L'Institut du développement durable et des relations Internationales (Iddri) encourage la reproduction et la communication publique des œuvres protégés par le droit d'auteur, avec mention de la source (référence bibliographique et/ou URL correspondante), à des fins de recherche personnelle, organisationnelle ou de politique gouvernementale ou à des fins éducatives. Cependant, les documents protégés par les droits d'auteurs Iddri ne sont pas destinés à une utilisation ou à une diffusion commerciale (imprimées ou électroniques). Par ailleurs, sauf indication contraire clairement exprimée, les constats, interprétations et conclusions exprimés dans ce document sont celles des divers auteurs et ne représentent pas nécessairement celles du conseil d'administration de l'Iddri.

Citation

Briand, Y. *et al.* (2019). Trajectoires de décarbonation profonde du transport de marchandises en France, Rapport descriptif, Iddri.

Le rapport est disponible en ligne : https://www.iddri.org/fr/projet/trajectoires-de-decarbonation-de-la-mobilite, avec des documents complémentaires.

L'INITIATIVE DEEP DECARBONIZATION PATHWAYS (DDP)

L'initiative DDP est une initiative de l'Institut du développement durable et des relations Internationales (Iddri). Elle vise à démontrer comment les pays peuvent transformer leur économie d'ici 2050 afin de réduire leurs émissions de gaz à effet de serre de manière profonde et cohérente avec l'attente de la neutralité carbone le plus rapidement possible dans la seconde moitié du XXe siècle. L'initiative DDP s'appuie sur le Deep Decarbonization Pathways Project (DDPP), qui a analysé la décarbonation profonde des systèmes énergétiques dans 16 pays avant la COP21 (deepdecarbonization.org). Les deux projets partagent des principes clés. Les analyses sont menées à l'échelle nationale, par des équipes de recherche nationales, travaillant de manière indépendante vis à vis de leurs gouvernements. Ces analyses adoptent un horizon temporal de long terme à 2050 pour révéler les conditions et actions nécessaires de court-terme cohérentes avec l'atteinte des objectifs climatiques et de développement à long terme. Enfin, les équipes de recherches nationales partagent ouvertement leurs méthodes, outils de modélisation, données et résultats de leurs analyses afin de réaliser un partage des connaissances entre partenaires de manière très collaborative et afin de faciliter l'engagement avec des experts sectoriels et des décideurs. Le développement de trajectoires sectorielles de décarbonation profonde de long terme dans différents pays, comme ici avec le transport de marchandises en France, s'inscrit dans cette initiative plus large.

Contacts

Iddri
Yann Briand, yann.briand@iddri.org *et Johannes Svensson,* johannes.svensson@iddri.org
Université Gustave Eiffel
Martin Koning, martin.koning@ifsttar.fr *et François Combes,* francois.combes@ifsttar.fr
EDF
Gwennaël Lamy, gwennael.lamy@edf.fr, *Prabodh Pourouchottamin,* prabodh.pourouchottamin@edf.fr
et Jean-Michel Cayla, EDF, jean-michel.cayla@edf.fr
Cired
Julien Lefevre, jlefevre@centre-cired.fr

Mentions

Le projet « trajectoires de décarbonation profonde de la mobilité » est soutenu financièrement par la Fondation d'entreprise Michelin, l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (Ademe) et le gouvernement français dans le cadre du programme « investissements d'avenir » sous la référence ANR-10-LABX-14-01. Ce rapport a été écrit par un groupe d'experts indépendants qui n'ont pas été nommés par leur gouvernement. Les points de vue exprimés dans ce rapport ne reflètent pas nécessairement les points de vue du gouvernement, ni ceux des institutions des différents auteurs.

Publication : Iddri
Direction de la publication : Pierre Barthélemy, Yann Briand, Henri Waisman
Rédaction et révision : Yann Briand, Johannes Svensson, Martin Koning, François Combes, Gwennael Lamy, Prabodh Pourouchottamin, Jean-Michel Cayla, Julien Lefevre
Création graphique : Ivan Pharabod.

TRAJECTOIRES DE DÉCARBONATION PROFONDE

du transport de marchandises

EN FRANCE

RAPPORT DESCRIPTIF, DÉCEMBRE 2019

Ce document constitue le « rapport descriptif » des scénarios de décarbonation profonde du transport de marchandises en France à l'horizon 2050. Il s'adresse aux différents acteurs de la société qui souhaiteraient découvrir deux histoires cohérentes des principales transformations (sociétales, organisationnelles, technologiques et politiques) menant à la décarbonation de ce secteur ainsi que leurs effets sur un ensemble de dimensions comme le nombre de tonnes transportées, la part du rail, les circulations des véhicules routiers, la demande d'énergie finale ou la place des différents vecteurs énergétiques. Il sera prochainement complété par un « rapport technique » détaillant les hypothèses sous-jacentes prises en compte.

La méthode et le choix des scénarios 3

Narratifs - Le récit des transformations à 2050 7

Résumé des deux scénarios 7

Les principales hypothèses de cadrage sur la macrostructure économique et sociale et les transformations du système de production, de consommation et d'échanges de marchandises 8
Hypothèses communes aux deux scénarios 8
Transformations spécifiques au scénario 1 8
Transformations spécifiques au scénario 2 9

Système de transport et système énergétique dans les deux scénarios 12
Les infrastructures de transport et logistiques 12
Les opérations logistiques et les offres de services 14
Les véhicules de transport de marchandises 15
La production et distribution de carburants bas carbone 17

Tableau de bord - Les indicateurs des transformations à 2050 19

Synthèse graphique des scénarios 20

Scenario 1 - Présentation du tableau de bord 24
Marchandises et mobilité 24
Structure modale du trafic de marchandises 25
Indicateurs logistiques 27
Transport routier de marchandises 28
Consommation d'énergie et émissions 29

Scenario 2 – Présentation du tableau de bord 32
Marchandises et mobilité 32
Structure modale du trafic de marchandises 33
Indicateurs logistiques 35
Transport routier de marchandises 36
Consommation d'énergie et émissions 37

Annexes 40

Remerciements

Au cours de ce travail, nous avons pu rencontrer et échanger avec de nombreux chercheurs et professionnels du secteur pour approfondir notre analyse et nous tenons à remercier tout particulièrement :

- Maxime Pasquier, Jérémie Almosni, Stéphane Barbusse, Yann Trémeac, Marc Cottignies, Jérôme Orsel du Service transport et mobilité de l'Ademe, pour la construction du cadre d'analyse des narratifs.
- Quentin Deslot et Isabelle Cabanne du Bureau des émissions, projections et modélisations de la DGEC, pour les échanges autour de la trajectoire du transport de marchandises dans la SNBC.
- Zéhir Kolli et Martin Cori du Bureau de l'économie des transports et de la ville du CGDD, pour les échanges autour du modèle MODEV et de la génération de la demande de transport.
- Louis Delvig, Bertrand Minary, Claire Gentil, Guillaume Gazaignes et Loic Harrari de SNCF Logistics, Direction du Fret et Direction de l'Innovation & RSE, pour les échanges autour des enjeux du transport ferroviaire.
- Cécile Bray et Isabelle Cotte de Geodis pour les échanges autour du rôle des commissionnaires et transporteurs dans la transition et pour l'invitation à l'EcoTransit workshop, Avril 2019.
- Florence Toilier et Mathieu Gardrat du Laboratoire Aménagement Économie Transports de l'ENTPE, pour les échanges autour du fret urbain.
- Jari Kaupilla et Francisco Furtado de l'ITF pour leur invitation au Road Freight ITF's workshop, Juin 2018.
- Alan McKinnon de Kühne Logistics University et Lóránt Tavasszy de l'Université Technique de Delft, pour un échange de cadrage sur la segmentation des marchandises.
- Carine Barbier du Cired pour les échanges au sujet du projet CECAM.
- Henri Waisman et Michel Colombier de l'Iddri, Christophe Crocombette d'EDF R&D pour leurs soutiens, échanges et relectures lors du développement de ce travail.

La méthode et le choix des scénarios

Philosophie

La France s'est dotée en 2015 d'un premier document de référence définissant un scénario pour décarboner l'économie nationale: la Stratégie nationale bas-carbone (SNBC). Ce document a été révisé pour la première fois en 2019 avec un objectif de « neutralité carbone ». Cette révision porte désormais le niveau des émissions de gaz à effet de serre pour le secteur des transports de personnes et de marchandises à 4 $MtCO_2e$ par an en 2050 alors qu'il est d'environ 137 $MtCO_2e$ actuellement, les émissions nationales restantes en 2050 étant essentiellement dues à une part de carburants fossiles pour le transport aérien domestique. Ce fort niveau d'ambition impose donc un défi colossal au transport de marchandises par voies routière, ferrée ou fluviale, objet de la présente étude, celui de sa décarbonation totale.

S'intéresser spécifiquement au secteur du transport de fret est primordial au regard de son poids dans les émissions nationales totales actuelles de GES (environ 7 à 9 % en 2015 d'après les inventaires nationaux d'émissions), et ce encore plus lorsqu'on observe une stabilisation des émissions depuis dix ans alors que d'autres secteurs les ont réduites comme le secteur résidentiel ou productif. Lors de la crise des *subprimes* (2007-2009), les émissions imputables aux mouvements de marchandises ont fortement reculé pour atteindre un niveau comparable à celui de 1990 dû principalement à une diminution de la demande.

Un rapide panorama des travaux antérieurs sur la décarbonation du transport de marchandises montre que certaines composantes des évolutions du secteur sont rarement analysées et explorées, alors qu'elles constituent des déterminants importants des émissions du secteur et des leviers potentiellement clés pour envisager des politiques d'atténuation ambitieuses. On peut penser en particulier aux aspects liés aux futurs possibles de la demande de transport de marchandises et à l'avenir du système multimodal de transport des marchandises, ainsi que leurs articulations avec les transformations technologiques. Par ailleurs, les documents publics sur la trajectoire proposée par la SNBC pour le transport de fret ne révèlent pas suffisamment de détails sur les déterminants et conditions associées à ces transformations pour comprendre la trajectoire de transformations, l'ampleur des évolutions nécessaires et les actions à prendre dès aujourd'hui par les différents acteurs (chargeurs, transporteurs, autorités, consommateurs). L'explicitation de ces variables pourrait également permettre de construire une analyse comparée de l'ensemble des possibles et de leurs incertitudes pour les confronter aux ambitions de l'objectif de « neutralité carbone ».

Économie des transports et environnement

Afin de comprendre les effets de nos scénarios sur le futur du secteur de transport de marchandises en France et sur sa décarbonation, il est utile de revenir sur son fonctionnement et sur ses interactions avec les chaînes logistiques.

Le transport de marchandises, qui n'est jamais une fin en soi, dépend du contexte dans lequel il s'inscrit et conditionne le fonctionnement des chaînes logistiques, celles-ci ayant pour fonction d'offrir aux clients un niveau de service correspondant à leurs préférences, à un coût acceptable. Le niveau de service est multidimensionnel : rapidité de livraison, fiabilité des horaires, lieu de livraison etc. Les contraintes industrielles, les réglementations, la disponibilité de ressources naturelles et des infrastructures, les logiques d'implantation des établissements influencent la morphologie des chaînes logistiques et les exigences des chargeurs en termes de transports. Les transformations technologiques (ex : automatisation), organisationnelles (ex : juste-à-temps), commerciales (ex : logistique omni-canal) et numériques (ex : e-commerce) peuvent donc avoir de profonds effets sur ces secteurs.

Le transport de marchandises implique par ailleurs une diversité de modes, de véhicules, de réseaux, et d'entreprises. Cette diversité reflète la pluralité des besoins logistiques et l'hétérogénéité des contextes géographiques. Coexistent ainsi des pratiques qui vont de la livraison de repas chaud à vélo en moins d'une heure, au transport de conteneur réfrigéré entre deux continents par voie maritime, durant plusieurs semaines. Par ailleurs, les réseaux et services sont configurés de façon à mutualiser, autant que possible, les ressources mises en œuvre dans le transport, notamment pour les marchandises palettisées ou les colis.

L'utilisation de modes de transport vertueux pour l'environnement pose d'importants défis pour les chaînes logistiques. Par exemple, le transport de fret par trains sera financièrement plus intéressant pour un chargeur seulement s'il peut accumuler des quantités de marchandises à expédier suffisamment importantes pour que les coûts fixes élevés du ferroviaire deviennent des coûts unitaires plus faibles que pour le transport routier et qu'il ne perdra pas trop de temps dans les transferts modaux. Cela suppose d'atteindre une masse critique conséquente. Et cela ne sera possible que si le chargeur accepte que ces marchandises soient immobilisées longtemps, ce qui n'est pas toujours le cas. Par ailleurs, l'inégal maillage du réseau ferré participe à ne le rendre compétitif qu'au-delà de certaines distances ; et la répartition de l'industrie sur le territoire rend difficile la mutualisation des flux permettant, théoriquement, d'accroître la masse critique citée ci-dessus. Cette représentation simplifiée ignore les subtilités liées aux horaires de transport, aux contraintes d'exploitation, aux interactions avec le transport de voyageurs, etc. Elle suffit pourtant à montrer que le choix modal résulte d'une interaction complexe entre caractéristiques des chaînes logistiques et du transport de marchandises.

Cette complexité n'est pas spécifique au transport ferroviaire. Elle est générale et plusieurs conséquences en découlent. Premièrement, mesurer la performance du système de transport de marchandises n'est pas simple. Une erreur consiste à ignorer des contraintes opérationnelles et à conclure à la sous-optimalité du système (le taux de remplissage en tonnage est un indicateur inadapté si la contrainte de capacité est en volume ; idem si la contrainte est la durée maximale des tournées, comme en logistique urbaine). Deuxièmement, les évolutions des chaînes logistiques et du transport de marchandises ne sont pas guidées par une seule variable. Ainsi, on considère souvent que l'accélération des temps dans l'industrie, et en particulier le développement du juste-à-temps, explique les évolutions du transport de marchandises vers la domination des modes routiers. En réalité, les tendances sous-jacentes concernent aussi l'éclatement des flux, la diversification des produits, ou des canaux d'approvisionnement ; ce qui explique pourquoi le transport routier de marchandises a eu plus de possibilités de s'adapter en offrant à la fois un large éventail de prestations mais aussi en développant de nombreuses synergies entre les acteurs afin de contrôler les coûts. La diversité des contraintes logistiques reste donc grande, et certains chargeurs privilégieront la vitesse, d'autres chercheront une grande fiabilité, d'autres encore viseront des coûts minimaux.

Dans le contexte d'un exercice de prospective focalisé sur la décarbonation et la transition énergétique, ces observations ont plusieurs conséquences. D'abord, les changements de comportements, et notamment de choix modaux, qu'induisent nos narratifs ne peuvent s'appréhender qu'au travers d'une modification conjointe d'une variété de facteurs (distances, connectivité multimodale, prix et vitesses des options, besoins des chargeurs et des clients, etc.). Ensuite, il n'est pas simple de connaître les futurs impacts environnementaux du transport de marchandises. L'utilisation d'un mode lourd, en principe vertueux, ne sera ainsi efficace que si ce mode est utilisé dans de bonnes conditions (par exemple avec un taux de remplissage suffisant). Enfin, l'élaboration des stratégies politiques et réglementaires qui permettront effectivement d'atteindre les objectifs de décarbonation devra prendre en compte cette complexité, et s'y adapter, faute de quoi ces stratégies seront inopérantes.

Objectifs

Partant de ce constat, et à la suite de ses travaux sur le transport de personnes en 2017, le groupe de travail du Deep Decarbonization Pathways (DDP) (composé de l'IFSTTAR, du CIRED, d'EDF R&D et de l'Iddri) a décidé de mener un travail sur la décarbonation du transport de marchandises en France, avec deux objectifs :

- Offrir un cadre de construction, de comparaison et d'analyse des scénarios de décarbonation du transport de marchandises à l'horizon 2050 qui détaille l'ensemble des déterminants de la transition et les relie à un jeu d'indicateurs quantifiés. Ce cadre doit permettre de construire des récits des transformations au plus proche du réel, à même de soutenir et informer un dialogue transparent autour des stratégies cohérentes de transformations socio-économiques, techniques et organisationnelles. Pour ce faire, le cadre analytique a été conçu pour créer de la transparence et de la cohérence entre la mobilisation des différents déterminants sociotechniques du récit et leurs effets quantifiés sur la décarbonation du secteur.
- Commencer l'exploration du champ des possibles pour la décarbonation du secteur du transport de marchandises en France en mobilisant ce cadre de construction et d'analyse de scénarios. Pour en exploiter au mieux l'apport innovant, nous avons construit deux scénarios

fondés sur des logiques contrastées d'évolution de la macrostructure économique et sociale afin d'analyser les transformations du système de transport, logistique et énergétique nécessaires pour atteindre la décarbonation du transport de marchandises en 2050 dans chacun de ces mondes. Concrètement, l'étude a permis la comparaison d'un narratif conventionnel supposant la poursuite des structures de production-consommation-distribution actuelles, par rapport à un scénario de rupture considérant au contraire des changements fondamentaux affectant la structure de l'économie et de la demande de transport de marchandises. Un souci particulier a été apporté à la compréhension et à l'exploration d'un autre futur des marchandises transportées et à ses conséquences sur l'organisation du système de transport et logistique dans son ensemble, ces thématiques étant peu traitées dans le champ des scénarios de décarbonation du fret.

Le travail méthodologique et analytique présenté dans ce rapport a une visée pédagogique et exploratoire et non prescriptive. La finalité est de susciter le dialogue avec une diversité d'acteurs impliqués dans la transition du secteur et de créer les conditions méthodologiques pour que de tels échanges puissent informer au mieux la prise de décision sur les mesures à mettre en œuvre, dès aujourd'hui, pour atteindre les objectifs de long terme à 2050.

Méthode

Les principes méthodologiques fondamentaux partagés avec l'approche générale de l'initiative DDP sont notamment : l'analyse à l'échelle nationale basée sur les spécificités du pays, l'analyse à long terme à l'horizon 2050 pour éclairer les décisions à court terme, la transparence et la granularité des hypothèses et une présentation des résultats permettant le partage des connaissances et facilitant les discussions avec différents groupes d'acteurs. Les principes de cette approche et la façon dont ils sont intégrés au sein d'un cadre de construction de trajectoire sont décrits dans (Waisman et al, 2019)[1]

Ce projet vise à appliquer ces principes généraux au secteur du transport de marchandises et de la logistique. Le point de départ est le développement de récits et d'analyses de la décarbonation du secteur qui tiennent compte de tous les leviers de transformations *(« Narratifs »)*. Au-delà de la focalisation classique sur les améliorations technologiques et les solutions basées sur les changements de carburants, il s'agit de développer une analyse systémique de tous les déterminants des transformations du secteur, notamment les évolutions des comportements, des modes de vie, des infrastructures, de l'organisation de l'espace et des stratégies logistiques. Le cadre d'analyse est construit autour de cinq familles d'information – les chapitres des *narratifs* – qui décomposent les principaux éléments indispensables pour définir un récit des transformations bas carbone complet et cohérent :

- Macrostructure économique et sociale : systèmes de production, de consommation et d'échanges de marchandises
- Les infrastructures de transport et de stockage et leurs gestions
- Les opérations logistiques et l'offre de services
- Les véhicules de transport de marchandises
- La production et distribution de carburants bas carbone

La méthode DDP s'attaque au défi de traduire les relations et implications concrètes des narratifs en termes des évolutions quantifiées de divers indicateurs clés *(« tableau de bord »)* caractérisant les schémas de mobilité décrits. Ces indicateurs clés incluent des paramètres tels que l'évolution des marchandises à transporter, les parts modales, l'analyse rail/route sur le temps de transport, la distance et le coût. Ils sont rassemblés dans le « tableau de bord » sous cinq principaux segments :

- Marchandises et mobilité
- Structure modale
- Indicateurs logistiques
- Transport routier de marchandises
- Consommation d'énergie et émissions

Par rapport à d'autres analyses prospectives qui utilisent des modèles quantitatifs complexes, notre approche est donc enrichie du point de vue de la description qualitative des histoires de la transformation, tout en cherchant également à fournir une vision quantitative cohérente. La complémentarité entre les deux approches est essentielle. Les modèles quantitatifs sont capables de prendre en compte de très nombreux phénomènes interdépendants, mais il ne faut pas surestimer la précision de leurs résultats dans le cadre d'une analyse prospective et leur capacité à représenter la complexité du monde réel. En effet, leur mise en œuvre nécessite d'établir de très nombreuses hypothèses et, la qualité des sorties du modèle ne pouvant être meilleure que celle des hypothèses d'entrée, il est difficile de maîtriser celles-ci lorsqu'elles concernent un horizon très lointain,

1 *Waisman et al (2019) « A pathways design framework for national low greenhouse gas emission development strategies »Nature Climate Change 9.4 (2019): 261-268*

comme à 2050. Plus encore, divers paramètres des modèles quantitatifs complexes partent du principe, implicitement ou explicitement, que certaines choses restent stables sur l'horizon d'étude. Or, l'exercice de prospective pousse les modèles quantitatifs à leurs limites, puisqu'on leur demande de simuler un état du monde très différent de l'état passé, à partir desquels ils ont été élaborés et paramétrés. Une approche plus qualitative permettra d'explorer différentes visions du futur, y compris avec des ruptures fondamentales par rapport aux tendances actuelles, et d'articuler les futurs techniques avec des aspects plus structurels ou socio-économiques qui sont difficilement intégrables dans un exercice uniquement de modélisation.

En pratique, notre approche méthodologique nécessite d'informer du mieux possible la réalité actuelle du transport de fret en France. Ainsi, nous avons mené un vaste travail de collecte des données afin de décrire pour 2010, point de départ de l'analyse, une structure très fine du secteur, en croisant plusieurs dimensions : ensemble des tonnes chargées et/ou déchargées (segmentées par grands types de produits), total et moyenne des distances parcourues (par gammes kilométriques), structure modale et composition des flottes de véhicules (en termes de capacités, de motorisations et de consommations unitaires), indicateurs de performances logistiques (taux de charge et de retour à vide, vitesse sur les routes et/ou totale), etc. Sur la base de nos narratifs et des visions du monde qu'ils décrivent, nous faisons ensuite des hypothèses sur les évolutions (jointes ou isolées) de ces différents indicateurs jusqu'en 2050 ce qui nous permet de relier les changements opérés dans le secteur du transport de marchandises à ses émissions de CO_2.

« Méthode » - voir Annexe 1

Pour en savoir plus sur l'approche de prospective de l'initiative Deep Decarbonization Pathways.

« Segmentation des données » - voir Annexe 2

Pour en savoir plus sur les informations détaillées dans cette étude comme par exemple le détail de la segmentation des catégories de marchandises : G1 – G6.

Émissions carbone

Les analyses suivantes prennent en compte les sources d'émissions territoriales, provenant uniquement des modes de transports terrestres (rail, route et fluviale), c'est-à-dire des émissions émises par tout véhicule sous pavillon français ou étranger circulant sur le territoire national, y compris les transits.

Les émissions prises en compte correspondent aux émissions directes des véhicules motorisés et sont exprimées en millions de tonnes CO_2 équivalent. Une analyse additionnelle des émissions indirectes liées à la production des énergies a été réalisée pour observer le report des émissions du secteur du transport vers celui du secteur de la production d'énergie. Toutefois, il n'a pas été réalisé d'étude complète du scénario en Analyse du Cycle de Vie (ACV) pour intégrer en autres les émissions liées au développement des infrastructures et au renouvellement des véhicules. Les émissions de changement d'usage des sols n'ont pas été prises en compte.

