



THE CARBON
TRANSITION
THINK TANK

ASSURER LE FRET DANS UN MONDE FINI

DANS LE CADRE DU
**PLAN DE TRANSFORMATION
DE L'ÉCONOMIE FRANÇAISE**

RAPPORT - MARS 2022



AVANT PROPOS

Au printemps 2020, lors du confinement, nous avons redécouvert certains métiers et maillons clefs de notre société : le soir, à 20 heures, nous avons applaudi le monde médical ; en journée l'aspect indispensable des travailleurs invisibles est devenu une évidence, et nous avons vu à quelle vitesse certains produits pouvaient venir à manquer faute d'approvisionnement.

Deux ans plus tard, à la semaine près, où en sommes-nous ? Où en est le fret ? Les confinements plus ou moins stricts se sont succédés, l'importance d'une réindustrialisation de la France semble être acquise¹, le prix du diesel au litre est passé de 1,2 € au printemps 2020 à plus de 2,1 €², le gouvernement indique qu'il va mettre en place une remise de 0,15 € en « prime inflation » pour aider les citoyens à faire face à leurs factures de carburant³, et de graves menaces se profilent sur l'approvisionnement énergétique de l'Europe dans le contexte général de l'invasion de l'Ukraine par la Russie.

Tristement, on se demande où est passé ce « monde d'après », que nous imaginions plus compatible avec les limites planétaires. Nous avons l'impression que le temps s'est accéléré. Les appels à la sortie progressive des énergies fossiles étaient une forme d'anticipation de risque, il y a encore peu de temps. Maintenant, le prix du carburant fossile est une menace bien réelle, et les transporteurs routiers demandent de l'aide⁴.

Prôner la sobriété en argumentant que l'approvisionnement énergétique serait contraint à l'avenir passait pour une réflexion stratégique à moyen terme. La sobriété est maintenant présentée comme un impératif de court-terme, comme nous pouvons le lire quotidiennement dans la presse⁵.

Si besoin est, les récits des personnes coincées dans les villes ukrainiennes, qui ont du mal à se procurer de quoi boire et manger⁶, nous rappellent à quel point le fret est vital. Nous avons tous besoin du transport de marchandises pour que notre société puisse continuer à fonctionner.

Pour achalander les magasins, approvisionner les hôpitaux, livrer les particuliers – en somme amener le nécessaire là où il y en a besoin –, le transport de marchandises en France passe à 89% par la route, fait appel aux énergies fossiles liquides à plus de 90%, compte pour 9% des émissions nationales de gaz à effet de serre et le secteur du transport (marchandises et passagers). Il est le seul secteur en France à ne pas avoir réduit ses émissions depuis 1990.

A la lumière générale de l'importance des enjeux et l'éclairage particulier des événements de ces dernières semaines, ce Plan, qui vise à assurer le fret dans un monde fini, nous semble adapté aux dimensions écologiques (baisse des émissions), énergétiques (réduction de la consommation) et de résilience (réduction de la dépendance aux énergies fossiles) de ce « monde d'après », très différent de celui que nous imaginions il y a 2 ans.

¹ https://www.francetvinfo.fr/economie/industrie/reindustrialiser-la-france-un-chemin-encore-long-mais-un-cap-clair-assure-jean-castex_4970586.html

² <https://www.lefigaro.fr/conso/carburants-en-france-le-prix-du-litre-de-gazole-a-bondi-de-40-centimes-en-deux-semaines-20220314>

³ <https://www.turbo.fr/actualite-automobile/carburant-le-gouvernement-va-aider-les-gros-rouleurs-184689>

⁴ [https://www.sudouest.fr/economie/transports/prix-des-carburants-les-transporteurs-routiers-obtiennent-une-aide-de-400-millions-d-euros-](https://www.sudouest.fr/economie/transports/prix-des-carburants-les-transporteurs-routiers-obtiennent-une-aide-de-400-millions-d-euros-10205394.php#:~:text=Cette%20aide%2C%20n%C3%A9goci%C3%A9e%20au%20minist%C3%A8re,routiers%2C%20ont%2Delles%20pr%C3%A9cis%C3%A9.)

[10205394.php#:~:text=Cette%20aide%2C%20n%C3%A9goci%C3%A9e%20au%20minist%C3%A8re,routiers%2C%20ont%2Delles%20pr%C3%A9cis%C3%A9.](https://www.sudouest.fr/economie/transports/prix-des-carburants-les-transporteurs-routiers-obtiennent-une-aide-de-400-millions-d-euros-10205394.php#:~:text=Cette%20aide%2C%20n%C3%A9goci%C3%A9e%20au%20minist%C3%A8re,routiers%2C%20ont%2Delles%20pr%C3%A9cis%C3%A9.)

⁵ <https://www.futura-sciences.com/planete/actualites/russie-dependance-energetique-si-nous-ne-parvenons-pas-cooperer-nous-risquerons-black-out-97076/>

⁶ https://www.lemonde.fr/international/article/2022/03/05/guerre-en-ukraine-a-marioupol-c-est-un-enfer-c-est-alep-je-voudrais-que-tout-le-monde-l-entende-en-europe_6116309_3210.html

L'ÉQUIPE DU PROJET

Ce rapport est le fruit d'un travail orchestré par l'équipe projet du secteur *Fret* du PTEF, composée de **Reuben Fisher**, chef du projet, **Nicolas Raillard**, coordinateur du projet, **Nolwenn Brossier** et **Paul Boosz**, chargés de projet. L'ensemble de ce travail a été accompagné par **Laurent Morel** et **Jean-Marc Jancovici**, administrateurs du *Shift Project*.

Les aspects développés sur les emplois, les compétences et la formation ont été construits et développés en collaboration avec **Vinciane Martin** et **Yannick Saleman**, respectivement chargée et chef de projet du chantier transversal sur l'emploi dans le PTEF.

Le *Shift* tient à remercier l'ensemble des acteurs qui ont contribué au projet par des entretiens avec l'équipe, par des relectures ou par l'apport de documentation ou données :

Olivier Barge (*Prologis*), **Ivan Baturone** (*Michelin / France Supply Chain*), **Juliette Berthon** (*Sogaris*), **Aurélien Bigo** (Indépendant), **Alain Borri** (*BP2R*), **Xavier Bourat** (*Total*), **Nina Bourgier-Dupont** (*Fret SNCF*), **Denis Brangeon** (*Michelin*), **Yann Briand** (*IDDR*), **Jean-Claude Brunier** (*TAB T3M*), **Nicolas Brutin** (*VNF*), **Tariel Chamerois** (*DB Schenker*), **Laetitia Dablanc** (*Université Gustave Eiffel*), **Joël Danard** (*KhPR*), **Frédéric Delorme** (*Fret SNCF*), **Diana Diziain** (*AFILOG*), **Louis Hubert** (*Académie Logistique*), **Antoine Jabet** (*GRDF*), **Bernard Jacob** (*Université Gustave Eiffel*), **Anicia Jaegler** (*Kedge Paris Supply Chain*), **Elodie Kacioui-Maurin** (*Aix Marseille Université/CRETLOG*), **Martin Koning** (*Université Gustave Eiffel*), **Vincent Lamarche** (*Schneider Electric*), **Jennifer Lazzeri Gracia-Campo** (*Aix Marseille Université/CRETLOG*), **Cédric Lebreton** (*WeNow*), **Mélanie Legat** (*Interface Transport*), **Marc Lejeune** (*Renault Trucks*), **Thibaut Limon** (*Région Sud*), **Francisco Luciano** (*Citec*), **Caroline Maleplate** (*GRDF*), **Gilles Manuelle** (*Fludis*), **Constance Maréchal-Dereu** (*France Logistique*), **Alix Martinot-Lagarde** (*SNCF*), **Lucien Mathieu** (*T&E*), **Juliette Medina** (*4S Network*), **Charlotte Migne** (*FM Logistics*), **Michèle-Angélique Nicol** (*Ville de Paris*), **Géraud Pellat de Villedon** (*Michelin*), **Xavier Perraudin** (*4S Network*), **Bruno Perrier** (*Ariane Group*), **Eric Petit** (*Académie Logistique*), **Anthony Petitprez** (*VNF*), **Julie Raffailac** (*Région Sud*), **Aime-Frederic Rosenzweig** (*Groupe Renault*), **Lionel Rouillon** (*VNF*), **Paul Sanséau** (*BFC Consulting*), **Ton van Meegen** (*Port Liner*), **Yuan Yao** (*Aix Marseille Université/CRETLOG*).

Le *Shift* remercie particulièrement l'académie d'Écologie Logistique pour la co-organisation d'ateliers collaboratifs en mai 2021, ainsi que tous les participants à cet événement.

Nous remercions aussi les *Shifters* qui ont contribué par leurs recherches, analyses et modélisations : **Jean-Baptiste Charrat**, **Guillaume Dumont**, **Julien Le Signor**, **Clément Lemardelé**, **Laure Ménétrier**, **Antoine Radal**, **Jean François Rougès**, **Marc Sorrentino**, et **Alice Thébault**.

Et enfin, nous remercions **Ilana Toledano** et **Pauline Brouillard**, du pôle communication du *Shift Project*, ainsi que **Camilo Hiche**, *Shifter* et graphiste qui a réalisé la mise en page.

NB: Les interprétations, positions et recommandations figurant dans ce rapport n'engagent que le Shift Project, et ne peuvent être attribuées ni aux membres du Comité de suivi, ni aux experts consultés, ni aux relecteurs.

Crédit photo page de couverture : **Pat Whelen** sous licence Unsplash

À PROPOS DU PLAN DE TRANSFORMATION DE L'ÉCONOMIE FRANÇAISE : LE PTEF

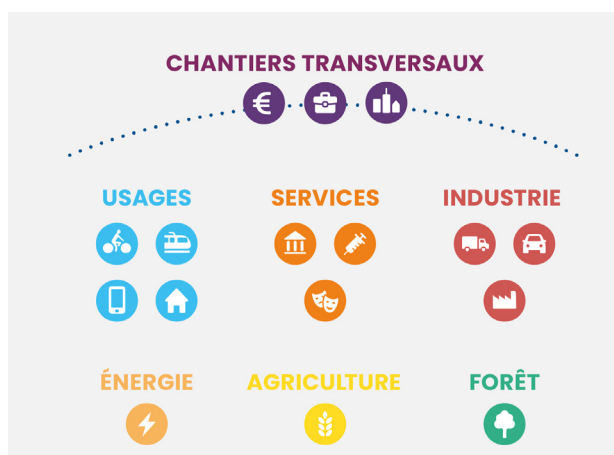
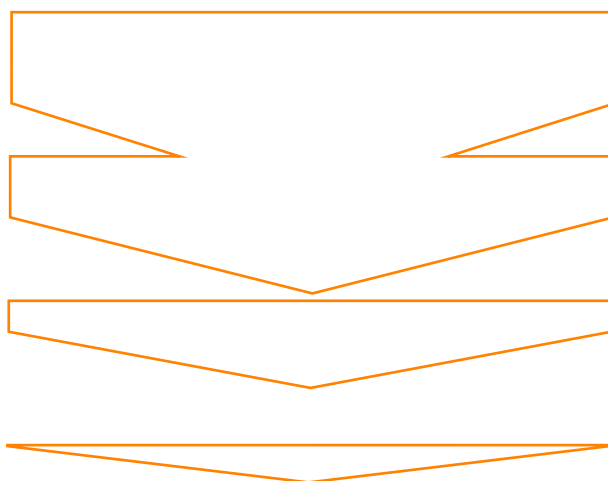
Le Plan de transformation de l'économie française (PTEF) vise à proposer des **voies pragmatiques pour décarboner l'économie**, secteur par secteur, en favorisant la résilience et l'emploi.

Initié au début du premier confinement, ce plan s'inscrit dans la perspective du fameux « monde d'après », et a vocation à alimenter le **débat public** : entre autres celui qui va précéder l'élection présidentielle de 2022.

Il s'agit de concevoir à grande échelle un programme systémique de mesures opérationnelles (fiscales, réglementaires, économiques, sociales, organisationnelles) destinées à rendre l'économie française effectivement compatible avec la limite des 2 °C désormais communément prise pour objectif.

L'élaboration du PTEF repose sur quatre piliers

- **Adopter une approche globale, systémique et cohérente** du point de vue des lois de la physique et de la technique, et des flux économiques.
- **S'intéresser aux vraies ressources rares : les ressources physiques et les compétences**, l'emploi étant au cœur du dispositif.
- **Faire des propositions pragmatiques**, opérables dès à présent, de façon à ouvrir un chemin de décarbonation réaliste et cohérent au sein d'une transformation de long-terme qui impose un **rythme de réduction des émissions de gaz à effet de serre d'environ 5 % par an** en moyenne dès aujourd'hui.
- **Ne pas reposer sur le pari de la croissance économique** (ce qui semble particulièrement adapté à la période), ni sur des évolutions technologiques supposées advenir mais encore non éprouvées.



RÉSUMÉ AUX DÉCIDEURS

Le transport de marchandises est une activité cruciale au bon fonctionnement de notre économie, en tant que support physique des chaînes de valeurs de tous les biens et services auxquels nous avons accès. **En moyenne chaque année, ce sont 27 tonnes qui sont transportées sur environ 200 km pour chaque Français. Cette activité est responsable de 9 % des émissions de gaz à effet de serre du territoire. Elle est assurée à 89 % par la route et à 9 % par le ferroviaire.**

La transformation des autres secteurs du PTEF induit une réduction de la demande en transport de marchandises de 25% entre aujourd'hui et 2050.

Pour le fret intra et interrégional, **le PTEF propose d'organiser un report modal fort du routier vers le ferroviaire et le fluvial, modes plus efficaces énergétiquement.** Le routier restant, encore majoritaire en 2050 (2/3 pour le routier, 1/4 pour le ferroviaire, le reste en fluvial), est rendu plus efficace par des améliorations d'aérodynamisme et la baisse des vitesses sur les routes, et est électrifié par la création d'un réseau d'autoroutes électriques et par l'électrification des flottes de camions avec des batteries de taille limitée.

Pour le fret urbain, le PTEF propose l'organisation d'un réseau de centres de mutualisation urbains qui permettent d'optimiser les chargements par la mutualisation et d'optimiser les flottes de véhicules aux livraisons à réaliser, en particulier par la cyclologistique. Le parc de VUL sera rapidement électrifié et les chauffeurs formés à l'écoconduite.

Pour que tout ceci soit rendu possible dans les temps, il faut que les acteurs se mettent en mouvement de manière coordonnée et dirigée vers la décarbonation et l'efficacité énergétique. Le PTEF propose la création d'entités publiques ou indépendantes en charge de l'accompagnement, du contrôle, et de l'aide des acteurs dans leur

contribution à ces efforts, via la mise en place de certifications « d'effort de décarbonation », sanctionnant l'observation de bonnes pratiques et l'atteinte d'objectifs énergie-carbone, que chaque acteur doit obtenir et conserver pour opérer. L'ensemble des salariés du secteur sera formé aux enjeux énergie-climat.

Concernant l'État et les collectivités, le PTEF propose l'instauration d'une gouvernance territoriale du transport de marchandises, au niveau national (ministère de la logistique), régional et intercommunal ou communal, afin de délibérer avec les parties prenantes sur l'aménagement du territoire, le foncier, la mise en place de services, la création de partenariats, etc., qui permettront la bonne transformation du fret.

La mise en place du PTEF dans le secteur du fret permettrait une baisse de plus de 5 %/an des émissions de GES dès le prochain quinquennat, et permettrait la continuation de l'effort vers une décarbonation complète du secteur d'ici 2050. Ne parier que sur les propositions technologiques (aérodynamique, transformation des motorisations) augmente les risques de rupture d'opération du fret dans les décennies à venir, par rapport à une mise en place complète du PTEF.

Le transport de marchandises est un maillon clef de notre société. Décarboner ce secteur permet de contribuer à l'effort national contre le changement climatique, et de rendre nos industries, commerces, et modes de vie plus résilients aux contraintes énergétiques à venir.

Le fret n'est pas un secteur « optionnel ». Nous avons vu durant la pandémie à quel point le transport de masques et d'autres équipements médicaux était critique, et en quoi les livraisons aux magasins et aux particuliers étaient importantes pour que

les services basiques de notre société (se nourrir, se soigner) puissent perdurer.

D'un point de vue historique, l'échange de marchandises a contribué à façonner le monde et nos villes, comme par exemple l'essor de Venise, qui était un véritable « hub » des transports maritimes et agglomération d'entrepôts de marchandises, dans les rez de chaussée des palais le long du Grand Canal, par exemple.. Comme c'était le cas à l'époque, le fret est toujours un maillon indispensable en amont, pour l'industrie par exemple – en effet, comment fabriquer ou assembler des choses dans les usines, sans y avoir transporté les matières premières ou pièces nécessaires ? En aval, après la fabrication ou l'assemblage, les produits finis doivent de nouveau être transportés vers leurs sites d'installation ou de commercialisation par exemple.

Autrement dit, les marchandises n'ayant pas de jambes, elles devront continuer à être transportées – Paris, par exemple, ne dispose que de trois jours de réserves alimentaires. Aucun territoire ne pouvant devenir autosuffisant, le besoin de transport de marchandises n'est pas prêt de disparaître.

Le fret n'est pas le premier secteur auquel on pense quand on parle de réchauffement climatique. Pourtant, **le secteur du transport en général – passagers et marchandises – est le plus émissif de CO₂ en France, avec plus de 30 % des émissions, dont deux tiers pour les passagers et un tiers pour les marchandises.** Plus précisément, 9 % des émissions de CO₂ du pays viennent du fret.

Deux tendances expliquent la hausse considérable des émissions du fret, qui ont été multipliées par plus de 3, depuis les années 1960.

D'une part, **la demande en fret n'a cessé d'augmenter** des années 60 jusqu'en 2008, date à laquelle elle a subi un choc puis s'est mise à stagner. La quantité de fret transportée, multipliée par les distances parcourues, a ainsi été multipliée par 3,4 entre 1960 et aujourd'hui : plus de biens nécessitent d'être transportés, sur des distances plus longues.

D'autre part, **le transport de marchandises**

se fait de plus en plus par la route, dont la part de marché est passée de 34 % en 1960 à près de 90 % aujourd'hui. Sur la même période, la part des transports ferroviaires et fluviaux a baissé de 56 % à 9,6 % et de 10 % à 1,9 %, respectivement, alors même que ces modes sont plus efficaces d'un point de vue énergétique et moins émissifs.

Depuis 1990, le secteur des transports est le seul à ne pas avoir réduit ses émissions en France. Au niveau mondial, les projections parlent d'une croissance du transport de 2 % par an tandis qu'en France, les livraisons du « e-commerce » aux particuliers pourraient poursuivre leur très forte croissance des quatre dernières années, de l'ordre de 9 % par an.

Pour atteindre les objectifs de la Stratégie nationale bas carbone, à savoir une diminution de 28 % du CO₂ émis par le secteur d'ici 2030 et une décarbonation totale pour 2050, une véritable rupture de pente sur les émissions doit être obtenue : les efforts à entreprendre sont considérables.

Au besoin impératif de décarbonation s'ajoute celui de réduire la dépendance du transport aux énergies fossiles. Environ 90 % du fret circulant sur le sol français est assuré par les énergies fossiles, essentiellement sous forme de diesel.

Or, la disponibilité des énergies sous forme liquides (et gazeuses) risque d'être amenée à subir des phases de contraction au cours des prochaines décennies, qui pourront être ressenties comme des chocs si nous ne nous y préparons pas, et se traduire par des hausses brutales des prix. Pour différentes raisons, nous avons commencé à voir ces derniers mois de telles hausses – les impacts sont limités en France en comparaison avec d'autres pays, mais néanmoins visibles et tangibles pour tous ceux qui font le plein de carburant fossile pour leur véhicule par exemple, ou ceux qui ont des fournisseurs d'énergie dont les prix au kWh sont libres.

Pour éviter ces situations chaotiques lors desquelles certains services essentiels pourraient ne plus être assurés, le secteur

du fret doit se réorganiser de manière à **consommer le moins possible d'énergie liquide ou gazeuse**, qui resteront des ressources rares^[1] et convoitées par d'autres secteurs en 2050. Il doit donc s'électrifier le plus possible. Cependant, comme la disponibilité en production électrique en France sera limitée elle aussi, bien que dans une moindre mesure, **le fret doit également viser des modes d'organisation efficaces du point de vue de la consommation d'électricité** par unité de service rendu.

A cela s'ajoute une **dernière contrainte dont le fret devra tenir compte : l'approvisionnement en matériaux**, en particulier les métaux nécessaires à la production de batteries (comme le lithium, le cobalt et/ou le nickel), pourraient subir des à-coups, la demande mondiale étant vouée à exploser si la transition du parc mondial de voitures s'enclenche véritablement.

La consommation d'énergie et les émissions du fret s'expliquent par les 5 facteurs suivants (dits « de l'équation de Kaya »):

- 1. la demande** en transport de marchandises – combien de tonnes doivent être transportées sur quelles distances, en « tonnes kilomètres », ou t.km, unité correspondant au transport d'une tonne sur un kilomètre ;
- 2. les parts modales** – par quels modes cette demande de transport est satisfaite, en t.km pour chaque mode ;
- 3. le remplissage** – combien de tonnes, en moyenne, sont transportées par véhicule ;
- 4. la consommation énergétique unitaire** des modes – combien d'énergie est consommée pour tracter le véhicule sur un km,
- 5. le contenu carbone de l'énergie** utilisée – combien de carbone est émis lors de la consommation énergétique

Les propositions du PTEF visent à jouer sur ces facteurs pour réduire les émissions et améliorer la résilience énergétique du fret.

Dans le cadre du PTEF, la demande en transport de marchandises amorce une baisse de 25 % entre aujourd'hui et 2050.

Le PTEF est un plan portant sur l'ensemble de l'économie, et qui vise le maintien des usages et libertés essentiels des Français dans un monde en contraction physique. Par l'application du PTEF, les différents secteurs de l'économie se transforment, ce qui impacte leurs besoins en transport de marchandises. Par exemple, les secteurs de l'agriculture et de la transformation alimentaire se réorganisent régionalement, ce qui réduit le besoin de transport pour les produits alimentaires (baisse de 60 % des t.km). Certains biens durent plus longtemps (informatique) ou sont moins utilisés (automobiles). La construction neuve se réduit. Les produits énergétiques liquides voient leur production fortement réduite. Les évolutions induites par le PTEF dans les différents secteurs du PTEF, une fois cumulées, mènent à une réduction de la demande en fret de 25 % par rapport à aujourd'hui.

Dans le transport intra et interrégional, le PTEF donne la priorité aux modes les plus efficaces énergétiquement : le fer et le fleuve.

Une telle priorisation se traduit concrètement dans le PTEF par des **efforts sur les infrastructures ferroviaires** (essentiellement le contournement de nœuds ferroviaires autour d'agglomérations, et la remise à niveau des lignes capillaires), **fluviales** (construction du canal Seine Nord Europe déjà débutée et remise à niveau du réseau moyen et petit gabarit), et **intermodales rail-route** (15 nouveaux pôles intermodaux à construire). Cette priorisation se traduit également par une **amélioration du niveau de service du ferroviaire** (wagons isolés, services de transport combiné rail-route, suivi des marchandises, révision des priorités entre passagers et marchandises). Elle se

[1] Les gisements de biomasse qu'on pourra mobiliser pour produire de l'énergie (biocarburants) seront faibles en Europe, et la disponibilité en production électrique restera limitée, ce qui rend inefficace la production de carburants de synthèse par rapport à sa consommation directe (par le réseau) ou par batterie.

traduit enfin par un **accompagnement des chargeurs vers le transport ferroviaire ou fluvial** pour leurs marchandises, qui devient obligatoire dès que la situation du chargeur rend ces options intéressantes du point de vue énergétique. A plus long-terme, cet accompagnement permettra de **réorganiser les chaînes logistiques le long des axes décarbonés structurants de demain** (voies ferrées, voies fluviales, autoroutes électriques).

En tonnes par kilomètre (t.km), la part du fer passera à 25 % et celle du fleuve à 9 %. Le routier restera donc dominant, et à ce titre il est crucial de rendre ce mode plus efficace d'un point de vue énergétique et de l'électrifier massivement.

Afin de rendre le routier plus efficace, le PTEF fait des propositions pour **améliorer les remplissages des camions** : l'organisation de la mutualisation, la réduction des cadences d'envoi et la généralisation de pratiques de maximisation des chargements. Cela passe essentiellement par la mise en place d'un accompagnement des acteurs vers ces bonnes pratiques, et la concertation d'acteurs entre eux. Des incitations envers les constructeurs camions et les transporteurs sont mises en place pour **améliorer la consommation unitaire (kWh/km) des camions**, en majeure partie par l'aérodynamisme, ainsi qu'une **baisse des vitesses** des camions sur les routes.

Afin d'électrifier massivement le fret routier, le PTEF propose la **construction d'un réseau structurant d'autoroutes électriques**, complémentaire (et non concurrent) des réseaux ferroviaire et fluvial, couvrant les flux routiers longs les plus importants. Cela s'accompagne du **déploiement progressif de tracteurs routiers électriques**, à batterie de taille limitée, et d'un **réseau de bornes de recharge lentes et rapides** d'une puissance adaptée à la taille moyenne des batteries.

Pour le ferroviaire et le fluvial, l'électrification est utile mais moins urgente. Le PTEF propose, dans le cas du train, **l'électrification partielle** de certaines lignes et le recours à du matériel hybride (batteries embarquées ou hydrogène) là

où l'électrification du réseau est difficile. Pour le fluvial, il s'agit d'améliorer l'efficacité de la flotte vieillissante (hydrodynamique, modernisation de l'injection du carburant et des hélices propulsives), d'adapter la propulsion aux biocarburants, et de réserver une partie des biocarburants produits au fluvial.

Pour que tout ceci soit rendu possible dans les temps, il faut que les acteurs se mettent en mouvement de manière coordonnée et dirigée vers la décarbonation et l'efficacité énergétique. Le PTEF propose la création d'entités publiques ou indépendantes chargées de l'accompagnement, du contrôle, et de l'aide des acteurs dans leur contribution à ces efforts.

Cet accompagnement doit être strict mais intelligent, tenant compte de l'immense diversité de situations (géographique, type de marchandises, situation économique, place dans la chaîne de valeur...) des acteurs du fret. Le PTEF propose qu'il passe par la mise en place de certifications « d'effort de décarbonation », sanctionnant la **mise en place de bonnes pratiques et l'atteinte d'objectifs énergie-carbone, que chaque acteur doit obtenir et conserver pour opérer.**

Le **certificat « chargeur »** sanctionne le suivi de trajectoires d'émissions et de consommation d'énergie par tonne.km transportée, et accompagne les pratiques en bonne intelligence (stratégie long-terme de relocalisation des chaînes logistiques vers les axes structurants décarbonés, recherches de possibilités de passer par le rail ou le fleuve, ou par autoroute électrique, recherche de possibilités de mutualisation).

Le **certificat « transporteur/commissionnaire de transport routier »** sanctionne le suivi d'une trajectoire d'électrification de la flotte, et la mise en place de bonnes pratiques d'adaptation de la flotte aux flux de marchandises à transporter (véhicules les plus efficaces, c'est-à-dire les plus lourds qui soient remplis, mise en place de la cyclo logistique) et de bon remplissage des camions.

Une preuve de l'obtention de ces certificats

devra apparaître sur la lettre de voiture afin de pouvoir circuler.

Le fret de l'urbain dense est le moins efficace du point de vue énergétique, à cause des faibles remplissages inhérents à son activité et de la circulation « hachée » des livraisons dans l'urbain.

Le PTEF propose l'organisation de services de transport de marchandises urbains qui permettent d'optimiser les chargements par la mutualisation et d'optimiser les flottes de véhicules aux livraisons à réaliser. Les chargeurs qui veulent obtenir leur certificat d'effort de décarbonation seront incités à passer par ce genre de service si jamais leurs remplissages et leur efficacité énergétique peuvent être améliorés dans l'urbain. Concrètement, les agglomérations seront incitées à dédier du foncier à ces services qui s'organiseront sous forme de **réseaux de centres de mutualisation urbains**. Chaque centre opérera une flotte de véhicules électriques, composée de cycles et de véhicules plus lourds et permettra la mutualisation des flux à transporter dans son secteur urbain. **La cyclologistique**, d'un ordre de grandeur plus efficace que le transport par camionnette, devient prioritaire dans l'urbain dense par les différents mécanismes incitatifs mis en place par le PTEF.

Le PTEF propose une amélioration de **l'efficacité des véhicules utilitaires légers par la formation à l'écoconduite** des chauffeurs. Il propose également **l'électrification rapide du parc de VUL**, par l'incitation des transporteurs à s'équiper via le certificat d'effort de décarbonation, par des normes d'émissions CO₂ plus contraignantes au niveau de l'UE pour les constructeurs, et par la continuation du déploiement du réseau de recharge électrique sur l'espace public.

En parallèle, une **planification de l'adaptation des infrastructures de transport** aux effets du changement climatique doit être entreprise.

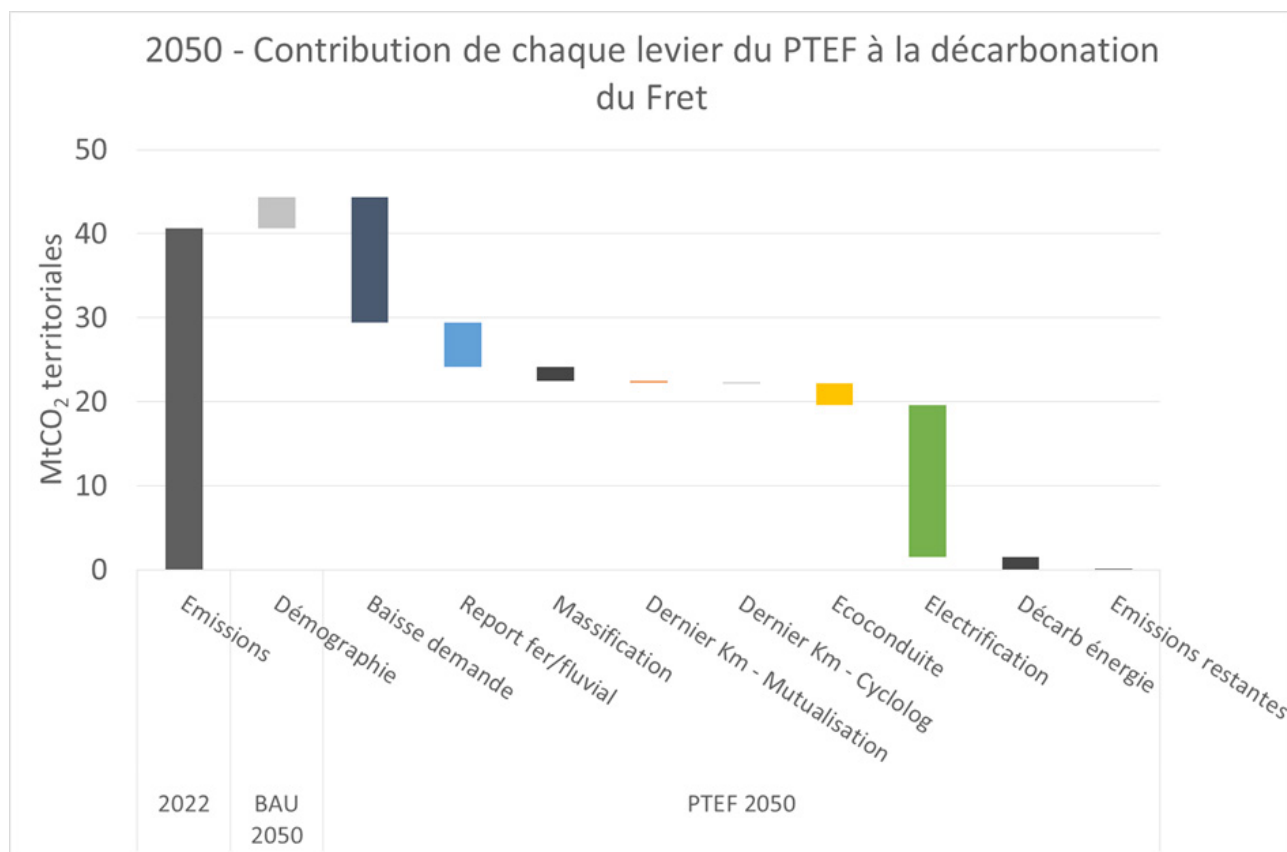
Concernant l'État et les collectivités, le

PTEF propose la mise en place d'une gouvernance territoriale du transport de marchandises, au niveau national (ministère de la logistique), régional et intercommunal ou communal. Le rôle de cette gouvernance est la fluidification, la bonne coordination, le pilotage et le suivi de la transformation du fret (y compris son adaptation aux effets du changement climatique). Elle met en place les instances de concertation entre les acteurs concernés du territoire – public, privé, associatifs, citoyens – afin de délibérer sur l'aménagement du territoire, le foncier, la mise en place de services, la création de partenariats, etc., qui permettront la bonne transformation du fret. Afin d'alimenter les réflexions par des constats clairs et chiffrés sur les besoins en transport de marchandises, les flux existants, les pratiques et le matériel utilisé, un **cadre de remontée des données des acteurs de terrain vers les différents échelons territoriaux** sera mis en place.

L'ensemble des salariés du secteur sera formé aux enjeux énergie-climat par l'inclusion de ces enjeux dans toutes les formations et examens existants (capacité professionnelle en transport routier, formation des conducteurs/livreurs), par la création d'une habilitation climatique pour les dirigeants et cadres, et par un module de formation destiné à tous.

La mise en place du PTEF dans le secteur du fret permettrait une baisse de plus de 5 %/an des émissions de GES dès le prochain quinquennat, et permettrait la continuation de l'effort vers une décarbonation complète du secteur d'ici 2050.

Certaines de nos mesures permettent des résultats dès le prochain quinquennat quand d'autres doivent être enclenchées rapidement pour avoir des effets démultiplicateurs dans les quinquennats suivants. Les structures de gouvernance et d'accompagnement/contrôle des acteurs doivent se mettre en place dès le prochain quinquennat pour amorcer et maintenir l'effort.



Les mesures à effet rapide sont la formation à l'écoconduite pour les chauffeurs de VUL et la mise en place des incitations à l'électrification des flottes de VUL, la construction des infrastructures d'intermodalité rail-route et les incitations fortes au report modal, ainsi que la bonne transformation des autres secteurs du PTEF.

Les mesures à enclencher rapidement pour permettre la continuation de l'effort sont la mise à niveau du réseau ferroviaire et la construction du réseau d'autoroutes électriques, travaux à déclencher dès le prochain quinquennat ; les incitations à produire des camions électriques et à améliorer la densité énergétique des batteries.

Nos propositions sur le fret urbain semblent avoir un effet marginal sur les émissions nationales du fret. Outre l'incertitude de nos chiffres sur la séparation entre fret urbain et fret intra-interrégional, qui plaide en faveur d'études plus poussées sur ce chiffrage, nos propositions permettent une **plus grande résilience énergétique du fret urbain**, ce qui déterminera sa capacité à opérer correctement lors de crises énergétiques.

Ne parier que sur les propositions technologiques (aérodynamique, transformation des motorisations) augmente les risques de rupture d'opération du fret dans les décennies à venir, par rapport à une mise en place complète du PTEF.

L'absence de sobriété dans les autres secteurs du PTEF, couplée à l'absence de transformation des pratiques dans le secteur du fret fait peser une charge forte sur la production d'énergie (décarbonée) en 2050, induisant des risques accrus d'incapacité à produire/importer cette énergie, et donc des risques accrus de rupture d'opération du fret. Ne mettre en place que les mesures technologiques du PTEF induit une multiplication par 2 à 3 des besoins en électricité du fret (2 si c'est une électrification entièrement par batterie, 3 si le fret longue distance est électrifié par hydrogène). Or, la production électrique française (et certainement européenne) sera limitée face à l'augmentation potentielle de demande en absence de sobriété et de changements de pratiques.

Table des matières

RESUME AUX DECIDEURS.....	9
Table des matières	10
LES ENJEUX ENERGIE-CLIMAT AUTOUR DU FRET.....	16
I. Notre périmètre d'étude et notre démarche	16
II. Un bref aperçu physique du secteur du fret : activités, infrastructures, véhicules	19
A. Aperçu physique du transport fluvial	19
B. Aperçu physique du transport ferroviaire	21
C. Aperçu physique du transport routier	23
III. La contrainte énergie-climat pour le fret.....	26
A. Les émissions de GES des transports en France vont devoir passer de 140 MtCO ₂ eq/an à 0 en 30 ans	26
B. Des efficacités énergétiques très contrastées selon les modes	28
C. Le fret intérieur en France émet 41 MtCO ₂ par an.....	29
D. Une contrainte énergie-climat impérieuse.....	31
IV. Les leviers clés de décarbonation dans le fret	32
UNE NECESSAIRE COEVOLUTION DU FRET AVEC LE RESTE DE L'ECONOMIE PHYSIQUE	35
I. Les produits agricoles et alimentaires.....	35
II. Les produits de l'industrie lourde	36
III. Les produits manufacturés de faible valeur ajoutée	36
IV. Les produits manufacturés de haute valeur ajoutée.....	37
V. Les matériaux de construction et issus des mines et carrières	37
VI. Une réduction de la demande en fret d'environ 25 % d'ici 2050	37
DECARBONER LE FRET INTRA ET INTER-REGIONAL.....	39
I. Le fret français est assuré en grande majorité par le routier tandis que le ferroviaire et le fluvial sont en déclin	39
A. Evolution historique des parts modales.....	39
B. Les choix modaux actuels découlent largement de la structuration des réseaux d'infrastructures	41

II. Le fer et le fleuve sont particulièrement adaptés pour le transport de marchandises sous contrainte énergie-climat	45
A. Le fer et le fleuve présentent une efficacité énergie climat bien meilleure que le routier	45
B. Les réseaux ferré et fluvial pourraient doubler à tripler leur capacité de transport de marchandises.....	47
III. Nos propositions pour favoriser le report de la route vers le fer et le fleuve	49
A. Renforcer et améliorer l’offre en transport fluvial et ferroviaire	49
B. Développer les possibilités d’intermodalité pour massifier les reports modaux.....	54
C. Contraindre de manière différenciée le transport routier à mesure que les offres ferroviaires et fluviales s’étioffent, afin d’amplifier le report modal	58
D. Quelle fiscalité pour le transport de marchandises ?	60
IV. Optimiser le remplissage des poids-lourds	61
A. Organiser la mutualisation des flux et des trajets.....	62
B. Généraliser les pratiques de chargement maximisant les remplissages	64
C. Ralentir les cadencements d’envoi pour agréger les marchandises	66
D. Inciter à l’augmentation des remplissages	67
V. Réduire la consommation unitaire des poids-lourds	67
A. Améliorer l’aérodynamique des poids-lourds	68
B. Abaisser les vitesses des poids-lourds sur les routes.....	69
VI. Électrifier les poids-lourds	71
A. Potentiels et limites des technologies électriques à batteries	72
B. Développer un réseau structurant d’autoroutes électriques au niveau européen (ERS – electric road system)	77
C. Une double stratégie d’électrification du TRM : le déploiement des véhicules à batterie accompagné de la création d’un nouveau réseau structurant décarboné.....	80
VII. Améliorer l’efficacité, et électrifier davantage les autres modes lourds	81
A. Une électrification plus poussée du ferroviaire.....	81
B. Améliorer l’efficacité des bateaux et décarboner la propulsion	83
VIII. Accompagner, contrôler et aider les acteurs du transport dans leur décarbonation	87
A. Certificat « chargeur »	88
B. Certificat “transporteur ou commissionnaire de transport routier”	89
DECARBONER LE FRET DU DERNIER KILOMETRE	90
I. Le fret du dernier km : un segment particulièrement peu efficient du point de vue énergie-climat	90
II. Mutualiser les flux	92
A. Des modèles logistiques d’ores et déjà en évolution vers plus de mutualisation	92
B. Des opportunités de mutualisation pour le dernier kilomètre	92
C. Développer un réseau de sites de mutualisation urbains	93
III. Améliorer les remplissages du e-commerce	100

IV. Développer la cyclologistique pour le dernier km.....	102
A. Potentiels et limitations de la cyclologistique	102
B. Développer la cyclologistique	106
V. Massifier l'écoconduite pour les VUL	107
VI. Électrifier les VUL	108
UNE GOUVERNANCE DU FRET ORIENTEE VERS LA DECARBONATION.....	110
I. La gouvernance actuelle du transport de marchandises et de la logistique	110
A. Penser l'implantation de l'immobilier logistique pour encadrer le besoin d'espace au sol	111
II. Vers une planification stratégique du transport de marchandises et de la logistique	112
A. Échelon national	112
B. Échelon régional	113
C. Échelon inter/communal	114
D. Développement des Autorités Organisatrices du Fret (AOF)	115
III. Former les acteurs du fret aux enjeux énergie-climat.....	116
ADAPTATION DES INFRASTRUCTURES ET DU MATERIEL ROULANT AU CHANGEMENT CLIMATIQUE.....	118
EFFETS SUR LES FLUX D'ENERGIE ET DE CARBONE.....	120
I. Nos hypothèses	120
A. Une décreue des besoins de transport de marchandises	120
B. Un report modal du routier de longue distance vers le fer et le fleuve	125
C. Une augmentation des remplissages du routier.....	126
D. Une logistique du dernier kilomètre s'appuyant sur un réseau de mutualisation et sur la cyclologistique.....	128
E. Des baisses de consommation pour l'ensemble des véhicules routiers, suite à des mesures de sobriété et d'efficacité énergétique	130
F. Une électrification massive des véhicules de fret.....	131
G. Les effets rebonds.....	132
II. Nos grands résultats pour le fret.....	132
A. Consommation d'énergie en 2027 et en 2050 si le PTEF est appliqué au prochain quinquennat	132
B. Evolution des émissions de GES	137
C. Potentiels et limites des évolutions technologiques	140
EFFETS SUR L'EMPLOI	143
I. L'approche emploi dans le secteur Fret du PTEF.....	143
II. Anticiper l'évolution de la demande de main-d'œuvre.....	144

A. Etat des lieux et tendances actuelles	144
B. Le besoin en emploi dans le secteur Fret après transformation	146
C. Estimer les trajectoires de création et destruction d'emploi	148
III. Accélérer et accompagner la transformation de l'offre d'emploi et de compétences	148
LIMITATIONS DE NOTRE ETUDE	150
ANNEXE.....	152
I. Etude numérique interne des gains obtenus par optimisation aérodynamique	152

Liste des abréviations

AOM	Autorité organisatrice de la mobilité
AOF	Autorité organisatrice du Fret
CMU	Centre de mutualisation urbain
CO ₂	Dioxyde de carbone
DK	Dernier kilomètre
ETP	Equivalent temps-plein
gCO ₂ eq/t.km	Gramme de CO ₂ équivalent par tonne kilomètre
GES	Gaz à effet de serre
ITE	Installation terminale embranchée
PL	Poids lourd
PLU	Plan local d'urbanisme
PTAC	Poids total autorisé en charge
SCoT	Schéma de cohérence territorial
SRADDET	Schéma régional d'aménagement de développement durable et d'égalité des territoires
TICPE	Taxe intérieure de consommation sur les produits énergétiques
t.km	Tonne-kilomètre
TPE	Très petite entreprise
TRM	Transport routier de marchandises
VA	Valeur ajoutée
VNF	Voies navigables de France
VUL	Véhicule utilitaire léger

01

**LES ENJEUX
ÉNERGIE-CLIMAT
AUTOUR DU FRET**



I. Notre périmètre d'étude et notre démarche

La logistique désigne une « série d'opérations physiques portant sur des produits agricoles ou industriels et complétant leur fabrication : transport, entreposage, manutention, emballage, notamment, constituant une part substantielle de la valeur finale des produits. » Elle mobilise en France 1,8 millions d'emplois. (Ministère de la Transition écologique, 2019)

D'un point de vue macroscopique, la logistique est l'ensemble des activités organisant les flux de matière sur un territoire, depuis la production de matières premières jusqu'à la réception du produit fini par le consommateur final.

Comme toute activité de gestion de flux, elle s'articule selon différents horizons temporels.

- A long-terme (quelques années), on détermine la configuration physique du réseau logistique et les modalités de transport. Cet horizon est très structurant car il cadre les flux pour les années suivantes.
- A moyen terme (quelques semaines à quelques mois), on pilote la production (lieux, quantités...), les approvisionnements (lieux, débits entrants...), les stocks (lieux, quantités...), l'entreposage (débits à stocker), et les transports (origine et destination du flux, débits concernés). C'est à cet horizon qu'on détermine notamment les cadences d'envoi.
- A très court terme, la chaîne logistique et les opérations sont suivies pour assurer leur bon fonctionnement et la réponse aux incidents.

Le transport de fret (ou simplement « fret » par la suite) en tant que tel, ou transport de marchandises, n'est qu'une des activités (parmi les plus opérationnelles) de la logistique. Les décisions le concernant s'effectuent à organisation des sites de production fixée et à structures des réseaux de distribution fixées. Il s'agit principalement de décisions sur la taille (volume et poids), la fréquence des envois, et la route précise empruntée par le véhicule.

De façon schématique, le transport de marchandises s'organise autour de trois types d'acteurs : les transporteurs, qui transportent ; les chargeurs, qui commandent la prestation de transport et les intermédiaires, qui font le lien entre les deux. (ADEME, 2019a)

Nous nous concentrons dans ce rapport sur l'activité de transport de marchandises⁷. Cette focale ne nous empêche pas de faire des propositions qui requièrent des évolutions de la configuration physique du réseau logistique sur le moyen et long terme, tout en tenant compte des inerties de cette configuration.

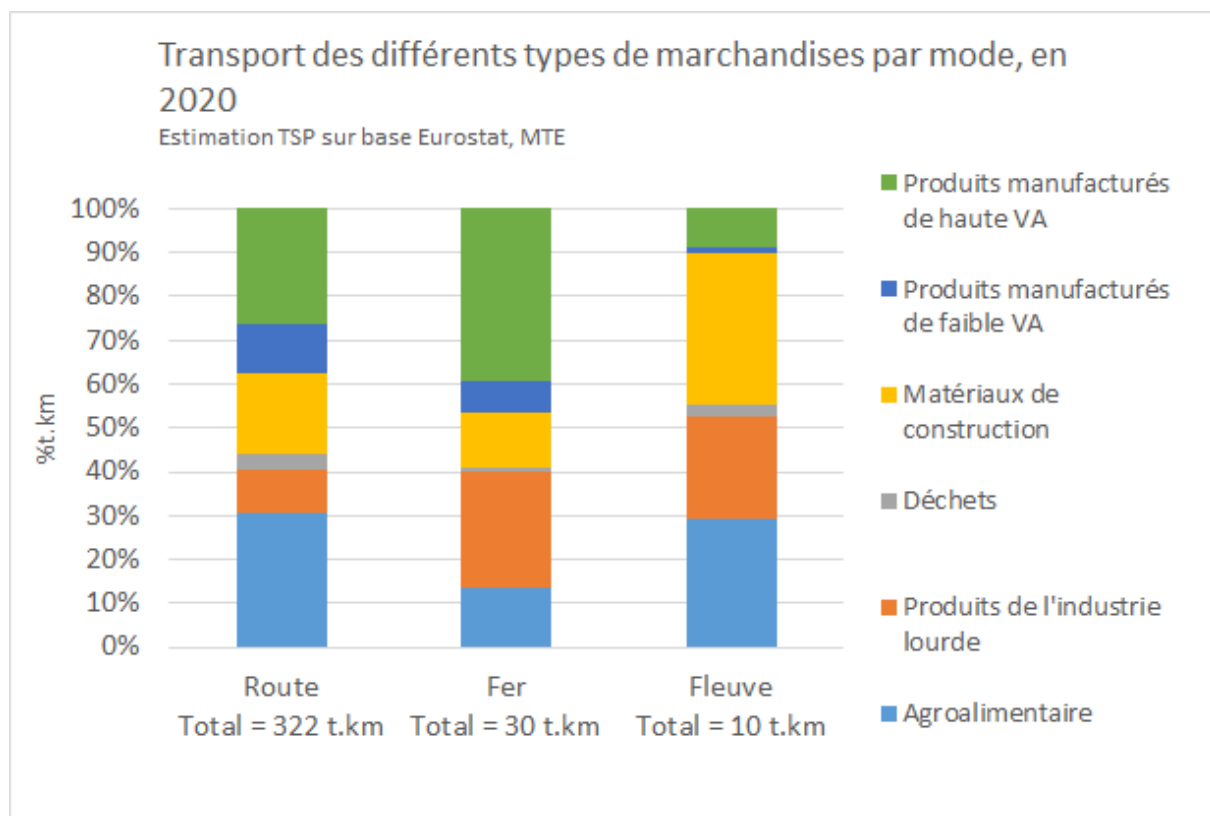
Seul le transport de marchandises intérieur est inclus dans notre périmètre d'étude. Tous les véhicules routiers, ferroviaires ou fluviaux circulant sur le sol français, peu importe leur pavillon, sont inclus. Nous n'aborderons pas les flux internationaux (les "soutes internationales") sauf la partie qui en est réalisée sur le territoire français. En lien avec ce choix de périmètre, et étant donné que le fret intérieur aérien est négligeable actuellement, **le fret aérien est exclu de notre périmètre** (MTE/SDES, 2020). Nous excluons le fret maritime international, mais aussi le fret entre deux ports français par manque de données sur ces flux spécifiques.

Enfin, **le transport de matières liquides et gazeuses par canalisations (oléoducs, gazoducs, réseau d'eau, etc.) est exclu de notre périmètre.**

Selon ce périmètre, la quantité de transport de marchandises, exprimée en tonnes.kilomètres (t.km, unité correspondant au transport d'une tonne sur un kilomètre) est d'environ 360 Gt.km en 2019 (MTE/SDES, 2020).

Le transport intérieur est effectué en grande majorité (89 %) par les modes routiers, puis par le ferroviaire (9 %) et le fluvial (2 %).

Les marchandises transportées sont de tous types : produits manufacturés, produits issus de l'industrie lourde, produits agroalimentaires, matériaux de construction, déchets, produits énergétiques.



⁷ La comptabilité carbone nationale découpe la logistique en sa partie transport, généralement agrégée avec le transport des passagers, et sa partie "bâtiments", comptée dans les activités tertiaires.

Notre démarche vise à **établir des propositions permettant d'affranchir au mieux le secteur des contraintes énergie-climat tout en reconnaissant le caractère essentiel du transport de marchandises dans notre économie.**

Le fret n'est pas un secteur « optionnel ». Nous avons vu durant la pandémie à quel point le transport de masques et d'autres équipements médicaux était critique, et en quoi les livraisons aux magasins et aux particuliers étaient importantes pour que les services basiques de notre société (se nourrir, se soigner) puissent perdurer.

D'un point de vue historique, l'échange de marchandises a contribué à façonner le monde et nos villes, comme par exemple l'essor de Venise, véritable « hub » des transports maritimes et agglomération d'entrepôts de marchandises (Gaston-Breton, 2013). Comme c'était le cas à l'époque, le fret est toujours un maillon indispensable à la production – en effet, comment fabriquer ou assembler des choses dans les usines, sans y avoir transporté les matières premières ou pièces nécessaires en amont ? En aval, après la fabrication ou l'assemblage, les produits finis doivent de nouveau être transportés vers leurs sites d'installation ou de commercialisation par exemple.

Un monde sans fret serait donc un monde où les minerais une fois extraits, resteraient sur les sites des mines ou carrières, où les tomates pourriraient sur leur lieux de récolte, où les produits destinés à la vente n'arriveraient jamais en rayon des magasins, où les produits commandés resteraient dans leurs entrepôts, les médicaments ne seraient pas fabriqués sans transport des matières premières indispensables, et même s'ils pouvaient l'être, sans transport en aval, ils ne pourraient pas atteindre leur destination d'usage – hôpitaux, cliniques, ou pharmacies. Cet exemple par l'absurde montre que le fret a un rôle utile et indispensable dans le bon fonctionnement de notre société, et que nous ne pouvons pas nous dispenser de transporter des marchandises d'un endroit à un autre.

Autrement dit, les marchandises n'ayant pas de jambes, elles devront continuer à être transportées – Paris, par exemple, ne dispose que de trois jours de réserves alimentaires (L'Humanité, 2020). Aucun territoire ne pouvant devenir autosuffisant à court-terme, le besoin de transport de marchandises n'est pas prêt de disparaître.

Notre démarche se compose des étapes suivantes :

- **décrire et comprendre la situation actuelle**, qualifier le besoin de transport, les parts modales, les usages du secteur, évaluer sa consommation d'énergie et ses émissions de GES afin d'établir un modèle énergie-carbone simple du secteur ;
- **identifier les contraintes énergie-climat** qui seront structurantes pour le transport de marchandises dans les décennies à venir ;
- **faire un ensemble de propositions opérationnelles et pragmatiques** permettant d'affranchir ce secteur des contraintes énergie-climat, de le rendre résilient aux effets du changement climatique, tout en assurant la continuité de ses services essentiels. Ces propositions auront trait à une organisation différente du transport, ou à une transformation des véhicules de transport ;
- **évaluer les effets** de nos propositions sur les flux énergétiques et de carbone du secteur, à court-terme (2027) et à plus long terme (2050) ;
- **évaluer les besoins de compétences et de reconversions d'emploi** pour effectuer les transformations proposées.

Cette démarche s'inscrit dans le prisme « physique » et « systémique » du Plan de transformation de l'économie française (PTEF). Elle ne parle pas d'argent ou de Produit intérieur brut mais s'attache à décrire concrètement les transformations et les moyens (en termes d'énergie, de matériaux, et de compétences) de les enclencher, ainsi que leurs effets. Elle ne part pas de l'objectif d'assurer un certain

niveau de croissance économique, mais bien d'assurer nos usages et libertés essentielles dans un monde limité en termes de ressources physiques. Afin d'apprécier la cohérence d'ensemble de nos propositions vers une société plus résiliente, notre travail s'est articulé avec les secteurs amont (industrie de l'énergie, industrie manufacturière, gestion des infrastructures des trois modes) et avec les aspects emplois (combien d'emplois pour les filières du fret suite à l'application du PTEF).

Ces étapes ont mobilisé une cinquantaine de personnes, professionnelles du secteur ou académiques, pour des entretiens ou pour des retours d'expérience écrits. Elles ont mobilisé des bénévoles pour effectuer des recherches bibliographiques ou pour des travaux de modélisation.

Des ateliers réunissant une quarantaine de professionnels du secteur ont été organisés en mai 2021, en partenariat avec l'Académie d'Ecologie Logistique, afin de présenter les premiers résultats de nos travaux et de les discuter.

L'établissement de notre modèle de chiffrage a été rendu possible grâce aux statistiques nationales sur le transport de marchandises disponibles (MTE/SDES, 2020), aux données d'émissions carbone de l'ADEME (ADEME, 2021), aux données de consommation de la base HBEFA (HBEFA, 2019), et aux données produites par le groupe de recherche du Deep Decarbonization Pathways dans le cadre de ses analyses sur les trajectoires de décarbonation du fret en France (Briand et al., 2019).

Pour correspondre aux objectifs d'ensemble du PTEF, notre trajectoire doit permettre de **réduire les émissions d'ici 2050 sur un rythme annuel moyen de 5 %**⁸.

Le scénario d'évolution du secteur présenté dans ce rapport est bien conforme à cette cible. Les propositions qui y sont avancées sont alignées avec ce scénario.

La vision cible du scénario est établie pour 2050, avec un point de passage en 2027 qui permet d'évaluer l'effet à court terme des mesures que nous proposons.

II. Un bref aperçu physique du secteur du fret : activités, infrastructures, véhicules

A. Aperçu physique du transport fluvial

Le réseau navigable, c'est-à-dire les fleuves, rivières et canaux navigables, est de 8 500 km en France. Le passage de convois de 3 000 tonnes et plus est possible sur environ 20 % des voies navigables (soit 1 800 km). 6 000 km du réseau navigable sont utilisés régulièrement, pour le transport de marchandises comme de passagers. (ADEME, 2019a)

⁸ Cet objectif correspond à une division par 5 des émissions d'ici 2050, en ligne avec l'objectif de neutralité carbone pour la France tel qu'envisagé par la SNBC.

FRET FLUVIAL : LE RÉSEAU ET SES GABARITS DE VOIE

Le réseau des voies navigables dédié au fret fluvial peut être scindé en trois types de gabarit (grand, intermédiaire, petit), définis selon la taille des plus gros bateaux qui peuvent l'emprunter (longueur, largeur, tirant d'eau, tirant d'air) et donc leur capacité d'emport des marchandises.

Grand gabarit
Bateaux de 90 m et plus
Gabarit maximal allant de 1 000 à 5 000 t
La Seine entre Le Havre et Rouen : gabarit maximal de 27 000 t

Gabarit intermédiaire
Bateaux de plus de 38,5 m et de moins de 90 m
Gabarit maximal allant de 400 à 1 000 t

Petit gabarit
Bateaux de 38,5 m et moins
Gabarit maximal allant de 250 à 400 t



Réseau de fret fluvial français (ADEME, 2019b), d'après VNF.

Les entreprises du transport fluvial de marchandises sont majoritairement des artisans ou des TPE, à 98 %, et représentent 50 % des emplois du secteur. (ADEME, 2019a)

Les transporteurs sur voies navigables sont distingués en trois grandes catégories : les artisans bateliers, les flottes en compte propre et les compagnies de navigation ou armement industriels.

La catégorie des artisans bateliers sont de petites entreprises qui emploient, par convention, jusqu'à 6 salariés. Cette catégorie concerne 660 entreprises en France, qui sont équipées pour moitié d'automoteurs de petits gabarits (Freycinet) dont ils sont propriétaires. Près de la moitié de leurs bateaux présente un tonnage inférieur à 400 tonnes. (ADEME, 2019a)

Les flottes en compte propre sont opérées par des opérateurs privés. Dans le cadre de leurs activités, ces acteurs effectuent du transport en compte propre, soit "du transport avec du matériel navigant leur appartenant, pour transporter des marchandises leur appartenant". Le transport en compte propre représente environ 10 % du trafic fluvial. Il est principalement réalisé par des entreprises négociantes en sables, graviers ou des sociétés pétrolières, pour des trajets de courte distance à caractère répétitif. (ADEME, 2019a)

Les compagnies de navigation ou armement industriels sont généralement propriétaires des barges qu'elles utilisent. Ces dernières sont spécialisées dans un transport particulier, en général de grand gabarit, elles sont captives à un bassin donné. (ADEME, 2019a)

Au total, en 2016, 1088 unités de navigations sous pavillon français étaient actives commercialement. (ADEME, 2019a)

Ces bateaux sont tous alimentés au gazole non routier⁹.

Le transport de marchandises par voies navigables achemine majoritairement des matériaux de construction et les minéraux bruts associés, puis des produits agroalimentaires.

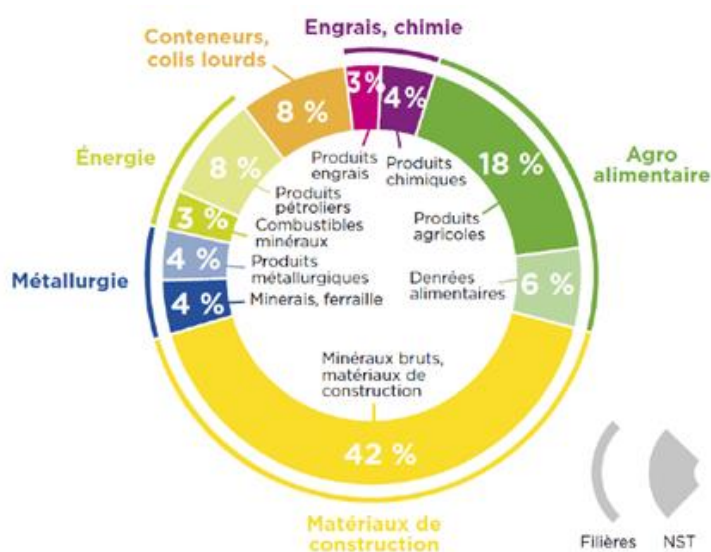


Figure 10 : Répartition des trafics fluviaux par type de marchandises (en tonnes), VNF 2016

Source : (ADEME, 2019a)

B. Aperçu physique du transport ferroviaire

Le fret ferroviaire est assuré par un certain nombre d'acteurs privés mais reste très concentré (10 acteurs assurent 99 % du fret), la majorité restant effectuée par Fret SNCF qui représente 58 % du marché. (Blin, 2020)

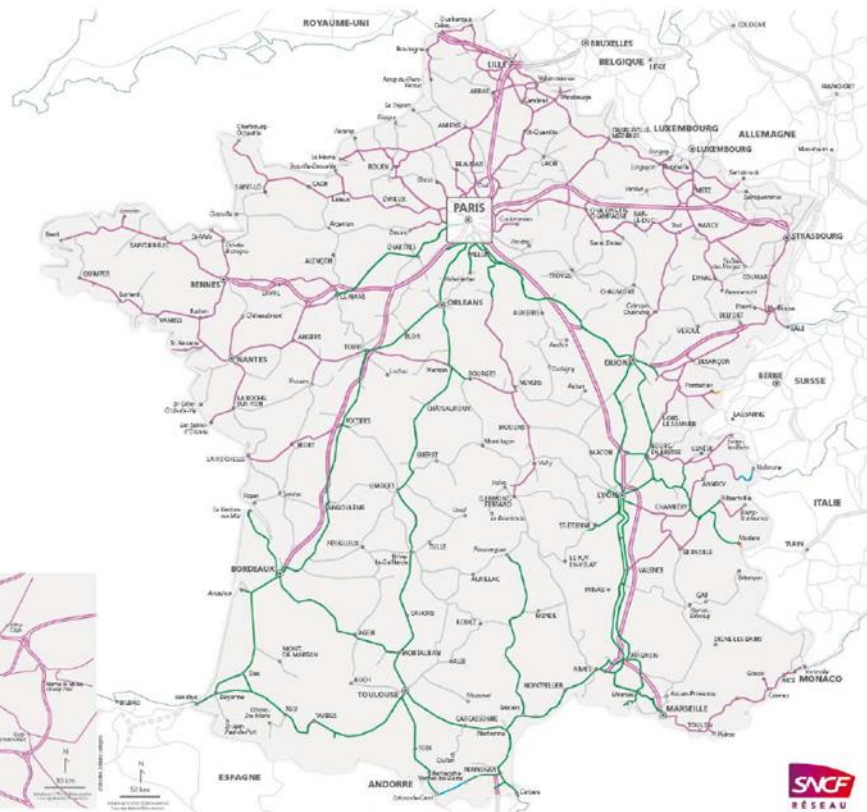
Le fret ferroviaire s'effectue sur un réseau multipolarisé (Paris, Dijon, Lyon, Valenciennes, Woippy, Tours), avec quelques axes majeurs (les corridors européens) et une multitude de voies secondaires où seulement quelques trains circulent quotidiennement. (Blin, 2020) Le réseau ferroviaire se compose d'environ 30 000 km de lignes, dont environ 20 000 km sur lesquels circule du fret, en large partie partagés avec le trafic de voyageurs (environ 17 000 km sont mixtes voyageurs/fret). Le transport ferroviaire de marchandises hexagonal se fait à 80 % sur des lignes électrifiées, malgré le fait que seuls deux tiers des lignes adaptées au fret sont électrifiées et qu'un quart des matériels roulants sont à traction thermique alimenté par Diesel. (Eurostat, 2017; Transport & Environment, 2020a)

⁹ Gazole de même composition que le diesel, mais coloré en rouge pour des raisons fiscales d'interdiction de l'utiliser dans le routier. (TotalEnergies, 2019)

LIGNES ÉLECTRIFIÉES
SITUATION JUILLET 2017



Sources : Données Réseau RGI, avril 2017
Document non contractuel



Carte des lignes en France (source : SNCF Réseau) (Simian, 2018)

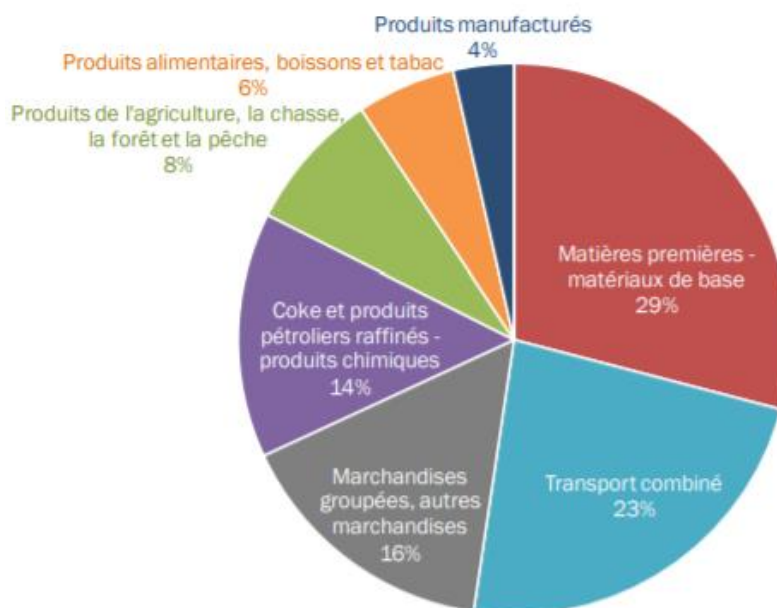
Le transport ferroviaire de marchandises s'effectue soit en mode conventionnel, soit en mode combiné.

Le transport combiné rail-route classique correspond au préacheminement d'une unité de transport intermodale (UTI, i.e. un contenant standardisé qui peut être un conteneur, une caisse mobile ou un semi-remorque) par voie routière depuis le site de l'expéditeur jusqu'au terminal ferroviaire équipé de matériel de transbordement le plus proche. Les UTI sont ensuite transbordées et transportées par train jusqu'au terminal le plus proche de la destination. A partir de ce terminal de transbordement, les UTI sont post-acheminées jusqu'au point de livraison.

L'autoroute ferroviaire est également une catégorie du transport combiné rail-route, marquée par l'absence d'opérations de transbordement. Dans ce cas, le véhicule se place sur le train par "transroulage" sur des wagons à plancher surbaissé. Les chauffeurs peuvent accompagner les marchandises en voyageant dans le train, ou bien elles peuvent voyager seules.

Le mode conventionnel (non accompagné) requiert de la part du chargeur de confier la marchandise qui sera chargée dans les wagons, puis de la récupérer à destination.

La répartition des tonnes.km par type de marchandises transportées en mode combiné n'est pas mesurée par les statistiques françaises. En dehors du transport combiné, les principales marchandises transportées par le rail sont les matières premières et matériaux de base, le coke et produits pétroliers raffinés, les produits de l'agriculture et de la chasse, de la forêt et la pêche, et autres produits alimentaires et manufacturés.



Source : (Autorité de régulation des transports, 2018)

C. Aperçu physique du transport routier

Le transport routier de marchandises compte plus de 34 000 entreprises. Le secteur comprend quelques grands groupes, mais les sociétés de petites tailles sont prépondérantes. En effet, seuls 0,2 % d'entre elles ont plus de 250 salariés alors que 84 % dénombrent moins de 10 salariés. (Ministère de la transition écologique, 2020)

Le transport routier de marchandises est assuré par des véhicules de tailles diverses : petits véhicules utilitaires légers (VUL), grands VUL, camions rigides (*porteurs*) de diverses tailles, et poids-lourd articulés (*ensemble routiers* constitués d'un tracteur et d'une semi-remorque).

Environ 300 000 camions et 220 000 tracteurs routiers (immatriculés en France) circulent en France. Environ 20 % des camions rigides et 60 % des poids-lourds articulés sont possédés par des entreprises de la logistique. Le reste est possédé par des entreprises de construction, de commerce, pour la location (y compris de longue durée), ou autres activités. (MTE, 2020)

La France hexagonale comporte plus de 1,1 million de kilomètres de routes, dont plus de 11 000 km d'autoroutes, près de 10 000 km de routes nationales, près de 400 000 km de routes départementales et plus de 700 000 km de voies communales. (SDDES, 2020)

Le fret routier regroupe plusieurs types d'activités, qui dépendent notamment de la taille de l'envoi considéré. En voici ici un aperçu, constitué des différents services de transports proposés par les transporteurs (MEDDE, 2012) :

- La livraison monocolis, ou « course » désigne le transport d'un colis avec un seul véhicule (routier) entre deux points d'une même zone urbaine et / ou périurbaine.
- **L'activité de messagerie** consiste à acheminer, essentiellement par route, des colis généralement inférieurs à 3 tonnes, depuis le lieu de collecte (chez l'expéditeur) jusqu'au destinataire final. Une prestation de transport d'un colis en messagerie se déroule généralement en trois étapes : la collecte des colis et leur acheminement jusqu'à une première agence ; le transfert de colis entre la première agence vers une seconde agence, couvrant un autre secteur ; la livraison des colis depuis la seconde agence.

- L'activité de **transport express** suit le même mode de fonctionnement que celui de la messagerie. La différence porte sur les délais. Alors que la messagerie affiche des délais de livraison de 24 à 72 heures, l'Express propose des délais raccourcis et surtout garantis. L'activité de transport express intègre en outre des combinaisons de transport multimodal (utilisation du mode aérien notamment), ce qui peut générer des segments supplémentaires dans la prestation.
- **L'activité dite de lots partiels** effectue un transport mutualisé pour plusieurs clients. Dans cette activité, le prestataire effectue le plus souvent un groupage des lots à transporter en collectant les marchandises en plusieurs points.
- **L'activité dite de lot complet** (ou camion complet) effectue pour le compte d'un client unique des prestations de transport de marchandises.
- **Le transport sous température dirigée** constitue une catégorie particulière de transport qui assure l'acheminement, essentiellement par route, des marchandises en les maintenant à la température requise.

Aperçu physique d'une chaîne logistique mobilisant un ensemble de modes, par l'exemple du lanceur Ariane



Le lanceur Ariane repose sur un réseau européen. Chaque pays contributeur a une participation industrielle à la hauteur du budget que chaque Etat alloue au programme Ariane. Ainsi le lanceur est constitué d'un assemblage de sous-ensembles produits dans une grande partie des pays européens. L'enjeu de la *supply chain* est de s'assurer de l'arrivée « just in time » de chacun de ses sous-ensembles sur le pas de tir situé à Kourou. Pour atteindre cet objectif, un programme directeur de production est piloté entre tous les acteurs. Chaque site de production peut ensuite le décliner vers ses propres fournisseurs. Un processus de revue permet de tenir à jour les données, d'identifier le ou

les chemins critiques, les éventuels points durs, et le pilotage des actions.



Cela se traduit par un flux physique qui parcourt l'ensemble des pays européens jusqu'en Guyane, par route, voie maritime (fleuves, Manche, mer du nord et océan atlantique), et voie aérienne. La répartition par émission de CO₂ est de l'ordre de 55 % aérien, 30 % routier et 14 % maritime. L'effort se concentre sur la réduction drastique de l'aérien. La principale cause racine est la gestion des besoins de la base de lancement à Kourou. Par exemple, le moindre objet manquant ou défectueux lorsque le lanceur est sur son pas de tir engendre très rapidement des mesures d'urgence d'où l'utilisation majorée de l'aérien. Cette situation a entraîné la mise en place de plusieurs axes d'amélioration dont la recherche d'une conception de pièces plus standard, plus robuste, une gestion de production plus fiable avec l'utilisation d'ERP (Enterprise Resource Planning) inter connectés, une gestion optimisée des articles et des stocks (processus d'identification et de pilotage des articles critiques, des articles sur le chemin critique, du choix du processus de ré approvisionnement de chacun des articles,...), une révision régulière des *lead time* de chacun des articles. Toutes ces actions concourent à développer l'utilisation de la voie maritime au détriment de l'aérien. Même si ce secteur est le moins émetteur de CO₂ de la chaîne logistique Ariane, un plan de réduction est en cours avec le lancement d'un nouveau navire transatlantique « Le Canopée » équipé de 2 systèmes de propulsion à base de GNL et de vent. A iso trajet, une réduction de l'ordre de 30 % est attendue pour une traversée transatlantique.