Ce travail intègre la question des enjeux de transformations du secteur vers la neutralité carbone au sein d'autres enjeux du développement durable, comme des enjeux de santé (polluants locaux, accidents), des enjeux sociaux et économiques (emplois, salaires, services) et d'autres enjeux de durabilité (gestion du temps, de l'espace, pollution sonore et visuelle).

Sont exclues de cette analyse : les émissions des véhicules utilitaires légers étrangers, les émissions des départements et régions d'outre-mer et collectivités d'outre-mer (DROM-COM) incluses dans le périmètre de Kyoto, les émissions aériennes et maritimes domestiques.

« Périmètre des émissions » - voir Annexe 3

Pour en savoir plus sur la délimitation exacte des émissions prises en compte.

Narratifs
Le récit des transformations à 2050

Cette partie présente l'ensemble des évolutions des différents déterminants des transformations du secteur. Après un court résumé des deux scénarios, le récit des principales hypothèses de cadrage sur les transformations de la macrostructure économique et sociale et des systèmes de production, de consommation et d'échanges de marchandises qui définissent ces deux mondes sont présentées ainsi que leurs interactions avec l'évolution du système de transport et du système énergétique.

Résumé des deux scénarios

Scénario 1 : *Une poursuite des tendances structurelles rendant la décarbonation du secteur dépendante de la transformation du secteur routier et de forts besoins en agrocarburants.*

La société poursuit les tendances actuelles pour l'évolution des systèmes de production, de consommation et d'échange sans intégrer les contraintes que ce modèle impose sur les choix d'évolution du système de transport et d'énergie. Les flux d'échanges continuent à être intenses et se font toujours de plus en plus rapidement. La structure des activités et donc des distances moyennes de transport se stabilise, après les augmentations importantes de ces dernières décennies, et la demande de transport continue d'augmenter principalement en quantité de tonnes transportées. Le transport routier continue à se développer sur tous les segments de transport (national, import, export et transit) soutenu par des investissements vers le routier pour diminuer les problèmes de congestion et pallier à l'usure des routes. La multimodalité et l'intermodalité peinent à se développer à cause des attentes temporelles toujours plus contraignantes et du manque d'investissements dans les autres infrastructures modales et plateformes multimodales logistiques. De fait, la décarbonation du transport de marchandises terrestre repose essentiellement sur la transformation du parc de véhicules routiers, véhicules utilitaires légers (VUL) et poids lourds (PL), avec des défis technologiques majeurs pour les PL nécessitant des autonomies au-delà de 500 km. Ce segment d'activité pousse également à l'usage de quantités importantes d'agrocarburants liquides et gazeux induisant une pression importante sur le système agroalimentaire et énergétique.

Scénario 2 : *Des changements stratégiques sur la structure macro-économique impliquant de nombreuses transformations comportementales et organisationnelles permettent de répartir l'effort de décarbonation sur une combinaison de leviers.*

La société intègre les possibles transformations du système de production, de consommation et d'échange. Elle met en œuvre un ensemble d'instruments pour développer l'économie circulaire, en responsabilisant les producteurs et les consommateurs. Elle reprend contrôle sur le temps et abaisse les contraintes temporelles exigeantes qui pèsent sur le système de transport. Enfin, le système est relocalisé autour d'écosystèmes régionaux. La demande de transport de marchandises est dès lors maîtrisée grâce à la réduction des quantités de tonnes transportées et la réduction des distances moyennes de transport. La relocalisation des échanges favorise également la conversion d'une plus grande partie du parc de véhicules routiers en diminuant les besoins d'autonomie longue distance. La prise de conscience des défis sociaux associés à la circulation du transport routier conduit à la mise œuvre d'un ensemble de mesures en faveur du rail, parmi lesquelles des investissements stratégiques dans les infrastructures ferroviaires et la construction d'un ensemble de plateformes multimodales nationales interconnectées visant à créer un modèle efficace de transport ferré longue distance combiné avec le transport routier régional. Cette nouvelle organisation permet d'obtenir des améliorations plus importantes sur l'usage de l'intermodalité et les niveaux de chargement. Le fret ferroviaire, développant son offre de service, joue un rôle important pour baisser les besoins énergétiques en agrocarburants liquides et gazeux et être compatible avec la transformation agroécologique du système agroalimentaire.

Les principales hypothèses de cadrage sur la macrostructure économique et sociale et les transformations du système de production, de consommation et d'échanges de marchandises

Hypothèses communes aux deux scénarios

Population. La population française croît entre 2010 et 2050 d'environ 9 millions d'habitants et atteint 74 millions d'habitants en 2050. Le vieillissement fait que les personnes âgées de plus de 65 ans représentent plus d'un quart de la population en 2050. Enfin, le développement des familles recomposées et monoparentales, des couples plus tardifs et du célibat fait diminuer en moyenne le nombre d'habitant par ménage de 2,2 à 2,0 habitants par ménage en 2050.

Économie. Le produit intérieur brut (PIB) et la valeur ajoutée (VA) continuent à croître à un taux de croissance annuel moyen (TCAM) de 1,8 %, pour atteindre un doublement en euros courants sur la période 2010-2050. Cette croissance est principalement tirée par le secteur des services marchands, et l'économie est de plus en plus tertiaire, les services marchands et non marchands passant de 78 % de la VA en 2010 à 83 % en 2050. Cette étude ne mesure pas de manière quantitative l'impact des changements sociaux, économiques et organisationnels sur le PIB mais intègre seulement des analyses qualitatives sur la nature de celui-ci.

Commerce communautaire. L'intégration sociale européenne s'accélère pour éviter une crise démocratique. Une harmonisation sociale, fiscale et environnementale permet d'aligner les coûts de production dans la plupart des secteurs et d'harmoniser les règles entre les différents pays.

Système énergétique. La transition énergétique vers les énergies renouvelables entraîne une quasi-suppression de l'usage des matières fossiles brutes : charbon, pétroles et gaz naturel. Le pétrole raffiné liquide utilisé comme combustible est en voie de disparition dans un monde bas carbone, le coke et les produits raffinés en général sont moins utilisés. La production de plastique est mise sous contrôle afin de limiter son impact sur l'environnement et l'usage du bois, du papier et du verre est remis au goût du jour pour de nombreux usages. Les engagements de la France vis-à-vis de l'accord de Paris et de la SNBC mènent à la décarbonation totale des vecteurs énergétiques utilisés d'ici 2050 pour le transport de marchandises utilisant les modes routiers, ferroviaires et fluviales.

Technologies. Les applications digitales se développent toujours plus vite et leurs utilisations dans le secteur du transport de fret sont multiples. De plus, les différentes gammes de poids lourds (PL) électriques se développent avec des autonomies plus faibles que les véhicules thermiques d'aujourd'hui et seuls les PL hybrides ou gaz peuvent garantir le même niveau d'autonomie pour les longues distances. Les véhicules utilitaires légers (VUL) électriques peuvent atteindre des autonomies supérieures à 300 km, amplement suffisantes pour la vaste majorité des activités. De nombreuses innovations technologiques réduisent les consommations d'énergie de traction des véhicules.

Par ailleurs à l'échelle internationale, la France n'est pas isolée car tous les pays s'inscrivent dans une perspective de respect de l'accord de Paris et de réduction de leurs émissions.

Transformations spécifiques au scénario 1

Économie. La production industrielle se spécialise peu à peu dans une production de haute VA et, pour ces biens (par exemple dans l'aéronautique, la robotique, les technologies de l'information…), l'économie française parvient à être plus compétitive sur le marché international. En pratique, cela signifie que les industries françaises augmentent leurs productions et exportations de produits à haute VA et que, réciproquement, les importations de produits à faible VA augmentent.

Commerce extra-communautaire. Le commerce international prend une place de plus et plus importante dans l'économie française, même si le rythme de ce processus est actuellement en train de ralentir. Au vu des disparités économiques, environnementales, sociales et salariales dans le monde, et de certaines économies d'échelles déjà réalisées par certains pays, la compétition internationale pourra longtemps encore proposer des produits avec des prix plus faibles que s'ils étaient intégralement fabriqués en France. Malgré quelques initiatives nationales (comme le « Made in France », les clusters de productions régionaux, les circuits courts alimentaires), la production restera en grande partie internationale et l'économie restera très imbriquée dans des chaînes de valeurs mondialisées.

Commerce communautaire. L'intégration socio-économique européenne est accompagnée d'un coût du transport qui reste très faible, la réduction des écarts de coûts de production entre territoires n'est pas suffisante pour transformer fondamentalement les chaînes logistiques intra-européennes.

Urbanisation. La métropolisation de la population française continue de se développer. Les principales métropoles continuent donc d'attirer la majeure partie de la population et de s'étaler sur des surfaces plus grandes, avec notamment un fort développement des aires périurbaines. Les activités économiques sont également de plus et plus concentrées autour de ces métropoles où l'on trouve des écosystèmes d'éducation et de recherche supérieures.

Système agro-alimentaire. Le système agro-alimentaire conserve globalement les mêmes structures qu'aujourd'hui, avec par exemple une dépendance élevée aux intrants chimiques et des transports des produits alimentaires sur de longues distances. La consommation d'aliments par personne augmente, même si modérément pour les produits d'origine animale. Le gaspillage alimentaire est mieux maîtrisé mais reste préoccupant. Le transport continue par ailleurs de représenter une part modérée du prix de vente des produits agroalimentaires, ce qui permet aux produits agricoles d'être transportés sur de longues distances. Les circuits courts alimentaires ne sont pas particulièrement favorisés par des initiatives publiques et restent donc un marché de niche.

Système de construction des bâtiments. Le système constructif conserve globalement les mêmes structures. Bien que les activités économiques soient de moins et moins intenses en espace construit grâce à la tertiarisation de l'économie, la population demande plus d'espace construit par personne, notamment en raison de la croissance des aires périurbaines – où l'espace construit est moins cher qu'en centre-ville – ou encore en lien avec le développement des familles monoparentales. Par ailleurs, plus de matériaux sont demandés par mètre carré construit pour mieux isoler les bâtiments et baisser la demande énergétique.

Système de production-consommation des biens manufacturés. Le système productif conserve globalement les mêmes structures. Du côté producteur, peu des mesures volontaristes sont prises à l'échelle nationale pour permettre une transition des filières vers une production plus durable. Les développements se font sur des bases volontaires, restent marginaux et continuent d'être peu économes en matières premières. L'économie de la réparation reste un segment de niche et par conséquent de nombreux produits qui souffrent de problèmes mineurs sont fréquemment jetés alors qu'ils pourraient être réparés. Du côté consommateur, aucune mesure n'est prise pour encadrer les pratiques de ventes (ACV, publicités, marketing…) et transformer les comportements de consommation. Le partage de biens entre ménages n'augmente donc pas et pourrait même régresser, la limitant à la mutualisation intra-ménage des biens d'équipement. En parallèle, l'industrie s'oriente aussi vers une décarbonation de sa production et une électrification de ses besoins. L'électricité couvrira jusqu'à 40 % des besoins énergétiques de l'industrie.

Système énergétique. L'industrie est un secteur complexe à décarbonner mais le niveau d'électrification est considérablement amélioré et atteint environ 78 % d'ici 2050. Ce secteur est prioritaire pour l'usage des agrocarburants gazeux.

Système temporel d'échanges. Le système d'échanges conserve lui aussi globalement les mêmes structures temporelles. Une part non négligeable des industriels, des chargeurs et des consommateurs continue d'exiger des livraisons en « juste-à-temps » de leurs fournisseurs afin de réagir rapidement aux variations de demande et de réduire les stocks immobilisés. Cette contrainte temporelle est d'autant plus structurante que l'économie nationale s'est relativement plus développée sur les produits à forte VA, ce qui pèse fortement sur les choix des modes et véhicules de transport par les transporteurs et les logisticiens, et plus généralement sur l'organisation des chaînes logistiques. Le développement du « e-commerce » et des livraisons faussement « gratuites » contribue à développer cette frénésie des échanges rapides.

Transformations spécifiques au scénario 2

Économie. Les transformations à l'œuvre dans ce scénario permettent de développer une économie plus intensive en emploi en développant des activités de production à la maille nationale et régionale et des activités de services nouveaux comme ceux liés à la réparation ou l'écoconception. La création de valeur passe par le renforcement et la revalorisation du travail comme par exemple dans les métiers liés au soin à la personne ou à l'entretien du territoire et du patrimoine.

Commerce extra-communautaire. L'Union Européenne (UE) décide de redéfinir la régulation des échanges internationaux et parvient à en faire un vecteur de déploiement du développement durable global. L'UE entreprend ainsi la renégociation de tous ses traités commerciaux pour y insérer un système incitatif vis-à-vis des objectifs de développement durable. Ce système vise à intégrer, entre autres, les externalités négatives dues aux émissions de polluants lors de la production et le transport des produits importés, mais aussi l'ensemble des conséquences néfastes du commerce international sur le bien-être communautaire (normes sociales sur les bas salaires et les niveaux des retraites, la santé des populations et le respect de la biodiversité). De nombreuses conditions doivent être réunies pour mener à bien cette transformation, comme le renforcement des outils de traçabilité des produits pour mieux contrôler les importations aux frontières de l'UE et le respect des traités révisés ainsi que le développement de supports économiques innovants : élargissement du marché carbone aux pays hors UE et développement de « green bonds » dédiés à la relocalisation du commerce et au fret ou des accords joints avec les grandes entreprises et les branches industrielles européennes afin qu'elles se portent garantes du choix de leurs sous-traitants et de leurs partenaires commerciaux..

Commerce communautaire. L'intégration européenne s'accompagne d'une augmentation du coût des transports pour les marchandises qui questionne l'organisation des chaînes logistiques actuelles, avec un attrait renforcé pour des localisations proches des grands marchés de consommation. L'UE voit ainsi se créer une économie de la proximité avec une relocalisation de certaines productions à une maille régionale et donc un raccourcissement des distances d'échanges. Les produits les plus concernés sont ceux à faible VA où les valeurs du travail et des transports sont proportionnellement plus importantes dans le prix final. De nombreuses mesures peuvent venir accompagner cette transition telles que des incitations fiscales pour les entreprises (révision de l'impôt sur les sociétés à la maille européenne pour intégrer les émissions liées à leurs d'activités de transport et de production), engagements des chargeurs pour favoriser l'approvisionnement local et des incitations pour les consommateurs (réelle tarification des livraisons suivant les distances et les modes utilisés, développement de l'éco-affichage sur les produits via des outils d'analyse du cycle de vie).

Urbanisation. La tendance vers une plus forte régionalisation des échanges influence en retour le choix d'installation des ménages français, afin d'être au plus proche des emplois. Les villes secondaires françaises connaissent ainsi un nouvel essor et voient leur population augmenter grâce, notamment, à la création de ces écosystèmes de production-consommation régionaux. Le développement de ces villes se fera sur un modèle de densification et de logement plus collectifs, afin de limiter l'étalement urbain et de générer des économies d'échelle pour les biens indivisibles, les transports collectifs, les logements, les hôpitaux ou les établissements éducatifs par exemple.

Système agro-alimentaire. En rupture avec la situation actuelle, l'agroécologie se développe en France et en Europe afin que soient respectés plusieurs de nos engagements envers la protection de la biodiversité, l'amélioration de la santé alimentaire et l'atteinte de la neutralité carbone à 2050. Cette transition concerne à la fois les modes de production (suppression des produits phytosanitaires, réduction des intrants chimiques, agroforesterie, couplage élevage-agriculture…) et l'assiette alimentaire des ménages vers une alimentation plus équilibrée, durable et locale.

Système de construction des bâtiments. En rupture avec la situation actuelle, le secteur de la construction connaît d'importantes transformations. La transition bas carbone du secteur de la construction et de la rénovation vise l'usage de matériaux ayant une empreinte environnementale plus faible. L'urbanisation orientée vers un modèle de densification contrôlée permettra également de diminuer les besoins en matières par ménage. A contrario, le besoin d'investissements en infrastructures pour la transition énergétique aura tendance à augmenter à court et moyen terme les besoins de matériaux. Une approche filière spécifique à ce secteur est nécessaire afin de développer et généraliser des techniques améliorées de recyclage interne à la branche (entre la destruction et la construction).

Système de production-consommation des biens manufacturés. En rupture avec la situation actuelle, la transition bas carbone de la société française passe également par la transformation de la production et de la consommation des différents biens manufacturés, comme les vêtements, les appareils électroniques ou les voiture. L'économie marchande des biens manufacturés va se transformer en intégrant le développement de l'écoconception en amont de la production et en

développant une économie de la réparation et du recyclage, intensive en emplois, en aval de la première vie des produits. Cette économie circulaire s'appuiera sur un développement fort de l'usage et du partage de ces biens par opposition à la possession exclusive, individuelle des objets, avec comme effet d'en limiter le nombre. Cette transformation nécessite d'articuler un certain nombre de mesures pour transformer à la fois les règles de production et les règles de consommation et d'échanges.

Les producteurs et les filières deviennent ainsi responsables de leurs produits jusqu'à leur recyclage et des mesures pourront viser à garantir leur reprise en fin de vie ou à proposer des schémas de valorisation des produits de seconde main. De nombreuses mesures additionnelles pourront venir accompagner cette transformation vers l'écoconception et une société de réparation : renforcer les critères sur la durée de vie minimale de certains produits et interdire l'obsolescence programmée ; renforcer les critères sur la modularité et la réparabilité ; revaloriser les activités de réparation et collecte ; renforcer l'usage de matériaux résistants et recyclables ; réviser les règles de tarification des déchets ; réviser la tarification incitative des pièces de rechange afin de favoriser la réparation plutôt que l'achat neuf ; soutenir le développement d›innovations technologiques favorisant l›économie de la réparabilité, comme l'imprimante 3D et l' « open source » sur la conception des produits, etc.

Les indicateurs d'analyse de cycle de vie (ACV) sur tous les produits sont généralisés, les pratiques marketing et publicitaires sont encadrées pour passer d'une société centrée sur la consommation et la possession vers une société de l'usage responsable et du partage. Des mesures additionnelles pourront venir en accompagnement de cette transformation vers une société du partage et de la fonctionnalité : campagnes d'éducation et de sensibilisation dès l'école pour remettre la question de l'usage au centre des questionnements individuels sur la consommation et la possession ; soutien au développement de nouveaux services publics de partage comme des bibliothèques publiques d'objets, organisant des systèmes de garanties et permettant à ces activités d'émerger ; mise en relation générationnelle, créant du lien entre jeunes et séniors, notamment sur le partage de certains équipements fixes ; campagnes sanitaires et investissements dans des lieux de rencontre pour encourager l'usage des modes de déplacements actifs sur les distances courtes mais aussi favoriser l'auto-partage.

Système énergétique. L'industrie est un secteur complexe à décarbonner et le niveau d'électrification ne parvient pas à décoller et atteint environ 33 % d'ici 2050. Ce secteur est prioritaire pour l'usage des agrocarburants gazeux.

Système temporel d'échanges. En rupture avec la situation actuelle, les conditions de livraisons vers un système où des limites à la poursuite du « juste-à-temps » sont fixées et où les livraisons apparaissent explicitement comme une composante du prix final. Cette transformation nécessite d'articuler un certain nombre de mesures pour transformer à la fois les règles de livraison et les choix de consommation et de livraisons.

Les temps et les lieux de livraison en ville sont régulés, contraignant les marges de manœuvre des chargeurs et les transporteurs. Du côté des vendeurs, des temps minimaux pour le transport de produits non périssables pourront être par exemple discutés afin de fixer des limites à la compression toujours plus grande des temps de transport. Afin d'éviter la multiplication du trafic et les effets de congestion en milieu urbain, la livraison à domicile pourra par exemple être plus fortement régulée depuis des centres de distribution urbaine (CDU) vers des points d'accueils et des espaces de stockage semi-centralisés qui seront développés, l'usage des livraisons à domicile étant essentiellement autorisé sur des critères d'accessibilité à la mobilité ou des types de produits bien spécifiques, comme des produits lourds et encombrants à déplacer.

Les comportements de consommation pourront également changer par rapport au temps en combinant certaines mesures relatives à la sensibilisation du consommateur, à l'information et aux incitations économiques. En général, une sensibilisation du consommateur devra être mise en œuvre pour accompagner l'évolution vers une société moins « impatiente ». De plus, les consommateurs devront être informés de manière transparente sur les tarifs de livraison et la mention de livraison « gratuite » ne sera plus autorisée. Le système de prix des produits pourra en outre différencier explicitement la part liée à la production du bien et à son acheminement vers le CDU, puis la part imputable à la livraison du dernier kilomètre. Cette dernière pourrait être régulée de manière à réduire au maximum les livraisons « instantanées », sur les biens non périssables notamment. Enfin, pour systématiquement inciter l'acheteur à privilégier des temps de livraisons plus longs, qui autorisent donc une logistique plus flexible, une régulation pourra encadrer la tarification en fonction du délai de livraison et en proposant l'instauration d'échelles de prix progressifs.

Système de transport et système énergétique dans les deux scénarios

Ces transformations du système de production, de consommation et d'échanges contribuent à transformer la demande de transport de marchandises à la fois en termes de quantités transportées mais également de distances de transport (Cf. section « Marchandises et mobilité » du tableau de bord). Le scénario 1 connaît ainsi une croissance importante des tonnes transportées et une quasi-stabilité des distances moyennes de transport telles qu'elles existent aujourd'hui, conservant dès lors un couplage entre la demande de transport et la croissance du PIB. Alors que le scénario 2 connaît une légère décroissance des tonnes transportées et une réduction des distances moyennes de transport par rapport à aujourd'hui, caractérisant un découplage de la demande de transport par rapport au PIB. Derrière la structure de ces mondes, des systèmes de transports et des chaînes logistiques très différents peuvent émerger.

Les infrastructures de transport et logistiques

Le commerce extérieur extra-communautaire peut favoriser des besoins différents de développement des capacités portuaires et leurs interconnexions avec les « hinterlands »

Dans le scénario 1, le commerce extra-communautaire continue à se développer et à occuper une place prépondérante dans l'économie française, créant de fait des besoins forts d'extension et de renforcement des grandes infrastructures portuaires. A contrario, la rupture du scénario 2 sur l'intégration des objectifs de développement durable dans les traités de libre-échange n'induit pas les mêmes besoins de renforcement de ces infrastructures.

Dans le scénario 1, le développement des grands ports maritimes est crucial pour garantir la bonne intégration de l'économie française dans la mondialisation. Pour accommoder l'augmentation du commerce extra-communautaire, les ports seront dotés de meilleures plateformes multimodales, en particulier en connexion avec le ferroviaire, afin de permettre de prendre une partie plus grande des transports au départ et à la destination des interfaces portuaires. Dans le même esprit, le développement du projet fluvial Seine-Nord, permettant notamment de relier le port du Havre à Paris, permet de développer les capacités de cet axe vis-à-vis de ce grand port international et du nord du pays interconnecté avec les autres grands ports maritimes du nord-européen.

Le relâchement des contraintes temporelles est une condition pour favoriser le renouveau de la multimodalité et de l'intermodalité à la maille nationale

Dans le scénario 1, la continuité des exigences temporelles sur la logistique favorise un système de domination de la route, mode le plus flexible, qui crée par exemple un intérêt faible pour le développement de grandes infrastructures ferroviaires ou de grandes plateformes multimodales. A contrario, le desserrement des contraintes temporelles supposé par le scénario 2 est un élément clé pour permettre le développement des infrastructures ferroviaires entre autres, des plateformes multimodales, et pour autoriser un déploiement important de la multimodalité et de l'intermodalité.

Dans le scénario 1, les infrastructures routières restent au centre des stratégies de développement des infrastructures. Plusieurs grands projets d'agrandissement du réseau routier ont lieu principalement hors des villes, surtout sur les autoroutes et routes régionales ou contournements pour permettre d'absorber les hausses de trafics de passagers et des véhicules de fret. Le réseau ferroviaire est de son côté entretenu pour garantir son bon fonctionnement sur les axes principaux et absorber les demandes associées aux grands ports maritimes.

Dans le scénario 2, un système de transport multimodal en réseau peut se développer mais nécessite des choix d'investissements différents. Chacune des 12 régions de la France hexagonale est dotée d'au moins deux principales plateformes multimodales « amont » interconnectées entre elles et connectées aux différents réseaux de transport terrestres (rail, route, fluvial là où cela est pertinent), ce qui assure un maillage sur tout le territoire de plateformes tous les 200 à 300 km. En complément, des plateformes multimodales seront développées ou renforcées à toutes les interconnexions internationales terrestres, mais également maritimes et aériennes. Le développement des corridors de transports européens devra garantir l'interopérabilité du transport ferroviaire aux frontières. Ces plateformes « amont » seront complétées et reliées à un ensemble de plateformes multimodales « aval », à l'instar des centres de distribution urbaine (CDU), pour permettre un acheminement des marchandises par voies routière, ferrée ou fluviale jusqu'aux abords des grands centres de consommation (par exemple, au moins aux abords des quatre-vingt-neuf préfectures continentales).

En outre, les infrastructures ferroviaires devront particulièrement être renforcées : développement de portions de lignes dédiées au fret ou dédoublement des voies là où le transport passager sature les lignes comme aux abords des grandes agglomérations ; développement d'une nouvelle offre d'autoroutes ferroviaires sur l'axe atlantique sud vers Hendaye et l'axe atlantique ouest vers la Bretagne ; maillage entre les plateformes multimodales, développement du réseau capillaire et des installations terminales embranchées auprès des zones d'activités clés pertinentes. Ces travaux pourront s'appuyer sur l'expertise territoriale développée par les opérateurs ferroviaires de proximité (OFP). De la même manière, les infrastructures fluviales devront être accompagnées dans leur développement là où cela est pertinent. Ces investissements importants au cours des 20 prochaines années, tant sur le réseau ferré que sur des plateformes multimodales efficaces de triages, groupages, dégroupages et stockages, sont une condition nécessaire supplémentaire au relâchement de la contrainte temporelle afin de permettre à l'intermodalité de jouer un rôle important dans la décarbonation du secteur. Ils permettront en outre de favoriser la massification des flux de marchandises et de diminuer leurs empreintes spatiales, d'optimiser les chargements, d'améliorer les vitesses de circulation sur rail et de réduire les ruptures de charges entre modes.

Les règles d'accès aux grandes infrastructures sont des éléments structurants pour définir la place des différents modes dans le système de transport

Dans le scénario 1, le développement du rail et de ses infrastructures n'est pas favorisé par des investissements publics massifs et la prolongation des contraintes temporelles. Cette tendance pénalise le choix d'utiliser des modes non-routiers. Par ailleurs, l'absence d'alternatives modales efficaces rend difficile toute stratégie d'internalisation des coûts sociaux de la route et son acceptabilité politique et sociale. Ce scénario n'encourage donc pas à ouvrir le chantier de la refonte de l'ensemble des règles d'accès au système ferroviaire afin de rééquilibrer le modèle français entre fret et passagers. A contrario, le scénario 2 développe un système ferré et des infrastructures logistiques multimodales de qualité, rendant de fait plus pertinente une modification des règles d'accès aux réseaux ferré et routier.

Dans le scénario 2, la gestion des voies ferrées entre le transport de personnes et de marchandises va ainsi évoluer pour équilibrer la place du transport de fret par voie ferrée dans le bilan des circulations et favoriser l'accès des marchandises au rail. Cette transformation nécessite une révision des règles du gestionnaire d'infrastructures en particulier vis-à-vis du système de réservation et d'allocation des sillons. Ces transformations infrastructurelles et gestionnaires permettront d'augmenter les offres de transport par voie ferrée, d'améliorer les vitesses de circulation des trains de 10 à 20 % suivant les trajets et de réduire les temps de ruptures de charge avec le rail jusqu'à 10 % par tkm, notamment grâce à l'association avec les plateformes logistiques multimodales. En parallèle, ce scénario rend possible la mise en œuvre d'un péage visant à internaliser un ensemble d'externalités environnementales et sociales de la route comme l'usure des infrastructures, la congestion et les coûts sanitaires liés aux accidents. Cette tarification kilométrique concerne tous les véhicules avec des variations en fonction des types de véhicules et des distances parcourues sur tout le territoire. Mais elle aura de fait un effet beaucoup plus fort sur les déplacements dont les distances sont supérieures à 500 kilomètres, principalement le transit, les imports et les exports, ce qui favorisera le développement de l'intermodalité et du rail longue distance ainsi que le développement de la proximité et des écosystèmes régionaux européens. Les recettes additionnelles liées à cette tarification seront réinjectées dans l'amélioration du système de transport et des infrastructures. Par ailleurs, le relâchement de la contrainte temporelle permet également de réduire les vitesses de circulation des PL et des VUL supérieurs à 2.5 tonnes de PTAC sur les autoroutes pour des questions de sécurité, de pollution et de fluidité des trafics.

Les conditions de livraison du dernier kilomètre et les modèles d'urbanisation offrent des possibilités différentes pour les circulations et le développement des infrastructures urbaines

Dans le scénario 1, la recherche de temps toujours plus courts pour les livraisons reste une contrainte structurante pour répondre à des consommateurs toujours plus impatients, ne favorisant pas le remplissage des véhicules et multipliant leurs circulations. En parallèle, la transparence sur la tarification des livraisons ne s'améliore pas et laisse penser que le transport est parfois « gratuit », ce qui ne favorise pas non plus un changement de comportements des consommateurs. Ce scénario prolonge également une urbanisation sur un modèle d'étalement urbain plus ou moins diffus. A contrario, le scénario 2

voit ce système d'échanges entièrement transformé avec des attentes temporelles moins fortes et une transparence plus grande sur le coût réel du transport du dernier kilomètre. Ce scénario voit également se renforcer de nouveaux pôles urbains avec des créations d'écosystèmes de production-consommation locaux et une urbanisation contrôlée, centrée sur une densification des villes secondaires.

Dans le scénario 1, le système d'échanges et le modèle d'urbanisation continuent de favoriser les modes rapides, notamment routiers. Le prix du foncier étant toujours plus important dans les centres-villes, les CDU continuent à s'éloigner toujours plus du consommateur final, ce qui limite les possibilités de report modal et renforce la congestion urbaine. Dans ce scénario, les infrastructures pour deux roues, vélos ou scooters, se développent quelque peu afin d'assurer des temps de livraison toujours plus courts. Les acteurs ont tendance à utiliser des véhicules plus petits pour les livraisons finales afin de circuler plus facilement et rapidement, avec des VULs et PLs de PTAC inférieurs ou égales à 19T. Les villes mettent par ailleurs en place des systèmes de gestion des espaces parking et de verbalisation vidéo afin d'endiguer le phénomène de stationnement en double-file qui participe à congestionner les voiries.

Dans le scénario 2, le système d'échanges et le modèle d'urbanisation favorisent des livraisons plus flexibles et plus fluides. Les agglomérations intègrent le transport de marchandises et les activités logistiques dans leur stratégie de planification des déplacements et d'urbanisme. Les communes organisent et articulent des espaces de stockages décentralisés (point d'accueil) avec les plateformes logistiques multimodales « aval », telles que les CDU. La gestion des trafics, des espaces de stationnement et des accès aux points d'accueil pourront passer par des centres de contrôle associés aux CDU. Les autorités locales développent les accompagnements nécessaires des acteurs du secteur et les infrastructures adaptées à leur stratégie comme par exemple : des pistes pour vélo cargo, des stationnements nouveaux associés aux espaces de stockage décentralisés ou des espaces fonciers disponibles pour les CDU au cœur des lieux de consommation. Les plus petites agglomérations prennent également en compte le développement des livraisons jusqu'aux clients finaux. Les autorités organisatrices de mobilité mettent en place des espaces de stockage centralisés dans les communes avec accès sécurisé aux transporteurs, entreprises et ménages afin de favoriser la massification des flux, d'optimiser le remplissage des véhicules et de limiter les derniers kilomètres les moins efficaces. En complément, les villes développent des systèmes automatiques de verbalisations vidéos pour faciliter la fluidification des espaces parking et, grâce à la transformation des attentes temporelles, mettront en place de nouvelles règles pour désynchroniser le trafic de fret et celui de passagers (par exemple, le développement de livraison de nuit avec motorisations silencieuses vers des points d'accueil décentralisés et automatisés).

Les opérations logistiques et les offres de services

Les choix infrastructurels peuvent rendre possible le déploiement d'offre de services ferroviaires compétitifs, en particulier sur les longues distances

Dans le scénario 1, la structure de la demande, les stratégies d'investissements infrastructurels et de régulation des conditions d'accès ne résolvent pas les principales difficultés qui limitent la compétitivité du rail, contrairement au scénario 2 qui transforme les dimensions vitesses, coûts et qualité du service rail.

Dans le scénario 2, les différentes transformations explicitées précédemment sur les investissements en infrastructures ferroviaires ou logistiques multimodales, sur l'amélioration des conditions d'accès et de circulation sur voie ferrée et sur l'intégration des externalités négatives de la route sont autant d'éléments qui créent une situation favorable pour la compétitivité et le développement du secteur ferroviaire. L'offre rail va se redéployer vers des trains encore plus mutualisés entre plusieurs clients et lots, et l'offre de transport par caissons va se multiplier, grâce entre autres à la structuration des échanges autour des plateformes multimodales interconnectées et à l'amélioration de la qualité des sillons qui permettent d'augmenter la vitesse commerciale. Les offres de transport intermodal rail-route vont rapidement se développer là où la compétitivité temps-prix est au rendez-vous, en particulier sur les trajets très longues distances supérieurs à 500 km dans un premier temps, puis sur les distances interrégionales supérieures à 150 km. Les innovations digitales sur les objets connectés permettront d'une manière générale une bonne traçabilité des lots pendant tous les trajets et accompagneront l'ensemble de ces transformations.

La proximité des échanges et le développement du ferroviaire peuvent rendre possible l'amélioration des conditions de travail dans le secteur routier

Dans le scénario 1, la compétition intracommunautaire et la dépendance au transport routier de marchandises rendent l'amélioration des salaires et horaires de travail très difficile. L'harmonisation sociale européenne a donc de plus fortes chances de s'aligner sur un régime de garantie faible pour ces métiers afin de conserver des coûts salariaux faibles pour le secteur qui sont au cœur du maintien des chaînes logistiques actuelles. A contrario, le scénario 2 réduit la dépendance au transport routier sur les longues distances en offrant une alternative ferroviaire ou fluviale, il renforce également la proximité dans les échanges et maintient la place centrale du transport routier régional. Ce scénario est plus propice à voir se développer une amélioration générale des conditions de travail dans le secteur.

Dans le scénario 2, les salaires, qui ont stagné voire légèrement diminué ces dernières années à cause d'une rude compétition intra-européenne, sont augmentés d'environ 20 % sur la période et permettent d'attirer de nouveaux salariés vers ces métiers. Les conditions de travail sont également améliorées, via des systèmes de contrôle des horaires de travail des conducteurs de PL et VUL, qu'ils soient sous pavillons français ou étranger, afin de garantir un respect des temps de conduite, en particulier sur les longues distances. En conséquence de ces divers changements qui induisent une hausse des coûts monétaires, le transport routier perd des parts de marché au détriment du rail sur les longues distances, un accompagnement social du secteur étant donc nécessaire afin de pérenniser cette transition. Toutefois, le marché du transport routier reste clé pour le transport régional et demeure un secteur attractif et créateur d'emplois locaux. Ces améliorations conduiront à une légère augmentation du prix du transport routier sur de courtes distances.

La contrainte temporelle, les choix infrastructurels et les innovations digitales peuvent permettre d'améliorer les taux de chargement

Dans les deux scénarios, le développement des innovations digitales telles que l'internet physique ou la block-chain permettront respectivement de faciliter les échanges d'informations entre chargeurs et transporteurs mais aussi de sécuriser leurs échanges. Cette transformation nécessite une concertation et un accompagnement spécifique pour permettre la transparence et l'inclusion de tous les acteurs, tout en gardant la confidentialité de certaines informations. Le meilleur partage d'informations sur les offres et demandes de transport de fret (lié également à l'émergence de nouveaux commissionnaires digitaux et bourses de fret) permettra d'optimiser les taux de chargement des véhicules (en tonnes et en volumes) et de réduire une part des trajets à vides et des volumes inoccupés. Ces changements seront en général plus importants pour les trajets longues distances interrégionaux. Toutefois, le relâchement de la contrainte temporelle et la massification des flux autorisée par les investissements multimodaux du scénario 2 offrent des potentiels d'amélioration plus importants.

La généralisation des applications digitales va permettre d'améliorer les consommations des véhicules

Enfin, dans le scénario 1 et 2, les transporteurs auront tous généralisé dès 2020 l'usage d'application de « *routing* » pour optimiser leurs trajets en temps et leur consommation d'énergie et ils généraliseront également d'ici 2025 des protocoles d'éco-conduites et des solutions d'automatisation partielle de certaines fonctions, avec la formation et le suivi des consommations de carburant par les chauffeurs.

Les véhicules de transport de marchandises

La transformation du système énergétique ainsi que les réglementations européennes et nationales favorisent l'efficacité énergétique et l'émergence de véhicules à carburants bas carbone

Dans les deux scénarios, le transport de marchandises routiers, ferroviaires et fluviales est entièrement décarboné d'ici 2050.

Les dernières réglementations européennes pour le transport routier de marchandises ont mis en place des contraintes sur les niveaux d'émissions des véhicules neufs. Les constructeurs seront tenus dès 2020 de réduire en moyenne les émissions de CO_2 des nouveaux PL de 15 % d'ici 2025 et de 30 % d'ici 2030, par rapport aux niveaux de 2019, sinon ils devront payer une pénalité financière pour leurs émissions excédentaires. Par ailleurs, ils devront également atteindre un minimum de vente de PL à zéro et à faibles émissions à hauteur de 2 % de leurs ventes annuelles en 2025. Les VUL sont également concernés et les constructeurs seront tenus de réduire en moyenne les

émissions de dioxyde de carbone des nouveaux VULs de 15 % d'ici 2025 et de 30 % d'ici 2030, mais par rapport à 2021. Au-delà de 2030, ces réglementations sur les émissions des véhicules se renforcent dans les deux scénarios pour viser une décarbonation complète en 2050.

Au niveau national, dans les deux scénarios, l'intégration du coût du réchauffement climatique via la composante carbone de la taxe intérieure sur la consommation de produits énergétiques (TICPE) va évoluer de 30 euros par tonne de CO_2 à 300 euros par tonne de CO_2 en 2050 ; des mécanismes de compensation pour les populations et secteurs pénalisés seront mis en place pour permettre les transitions.

Dans le scénario 2, la composante hors CO_2 de la TICPE est redéfinie pour intégrer également les coûts sociaux de santé publique liés aux émissions de polluants locaux et de la pollution sonore. Cela représente une augmentation de la part hors CO_2 d'environ 20-25 % d'ici à 2050 pour les motorisations thermiques. Afin de rendre cette réglementation utile dans le secteur du transport routier, le scénario 2 suppose également que l'exonération partielle de 30 % de la TICPE pour les acteurs du secteur est réduite de moitié d'ici 2050. Le produit de ces taxes sert à couvrir les coûts sociaux et environnementaux des différents vecteurs énergétiques et sera également utilisé pour financer la transition du parc de véhicules ainsi que le système multimodal.

Enfin, pour les deux scénarios, les 160 aires urbaines de plus de 50 000 habitants en France, jouent un rôle moteur d'amorçage des politiques en organisant, à leur échelle, la sortie progressive des véhicules de transport de marchandises émettant de la pollution atmosphérique (exemple à Grenoble avec l'interdiction d'accès des VULs et PLs diesel d'ici 2025). Dès la période 2020-2030, elles développeront des «zones à faibles émissions » (ZFE) où les livraisons seront réservées à des véhicules à faibles et zéro émissions comme par exemple : vélo-cargo, marche, ou véhicules plus petits, électriques. Pour cela, elles instaurent des systèmes de vignettes qui dépendent de l'ancienneté des motorisations et du gabarit des véhicules. Les autorités locales pourront ainsi répertorier et accompagner les transitions de parc.

Les gains d'efficacité énergétique sur les véhicules routiers contribuent à faciliter l'électrification du transport routier

Dans les deux scénarios, des innovations portant principalement sur l'amélioration des motorisations, l'aérodynamisme, les pneus et les systèmes de récupération d'énergie de freinage peuvent permettre de réduire les consommations énergétiques des motorisations thermiques jusqu'à 40 % et des motorisations électriques jusqu'à 10 % entre 2010 et 2050 pour les véhicules routiers. Ces gains de consommation sur les motorisations électriques sont particulièrement importants pour améliorer le dimensionnement des batteries et permettre l'électrification du transport routier.

La nature des trajets des VUL et la disponibilité de solutions technologiques favorisent la pénétration de véhicules à faibles émissions

Dans les deux scénarios, la plupart des VUL dédiés au transport de marchandises effectuent de faibles distances journalières, moins de 200 km. Compte tenu du développement actuel de l'offre de véhicules électriques pour ce segment, la majorité des VUL peuvent être électrifiés dès aujourd'hui. Dans les scénarios 1 et 2, les VUL 100 % électrique (BEV) peuvent pénétrer à hauteur de 80-90 % du stock en 2050.

La nature de la demande de transport et la structure des trajets régionaux ou longues distances ont un fort impact sur les besoins d'autonomie et les choix technologiques des PL

Dans les deux scénarios, les PL rigides et articulés dédiés au transport régional réalisent des distances journalières comprises entre 200 et 400 km. Des premières offres de camions rigides électriques de 16 à 26 T PTAC commencent à émerger avec des autonomies allant de 200 à 300 km. Compte tenu des développements actuels, il sera possible d'utiliser, dans des conditions économiquement compétitives à partir de 2030, des camions électriques avec des autonomies de 300 à 500 km et des batteries de 400 à 700 kWh.

En revanche, les PL dédiés au transport longue distance peuvent réaliser jusqu'à 800km par jour et, compte tenu des incertitudes importantes liées au développement des infrastructures d'approvisionnement de carburants, au prix des carburants et des tracteurs, différentes motorisations pourront exister pour ces grands rouleurs : motorisations électriques hybrides biodiesel, hydrogène ou bien encore des motorisations thermiques aux agro-carburants liquides ou gazeux.

Dans le scénario 1, au vu de la demande significative de transport sur des longues distances, les besoins

d'autonomies des camions sont plus importants et les camions à forte autonomie auront une plus grande place dans le stock. Dans le scénario 2 à l'inverse, la proximité des échanges permet d'avoir une pénétration de PL électriques plus importante.

Les objectifs de décarbonation du transport de marchandises favorisent l'évolution des règles du gestionnaire d'infrastructures vers un meilleur usage des locomotives électriques et bi-modes

Dans les deux scénarios, le transport de marchandises par voie ferrée ne doit plus émettre d'émissions d'ici à 2050. Afin de contrer le développement de l'usage du diesel comme énergie de traction au cours des dernières années, même sur des voies électrifiées, le gestionnaire du réseau pourra mettre en place un système de taxe incitative ainsi qu'un contrôle vidéo en plusieurs points pour maximiser l'usage de l'électricité comme énergie de traction lorsque cela est possible et favoriser la transition du parc de locomotives. Même si le réseau ferré principal français est aujourd'hui électrifié, de nombreuses lignes secondaires ne le sont pas. Des solutions d'électrification partielle complémentaire seront donc développées sur le réseau secondaire là où cela est pertinent pour augmenter l'usage de l'énergie électrique. Les besoins d'électrification des voies dans le scénario 2 sont plus importants que dans le scénario 1 étant donné la place du transport ferroviaire au niveau régional.

Les locomotives électriques et hybrides biodiesel vont majoritairement se développer dans la flotte en circulation grâce à des solutions d'électrification complémentaires et au contrôle du gestionnaire sur l'usage de l'électricité sur voies électrifiées. Toutefois, cette transformation nécessite de mettre en œuvre une stratégie de mutation des flottes de locomotives et de trouver un rythme capable d'aligner les contraintes économiques des acteurs et celles environnementales de la stratégie nationale. La durée de vie des locomotives étant longue, le renouvellement des technologies de motorisations représente un défi important pour les propriétaires. Ce renouvellement planifié et accompagné par des mesures incitatives pourra permettre d'augmenter la part des tonnes kilomètre transportées grâce à de l'énergie électrique à 85 % en 2050 dans le scénario 1, et à 95 % en 2050 dans le scénario 2.

Les objectifs de décarbonation du transport de marchandises favorisent la transformation des flottes de bateaux vers l'usage de carburants bas-carbone

Un plan spécifique va permettre d'améliorer les efficacités énergétiques des flottes de bateaux de 30 % pour les motorisations thermiques et de 15 % pour les motorisations électriques d'ici 2050, et ainsi développer des motorisations adaptées pour passer si possible de motorisations thermiques à électrique. *À noter que le transport fluvial n'a pas fait l'objet d'un approfondissement spécifique des enjeux associés à sa décarbonation dans ce travail.*

La production et distribution de carburants bas-carbone

Les transformations du commerce international et du système agro-alimentaire conditionnent les potentiels recours aux agro-carburants liquides pour le transport de fret

Dans le scénario 1, le potentiel d'agro-carburants liquides uniquement dédiés au transport de marchandises peut atteindre jusqu'à 50 TWh. C'est le produit d'une transformation du système agro-alimentaire pour produire des agro-carburants en France et d'importations internationales complémentaires pour répondre à la demande intérieure.

Dans le scénario 2, le potentiel d'agro-carburants liquides se limite à une production française due à l'intégration de nouveaux critères de durabilité sur le commerce international. La production française se limite donc principalement aux moyens de production existants : environ 30 TWh à partir des techniques de première génération à base de cultures dédiées et environ 5 TWh à partir des techniques de deuxième génération plus avancées. En effet, le système agroécologique n'encourage pas le développement de cultures dédiées à cause de son impact néfaste sur le secteur agricole et sur l'usage des sols. Ce potentiel de 35 TWh est à 80 % dédié au transport de marchandises, conduisant à une ressource disponible de 28 TWh (soit presque deux fois moins que dans le scénario 1).

La transformation du système agro-alimentaire et la compétition dans les usages du gaz conditionnent les potentiels recours aux agro-carburants gazeux pour le transport de fret

Dans le scénario 1, la continuité du système agro-alimentaire et la demande de transport routier longues

distances favorisent un développement plus fort de la production d'agro-carburants gazeux par méthanisation, par pyrogazéification et par power-to-gaz qui peut atteindre jusqu'à 142 TWh d'énergie disponible. À l'inverse, la transformation agroécologique du scénario 2 ne permet pas une intensification aussi forte et empêche le développement de cultures énergétiques dédiées, seulement de cultures intermédiaires. Ce système agroécologique peut permettre tout de même d'offrir une quantité disponible de 83 TWh.