Concernant le routier, il y a aussi des actions de réduction de l'empreinte carbone en massifiant les

transports entre l'ensemble des partenaires d'Ariane.

En effet, chaque site de production gère ses transports indépendamment des autres sites. Il s'agit de donner une vision d'ensemble du trafic afin de mettre en place un système de navettes et de cross docking. Cette diminution est évaluée de l'ordre de 20 %.



Pour ce qui est du transport fluvial, ce mode est particulièrement utilisé pour les produits hors dimension en France et en Allemagne, mais reste marginal en volume et en émission. En France, cela concerne le site de « Les Mureaux » qui dispose d'un quai sur le fleuve. L'accès et la gestion ne posent pas de problèmes particuliers.

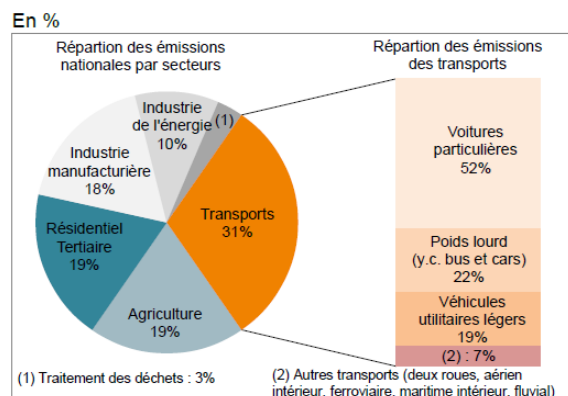
III. La contrainte énergie-climat pour le fret

A. Les émissions de GES des transports en France vont devoir passer de 140 MtCO₂eq/an à 0 en 30 ans

Il n'existe pas à proprement parler de bilan carbone du fret en France, selon les statistiques nationales.

Les Comptes des transports fournissent des estimations des émissions de gaz à effet de serre (GES) des différents types de véhicules¹⁰ qui circulent sur le sol Français, y compris l'aérien et le maritime intérieurs (notamment entre l'hexagone et les départements et régions d'outre-mer). Ces émissions des transports, voyageurs et marchandises confondus, représentent 31 % des émissions nationales, soit un peu moins de 140 MtCO₂eq en 2018. Elles ont augmenté de 10 % depuis 1990, contrairement à celles des autres secteurs, qui ont baissé.

¹⁰ Il s'agit de leurs émissions à l'usage, dites « du réservoir à la roue ». Cela n'inclut pas les émissions de fabrication des véhicules ou de production des infrastructures, ni celles de fabrication des vecteurs énergétiques qui alimentent les véhicules. Ces émissions sont comptabilisées dans d'autres secteurs (l'industrie pour la production des véhicules ou des infrastructures, et l'industrie de l'énergie pour la production des vecteurs énergétiques), si tant est que les activités qui les génèrent prennent place sur le sol français.



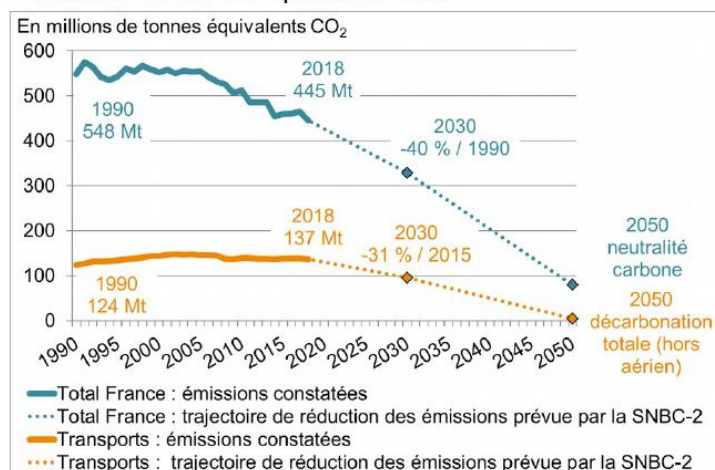
Champ : France métropolitaine et DROM (périmètre Kyoto).
 Source : Citepa, rapport Secten 2019

La stratégie nationale bas carbone (SNBC) prévoit la neutralité carbone en 2050 : les émissions nationales de gaz à effet de serre devront être inférieures aux quantités de gaz à effet de serre absorbées par les milieux naturels gérés par l'humain et à celles capturées et stockées par des activités humaines.

En déclinant cet objectif par secteur, il faut qu'à cet horizon le transport n'émette plus aucun GES (sauf transport aérien qui est hors de notre périmètre). Cet objectif contraint de facto le transport intérieur¹¹ de fret, qui va devoir se décarboner complètement¹².

Figure D3.1-1 **Évolution des émissions de GES de 1990 à 2018 et trajectoires de réduction envisagées par le projet de Stratégie Nationale Bas Carbone (SNBC-2)**

En millions de tonnes équivalents CO₂



Champ : France métropolitaine et DROM (périmètre Kyoto).
 Sources : Citepa, rapport Secten 2019 ; MTEs (SNBC-2)

¹¹ C'est-à-dire circulant sur le sol français.

¹² Le secteur aérien est traité à part dans la SNBC, du fait d'un cadre international spécifique.

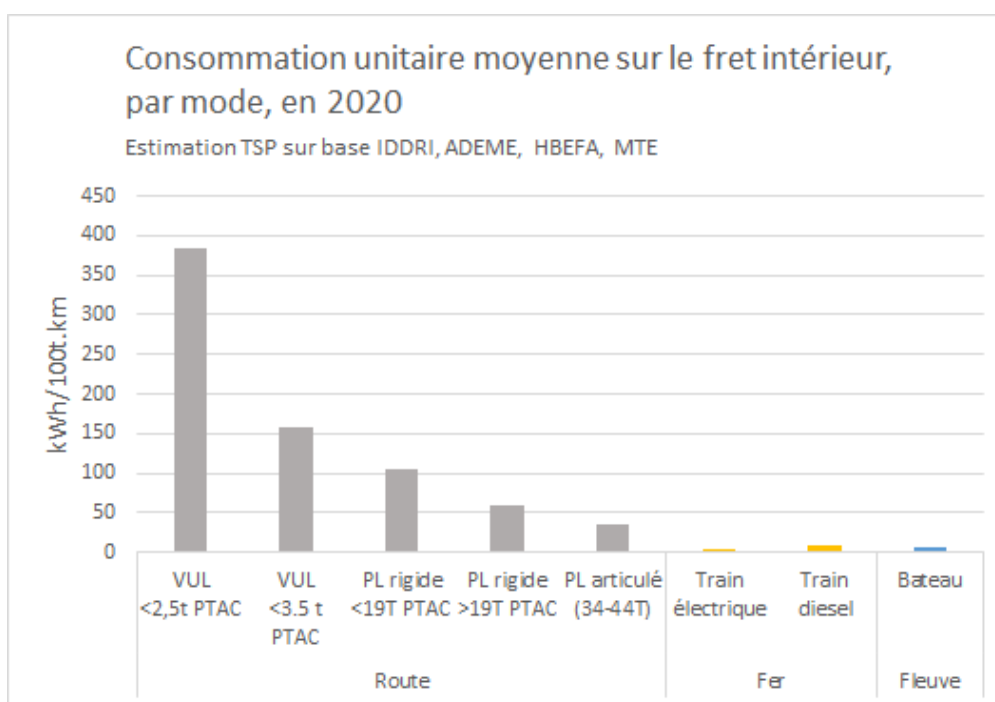
B. Des efficacités énergétiques très contrastées selon les modes

Pour estimer le bilan carbone du transport intérieur de marchandises, nous nous sommes basés sur les facteurs d'émissions de GES des différents modes qui l'assurent. Ces facteurs proviennent de la base Carbone de l'ADEME et de la base HBEFA (HBEFA, 2019). Les taux de remplissage sont issus des travaux de l'IDDRI (Briand et al., 2019), et certaines valeurs de remplissage ont été recalées avec les données du bilan national des transports (MTE/SDES, 2020).

Ces facteurs d'émissions combinent deux indicateurs : l'efficacité énergétique du mode (combien de kWh pour transporter une tonne.kilomètre) et l'intensité carbone de la source d'énergie utilisée (combien de CO₂eq par kWh).

Avant de réaliser un bilan des émissions de GES, on s'intéresse d'abord à la consommation d'énergie.

Nos données pour les véhicules du fret sont les suivantes :



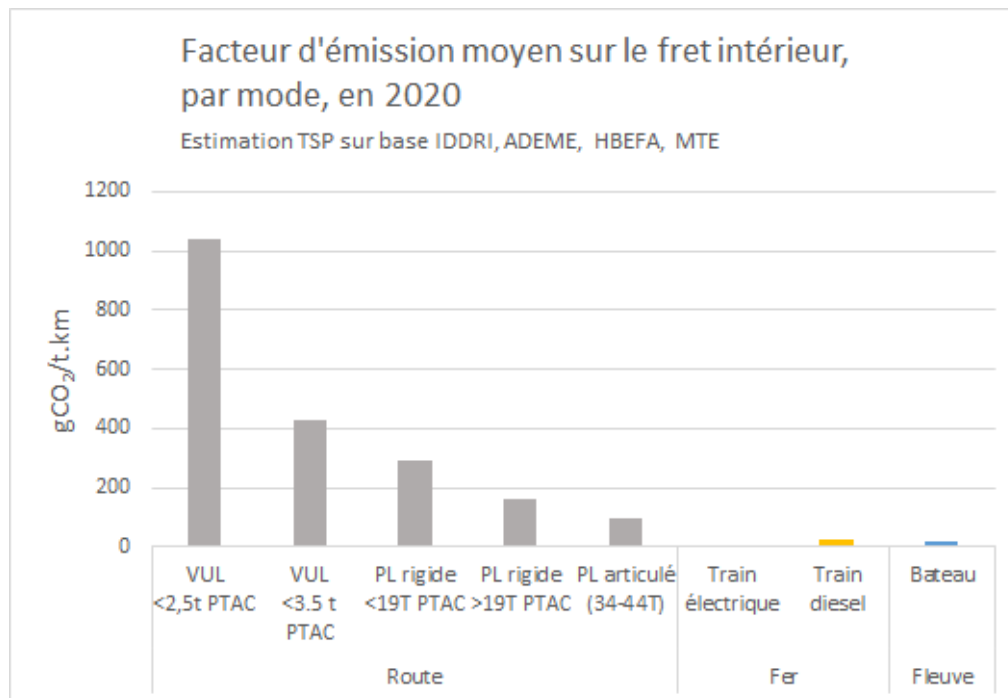
En termes de consommation énergétique, on voit que le train et le bateau sont plus efficaces d'un facteur 4, par tonne transportée sur 100 km, que les poids-lourds articulés. On constate également, sur le routier, que les véhicules moins capacitaires sont également nettement moins efficaces du point de vue énergétique : les petits VUL, surreprésentés dans le fret du dernier kilomètre¹³, sont ainsi 10 fois plus consommateurs que les poids-lourds articulés. Ces tendances s'expliquent par les caractéristiques intrinsèques à chaque mode (capacité de chargement, masse, frottements secs et visqueux qui

¹³ La livraison du dernier kilomètre (*last mile delivery* en anglais) fait référence au dernier segment du transport de marchandise, du dernier pôle logistique jusqu'au destinataire final (un particulier, petit commerce, artisan...), segment réputé plus difficile car couvrant une clientèle diffuse dans l'espace. Dans ce rapport, nous regroupons dans l'appellation « dernier kilomètre » le dernier segment du transport mais également le premier segment lorsqu'il couvre une clientèle diffuse.

s'appliquent à leurs mouvements), mais également par les pratiques de chargement et les pratiques logistiques¹⁴ actuelles de chaque mode¹⁵.

On multiplie ensuite ces efficacités énergétiques par les intensités carbone des sources d'énergie utilisées.

Les facteurs d'émissions qui en résultent sont les suivants :



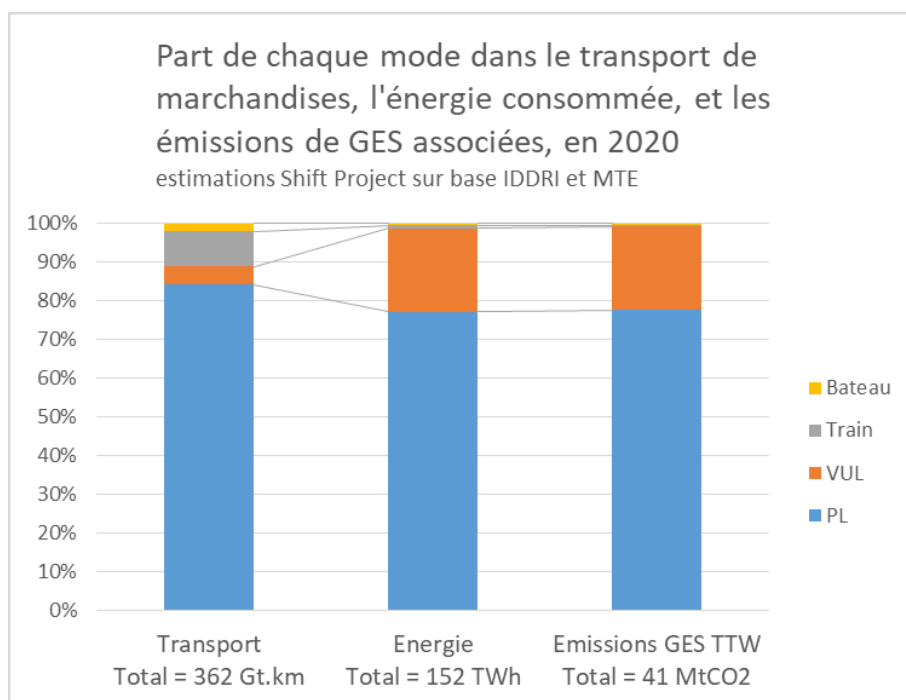
En termes de facteurs d'émission, les tendances sont sensiblement les mêmes que pour la consommation d'énergie, si ce n'est que le train électrique accroît son avantage, grâce au caractère décarboné de l'électricité en France.

C. Le fret intérieur en France émet 41 MtCO₂ par an

Munis de ces barèmes, on peut estimer la consommation énergétique du fret intérieur, ainsi que les émissions de GES associées.

¹⁴ Les pratiques logistiques comme le « juste à temps », ou la livraison express pour le dernier kilomètre peuvent impliquer des remplissages à la baisse.

¹⁵ Ainsi, par exemple, si les petits VUL en venaient à être deux fois mieux remplis en moyenne, leur consommation unitaire serait divisée par deux.

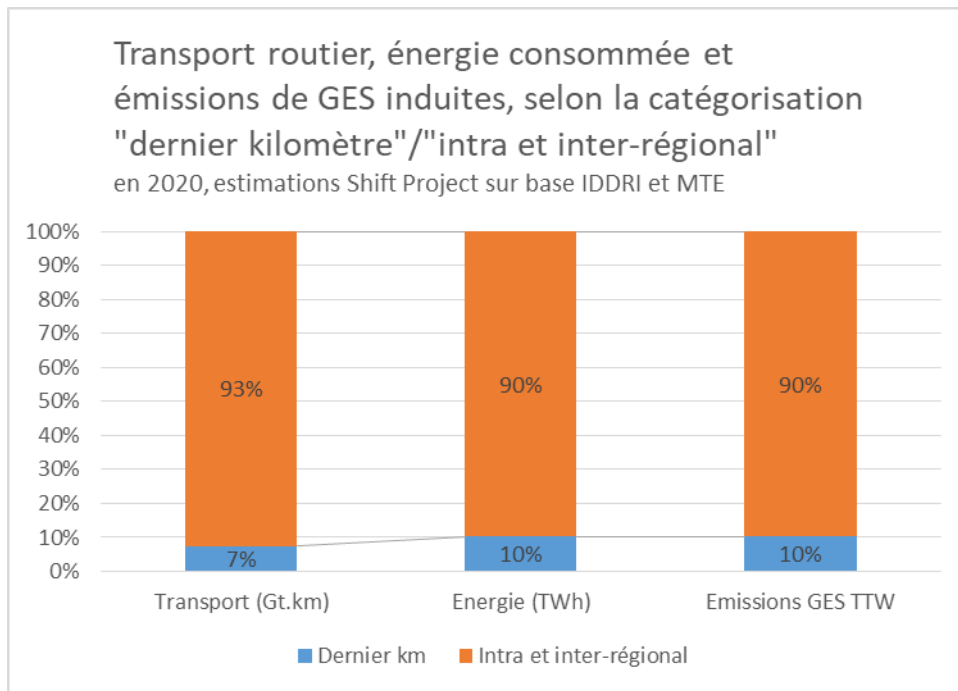


On constate que les émissions du fret sont quasi exclusivement dues au routier : plus des trois quart des émissions proviennent des poids-lourds et le reste est dû à la circulation des VUL. On retrouve également la grande efficacité énergétique du ferroviaire et du fluvial, qui assurent plus de 10 % des besoins en transport mais représentent moins de 2 % de la consommation d'énergie. Et la moindre efficacité des VUL, qui n'assurent que 5 % des besoins en transport mais consomment 20 % de l'énergie alimentant ces transports.

Nous avons choisi de traiter la décarbonation du fret en distinguant deux grands pôles : **le fret dit « du dernier kilomètre »**, plutôt urbain, et couvrant des distances plus faibles ; et **le fret intra et inter-régional**, qui couvre des distances plus longues et traverse donc en grande partie des zones peu peuplées. Afin d'effectuer nos calculs, nous avons fait le choix¹⁶ de scinder ces deux grands pôles selon la distance parcourue par les marchandises sur le trajet considéré : les trajets de moins de 50 km ont été considérés comme faisant partie du premier/dernier kilomètre, quand ceux de plus de 50 km ont été considérés comme faisant partie du fret intra et inter-régional.

Selon cette distinction, on constate que le fret du (premier et) dernier kilomètre représente une part faible du transport de marchandises, et donc de l'énergie consommée et des émissions de GES.

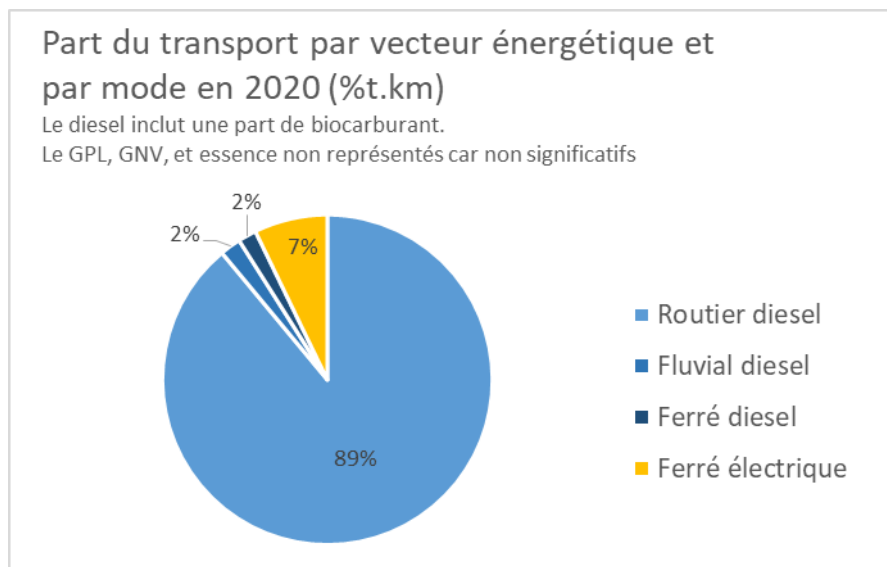
¹⁶ Ce choix peut paraître relativement arbitraire. D'autres variables pourraient être utilisées pour distinguer ces deux grands pôles du fret, par exemple le type de zone parcourue (urbain, périurbain, rural), ou la place du trajet dans la chaîne logistique (premier kilomètre, segment long, dernier kilomètre). Cependant, les données dont nous disposons, produites par le groupe de recherche du Deep Decarbonization Pathways dans le cadre de ses analyses sur les trajectoires de décarbonation du fret en France (Briand et al., 2019), étaient catégorisées par classes de distance parcourues par les marchandises lors de leurs trajets et pas selon d'autres variables. Ainsi, ce choix nous a permis une analyse quantitative, dont les résultats ne doivent être considérés que comme des ordres de grandeur.



On observe cependant que le fret du dernier kilomètre (DK) est moins efficace en termes d'énergie que le fret routier intra et inter-régional, de par une surreprésentation des VUL dans ce segment du fret routier.

D. Une contrainte énergie-climat impérieuse

Actuellement, **le transport de marchandises est très dépendant des énergies liquides (diesel)**, elles-mêmes étant en grande majorité fossiles. 93 % des t.km transportées le sont à l'énergie liquide, les 7 % restants étant le fait du transport par train électrique. **La décarbonation complète du fret en moins de 30 ans représente donc une transformation de grande ampleur pour le secteur.**



La très grande dépendance du secteur du fret au pétrole le rend sensible aux contraintes qui pourraient apparaître sur l’approvisionnement pétrolier en Europe. Or, le risque de contraction de cet approvisionnement au cours de la décennie 2020 est avéré (The Shift Project, 2021). **Pour la pérennité des activités de fret et des services qu’elles assurent, il est crucial que ce secteur réduise sa dépendance au pétrole au plus vite.**

Cependant, les options de substitution au pétrole seront limitées (The Shift Project, 2022) :

- les capacités productives ou importatrices de la France en biomasse énergie (pour produire du bois-énergie, du biogaz, des gaz ou carburants issus de la biomasse) seront fortement limitées. Que cela soit au niveau français ou européen, les surfaces agricoles ou forestières sont d’un ordre de grandeur trop faible pour produire les quantités d’énergie liquide et gazeuse actuellement consommées par l’économie ;
- En France, la production d’électricité en 2050 sera contrainte : il est risqué de parier sur des quantités d’électricité disponible illimitées¹⁷. Le secteur du transport de marchandises sera donc en concurrence avec les autres ;
- Pour alimenter un véhicule, le fait de stocker l’énergie électrique sous forme liquide ou gazeuse via les gaz ou carburants de synthèse (power to H₂, power to methane, power to liquids) est 3 à 8 fois moins efficace que de la stocker dans une batterie¹⁸. Autrement dit, ne pas passer par la batterie pour stocker l’énergie dans un véhicule requiert de produire 3 à 8 fois plus d’électricité pour un même usage.

Ces contraintes étant posées, on voit que les options pour assurer le transport de marchandises sans énergie fossile sont réduites. Pour le fret, parier sur un approvisionnement significatif en biomasse revient à risquer une concurrence frontale avec le secteur aérien et plusieurs secteurs de l’industrie, dont pétrochimique. Parier sur un approvisionnement significatif en hydrogène ou carburants de synthèse revient à risquer des problèmes d’approvisionnement en électricité pour le pays, qui pourraient désorganiser l’ensemble de l’économie. **Electrifier le transport qui peut l’être et passer par la consommation directe de l’électricité ou par la batterie sont selon nous les priorités dans les décennies à venir pour réduire les risques de ruptures d’approvisionnement en énergie du secteur du fret** (délestages d’électricité, manque de carburants liquides ou gazeux).

Enfin, une dernière contrainte va peser sur le secteur du fret : **les effets du changement climatique** seront plus ou moins forts en fonction de la trajectoire d’émissions que suivra le monde, et affecteront les infrastructures et les activités du transport de marchandises. **Ils doivent être pris en compte pour assurer une continuité de l’activité vitale qu’est le fret.**

IV. Les leviers clés de décarbonation dans le fret

Les émissions de GES du secteur s’expliquent par quelques facteurs structurants : la quantité absolue de transport de marchandises sur une année, les modes qui effectuent ce transport, le remplissage de

¹⁷ Parier sur des quantités disponibles supérieures à 650 TWh au niveau français est risqué : plus on parie au-delà de ce seuil, plus le risque que cette production ne soit pas atteinte est grand. Or la demande de l’ensemble de l’économie si le choix est fait d’électrifier les usages sans sobriété serait d’environ 700 TWh (RTE, 2021).

¹⁸ La chaîne énergétique allant de l’électricité à la roue en passant par l’électrolyse, une pile à combustible et le moteur électrique a un rendement de 30 % environ ; en passant par le power to liquids et un moteur à combustion interne, il est de 10 à 20 % environ (10 % pour un véhicule urbain, 20 % pour un véhicule inter-régional) ; en passant par la batterie puis le moteur électrique, il est de 90 % environ.

chaque mode, sa consommation énergétique par kilomètre, et le contenu carbone de l'énergie utilisée par chaque mode.

Le graphique suivant décompose l'évolution des émissions de GES du secteur au cours des 60 dernières années en suivant ces cinq grands facteurs explicatifs, qui sont les facteurs de l'identité dite « de Kaya », pour le transport de marchandises (Bigo, 2020) :

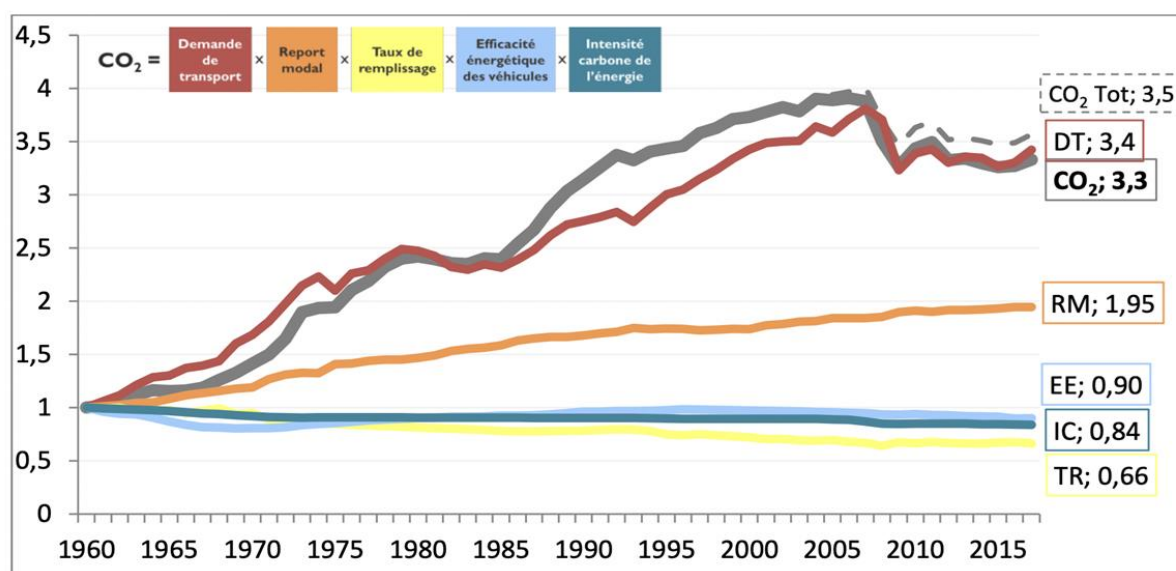


Figure 1 : Evolution des émissions de GES du transport de marchandises et décomposition en facteurs explicatifs de cette évolution. Les facteurs sont les suivants : DT = demande de transport ; RM = report modal ; TR = taux de remplissage ; EE = efficacité énergétique ; IC = intensité carbone

Clé de lecture : toutes choses égales par ailleurs, les reports modaux ont contribué à multiplier les émissions de GES du transport de marchandises par 1,95 entre 1960 et 2015.

On y constate que les émissions du secteur ont été multipliées par 3,3 depuis 1960.

Deux facteurs ont tiré à la hausse les émissions de GES du secteur :

- la quantité absolue de transport de marchandises, qui a été multipliée par 3,4 sur la période ;
- et le fait que le routier, moins efficace énergétiquement parlant que le ferroviaire et le fluvial, ait capté la majeure partie de la hausse de transport. Toutes choses égales par ailleurs, ce facteur aurait multiplié les émissions de GES du secteur par 2.

Les trois autres facteurs ont au contraire contribué à amoindrir les émissions :

- l'augmentation du remplissage des modes ; elle a été associée à l'usage de véhicules de plus en plus capacitaires, en particulier dans le routier où la hausse du besoin en transport a permis de faire circuler de plus en plus de gros camions, qui sont relativement plus efficaces que les camions moins capacitaires, eux-mêmes plus efficaces que les VUL ;
- l'amélioration de l'efficacité énergétique des modes (c'est-à-dire la réduction de leur consommation unitaire), essentiellement celle des moteurs de camion ;
- la réduction du contenu carbone de l'énergie utilisée, en particulier dans le ferroviaire avec la sortie du charbon dans les années 1970 et l'arrivée d'agroc carburants dans le diesel au cours des années 2000.

Cet historique nous indique quels leviers peuvent être utilisés pour décarboner le secteur. Nous explorons donc par la suite leur pertinence au vu de cet objectif, et fournissons des recommandations

pour les activer. Enfin, nous évaluons quantitativement les effets de leur activation sur les consommations d'énergie et les émissions de GES.

02

**UNE NÉCESSAIRE
CO-ÉVOLUTION DU
FRET AVEC LE RESTE
DE L'ÉCONOMIE
PHYSIQUE**



Une nécessaire coévolution du fret avec le reste de l'économie physique

Etant donné sa fonction fondamentale de réseau de transport et de distribution des flux de matières, que ces matières soient comestibles, énergétiques, ou participent à la constitution d'objets, de bâtiments ou d'infrastructures, qu'elles soient plus ou moins transformées, le fret tient un rôle de plateforme centrale dans l'économie. Le fret assure le transport des matières le long de la chaîne de valeur des matières premières jusqu'au produit final, entre les différentes unités de transformation de la matière, mais également le transport puis la distribution des produits finaux jusqu'aux consommateurs finaux.

Pour que le fret assure ses fonctions au cours de la transformation de l'économie, les évolutions dans les différents secteurs de consommation ou de production du PTEF vont devoir être accompagnées d'évolutions dans le secteur du fret. Nous listons ici les évolutions du besoin de transport de marchandises au cours de la transformation de l'économie, entre aujourd'hui et 2050, par type de produit transporté.

Une synthèse des chiffrages est effectuée dans la section dédiée [Effets sur les flux d'énergie et de carbone](#).

I. Les produits agricoles et alimentaires

Les produits agricoles et alimentaires regroupent les produits de l'agriculture, de la chasse, le poisson et autres produits de la pêche, les produits de la forêt, ainsi que les produits alimentaires, les boissons et le tabac.

Le transport de produits agricoles et alimentaires représente aujourd'hui environ 30 % du transport intérieur total. Les distances parcourues sont importantes, puisqu'environ 50 % des t.km sont transportées sur plus de 500 km sur le territoire national. (Briand et al., 2019)

Plus de 90 % du transport de ces produits se fait par la route.

Dans le PTEF, le secteur de l'agriculture et de l'agroalimentaire se transforme significativement. Les importations sont fortement réduites. La production, la transformation et la consommation alimentaire se structurent autour de bassins de vie (ce qui n'annule pas les échanges interrégionaux, mais les réduit). Il s'agit d'une dé-spécialisation des productions agricoles par rapport à aujourd'hui et une réaffectation d'une agriculture nourricière rapprochée des lieux de vie. Ces transformations ont un impact fort sur les distances à parcourir entre les lieux de production, de transformation et de consommation des produits.

Enfin, le gaspillage alimentaire est réduit, ce qui réduit légèrement la quantité de produits et de déchets alimentaires à transporter.

On estime sous ces hypothèses que les besoins de transport (en t.km) pour cette filière décroîtront de 60 % environ. (Lallemand, 2020)

Cette réduction s'accompagnera d'une réorganisation vers un transport beaucoup plus régionalisé.

II. Les produits de l'industrie lourde

Les produits de l'industrie lourde sont divers : énergies fossiles, produits chimiques et fibres synthétiques, plastiques, combustibles nucléaires, métaux et produits métalliques non finaux.

Le transport de ces produits représente aujourd'hui environ 15-20 % du transport intérieur total. Les distances parcourues sont importantes, puisqu'environ 50 % des t.km sont transportées sur plus de 500 km sur le territoire national. Environ 80 % du transport de ces produits se fait par la route, et 15 % par le rail. (Briand et al., 2019)

Dans le PTEF, l'usage des énergies fossiles est fortement réduit, pour deux causes : la réduction drastique de la consommation de carburants liquides par l'ensemble des secteurs, et la décarbonation de ces carburants résiduels (par la transformation de la biomasse). L'usage des matières fossiles (pour la fabrication de plastiques) demeure. On estime que le besoin de transport pour ces produits baisse d'environ 85 % sous ces hypothèses. C'est une quasi disparition de la logistique du pétrole, et une disparition complète de la distribution en stations-services, remplacées progressivement par les bornes de recharge électriques à domicile, en entreprise, dans certains lieux publics, et par des stations-services électriques. (Portalier & Perron, 2021)

Quant aux métaux et produits métalliques, étant donné la réduction de l'usage de la voiture d'environ 40 %, la réduction de sa masse et son électrification, la réduction de la construction annuelle de logements d'environ 35 %, et une tendance à l'allongement des durées de vie des équipements et objets, on a supposé une réduction de leur production de 20 % environ. Cette baisse se répercute sur le besoin en fret.

III. Les produits manufacturés de faible valeur ajoutée

Cette catégorie regroupe les textiles et cuirs, les objets en bois, le papier et les produits d'imprimerie, les véhicules (de transport), les meubles, le matériel de fret.

Le PTEF ne décrit pas l'évolution de la production de tous ces biens. Nous considérons donc pour ceux qui ne font pas l'objet d'hypothèses qu'ils n'évoluent pas.

La production de véhicules de transport baisse, comme décrit précédemment, d'environ 40 % (c'est la production de voitures qui domine dans la production de véhicules, en termes de masse, puis les VUL et les camions, dont la production baisse également). Le transport de ces véhicules est donc réduit d'autant.

IV. Les produits manufacturés de haute valeur ajoutée

Cette catégorie « fourre-tout » regroupe les machines de bureau (dont les ordinateurs), équipements électriques, équipements de communication, radios, téléphones, machines médicales, les colis du e-commerce, le courrier, les biens transportés lors des déménagements, les bagages, les biens transportés groupés (et donc non identifiés dans une sous-catégorie unique), et tous les biens non catégorisés dans les autres catégories.

Dans le PTEF, les équipements numériques voient leur durée de vie s'allonger de par la mise en place de pratiques d'écoconception et d'une filière de l'après première vie favorisant la réparation et le réemploi. On suppose un allongement de la durée de vie de ces équipements de 50 %, menant à une réduction de leur production annuelle de 33 %, et donc à un besoin de transport amoindri dans la même proportion. Ces équipements se retrouvent à la fois dans les équipements de bureau et dans les catégories « sans étiquette ».

V. Les matériaux de construction et issus des mines et carrières

Ces matériaux contiennent les minerais non-métalliques, les minerais métalliques et autres produits issus des mines et carrières.

Ils alimentent les secteurs de l'industrie lourde, qui alimentent alors l'industrie manufacturière. Nous avons donc pris pour cette catégorie une hypothèse d'évolution qui est la moyenne des évolutions des secteurs concernés : la construction neuve, et les métaux et produits métalliques issus de l'industrie lourde. Ainsi, la baisse de production annuelle est de 25 % environ, entre aujourd'hui et 2050.

VI. Une réduction de la demande en fret d'environ 25 % d'ici 2050

Au global, les évolutions concomitantes des différents secteurs du PTEF produisent une baisse de la demande en fret (en t.km) d'environ 25 % entre aujourd'hui et 2050. Cette baisse résulte de deux effets : une réduction des débits de matière qui alimentent notre économie, c'est-à-dire qu'en 2050 la quantité de matière pour faire fonctionner notre économie est moindre qu'aujourd'hui ; et une réduction des distances parcourues par les flux de matière, en ce qui concerne les produits alimentaires.