Dans les deux scénarios, l'industrie est prioritaire sur le transport et dans le scénario 1, la production d'électricité est également prioritaire sur le transport. Les niveaux d'électrification de l'industrie diffèrent entre un scénario 1 de forte électrification à 78 % et un scénario 2 à 33 %, laissant dans ce dernier cas des besoins en agrocarburants gazeux importants pour le secteur de l'industrie. Cette compétition dans les usages du gaz associée aux contraintes de production du système agricole résulte en une disponibilité d'agrocarburants gazeux pour le transport de marchandises de 60 TWh pour le scénario 1 et de seulement 4TWh pour le scénario 2.

La compétition dans les usages des carburants peut conditionner les émissions du mix électrique

Dans les scénarios 1 et 2, le mix électrique en 2050 est à 94 % à partir d'énergies renouvelables ou nucléaires, à 5,5 % à partir de combustibles gazeux et à 0,5 % à partir de combustibles liquides. Par ailleurs, les priorités d'accès aux agrocarburants sont différentes. Dans le scénario 1, la production électrique fait partie des secteurs prioritaires d'accès ce qui permet de sortir de la combustion des carburants fossiles dans ce secteur. Dans le scénario 2, les volumes d'agro-carburants gazeux étant prioritairement orientés vers l'industrie et le reste vers les transports, les combustibles gazeux utilisés dans les centrales thermiques électriques restent fossiles. Le contenu carbone de l'électricité est de fait différent, il représente environ 10 gCO_2/kWh dans le scénario 1 et environ 20 gCO_2/kWh dans le scénario 2 en incluant les émissions indirectes liées à la production des combustibles.

La nature de la demande de transports routiers de marchandises conditionne les besoins en infrastructures de distribution d'énergie

Dans les deux scénarios, les véhicules routiers électriques qui effectuent des trajets régionaux auront en général la possibilité de se recharger le soir, ce qui ne nécessite donc pas un investissement trop conséquent dans des infrastructures supplémentaires. Seuls les véhicules électriques dont l'autonomie quotidienne n'est pas suffisante ou bien qui effectuent des trajets sans avoir la possibilité de se recharger la nuit vont nécessiter des infrastructures spécifiques qui devront être distribuées sur tout le territoire national.

Dans le scénario 1, les véhicules routiers effectuent plus de trajets longues distances que dans le scénario 2. En conséquence, les besoins en infrastructures de recharge électrique seront différents et ce scénario peut favoriser le déploiement de solutions d'électrification partielle de certains corridors routiers aux abords des grandes métropoles ou sur les autoroutes les plus fréquentées. Dans le scénario 2, les véhicules routiers longues distances sont plus rares et l'électrification de portions de routes fait moins de sens. Les plateformes logistiques, réparties sur l'ensemble du territoire, pourront dans ce scénario offrir des points de recharge rapide, lors des temps d'attente notamment.

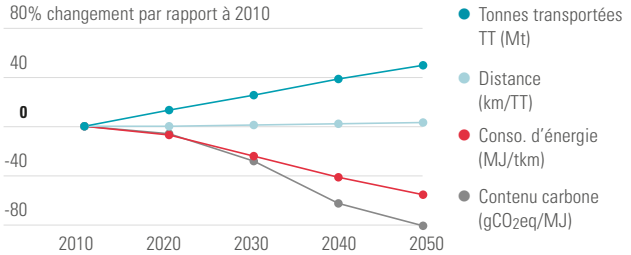
Tableau de bord
Les indicateurs des transformations à 2050

Synthèse graphique des scénarios
Scenario 1 - Présentation du tableau de bord
Scenario 2 - Présentation du tableau de bord

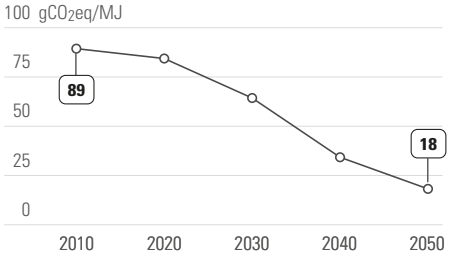
FRANCE - Scénario 1

A1. Consommation nationale d'énergie et émissions associées [1]

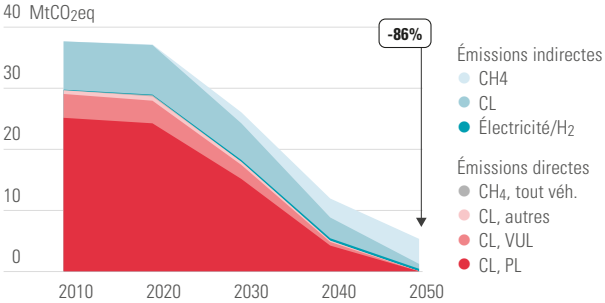
1.a Décomposition des émissions



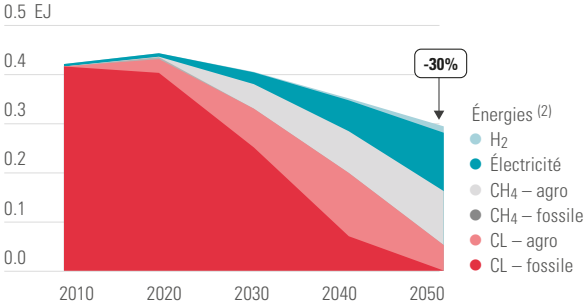
1.c Contenu carbone de l'énergie



1.b Émissions de GES

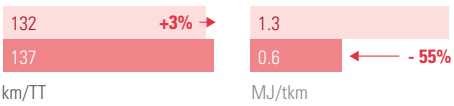


1.d Consommation d'énergie finale

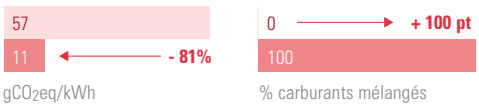


A2. Piliers de la décarbonation

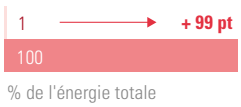
Pilier 1
Efficacité énergétique



Pilier 2
Decarbonation de l'électricité et des carburants



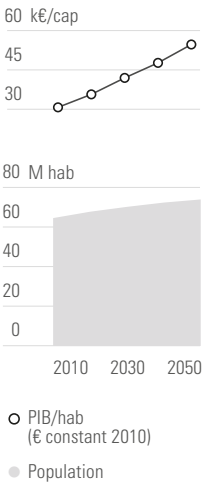
Pilier 3
Transition des carburants



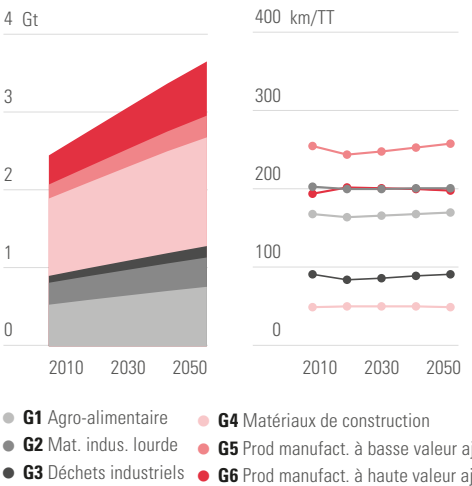
** Carburants liquides et méthane ** Incluant électricité, agrocarburants liquide et gazeux, hydrogène*

A3. Produits et mobilité [3]

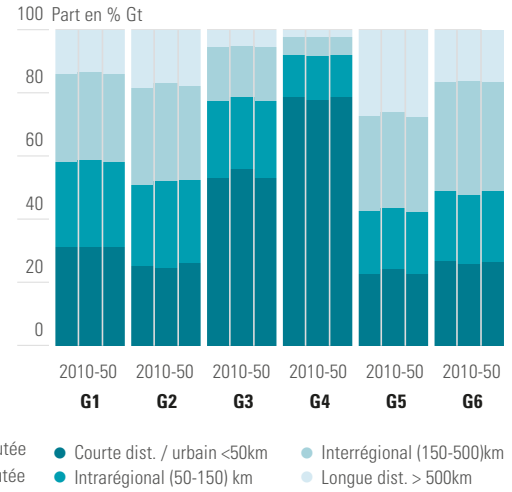
3.a Population et PIB



3.b Produits transportés et distance de transport



3.c Produits transportés par classe de distance



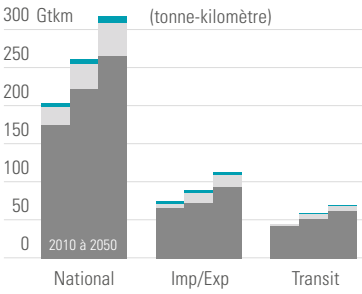
(1) Incluant les émissions directes de la combustion des carburants et les émissions indirectes lors de la production (electricité, combustibles liquide et gazeux), exprimées en équivalent CO_2.

(2) H_2 : hydrogène, CH_4 : méthane, composant principal du gaz naturel, CL = carburant liquide.

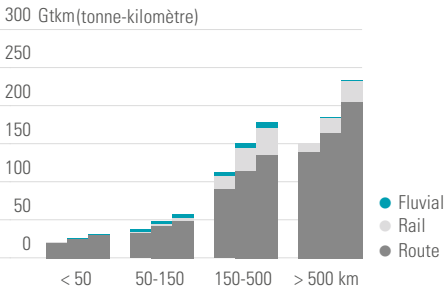
(3) Transport domestique par rail et par route, transport fluvial pour l'import, export, transit et tranport national.

A4. Structure modale

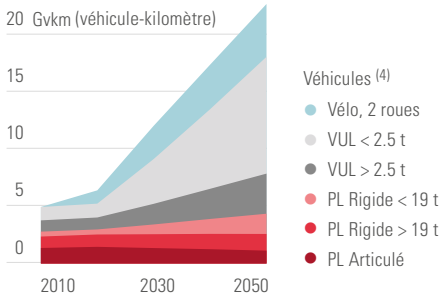
4.a Structure modale par type de transport



4.b Structure modale par classe de distance

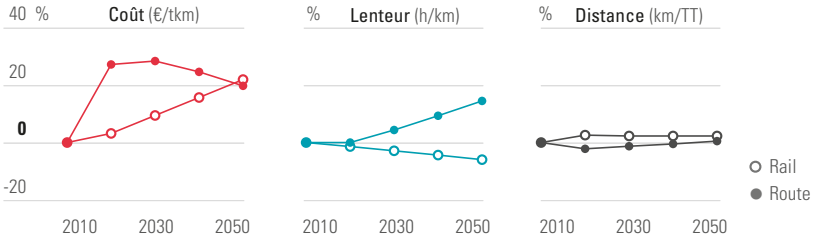


4.c Trafic urbain et courtes distances

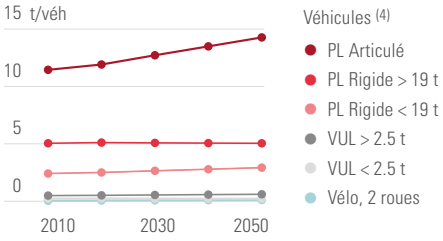


A5. Indicateurs logistiques routiers et ferroviaires

5.a Comparaison route et rail (% valeur 2010)

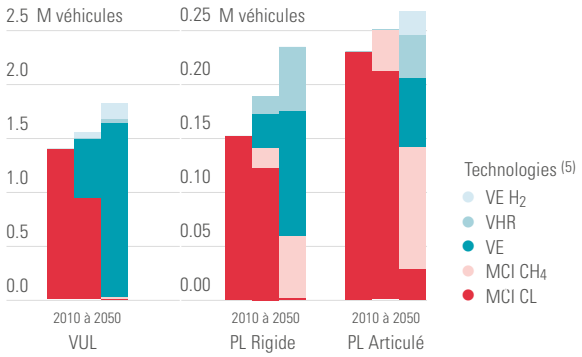


5.b Facteur de charge moyen des véhicules

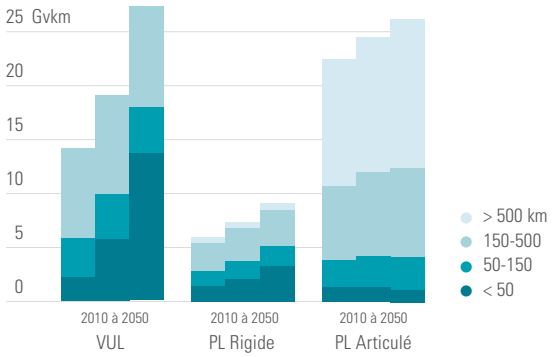


A6. Transport routier de marchandises

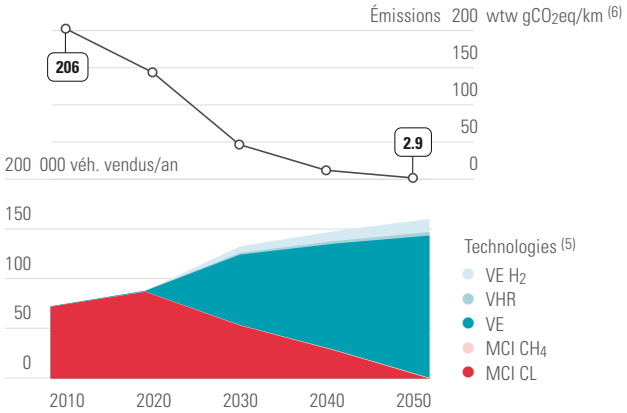
6.a Stock et mix technologique



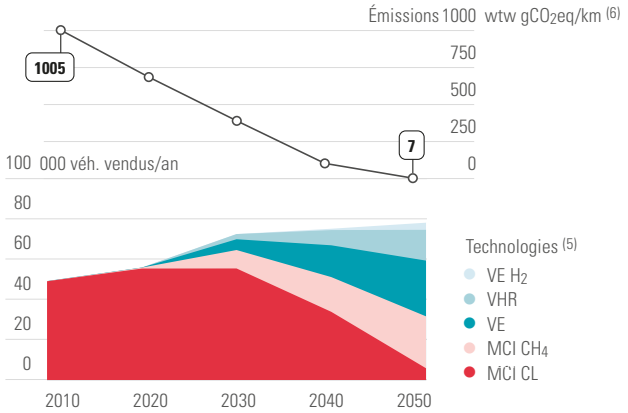
6.b Trafic par classe de distance



6.c VUL ventes et émissions



6.d PL ventes et émissions



(4) 2R : 2 roues, VUL : Véhicule Utilitaire Léger, PTAC<2,5t et 2,5t<PTAC<3,5t, PL : Poids Lourds, Rigide PTAC<19t et >19t, Articulé: principalement 34-44t PTAC.

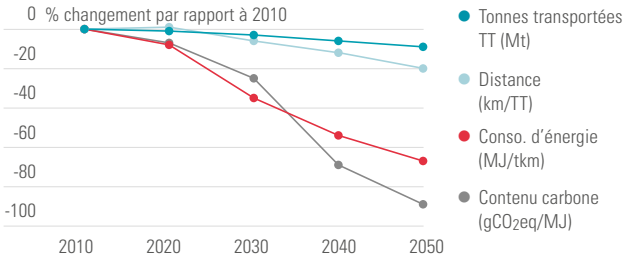
(5) VE H_2 : véh. électrique hydrogène à pile à combustible, VHR : véh. hybride rechargeable, VE: véh. électrique, MCI CH_4 : moteur à combustion interne - CH_4, MCI CL : moteur à combustion interne - carburant liquide.

(6) Émissions des véhicules vendus du puit à la roue, exprimées en "well-to-wheel" gCO_2eq par véh.km (inclues les émissions amont de production, de distribution et les émissions issues de la combustion des carburants).

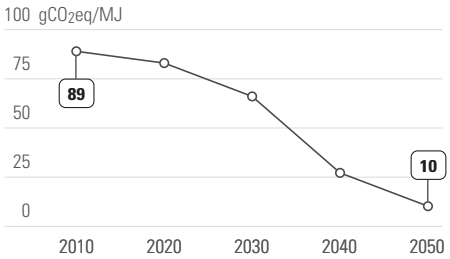
FRANCE - Scénario 2

A1. Consommation nationale d'énergie et émissions associées [1]

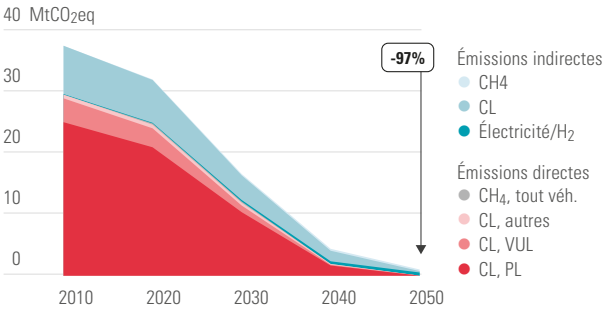
1.a Décomposition des émissions



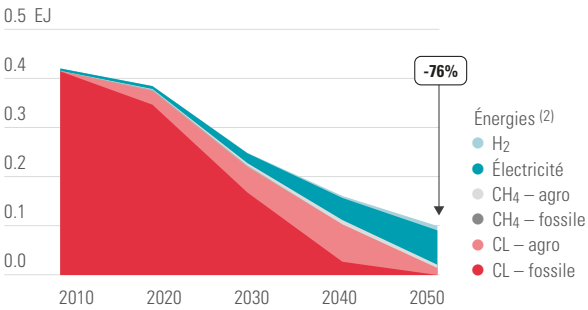
1.c Contenu carbone de l'énergie



1.b Émissions de GES

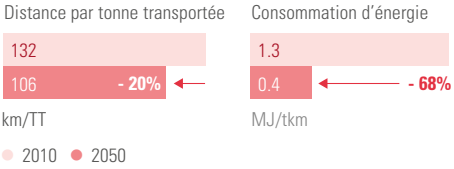


1.d Consommation d'énergie finale

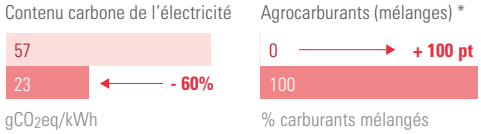


A2. Piliers de la décarbonation

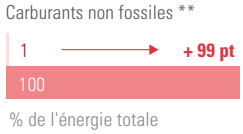
Pilier 1
Efficacité énergétique



Pilier 2
Decarbonation de l'électricité et des carburants



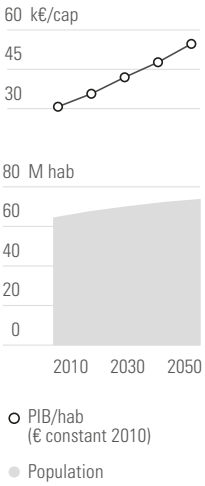
Pilier 3
Transition des carburants



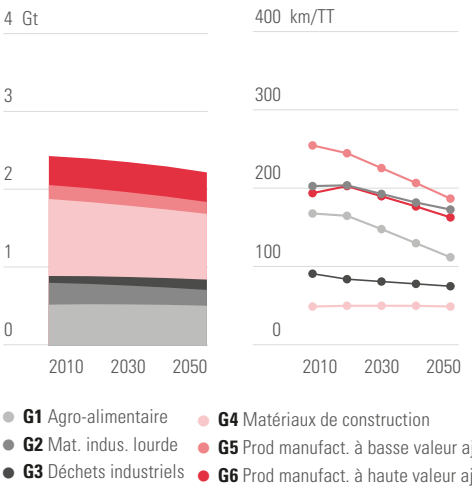
** Carburants liquides et méthane ** Incluant électricité, agrocarburants liquide et gazeux, hydrogène*

A3. Produits et mobilité [3]

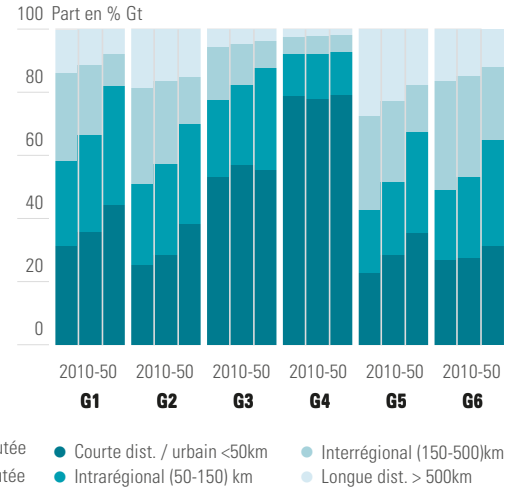
3.a Population et PIB



3.b Produits transportés et distance de transport



3.c Produits transportés par classe de distance



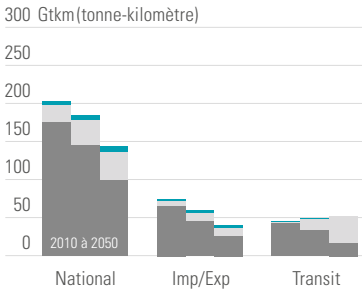
(1) Incluant les émissions directes de la combustion des carburants et les émissions indirectes lors de la production (electricité, combustibles liquide et gazeux), exprimées en équivalent CO_2.

(2) H_2 : hydrogène, CH_4 : méthane, composant principal du gaz naturel, CL = carburant liquide.

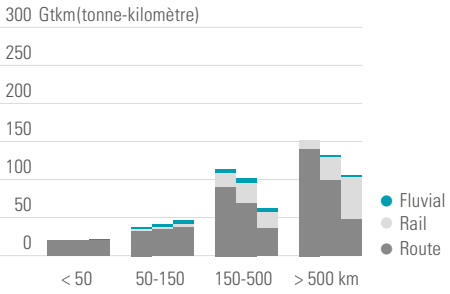
(3) Transport domestique par rail et par route, transport fluvial pour l'import, export, transit et tranport national.

A4. Structure modale

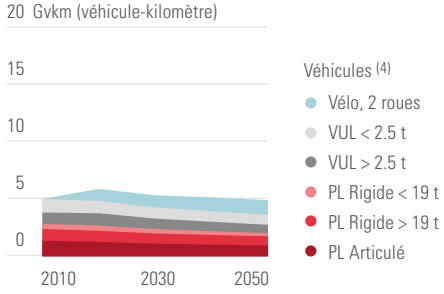
4.a Structure modale par type de transport



4.b Structure modale par classe de distance

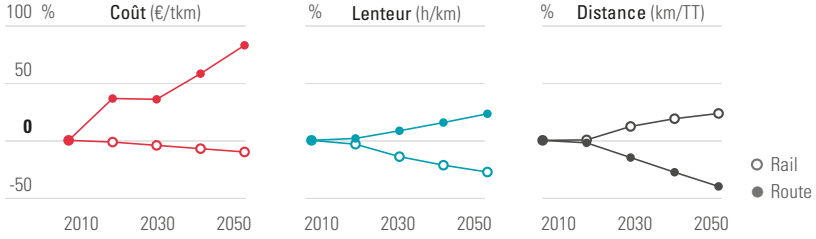


4.c Trafic urbain et courtes distances

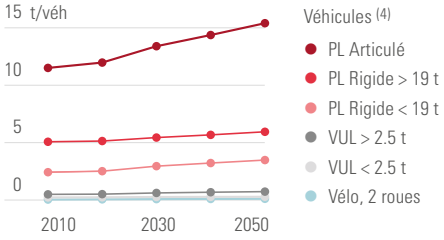


A5. Indicateurs logistiques routiers et ferroviaires

5.a Comparaison route et rail (% valeur 2010)

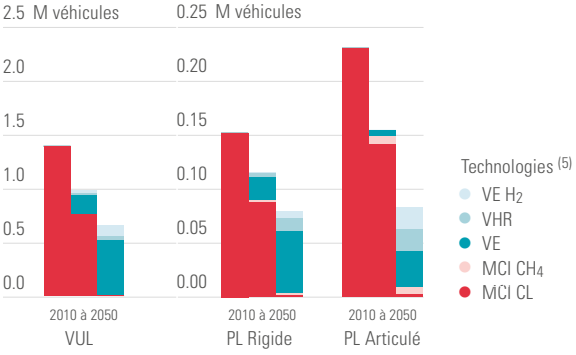


5.b Facteur de charge moyen des véhicules

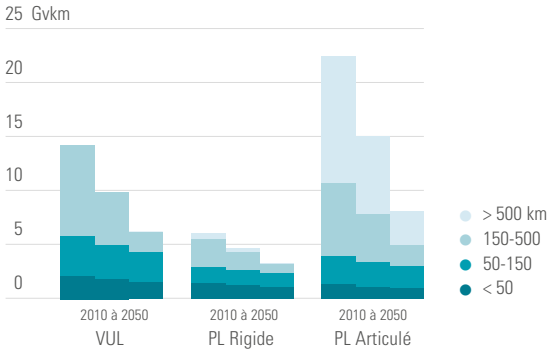


A6. Transport routier de marchandises

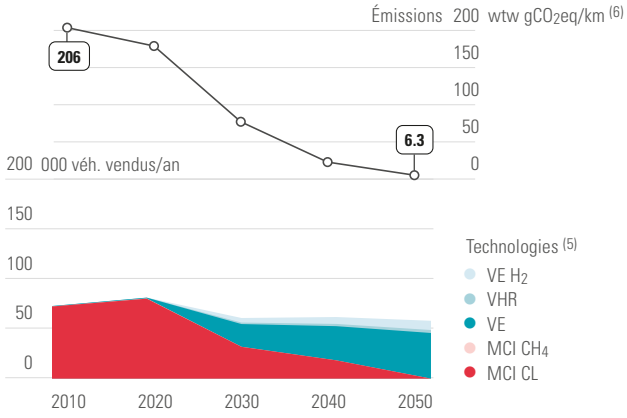
6.a Stock et mix technologique



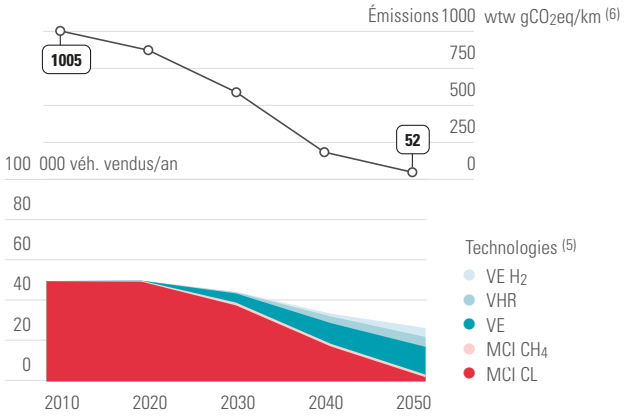
6.b Trafic par classe de distance



6.c VUL ventes et émissions



6.d PL ventes et émissions



(4) 2R : 2 roues, VUL : Véhicule Utilitaire Léger, PTAC<2,5t et 2,5t<PTAC<3,5t, PL : Poids Lourds, Rigide PTAC<19t et >19t, Articulé: principalement 34-44t PTAC.

(5) VE H_2 : véh. électrique hydrogène à pile à combustible, VHR : véh. hybride rechargeable, VE: véh. électrique, MCI CH_4 : moteur à combustion interne - CH_4, MCI CL : moteur à combustion interne - carburant liquide.

(6) Émissions des véhicules vendus du puit à la roue, exprimées en "well-to-wheel" gCO_2eq par véh.km (inclues les émissions amont de production, de distribution et les émissions issues de la combustion des carburants).

Scenario 1 - Présentation du tableau de bord

Marchandises et mobilité

L'évolution des tonnes transportées de marchandises

Les quantités de tonnes transportées augmentent d'environ 50 % sur la période 2010-2050, de 2,4 milliards à 3,7 milliards de tonnes transportées par an en 2050 (et ce malgré une variation à la baisse sur la période 2010-2015 consécutive à la crise financière de 2008-2009). Cette augmentation est tirée par l'ensemble des secteurs, avec toutefois des différences entre les marchandises.

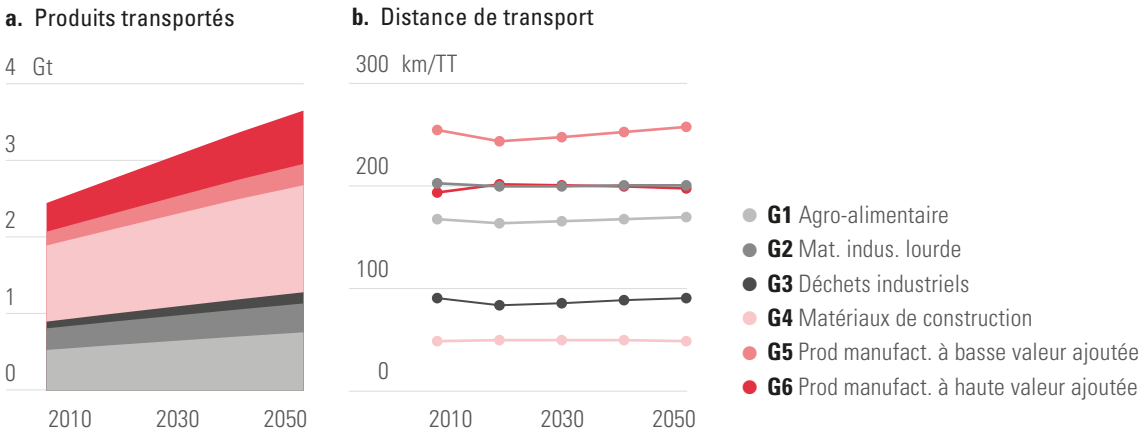
La continuité du système agro-alimentaire, qui nécessite toujours plus d'intrants chimiques (NPK) et autres produits phytosanitaires, et des comportements de consommation mènent à une augmentation moyenne des tonnes transportées par habitant par an de marchandises agricoles et agroalimentaires (G1) de 43 % en 40ans. Cette augmentation est à la fois due à une augmentation de la consommation par personne en 2050 et d'une consommation de produits d'origine animale plus intense en transport (**Figure 1**).

Le secteur du transport des matériaux industriels lourds et primaires (G2) se transforme en profondeur : le charbon et le pétrole brut ou raffiné, deux matériaux importants en quantité pour le secteur, disparaissent quasiment (remplacés pour une faible proportion par des agro-carburants liquides et gazeux). Par ailleurs, les intrants chimiques (NPK) et autres produits phytosanitaires nécessaires pour le système agro-alimentaire sont comptabilisés dans cette catégorie et continuent à augmenter. La demande de tonnes transportées de marchandises G2 augmente en moyenne de 34 % en 40 ans, c'est la croissance la plus faible parmi les groupes de marchandises.

Le secteur des matériaux de construction (G4) ne connaît pas de grandes transformations. La transition énergétique dans le secteur du bâtiment permet une meilleure isolation des logements et donc une augmentation des matériaux utilisés par espace construit. Mais, surtout, le modèle d'urbanisation continue de prolonger le phénomène d'étalement urbain qui, associé à la mutation des structures familiales, fait augmenter en moyenne le nombre de tonnes transportées. Au total, la demande de transport de tonnes de matériaux de construction par ménage par an augmente en moyenne de 10 % sur la période, ce qui représente une augmentation de 41 % en 40 ans.

Enfin, l'économie française se spécialise de plus en plus dans les produits à forte haute valeur ajoutée (G6) et voit une augmentation très forte de leur production et transport en France. De plus, la société française connaît toujours une consommation importante de biens manufacturés à faible (G5) et haute valeur ajoutée (G6).

Figure 1. Demande de transport par marchandise et distance de transport



Ces deux phénomènes mènent à une augmentation de 86 % des tonnes transportées des marchandises G6, la plus importante augmentation, et également à une augmentation importante de 55 % des tonnes transportées des marchandises G5.

La transformation des distances parcourues

Les distances moyennes parcourues par les tonnes transportées ne connaissent que de légères variations suivant les différents types de marchandises et le type de déplacement (national, import, export, transit) entre 2010 et 2050. Ces distances ont déjà beaucoup augmenté au cours des dernières décennies et se stabilisent donc autour des longueurs des chaînes logistiques actuelles. Les produits manufacturés à faible valeur ajoutée (G5) sont les produits qui parcourent en moyenne le plus de kilomètres alors que les matériaux de construction (G4) sont ceux qui dépendent le plus de chaînes locales.

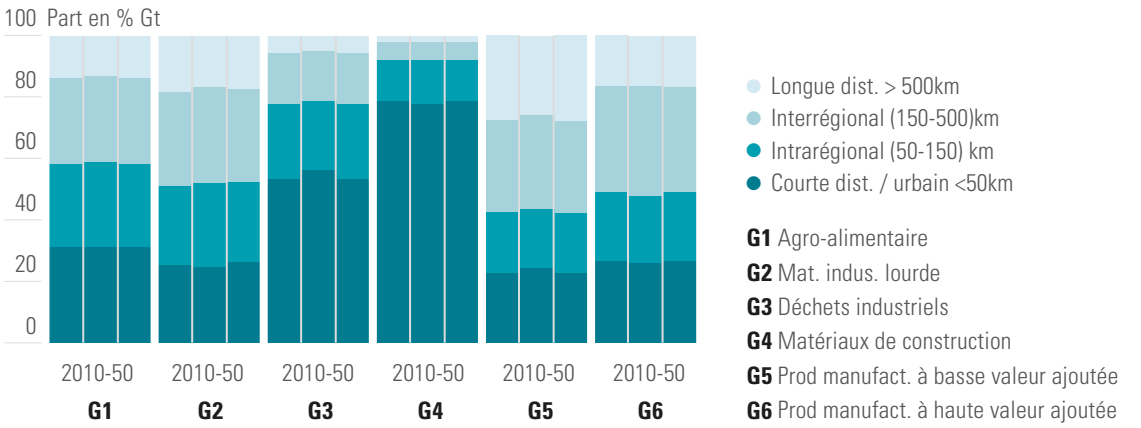
L'harmonisation sociale, fiscale et environnementale européenne mène à une réduction des écarts de coûts de production entre les territoires européens. Cependant, la compétitivité dans le secteur du transport et la centralité de ce maillon dans les échanges économiques, en l'absence d'alternatives, forcent les acteurs du secteur à maintenir un coût faible du transport routier. Ces transformations de la structure de coût ne sont au final pas suffisantes pour inciter les acteurs à réduire les distances parcourues et donc l'organisation de leurs chaînes logistiques. La majorité des marchandises (G1, G2, G5, G6) continuent à être produites loin de leurs lieux de consommation, les gammes des distances supérieures à 150 km et à 500 km sont majoritaires (**Figure 2**).

Au total, le nombre de kilomètres parcourus par toutes les tonnes de marchandises transportées augmente de 54 % entre 2010 et 2050 pour atteindre le niveau d'environ 500 Gtkm en 2050. Ceci est dû principalement à l'augmentation des tonnes transportées d'environ 50 % et à une légère augmentation des distances moyennes parcourues.

Structure modale du trafic de marchandises

Le transport national et longue distance (supérieurs à 500 km) conservent leurs places prédominantes. Le transport national, toutes distances confondues, représente plus de 60 % des tkm en 2050 et le transport pour des déplacements supérieurs à 500 km, tous types de transport confondus, représente 47 % des tkm en 2050. Le transport routier reste le mode dominant, même si sa part modale diminue légèrement de 88 à 84 % sur la période 2010-2050. C'est tout particulièrement notable sur les distances inférieures à 150 km et en particulier pour le transport urbain de courte distance. Le transport ferroviaire de marchandises se développe principalement en connexion avec le développement des grandes infrastructures portuaires pour les marchandises lourdes (G1, G2) et les marchandises de produits manufacturés (G5, G6) et pour des gammes de distances principalement supérieures à 150 km. Le trafic ferroviaire est au final environ multiplié par deux et passe de 30 à 66 Gtkm sur la période 2010 à 2050, à la fois mécaniquement par l'augmentation du trafic de marchandises tous modes confondus (+54 %),

Figure 2. Marchandises transportées par classes de distance

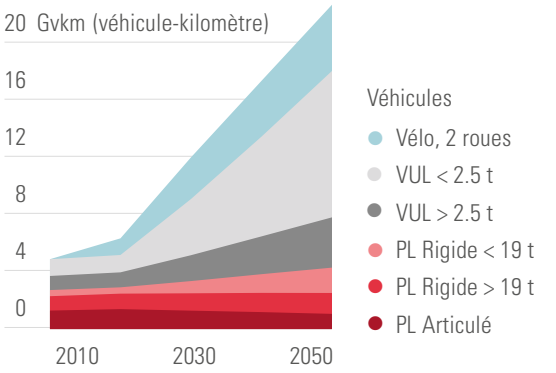


mais également par une augmentation de sa part modale qui représente entre 9 et 14 % du trafic en 2050 suivant les différents types de transport (national, import, export, transit).
Enfin, le fluvial reste partout un mode marginal et sa répartition modale ne change pas significativement pour les différents types de transports et gammes de distance (**Figure 3**).

Logistique urbaine

Le transport de marchandises de moins de 50 km, (principalement urbain,) reste essentiellement routier, mais les véhicules employés sur ce segment se transforment significativement. En effet, sur la période 2010-2050, le trafic de plus petits véhicules augmente alors que le trafic des plus gros PL articulés. Parmi les plus petits véhicules, le trafic de vélos-cargo et scooters atteint environ 4,6 Gvkm alors qu'il était quasi nul en 2010, le trafic de VUL est multiplié par cinq et atteint environ 13,7 Gvkm, et le trafic des PL rigides jusqu'à 19 tonnes de PTAC est presque multiplié par trois et atteint environ 1,8 Gvkm.
Le trafic des VUL et véhicules deux roues va en particulier exploser, passant de 44 % à 81 % du trafic sur cette gamme de distance sur la période 2010-2050. Ces véhicules réalisent une part plus grande des déplacements, au total 11 % des tkm en 2050 contre moins de 3 % des tkm en 2010. Cela provient du fait que ces petits véhicules sont favorisés en ville, car ils permettent de continuer de livrer rapidement les marchandises malgré les situations de congestion qui ne s'améliorent pas. D'autre part, ils transportent des biens souvent peu lourds mais qui peuvent être volumineux et leurs chargements moyens en circulation restent plus faibles que les véhicules plus gros ; structurellement, l'augmentation de tkm génère plus de vkm pour ces types de véhicules (**Figure 4**).

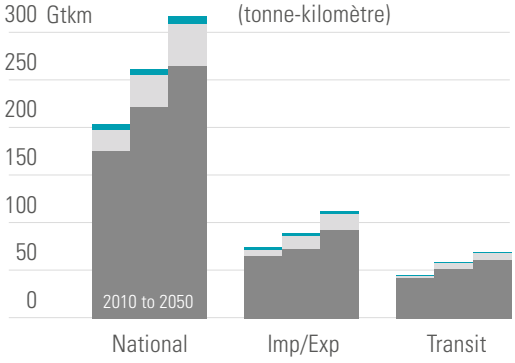
Figure 4. Trafic de véhicules pour les trajets de courtes distances, urbains (< 50 km)



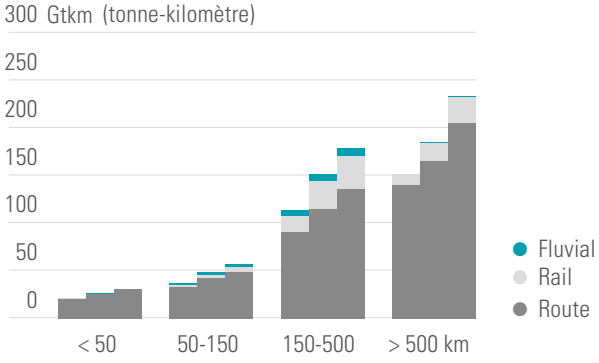
VUL : Véhicule Utilitaire Léger, PTAC < 2,5 t et 2,5 t < PTAC < 3,5 t
PL : Poids Lourds, Rigide PTAC < 19 t et > 19 t
Articulé: principalement 34-44 t PTAC

Figure 3. Modes de transport utilisés pour la demande de transport, par type de transport et par classe de distance

a. Structure modale par type de transport



b. Structure modale par classe de distance



Transport ferroviaire	2010 - Gtkm	2010 - % Gtkm tout mode	2050 - Gtkm	2050 - % Gtkm tout mode
National	23	11%	44	14%
Import/Export	6	8%	16	14%
Transit	2	4%	6	9%
Total Fer	31	9%	66	13%

Indicateurs logistiques

Sur la période 2010-2050, les caractéristiques techni-co-économiques des secteurs routier et ferroviaire ne sont pas bouleversées et conservent leurs spécificités actuelles notamment en termes de lenteur (h/km)ou en distances moyennes . On peut simplement noter une légère diminution de la lenteur pour le rail, principalement due à une amélioration des vitesses de circulation liée aux investissements de remise en état des voiries, et une légère augmentation pour le routier, principalement due à la diminution des vitesses de circulations liées aux situations de congestions en zone urbaine ou périurbaine (distances inférieures à 150 km).

Par ailleurs, le coût moyen du transport routier augmente d'environ 20 % d'ici 2050 en raison de la transformation du parc de véhicules et de l'augmentation de l'usage de véhicules plus petits ; cette augmentation est contenue par les gains réalisés sur la consommation de carburant et l'usage de carburants bas carbone, principalement l'électricité. Pour sa part, le rail ne connaît pas d'amélioration notable, sans modèle économique adapté aux transformations de la demande de transport de marchandises, et son coût moyen de transport augmente d'environ 25 % sur la période 2010-2050 (**Figure 5**).

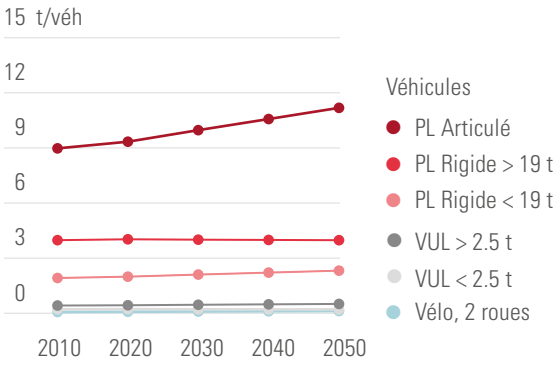
Taux de remplissage et retours à vide

Le facteur de charge moyen (tkm/vkm) augmente en moyenne pour les différents types de véhicules, sauf pour les PL supérieurs à 19 t PTAC et les VUL inférieurs à 2,5t PTAC. Il est la résultante des transformations structurelles des usages et distances parcourues par les différents véhicules, mais également de l'amélioration des taux de remplissage et de la diminution des retours à vide.

Globalement, plus les distances sont courtes, plus les taux de remplissage sont élevés et les retours à vides importants pour une gamme de véhicule. Le taux de remplissage s'améliore pour tous les types de véhicules routiers, de manière progressive en fonction des distances des trajets jusqu'à 25-30 % sur la période 2010-2050. Dans la même période, les PL et VUL connaissent une diminution des retours à vides allant de 5 à 15 % selon les distances des trajets. Seuls les PL supérieurs à 19 t PTAC ne connaissent pas d'améliorations car ils sont majoritairement utilisés pour le transport de matériaux de construction et déjà optimisés. Ces améliorations sont principalement le fruit des avancements des acteurs logistiques sur le partage, la gestion et l'usage des données des flux de transport (**Figure 6**).

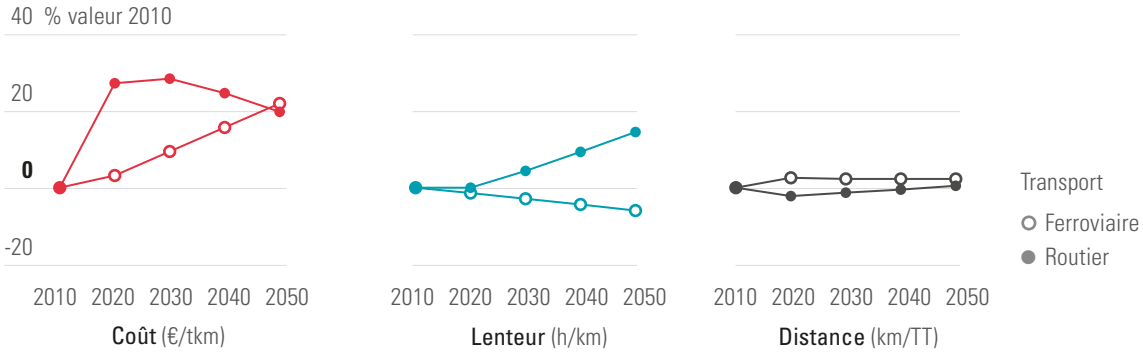
Figure 6. Facteur de charge moyen des véhicules

(incluant taux de remplissage, retours à vide et structure des trajets)



VUL : Véhicule Utilitaire Léger, PTAC < 2,5 t et 2,5 t < PTAC < 3,5 t
PL : Poids Lourds, Rigide PTAC < 19 t et > 19 t
Articulé: principalement 34-44 t PTAC

Figure 5. Indicateurs pour la logistique ferroviaire et routière



Transport routier de marchandises

Usage des PL et transformation du stock

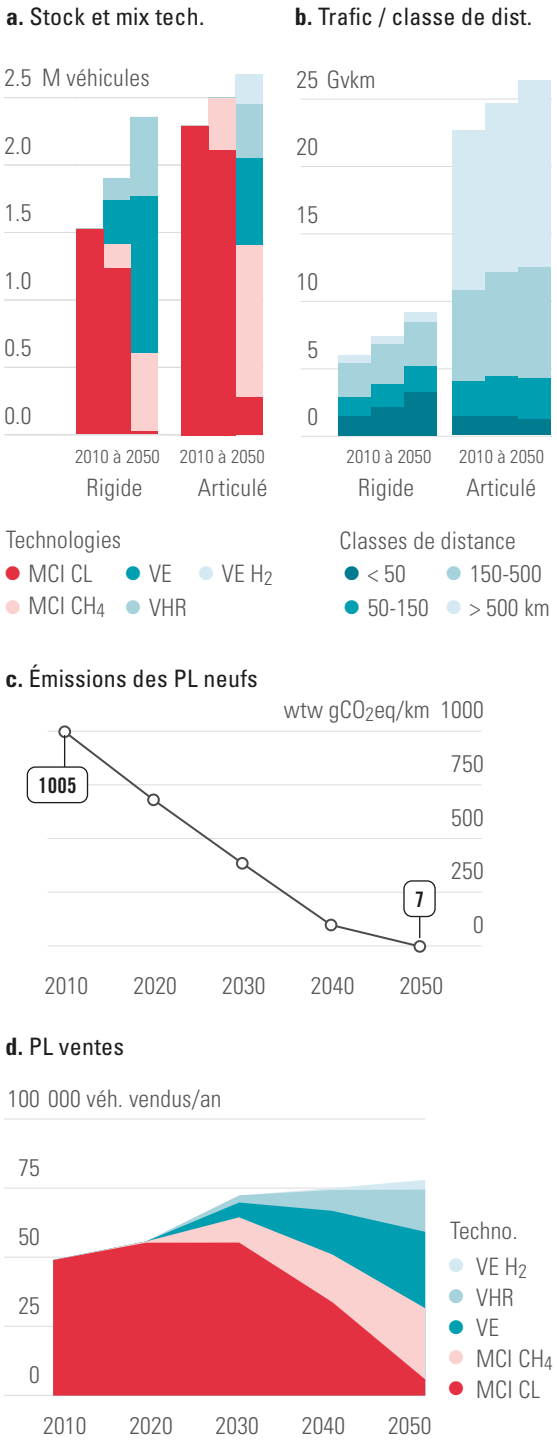
La structure des chaînes logistiques et la place du transport routier ne changent pas fondamentalement entre 2010 et 2050. Seuls les déplacements courte distance de moins de 50 km et principalement urbains nécessitent une transformation dans l'usage des véhicules routiers avec des véhicules plus petits et légers principalement à cause des contraintes de temps et de circulation comme expliqué précédemment au point 2.2. La faible diminution des circulations des PL articulés dans le trafic urbain se remarque peu au vu du poids des autres distances. En revanche, l'augmentation de la part des trajets de moins de 50 km dans les circulations des PL rigides (+10 pts de %) est nette.