L'évolution du besoin de fret dans le PTEF illustre l'interdépendance du secteur du fret avec tous les autres secteurs de l'économie. Elle aura des conséquences sur l'emploi et sur le tissu industriel du secteur, conséquences qui peuvent être anticipées par des structures de gouvernance orientées vers le dialogue entre les différents secteurs de l'économie (voir partie *Une gouvernance du fret orientée vers la décarbonation*)

Cette évolution à la baisse constitue pour le secteur du fret une rupture par rapport à la tendance historique, qui a été à la hausse jusqu'en 2008, puis à la stagnation depuis une dizaine d'années (hors crise du COVID), comme montré par la Figure 1.

03

**DÉCARBONER LE
FRET INTRA ET
INTER-RÉGIONAL**



La partie précédente conclut sur une baisse du besoin en fret dans la transformation que propose le PTEF. Cette baisse, toutes choses égales par ailleurs, permet une inversion de la tendance qui a historiquement tiré les émissions de GES du secteur à la hausse.

Nous explorons dans cette section les autres leviers de réduction des émissions de GES, pour le fret de longue distance, c'est-à-dire le transport des marchandises sur des distances de plus de 50 km.

I. Le fret français est assuré en grande majorité par le routier tandis que le ferroviaire et le fluvial sont en déclin

A. Evolution historique des parts modales

A l'heure actuelle, le transport intérieur de marchandises est dominé en France par le routier. Cela n'a pas toujours été le cas : encore au début des années 1960, plus de la moitié du transport était assurée par le ferroviaire.

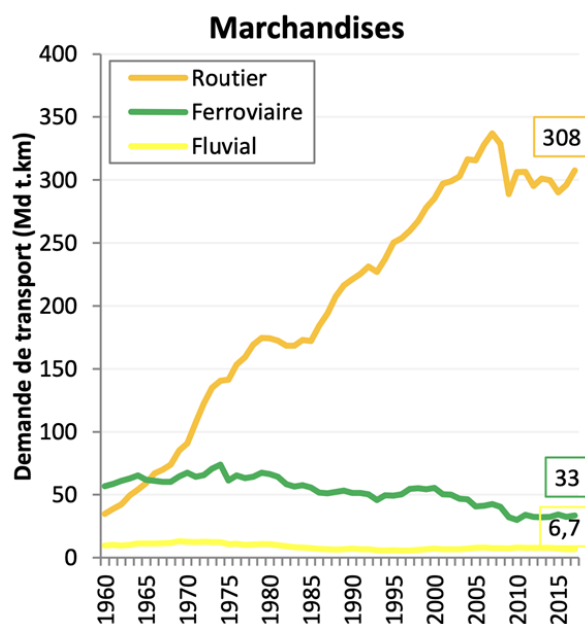


Figure 2 : Demande de transport de marchandises par mode, Source : (Bigo, 2020)

1. Un lent mais important déclin de la part modale du fluvial

Le transport fluvial de marchandises représente 1,9 % du transport intérieur terrestre de marchandises (hors oléoducs) avec 6,7 milliards de tonnes-kilomètres en 2018. (CGDD, 2019)

Il a connu un **lent mais important déclin depuis les années 1970** où 110 millions de tonnes étaient transportées pour 14 milliards de t.km chaque année. Entre 1995 et 2005 un certain redressement a pu être observé, avec une activité passant de 5,8 à 7,9 milliards de t.km. Néanmoins, les volumes ont à nouveau diminué et **l'activité de 2018 correspond à moins de la moitié de celle du début des années 1970**. (Huet & Micheaux, 2020)

On peut expliquer son déclin par le **réalignement de l'économie spatiale sur le réseau routier** et sa **mauvaise insertion économique et commerciale dans le maillage des chaînes logistiques modernes**. (Huet & Micheaux, 2020)

La France possède le plus long réseau de voies navigables en Europe, mais peu de bateaux comparativement. (MariGreen, 2018) A titre de comparaison, le transport par voie navigable est de 39 % pour les Pays Bas, 17 % pour la Belgique et 11 % pour l'Allemagne. (CCNR, 2017) Il semble d'ailleurs qu'aujourd'hui, ce soit la densité de canaux dans une région donnée, plutôt que la longueur totale de canaux, qui rende le fluvial attractif et permette alors une bonne part modale. (Wikipédia, 2021b)

2. Une part modale du ferroviaire plus faible que les voisins européens

Le transport ferroviaire était le mode dominant au début du XX^{ème} siècle. Le réseau principal¹⁹ atteignait sa taille maximale en 1914 (40 000 km de lignes), et le réseau secondaire en 1924 (20 000 km de lignes).

¹⁹ Le réseau principal est constitué des lignes les plus fréquentées. L'UIC (Union internationale des chemins de fer) distingue 9 groupes classés de 1 à 9 en fonction de l'intensité du trafic. Les LGV et UIC 2 à 6 constituent le réseau structurant tandis que les UIC de 7 à 9 correspondent aux petites lignes (Deraëve, Mimeur, Poinot, & Zembri, 2018)

En 1973, 75 milliards de tonnes.km sont transportées par le chemin de fer. (Huet & Micheaux, 2020) En 2018, le fret ferroviaire représente 32 milliards de tonnes-kilomètres transportées (79 % pour le transport conventionnel et 21 % pour le transport combiné), soit une part modale de seulement 9 %. (CGDD, 2019) Cette part est faible par rapport à la moyenne européenne qui se situe à 18 %, avec 18 % en Allemagne, 32 % en Suisse, ou encore 34 % en Autriche.

Les raisons de ce déclin du fret ferroviaire sont notamment liées à **l'arrêt de l'exploitation des mines de charbon, la désindustrialisation, les crises économiques** de 1973 et 2008²⁰. Elles sont aussi attribuées à la SNCF pour des taux de régularité dégradés, une qualité de service en déclin... (Huet & Micheaux, 2020) Des investissements ferroviaires insuffisants ont entraîné une dégradation des lignes capillaires²¹, une saturation des grands axes, notamment celui de la grande ceinture parisienne. La priorité est donnée aux trains de voyageurs en cas d'aléa (retards, travaux...), entraînant une coexistence difficile entre les usages, en défaveur du fret (FNAUT, 2020).

3. Une omniprésence du mode routier dans le fret

C'est la route qui assure l'essentiel du transport de marchandises, correspondant à 89 % du transport intérieur hors oléoducs en 2018. (CGDD, 2019) Cette omniprésence est relativement récente, et résulte à la fois de la captation de la hausse de la demande en fret par le routier depuis les années 1960, mais aussi de la prise de parts sur le fluvial et le ferroviaire, et de leur baisse en valeur absolue mentionnée précédemment.

Ces tendances ont plusieurs causes. D'une part, les **pratiques industrielles (zéro-stock, juste-à-temps)** ont provoqué une fragmentation des expéditions favorables à la route. (Huet & Micheaux, 2020) D'autre part, la **diminution du poids relatif des pondéreux dans le transport** de marchandises a entraîné une diminution des parts modales du fluvial et du ferroviaire. Enfin, la route a *de facto* été favorisée par la **tendance à l'étalement urbain** et à **l'implantation des activités industrielles dans des zones éloignées des voies navigables ou voies ferrées** et sans raccordement aux réseaux. (Huet & Micheaux, 2020) Tendence alors permise par la disponibilité d'un diesel abondant et peu cher.

B. Les choix modaux actuels découlent largement de la structuration des réseaux d'infrastructures

Les choix du mode de transport de marchandises résultent des décisions plus ou moins contraintes des différents acteurs de la logistique qui sont effectuées en fonction de différents critères.

Lorsqu'un chargeur est engagé dans la logistique routière, il est contraignant pour lui de passer au rail ou au transport sur voies navigables. (European Parliament, 2018) Bien que ce sont les transporteurs qui organisent généralement le déplacement des marchandises des expéditeurs vers les destinataires, **les chargeurs peuvent être considérés comme les principaux décideurs du mode utilisé.** (European Parliament, 2018)

Les choix modaux dépendent du chargeur et du chargement, des éléments géographiques et temporels ainsi que des spécificités du transporteur. (European Parliament, 2018) Ainsi, le chargeur peut poser des contraintes qui sont fonction de l'accessibilité de ses sites aux réseaux routiers, ferroviaires ou fluviaux ainsi que de ses habitudes modales. Le chargement en lui-même (le type de

²⁰ Notamment par une accélération de cette désindustrialisation au profit des pays de l'Est (en particulier des secteurs utilisateurs du fret ferroviaire : sidérurgie, chimie, véhicules automobiles) et par une baisse d'ensemble du volume de marchandises à transporter. (Contexte, 2021a)

²¹ C'est-à-dire celles du réseau secondaire.

marchandise, sa densité, sa valeur, sa périssabilité) joue également. Enfin, la disponibilité géographique des infrastructures, la distance ainsi que la vitesse de parcours sont des facteurs qui jouent un rôle dans le choix modal.

Le transport par voie fluviale, par sa grande capacité d'emport, est particulièrement adapté pour les **marchandises lourdes et volumineuses**, telles que les matériaux de chantiers, les céréales, ou encore les produits chimiques ou pétroliers. Les voies fluviales sont actuellement essentiellement utilisées pour transporter des produits de faible valeur ajoutée. Ce mode de transport est **évit** pour le **transport de marchandises périssables ou à haute valeur ajoutée**, pour des raisons de vitesse de transport. Le transport fluvial de marchandises est apprécié pour la **fiabilité du temps de transport** et son **caractère sécuritaire**. La grande capacité des bateaux rend cependant ce transport plus sensible à l'irrégularité ou la saisonnalité des flux à transporter.

Le transport fluvial permet également **d'accéder au cœur des villes**, notamment celles les plus congestionnées, ce qui pourrait devenir un avantage pour la logistique urbaine fluviale face à son concurrent routier.

Le transport ferroviaire présente des caractéristiques similaires, si ce n'est que sa vitesse de déplacement est bien supérieure. Cela lui permet de transporter des marchandises à haute valeur ajoutée.

Ces deux modes sont fondamentalement contraints par la nature de leur réseau : densité du maillage bien moins grande que celle du réseau routier, nécessité de la présence d'une infrastructure relativement lourde dédiée au chargement/déchargement. Cela explique les contraintes géographiques auxquelles ils font face.

Les décisionnaires déclarent tenir compte de divers critères dans leur choix de mode, qu'ils soient explicités lors de la prise de décision modale ou non²² : le coût, le temps de trajet, la fiabilité, la flexibilité, la traçabilité, la qualité et la capacité des infrastructures, le volume des marchandises, les services proposés par les terminaux, la législation, ou encore la sécurité des marchandises. (European Parliament, 2018) **Les critères les plus influents dans le choix de mode sont les coûts directs, le temps de transit, la fiabilité, la fréquence du service et la traçabilité**²³. Parmi les critères sous-représentés dans le choix modal on trouve la pollution, la sécurité ou encore l'image du mode. (CE Delft, 2018)

1. Un réseau routier dense et très interconnecté, des réseaux fluviaux et ferroviaires nécessitant des mises à niveaux

La présence d'infrastructures et de services les accompagnant, est déterminante dans l'efficacité d'un mode plutôt qu'un autre pour transporter des marchandises. Afin de favoriser l'usage des modes bas carbone, il est utile de comprendre les forces et faiblesses des réseaux actuels de transport de marchandises.

²² Les différentes études sur le sujet se fondent sur des enquêtes de préférence déclarées, ce qui implique qu'elles sont difficilement comparables entre elles et que les réponses sont très sensibles à la façon dont a été formulée la question. (CE Delft, 2018)

²³ L'importance donnée à tel ou tel critère dans le choix du mode dépend du type de marchandise. Ainsi, les coûts sont en général le critère le plus important, mais la vitesse devient plus importante pour les industries produisant des biens dont le rapport valeur monétaire sur masse est élevé et dont les cycles de vie sont courts (électronique/mode). Au contraire, la vitesse est un critère peu important pour les industries produisant des produits moins sensibles au temps, comme la construction. Si les marchandises sont à haute valeur ajoutée, les coûts relatifs du transport sont faibles et, par conséquent, d'autres critères deviennent plus importants. (CE Delft, 2018)

La densité des réseaux de transport routier a largement augmenté pendant le XXe siècle, au détriment des réseaux ferroviaires et fluviaux. Aujourd'hui, le réseau routier français dispose de 1100 milliers de km de routes, contre 28 milliers de km de voies pour le réseau ferroviaire et 9 milliers de km de voies pour le réseau fluvial (SDES, 2021). L'économie spatiale s'est "réalignée" sur le réseau routier, renforcée par la construction d'autoroutes, au détriment des réseaux ferroviaires et fluviaux ; ainsi aujourd'hui, seulement une **petite partie des installations industrielles est située à proximité de terminaux ferroviaires ou fluviaux**²⁴. Par conséquent, pour accéder aux services ferroviaires et fluviaux, des trajets de pré et post acheminement routiers sont nécessaires, ce qui grève les délais de livraison porte-à-porte et augmente les coûts, rendant ainsi ces alternatives moins pratiques. (European Parliament, 2018)

a. Un réseau fluvial qui pourrait être sensiblement amélioré

La qualité et la densité du réseau jouent un rôle technique et opérationnel clé dans le transport fluvial. En France, certaines infrastructures inadéquates, de **type goulets d'étranglement et chaînons manquants**, constituent un obstacle majeur à la navigation intérieure. Les types les plus courants de goulets d'étranglement sont le manque de hauteur libre sous les ponts, ou l'absence de voies navigables adéquates ou d'écluses. (European Parliament, 2018) Les chaînons manquants sont les canaux qui permettraient à certaines parties du réseau de s'interconnecter pour développer un réseau dense et maillé pour différents gabarits de bateaux, clé de son usage.

Du côté terrestre, le manque d'infrastructures et de services, d'équipements de terminaux, d'installations de stockage et de services à valeur ajoutée **limite le transfert efficace entre les modes de transport**, ce qui participe également à restreindre l'usage du fleuve dans le fret. (European Parliament, 2018)

b. Un réseau ferroviaire étendu mais vieillissant

De la même façon que le fleuve, le transport ferroviaire de fret est lié à la présence d'infrastructures. Ses enjeux sont évidemment géographisés.

Le réseau ferroviaire hexagonal est relativement bien maillé, la France ayant le réseau le plus étendu d'Europe (après l'Allemagne). (European Parliament, 2018) Un des enjeux d'accès au réseau est la **répartition des sillons de circulation entre voyageurs, fret et travaux, qui n'est pas toujours opérée en faveur des intérêts du transport de marchandises**.

Cependant, ce réseau présente quelques **goulets d'étranglement autour des grandes métropoles**, limitant l'usage du fer à longue distance. De plus, certaines parties du réseau principal comme secondaire sont vieillissantes et **nécessitent des mises à niveau**. Enfin, sur certains axes se manifestent des enjeux de gabarits, liés notamment à la hauteur des points traversés (tunnels, passages sous ponts).

2. La plus grande flexibilité du routier le favorise dans l'organisation en « juste à temps » des chaînes logistiques et de la production

Le critère de flexibilité renvoie à la capacité du mode à s'adapter à la demande et aux exigences du client. La route propose un **niveau de flexibilité et de fiabilité supérieur au rail et au fleuve**. En l'état actuel, la route est également plus **polyvalente dans le type de marchandises transportables**. Cela peut s'expliquer en partie par la densité et la connectivité du réseau routier, mais également par sa

²⁴ À titre d'exemple, une enquête allemande a révélé que seuls 6,4 % des entrepôts disposaient d'un accès ferroviaire direct. La part modale du ferroviaire étant nettement supérieure en Allemagne qu'en France, cela suggère que la part d'entrepôts disposant d'un accès ferroviaire direct en France est encore moindre.

capacité, qui permet au camion de doubler et d'éviter les obstacles plus facilement que ne le ferait un train sur des rails ou un bateau sur un fleuve.

Pour ces raisons de flexibilité, et dans l'approche logistique du "juste à temps" certaines marchandises apparaissent difficiles à transporter via les modes non routiers. Par exemple, les marchandises périssables ou à haute valeur ajoutée, dont les donneurs d'ordre cherchent à minimiser l'immobilisation matérielle au cours du transport.

a. Une rigidité des modes fluviaux et ferroviaires en partie due à une organisation des chaînes logistiques qui s'est faite autour du routier

Les modes ferroviaires et fluviaux sont particulièrement adaptés pour les transports de longue distance, et pour des flux de matériaux peu chers, stables dans le temps, et en grande quantité. Ils sont par contre désavantagés face à la route pour les autres flux de marchandises.

Les chaînes logistiques s'étant structurées autour du mode routier dans les décennies précédentes, au détriment du fer et du fleuve²⁵ (Huet & Micheaux, 2020) peu de sites industriels ou logistiques ont accès à des quais ou des rails, par exemple.

Dans ces conditions, les premiers et derniers km sont plus difficiles par le fer et le fleuve. Ainsi, ces transports requièrent souvent des ruptures de charge, générant surcoût et allongement du temps de transport. Cela **défavorise le transport de marchandises en quantité trop faible ou sur de trop courtes distances**, ces surcoûts n'étant alors pas amortis. Cela **défavorise également le transport de marchandises à forte valeur ajoutée, dont la valeur est immobilisée dans le transport plus longtemps** par le fer ou le fleuve que par la route.

b. Une grande flexibilité du mode routier permise par son réseau

Le transport routier de marchandises permet de **transporter de petites unités de point à point, y compris proches l'un de l'autre, de façon flexible et à un faible coût**. (Huet & Micheaux, 2020) Ce mode est également apprécié pour sa souplesse. Il permet en effet de synchroniser les mouvements de marchandises avec d'autres opérations comme le stockage, ou d'assurer les livraisons et les opérations en flux tendu. (European Parliament, 2018) Ces éléments clés de flexibilité sont dus à la **grande densité du réseau routier français**, et à sa **résilience aux aléas quotidiens** (il y a suffisamment de voies, ou d'itinéraires alternatifs, pour contourner les accidents ou les travaux).

Les marchandises sensibles au facteur temps ont tendance à être transportées par des modes qui offrent un faible temps de trajet, ponctualité et flexibilité. Ainsi, pour les marchandises périssables, le transport par camion est privilégié du fait de sa vitesse, de la connectivité du réseau, de la commodité et de la flexibilité. (European Parliament, 2018) Il en va de même pour les marchandises à forte valeur ajoutée, dont on cherche à limiter l'immobilisation.

²⁵ A titre d'exemple, depuis les années 1970, le transport de marchandises conteneurisées et les services de transport porte à porte se sont largement développés, notamment pour le routier. Mais le rail a été lent à s'adapter à ces changements, avec notamment une relative absence de partenariats avec les acteurs de la chaîne de transport pour offrir un service porte-à-porte. (CE Delft, 2018)

Cette désintégration progressive a mené au déclin du wagon isolé en Europe (la pratique du wagon isolé consiste à grouper plusieurs wagons de clients et/ou de contenu différents afin d'en faire un train complet (Rapport d'information pour le Sénat, 2010), notamment pour son manque de flexibilité. En effet, les exigences de flexibilité et de respect des délais, couplés à la diminution de la taille des expéditions (due à une dynamique d'approvisionnement logistique "juste à temps") lui ont été défavorables face au routier, plus performant dans ces conditions (CE Delft, 2018)

3. Des enjeux d'interopérabilité ferroviaire avec les pays limitrophes

L'interopérabilité entre pays n'est pas toujours fluide. Certaines raisons très pratiques expliquent des difficultés d'interopérabilité : par exemple l'écartement des rails n'est pas le même en Espagne ; dans certains pays, comme en Allemagne ou en Italie, le chauffeur doit parler la langue du pays ; le type de tension alimentant les réseaux nécessitent des engins interopérables. Certaines règles administratives affectent encore l'interopérabilité : il faut par exemple mettre des lampes spécifiques à la locomotive pour circuler en Italie.

Ces éléments grèvent la flexibilité, le temps de transit, et le coût du transport par rapport à la route, pour laquelle une personne peut conduire le même poids-lourd dans toute l'Europe. Répondre aux enjeux d'interopérabilité aux frontières devrait améliorer la compétitivité du rail. Des plans européens visent à l'améliorer progressivement, jusqu'en 2030, dans l'UE²⁶. (CE Delft, 2018)

4. Des enjeux de traçabilité et de coordination à améliorer pour rendre le fluvial et le ferroviaire plus attractifs

La mise en place de solutions intermodales efficaces, qui permettrait un usage plus grand du ferroviaire et du fluvial, requiert la disponibilité, la traçabilité et la transparence des informations sur les flux de marchandises²⁷, cadrées par des normes de communication et d'échange d'informations. Les jeux d'acteurs actuels ne sont pas toujours alignés avec la mise en place de telles pratiques. Par exemple, la concurrence entre les prestataires de services logistiques fluviaux et la confidentialité des données des clients entraînent un manque de volonté de coopérer et de partager les informations entre acteurs du transport fluvial de marchandises. (European Parliament, 2018)

II. Le fer et le fleuve sont particulièrement adaptés pour le transport de marchandises sous contrainte énergie-climat

A. Le fer et le fleuve présentent une efficacité énergie climat bien meilleure que le routier

Le fer et le fleuve, du fait de leurs caractéristiques physiques, sont bien plus efficaces en termes de consommation énergétique et d'émissions de GES que le routier. **Le train est 11 fois moins émissif en CO₂ que le poids-lourd²⁸, le bateau 2 à 3 fois moins**, par t.km transportée. Ces deux modes consomment **2 à 3 fois moins que le routier²⁹**.

²⁶ CE Delft indique que la résorption de ces goulets d'étranglement devrait durer jusqu'en 2030. Selon ce rapport, la réduction des difficultés de passage des frontières et autres problèmes d'interopérabilité améliorerait considérablement la position concurrentielle du rail pour les flux entre les pays européens.

²⁷ En particulier des informations et des prévisions de trafic en temps réel sur le réseau de transport multimodal.

²⁸ Les émissions du train tiennent compte du caractère bas carbone de la production électrique française actuelle, et du mix de motorisation actuel des trains.

²⁹ A iso-vecteur énergétique.

Ces performances énergétiques leur confèrent une place centrale dans un monde dans lequel l'énergie à produire doit être décarbonée, et sera donc moins accessible qu'aujourd'hui, en particulier sous ses formes liquides ou gazeuses.

La performance de ces modes est due en grande partie à la **capacité en charge très importante du train et du bateau par rapport aux poids-lourds**, minimisant les forces de frottement par unité de charge transportée, et, pour le train, au faible niveau de frottements secs « acier-acier » de la roue sur le rail.



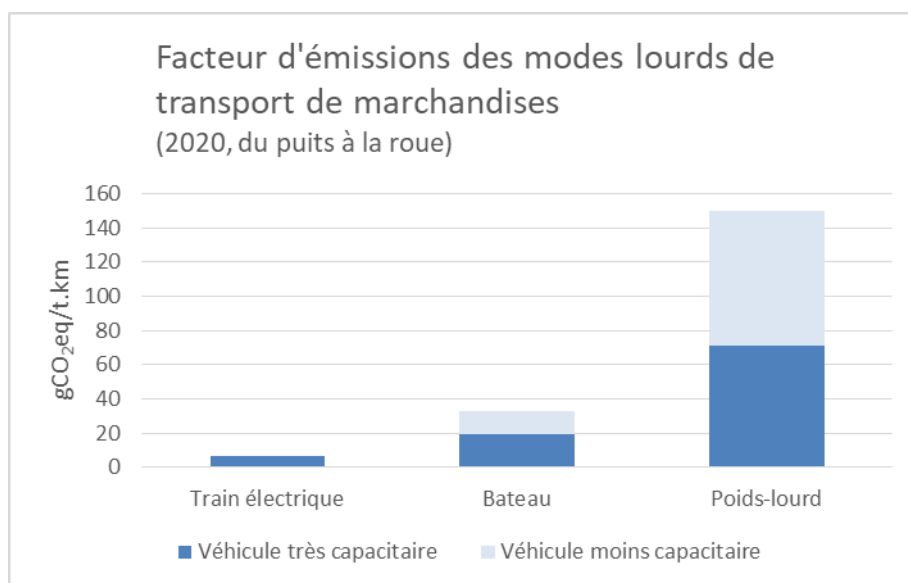
Comparatif entre les charges moyennes observées en France pour le train et deux types de bateaux fluviaux, par rapport aux poids-lourds articulés (source ADEME pour fluvial, MTES pour train, IDDRI pour camions).

Ainsi, l'énergie de traction nécessaire pour transporter une tonne en train diesel est d'environ 0,9 L/100km, pour 0,6-1,3 L par le fluvial (soit une consommation du même ordre) et 2,2 L pour un poids-lourd articulé (soit 2,5 fois plus que le train).

Le facteur d'émission dépend du mix énergétique qui alimente les trains. En France, environ 20 % des t.km par train sont alimentés au diesel pour 80 % à l'électricité à l'aide d'un mix électrique faiblement carboné.

Le facteur d'émission d'un train de marchandise était ainsi évalué en 2016 à 6,6 gCO₂eq/t.km pour la France, à comparer aux 71 gCO₂eq/t.km pour un poids-lourd 40t (et 150 gCO₂eq/t.km pour un poids-lourd rigide de 12 à 20 tonnes) et à 19-33 gCO₂eq/t.km pour un bateau (Base carbone ADEME).

Un train de marchandise est donc environ 11 moins émissif qu'un PL 40t, et 5 fois moins émissif qu'un bateau de marchandise.

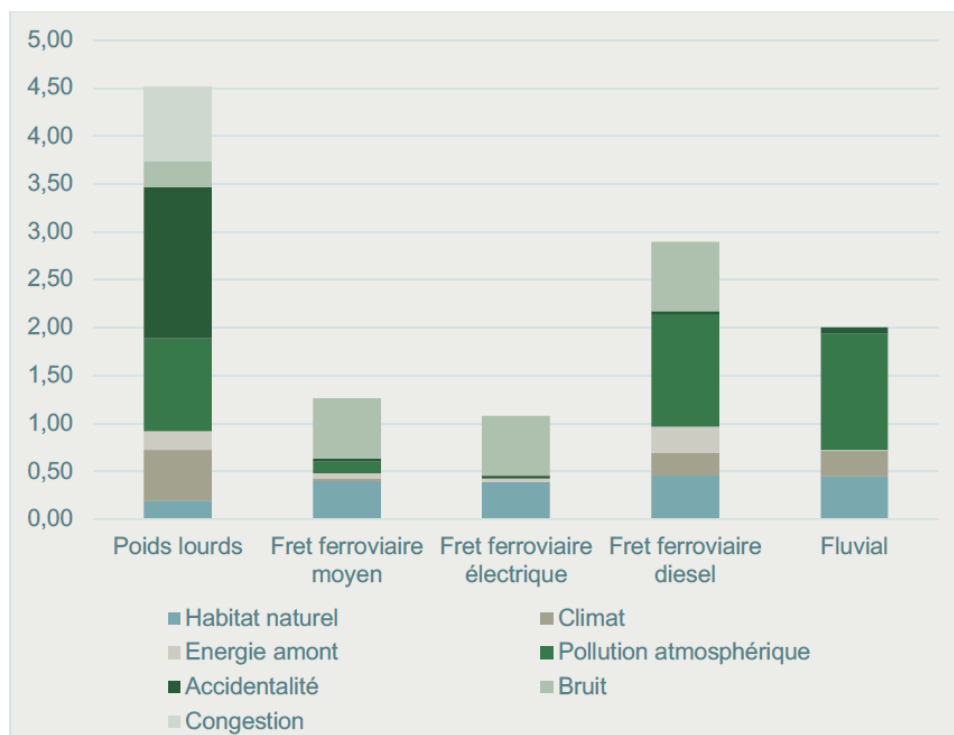


Source : Base Carbone ADEME (ADEME, 2021)

Dans une approche plus globale, **le ferroviaire et le fluvial génèrent moins d'externalités négatives que le routier à la t.km transportée.**

Une étude de la commission européenne estime les coûts externes du transport continental lourd en France, selon sept catégories d'externalités (accidentalité, pollution atmosphérique, climat, énergie amont, habitat naturel, bruit et congestion). Il en ressort que **le fret ferroviaire génère 3 à 4 fois moins de coûts externes que les poids lourds, et le fluvial environ 2 fois moins, par t.km transportée, en France.** (Altermind, 2020)

Figure 6 – Coûts externes du transport continental lourd en France (c€/t-km)



Source : TFMM d'après données CE Delft, 2019

Source : (Altermind, 2020)

Cependant, toujours selon cette étude, les coûts d'infrastructure du ferroviaire sont environ deux fois plus élevés que ceux du routier par t.km transporté. Ainsi, si les usagers payaient exactement les coûts d'infrastructure (ce qui n'est pas le cas étant donné qu'une partie de ces coûts, pour chaque mode, est couverte par le secteur public), le ferroviaire serait désavantagé alors qu'il évite le plus de coûts externes pour la société.

B. Les réseaux ferré et fluvial pourraient doubler à tripler leur capacité de transport de marchandises

1. Un fort potentiel d'augmentation de la capacité du réseau ferroviaire moyennant des investissements limités

La part modale du fer en France est faible comparée à la moyenne européenne : 9 % pour la France contre 18 % en moyenne européenne. Ce constat découle d'une baisse continue du ferroviaire français dans les 5 dernières décennies (voir Figure 2). En Suisse la part modale du fret ferroviaire est actuellement de 34 %, de 32 % en Autriche ou 18 % en Allemagne. (Patrice Geoffron, 2020)

Cependant, **ce déclin français du fret ferroviaire n'est pas irréversible, comme le montrent les tendances inverses dans d'autres pays** : la part du ferroviaire a par exemple progressé de 40 % en Allemagne et 15 % au Royaume-Uni depuis 15 ans³⁰. (Huet & Micheaux, 2020)

Selon la FNAUT et l'Alliance 4F, la part modale du fer pourrait être doublée à horizon 2030, par un triplement du transport combiné rail-route et une augmentation de 50 % du fret conventionnel.

Elle atteindrait ainsi toutes choses égales par ailleurs une vingtaine de pourcents. Etant donné la baisse de la demande que verrait le fret dans le PTEF, elle atteindrait alors une trentaine de pourcents en 2050. A titre de comparaison, **la part du fer était de 40 % au début des années 1970**. Cette augmentation nécessiterait des travaux de contournement des métropoles de Paris, Lille et Lyon, la construction de voies d'évitement, la construction de 15 nouvelles plateformes intermodales, des élargissements de gabarit sur certains axes stratégiques, etc. Ensembles, ces investissements représenteraient environ 14 Mds€ étalés sur 10 ans, dont une dizaine sur les travaux de contournement et sur la construction de voies d'évitement. (Alliance 4F, 2020) Ces investissements peuvent à plusieurs titres être considérés comme limités au vu de leur intérêt socio-économique³¹.

Au sein de ce mode, le potentiel d'augmentation du combiné est également important, et permettrait une **gamme d'usages du train élargie**, notamment en termes de typologie de biens transportés, le combiné permettant de transporter tout type de marchandises, même en température dirigée (via des caisses mobiles équipées avec les mêmes groupes de froids que pour la route).

2. Le réseau fluvial pourrait en l'état accueillir des flux bien supérieurs aux flux actuels

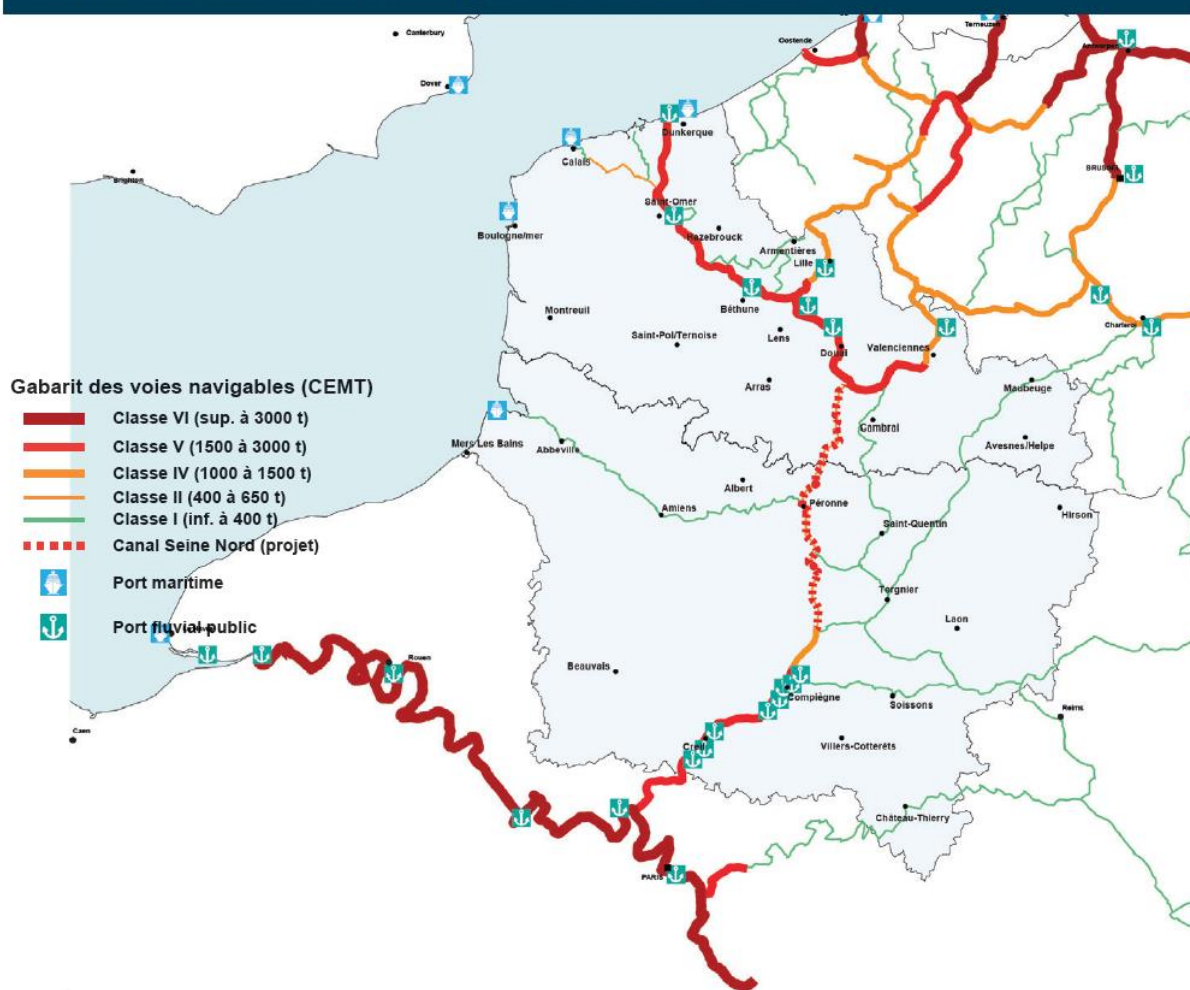
D'après les modélisations de Voies Navigables de France (VNF), **les niveaux de trafic fluviaux pourraient doubler sur le Rhin, quadrupler dans le sens aval de la Seine, tripler ou quadrupler dans le sens amont de la Seine et sur le Rhône**. Ces niveaux pourraient être atteints sans création de nouvelle infrastructure, mais pourraient requérir des investissements conséquents en adaptation pour éviter des goulots d'étranglement qui pourraient apparaître à de tels niveaux de trafic.

D'autre part, une nouvelle capacité devrait être construite d'ici 2030, par le **projet de canal Seine Nord Europe**. Ce projet vise à connecter le futur canal avec le réseau fluvial belge, Seine-Nord n'étant que le maillon français de la liaison Seine-Escaut. Cette dernière est destinée à pouvoir naviguer à grand gabarit entre le bassin de la Seine et les grands ports maritimes de la mer du Nord. Les travaux ont officiellement été autorisés à débuter début 2021, notamment aidés par un financement de l'Etat dans le cadre du plan de relance. **La livraison de l'infrastructure à VNF est prévue fin 2028**. Cette liaison devrait offrir une capacité de 20 Mt/an, comparable à celle d'un grand fleuve.