Dans ce scénario de croissance de la demande de transport, les PL rigides et articulés conservent leur kilométrage annuel moyen de, respectivement, 30-50 000 km pour les PL rigides et 100 000 km par an pour les PL articulés. Malgré les améliorations sur le chargement moyen, le stock de PL rigides augmente de 54 % (de 152 000 à 235 000 véhicules) et le stock de PL articulés augmente de 17 % (de 230 000 à 268 000 véhicules). Cela implique des ventes moyennes annuelles tout PL confondus en augmentation qui atteignent au total 78 000 PL/an.

En termes de choix de motorisation pour les PL articulés, les PL thermiques gaz et liquides représentent en 2050 environ 53 % du stock et les PL VHR et VE H_2 environ 23 %. Ceci reflète l'importance dans ce scénario des PL articulés longue distance et de leurs besoins en autonomie supérieure à 500 km. Par ailleurs, les PL VE pénètrent massivement le transport régional et représentent au total 24 % du stock en 2050. Du côté des PL rigides, les PL thermiques gaz et liquides ne représentent qu'environ 25 % du stock reflétant des besoins d'autonomie longue distance moins importante. Ces poids lourds réalisent également plus de transports sur des distances inférieures à 500 km, ce qui permet aux technologies PL BEV de pénétrer plus massivement pour représenter environ 50 % du stock en 2050.

Ces tendances se reflètent en termes de ventes, avec la montée en puissance des ventes de PL MCI, VHR/VE H_2 et BEV qui atteignent 41 %, 24 %, 35 % des ventes en 2050, induisant une réduction drastique des taux d'émissions du « puit à la roue » (*well-to-wheel, wtw*) des véhicules neufs qui passent d'environ 1 000 wtw gCO_2eq/km* en 2010 à moins de 10 wtw gCO_2eq/km en 2050 (**Figure 7**).

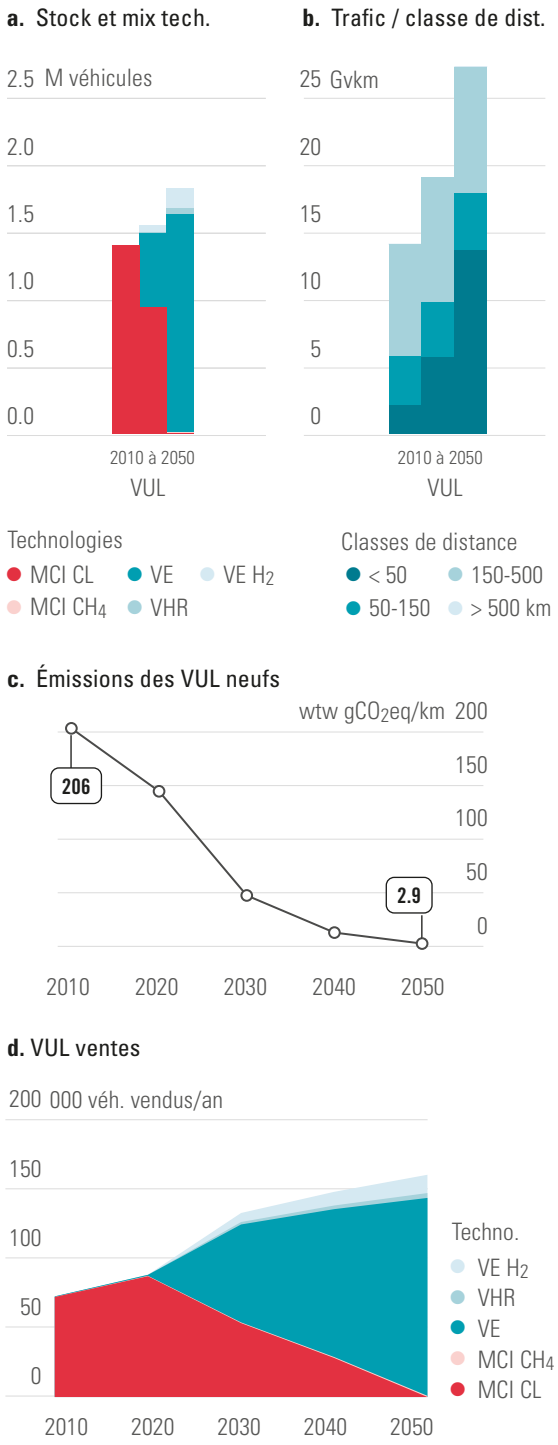
Figure 7. PL : stock, vente, trafic et technologies



Techonolgies
VE H_2 : véhicule électrique hydrogène à pile à combustible, VHR : véh. hybride rechargeable, VE: véh. électrique, MCI CH_4 : moteur à combustion interne - CH_4, MCI CL : moteur à combustion interne - carburant liquide.

Émissions
Émissions des véhicules vendus du puit à la roue, exprimées en "well-to-wheel" gCO_2eq par véh.km (inclues les émissions amont de production, de distribution et les émissions issues de la combustion des carburants).

Figure 8. VUL : stock, vente, trafic et technologies



Techonolgies
VE H_2 : véhicule électrique hydrogène à pile à combustible, VHR : véh. hybride rechargeable, VE: véh. électrique, MCI CH_4 : moteur à combustion interne - CH_4, MCI CL : moteur à combustion interne - carburant liquide.

Émissions
Émissions des véhicules vendus du puit à la roue, exprimées en "well-to-wheel" gCO_2eq par véh.km (inclues les émissions amont de production, de distribution et les émissions issues de la combustion des carburants).

Usages des VUL et transformation du stock

Les VUL occupent une place encore plus importante pour la livraison en zone urbaine car ils réalisent des livraisons plus fréquentent aux délais plus serrés et s'insèrent mieux dans les circulations de plus en plus encombrées des zones urbaines. L'augmentation de la part des trajets de moins de 50 km dans les circulations des VUL (+35 pts) est très nette ; cette tendance est d'autant plus importante que les trajets de moins de 50 km sont en général marqués par un faible facteur de charge pour les courtes distances.

De la même manière, dans ce scénario de croissance générale à laquelle s'ajoute une croissance plus forte des VUL pour la livraison du dernier kilomètre, le kilométrage annuel des VUL augmente de 6000 km par an pour les petits VUL et 14000 km par an pour les gros VUL en 2010, à 15 000 km/an en 2050 pour tous ; le stock de VUL augmente de 30 % et représente environ 1,8 million de véhicules. Cela implique une augmentation importante des ventes annuelles qui font plus que doubler pour atteindre un chiffre d'environ 160 000 ventes par an en 2050.

En termes de choix technologiques, les VE pénètrent fortement ce segment. En effet, cette solution technologique est avantageuse sur les trajets inférieurs à 500 km et encore plus sur les trajets inférieurs à 150 km qui constituent l'essentiel des distances parcourues avec ces véhicules. Pour des besoins spécifiques d'autonomie plus importants, des VUL VE H_2 ou VHR peuvent également trouver une rationalité économique. Dès 2030, les ventes de VUL VE représentent plus de 50 % des ventes annuelles de VUL et, en 2050, la moyenne des émissions du « puit à la roue » (*well-to-wheel, wtw*) des VUL neufs passe sous la barre des 10 wtw gCO_2eq/km (**Figure 8**).

Consommation d'énergie et émissions

La consommation énergétique totale du secteur du transport de marchandises baisse de 30 % sur la période 2010-2050 pour atteindre environ 0,30 EJ, alors que dans le même temps, la demande de transport de marchandises augmente d'environ 50 %. Cette importante diminution est due aux gains sur les consommations énergétiques unitaires des véhicules, aux gains logistiques pour améliorer les chargements et diminuer les retours à vide mais également à l'usage

de motorisations électriques plus efficaces dans la conversion d'énergie que les motorisations thermiques classiques. La consommation moyenne atteint 0,6 MJ/tkm en 2050, contre 1,3 MJ/tkm en 2010 (**Figure 9**).
En 2050, les énergies de traction utilisées sont toutes passées sous forme de vecteurs « décarbonés », c'est-à-dire d'électricité bas carbone (11 gCO_2/kWh en 2050), d'agrocarburants liquides et gazeux et d'hydrogène produit par électrolyse. Les vecteurs énergétiques les plus importants sont les agrocarburants gazeux, qui représentent 37 % de l'énergie consommée. Les émissions directes totales du secteur du transport de marchandises sont bien égales à zéro, mais les émissions indirectes du secteur représentent environ 5 $MtCO_2eq$/an en 2050. Ces émissions résiduelles sont uniquement des émissions indirectes liées à la production des différents carburants et principalement à la production des agrocarburants gazeux.
Ainsi, en incluant les émissions directes et indirectes de la production des énergies, qui dépendent en réalité des émissions de la production électrique et de la production d'agrocarburants, le contenu carbone moyen de l'énergie utilisée diminue de 80 %, pour passer de 89 gCO_2/MJ en 2010 à 18 gCO_2/MJ en 2050 (**Figure 10**).

Conclusion

La décarbonation du scénario 1 sur la période 2010-2050 repose principalement sur des piliers énergétiques liées à l'amélioration de la consommation d'énergie et à l'usage exclusif de sources d'énergies décarbonées, et ce malgré une augmentation de la demande de transport de marchandises (**Figure 11**) :

- nombre de tonnes transportées (TT) : +49 %
- distances moyennes à parcourir (km/TT) : +3 %
- consommations énergétiques par unité de tkm (MJ/tkm) : - 55 %
- émissions carbone des carburants utilisés (gCO_2/MJ) : - 80 %

Toutefois, ce scénario de décarbonation n'est pas sans conséquences sur un ensemble d'autres dimensions (voir **Table 2**).

Figure 10. Contenu carbone moyen de l'énergie utilisée

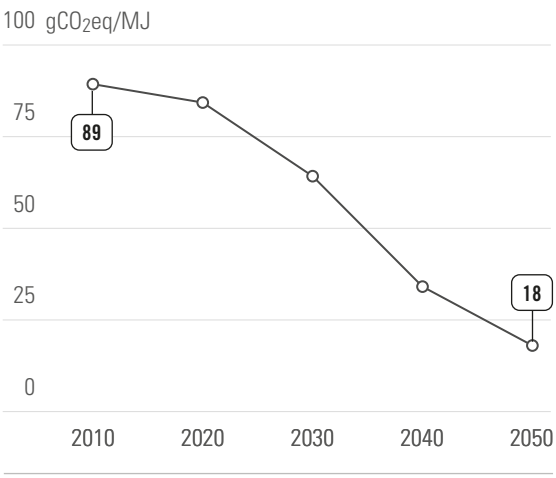
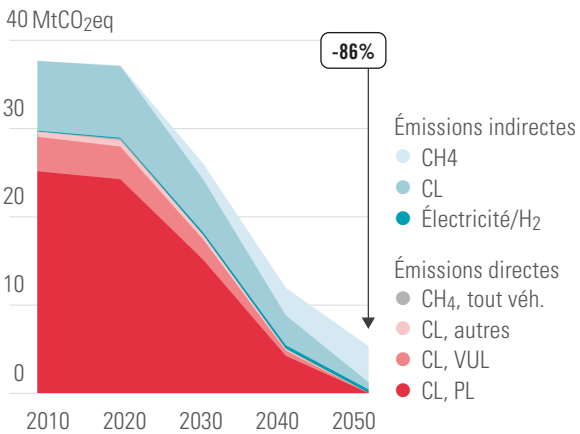


Figure 9. Consommation totale d'énergie et émissions de GES par source d'énergie

a. Émissions de GES



b. Consommation d'énergie finale

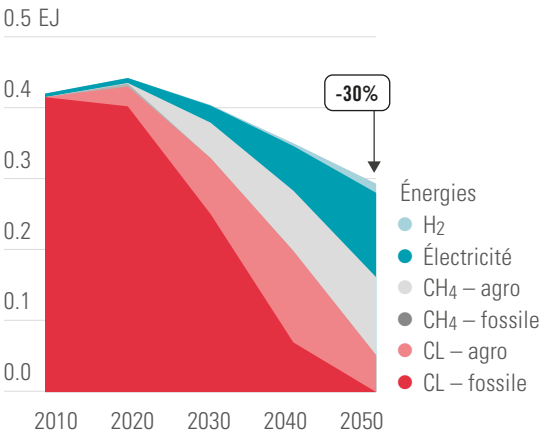


Figure 11. Décomposition des émissions

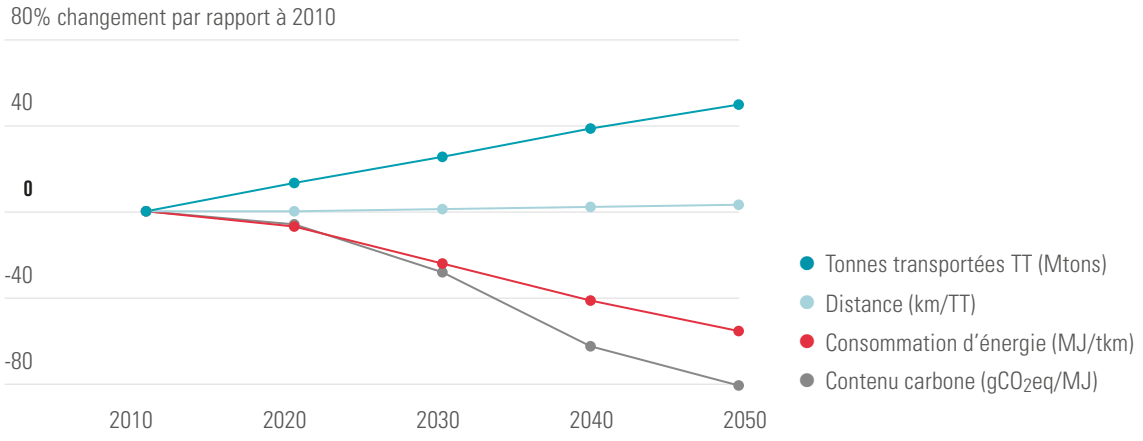


Table 2. Autres dimensions

Autres dimensions	Évolution par rapport à 2010
Accidentologie	Identique
Usure des routes	Plus importante à cause d'un trafic plus important
Congestion	Plus importante en ville en particulier
Pollution sonore	Moins importante, mais toujours d'actualité avec l'usage de véhicules thermiques
Pollution locale et santé	Légère baisse des émissions dues à la combustion (thermique fossile et agrocarburants, hybrides électriques), mais accroissement des trafics, effet ambigu sur les émissions dues à d'autres sources (freinage, pneumatiques, recirculation des poussières, etc.)
Ressources batteries PL	Stock important VE : Environ 65 000 PL articulés, 116 000 PL rigides et 1623 000 VUL. (Sans compter véhicules VHR et VE H_2)
Ressources matériaux infrastructures	Principal développement du routier et faible investissement sur les infrastructures rail
Compétition usage des terres	Demande importante d'agrocarburants, intensification de la production en France et compétition d'usages des terres, recours aux importations.
Condition de travail du secteur	Identique sans amélioration

Scenario 2 – Présentation du tableau de bord

Marchandises et mobilité

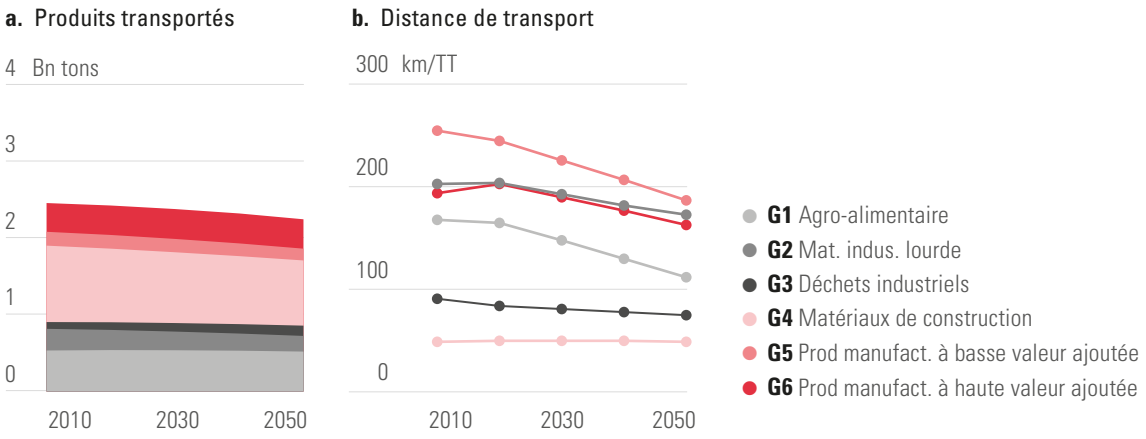
L'évolution des tonnes transportées de marchandises

Les tonnes transportées diminuent de 9 % entre 2010 et 2050, de 2,5 à 2,2 milliards de tonnes transportées par an en 2050. Tous les types de marchandises sont concernés par cette baisse, à l'exception des déchets et produits du recyclage (G3) qui vont augmenter en raison d'un meilleur recyclage et récupération des autres marchandises.
Les marchandises agroalimentaires (G1) vont être transformées par la mise en place d'une agriculture agroécologique, qui permet de réduire les tonnes transportées de 15 % par habitant par an en 40 ans tout en assurant une bonne qualité de l'alimentation (**Figure 12**).
Les matériaux industriels primaires fossiles (G2) comme le charbon, pétrole brut ou raffiné, plastiques ainsi que les intrants chimiques pour l'agriculture intensive (NPK) et autres produits phytosanitaires vont fortement diminuer voire disparaitre grâce à la transition du secteur agricole et du secteur énergétique. Ces transformations permettent de réduire de 30 % les tonnes transportées de marchandises G2 en 40 ans.
La demande de transport de matériaux de construction (G4) suit l'augmentation du nombre de ménages, mais l'usage de nouveaux matériaux, la densification des villes secondaires et l'optimisation d'usage de matière pour les habitations permet de réduire d'un tiers le nombre de tonnes transportées par ménage par an des marchandises G4, de 34 à 23 tonnes transportées en 2050.
Le transport de biens manufacturés à faible (G5) et haute valeur ajoutée (G6) est fortement impacté par le développement d'une économie circulaire, alliant éco-conception, réparation, recyclage et partage des biens. Cela va permettre de réduire respectivement d'un tiers et de 20 % le nombre de tonnes transportées par ménage par an pour les produits à faible et haute valeur ajoutée. Toutefois, cela ne permettra pas en absolu de réduire le nombre de tonnes transportées d'ici 2050 pour les marchandises à haute valeur ajoutée.

La transformation des distances parcourues

Les distances moyennes parcourues par une tonne de chargement vont diminuer en moyenne de 20 % entre 2010 et 2050 avec des variations suivant les différents types de marchandises et le type de déplacement. Les tonnes transportées sur les très longues distances (supérieures à 500 km) et les distances interrégionales (entre 150 et 500 km) diminuent au profit des tonnages transportés sur les distances intrarégionales (entre 50 et 150 km) et locales (inférieures à 50 km) globalement sur l'ensemble des marchandises.

Figure 12. Demande de transport par marchandise et distance de transport



L'harmonisation sociale, fiscale et environnementale européenne mène à une réduction des écarts de coûts de production entre les territoires européens. En parallèle, l'intégration des externalités négatives de la route dans un péage kilométrique, l'amélioration des conditions de travail des chauffeurs routiers et les investissements technologiques et infrastructurels mènent à une augmentation du coût moyen du transport. Ces transformations de la structure des coûts modifient le comportement des producteurs de marchandises qui privilégient une localisation des activités de production au plus proche des centres de consommation. En complément, la diminution du juste à temps, ainsi qu'une demande pour des produits locaux, contribuent au développement de ces écosystèmes régionaux et au raccourcissement des chaînes logistiques (**Figure 13**).

D'autres éléments peuvent également expliquer cette transformation des distances. L'agroécologie et les circuits courts popularisent la relation consommateur-producteur et une production plus régionalisée est rendue possible. La transition énergétique réduit la place des carburants liquides et, par la même occasion, les longues distances dues à leurs déplacements. Une industrie bas carbone voit également le jour pour produire des métaux bas carbone. Les systèmes de recyclage sont organisés au niveau des producteurs eux-mêmes et incitent à développer des écosystèmes de réutilisation autour de leurs activités. L'économie des matériaux de construction est déjà une économie locale due à la masse des matériaux à déplacer ; cette distribution ne va pas changer et cette économie trouvera de nouveaux relais de développement avec des éco-matériaux locaux. Enfin, l'économie de la réparation génère des flux à plus faible distance et permet à de nouveaux artisans de voir le jour. Une partie des flux longue distance est réduite car ils étaient dus à l'origine aux produits de première main.

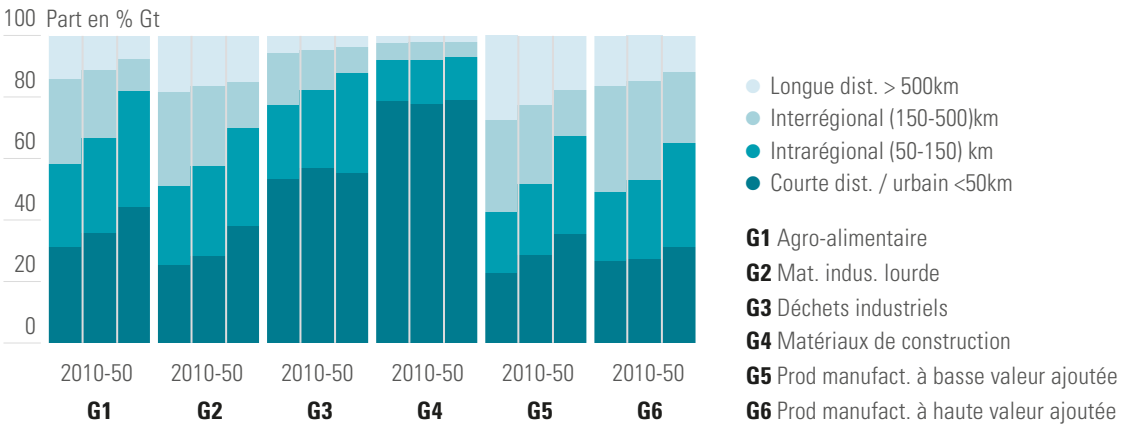
Au total, la diminution des tonnes transportées et des distances unitaires moyennes discutées ci-dessus conduit à une réduction de 27 % entre 2010 et 2050 du volume de transport sur l'ensemble des marchandises transportées, pour atteindre 238 Gtkm.