³⁰ Quelques différences d'ordre structurel participent cependant de ce constat : les bassins de production industriels sont peu denses et répartis de façon hétérogène sur le territoire français, ce qui est moins le cas dans les pays du Bénélux ou de l'Allemagne. (Contexte, 2021a)

³¹ Un raisonnement par les externalités négatives évitées par un report modal du routier vers le ferroviaire indique que l'investissement annuel est du même ordre de grandeur que le gain monétarisé annuel en termes d'externalités négatives évitées : en considérant le coût externe du routier à 45 c€/t.km et celui du ferroviaire à 12 c€/t.km, le report obtenu dans le PTEF de 40 Gtkm représente un gain de 1,3 Md€ chaque année, soit le même ordre de grandeur que l'investissement consenti sur 10 ans (1,4 Md€). D'autre part, cet investissement semble atteignable au regard des 250 Mds€ de recettes annuelles de l'Etat.

Réseau navigable et principaux ports fluviaux et maritimes



Source : VNF et CCI région Nord de France (VNF / CCI Hauts de France, 2016)

III. Nos propositions pour favoriser le report de la route vers le fer et le fleuve

Les propositions ci-après visent à jouer sur le facteur « Report Modal » de l'identité de Kaya (voir Figure 1).

A. Renforcer et améliorer l'offre en transport fluvial et ferroviaire

Nous l'avons vu, le fer et le fleuve doivent trouver une place beaucoup plus centrale qu'aujourd'hui dans le fret de demain, pour des raisons énergétiques et d'émissions de GES.

Afin de favoriser le report modal vers le fluvial et le fer, les acteurs du secteur et la littérature identifient plusieurs types d'actions à mener :

- Le développement des infrastructures pertinentes pour les deux modes, soutenues par des investissements planifiés et suffisants
- Un niveau de service amélioré pour le transport ferroviaire de marchandises serait également pertinent, d'autant plus que certaines solutions sont déjà disponibles

1. Mettre les infrastructures fluviales et ferroviaires à niveau pour accueillir des flux plus importants

Nos propositions

- Pour le fluvial, mailler le réseau "grand gabarit" et assurer la bonne maintenance du réseau « petit gabarit »
- Pour le ferroviaire, remettre à niveau le réseau et développer les infrastructures d'intermodalité

a. Pour le fluvial, mailler le réseau "grand gabarit" et assurer la bonne maintenance du réseau « petit gabarit »

Il convient de planifier les investissements dans les infrastructures, pour régénérer à la fois le grand gabarit mais aussi pour les gabarits petits et moyens des voies navigables.

Des investissements dans la construction d'un canal grand gabarit sont en cours avec les travaux du Canal Seine Nord Europe. La construction de ce canal apportera une connectivité accrue avec le réseau principal européen, car pour l'heure les réseaux français ne sont pas interconnectés entre eux par des canaux de grands gabarits, ni avec le réseau principal européen. Une fois achevé, le canal devrait permettre le transport de marchandises à grand gabarit entre Paris, le nord de la France, la Belgique et les ports de la mer du Nord. (European Parliament, 2018) Par ailleurs, certains acteurs aimeraient voir la reprise du projet Rhin Rhône Rhin Moselle pour interconnecter les voies navigables avec l'Allemagne.

Des investissements sont également nécessaires sur les petits et moyens gabarits de voies ; ces petits et moyens gabarits sont empruntés par beaucoup d'artisans, mais s'ils sont moins entretenus alors les artisans doivent moins charger leurs bateaux au risque de s'enliser dans la vase. Ces manques d'investissement pour l'entretien peuvent conduire à l'arrêt du fret fluvial sur ces gabarits.

La livraison urbaine peut également passer par les voies navigables, la barge faisant office d'entrepôt flottant pour le déchargement. Pour ce faire, il convient de favoriser l'utilisation des quais pour le dé/chargement. Par exemple, la barge Franprix débarque 50 conteneurs en 1 heure à l'aide de grues de déchargement installées sur le quai de la Bourdonnais à Paris. Le service Fludis a permis de livrer des colis dans le centre de Paris via une barge, avec un pré-acheminement en camion, un chargement de la barge au port de Gennevilliers, puis un post-acheminement en cyclo-logistique. (CEREMA, 2020)

Des investissements dans les services à l'usager le long des voies fluviales pourraient être engagés (par exemple généraliser l'électricité à quai pour réduire les pollutions à quai).



Pousseur et barge d'approvisionnement de certains magasins Franprix à Paris. Source : Wikipédia.

b. Pour le ferroviaire, remettre à niveau le réseau et développer les infrastructures d'intermodalité

Les acteurs du ferroviaire indiquent qu'il est nécessaire d'assurer des investissements suffisants pour permettre la remise à niveau des infrastructures.

Les capacités ferroviaires arrivent à saturation au niveau des métropoles et causent des goulets d'étranglements, ce qui limite le fret à longue distance. Pour dégager des itinéraires de fret à longue distance, il faut contourner les nœuds ferroviaires autour des métropoles, notamment en Ile-de-France, à Lyon ou Lille.

Il est nécessaire d'intensifier les travaux de régénération du réseau ferroviaire, ce qui passe par la remise à niveau des lignes capillaires fret mais aussi des voies de service, de triage, des caténaires. Les plans gouvernementaux actuels, bien que flous sur les moyens qui seront mis en œuvre, semblent partager cet objectif (Contexte, 2021a)

Selon l'alliance 4F, les terminaux ferroviaires existants (combinés, conventionnels, installations terminales embranchées, ports) doivent être modernisés. (Alliance 4F, 2020) Développer les installations terminales embranchées (ITE) pourrait permettre le transport des marchandises par rail dès le premier km. L'Alliance 4F estime ainsi qu'un effort de financement d'environ 14 Mds€ étalés sur 10 ans, dont une partie est susceptible d'être prise en charge dans le cadre du Green Deal européen, serait nécessaire³².

³² Des financements allant dans ce sens sont déjà alloués, bien que très insuffisants. Ainsi, le financement de la régénération du réseau structurant bénéficie déjà largement au fret ferroviaire, comme les 200 M€ investis dans des travaux sur la rive droite du Rhône, exclusivement utilisée pour le fret. Également, le plan de relance de l'Etat dans le cadre de la crise du COVID finance à hauteur de 4,7 Mds€ le ferroviaire (dont 1,8 Mds qui serviront à l'équilibre des finances de SNCF Réseau), dont une

Le développement du transport combiné rail-route pourrait être une opportunité pour le rail (voir la section *Développer les possibilités d'intermodalité pour massifier les reports modaux*). Néanmoins, le transport par autoroute ferroviaire nécessiterait des adaptations de gabarits sur certains axes avec une hauteur sous pont limitée dans le Sud-Ouest de la France. Les infrastructures nouvelles ou mises à niveau (comme les ouvrages d'art, les gares de triage) devraient présenter des gabarits élargis pour permettre le passage des remorques transportées, de 4m de hauteur (gabarit P400), des trains plus longs (850m), voire plus lourds (jusqu'à 3000t). (Alliance 4F, 2020; Altermind, 2020)

Sur les voies transversales, 4F recommande en fonction des situations, d'adapter le gabarit ou d'électrifier les voies.



Opération de transbordement rail-route. Source : (Actu Transport Logistique, 2018a)

Les lignes capillaires ferroviaires : un support clé du fret à redynamiser

Il existe un réseau de lignes capillaires : 5700 km de lignes capillaires accessibles au fret (3200 km lui sont entièrement dédiés, 2500 km sont mixtes fret/passagers). Elles permettent 40 % du trafic du fret ferroviaire, et transportent céréales, sucres, granulats, produits sidérurgiques et chimiques.

Sur les 3200 km de lignes capillaires ouverts à la circulation sans trafic voyageurs, 2000 km sont le support de plus de 20 % du trafic ferroviaire transporté sur le réseau principal. Cependant, une bonne partie de ces lignes voit passer moins d'un train par jour, et le trafic a même disparu sur plus de 1000 km de certaines de ces lignes capillaires.

Parmi les 9140 km de lignes de desserte fine du territoire avec voyageurs, 2500 km sont mixtes voyageurs et fret. Le tonnage total de fret transporté est du même ordre de grandeur que celui des capillaires sans voyageurs.

Selon l'objectif OFP, le bilan économique de chaque ligne capillaire ne doit pas être examiné isolément : le trafic émis par chaque ligne capillaire concerne l'ensemble du réseau ferré et permet le report modal vers le rail. **Les lignes capillaires avec ou sans trafic voyageurs sont empruntées par 40 % des trains de fret.** Néanmoins ces lignes nécessitent maintenances et mises à niveau.

partie sera affectée au fret, notamment le développement du trafic combiné à fort potentiel de report modal, et un soutien au trafic conventionnel (capillaires, ITE, triages). (Les Echos, 2020)

(FNAUT, 2020)

Pour redynamiser ce réseau disponible, l'alliance 4F propose des projets de travaux "petits investissements grands effets" (PIGE). Ce sont des projets de types variés qui nécessitent des travaux de moins d'un million d'euros : pour certains il s'agit de quelques milliers d'euros, qui sont associés à un client qui a un projet de report modal ou de développement d'un trafic existant. L'objectif de cet investissement est de dépasser le point de blocage qui empêche le démarrage de ce trafic. Des entreprises ferroviaires, dont *Rail Logistics Europe*, portent des projets de ce type auprès de SNCF Réseau.

Ces projets peuvent concerner :

- La création ou la réhabilitation d'installations terminales embranchées³³ (ITE).
- L'électrification frugale³⁴
- La création ou la réhabilitation de voies principales et capillaires
- L'ouverture ou la réouverture de gares, plateformes ou voies de débord
- D'autres travaux, comme la revitalisation d'infrastructures, la révision des horaires d'ouverture de ligne, l'ajout de signalétique manquante...

2. Améliorer le niveau de service du ferroviaire pour massifier l'intermodalité avec la route, garantir une capacité de réseau suffisante et améliorer la fiabilité du service

Nos propositions

- Diversifier le service ferroviaire en renouvelant les services de type "wagon isolé" et en massifiant les services de transport combiné rail-route
- Repenser la gestion des priorités d'usage du réseau ferré entre les passagers, les marchandises et les travaux afin d'atteindre les objectifs nationaux de report modal

Le réseau ferroviaire est généralement plus dense dans les zones les plus industrialisées, les zones avec une activité économique forte ainsi que les zones urbaines. La France comprend le deuxième réseau ferroviaire le plus étendu de l'Union Européenne, après celui de l'Allemagne. Néanmoins, si disposer d'une bonne densité et d'une bonne répartition de réseau ferroviaire est une condition nécessaire à la massification de son utilisation, ce n'est pas une condition suffisante. (European Parliament, 2018) Les bonnes performances des services et des opérateurs ferroviaires sont aussi nécessaires pour favoriser un transfert de la route vers le rail.

³³ Sur 2500 ITE existantes, seules 1000 sont actives actuellement.

³⁴ Certains tronçons de ligne ne sont pas électrifiés, ce qui empêche l'usage d'une locomotive électrique sur l'ensemble du trajet. De ce fait, des locomotives diesel sont habituellement utilisées sur ces lignes. Des solutions intermédiaires sont envisageables, notamment l'usage de locomotives bimodes (électrique/diesel, électrique/hydrogène, électrique/batterie) qui utilisent le moteur électrique sur les tronçons électrifiés et l'autre mode sur les tronçons qui ne le sont pas.

Afin de pouvoir transporter des chargements de taille modérée (un seul wagon), les services de type “wagon isolé” doivent se régénérer grâce à la remise à niveau d’ITE.

Comme expliqué dans la section *Développer les possibilités d’intermodalité pour massifier les reports modaux*, **les infrastructures et les services de transport combiné rail-route doivent se massifier**, afin d’offrir un niveau de service satisfaisant pour que les chargeurs puissent reporter une partie de leurs flux du routier vers le ferroviaire.

Une nouvelle vision stratégique de la répartition de capacité entre voyageurs, fret et travaux doit être portée pour tenir les objectifs de reports modaux. L’objectif est la fiabilisation du transport de marchandise par rail par cette révision de la priorité donnée au transport de voyageurs sur le transport de marchandises³⁵, ce qui peut passer par la sanctuarisation de certains horaires pour le fret. (Contexte, 2021a) Les travaux doivent également être conçus en ayant à l’esprit la protection du service de fret. D’ailleurs, afin d’« équilibrer » les priorités d’usage de l’infrastructure entre fret, voyageurs et travaux, une instance devra être créée entre les acteurs du fret, les acteurs de transport de voyageurs et le gestionnaire de réseau pour trouver des solutions afin d’atteindre les objectifs qui seront fixés nationalement en terme de reports modaux (voir *Une gouvernance du fret orientée vers la décarbonation*).

Les outils basés sur le numérique et déjà mis en place par le fret routier pourraient être adaptés dans le ferroviaire pour en améliorer le niveau de service (cartographie claire de l’offre en termes géographiques, de fiabilité, de temporalité, ou encore de performance environnementale). (Green cross France & territoires, 2020)

B. Développer les possibilités d’intermodalité pour massifier les reports modaux

A moins que les sites industriels et logistiques ne se trouvent à proximité d’un quai ou disposent d’une ITE, un temps de pré et/ou post-acheminement en mode routier est nécessaire. Les modes ferroviaires et fluviaux doivent être utilisés le plus possible, en complémentarité des modes routiers, mis à profit selon leurs plages de pertinence.

Cette intermodalité comprend quelques conditions, nécessite des investissements et peut être favorisée par certaines fonctionnalités numériques. Le développement du transport de marchandises conteneurisé est également un facteur prometteur pour le déploiement de l’intermodalité, y compris pour le dernier km.

³⁵ Cette révision des priorités pourrait réduire les retards pointés du doigt par certains acteurs utilisateurs du fret ferroviaire, et observés dans les statistiques : l’union internationale des chemins de fer reporte, par exemple, une ponctualité comprise entre 67 % et 78 % pour les corridors de fret européens, ponctualité définie comme un retard de moins de 30 minutes. (CE Delft, 2018) Cette réduction des retards a ainsi pu être observée lors de la pandémie COVID, les performances des services de fret “s’[étant] nettement améliorées à la suite de la réduction des services de voyageurs”. (Contexte, 2021b)

1. Déployer un réseau maillé de plateformes intermodales

Nos propositions

- Déployer un réseau maillé de plateformes intermodales assurant l'accès au rail ou au fleuve à moins de 2h de route pour les acteurs de la chaîne logistique
- Développer des plateformes intermodales fluviales aux abords des grandes villes pour irriguer le centre via le transport fluvial, dans les agglomérations où cela sera jugé pertinent d'un point de vue énergétique (voir section *Une gouvernance du fret orientée vers la décarbonation*)

Un réseau dense et maillé de plateformes intermodales doit être déployé sur le territoire afin qu'un nombre important d'installations logistiques soient à moins de 2h de route de ces installations. Cela doit se faire par un programme d'investissement dédié. Selon l'alliance 4F, tripler le transport combiné rail-route est faisable d'ici 2030 avec 15 nouvelles plateformes intermodales. (Sénat, 2021)

La présence et la disponibilité d'un terminal intermodal de fret sont deux premières conditions évidentes pour leur utilisation et pour le report modal de la route vers d'autres modes, rail ou voies navigables. (European Parliament, 2018)

Ces conditions ne sont pas suffisantes pour s'assurer d'un fort taux d'utilisation de ces terminaux ; il y a d'autres facteurs à prendre en considération, et notamment l'accessibilité de ces terminaux de fret à moins de 2 heures de transport en PL³⁶. (European Parliament, 2018)

La densité du maillage en plateforme intermodale est un facteur important pour favoriser l'intermodalité³⁷ : dans l'Union Européenne, la plupart des régions ont accès à un ou deux terminaux, principalement dans les zones côtières. Alors que les zones les mieux maillées en plateformes intermodales ont accès à plus de 100 terminaux de fret à moins de 120 minutes de trajet en PL (pays du Benelux, les régions Rhin-Ruhr et Rhin-Main en Allemagne etc.), il existe à contrario de vastes zones qui n'ont accès à aucun terminal de fret. Ces zones se trouvent principalement dans les régions peu peuplées et enclavées de l'arrière-pays en France, mais aussi en Scandinavie, au Portugal et en Espagne. (European Parliament, 2018)

Le développement de plateformes intermodales stratégiquement insérées à proximité des agglomérations pourrait également permettre la complémentarité des modes ferroviaires et fluviaux. Le mode ferroviaire serait ainsi utilisé pour l'approche de l'agglomération jusqu'à sa périphérie, à partir de laquelle le mode fluvial prendrait le relais pour desservir directement le centre-ville.

Selon le rapport pour le comité TRAN, les investissements dans les projets multimodaux – comme pour les terminaux rail-route ou les terminaux de navigation intérieure - ont jusqu'ici été faibles par rapport aux autres infrastructures. Ces faibles investissements doivent être rattrapés. (Contexte, 2021a; European Parliament, 2018) Par exemple, les terminaux de navigation intérieure devraient être adaptés pour une meilleure complémentarité fer/fleuve.

³⁶ Une directive du parlement européen et du conseil sur le transport combiné de marchandises indique qu'en moyenne, au moins un terminal de transbordement approprié pour le transport combiné devrait être situé à 150 km au maximum de tout lieu d'expédition dans l'Union.

³⁷ Au niveau européen, l'interopérabilité entre les plateformes est également un enjeu important (Green cross France & territoires, 2020).

Ce rapport suggère d'investir dans les terminaux existants pour qu'ils puissent accueillir des trains plus longs, permettant une généralisation des trains de 850m en France³⁸. Une telle généralisation requiert également des adaptations du réseau (voies d'évitement). Elle permettrait une plus grande capacité d'emport, dans les cas où la demande de transport ferroviaire est suffisante (Contexte, 2021a; European Parliament, 2018)

Des solutions technologiques pourraient également venir faciliter les méthodes de transbordement, en les rendant plus rapides et moins coûteuses. Par exemple, pour les grands terminaux rail-route (TRR), les solutions peuvent englober des systèmes innovants permettant d'automatiser de nombreuses opérations de manutention. Dans le port de Hambourg, les conteneurs sont transportés par des véhicules automatisés depuis les navires jusqu'à un point de triage.

2. Etablir un cadre de partage d'informations entre les acteurs de l'ensemble des modes

Nos propositions

- Etablir un cadre réglementaire multimodal ("universel") de partage d'informations numériques
- Favoriser l'accès au partage numérique à l'ensemble des acteurs

L'intermodalité requiert qu'une certaine quantité d'informations soit transférée d'un opérateur de transport à l'autre. Il s'agit avant tout des informations clés concernant le produit afin d'en assurer la traçabilité. Mais également, en particulier dans un contexte d'augmentation des trafics ferroviaires et fluviaux, d'informations en temps réel concernant le bon avancement du transport ou au contraire les aléas rencontrés et leurs impacts sur les délais d'arrivée³⁹. (Altermind, 2020; Contexte, 2021a) Il faudrait également généraliser l'accessibilité des informations sur les gabarits des réseaux.

Ce partage doit pouvoir s'effectuer dans un écosystème d'acteurs décentralisé, composé d'une grande variété d'acteurs (modes de transport, logistique et mobilité, autres secteurs, entités publiques et privées, acteurs mondiaux, européens et locaux, etc.) La multi-modalité et la bonne synchronisation entre les modes ne peuvent être assurées que si les différents modes développent des définitions partagées, définissent conjointement des normes communes et des objectifs communs. (Voies navigables de France, 2021)

Le cadre réglementaire de partage numérique devrait ainsi devenir plus multimodal, afin de permettre une intégration numérique pour tous les modes. Par ailleurs, les initiatives numériques de l'UE doivent garantir l'accessibilité à tous les acteurs, et notamment aux petits acteurs, afin d'élargir l'acceptation et d'accroître les possibilités de transfert modal.

Cela pourrait par exemple se traduire par un système de code barre standardisé "universel".

³⁸ A la fin 2011, la limite de longueur de trains de marchandises circulant en France est passée de 750 à 850m. (Ville, Rail et Transports, 2017) Selon T3M, un train long transporte en moyenne 66 UTI contre 60 pour un train de taille normale (Fressoz, 2019) Certains proposent même d'aller jusqu'à des trains de plus de 1000m. (Actu Transport Logistique, 2018b) Par ailleurs, la taille des trains étant variable en Europe, l'alliance 4F promeut l'adoption par les pays européens d'une longueur standard minimale de 750m (Alliance 4F, 2020)

³⁹ Ou encore des informations de transaction commerciale afin de permettre une réservation et un paiement du service de transport de bout en bout plutôt que par segments (Green cross France & territoires, 2020), ou des informations concernant les gabarits des réseaux pour les transports atypiques (convois exceptionnels). (Contexte, 2021a)

3. Améliorer la fiabilité des sillons ferroviaires

Afin de favoriser le report modal vers le rail, les acteurs recommandent de fiabiliser les sillons de façon à ce que les retards deviennent une exception. En effet, un retard sur le transport par train entraîne des conséquences sur le respect des horaires et des plannings ce qui peut impacter la chaîne aval.

Les propositions par ailleurs mentionnées devraient améliorer cet état de fait. Comme évoqué plus haut, une redéfinition des priorités de fiabilité entre le fret et les passagers sur le mode ferré permettra une meilleure fiabilité du fret. D'autre part, un meilleur partage d'informations multimodales en temps réel permettra une bonne adaptation aux éventuelles défaillances pouvant survenir lors du transport.

4. Développer le transport combiné

Notre proposition

- Concevoir une stratégie nationale de déploiement du transport combiné, via conteneurs ou autre solution localement adaptée permettant une intermodalité rapide et peu demandeuse en manutention, en concertation avec les acteurs ferroviaires, fluviaux et les acteurs de la logistique qui seront fortement incités au report vers ces modes. Cette stratégie s'appuiera sur la construction d'un réseau de plateformes intermodales et se déclinera dans les différentes régions pour coordonner les opérateurs des plateformes, les acteurs locaux, les infrastructures locales *etc.*, pour permettre la massification du report de la route vers le fer et le fleuve.

L'augmentation de l'usage du train et du fleuve passe, comme expliqué précédemment, par une meilleure intermodalité avec la route, afin que le segment long du parcours soit le plus possible effectué par train ou bateau plutôt que par camion. Or, l'intermodalité requiert plus de manutention et donc de main d'œuvre. La conteneurisation fait partie des outils qui permettent de limiter ces opérations de manutention lors des transbordements, et elle permet donc de limiter les surcoûts et les pertes de temps⁴⁰. Elle permet de surcroît de transporter une plus grande diversité de marchandises par fer ou fleuve. Les infrastructures intermodales et le matériel roulant doivent être adaptés à l'usage des conteneurs (ou autre solution technique retenue).

L'utilisation de conteneurs dans le transport maritime de marchandises est considérée comme une "révolution" dans le commerce mondial. Avant leur utilisation, les marchandises étaient chargées en vrac dans les soutes des cargos et déchargées à la main. Une pratique dangereuse (accidents du travail), peu sécuritaire, chronophage et donc peu économe.

En 1956, pour la première fois, des conteneurs sont chargés à bord d'un bateau afin de transporter du fret. Ces boîtes, qui étaient traditionnellement utilisées pour le transport ferroviaire, trouvent un nouvel usage dans le transport maritime. L'utilisation de grues permet de mécaniser la manutention des conteneurs. C'est dans les années 1960 que les dimensions des conteneurs sont standardisées pour devenir celles que l'on connaît aujourd'hui ; 2,43m de hauteur et de largeur, 4 longueurs dont les plus courants sont 6,09m (20 pieds) et 12,19m (40 pieds). (Barjonet, 2014)

⁴⁰ En tant qu'outil permettant une meilleure efficacité, la conteneurisation pourrait être la source d'effets rebonds directs : "comme le transport est moins cher, on peut en faire plus". Cependant, dans notre plan, elle permet avant tout la bonne accommodation du fret à la contrainte sur le routier par le report modal. L'effet rebond est donc lui-même contraint et dirigé vers les modes efficaces, énergétiquement parlant.

L'expérience maritime démontre que la conteneurisation permet des gains d'efficacité lors de la manutention.

Le transport par conteneur permet également de faciliter le passage d'un mode à un autre par la standardisation des contenants. La généralisation du transport par conteneur pour tous les modes permettrait une plus grande versatilité dans les marchandises transportées ; en effet, il est déjà possible de transporter de la température dirigée dans des conteneurs, par voies navigables ou par rails.

Le transport par conteneur représente pour l'instant moins de 10 % dans le fluvial. Cependant, pour chacun des modes, les données manquent pour estimer précisément la part du transport assurée en conteneurs actuellement⁴¹.

L'autoroute ferroviaire est une alternative au conteneur, spécifique pour l'intermodalité rail-route⁴². Ce concept des remorques sur train permet de placer les remorques sur un train sans levage, via une infrastructure dédiée. De telles solutions sont déjà commercialisées sur certaines voies européennes et peuvent requérir des adaptations du réseau en termes de gabarit. (CE Delft, 2018) Certains acteurs promeuvent la création de services d'embarquement des camions directement sur des trains. Un mix de ces solutions doit être développé afin de permettre un report de la route vers le fer. La FNAUT propose par exemple de prolonger l'Autoroute Ferroviaire Alpine (qui permet le transport de remorques ou de camions entiers) jusqu'à Lyon.

Le transport conteneurisé fluvial peut s'articuler de manière pertinente à la logistique urbaine. Les conteneurs peuvent en effet être déchargés sur un espace restreint depuis le bateau, tout en assurant un transport capacitaire jusqu'au centre-ville. Par exemple, la péniche Franprix décharge 50 conteneurs en restant 1h à quai, quai de la Bourdonnais à Paris.

Un modèle combiné rail-route par conteneur 20 pieds pourrait également être pertinent pour la logistique urbaine permettant une intermodalité plus simple et moins chère. Les conteneurs restant fermés, les marchandises ne risquent pas d'être détériorées dans le déchargement.

C. Contraindre de manière différenciée le transport routier à mesure que les offres ferroviaires et fluviales s'étoffent, afin d'amplifier le report modal

Nos propositions

- Sur le long terme : accompagner les acteurs dans la (re)localisation de leurs chaînes logistiques en articulation avec le fer, le fleuve, et les autoroutes électriques (voir section *Accompagner, contrôler et aider les acteurs du transport dans leur décarbonation*)
- A court terme : abaisser les limitations de vitesses sur les routes (voir section *Abaisser les vitesses des poids-lourds sur les routes*)
- A court-moyen terme : rendre obligatoires les reports modaux sous des conditions de consommation énergétique moindre, selon les distances parcourues et le type de

⁴¹ Les statistiques disponibles au niveau national distinguent les catégories de marchandises mais pas les contenants.

⁴² L'avant-projet de la stratégie nationale pour le développement du fret ferroviaire propose de mettre en place trois nouveaux services d'autoroute ferroviaire à court-terme sur les axes Perpignan-Rungis, Calais-Sète et Cherbourg-Mouguerre (Contexte, 2021a)

marchandises (voir section [Accompagner, contrôler et aider les acteurs du transport dans leur décarbonation](#)).

Afin d'opérer un report modal significatif de la route vers le rail et le fleuve, il faut en même temps améliorer l'offre ferroviaire et fluviale et appliquer des contraintes au transport routier. Ne faire que l'un mènera à un report faible voire négligeable⁴³, tandis que ne faire que l'autre est la garantie d'un échec par manque d'acceptation par les acteurs. Voici quelques pistes permettant de contraindre le transport routier de manière efficace et pragmatique, à différents horizons de temps : la relocalisation progressive de l'emplacement des chaînes logistiques autour du fer et du fleuve, les limitations de vitesse sur les routes, l'obligation pour certains flux de passer par le fer ou le fleuve, et la fiscalité.

1. Contrainte long-terme : la relocalisation des chaînes logistiques en articulation avec le fer et le fleuve

Afin d'assurer sur le long-terme que les flux de marchandises passent de plus en plus par les modes les plus efficaces énergétiquement parlant, il faut que les acteurs de la logistique soient progressivement amenés à se réorganiser en articulation avec les réseaux ferrés, fluviaux, et le réseau d'autoroutes électriques qui sera en construction. Cet effet de long-terme ne peut être accompagné que par une structure de gouvernance dédiée unissant les acteurs de la logistique et les acteurs publics à différents échelons territoriaux (voir section [Une gouvernance du fret orientée vers la décarbonation](#)).

2. Contrainte court à long-terme : abaisser les limitations de vitesses pour les PL

L'abaissement des limitations de vitesse sur les routes, au-delà de leur impact direct sur les consommations d'énergie (voir section [Abaisser les vitesses des poids-lourds sur les routes](#)), constituerait une contrainte à l'usage de la route qui favoriserait indirectement un report vers le ferroviaire⁴⁴ via le transport combiné. Une telle contrainte réduirait l'écart de vitesse qui peut exister entre le train et le camion, voire l'inverserait en faveur du train dans certains cas, incitant l'expéditeur à faire effectuer le segment long du parcours en train plutôt qu'en poids-lourd. A plus long-terme, cette contrainte favoriserait une localisation plus stratégique des chaînes logistiques vis-à-vis des réseaux ferrés et fluviaux.

3. Contrainte court-moyen terme : imposer le report modal sous certaines conditions

A mesure de l'avancée des mises à niveau d'infrastructures et de services autour du fleuve et du fer, certains flux pourraient se voir soumis à une obligation d'utiliser ces modes, par exemple en fonction de la nature des marchandises, de l'écart de temps de transport porte à porte entre les modes, ou de la réduction de consommation induite par le report. Des aides en cas de surcoûts induits pourraient être

⁴³ Comme nous l'avons vu, le routier s'est massivement co-développé avec les pratiques logistiques du juste à temps, au cours des trois ou quatre dernières décennies, du fait de sa plus grande flexibilité. Une telle flexibilité n'étant pas atteignable par le train et le fleuve, il est difficilement imaginable qu'un report modal fort et spontané se fasse sans quelques contraintes sur le routier.

⁴⁴ C'est moins le cas pour le report de la route vers le fleuve, l'écart de vitesse entre ces deux modes étant trop élevé pour qu'une légère baisse des vitesses du routier ait une influence significative.

mises en place pour les acteurs qui en auraient besoin. On pourrait par exemple imaginer que les marchandises non périssables soient obligées de transiter par le fer ou le fleuve si jamais ces modes permettent une réduction d'au moins 30 % de la consommation d'énergie du transport porte à porte du flux concerné⁴⁵, et sous des conditions de vitesse relatives à la périssabilité des marchandises.

Cela pourrait se faire par une réglementation sur le transport long des marchandises pour les chargeurs, qui auraient l'obligation d'étudier les possibilités de report vers le train et le fleuve, et dans le cas d'une réduction de consommation suffisante, devraient modifier leurs pratiques dans un délai acceptable⁴⁶. Une telle réglementation pourrait être adaptée au niveau européen, pour les chargeurs qui font transiter des marchandises par la France.

Une telle contrainte permettrait aux acteurs de se réorganiser afin de franchir le pas du report modal, dès lors que cette option devient intéressante en termes de consommation énergétique pour eux, soit du fait de l'installation de nouvelles infrastructures intermodales, ou du fait de la relocalisation de leur chaîne logistique autour du fer et du fleuve.

D. Quelle fiscalité pour le transport de marchandises ?

Il convient d'ouvrir le débat sur de potentiels réajustements fiscaux par la puissance publique en faveur de modes largement bas-carbone (rail, fleuve).

Actuellement, les modes ferroviaire et fluvial sont moins compétitifs que le mode routier. Ceci s'explique, comme on l'a vu, pour des raisons physiques, des raisons d'organisation structurelle des chaînes logistiques autour de la route mais aussi pour des questions de coûts d'exploitation (en particulier les coûts de manutention dus aux ruptures de charge).

Les modes ferroviaire et fluvial sont des modes fondamentalement moins émissifs que le routier. De ce fait, il est cohérent que dans une optique de décarbonation du transport de marchandises les politiques publiques s'attachent à favoriser ces modes bas-carbones et à rééquilibrer l'usage de la route dans son domaine de pertinence.

Certains acteurs considèrent que l'on pourrait faire porter au transport routier de marchandises une part plus grande des externalités négatives qu'il génère. Par exemple, le transport routier de marchandises bénéficie d'une exemption des droits d'accise⁴⁷ sur le pétrole, qui se traduit par un taux réduit de taxe intérieure de consommation sur les produits énergétiques (TICPE) par rapport aux véhicules particuliers et d'un remboursement partiel⁴⁸. Ces exemptions pourraient être résiliées.

⁴⁵ Une telle situation dénoterait en effet de la présence efficace d'infrastructures intermodales à une distance acceptable du point d'expédition et du point de réception, permettant alors au trajet "premiers kilomètres en camion → segment train/fleuve → derniers kilomètres en camion" de consommer significativement moins que le trajet fait entièrement en camion, même si la distance totale parcourue est plus grande pour le premier trajet (dû aux détours pour accéder aux pôles intermodaux). La détection de ces situations requiert une capacité de modélisation relativement poussée des chaînes logistiques en jeu. Cela pourrait passer par la mise à jour régulière d'outils déjà existants comme EcoTransit. (EcoTransIT World, 2020)

⁴⁶ Des aides spécifiques, méthodologiques comme financières, à ces transformations, pourraient être proposées par l'Etat, à l'image de l'actuel plan d'aide au report modal (PARM), qui octroie des subventions pour expérimenter et passer au transport par voie fluviale. Ou encore par des outils de planification du transport, multimodal et orientés sur la consommation d'énergie, mis à jour en fonction de l'évolution des infrastructures.

⁴⁷ Taux minimal de taxation sur les produits énergétiques défini par l'UE pour l'ensemble des Etats membres.

⁴⁸ Ce statut particulier devrait être supprimé d'ici 2030, avec la loi Climat Résilience.

De même, le transport routier de marchandises pourrait être amené à payer une part plus grande des coûts des infrastructures qu'ils empruntent et qu'ils dégradent⁴⁹ (Baaj, 2012), par exemple sous forme d'une taxe à l'usage⁵⁰.

N'activer que le levier de la fiscalité nous semble cependant largement insuffisant, si ce n'est contreproductif, pour déclencher des reports modaux rapides et organisés dans le secteur du fret.

- Par sa nature nationale, il distingue mal entre les situations très différentes que connaissent les acteurs, et notamment la situation géographique de leurs chaînes logistiques et leurs capacités de financement. Ce n'est pas en modifiant les niveaux relatifs de taxation entre le routier et le ferroviaire qu'on obtiendra un report si par ailleurs les possibilités physiques de report n'existent pas ou sont impraticables pour les acteurs concernés.
- Dans un contexte de transformation rapide et organisée de plusieurs secteurs en interaction, ce levier n'est pas assez explicite quant aux effets quantitatifs attendus. La fiscalité laisse le pouvoir de décision à chaque acteur, si bien qu'il est difficile de déterminer l'effet émergent macroscopique d'un niveau de taxation donné. La taxation pour atteindre un objectif donné est donc un processus itératif et lent, dont les résultats ne peuvent pas être anticipés précisément. De ce fait, elle peut être sujette à une contre argumentation par les lobbies hors d'un plan d'ensemble, et est donc instable. Cet outil est peu propice à une bonne visibilité de long terme pour les acteurs des différents secteurs.
- Les mesures concrètes que nous proposons par ailleurs pour établir un report modal nous semblent suffisantes en elles-mêmes.

Nous préférons donc décrire clairement les objectifs à atteindre, les moyens physiques à mettre en œuvre pour les atteindre, les réglementations, les standards et les obligations se basant directement sur ces objectifs.

IV. Optimiser le remplissage des poids-lourds

Les propositions ci-après visent à jouer sur le facteur « Taux de Remplissage » de l'identité de Kaya (voir Figure 1).

Le transport de marchandises est un secteur à faibles marges. Plus le taux de remplissage des véhicules est élevé, plus il est rentable pour les transporteurs et les chargeurs. L'optimisation est donc souvent un objectif recherché, même si ce n'est pas toujours à des fins environnementales.