Structure modale du trafic de marchandises

Le transport national conserve une place prédominante et représente plus de 60 % des tkm en 2050. Les tonnes kilomètres réalisées pour des déplacements supérieurs à 150 km et à 500 km sont toujours majoritaires mais diminuent entre 2010 et 2050.

La place des différents modes dans le transport de marchandises se transforme en particulier pour le transport longue distance. Sur les trajets supérieurs à 500 km dont la majorité sont internationaux, la part du rail atteint 52 % des Gtkm et le trafic est multiplié par 4 par rapport à 2010. Sur les trajets interrégionaux entre 150 et 500 km, la part du rail atteint 35 % des Gtkm et le trafic augmente de 27 % en absolu par rapport à 2010. Sur les trajets intrarégionaux entre 50 et 150 km et locaux (<50 km), la part du rail s'élève respectivement à 9 % et 2 %. Le transport routier, de par le maillage du réseau routier et les caractéristiques des véhicules de transport

Figure 13. Marchandises transportées par classes de distance



routier, est bien mieux adapté, en général, au transport sur courtes distances et de rester un maillon essentiel sur les premiers et derniers kilomètres. La route conservera un poids prédominant sur ces distances.

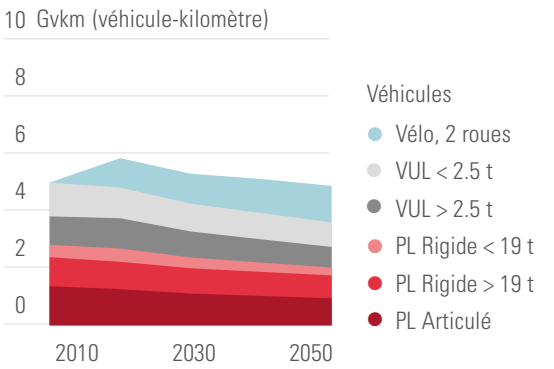
Toutes gammes de distance confondues, le transport ferroviaire augmente son trafic sur le transport national de 23 à 36 Gtkm en 2050, représentant 25 % de part modale, légèrement sur les transports internationaux import et export, de 6 à 10 Gtkm en 2050 et de manière très importante pour le transit passant de 2 à 36 Gtkm en 2050. Au total, toutes gammes de distance confondues et tous types de transport confondus, la place du rail dans le transport de marchandises intérieur passent de 9 % en 2010 à 34 % en 2050 (**Figure 14**).

Ces transformations sont principalement dues aux transformations de la demande de transport de marchandises présentées précédemment, aux investissements infrastructurels et logistiques pour développer une multimodalité efficace à la maille nationale avec un système de « hubs interconnectés », aux transformations des vitesses de transport de chaque mode et des coûts modaux, ainsi qu'aux transformations des comportements de consommations et de livraisons. On peut noter que ces transformations permettent à la fois de transformer l'offre rail pour la rendre plus compétitive (vitesses, coûts, disponibilité), mais également de transformer certaines caractéristiques de la demande (diminution du juste à temps, remassification des flux) et des caractéristiques du transport routier (vitesses, coûts) afin de permettre la création d'un modèle rail pour les longues distances.

Logistique urbaine

Le transport de marchandises courte distance (<50 km) et principalement urbain est effectué à plus de 90 % par la route en 2050. Le volume de transport, en tkm, sur ce segment se maintient aux alentours de 22 Gtkm

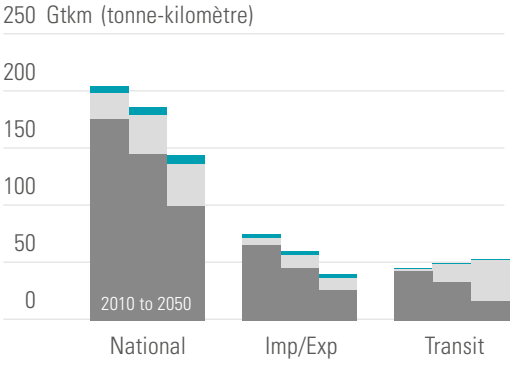
Figure 15. Trafic de véhicules pour les trajets de courtes distances, urbains (< 50 km)



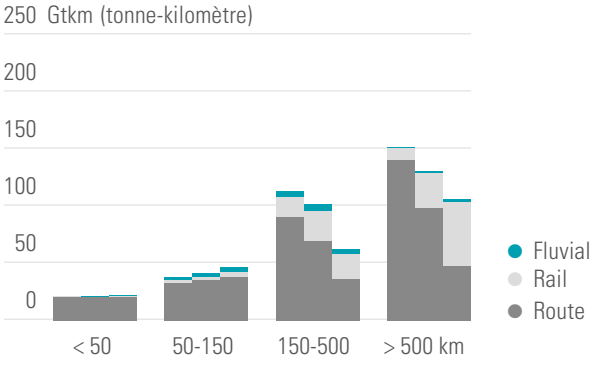
VUL : Véhicule Utilitaire Léger, PTAC < 2,5 t et 2,5 t < PTAC < 3,5 t
PL : Poids Lourds, Rigide PTAC < 19 t et > 19 t
Articulé: principalement 34-44 t PTAC

Figure 14. Modes de transport utilisés pour la demande de transport, par type de transport et par classe de distance

a. Structure modale par type de transport



b. Structure modale par classe de distance



Transport ferroviaire	2010 - Gtkm	2010 - % Gtkm tout mode	2050 - Gtkm	2050 - % Gtkm tout mode
National	23	11%	36	25%
Import/Export	6	8%	10	26%
Transit	2	4%	35	66%
Total Fer	31	9%	81	34%

et la place des différents véhicules dans la réalisation de ces transports sera inchangée entre 2010 et 2050. Les trafics diminuent légèrement sur la période 2010-2050 grâce à l'amélioration du facteur de charge moyen pour tous les véhicules (**Figure 15**).

Ces transformations sont principalement dues aux réformes entreprises par les grandes agglomérations en vue de mieux gérer le fret urbain et les pollutions associées. La transformation de l'organisation de la logistique « amont » nécessite une articulation fine jusqu'aux abords des grandes agglomérations avec des plateformes « aval », des centres de distributions urbains (CDU) et des points d'accueil décentralisés (PA) intra-muros pour restructurer, massifier les flux, désynchroniser et permettre l'usage de modes alternatifs et bas carbone. Ces transformations vers plus d'efficacité permettent de conserver des véhicules PL tout en évitant l'augmentation de la congestion.

Indicateurs logistiques

Sur la période 2010-2050, dans le secteur routier, la distance moyenne de parcours va être divisée par deux, le coût moyen (eur/tkm) va être multiplié par presque trois et la lenteur (h/km) va augmenter de 23 %. Dans le même temps, dans le secteur ferroviaire, la distance moyenne de parcours d'une tonne transportée va rester stable, le coût moyen (eur/tkm) va être réduit de 10 % et la lenteur (h/km) va être réduite de 28 %.

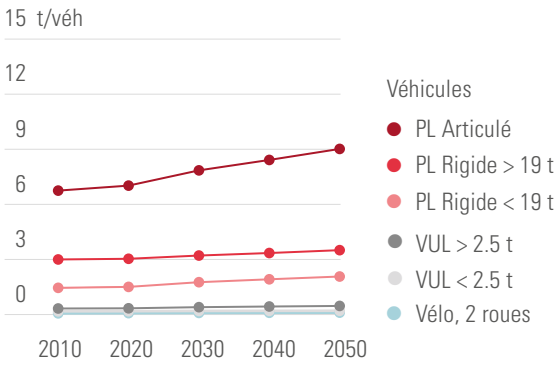
Les transformations du coût de la route sont principalement dues à l'intégration des coûts sociaux et environnementaux dans un péage ainsi que l'amélioration des conditions salariales du secteur. Les transformations du temps de livraison sont principalement dues à la restructuration des flux et à la réduction des vitesses du transport routier en particulier sur les longues distances. Pour le ferroviaire, les améliorations coût et temps sont principalement dues à un effet structurel lié à l'augmentation de la place du rail sur les longues distances, mais également aux transformations des infrastructures ferroviaires et multimodales, et des améliorations de l'offre logistique rail qui permettent de réduire les coûts, les vitesses de circulation et les ruptures de charge (**Figure 16**).

Taux de remplissage et retour à vide

Sur la période 2010-2050, les véhicules routiers augmentent leur taux de remplissage par véhicule jusqu'à 60 % et diminuent les retours à vide jusqu'à 50 % en fonction des véhicules et des distances de parcours (**Figure 17**).

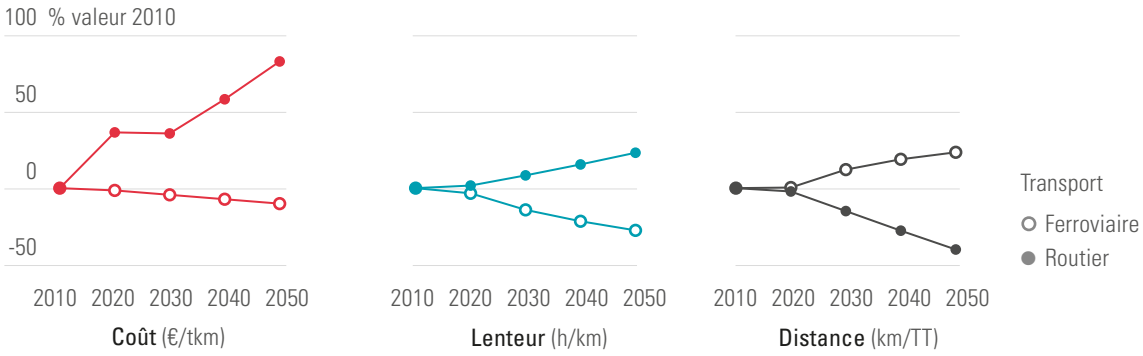
Figure 15. Facteur de charge moyen des véhicules

(incluant taux de remplissage, retours à vide et structure des trajets)



VUL : Véhicule Utilitaire Léger, PTAC < 2,5 t et 2,5 t < PTAC < 3,5 t
PL : Poids Lourds, Rigide PTAC < 19 t et > 19 t
Articulé: principalement 34-44 t PTAC

Figure 16. Indicateurs pour la logistique ferroviaire et routière



Ces améliorations du facteur de charge moyen sont permises par l'organisation du système de transport en hubs permettant la massification des flux, et à plusieurs autres éléments agissant sur le remplissage et les retours à vide : l'encadrement des temps, une meilleure collaboration des acteurs, l'augmentation moyenne du coût de la route ajoutant une incitation supplémentaire au remplissage, etc.

Transport routier de marchandises

Usage des PL et transformation du stock

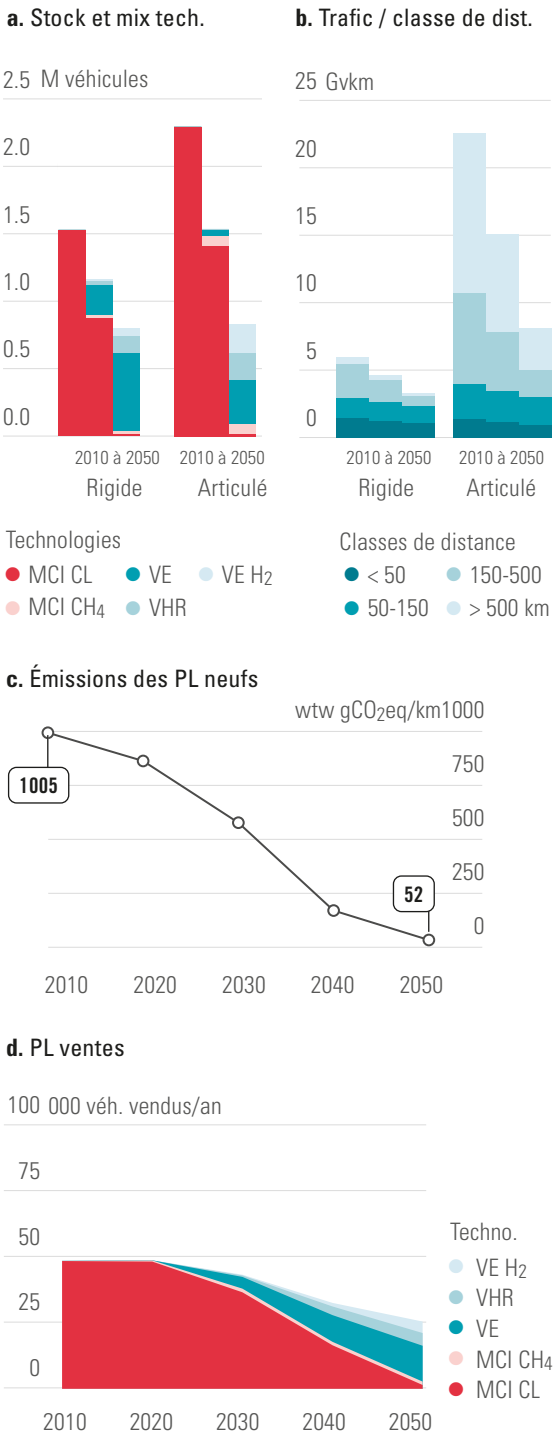
Le rôle du transport routier et des PL change entièrement dans ce scénario. Le transport routier reste dominant pour le transport régional et local mais cède une partie des trajets longues distances et interrégionaux au transport ferroviaire. Par ailleurs, du fait de la diminution globale du transport de marchandises et de l'amélioration du facteur de charge moyen des véhicules, les véhicules kilomètres diminuent structurellement et donc, à kilométrage constant, le stock de véhicules.

Les PL réalisent environ 72 % moins de kilomètres sur les longues distances (>150 km) et seulement 29 % des PL kilomètres sont encore réalisés pour des très longues distances supérieures à 500 km. La grande majorité des PL restants se concentrent sur du transport régional et interrégional avec des distances journalières dépassant rarement 400 km. En particulier, les PL articulés principalement utilisés pour le transport très longues distances perdent de leur importance et réalisent deux fois plus de kilomètres pour des déplacements à la maille régionale (<150 km) qu'auparavant, ce qui représente environ 37 % des PL kilomètres en 2050 (**Figure 18**).

Le nombre total de PL utilisés diminue de plus de moitié entre 2010 et 2050 pour atteindre un niveau de stock de 163 000 unités et les ventes annuelles sont divisées par deux d'ici 2050. En particulier, le stock total de PL articulés diminue de 64 %.

La régionalisation des échanges, l'intégration des externalités environnementales des moteurs thermiques et les progrès techniques sur les batteries rend possible une électrification plus forte des PL rigides et articulés, les PL VE représentent environ 56 % du parc en 2050 sur des parcours moins longs (interrégionaux). Des PL peuvent désormais atteindre des autonomies de

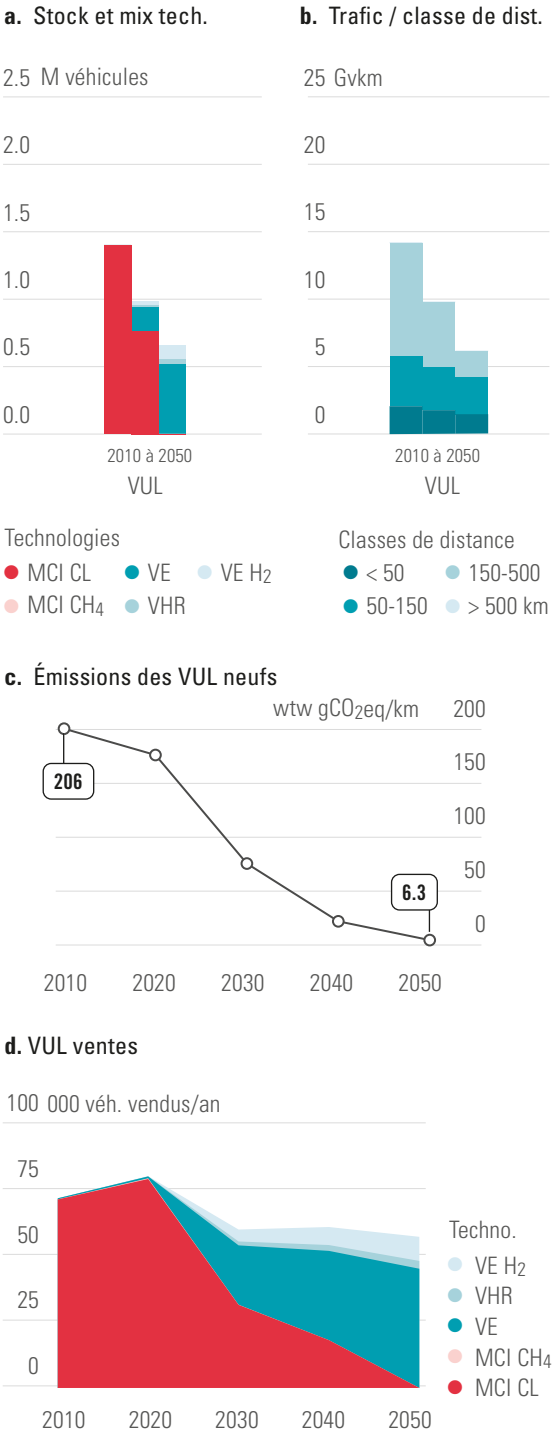
Figure 18. PL : stock, vente, trafic et technologies



Techonolgies
VE H_2 : véhicule électrique hydrogène à pile à combustible, VHR : véh. hybride rechargeable, VE: véh. électrique, MCI CH_4 : moteur à combustion interne - CH_4, MCI CL : moteur à combustion interne - carburant liquide.

Émissions
Émissions des véhicules vendus du puit à la roue, exprimées en "well-to-wheel" gCO_2eq par véh.km (inclues les émissions amont de production, de distribution et les émissions issues de la combustion des carburants).

Figure 19. VUL : stock, vente, trafic et technologies



Techonolgies
VE H_2 : véhicule électrique hydrogène à pile à combustible, VHR : véh. hybride rechargeable, VE: véh. électrique, MCI CH_4 : moteur à combustion interne - CH_4, MCI CL : moteur à combustion interne - carburant liquide.

Émissions
Émissions des véhicules vendus du puit à la roue, exprimées en "well-to-wheel" gCO_2eq par véh.km (inclues les émissions amont de production, de distribution et les émissions issues de la combustion des carburants).

300 à 500 km avec des batteries embarquées allant de 400 à 700 kWh. Parmi les autres technologies de PL présentes dans le stock en 2050, environ 37 % sont des PL VHR ou VE H_2, et seulement 6 % et 2 % sont des PL MCI CH_4 et MCI CL.

Usage des VUL et transformation du stock :
De leur côté, le trafic de VULs diminue fortement, en particulier sur les distances interrégionales (150-500 km), et se redirige vers les trajets intra-régionaux (<150 km). Au total, la diminution du trafic routier induit une division par deux du stock de VUL qui atteint environ 660 000 véhicules en 2050.
Le parc de VUL peut s'électrifier fortement sans risque car la refocalisation de ces véhicules sur les distances intrarégionales permet de réduire les besoins en autonomie. Les VUL VE représentent environ 79 % du stock en 2050 et les VUL VHR ainsi que VE H_2 représentent le reste du stock en 2050. Seule une part infime subsiste pour quelques motorisations thermiques liquides. Les ventes totales de VUL diminuent sur la période 2010-2050 mais les ventes de VUL électriques explosent (**Figure 19**).
Toutes ces transformations sont dues à un raccourcissement général des chaînes logistiques, à l'évolution du rôle du routier dans le nouveau système multimodal ainsi qu'au gain sur les taux de charge et retour à vide des véhicules, mais également aux nouvelles orientations des grandes agglomérations qui poussent à l'usage de véhicules moins polluants.

Consommation d'énergie et émissions

La consommation énergétique du secteur du transport de marchandises est divisée par quatre sur la période 2010-2050 et atteint 0,10 EJ en 2050. Les carburants fossiles disparaissent entièrement, l'électricité devient le premier vecteur énergétique du secteur et représente environ 70 % de la consommation finale. Ces gains d'énergie sont dus à un effet volume lié à l'évolution de la demande de transport de marchandises, mais aussi à une plus grande efficacité du système grâce aux transformations du système multimodal qui favorisent l'usage de mode plus efficace, aux améliorations logistiques, à l'usage de motorisations électriques plus efficaces et aux gains unitaires sur la consommation d'énergie des véhicules. La consomma-

tion moyenne atteint 0,4 MJ / tkm en 2050 contre 1,3 MJ / tkm en 2010 (**Figure 22**).

Les émissions directes totales du secteur du transport de marchandises sont bien égales à zéro en 2050 et les émissions indirectes du secteur représentent moins de 1 $MtCO_2eq$/an en 2050. Ces émissions restantes sont uniquement des émissions indirectes liées à la production des différents carburants et principalement à la production d'électricité.

Ainsi, en incluant les émissions directes et indirectes de la production des énergies, qui dépendent en réalité des émissions de la production électrique et de la production d'agrocarburants, le contenu carbone moyen de l'énergie utilisée en 2050 est de l'ordre de 10 gCO_2/MJ (**Figure 21**).