Néanmoins, « près d'un cinquième des vkm est encore parcouru à vide sur le territoire national », même si la part des trajets à vide a chuté de 25 % en 1999 à 18 % en 2017. (Transport & Environment, 2020a)

Ces trajets totalement ou partiellement à vide s'expliquent pour des raisons techniques ou opérationnelles ; notamment, les déséquilibres géographiques dans les flux de marchandises, les pratiques de mutualisation des envois limitées qui conduisent à une utilisation sous-optimale de la capacité du fret. De plus, la logistique du "juste-à-temps" exige plus de flexibilité des transporteurs pour

⁴⁹ Pour réduire les dégradations de voirie des PL, il faut répartir le poids sur plusieurs essieux et éviter un tonnage important sur le même essieu.

⁵⁰ Récemment, une baisse des taxes sur l'usage de la route a pu être observée ; en effet, la taxe à l'essieu a été diminuée en faveur de l'instauration de l'écotaxe, qui n'a pas été mise en place.

répondre aux besoins des clients, et donc des camions plus petits et moins remplis, et donc moins efficaces en termes d'énergie. (Transport & Environment, 2020a) L'opportunité de faire circuler des camions (presque) vides s'explique également par le coût actuellement bas du transport routier dans le coût total des produits transportés.

Il existe donc un certain potentiel d'augmentation des remplissages⁵¹, notamment par le biais de la mutualisation des cargaisons, de l'optimisation du chargement, et de la réduction des cadences d'envoi.

A taille de camion donnée, l'optimum énergétique est de le remplir le plus possible. Mais **si les chargements augmentent, par mutualisation des flux et/ou par réduction des cadencements d'envoi, alors l'usage de camions plus gros et bien remplis devient possible, ce qui permet de réduire encore la consommation unitaire (par t.km) du transport.**

Nos propositions

- Accompagner les acteurs dans leurs pratiques de mutualisation
- Accompagner les transporteurs dans la gestion de leur flotte pour l'adapter aux flux mutualisés
- Accompagner les transporteurs dans leurs pratiques de chargement afin de maximiser les remplissages
- Accompagner les acteurs dans la réduction intelligente de leurs cadences d'envoi afin d'augmenter les chargements
- Doter le certificat d'effort de décarbonation d'un volet « Chargement » (voir section [Accompagner, contrôler et aider les acteurs du transport dans leur décarbonation](#))

A. Organiser la mutualisation des flux et des trajets

La mutualisation des flux de marchandises ou la mutualisation des trajets sur l'ensemble de la chaîne logistique (inter et intra régional mais aussi pour le dernier km) semblent constituer des pratiques intéressantes pour réduire son empreinte carbone.

1. Améliorer les pratiques et l'organisation du transport routier intra et inter-régional pour mutualiser les flux

La mutualisation des flux de marchandises consiste à réunir sur un même site logistique des flux de provenance diverses, avant de les transférer vers une zone commune, par exemple une zone commerciale. Les opérations de livraison de ces flux consolidés sont ainsi réalisées conjointement. Dans le domaine de la distribution, la mutualisation se fait actuellement à l'initiative des marques (Kellogg's et Always proposant par exemple que leurs produits soient transportés ensemble), des

⁵¹ Les trajectoires de décarbonation profondes du transport de marchandise de l'IDDRI estiment par exemple un potentiel d'augmentation des facteurs de charge significatifs (d'environ 11t à 15t en moyenne par véhicule) pour les poids-lourds articulés sur la période 2010-2050 (Briand et al., 2019).

opérateurs de logistique (comme FM Logistic) voire dans certains cas des chargeurs. (faq-logistique, 2013)

La mutualisation permet de plus de maximiser le chargement en poids et en volume, par un panachage de la cargaison des camions **entre produits lourds et légers**. Cela permet de remplir le volume sans dépasser la charge maximale admissible du véhicule, lorsque possible⁵². Par ce biais, les taux de chargement en poids ou en volume pourraient augmenter de 5 % à 10 % en moyenne pour les flux concernés, soit un gain en consommation de carburant entre 3 % et 7 %. (Objectif CO₂, 2020)

Il est également envisageable de **développer des réseaux de mutualisation de flux en amont**, comme les centres de routage collaboratifs (CRC) de CRC Services⁵³. Le rapport Objectif CO₂ indique que le développement d'un système de mutualisation des flux aura un effet très variable sur le taux de chargement en fonction des distances entre point d'enlèvement et point de livraison. (Objectif CO₂, 2020) L'objectif de cette solution est d'atteindre un taux de remplissage maximal sur le trajet principal, avec des points d'enlèvement (ou de livraison) qui ne sont géographiquement pas trop dispersés entre eux. Objectif CO₂ estime une augmentation du taux de chargement pour les trajets concernés de 10 à 15 %, équivalent à un gain de consommation de carburant de l'ordre de 7 % à 10 %.

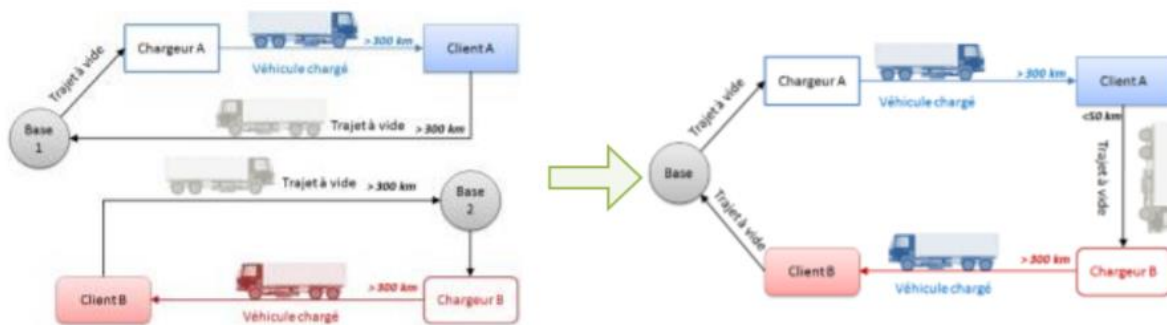
2. Partager les services de transport entre chargeurs pour mutualiser les trajets et améliorer les chargements

La mutualisation des trajets consiste à améliorer les taux de remplissage d'un même véhicule, en utilisant ses trajets « contraints », ou prévus quoi qu'il arrive pour un autre usage. Cette mutualisation peut se faire via la logistique des retours, un même trajet permettant la distribution et le ramassage de marchandises. Ou encore par la cohabitation de flux de marchandises et flux voyageurs dans les transports publics et privés, notamment pour les courriers et colis.

Le rapport Objectif CO₂ développe ainsi le concept du "contre-flux", un système dans lequel un trajet aller permet de transporter les marchandises d'un client tandis qu'au trajet retour des marchandises d'un autre client sont transportées. Cette solution est opérante dans le cas où les marchandises des deux clients peuvent être transportées par le même type de véhicule, dans les mêmes conditions. Objectif CO₂ estime que le développement des contre-flux pourrait réduire les taux de retour à vide pour les PL d'environ 20 % actuellement à moins de 15 %, au niveau national. (Objectif CO₂, 2020)

⁵² Par exemple, lorsqu'un produit volumineux est transporté, le PTAC est rarement atteint. Ceci entraîne une consommation et des émissions de CO₂ par tonne.kilomètre plus importantes. Le rapport Objectif CO₂ de l'Ademe recommande ainsi de diversifier les types de produits transportés afin de maximiser à la fois le volume et la charge maximale du véhicule. Ces produits doivent préférentiellement être de densités différentes, d'origines d'expédition proches et de destinations proches. (Objectif CO₂, 2020)

⁵³ CRC Services pilote actuellement 2 CRC alimentaires et 7 CRC pour des enseignes de bricolage. Selon leur retour d'expérience, il est souhaitable que les distributeurs donnent une impulsion significative à cette nouvelle organisation et deviennent prescripteurs du concept pour lui permettre de se développer. La rentabilité du concept dépend des remplissages effectivement obtenus par la mutualisation, par rapport à ceux qu'on aurait observés sans mutualisation. Ainsi, il est particulièrement avantageux de parvenir à regrouper les plus petits lots.



Contre-flux, Objectif CO₂ (Objectif CO₂, 2020)

3. Adapter les flottes aux pratiques de mutualisation

Les pratiques de mutualisation permettent, à flotte de camions constante, de les remplir de manière plus optimale de sorte que les marchandises soient transportées par un nombre de trajets plus faible que sans mutualisation. Cependant, les gains sont encore plus grands si la flotte s'adapte à ces nouvelles quantités de marchandises : avec des camions plus gros (et tant qu'ils sont bien remplis), l'efficacité énergétique du transport est améliorée.

B. Généraliser les pratiques de chargement maximisant les remplissages

Le rapport Objectif CO₂ indique que de nombreux paramètres influencent la quantité de produits transportés par un véhicule et notamment, la charge maximale autorisée, le volume du véhicule et la surface au sol. Cette section concerne les deux derniers paramètres, le volume et la surface au sol. (Objectif CO₂, 2020)

Le taux de remplissage est souvent comptabilisé via l'espace occupé au sol, c'est-à-dire en deux dimensions, tandis que la troisième dimension, la hauteur, n'est pas prise en compte. A chaque fois que c'est possible, il pourrait être pertinent d'améliorer les modalités de chargement pour augmenter le remplissage du camion au mieux de ses capacités en m³ et non pas seulement en m². Des alternatives sont déjà disponibles : charge de plancher, palette en carton, réhausse dans les PL etc.

Lorsque les marchandises sont transportées par conteneurs, il est envisageable de recourir à la **charge de plancher**, c'est-à-dire de charger un conteneur de marchandises directement sur son plancher, plutôt que sur des palettes. Cela libère de l'espace, permettant de loger davantage de produits. Le principal inconvénient de cette stratégie est que le chargement et le déchargement doivent être effectués manuellement plutôt qu'avec des chariots élévateurs. Cela augmente le temps de chargement et de déchargement et le risque d'endommager la cargaison. (The ICCT, 2019)



Figure 14. Palletized versus floor-loaded

Figure 3 : Charge de plancher comparée à la palettisation ; source (The ICCT, 2019)

Le rapport objectif CO₂ suggère de **modifier la palettisation afin d'optimiser les chargements**. Cette solution, devant être adaptée au cas par cas, consiste à modifier les caractéristiques des lots transportés afin d'augmenter le coefficient de chargement des véhicules. Par exemple, en passant d'un emballage permettant de mettre 6 produits par palette, mais empêchant de gerber⁵⁴ les palettes, à un emballage permettant de mettre 4 produits par palettes et de les gerber ; alors il est possible de transporter 33 % de produits en plus. Objectif CO₂ estime une augmentation possible du taux de remplissage de 5 à 10 %, soit entre 3 % et 7 % de gain en consommation de carburant⁵⁵. (Objectif CO₂, 2020)

Il est par ailleurs envisageable de **remplacer les palettes en bois par des palettes en carton** ; moins lourdes (3kg contre 20/25kg pour le bois) réutilisables (4,5 à 5 utilisations avant d'être cassées et compactées pour recyclage), hauteur légèrement plus petite permettant une optimisation du remplissage par la hauteur. De plus, elles peuvent être disposées en quinconce pour le trajet retour, contrairement aux palettes en bois. On peut donc en transporter le double.



Palettes en carton⁵⁶

Le rapport Objectif CO₂ développe le concept de **double plancher**, qui permet de contourner la surface de plancher comme facteur limitant le chargement. Cette solution consiste en l'utilisation de semi-remorques à double plancher, remorques déjà proposées par de nombreux fabricants. Ceci permettrait d'entreposer théoriquement jusqu'au double du nombre de palettes dans un même véhicule, en passant de 33 à 66 palettes. La pertinence du double plancher est dépendante de la hauteur des palettes. Un véhicule à double plancher peut théoriquement remplacer deux camions. Néanmoins, ce gain théorique peut être limité par d'autres contraintes, telles que le chargement de produits denses qui entraînerait

⁵⁴ Empiler des charges les unes sur les autres

⁵⁵ Les gains de cette solution sont fortement dépendants de l'état initial de la gestion du volume des emballages ainsi que des courbes de consommation du véhicule en fonction du taux de chargement.

⁵⁶ Source : <https://www.cenpac.fr/films-palettes/palette-carton-plastique/palette-carton/p11855>

une atteinte rapide de la charge maximale autorisée et rendrait l'utilisation du double plancher moins intéressante. Objectif CO₂ estime que le double plancher pourrait augmenter les taux de chargement des véhicules de 20 à 30 % en moyenne, soit un gain de consommation de carburant de 14 à 21 %. (Objectif CO₂, 2020)



Remorque à double plancher⁵⁷

L'usage de réhausse permet également d'optimiser le camion en m³. La réhausse, une rampe de chargement, permet d'empiler les marchandises ; il faut alors des emballages résistants à l'empilement sous une palette. Cette solution serait surtout pertinente quand le produit n'est pas pondéreux pour éviter d'endommager les marchandises du niveau inférieur. Néanmoins, décharger des palettes sur plusieurs niveaux est plus compliqué.

C. Ralentir les cadencements d'envoi pour agréger les marchandises

La tendance historique vers les pratiques de flux tendu/ juste-à-temps, visant à minimiser les coûts de stockage et les coûts d'immobilisation associés aux phases de stockage, a mené à des envois plus fréquents mais moins volumineux, permis par l'essor des transports à l'énergie fossile, à faible coût. Cela pousse de plus à l'usage de véhicules de transport plus petits, dont la consommation unitaire (par t.km) est moins bonne.

Ainsi, la réduction des cadences d'envoi permettrait de mieux agréger les marchandises, et ainsi de mieux remplir les véhicules, voire d'en utiliser des plus gros qui sont donc plus efficaces.

Il a été estimé, à l'échelle nationale, qu'une diminution des cadences d'envoi "raisonnable"⁵⁸ permettrait une réduction des consommations du secteur routier dans son ensemble d'environ 7 %. (Complexio/LET/ADEME, 2010)

⁵⁷ Source : <http://www.groupe-vincent.fr/>

⁵⁸ C'est-à-dire, qui ne mène pas à une explosion des coûts pour les chargeurs, le surcoût étant négligeable face à la valeur marchande des marchandises concernées.

Il s'agit donc d'un levier clé d'optimisation du transport routier vis-à-vis de la double-contraainte carbone.

D. Inciter à l'augmentation des remplissages

Les leviers présentés permettent aux acteurs qui s'en saisissent d'augmenter les remplissages et de réduire la consommation d'énergie à besoin de transport constant, et donc les coûts associés à cette consommation. Ils ont cependant quelques contreparties, qui peuvent au contraire générer des coûts supplémentaires : une augmentation du besoin de manutention, la mise en place de partenariats et d'une coordination multi-acteurs en ce qui concerne la mutualisation, et des coûts d'immobilisation légèrement supérieurs.

C'est pourquoi il convient de mettre en place des incitations pour que ces pratiques puissent se généraliser à l'ensemble des acteurs.

Par exemple, en articulation avec le certificat d'effort de décarbonation (voir section *Accompagner, contrôler et aider les acteurs du transport dans leur décarbonation*), une **obligation de définition et de suivi d'une stratégie à moyen terme d'augmentation des remplissages** pourrait être mise en place. En plus d'augmenter les remplissages par les pratiques mentionnées, cela favoriserait la transformation des flottes vers des véhicules plus capacitaires (et donc plus efficaces) sur le temps long.

Dans un premier temps, des aides aux bonnes pratiques de remplissage pourraient être allouées sous réserve de contrôles et d'obtention de résultats. Dans un second temps, ces pratiques deviendraient obligatoires.

Les contrôles requerront des moyens de mesure des taux de remplissage, par exemple via des pesées de véhicules ou des proxys basés sur la consommation en temps réelle observée par télématique, et des audits réguliers de pratiques de remplissage.

V. Réduire la consommation unitaire des poids-lourds

Les propositions ci-après visent à jouer sur le facteur « Efficacité Énergétique » de l'identité de Kaya (voir Figure 1).

Tout gain de consommation par kilomètre parcouru est intéressant, que la motorisation soit thermique ou électrique. Ils permettent bien sûr de réduire les émissions à l'usage dans le cas de la motorisation thermique.

Mais un certain nombre d'avantages demeurent y compris après l'électrification des flottes : gains en termes d'émissions de CO₂ dues à la production de l'électricité dans les différents pays où les camions sont vendus, moindre contrainte de consommation et d'appels de puissance sur le système électrique pour recharger les batteries, moindre temps d'immobilisation de recharge pour le transporteur, conception plus légère des tracteurs routiers avec une moindre capacité de batterie et un moteur moins puissant. Tout ceci participe à la résilience de notre économie aux chocs d'approvisionnement qui pourraient se produire sur les matériaux constitutifs de cette électrification (comme le lithium, le cobalt et/ou le nickel, ou encore le cuivre, qui seront les plus sollicités).

A. Améliorer l'aérodynamique des poids-lourds

Nos propositions

- Elargir les normes d'émissions de CO₂ existantes pour les constructeurs camion, aux consommations par km parcouru, et au cycle de vie des véhicules
- Inciter les chargeurs et les transporteurs à s'équiper de camions plus efficaces et moins émissifs (voir section [Accompagner, contrôler et aider les acteurs du transport dans leur décarbonation](#))

Selon une modélisation interne (voir [Annexe](#)), les améliorations possibles de l'aérodynamique des camions ont des effets qui peuvent être significatifs sur la consommation. Ainsi, à 90 km/h, nous avons estimé en ordre de grandeur que :

- Un allongement du nez du tracteur permet un gain de consommation d'énergie de 6 à 12 %, pour des allongements respectifs de 0,5 m et 1 m ;
- L'ajout d'une jupe sous la remorque permet un gain de 1 % de consommation ;
- L'ajout d'un déflecteur à l'arrière de la remorque permet un gain de 2 % de consommation ;
- Un cumul de ces technologies avec une remorque arrondie sur le dessus mènerait à un gain de 13 % ;
- Le passage à une double remorque permet un gain de 24 % par rapport à deux camions séparés.

Pourtant, les aménagements aérodynamiques peinent actuellement à arriver sur le marché malgré des directives européennes facilitatrices⁵⁹ (seuls des concepts-trucks sont présentés mais non encore commercialisés). Ceci peut s'expliquer par plusieurs raisons :

- Problème de perturbation du marché : le développement d'une nouvelle ligne de tracteurs poids-lourd prend environ 6 ans et les constructeurs n'étant pas au même stade de développement, l'application d'une obligation sans la visibilité suffisante perturberait le marché. Il faut négocier avec les constructeurs une mise sur le marché qui convienne à tout le monde, ce qui est difficile et long ;
- Incertitude des constructeurs sur la réception par la clientèle malgré le gain en consommation ;
- Le tracteur poids-lourd étant un marché mondial, l'investissement dans la nouvelle ligne de production est rentable si la législation autorise les modifications aérodynamiques dans une majorité de pays cibles.

⁵⁹ La directive Européenne 2015/719 du 29 avril 2015 (Parlement européen, 2015) permet aux constructeurs de tracteurs de dépasser la longueur réglementaire (16,5 m) afin d'améliorer les performances aérodynamiques (et aussi la sécurité par une amélioration du champ de vision à l'avant), les dépassements des longueurs maximales ne devant pas entraîner d'augmentation de la charge utile de ces véhicules.

Une décision du Parlement européen et du Conseil (Parlement européen, 2019) avance la date de mise en application de la précédente directive au 1er septembre 2020. Pourtant, aucune optimisation aérodynamique utilisant cette réglementation n'est proposée par les constructeurs de tracteur européens à l'heure actuelle.



Concept Truck du constructeur MAN (Lobner, 2020)

L'obtention du Certificat d'effort de décarbonation pour les chargeurs (voir section [Accompagner, contrôler et aider les acteurs du transport dans leur décarbonation](#)) requerra que la consommation moyenne par tonne.km transportée baisse selon une trajectoire définie, ce qui générera une demande forte en camions plus efficaces en termes d'énergie.

En parallèle, les normes d'émissions unitaires imposées aux constructeurs camions⁶⁰ doivent être coordonnées à cet effort par les chargeurs, et élargies. La réglementation doit raisonner en termes de consommation d'énergie unitaire par type de vecteur énergétique consommé (kWh électriques consommés par km parcouru, kWh diesel consommés par km parcouru, etc.), en plus de raisonner en termes de facteur d'émissions (gCO₂ émis par km parcouru). Cela permettra de favoriser les constructeurs qui visent à la fois la décarbonation et l'efficacité. Elle doit de plus intégrer le cycle de vie des véhicules et tenir compte des possibilités d'amélioration dans le secteur.

B. Abaisser les vitesses des poids-lourds sur les routes

Notre proposition

- Abaisser réglementairement la vitesse de bridage des ensembles routiers de 90 km/h à 80 km/h

La vitesse accroît la résistance aérodynamique de façon sensible, ce qui nécessite une demande de puissance accrue et augmente ainsi la consommation de carburant. La réduction de la vitesse de conduite permet donc une économie de carburant sensible et directe. Selon différentes mesures et modélisations menées sur l'impact de la réduction de vitesse sur les émissions de CO₂ de véhicules de différentes tailles dans des environnements différents (voies rapides ou voies urbaines) donnent des résultats assez divers et pas forcément dans le sens d'une diminution des émissions. (ADEME, 2014)

Une réduction moyenne de 5 % de la consommation (et des émissions de CO₂) serait cependant obtenue par un bridage de la vitesse maximale des poids-lourds à 80 km/h, au lieu du bridage actuel à 90 km/h. Les gains sont d'autant plus forts qu'une grande partie du trajet est effectuée à la vitesse maximale, donc concernent particulièrement les trajets de longue distance. (Objectif CO₂, 2020)

Pour que cette réduction soit effective, il faut adapter la chaîne de traction afin que la vitesse de bridage corresponde à un régime moteur assez bas et au rapport de vitesse le plus élevé. Cela peut se faire

⁶⁰ Via le règlement européen 2019/1242

dans un premier temps par une modification logicielle⁶¹, qui apporte déjà des gains. Puis cette approche logicielle peut être couplée à une approche matérielle pour obtenir l'entièreté des gains. Cette seconde étape peut prendre plusieurs années, car elle est plus lourde d'un point de vue réglementaire⁶².

Les ensembles routiers concernés étant ceux dont l'électrification arrivera le plus tard, cette adaptation des moteurs pour la prochaine flotte de tracteurs nous paraît rentable du point de vue des émissions de CO₂.

Ecoconduite des PL

La formation à l'écoconduite pour les poids-lourds est déjà une obligation réglementaire. Les chauffeurs de PL sont déjà relativement bien informés et formés aux enjeux de l'écoconduite.

Le projet *Benchmarking Energy Efficiency in Transport* (BEET) évalue, après formation, une réduction moyenne de la consommation des poids lourds de 5,25l/100km. Les bénéfices de la formation s'atténuant dans le temps, BEET conclut à une possible économie permanente de 3,5 à 4l/100km. (Objectif CO₂, 2020)

Objectif CO₂ estime qu'une formation initiale à l'écoconduite génère un gain initial sur la consommation de carburant compris entre 5 % et 15 % suivant le type d'activité. Si aucune mesure complémentaire n'est prise dans l'année qui suit la formation, comme une formation de rappel, les gains s'estompent quasi complètement, jusqu'à 80 %. Le gain moyen dans l'année de la première formation à l'écoconduite est de 6 %, puis 2 % dans les deuxième et troisième années, soit une moyenne de 3 % sur 3 ans. Le suivi de formation régulier à l'écoconduite, accompagné d'actions de sensibilisation renforcée (usages du moteur à l'arrêt et de la climatisation), peut permettre de maintenir un gain moyen de 6 % sur trois ans. (Objectif CO₂, 2020)

Quelques autres mesures d'efficacité dans le fret routier

Développer la pratique du *platooning*

Le platooning consiste à former des convois de plusieurs poids-lourds se suivant de près les uns les autres, afin de bénéficier d'effets aérodynamiques. Les gains de consommation pourraient aller jusqu'à 10 % s'ils se suivent d'assez près (5-10 m) et sont assez nombreux. Cette pratique requiert une assistance automatisée du suivi du camion de devant pour assurer la sécurité du convoi. (Mobility de TotalEnergies, 2020) Elle requiert également que de grandes quantités de marchandises soient transportées par un même transporteur qui organise le convoi, ou qu'une coopération entre plusieurs transporteurs soit organisée. Les gains obtenus par le *platooning* ne s'additionnent que partiellement avec ceux de nos propositions de réduction des vitesses de bridage des camions, d'amélioration de l'aérodynamique et du double trailer. L'ensemble de ces mesures sont cependant intéressantes et à mettre en œuvre lorsque possibles.

Permettre aux camions de ne plus marquer l'arrêt aux aires de péage (flux libre)

Suite à un arrêt au péage, la réaccélération d'un poids-lourd consomme de l'énergie. Il est possible

⁶¹ Qui peut dans certains cas ne pas demander de nouveau développement logiciel et donc être très rapide ; dans d'autres cas, un léger développement logiciel est nécessaire.

⁶² Le moteur modifié doit repasser des étapes de certification pour répondre aux exigences de sécurité et de fiabilité.

de remplacer les aires de péages par des portiques de paiement automatique. Deux options existent : si la portion d'autoroute est nouvelle, alors les portiques peuvent être installés directement et les véhicules n'ont pas besoin de ralentir ; si la station de péage existe déjà, il est possible d'enlever les barrières, mais alors les véhicules doivent ralentir sous les 50 km/h pour passer la station, pour des raisons de sécurité. Cette seconde situation représente la majorité des cas pour des gains de consommation à court terme. En ordre de grandeur, la généralisation de cette mesure permettrait des gains de consommation de l'ordre de 1 % pour les seuls flux de marchandises autoroutiers⁶³, donc moins de 1 % à l'échelle du fret domestique.

Cette mesure pourrait être intéressante à court terme, tant que le réseau d'autoroutes électriques n'est pas encore en place. Au fur et à mesure de sa mise en place, de nouvelles pratiques de paiement pour les usagers des caténaires devront être proposées pour éviter les arrêts inutiles des camions.

VI. Électrifier les poids-lourds

Les propositions ci-après visent à jouer sur le facteur « Intensité Carbone » de l'identité de Kaya (voir Figure 1).

Dans la perspective de décarboner les vecteurs énergétiques utilisés dans le transport routier de marchandises, les différentes possibilités techniques font appel à deux types de convertisseur (élément fournissant l'énergie mécanique à la chaîne de traction) :

- **Le moteur à combustion** interne utilisant initialement le gazole ou l'essence et plus récemment des carburants issus de la biomasse comme le biogaz, le bioéthanol ou le biodiesel ; certains évoquent la possibilité de les alimenter par des carburants de synthèse produits à partir d'électricité et de carbone biogénique⁶⁴ ;
- **Le moteur électrique** alimenté par une batterie, une pile à combustible ou un système d'alimentation dynamique (ou plusieurs de ces sources).

Il faut noter dans un premier temps **la différence de rendement au profit du moteur électrique** de l'ordre de **95 % contre environ 42 %** pour le moteur à combustion interne à son point de fonctionnement optimal, et plutôt 35 % dans les conditions de circulation d'un PL articulé, ou 20-25 % pour les voitures ou les VUL en circulation urbaine.

La maturité technologique de ces moteurs est à peu près équivalente (les deux technologies ont à peu près la même ancienneté et le même déploiement, tous usages confondus). Les coûts de maintenance sont à l'avantage du moteur électrique.

⁶³ La possibilité de ralentir à 50 km/h au lieu de s'arrêter complètement au péage économise la phase d'accélération pour le camion de 0 km/h à 50 km/h. En prenant le cas supérieur d'un camion de 40 t, cela économise en énergie mécanique environ 1kWh, soit environ 7 kWh de diesel étant donné le faible rendement moteur sur la phase d'accélération. En supposant, encore de manière conservatrice, une fréquence d'une station de péage tous les 100 km, le gain du flux libre est d'environ 2 %. Comme en réalité les flux de marchandises ne sont pas tous effectués par des PL 40 t, il s'agit d'une valeur majorante.

⁶⁴ Ce carbone doit provenir d'un cycle court du carbone, et non pas d'une source fossile.

Comme expliqué dans la partie *Une contrainte énergie-climat impérieuse*⁶⁵, la production de carburants liquides (ou gazeux) décarbonés sera d'un ordre de grandeur insuffisant face aux niveaux de consommation actuels en France. Ces carburants devront donc être alloués aux secteurs les plus difficiles à électrifier (certains pans de l'industrie, transport aérien, maritime et fluvial, défense, sécurité et sûreté...). Ainsi, **l'électrification est privilégiée autant que faire se peut dans le fret routier**.

L'électricité deviendra le vecteur énergétique central en 2050 mais ne sera pas disponible en grandes quantités. Une recherche systématique d'efficacité doit être de rigueur, en **électrifiant par voie directe (système dynamique d'alimentation) ou par stockage par batterie en priorité**, le stockage par hydrogène ou par carburants de synthèse étant 3 à 8 fois moins efficace pour les transports. Autrement dit, échouer à électrifier directement ou par batterie revient à multiplier la demande en électricité par 3 à 8 pour assurer un même transport, augmentant les risques d'incapacité pour le système électrique français à produire suffisamment en 2050⁶⁶.

Cependant, l'électrification doit se faire **dans des limites raisonnables d'usages des matériaux**, tout particulièrement pour la production des batteries, qui sera très fortement sollicitée par la production automobile.

Ainsi, la **hiérarchie des technologies de motorisation PL pour réduire les risques identifiés dans le PTEF** est la suivante :

- Electrifier directement par système d'alimentation dynamique, afin de limiter la masse des batteries dans le parc de PL, sur les axes supportant les trafics PL importants et/ou longs ; cela permet également un gain d'efficacité énergétique par rapport à la batterie ;
- Electrifier par batterie, en limitant réglementairement la masse des batteries afin de ne pas surconsommer certains matériaux, et afin d'inciter à l'usage de modes plus efficaces ou l'usage des systèmes d'alimentation dynamique ;
- Electrifier par l'hydrogène ou rester sur la motorisation thermique au biodiesel en dernier recours, pour les usages qui ne peuvent absolument pas recourir aux deux options précédentes.

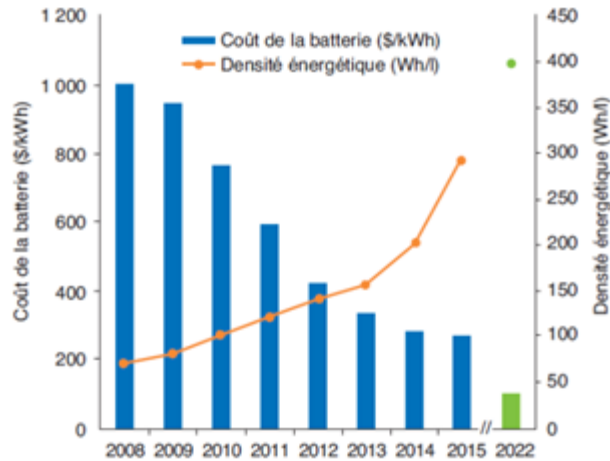
A. Potentiels et limites des technologies électriques à batteries

Les véhicules à batterie embarquent une batterie qui alimente un moteur de traction électrique pendant la totalité du trajet.

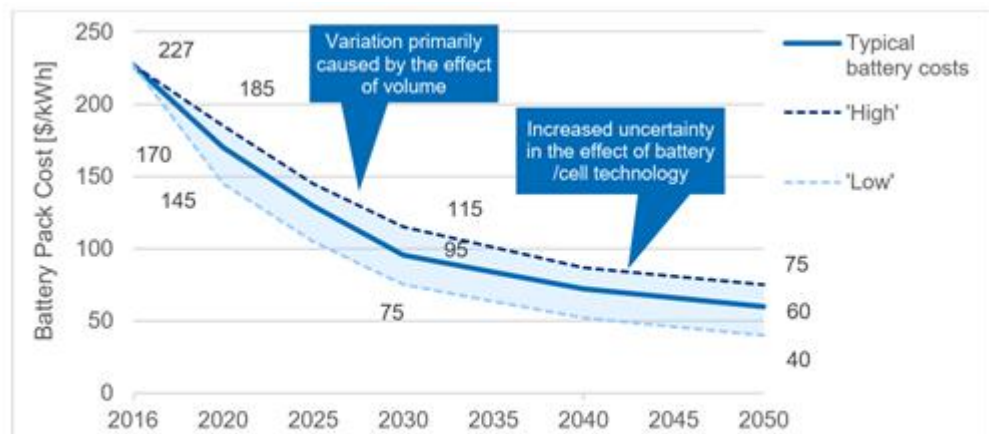
C'est le point sensible de cette solution : la batterie est un élément lourd et onéreux. Leur prix et leur masse par unité d'énergie stockée sont néanmoins en baisse depuis plusieurs années, tendance qui devrait se poursuivre à l'avenir si les efforts de R&D mondiaux sont maintenus. **Entre 2010 et 2018 les prix par unité d'énergie stockée ont été divisés par 4 et la densité énergétique (quantité d'énergie stockée dans un kg de batterie) a plus que doublé** (Earl et al., s. d.), ce qui ouvre des perspectives au fret, y compris sur les longues distances dans un avenir relativement proche.

⁶⁵ Pour plus de détails, voir (The Shift Project, 2022).

⁶⁶ Cette date est potentiellement plus contrainte que 2060, si la planification du système électrique, trop tardive pour atteindre ses pleins effets en 2050, porte ses fruits en 2060.



Évolution et projection du coût de production et de la densité énergétique des batteries Li-ion.
Source : US Department of Energy, tiré de (CRE, 2018)



Source: 2016 cost from (McKinsey, 2017). Projections are Ricardo estimates based on a range of sources and client feedback.

Coût actuel et prévisible des packs de batteries Li-ion pour véhicules électriques⁶⁷. Source : (Ricardo Energie & Environment / ifeu / E4tech, 2020)

Certains constructeurs ont déjà mis sur le marché quelques modèles avec des capacités de charge et des autonomies diverses, plutôt pour un usage régional ou péri-urbain.

Par exemple, Renault Trucks a mis en production depuis mars 2020 les deux modèles D Z.E. et D Wide Z.E à raison de 72 véhicules/jour. (Grinand, 2020) Mercedes commercialise le eVito depuis mars 2019 (fourgon de charge utile 1 tonne sur une autonomie de 160 km). Volta Truck, nouvel acteur du marché, prévoit de commercialiser un camion de 16 tonnes de charge utile pour une autonomie de 200 km. Les premières livraisons sont prévues en 2022.

⁶⁷ Le coût mesuré fin 2021 était de \$132/kWh (BloombergNEF, 2021), sur la trajectoire « low » des estimations présentées.

1. Le poids des batteries pourrait rester un problème pour la longue distance jusqu'en 2050 et la quantité de matériaux mobilisée serait significative si toute la flotte s'électrifiait par batterie

Le poids des batteries constitue un inconvénient que la traction diesel n'a pas. Par exemple, le eVito de Mercedes commercialisé en mars 2019 est équipé d'une batterie de 41 kWh pesant 340 kg.

On peut dimensionner approximativement une batterie de traction pour un poids-lourd de 40 tonnes. Un tel véhicule consomme actuellement en moyenne 1,55 kWh/km d'énergie électrique et 1,3 kWh/km en 2050 si on suppose un bridage des vitesses à 80 km/h et une meilleure aérodynamique⁶⁸. Les cellules de batteries actuelles ont une densité énergétique d'environ 250 Wh/kg, le pack batterie dans son ensemble une densité d'environ 130 Wh/kg (Basma, Beys, & Rodríguez, 2021) et une profondeur de décharge de 90 %. Avec cette technologie, et pour ordre de grandeur, il faudrait en 2050 environ 7 tonnes de batteries pour une autonomie de 600 km. Il faut ajouter à cela les moteurs électriques et la transmission adéquate, soit de l'ordre de 400 kg. Par contre, le PL à batterie n'a plus besoin du moteur diesel et de la chaîne de transmission, ni du carburant, pesant en tout de l'ordre de 3 t. (Earl et al., s. d.) Ainsi, le surpoids du tracteur à technologie actuelle serait de 4,5 t.

On peut raisonnablement espérer que la densité énergétique des batteries évoluera vers une valeur doublée d'ici 2050⁶⁹. En prenant des valeurs intermédiaires pour un véhicule produit en 2035, 4 tonnes de batterie permettraient une autonomie de 800 km⁷⁰. Le surpoids du tracteur électrique par rapport à un tracteur thermique serait alors de 1,4 t.

Le poids des batteries peut ainsi constituer une pénalité pour les véhicules électriques si on veut assurer les mêmes niveaux d'autonomie qu'avec les carburants thermiques, car il réduit de façon significative la charge utile du véhicule⁷¹. Ce constat restera certainement vrai pour encore une dizaine d'années, le temps que les technologies de batteries évoluent. Par contre, passé cette étape, on pourrait envisager une électrification par batterie des ensembles routiers y compris sur de longues distances⁷².

Au regard de l'électrification de la flotte de voitures, **l'électrification des poids-lourds mobiliserait une capacité non négligeable de batterie**. En ordre de grandeur, produire 20 000 tracteurs routiers en 2050⁷³ d'une capacité d'1 MWh mobiliserait environ 20 GWh de batterie. Produire 1,4 million de voitures d'une capacité de 50 kWh mobiliserait environ 70 GWh de batterie⁷⁴.

⁶⁸ En supposant des améliorations tendanciennes de la pneumatique, une aérodynamique de rupture et l'usage d'alliages légers pour gagner en masse, on pourrait obtenir une consommation de 1,1 kWh/km. (Basma, Beys, & Rodríguez, 2021)

⁶⁹ La projection basse pour l'étude prospective européenne sur l'analyse de cycle de vie des véhicules donne 500 Wh/kg en 2050 (Ricardo Energie & Environnement / ifeu / E4tech, 2020). Il s'agit d'une projection, qui comporte donc des risques de ne pas se produire. A moyen terme, les améliorations envisageables permettent d'espérer des densités supérieures à 400 Wh/kg. (Basma et al., 2021)

⁷⁰ En prenant une consommation de 1,3 kWh/km, une capacité de 1040 kWh de batterie est requise pour parcourir 800 km ; avec une densité de batterie de 260 Wh/kg, il faut 4 tonnes de batterie.

⁷¹ Néanmoins la législation française prévoit une dérogation sur le poids en ordre de marche dans la limite d'une tonne pour les véhicules électriques.

⁷² Le temps de conduite maximal autorisé par jour pour un chauffeur routier est de 10 heures. Pour une vitesse moyenne de 80 km/h au plus (voir partie sur la vitesse des PL), l'autonomie requise est de 800 km entre deux charges. On peut encore réduire ce besoin si une charge courte est effectuée pendant la pause obligatoire du chauffeur.

⁷³ Contre environ 30 000 immatriculations annuelles en 2019.

⁷⁴ Voir le rapport du *Shift Project* [La transition bas carbone, une opportunité pour l'industrie automobile française ?](#) (Portelier & Perron, 2021)

2. La recharge des batteries poserait question pour le réseau électrique si la charge rapide venait à se généraliser

Un des principaux désavantages de la traction électrique avec batterie est, outre le surpoids des batteries, l'immobilisation du véhicule nécessaire à la recharge des batteries.

Deux types de recharges sont en général possibles : la charge lente, par exemple sur 10h pendant la nuit, et la charge rapide (ou d'opportunité) sur un temps de l'ordre de l'heure pendant une période de repos imposée au chauffeur ou pendant une opération à quai.

Pour un poids lourd ayant une capacité de batterie d'environ 1000 kWh, en charge lente, il faut une puissance de charge d'environ 125 kW. En charge rapide pour une recharge à 80 % en 1 heure, on aurait besoin d'une puissance minimum de 800 kW⁷⁵. En supposant que ce type de recharge se généralise, et en imaginant qu'au pic de recharge journalier environ 10 %⁷⁶ de la flotte d'ensembles routiers charge (soit environ 13 000 PL en 2050), il faudrait environ 10 GW de puissance, ce qui est très significatif⁷⁷.

Afin d'éviter une telle pointe d'appel de puissance, il est préférable de lisser la demande d'énergie dans le temps. C'est l'un des avantages de l'électrification des autoroutes abordée plus bas.

3. Bilan carbone comparatif du PL électrique à batterie et thermique en 2030

Afin d'illustrer le poids relatif de la production de batterie dans le bilan carbone des tracteurs routiers au cours de leur vie, et de le comparer au bilan d'un tracteur au diesel, on adoptera les hypothèses suivantes (tableau). Il est supposé qu'en 2030 l'efficacité de la traction diesel s'est améliorée par l'ajout d'une hybridation, et que l'efficacité aérodynamique et la réduction des vitesses maximum a permis de réduire la consommation autant pour les poids-lourds diesels que pour les futurs camions électriques.

Donnée	Valeur	Source
Intensité carbone de la production d'électricité	En France : 51 gCO ₂ e/kWh En moyenne Européenne : 230 gCO ₂ e/kWh	Chiffres pour l'année 2020 pris sans évolution pour l'année 2030 (European environment agency, 2021)
Consommation énergétique d'un poids lourd de 40 tonnes en 2030	1.3 kWh/km	En 2030 avec une optimisation technique et une limite à 80 km/h selon nos hypothèses

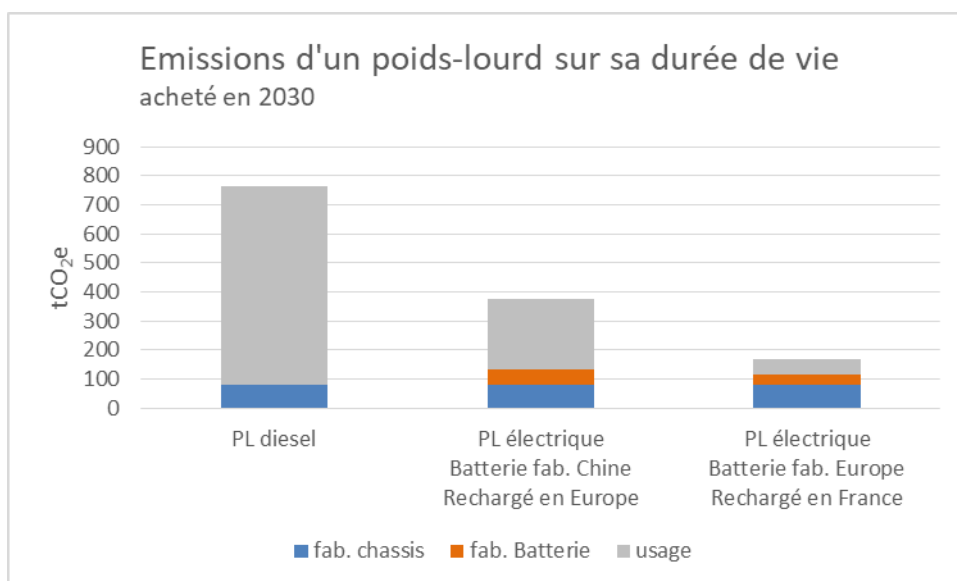
⁷⁵ A titre de comparaison, les superchargeurs de Tesla les plus puissants actuellement installés sont de 250 kW. Une version 4 est prévue avec 350 kW. Au niveau européen, un standard de charge rapide (Megawatt Charging System, MSC) se met en place, visant à assurer des puissances de charge de l'ordre du MW.

⁷⁶ En supposant qu'environ 20 % des distances parcourues le sont de nuit, que les distances parcourues de jour le sont sur 15 h dans la journée, et que le pic de charge est deux fois plus haut que la moyenne de charge.

⁷⁷ A comparer aux niveaux maximums de demande en France, lors de vagues de froid, de 100 GW (record en 2012).

Rendement énergétique du puit à la roue pour la traction électrique	78 %	Projection pour 2030 en tenant compte des pertes au cours du transport d'électricité, du stockage en batterie et de la conversion mécanique (Transport & Environment, 2020a)
Facteur d'émission (amont + combustion) d'un litre de gazole	3,25 kgCO ₂ e/litre	Base carbone ADEME
Consommation moyenne de carburant d'un tracteur routier	28 l /100km	Projection pour 2030, incluant une hybridation légère. (Carbone 4, 2020)
Émissions à la fabrication de la batterie	Fabrication en Europe avec mix énergétique moyen : 64 kgCO ₂ /kWh Fabrication en Chine : 100 kgCO ₂ /kWh	Projection pour 2030 (Transport & Environment, 2020b)
Capacité moyenne de batterie d'un tracteur routier	520 kWh	Environ 2 t de pack batterie, ce qui permettrait 400 km d'autonomie
Émissions à la fabrication du châssis	5,5 tCO ₂ e/tonne de véhicule 110,0 gCO ₂ e/km pour un véhicule de 15 tonnes sur une exploitation de 750 000 km	Données 2020 considérées comme identiques en 2030 Base carbone ADEME

Les calculs d'émissions sont faits à partir de trois combinaisons représentatives des choix de paramètres (lieu de fabrication de la batterie et lieu de recharge de la batterie). Les résultats sont les suivants :



Source : calcul interne

La simulation proposée montre que les émissions de gaz à effet de serre sont au moins deux fois moindres pour un poids lourd électrique malgré l’empreinte carbone liée à la batterie. Le cas le plus favorable du point de vue des émissions est celui où la batterie serait fabriquée en Europe et rechargée en France. Dans ce cas, les émissions sont divisées par un facteur environ égal à 4. En ordre de grandeur, la fabrication de la batterie augmente de 50 à 100 % les émissions de fabrication du tracteur routier.

L’électrification des poids-lourds par batterie semble possible à partir de l’horizon 2035⁷⁸. Cependant, elle implique la mobilisation d’une grande capacité de batterie et donc de lithium et de cobalt (et/ou de nickel, un possible substitut), la disponibilité de grandes puissances de recharge instantanée en charge rapide et des moyens décarbonés de production des batteries. Pour réduire les risques que ces conditions ne soient pas réalisées alors qu’on comptait dessus, l’électrification des poids-lourds par batterie ne doit pas être l’unique solution mobilisée.

Il serait bénéfique de **développer une solution alternative plus sobre pour les trajets longs qui ne seraient pas déjà reportés sur le fer ou le fleuve.**

B. Développer un réseau structurant d’autoroutes électriques au niveau européen (ERS – *electric road system*)

Le système ERS⁷⁹, également appelé « recharge dynamique », est un dispositif de connexion du véhicule au réseau électrique pendant son déplacement, lui permettant d’alimenter directement son moteur électrique et/ou de recharger sa batterie.

⁷⁸ Certains constructeurs majeurs ambitionnent de produire des camions électriques à batterie d’ici 2025, d’une portée de 500 km. (Transport & Environment, 2022)

⁷⁹ Les systèmes d’ERS font l’objet d’une consultation nationale par la DGITM dont les résultats seront publiés fin 2021. La consultation est orientée selon 3 axes de réflexion (3 groupes de travail) : 1) Décarboner le transport routier de marchandises par un système de route électrique (ERS), enjeux et stratégie; 2) Solutions techniques, potentialités et verrous; 3) Expérimenter à grande échelle en France.

Ses avantages sont de diminuer le besoin en batterie pour les véhicules 100 % électriques, ou éventuellement de diminuer la consommation de carburant pour les véhicules hybrides. Son principal inconvénient est qu'il repose sur une infrastructure relativement lourde.

1. Les ERS actuellement en phase de test

Plusieurs systèmes sont à l'étude (voir par exemple (Gustavsson et al., 2021; Hartwig, Matthias, Bußmann-Welsch, Anna, & Lehmann, Michael, 2020)). Les 3 principaux types de systèmes sont :

- Système par caténaire/pantographe : A l'essai sur 10 km en Allemagne (eHighway de Siemens)

Avantages :



- Technologie connue (transfert de technologie ferroviaire)
- Pas d'emprise au sol

Inconvénients :

- Emprise aérienne (gène des hélicoptères de secours, paysage)
- Prise au vent du pantographe
- Uniquement sur véhicules hauts
- Usure des caténaires
- Bas-côté à adapter

Estimation du coût au km (dans les 2 sens) : 1,5 à 2,5 M€ (International Transport Forum / TCAD, 2020)

- Système par rail conducteur au niveau du sol

Piste d'essai de quelques centaines de mètres en Suède (système - APS de Alstom/Volvo)

Avantages :



- Technologie déjà exploitée sur plusieurs lignes de tram (transfert de technologie)
- Faible impact visuel
- Adapté potentiellement à tous types de véhicules
- Pas de prise au vent

Inconvénients :

- Sensibilité aux intempéries
- Risques de perte d'adhérence / obstacles
- Maturité un peu moins avancée que par caténaires

Estimation du coût au km (dans les 2 sens) : 0,7 à 2 M€

- Système à induction par bobines sous la surface roulante



Avantages :

- Implantation optimum
- Adapté potentiellement à tous types de véhicules
- Pas de prise au vent ni de sensibilité aux intempéries

Inconvénients :

- Impact sur la santé (champs magnétiques) limitant la puissance
- Coût d'installation
- Maturité plus faible

Estimation du coût au km (dans les 2 sens) : 3,1 M€ minimum.

2. Pourquoi et comment développer un système d'autoroutes électriques

Les ERS proposés comme axes structurants permettent une forme de “report modal” similaire au report de la route vers le train, mais sans rupture de charge (le camion a seulement à rejoindre l’axe électrifié pour s’y connecter). Ils permettent alors une économie de batterie, les camions parcourant ces axes ayant besoin de la batterie seulement pour leurs segments de trajets (courts) avant et après l’usage de cet axe. Ils permettent également des appels de puissance lissés dans le temps en réduisant, voire annulant le besoin en charge rapide, et une légère économie d’électricité⁸⁰.

A plus long terme, ces axes deviendront des axes structurants décarbonés le long desquels les infrastructures logistiques pourront s’installer pour réduire les trajets « avant et après ERS ».

Cela se fait en contrepartie de l’installation d’infrastructures relativement lourdes le long des grands axes routiers. Un calcul d’ordre de grandeur suggère cependant que le poids de ces infrastructures serait faible devant la quantité de batterie qu’elles permettraient d’éviter⁸¹.

Un tel réseau sera d’autant plus efficace :

- Qu’il se déploie à une large échelle géographique (notamment chez nos voisins européens) ;

⁸⁰ Lorsque l’électricité alimente directement le moteur, les pertes dues au rendement de la batterie n’ont plus lieu.

⁸¹ Ce calcul passe cependant par des unités monétaires. Sa conclusion sera donc d’autant plus vraie que l’unité monétaire reflète bien la quantité de matériaux et d’énergie mobilisée dans les deux options.

Il se déroule ainsi : on suppose que la moitié du réseau autoroutier et national est équipé d’un système ERS en 2050, en équipant les axes les plus utilisés. On considère de plus que la durée de vie de l’ERS est de 50 ans, et celle des batteries est de 10 ans (avec un usage intensif). On suppose enfin que la flotte de PL (PTAC > 19t) réunit 200 000 véhicules en 2050 (soit environ 30 % de moins qu’aujourd’hui au vu des hypothèses de baisse de la demande et de report modal du PTEF), disposant de 2t de batteries en moyenne, leur conférant une autonomie de 1000 km. Sous ces hypothèses, le parc contient 400 kt de batterie.

L’investissement dans l’ERS est de 15 G€ (à raison d’1,5 M€/km pour 10 000 km de route équipés), soit 300 M€ annualisés. L’investissement dans les 400 kt de batterie est de 26 G€, à raison de 650 Wh/kg de batterie et de 100 €/kWh de batterie, soit 2,6 G€ annualisés. Ainsi, l’ERS constitue un investissement environ 10 fois plus faible que les batteries qui circuleraient sans ERS. En d’autres termes, l’ERS est rentable dès lors qu’il permet une réduction du besoin en batterie de 10 % ou plus sur la flotte de camions.

- Qu'une technologie commune est déployée entre les différents pays. Cela permet aux constructeurs camion de ne déployer qu'une technologie de connexion aux ERS.

Le développement d'un tel réseau devrait de ce fait passer par une concertation entre plusieurs pays européens, afin d'en assurer l'interopérabilité. Le modèle d'affaire des ERS doit encore être trouvé. Cela pourrait être le cas par une intermédiation organisée par les Etats concernés, regroupant les opérateurs d'autoroutes, les producteurs d'ERS et les constructeurs camions.

Le déploiement d'un réseau couvrant les axes principaux du TRM est envisageable par la technologie la plus mature (caténaire/pantographes) d'ici 2030 : plusieurs études allemandes donnent l'ordre de grandeur de 3 000 à 4 000 km de routes couvertes en une dizaine d'années (Hartwig, Matthias et al., 2020).

C. Une double stratégie d'électrification du TRM : le déploiement des véhicules à batterie accompagné de la création d'un nouveau réseau structurant décarboné

Nos propositions

Le PTEF propose une stratégie d'électrification complète du TRM en 3 volets, en cohérence avec le reste des propositions⁸² :

- Les véhicules : un calendrier d'interdiction de ventes de camions thermiques en fonction des gabarits concernés doit être défini et partagé. L'ensemble des véhicules routiers thermiques doivent être interdits à la vente au plus tard en 2035⁸³. Une limitation absolue de la masse de batterie embarquée, de l'ordre d'une tonne, doit être instaurée.
- Le réseau de charge : le déploiement de réseaux de recharge, lente et rapide doit être planifié sur les territoires avec les acteurs. Ces réseaux seront adaptés à des batteries de moins d'une tonne, en cohérence avec le point précédent.
- Le déploiement de systèmes ERS sur les axes autoroutiers, voire routiers, les plus fréquentés par les poids-lourds, doit être planifié de manière à créer un nouveau réseau structurant décarboné pour le fret routier, complémentaire (et non concurrent) des réseaux ferroviaire et fluvial, qui permettra de réaliser l'ensemble des trajets longs avec des batteries légères.

Le calendrier proposé permettra une électrification complète des VUL et camions rigides le plus rapidement possible, la technologie existant déjà.

Dans un second temps, les PL articulés pourront s'électrifier complètement via des batteries de moins d'une tonne qui leur permettra en 2035 une autonomie d'environ 250 km, suffisante pour rejoindre le réseau structurant d'ERS. Une fois connecté au réseau d'ERS, ils pourront recharger, et effectuer le segment de route final qui n'est pas couvert par l'ERS grâce à cette recharge.

⁸² Une adoption harmonisée au niveau européen de cette stratégie serait un plus, pour aligner les constructeurs camions et les infrastructures que les camions utiliseront. Mais cela n'est pas un prérequis. Elle peut se mettre en place en France avec les compétences dont on dispose.

⁸³ Ce calendrier dépendra en particulier de l'avancement effectif des infrastructures d'autoroute électrique, des progrès faits sur les batteries, et des capacités effectives de production/ importation de batterie. Il signifie qu'entre 2022 et 2050, des camions thermiques circuleront encore sur le sol français, les véhicules légers s'électrifiant dès les premières années, les plus lourds dans les années qui suivent.

Il est donc crucial dans cette stratégie que le système d'ERS commence à se déployer dès le prochain quinquennat, afin d'être suffisamment couvrant dès 2035. Un retard dans son déploiement mènerait à retarder l'arrivée de l'électrique pour les PL longue distance, ou à repousser la masse maximale de batterie au-delà d'une tonne.

Le système d'ERS est donc un élément clé de l'électrification du TRM : il permet de limiter la mobilisation de matériaux critiques dans les batteries, et réduit considérablement les pics de puissance appelée sur le réseau électrique. Il assure une plus grande efficacité énergétique d'ensemble en réduisant les volumes et masses de batterie (assurant une plus grande charge utile), et en évitant l'intermédiaire énergétique "batterie" sur une partie des distances parcourues (lorsque le camion est connecté à l'ERS), réduisant les pertes.

Deuxième élément crucial, il faut que le réseau de bornes de recharge soit déjà suffisamment maillé, en concertation avec les acteurs des territoires (ou à l'échelle nationale pour le TRM international), au moment des interdictions de mise en vente des véhicules thermiques. Les acteurs devront donc équiper leurs dépôts/garages de bornes de recharge lente, et participer aux consultations territoriales pour l'équipement de lieux publics en bornes de recharge lentes et rapides.

VII. Améliorer l'efficacité, et électrifier davantage les autres modes lourds

Comme nous l'avons vu précédemment, les modes fluviaux et ferroviaires sont plus efficaces en termes de consommation d'énergie que les modes routiers. Le ferroviaire est déjà électrifié à 80 %. Ainsi, aujourd'hui, les émissions dues à ces modes dans le fret sont négligeables. Ils émettent moins de 1 % des GES du fret, tout en assurant environ 9 % du fret. **La décarbonation du fer et du fleuve est donc d'un ordre de grandeur moins importante que celle du TRM.**

Cependant, dans le PTEF, les trafics fluvial et ferroviaire de marchandises sont multipliés respectivement par 3 et presque 2. Et si le TRM en vient à se décarboner complètement, il est de bon ton de viser une efficacité et une décarbonation plus grande des modes alternatifs. Nous fournissons donc quelques pistes déjà envisagées par les acteurs de ces modes.

A. Une électrification plus poussée du ferroviaire

Les propositions ci-après visent à jouer sur le facteur « Intensité Carbone » de l'identité de Kaya (voir Figure 1).

En France en 2018, parmi les 30 000 km de réseau ferré, 15 000 km sont électrifiés, soit un peu plus de la moitié du réseau. Le transport ferroviaire hexagonal se fait à 80 % sur des lignes électrifiées, bien que la moitié des lignes sont électrifiées et qu'un quart des matériels roulants sont à traction thermique alimenté par Diesel. Parmi le réseau ferroviaire français adapté au transport de marchandises, 67 % est déjà électrifié. Les trains de fret circulent à 81 % sur des lignes électrifiées (Simian, 2018).

« Les lignes dont l'électrification est socialement ou économiquement intéressante sont désormais fort peu nombreuses » indique le rapport Simian pour l'Assemblée Nationale (Benoit Simian et al., 2018). A priori, il reste peu de marge écologiquement intéressante pour électrifier de nouvelles lignes en France hexagonale. L'électrification des voies est coûteuse, ce coût moyen varie entre 0,35 et 1,5 millions d'euros par kilomètre de voie. La présence d'ouvrages d'art (ponts, tunnels) et autres spécificités topographiques peuvent rendre techniquement plus complexe l'électrification totale des voies, et

corrélativement renchérir les coûts. Il est ainsi plus facile et moins coûteux d'électrifier dans une plaine que dans un endroit avec des reliefs traversant de nombreux ouvrages d'art.

Cette partie a pour objectif d'indiquer les grandes orientations et les grands compromis entre choix d'électrification des voies et technologies de locomotives pour électrifier au plus les trains.km à un coût physique (énergétique, carbone, climat) raisonnable.

La pertinence de l'électrification des voies doit être étudiée au cas par cas, en fonction des usages qui en sont fait et du trafic. Dans certains cas, il sera moins coûteux d'électrifier les voies que de changer de matériel roulant. Dans d'autres cas, il sera plus pertinent d'envisager d'autres technologies de matériel roulant.

Nos propositions

- Déployer l'électrification partielle des voies par caténaires lorsque c'est pertinent d'un point de vue énergie-climat, pour les voies non encore électrifiées
- Développer les matériels roulants hybrides à batterie ou hydrogène pour exploiter ces lignes

1. Déployer l'électrification partielle des voies lorsque c'est pertinent d'un point de vue énergie-climat, et exploiter les voies partiellement électrifiées par du matériel roulant hybride

Bien qu'ils circulent sous des réseaux électrifiés, certains trains de fret sont alimentés au Diesel car leurs destinations de départs ou d'arrivées ne sont pas électrifiées.

Là où électrifier la totalité des lignes serait socio-économiquement trop coûteux, le bimode peut être une solution pour que les trains circulent de façon bas-carbone. Les trains de marchandises peuvent dès aujourd'hui combiner propulsion électrique par caténaire et diesel et à l'avenir par caténaire et batterie, voire par caténaire et hydrogène.

Des locomotives bimodes électriques par caténaires et Diesel ont été développées pour le fret, profitant de la traction électrique lorsque cela est possible et passant en traction diesel lorsque la ligne n'est pas électrifiée. Cette partie non-électrifiée se limite parfois aux derniers kilomètres notamment sur l'installation terminale embranchée qui permet d'accéder au chargeur. Depuis 2018, une première locomotive bimode électrique Diesel « Eurodual » est opérée par Captrain (ex-VFLI) dans l'hexagone. (Benoit Simian et al., 2018)

2. Développer les matériels roulants hybrides batterie/caténaire et hydrogène/caténaire

La recherche et le développement de locomotives de fret hybrides à batteries ou à hydrogène est en cours. Les technologies en essai voire déjà disponibles pour les trains de voyageurs ne sont pas forcément adaptées pour les trains de fret, car ils ont besoin de puissances de traction supérieures. (Benoit Simian et al., 2018)

Le bimode caténaire-batterie serait le plus efficace sur des lignes électrifiées partiellement, avec des parties non électrifiées inférieures à 100 km pour une question d'autonomie. Les questions de puissance doivent être évaluées en amont : dans le cas d'une recharge rapide par les caténaires lorsque le matériel

est à l'arrêt, il faut s'assurer que le dimensionnement des caténaires est adapté ; si la recharge s'effectue au cours de la circulation, la vitesse d'exploitation sur certaines portions de voies pourrait être réduite, afin de réduire le pic de puissance nécessaire ; l'adaptation du dimensionnement des batteries aux caractéristiques des voies ferrées pourrait faire disparaître l'avantage d'un moindre coût du matériel ferroviaire s'il fallait concevoir des matériels spécifiquement pour chaque cas.

Lorsque les portions non électrifiées sont trop longues, le stockage d'énergie par hydrogène⁸⁴ peut devenir intéressant. Dans ces cas, on peut envisager du bimode caténaire-hydrogène si certaines portions sont électrifiées ou alors de l'hydrogène seul pour les lignes pas du tout électrifiées. L'industrie des locomotives n'envisage cependant pas de locomotives de forte puissance à l'hydrogène seul dans les prochaines années. Ainsi, le remplacement du diesel par l'hydrogène dans les cas réclamant le plus de puissance et d'autonomie ne pourra pas commencer avant 2030. Cela semble envisageable à plus long terme. Une alternative serait de recourir aux diesels issus de la biomasse, mais cette ressource sera rare et convoitée en 2050.

Il conviendra d'arbitrer au cas par cas en faveur de la solution adéquate pour chaque ligne. (Simian, 2018)

B. Améliorer l'efficacité des bateaux et décarboner la propulsion

Les propositions ci-après visent à jouer sur les facteurs « Efficacité Énergétique » et « Intensité Carbone » de l'identité de Kaya (voir Figure 1).

De par sa grande efficacité énergétique, le transport de marchandises par voies fluviales offre d'ores et déjà des avantages en termes d'émissions de GES, comparativement à la route. Le report modal doit donc s'effectuer au plus vite. Cependant, au fur et à mesure que la route se décarbonne, le fluvial doit également contribuer à l'effort de décarbonation en transformant sa propre flotte.

Cet enjeu est cependant secondaire, d'un point de vue global, par rapport à la décarbonation du routier, étant donné les volumes 10 fois plus faibles transportés en 2050 par le fluvial par rapport à la route, et l'efficacité énergétique du fluvial 4 à 10 fois plus grande du fluvial. Nous fournissons tout de même ici quelques pistes de décarbonation des bateaux, après avoir fait un état des lieux de la flotte existante.

Nos propositions

- Aider et accompagner les acteurs dans l'amélioration de l'efficacité de leur flotte, en fonction des bateaux qui la composent et de leur usage, et dans l'adaptation de leur système propulsif aux carburants (liquides ou gazeux) décarbonés
- Assurer un accès à ces carburants liquides ou gazeux au secteur, par exemple par des quantités réservées pour le secteur et proposées à prix plafonnés

⁸⁴ En fait, un train "hydrogène" reste un train à propulsion électrique, mais le moteur est alimenté par une pile à combustible elle-même alimentée par l'hydrogène. La pile à combustible étant monopuissance et les régimes de circulation nécessitant des modulations de puissance, elle est toujours accompagnée d'une batterie qui permet ces modulations et qui récupère l'énergie de freinage.

1. Une flotte fluviale vieillissante et carbonée, mais composée de bateaux de plus en plus capacitaires et productifs

En 2018, la VNF dénombre 1041 unités actives dans la flotte de commerce fluviale française. Il existe environ 800 entreprises de transport fluvial en France, essentiellement artisanales. Moins de dix transporteurs sont de type industriel, exploitant à peu près 300 unités (VNF, la flotte fluviale).

En 2016, sur 1088 bateaux actifs, la VNF recensait 32 % de barges non-motorisées (Ademe).

Selon VNF, la flotte française commerciale active est composée de 1 088 unités, dont 32 % de barges non motorisées.

	autom. marchandises générales	autom. citernes	barges marchandises générales	barges Citernes	Total
moins de 400 t	308	2	27	0	337
de 400 à 999 t	228	1	162	6	397
1000 à 1500 t	110	4	14	5	133
>1500 t	76	15	112	18	221
total	722	22	315	29	1 088

Tableau 9 : Composition de la flotte fluviale active français, hors pousseurs, VNF 2016

Composition de la flotte fluviale française selon le TPL (c'est-à-dire les Tonnes de Port en Lourd, qui permet de classer les bateaux en fonction de la charge maximale qu'ils peuvent transporter)

La flotte fluviale est composée de deux catégories d'unités, les unités motorisées (automoteurs ou pousseurs) et les unités non motorisées (barges). Pour se déplacer, ces dernières doivent être poussées par un automoteur ou un pousseur doté de la motorisation adéquate (Ademe, Efficacité Energétique et environnementale TFM)

Le tableau ci-dessous présente les principaux types de bateaux naviguant sur le réseau fluvial français. Les sept premiers étant des bateaux automoteurs et le dernier un convoi poussé de barges.









Types de bateaux fluviaux		Linéaire de voies d'eau en France
Freycinet 38,5 m x 5,05 m – 250 CV 250 T à 360 T (TE 1,80 – 2,50 m)		Classe I (4015 km) TE : 1,80 à 2,20 m TA : 4 m
Campinois 55 à 65 m x 6,05 à 7 m – 550 CV 650 T – 750 T (TE 2,50 – 2,60 m)		Classe II (266 km) TE 2,50 m TA 4-5 m
Bateau et convoi « Canal du Nord » 60 m + 30 m x 5,70 m – 550 CV 750 T (TE 2,50 – 2,60 m)		Canal du Nord TE : 2,50 m TA : 4-5 m
DEK (« Dortmund-Ems Kanaal ») 67-80 m x 8,20 m – 800 CV 950 – 1100 T (TE 2,50 – 2,90 m)		Classe III (568 km) TE : 2,50 m TA : 4-5 m
RHK (« Rhein-Herne Kanaal ») 80-85 m x 9,50 m – 700 à 1000 CV 1350 – 1500 T (TE 2,50 – 2,80 m)		Classe IV (137 km) TE : 2,50 – 4,50 m TA : 5,20 – 7 m
Rhénan 95-110 m x 11,40 m – 1200 CV 2000 – 3000 T (TE 2,50 – 3,40 m)		Classe Va-Vb (247 km) TE : 2,50 – 4,50 m TA : 5,20 (Va) – 7 m (Vb)
Grand Rhénan 135 m x 11,40 m – 1900 CV 2500 – 3500 T (TE 2,50 – 3,40 m)		Classe Vb et VI (1621 km) TE : 2,50 – 4,50 m TA : 5,20 m (2 couches) 7,00 m (3 couches) 9,10 m (4 couches)
Convoi poussé 1 à 4 barges EUROPA II 100-185 m x 11,40 m 1 à 4 barges de 2000 à 2750 T chacune 2000 CV (4400T-2B) à 5700 CV (11000T-4B)		

Figure 13 : Les différents types d'automoteurs (VNF)

Source : (ADEME, 2019b). Clé de lecture pour les voies d'eau que ces bateaux peuvent emprunter : TE = tirant d'eau = hauteur de la partie immergée du bateau qui varie en fonction de la charge ; TA = tirant d'air = hauteur maximale des superstructures ou des mâts au-dessus de la ligne de flottaison.

La flotte fluviale française est « vieillissante, voire très âgée ». Les bateaux de type Freycinet ont été construits en moyenne il y a 70 ans, les RHK ont généralement moins de 50 ans et les bateaux de classe V ont moins de 30 ans. Sur ces bateaux âgés, les moteurs ne sont pas d'origine. Ils sont en effet régulièrement changés pour garantir une bonne performance du bateau et la sûreté du moteur. (ADEME, 2019b)

Une grande part des bateaux français, même nouvellement immatriculés, proviennent du marché de l'occasion et ont navigué en Europe du Nord. Une autre part des nouvelles immatriculations sont des véhicules neufs.

Le nombre de bateaux dans la flotte baisse, mais l'offre de cale globale est stable. En 2018, la VNF recensait 1041 unités actives dans la flotte de commerce fluviale française, en comparaison des 1792 bateaux en 2000. L'offre de cale est restée stable, avec environ 1,1 million de tonnes de port en lourd.

C'est dans les années 1970 que le nombre de nouvelles immatriculations de bateaux a fortement diminué, et la capacité totale de la flotte s'est trouvée divisée par 2 entre 1985 et 2000. Néanmoins le tonnage moyen du port en lourd a augmenté. Dans le même temps, **les moyens ont été progressivement mieux utilisés qu'avant (meilleurs taux de remplissage, usage plus intensif du matériel)**, avec un indice de productivité qui a presque doublé sur la période.

Les unités de grand gabarit qui circulent exclusivement au sein d'un bassin de navigation, appelées unités captives, ont vu leur gabarit augmenter depuis les années 2000. En 2014, les unités de plus de 1000 t de TPL représentaient ainsi plus de 60 % des trafics captifs du bassin Seine-Oise et plus de 90 % des trafics captifs du Rhône.

Ce développement des grands gabarits a particulièrement concerné le secteur du vrac dans les dernières années, le vrac liquide et les porte-conteneurs ayant déjà bien engagé leur massification pour garantir une rentabilité du transport. L'ADEME prévoit la poursuite du développement des grands gabarits, en particulier sur le bassin Seine et Oise, porté par la mise en service du canal à grand gabarit Seine-Nord-Europe⁸⁵.

Dans cette dynamique, l'augmentation de la taille unitaire des bateaux est associée à **la baisse importante du nombre d'unités capables de naviguer sur le réseau fluvial à petit gabarit**, passé de 800 unités en 2000 à 300 unités en 2016.

Les péniches sont équipées de moteurs alimentés au Gazole Non-Routier (GNR). Les consommations relevées actuellement vont de 2 à 15 mL de GNR par t.km transportée⁸⁶ en fonction des tailles de bateaux, les plus petits étant les moins efficaces à la t.km transportée. A titre d'illustration, un petit bateau Freycinet plein consomme environ 500 L/100 km. Un gros bateau de type Canal du Nord consomme environ 650 L/100 km.

2. Amélioration de l'efficacité des bateaux

Des transformations structurelles des bateaux, ou de leur système de motorisation pourraient réduire leur consommation unitaire. Les axes principaux envisagés par le secteur (VNF / Conférence Fluviale, 2016) sont :

- L'amélioration de l'hydrodynamique des bateaux. Des optimisations pourraient réduire de 50 % la consommation. Cependant, une telle optimisation doit être effectuée à vitesse de croisière, type de bateau et type de canal connu. Elle requiert donc des études spécifiques à chaque bateau en fonction de son usage et de son environnement de transport. (WWF-DCP, 2009) Une telle amélioration ne peut s'effectuer que lors d'un renouvellement de bateau ;
- La modernisation de l'injection du carburant, qui permettrait un gain de 10-15 % pour les bateaux qui n'en sont pas déjà équipés. Cette modernisation ne peut se faire que par une remotorisation complète du bateau ;
- La modernisation des hélices propulsives, pouvant réduire la consommation de 15 à 40 %. Cette amélioration ne concernerait qu'une partie de la flotte mais pourrait être effectuée paretrofit ;
- L'hybridation « légère » de la motorisation (analogue à l'hybridation électrique sans recharge pour les voitures), qui réduirait la consommation de 5 à 20 %, en fonction du nombre de manœuvres à effectuer : plus il y a d'écluses à franchir, plus l'hybridation est utile. (VNF / BATELIA, 2018) Une telle hybridation implique des coûts équivalents à ceux d'une remotorisation complète ;
- L'optimisation de la conduite par un éco-pilote, qui permettrait des gains compris entre 5 et 20 % en fonction des situations.