Figure 21. Contenu carbone moyen de l'énergie utilisée

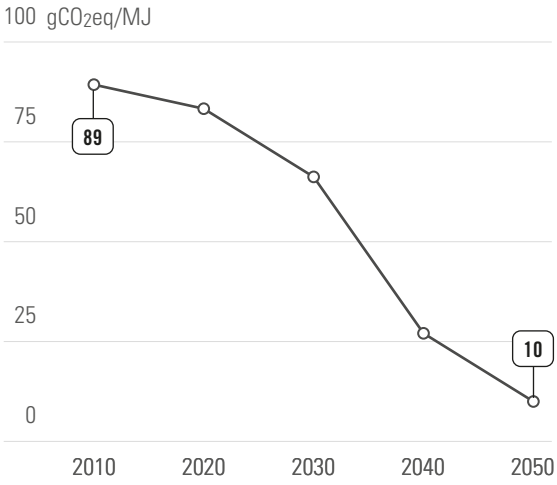
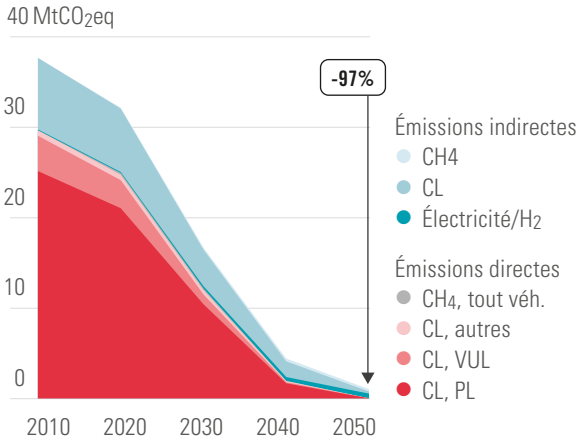


Figure 20. Consommation totale d'énergie et émissions de GES par source d'énergie

a. Émissions de GES



b. Consommation d'énergie finale

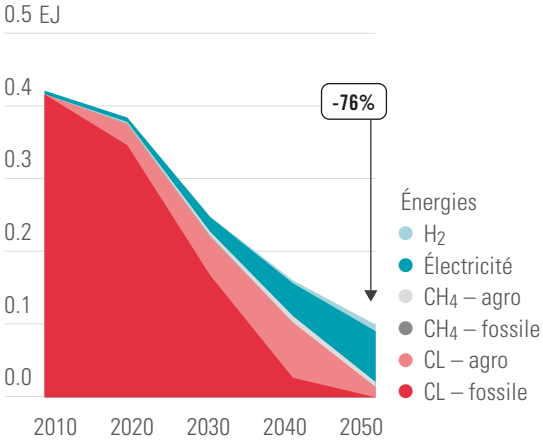


Figure 22. Décomposition des émissions

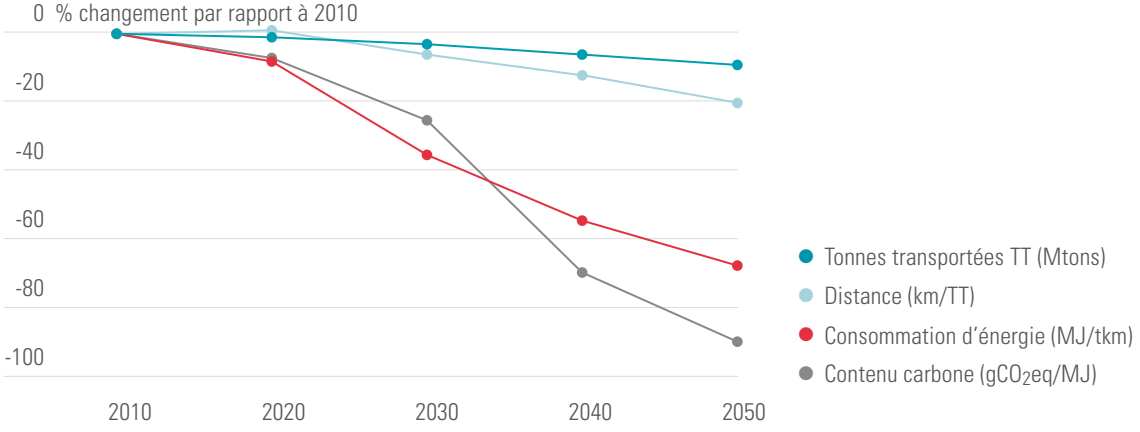


Table 4. Autres dimensions

Autres dimensions	Évolution par rapport à 2010
Accidentologie	Réduite grâce au péage kilométrique, réduction du trafic, diminution vitesse
Usure des routes	Réduite grâce à la réduction du trafic
Congestion	Réduite grâce à la réduction du trafic et péage kilométrique
Pollution sonore	Moins importante sur route mais en augmentation sur voie ferrée
Pollution locale et santé	Réduite grâce à la baisse des moteurs à combustion et la pénétration forte des véhicules électriques, grâce à la réduction globale des trafics
Ressources batteries PL	Stock VE : Environ 33 000 PL articulé, 58 000 PL rigide et 520 000 VUL. (Sans compter véhicules VHT et VE H_2)
Ressources matériaux infrastructures	Importantes ressources pour le développement d'infrastructures rail et de plateformes logistiques
Compétition usage des terres	Demande faible d'agrocarburants et compatible avec l'agroécologie en France, pas de recours aux importations
Condition de travail du secteur routier	Améliorations des salaires et horaires de travail

Conclusion

La décarbonation du scénario 2 sur la période 2010-2050 repose sur une répartition des efforts entre les différents piliers de la décarbonation (**Figure 22**) :

- nombre de tonnes transportées (TT) : - 9 %
- distances moyennes à parcourir (km/TT) : - 20 %
- consommations énergétiques par unité de tkm (MJ/tkm) : - 67 %
- émissions carbone des carburants utilisés (gCO_2/MJ) : - 89 %

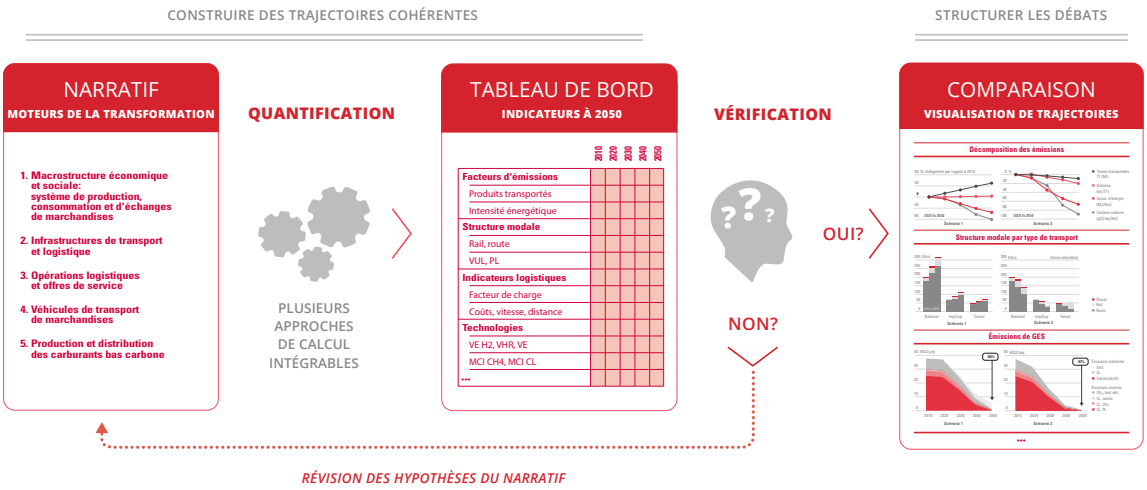
Toutefois ce scénario de décarbonation n'est pas sans conséquence sur un ensemble d'autres dimensions (voir **Table 4**).

Annexes

Annexe 1 - Méthode
Annexe 2 – Segmentation des données
Annexe 3 – Périmètre des émissions

Annexe 1 – Méthode

Figure 23. Méthode



L'approche DDP propose de réconcilier les approches qualitatives et quantitatives au service d'une approche prospective exploratoire à 2050, itérative et « *backcasting* ». Cette approche est avant tout un outil au service d'experts du secteur pour construire des trajectoires de décarbonation profonde de long terme à 2050 cohérentes avec l'accord de Paris et capables d'informer les décisions de court terme des différents acteurs du secteur. Cette approche vise également à structurer des dialogues nationaux autour de la comparaison de trajectoires de long terme.

Elle est constituée de cinq principales étapes : « *Narratif* », « *Quantification* », « *Tableau de bord* », « *Vérification* » et « *Comparaison* », comme l'illustre la figure ci-dessous.

***Narratif* - Blocs du récit des transformations :**

- Description d'un narratif cohérent décrivant les transformations des différents déterminants du secteur
- Capable de parler à tous les acteurs de la société (politiques, citoyens, entreprises…) et décrire de manière explicite les transformations

***Quantification* :**

- Description quantitative détaillée, flexible et ouvert
- Capable d'intégrer différents outils quantitatifs (modèles, références internationales, dires d'experts), de s'adapter aux besoins du récit et à la représentation des indicateurs du tableau de bord

***Tableau de bord* – Indicateurs utiles au débat public :**

- Description quantitative synthétique rassemblant des indicateurs utiles pour le débat public
- Capable de décrire et contrôler un certain nombre de paramètres principaux

***Vérification* – Tests de cohérence et boucle itérative**

- Analyse de la cohérence des indicateurs quantifiés avec des objectifs nationaux clés, analyse de la cohérence du narratif avec les indicateurs et itération

***Comparaison* – Visualisation graphique des trajectoires**

- Présentation graphique des indicateurs du « tableau de bord » pour faciliter le dialogue et l'échange

De nombreuses méthodes permettent de représenter les

transformations décrites dans le narratif en un ensemble d'indicateurs quantifiés. Dans ce travail, nous avons utilisé différentes approches de quantification pour tâcher de prendre en compte l'ensemble des facteurs d'influence : des corrélations entre variables proposées dans la littérature, des estimations de valeurs par rapport à une comparaison, des contraintes de ressources physiques et d'interaction avec les autres secteurs : agricoles, industrie, énergie, des outils économiques comme l'analyse du coût total de possession, l'analyse des externalités négatives ou bien de l'évolution du coût moyen de transport, etc.

Pour en savoir plus sur l'approche :

- Waisman, H. *et al.* (2019). A pathway design framework for national low greenhouse gas emission development strategies, *Nature Climate Change*.
- Briand, Y. *et al.* (2018). How to structure the public debate on the low-carbon future of passenger transport?, Iddri, *Issue Brief* N13.
- Lefevre *et al.* (soumission à venir). A policy-relevant pathway design framework for sectoral deep decarbonization: the case of passenger transportation..
- Site web: ddpinitiative.org

Annexe 2 – Segmentation des données

A. Catégories de marchandises

Les données sources sont en général catégorisées en fonction de la codification « *Standard goods classification for transport statistics* (NST) » qui comporte vingt catégories.[2]

Cet exercice comprenant déjà un ensemble complexe de relations entre différents éléments, dans un souci de simplification, il a été créé six « supra-catégories ». Les choix de catégorisation ont été faits avec l'ambition de créer des groupes cohérents selon les secteurs de production et les caractéristiques des marchandises. Les six catégories suivantes permettent de capter la plupart des grandes tendances de différents secteurs économiques clés : le secteur agroalimentaire (G1), le secteur de la construction (G4) et les secteurs industriels (G2 – plutôt matières premières ou intermédiaires, G3 – déchets, G5 et G6 – produits) (voir **Table 5**).

Les groupes 5 et 6 rassemblent des marchandises très diverses. Le groupe 5 réunit un ensemble de produits à plutôt faible valeur ajoutée : textiles, bois et industries de papier, voitures et autres véhicules transports, meubles… Le groupe 6 réunit, quant à lui, un ensemble de produits complexes : matériel/machines à haute V.A., courrier/colis, autres marchandises et marchandises groupées. La majorité des tonnes transportées dans ce groupe sont des marchandises groupées et des produits d'un caractère inconnu qui ont été mis dans cette catégorie par défaut.

B. Typologie de transport

La demande de transport de marchandises est segmentée suivant quatre types de transport : national, importations, exportations et transit. Ces types de transports permettent de caractériser des dynamiques très différentes.

Table 5. Catégories NST

« Supra-catégories » - DDP Fret	Catégories NST	Label – DDP Fret
1	1 et 4	Produits agro-alimentaires
2	2, 7, 8, 10	Produits industriels lourds (énergie, chimie, plastique, métaux)
3	14	Déchets
4	3 et 9	Matériaux de construction
5	5, 6, 12, 13, 16	Produits manufacturés à faible valeur ajoutée
6	11, 15, 17, 18, 19, 20	Produits manufacturés à haute valeur ajoutée

2 Une description détaillée des NST2007 est disponible ici : https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Glossary:Standard_goods_classification_for_transport_statistics_(NST)

Le transport national représente des flux entièrement intérieurs, alors que les importations, les exportations et le transit représentent des flux internationaux. Les distances, les coûts, les temps, les modes peuvent être très différents suivant ces types de trajet. En conséquence, il y a un intérêt à les analyser de manière distincte.

National : le transport national représente tout transport qui s'effectue entre un lieu de chargement et un lieu de déchargement situés en France, quel que soit le pavillon du véhicule.

Imports : le transport import représente tout transport qui s'effectue entre un lieu de chargement à l'étranger et un lieu de déchargement en France, quel que soit le pavillon du véhicule.

Exports : le transport export représente tout transport qui s'effectue entre un lieu de chargement en France et un lieu de déchargement à l'étranger, quel que soit le pavillon du véhicule.

Transit : le transport transit représente tout transport qui s'effectue entre un lieu de chargement à l'étranger et un autre lieu de déchargement à l'étranger et qui traverse une partie du territoire français, quel que soit le pavillon du véhicule.

À noter : Pour les transports internationaux (imports, exports et transit), uniquement les kilomètres parcourus sur le territoire national français sont intégrés dans la comptabilité de la demande de transport de marchandises françaises. On parle de la demande de transport « intérieure ».

À noter : On définit « un transport » comme étant le transport entre un lieu de chargement et un lieu de déchargement. Si une marchandise est d'abord transportée de son site de production jusqu'à un dépôt de stockage, où elle change de camion pour être transportée à son point de consommation, cela compte comme deux transports différents.

Exemple : Un poids lourd arrive en France à un centre logistique situé à 5 kilomètres de la frontière allemande. Sa marchandise est déchargée puis rechargée dans un train qui part pour Paris. Le transport en poids lourds est comptabilisé en « import » et avec seulement 5 kilomètres parcourus. Le transport par voie ferrée est lui comptabilisé en « national ».

C. Gammes de distance

La demande de transport de marchandises a été segmentée suivant quatre gammes de distances : moins de 50 km, entre 50 et 100 km, entre 150 et 500 km, plus de 500 km. Ces gammes de distances ont été choisies pour représenter l'organisation spatiale de la demande de transport et pouvoir considérer des réalités logistiques différentes sur le facteur de charge.

Fret local et urbain (moins de 50 km) : Cette gamme de distance caractérise des déplacements de courte distance, plus souvent en zone urbaine.

Fret intrarégional (50-150 km) : Cette gamme de distance caractérise des déplacements de distances de parcours réalisés en moyenne à la maille régionale (par exemple Nantes-Angers ou Lyon-Grenoble).

Fret interrégional proche (150-500 km) : Cette gamme de distance correspond à des distances qui peuvent être interrégionales suivant la taille des régions mais aussi supérieures à la taille d'une région (par exemple Lille-Paris ou Le Mans-Paris) et caractérise des déplacements interrégionaux.

Fret interrégional longue distance (plus de 500 km) : Cette gamme de distance correspond à des distances nationales importantes (par exemple Quimper-Paris ou Bordeaux-Paris).

D. Véhicules routiers

Les véhicules de transport de marchandises routiers ont été segmentés en cinq types de véhicules : deux types de véhicules utilitaires légers (VUL) et trois types de poids lourds (PL) en fonction de leur poids total autorisé en charge (PTAC).

VUL < 2.5 PTAC : Véhicules utilitaires légers pouvant peser au maximum 2,5t et transporter environ jusqu'à 0,75 tonne de charge utile.

VUL >2,5t PTAC : Véhicules utilitaires légers pouvant peser entre 2,5t et 3,5t et transporter jusqu'à 1,2 tonne de charge utile.

PL <=19 t PTAC : Poids lourds rigides pouvant peser au maximum jusqu'à 19 t et transporter jusqu'à environ 9 t de charge utile.

PL > 19 t PTAC : Poids lourds rigides pouvant peser entre 21 à 26t et plus et transporter plus de 9 t de charge utile.

PL Articulé : Poids lourds articulés pouvant peser entre 34t et 44t et transporter au maximum jusqu'à environ 25 tonnes de charge utile pour les plus importants.

Définition PTAC : le poids total autorisé en charge est la masse maximale autorisée pour un véhicule routier. Elle comprend le poids du véhicule à vide, la charge maxime de marchandises (charge utile) ainsi que le poids maximal du chauffeur et des passagers.

E. Représentation simplifiée des principales données (2010 à 2050)

Description de la demande

Quantité (Mt)
Distance (km/t)
Distance parcourues (tkm)

Détail en fonction de:
- Catégorie de marchandises
- Gamme de distance
- Modes

Focus sur le transport routier de marchandises

Tonnes transportées par différents véh. (tkm)
Poids transportés en charge (t/veh)
Part de retour à vide (% vkm)
Trafic des veh. (vkm)
Stock et ventes de véhicules PL et VUL (veh.)

Détail en fonction de:
- Tkm par type, gamme de distance, 5 types de veh.
- Poids transportés / retour à vide / trafic par types de veh et gamme de distance
- Stock/Vente par 5 motorisations

Energies de motorisations utilisées

Pour le transport routier domestique (% vkm)
Détail en fonction des 5 types de veh., 4 gammes de distances, et 4 types de carburants

Pour les autres modes (% tkm)
Détail en fonction des 4 types de carburants:
- Carburants liquides
- Carburants gazeux base CH4
- Carburants électriques
- Carburant gazeux base H2

Consommation énergétique des véhicules utilisées

Pour le transport routier domestique (MJ/vkm)
Détail en fonction des 5 types de veh., 3 types de motorisations

Pour les autres modes (MJ/tkm)
Détail en fonction des 3 types de motorisations:
- Moteur à Combustion interne
- Moteur 100% électriques
- Moteur électrique avec PAC

Calcul des consommations énergétiques (TJ)
Détail en fonction des 4 types de carburants et différents modes

Moyen de production des 4 types de carburants:

Pour l'électricité (% consommation)
Détail en fonction du mix électrique selon 5 moyens de productions

Pour les autres carburants liquides et gazeux (TJ)
Détail en fonction de la production des carburants décarbonés alternatifs: liquides, gazeux CH_4, gazeux H_2 à partir d'électrolyse (TJ) et part des biocarburants les différents types de carburants (% TJ)

Contenu carbone des moyens de productions des 4 types de carburants:

Pour l'électricité (gCO_2/kWh)
Détail en fonction de l'intensité carbone des 5 moyens de prod

Pour les autres carburants liquides et gazeux (gCO_2/MJ)
Détail en fonction de l'intensité carbone des moyens de prod: 3 conventionnels et 3 décarbonés alternatifs

Calcul des émissions (MtCO2)
Détail en fonction des 4 types de carburants et différents modes

F. Principales sources de données

Route :
- Base de données « transport routier de marchandises », Francais et Européen, année 2010 et 2015, publié en 2011 et 2016
- Base de données « enquête véhicules utilitaires légers 2011 », publié en 2012
- Les comptes des transports en 2010 et en 2015, SDES, publié en 2011 et 2016

Ferroviaire :
- Les comptes des transports en 2010 et en 2015, SDES, publié en 2011 et 2016
- Évolution du fret terrestre à l'horizon de 10 ans, CGEDD, publié en Juillet 2010

Fluvial :
- Base de données « transport fluvial VNF », Français et Européen, année 2010 et 2015, publié en 2011 et 2016
- Les comptes des transports en 2010 et en 2015, SDES, publié en 2011 et 2016.

Nous remercions chaleureusement les membres du service de la donnée et des études statistiques (SDES) qui nous ont permis d'accéder à certaines bases de données.

Annexe 3 – Périmètre des émissions

Le travail s'est limité à une analyse des sources d'émissions territoriales et terrestres (route, fer, fluvial), c'est-à-dire des émissions émises par tout véhicule circulant sur le territoire national. Cela comprend les véhicules immatriculés en France et à l'étranger, ainsi que les distances parcourues sur le territoire pour les transports d'importation, d'exportation et de transit.

Les émissions des véhicules utilitaires légers étrangers ne sont pas disponibles et il est même difficile de pouvoir estimer à date le transport de marchandises réel réalisé avec ces véhicules.

Les émissions des départements et régions d'outre-mer et collectivités d'outre-mer (DROM-COM) sont incluses dans le périmètre de Kyoto mais ne sont pas incluses dans notre comptabilité. La spécificité du transport de marchandises dans les DROM-COM doit faire l'objet d'une analyse propre. En 2015, les poids lourds (y compris bus et cars) de ces régions émettaient moins de 1 $MtCO_2eq$, par rapport à plus de 20 $MtCO_2eq$ en France hexagonale.

Les émissions aériennes domestiques ne sont pas prises en compte dans ce travail, car les données accessibles ne permettent pas d'obtenir un niveau de confiance suffisant sur les types de marchandises transportées et la manière dont elles sont transportées (véhicule de fret spécifique ou bien véhicule passager/fret combiné). Au total, le fret aérien domestique sur des liaisons en France hexagonale représentait environ 0,07 Mt transportées en 2016. Les émissions maritimes domestiques ne sont pas non plus prises en compte dans ce travail, car elles ont seulement récemment été standardisées et le transport maritime entre ports de l'hexagone n'est pas significatif. Le transport de marchandises entre ports français ne représentait qu'environ 20 Mt transportées en 2017. Les émissions domestiques du transport aérien et maritime doivent être analysées en particulier en intégrant les connexions entre les régions de l'hexagone et les DROM-COM.

Le centre international de recherche sur l'environnement et le développement (Cired) a été fondé en 1973 par le professeur Ignacy Sachs et est aujourd'hui un partenariat entre le Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) et quatre autres institutions (ENPC, EHESS, AgroParisTech et Cirad). Les programmes de recherche se concentrent sur les relations entre l'environnement, les ressources naturelles et le développement, en mettant l'accent sur trois domaines clés: l'énergie, les infrastructures urbaines et l'agriculture et la foresterie. Ces domaines imposent un dialogue constant entre les sciences sociales, les sciences naturelles et les connaissances en ingénierie. Pour ce faire, l'équipe de recherche est pluridisciplinaire et s'appuie sur des chercheurs de formations intellectuelles variées. Enfin, le Cired s'efforce de préserver une bonne articulation entre la modélisation, considérée comme un outil pour intégrer les connaissances issues de nombreuses disciplines, et l'analyse économique des instruments de politiques publiques dans divers contextes institutionnels et processus de délibération.

http://www.centre-cired.fr/

EDF R&D est l'unité de recherche et développement d'Electricité de France. Cette unité représente près de 2000 personnes dédiées aux programmes de recherche concernant chaque maillon de la chaîne énergétique: usages, transport, distribution et génération. Ainsi, EDF R&D s'est efforcé de mieux comprendre le comportement des clients finaux et a développé des modèles basés sur une méthodologie ascendante qui englobent les aspects technologiques, économiques, sociétaux et politiques de la demande d'énergie pour éclairer la décarbonation à long terme du système énergétique. La compréhension des pratiques de mobilité, l'analyse de la feuille de route technologique des batteries et des problématiques de recharge intelligente dans le cadre des villes intelligentes constituent en particulier un domaine important d'études à EDF R&D.

www.edf.fr

L'Institut du développement durable et des relations internationales (Iddri) est un institut de recherche sur les politiques, indépendant et à but non lucratif, basé à Paris. Son objectif est d'identifier les conditions et de proposer des outils pour placer le développement durable au cœur des relations internationales et des politiques publiques et privées. L'Iddri est également une plateforme de dialogue multi-acteurs et accompagne les parties prenantes à délibérer sur la gouvernance mondiale des grands enjeux d'intérêt commun comme les actions pour atténuer le changement climatique, pour protéger la biodiversité, pour renforcer la sécurité alimentaire et pour gérer l'urbanisation. L'institut participe également aux efforts de construction de trajectoires de développement compatibles avec les priorités nationales et les objectifs de développement durable.

www.iddri.org

L'Université Gustave Eiffel est née le 1er janvier 2020 de la fusion de l'Université Paris-Est Marne-la-Vallée et de l'IFSTTAR, l'institut de la recherche européenne sur la ville et les territoires, les transports et le génie civil. Elle intègre une école d'architecture, l'EAV&T, et trois écoles d'ingénieurs, l'EIVP, l'ENSG Géomatique et ESIEE Paris. Ce nouvel ensemble représente un quart de la recherche française sur les villes de demain et regroupe des compétences pluridisciplinaires pour conduire des recherches de qualité au service de la société, proposer des formations adaptées au monde socio-économique et accompagner les politiques publiques.

www.ifsttar.fr