Ces améliorations ont des inerties différentes, mais la plupart d'entre elles sont structurelles, et ne pourront pas se massifier dans les 5 ans qui viennent. Elles doivent être mises en place au rythme de renouvellement des équipements ou paretrofit pour les hélices.

L'Etat a lancé un Plan d'Aide à la Modernisation et à l'Innovation de la flotte (PAMI) par lequel il subventionne ces différentes actions d'amélioration de la flotte. **Ce type d'aide doit être poursuivi et**

⁸⁵ Ce canal devrait ouvrir le bassin aux 20 000 km du réseau fluvial nord européen et aux unités de grand gabarit de pavillons étrangers. Voir section III.A.1.a.

⁸⁶ En moyenne mixte, c'est-à-dire en considérant à la fois les trajets montants et avalants.

la force publique doit s'assurer que les acteurs concernés s'en saisissent au bon moment du cycle de vie de leur matériel.

3. Décarboner la propulsion

Le secteur fluvial est l'un de ceux dont il est le plus difficile de décarboner l'énergie de propulsion, étant donné les puissances importantes requises pour mouvoir le bateau plein, car il transporte plusieurs centaines de tonnes de marchandises, et la grande quantité d'énergie à fournir pour assurer les trajets, en particulier sur de longues distances. Ainsi, de nombreuses pistes sont envisagées, sans qu'aucune ne se dégage franchement pour l'instant. La recherche et les réflexions émergent de manière dynamique dans le secteur maritime (IRENA, 2019; Transport & Environment, 2018), constituant des sources d'inspiration pour le fluvial.

Les technologies suivantes sont pour l'instant envisagées :

- Une propulsion électrique avec un stockage par batterie classique (SSPA, 2020) ou à flux. La batterie classique peut être rechargée par une borne, ou par remplacement des batteries vides par des pleines (*battery swap*). Les batteries à flux permettent une recharge relativement rapide par changement de l'électrolyte (Nieuwsblad transport, 2020) ;
- Une propulsion électrique ou thermique avec un stockage par hydrogène (VNF / BATELIA, 2020b) ou par ammoniac (Transport & Environment, 2018) ;
- Une propulsion électrique avec apport d'énergie par caténaire (Łebkowski, 2018) ;
- Une propulsion thermique avec un stockage par hydrogène, par gaz décarboné (VNF / BATELIA, 2020a) ou par diesel décarboné ;
- Des formes hybrides (Łebkowski, 2018; Leśniewski, Piątek, Marszałkowski, & Litwin, 2020; VNF / BATELIA, 2018) visant à minimiser les consommations d'énergie liquide.

Ces vecteurs décarbonés seront relativement convoités pour différents usages et disponibles en quantités limitées. Le fluvial à grand gabarit et/ou sur des distances importantes fait selon nous partie des quelques usages utiles et efficaces qui devraient avoir accès aux carburants liquides ou méthane issus de la biomasse demain, étant donné la difficulté à l'électrifier de manière sobre (quantité de batterie à mobiliser importante, chaîne énergétique de faible rendement avec l'hydrogène ou l'ammoniac par électrolyse alors même que l'électricité ne sera pas disponible en quantités illimitées). De plus, l'usage de ces vecteurs ne requiert pas de transformation importante des systèmes de propulsion. L'adaptation de ces systèmes pourra ainsi se faire au fur et à mesure du renouvellement des équipements.

VIII. Accompagner, contrôler et aider les acteurs du transport dans leur décarbonation

La décarbonation et la résilience du transport régional et interrégional de marchandises requiert qu'un ensemble d'actions soient menées par les agents économiques du transport de marchandises : reports modaux, meilleurs remplissages, transformation des flottes de véhicules.

Un jeu d'incitations doit être mis en place pour que chaque agent contribue autant qu'il le peut à l'effort vers la décarbonation et la résilience du secteur. Ce jeu doit tenir compte de l'immense diversité des situations de transport : nature, volume et poids des marchandises, cadence des envois, géographie du trajet, structure de la chaîne logistique, situation géographique et économique du chargeur, situation économique et état des pratiques du transporteur, etc.

C'est pourquoi nous proposons de mettre en place un accompagnement strict mais intelligent des acteurs dans leur effort. Cet accompagnement se matérialise en 4 volets :

- Un certificat "chargeur" d'effort de décarbonation à obtenir chaque année par les chargeurs pour avoir le droit de faire transporter leurs marchandises, décerné par une autorité ;
- Un certificat "transporteur/ commissionnaire de transport routier" d'effort de décarbonation à obtenir chaque année par les transporteurs *routiers* pour avoir le droit de transporter des marchandises par la route, décerné par une autorité ;
- Pour le transport routier, la preuve d'obtention des certificats apposée sur la lettre de voiture établie pour chaque acte de transport et la possibilité de contrôle de cette lettre lors de contrôles routiers et de pénalités si jamais la preuve est absente ;
- Des aides financières pour les acteurs qui en auraient besoin pour atteindre les objectifs fixés, sur jugement de l'autorité.

Un certificat d'effort de décarbonation, certifiant la mise en place d'un ensemble de bonnes pratiques, et de l'atteinte de résultats, doit être obtenu par les chargeurs et les transporteurs routiers pour assurer le transport. Une autorité indépendante, nationale ou européenne, à créer, aura pour mission d'accompagner en confiance les chargeurs et les transporteurs. Le certificat sera décerné chaque année par l'autorité, puis à une fréquence moindre si l'autorité le juge pertinent.

Pour le transport routier, une preuve d'obtention du certificat devra être présente sur la lettre de voiture établie à chaque transport. En cas de contrôle routier, la preuve devra être présentée. Ainsi, le transporteur requiert le certificat « chargeur » de la part du chargeur pour pouvoir transporter, et appose lui-même sa preuve d'obtention du certificat "transporteur". Il s'assure ainsi que le chargeur peut bien passer par la route étant donné sa situation.

Le certificat sanctionnera l'atteinte de bons résultats de décarbonation et de consommation énergétique et la mise en place de moyens.

L'autorité pourra appuyer les demandes d'aide financière de certains acteurs qui en auraient besoin pour décarboner leur transport de marchandises, en bonne connaissance de la situation spécifique de l'acteur.

A. Certificat « chargeur »

Le certificat « chargeur » sanctionnera les résultats suivants :

- Les émissions moyennes par tonne transportée dues au transport des marchandises du chargeur suivent une baisse imposée. La mesure des émissions tient compte de l'ensemble des modes utilisés par le chargeur, et inclut l'ACV des véhicules ;
- L'énergie moyenne consommée par tonne transportée suit une baisse imposée (cela permet de favoriser les camions électriques les plus efficaces/aérodynamiques).

Ces éléments requièrent la collecte de données, qui pourront être effectuées automatiquement par télématique lorsque le mode utilisé est routier. En attendant une généralisation de la remontée automatique des données, une application généralisée d'une mesure ouverte, précise et comparable

des émissions de gaz à effet de serre, telle que proposée dans la spécification Afnor X43-072 serait d'une grande utilité (AFNOR, 2021). Elle permettrait la comparabilité des émissions entre les acteurs du secteur, tout en rendant transparent le niveau de précision des calculs d'émissions⁸⁷.

En termes de moyens à mettre en œuvre par le chargeur, les bonnes pratiques sanctionnées auront trait à :

- La relocalisation de ses chaînes logistiques si des gains d'énergie significatifs sont envisageables ;
- La recherche de possibilités de passer par le rail ou le fleuve, et l'obligation de les utiliser si les conditions sont réunies ;
- L'étude des possibilités de passer par une offre électrique pour le routier, en priorité par une autoroute électrique, et l'obligation de le faire si les conditions sont réunies ;
- La recherche d'opportunités de mutualisation et l'obligation de mutualiser si les opportunités existent.

B. Certificat « transporteur ou commissionnaire de transport routier »

Le certificat « transporteur ou commissionnaire de transport » sanctionnera l'électrification de la flotte, qui doit suivre une trajectoire imposée, planifiée en fonction de l'âge de véhicules et de leur usage. Il sanctionnera également les bonnes pratiques d'adaptation de la flotte aux flux de marchandises à transporter et de remplissage des camions.

⁸⁷ Ce standard propose en effet une méthodologie de calcul d'un score – comme celui de l'efficacité énergétique des bâtiments – de la précision des calculs d'émissions

04

**DÉCARBONER LE
FRET DU DERNIER
KILOMÈTRE**



Décarboner le fret du dernier kilomètre

L'organisation de la distribution urbaine est complexe, avec « une demande proportionnelle à l'activité économique, évoluant dans le temps ; une organisation qui s'appuie sur des réseaux de transport non spécifiquement dédiés et des sites logistiques, contrainte de s'adapter aux mutations des tissus actuels ; des systèmes de transport qui s'adaptent à une demande disparate en qualité, quantité, service rendu etc. » (APUR)

I. Le fret du dernier km : un segment particulièrement peu efficient du point de vue énergie-climat

Le fret du dernier km (DK), que nous définissons ici comme le transport de marchandises sur des distances inférieures à 50 km, semble cumuler les difficultés et les désoptimisations : faible efficacité organisationnelle, faible tonnage moyen (certainement accentué par le développement du e-commerce), et véhicules moins efficaces, la part des VUL y étant supérieure que pour les autres segments du transport de marchandises.

Les VUL sont surreprésentés dans le fret du DK. Le trafic dû au fret du DK, est effectué par des VUL à 40 % (des véh-km parcourus), les PL articulés et les PL rigides représentant chacun environ 30 %. (Briand et al., 2019) Cela n'est bien sûr pas vrai en tonnage, les VUL transportant 10 à 100 fois moins de masse que les PL.

Cette surreprésentation des VUL dans le fret du DK est réciproque : **le fret du DK est surreprésenté dans le transport de marchandises par les VUL.** Au sein de l'ensemble du fret effectué par VUL, le transport léger de proximité représente près de deux tiers du chiffre d'affaire, plus de 70 % des effectifs salariés et plus des trois quarts des camionnettes. (CGDD, 2017) Les VUL effectuent cependant également des courses plus longues, même si la grande majorité ne dépasse pas 200 km quotidiennement.

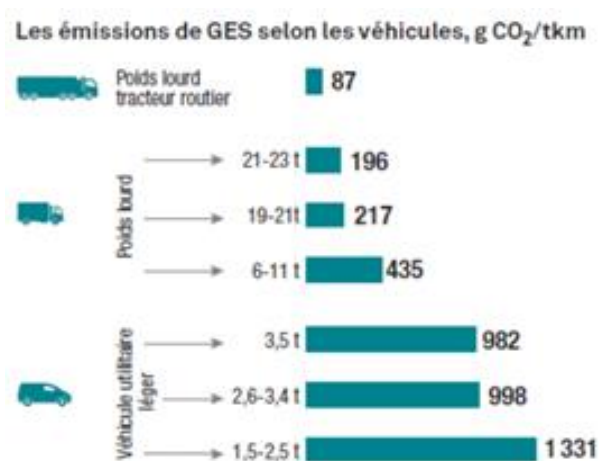
De plus, **les VUL prennent une part de plus en plus grande dans le transport de marchandises :** la croissance des t.km transportés par les VUL est constante depuis 20 ans (+25 % en 20 ans), à mettre

en lien avec le développement de la messagerie⁸⁸ rapide et express, alors que les t.km transportées par PL ont été affectées par la crise de 2008 et stagnent depuis. (SDES, 2020)

Les VUL sont bien moins efficaces à la tonne transportée que les véhicules plus lourds, notamment pour des raisons physiques :

- La masse du véhicule à vide est bien souvent supérieure à la masse de fret. Ainsi, l'énergie utilisée l'est plus pour déplacer le véhicule que sa charge utile. Ceci est d'autant moins vrai que le véhicule est plus gros et bien rempli ;
- Les forces de frottements aérodynamiques à vaincre lors du déplacement, qui dépendent de la vitesse du véhicule et de sa forme, rapportées à la faible masse transportée par le VUL, sont beaucoup plus importantes que pour un PL à la même vitesse.

Cela se retrouve dans les consommations unitaires des véhicules pleins : **à la t.km, un VUL plein consomme 2 à 5 fois plus qu'un camion rigide, et 10 fois plus qu'un PL articulé.**



Source : Terra Nova, dans (L'Institut Paris Region, 2020)

Les VUL, malgré leur diversité de formes et d'usages, correspondent en grande majorité à des camionnettes, et dans une moindre mesure à des voitures aménagées pour le transport de matériel. Les camionnettes représentent 76 % du trafic VUL, les « dérivés VP » - voitures aménagées pour le transport de matériel (sans banquette arrière) – en réalisent 18 %. Les 6 % restants sont effectués par les véhicules automoteurs spécialisés (VASP) composés de camping-cars, vans, ambulances, camionnettes de pompier ou autres food-trucks. (MTE/SDES, 2020)

Les émissions du TRM sont en stagnation. Cela est dû à la stagnation du transport PL (pas d'évolution dans les motorisations, et moteurs diesel optimisés depuis longtemps...), et, concernant les VUL, à une augmentation du trafic de transport, contrebalancée par une diésélisation du parc (qui fait baisser les émissions par km parcouru). On peut estimer que les émissions des VUL représentent aujourd'hui environ 20 % des émissions du fret. (Bigo, 2020; Citepa, 2019)

En termes énergétiques, **le fret du DK consomme peu en valeur absolue car il assure une faible part des tkm transportées, mais il est peu efficace par rapport au reste du fret** : il assure 7,5 % du transport, mais consomme 10 % de l'énergie. Ainsi, aujourd'hui 1 tkm du fret long requiert 450 Wh de

⁸⁸ Le secteur de la messagerie se définit comme étant : « la collecte d'envois multiples (groupage) de moins de trois tonnes groupés sur des quais pour constituer des chargements complets aptes à remplir des véhicules de transport pour dégroupage au quai du centre récepteur et livraison au domicile du destinataire »

diesel, alors que 1 tkm du DK en requiert 640 Wh, soit 40 % de plus, l'écart d'émissions de CO₂ étant le même.

II. Mutualiser les flux

Les propositions ci-après visent à jouer sur le facteur « Taux de Remplissage » de l'identité de Kaya (voir Figure 1).

A. Des modèles logistiques d'ores et déjà en évolution vers plus de mutualisation

Les modèles logistiques ont historiquement évolué entre différentes formes de chaînes verticales, et évoluent maintenant vers des structures logistiques favorisant la mutualisation horizontale des flux.

Trois modèles de chaînes logistiques verticales dominantes se sont succédés depuis les années 1970 :

- Le modèle de type 1 (années 1970), correspond à la livraison directe des fabricants aux magasins de commerçants ;
- Le modèle de type 2 (années 1980) renvoie à la livraison du fabricant aux magasins des distributeurs et la création de plateformes de stockage de distributeurs ;
- Le modèle de type 3 (après 2005) permet la livraison des producteurs aux entrepôts de plusieurs producteurs, puis à partir de là, jusqu'aux entrepôts des distributeurs.

Un autre type de modèle logistique (type 4) faisant appel à la mutualisation a été expérimenté ces dernières années⁸⁹. L'objectif de ce modèle est de permettre la mutualisation entre plateformes industrielles et/ou entre plateformes de distributeurs. Ceci correspond à une mutualisation horizontale entre différents prestataires logistiques afin de regrouper le flux pour une même destination et d'obtenir une optimisation du transport de marchandises (meilleur chargement et organisation de la circulation des véhicules de transport concernés) une meilleure réactivité des services, par l'augmentation des fréquences de livraison et une réduction de l'impact climat (Raicu, Costescu, & Burciu Stefan, 2020).

B. Des opportunités de mutualisation pour le dernier kilomètre

Comme nous l'avons vu dans le cas du transport régional ou interrégional, la mutualisation des flux est un levier intéressant de réduction des émissions de GES. Nous explorons ici son potentiel pour le dernier km.

Certaines formes de mutualisation permettent effectivement de réduire le nombre de véhicules en circulation ou en stationnement dans la zone dense urbaine, c'est-à-dire de réduire le trafic dans les centres et hypercentres (MTES/PMP/LAET/Logicités/ELV Mobilités, 2018).

La mutualisation peut se produire en aval, comme c'est le cas dans les centres de distribution urbains, ou bien en amont, avec les mutualisations des fournisseurs etc.

⁸⁹ Les centres de routage collaboratifs (CRC) de CRC Services font partie de ces expériences.

En particulier, la mutualisation des flux du e-commerce doit combiner à la fois une **approche organisationnelle** (coordination entre les différents transporteurs et chargeurs) **et une approche spatiale** (choix des lieux de consolidation pour optimiser les distances parcourues), afin d'améliorer le remplissage des véhicules de livraison mais également d'optimiser le tracé des tournées, pour réduire les distances parcourues par les véhicules pour un même nombre de livraisons. Toutefois, tous les flux de marchandises n'y sont pas forcément éligibles (pour l'instant) : lots complets, produits fragiles ou précieux, organisations déjà optimisées. (MTES/PMP/LAET/Logicités/ELV Mobilités, 2018)

La **mutualisation des trajets** consiste à améliorer les taux de remplissage d'un même véhicule, en utilisant au mieux ses trajets « contraints » (comme les trajets retours), ou prévus quoiqu'il arrive pour un autre usage. Cette mutualisation peut se faire via la **logistique des retours** : un même trajet permet alors la distribution et le ramassage de marchandises. Elle peut aussi se faire par la **cohabitation de flux de marchandises avec des flux voyageurs** dans les transports publics et privés, notamment pour les courriers et colis.

C. Développer un réseau de sites de mutualisation urbains

L'une des infrastructures clés de la mutualisation des flux pour le dernier km est le Centre de mutualisation urbain (CMU).

Son principe est d'assurer un service de consolidation des flux qui proviennent de l'extérieur de la zone à alimenter en marchandises, puis de distribuer de manière énergétiquement optimale ces marchandises dans la zone couverte, avec des véhicules adaptés au flux transporté, et à la zone. La mutualisation est l'objectif premier des CMU, mais ils peuvent également apporter un service de stockage déporté⁹⁰ (en fonction de leur taille et localisation), de gestion d'inventaire, de préparation à la mise en vente, et de logistique inverse, ce qui peut bénéficier aux récepteurs des marchandises.

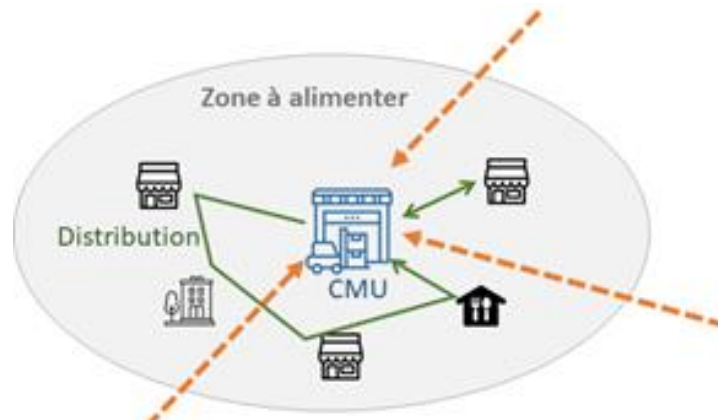


Figure 4 : Illustration du fonctionnement d'un Centre de mutualisation urbain. Les flux extérieurs alimentent le CMU, qui les mutualise en fonction des destinations de chaque flux, afin d'optimiser les chargements et les routes de chaque véhicule sur le dernier kilomètre. Source : The Shift Project

Cependant, la mise en place de centres de mutualisation urbains requiert des efforts financiers et opérationnels élevés, pour un intérêt environnemental modeste. Seul, ce modèle de CMU ne saurait porter des résultats majeurs : c'est tout le système de la logistique urbaine qu'il faut repenser au prisme

⁹⁰ Par exemple pour alimenter des sites de travaux en matériaux de construction, ou des grandes surfaces qui seraient en centre-ville, il peut être utile de stocker les marchandises pour les envoyer à des horaires précis qui éviteront de gêner la circulation.

de la mutualisation des flux pour tendre vers une meilleure optimisation⁹¹ (MTES/PMP/LAET/Logicités/ELV Mobilités, 2018).

Par exemple, lorsque la zone à alimenter est dense, il est généralement proposé que le CMU soit placé en périphérie de la zone afin de l'alimenter. Cependant, lorsque cette zone est également étendue, comme pour les centres des villes moyennes et grandes, ce modèle trouve des limites.

1. Un réseau composé d'infrastructures et de services, répartis stratégiquement dans le tissu urbain

Pour que la mutualisation soit efficace en termes de réduction des distances parcourues par les véhicules, et de minimisation des consommations unitaires (par tkm transportée) des véhicules, il faut **mettre en place un réseau complet de sites de mutualisations** dans la zone, similaires à des CMU mais de plus petite taille. Avec un tel réseau, on peut estimer que **les distances parcourues par les véhicules sont réduites de 60 % à 80 %**, de par un meilleur remplissage et des routes optimisées.

Ce réseau permet un échelon de mutualisation inférieur, capable d'alimenter la zone dense dans son ensemble. Ces CMU sont alors renommés par les auteurs pour signifier leur caractère plus local et petit : par exemple « **Espaces Logistiques de Proximité** », ou « boutique » de consolidation logistique. Ces espaces peuvent alors s'insérer dans le tissu urbain dense, comme par exemple en utilisant des espaces de parking. (Huet & Micheaux, 2020; MTES/PMP/LAET/Logicités/ELV Mobilités, 2018)

La zone de chalandise du CMU au niveau le plus fin demeure alors à échelle humaine, ce qui permet au CMU d'optimiser ses véhicules et ses pratiques en bonne connaissance de la zone et des habitudes de livraison.

La livraison finale, dans les expériences existantes et dans les modèles théoriques proposés, sont généralement effectuées par des véhicules bas carbone et à faible impact dans le milieu urbain : VUL électriques ou cyclologique.

La mise en place d'un réseau de mutualisation permet d'augmenter les taux de remplissage moyen des véhicules de marchandise, et d'optimiser les routes de livraison finale. Ils permettent ainsi de réduire le nombre de km parcourus par unité de marchandise livrée, et donc libèrent de l'espace de voirie et réduisent la congestion. De plus, par un choix de véhicules bas carbone et à faible impact sur le milieu urbain pour les tournées de livraison finale, ils permettent une réduction des émissions de CO₂, de polluants locaux de l'air, et du bruit.

Ce réseau doit cependant trouver son espace, notamment dans l'urbain dense où le foncier est rare. **La logistique urbaine sobre doit être pleinement intégrée dans la planification de l'espace urbain, et du foncier doit lui être alloué.** L'allocation de l'espace public (voirie, trottoirs, parkings...),

⁹¹ L'impact énergétique des CMU a pu être mesuré sur les centres existants, ou simulé.

Sur 24 CMU existants évalués (Allen, Browne, & Woodburn, 2012), les taux de remplissage augmentent, sur les flux concernés, de 15 à 100 % en fonction des cas ; les distances parcourues par les véhicules de transport sont réduites entre 60 et 80 %, et la réduction des émissions de GES est comprise entre 25 et 80 %.

Des travaux de modélisation obtiennent des résultats similaires (Faccio & Gamberi, 2015; van Heeswijk, Larsen, & Larsen, 2019; van Rooijen & Quak, 2010).

Une étude française récente (MTES/PMP/LAET/Logicités/ELV Mobilités, 2018) obtient des résultats bien plus modestes par une modélisation sur les agglomérations françaises : un maximum de 15 % de réduction des émissions de GES, pour une réduction négligeable des distances parcourues, l'effet GES étant principalement dû aux véhicules plus vertueux utilisés par les professionnels. La différence peut s'expliquer par :

- le fait que les CMU mis en place dans cette étude sont de taille élevée et se situent en dehors de la ville centre (type Centre Consolidation Urbain). L'étude en conclut d'ailleurs qu'il faut aller au-delà du modèle de grands CMU en dehors des villes.
- que les flux de marchandises alimentant les artisans en sont exclus,
- et surtout, que l'ensemble des flux de marchandises sont comptabilisés sur l'ensemble de l'aire urbaine et pas seulement les flux modifiés par les opérations de mutualisation comme c'est le cas dans les autres études.

différenciée par usages au cours de la journée (espaces de parking réservés à certains moments de la journée à la logistique ou à la livraison), peut être une piste. Par exemple certains espaces RATP de parking de bus dans Paris sont utilisés en journée par plusieurs acteurs du dernier km, pendant que les bus sont en activité et que les parkings sont vides (voir par exemple (Sortiraparis.com, 2021)). Ce type d'espace est très facilement exploitable pour des opérateurs de logistique urbaine, car il n'y a pas besoin d'adapter les véhicules. En effet ils n'excèdent pas la dimension d'un bus et par ailleurs l'espace au sol disponible dans une enceinte déjà sécurisée permet de réaliser les opérations de déchargement, tri éventuel et rechargement sans les contraintes qu'il peut y avoir lors de l'utilisation mutualisée de parkings souterrains urbains par exemple, où les places conçues pour des véhicules particuliers sont beaucoup plus petites, et les rampes d'accès plus pentues.

Les CMU ne sont pas pertinents pour traiter des flux qui sont déjà consolidés. Par exemple un véhicule plein qui alimente un supermarché de centre-ville et qui aurait déjà été efficacement consolidé dans son centre logistique régional. Ou encore certains opérateurs de messagerie dont les camions sont déjà plein (UPS, TNT, La Poste, Colis Privé).

Organisation des CMU en réseau : l'exemple du schéma logistique de Paris

En matière de logistique urbaine, l'Atelier parisien d'urbanisme (APUR) défend la mise en place d'un modèle urbain particulier, constitué (idéalement) d'un réseau maillé d'entrepôts urbains, connectés à des plateformes logistiques qui assurent l'approvisionnement et la distribution des marchandises dans Paris. (APUR, 2014)

Ce réseau se compose de 2 échelons de CMU et d'un réseau d'espaces de retrait des colis pour les particuliers :

- Les plateformes : ce sont des sites de 10 000 à 15 000 m², destinés aux flux pondéreux (palettes, caisses mobiles), fonctionnant en *cross-docking* (voir schéma ci-dessous), sans stockage. Elles sont idéalement branchées au réseau rail/tram/fleuve, ou réseaux routiers magistraux. La chapelle internationale est un exemple de telle plateforme. Afin de pouvoir implanter cet espace logistique en ville, une mixité de fonctions a été mise en place et a permis la bonne intégration urbaine du lieu et sa réussite économique. Cependant, cela a ajouté des contraintes, notamment de sécurité, aux activités logistiques. Cet espace est connecté au réseau ferroviaire, même si l'intermodalité ne fonctionne pas pour l'instant.

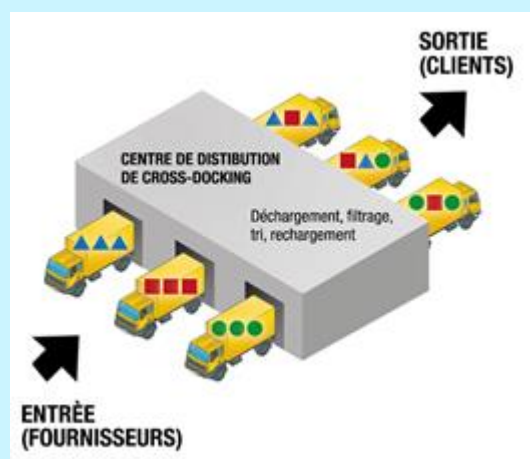


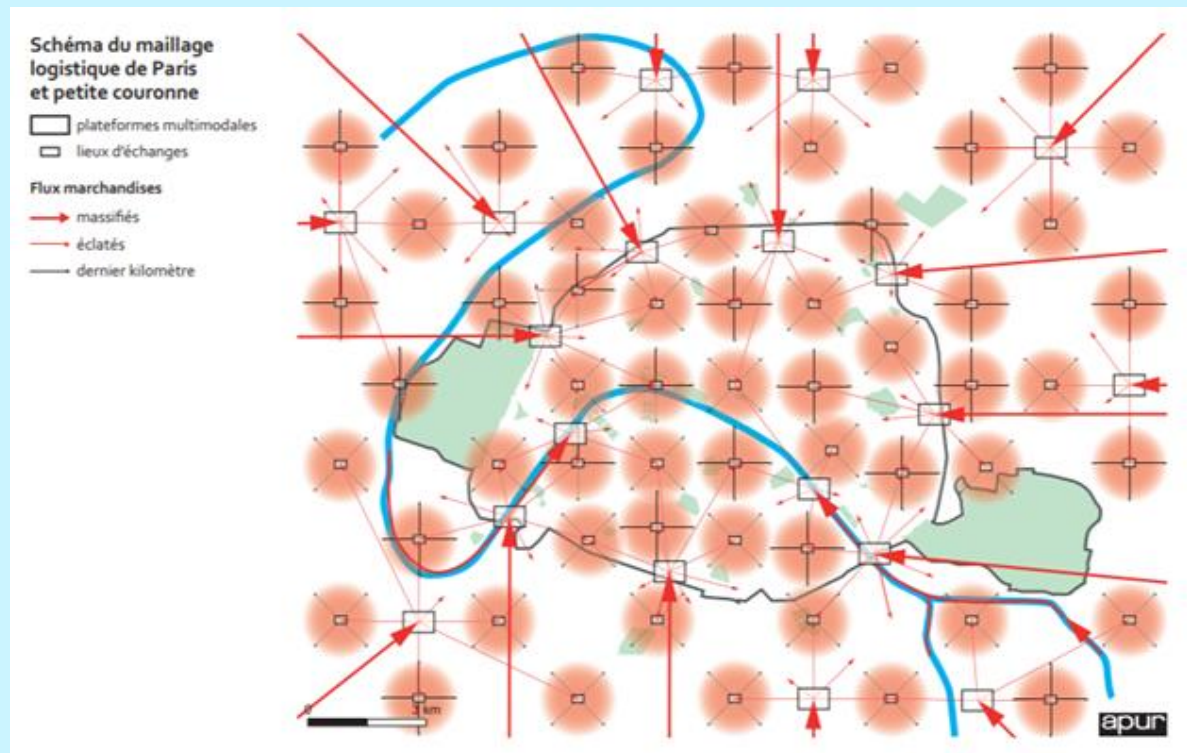
Illustration du fonctionnement d'une plateforme de cross-docking. (Bagnaud, 2018)

- Les lieux d'échange : ce sont des sites de 200 à 3 000 m², destinés aux flux de colis, petites caisses mobiles, équipés d'une zone de stationnement et recharge pour véhicules propres,

locaux sociaux. Ils sont accessibles pour des gabarits de 2,80 m, et à proximité du réseau routier structurant.

- Un réseau dédié à la livraison aux particuliers : il s'agit d'emplacements de quelques dizaines de m², type rez-de-chaussée commerciaux. Ce réseau effectue la gestion des colis pour les particuliers (livraison, expédition,...).

Ce réseau a pour but de favoriser la mutualisation des marchandises et le report modal. La livraison est censée pouvoir se faire depuis ces entrepôts urbains par des véhicules électriques, des véhicules propres (hydrogène ou gaz), des vélos-cargos ou même des livreurs à pied.



Source : (APUR, 2014)

Cependant, ces travaux préparatoires ne figurent pas (encore ?) dans le PLU. (Heitz & Dabanc, 2019)

En plus de ce réseau d'infrastructures, des équipements et services doivent être mis en place pour un fonctionnement d'ensemble qui permette une mutualisation fluide et efficace (Huet & Micheaux, 2020; MTES/PMP/LAET/Logicités/ELV Mobilités, 2018). Par exemple :

- **Un réseau d'espaces de retrait des colis du e-commerce :**
 - Consignes de retrait de colis dans les espaces communs des immeubles adaptés aux besoins ;
 - Consignes multi-acteurs en milieu urbain dense ou dans les principaux espaces de transit (gares, stations de transports en commun, parcs de stationnement, nœuds du réseau cyclable, etc.) ;

- Conciergeries à l'échelle d'un ensemble d'immeubles, permettant notamment⁹² aux particuliers de récupérer sur des horaires larges, les colis qui auront été livrés en leur absence ;
 - Points relais, qui continueront à avoir une grande pertinence en lien avec le commerce de proximité sur de nombreux territoires, mais pourraient rencontrer des difficultés de recrutement dans les milieux urbains denses ou touristiques. Une diversification de ces points relais vers de nouveaux acteurs comme les parcs de stationnement ou les établissements publics pourrait apporter une solution ;
 - En milieu rural, l'activité de point relais pourrait être rapprochée d'autres activités, postales, commerciales voire publiques sous la forme d'espaces multi-services, aidant à maintenir une présence de services publics ;
 - Services de livraison alternative des colis (sur le lieu de travail, de vacances, chez un voisin, etc.).
- La mutualisation des opérations de livraison et collecte dans un quartier. Cette mutualisation sera d'autant plus aisée qu'il existera au sein d'un quartier une mixité des activités permettant de générer à la fois des flux de livraison et de collecte.

2. Passer par le certificat d'effort de décarbonation pour inciter à la mutualisation des flux

Malgré les bénéfices environnementaux théoriques et observés des CMU, et les optimisations qu'ils rendent possibles, de nombreux projets de CMU ont échoué à être rentables. Il faut donc, d'une manière ou d'une autre, **valoriser la mutualisation à la hauteur de ses bénéfices pour la société** (réduction des émissions de GES, mais aussi réduction du trafic dans les centres-villes, réduction du bruit et de la pollution).

Traditionnellement, deux types de *business models* ont été expérimentés, tous deux menant à des surcoûts difficilement acceptés par les acteurs⁹³ (van Heeswijk, Larsen, & Larsen, 2019). Également, des questions de traçabilité et de responsabilité sur les produits apparaissent avec ces *business models*. Enfin, la perte de contact direct entre le fournisseur et le client peut être un problème, par exemple pour certains artisans ou petits commerces (restaurateurs, fleuristes...).

Certaines expériences ont tout de même fonctionné : ainsi, FM Logistic a mis en place des opérations de mutualisation (*pooling*) entre plusieurs marques chargeuses livrant une même zone. Cela permet une réduction des coûts de transport urbain pour elles de 30 % environ, et une réduction des émissions de CO₂ du même ordre.

Ainsi, les réseaux de CMU sont bénéfiques en termes d'émissions de GES mais mal acceptés pour des raisons de coûts à porter par certains acteurs dans les expériences mises en place⁹⁴. Un tel système de mutualisation demande plus de travail humain (manutentions lors des ruptures de charge, gestion

⁹² D'autres services pourront être proposés par ces conciergeries : dépose des clés de son appartement pour permettre l'intervention de techniciens mandatés par l'immeuble, service de blanchisserie, services de proximité...

⁹³ Le premier modèle est la sous-traitance du transport urbain au CMU par les transporteurs. Or, les coûts du DK sont très élevés par rapport au reste du transport, si bien que le prix de cette sous-traitance est vue comme rédhibitoire.

Le second modèle est la commande du récepteur à l'adresse de l'UCC, qui livre ensuite les récepteurs en groupant leurs commandes. Cela permet de faire gagner du temps de réception aux récepteurs, mais le surcoût de cette opération est là aussi rédhibitoire.

⁹⁴ Dans une vision économique de la mutualisation, l'une des clés de la réussite des CMU serait la manière dont les revenus et coûts sont répartis entre les chargeurs, transporteurs, le CMU, les récepteurs et la puissance publique, tout en monétisant les impacts sociaux et environnementaux positifs de la mutualisation. (Allen, Browne, Woodburn, & Leonardi, 2014)

des conciergeries ou des points relais du réseau d'espaces de retraits pour le e-commerce...) et coûte donc plus cher, mais génère des bénéfices collectifs en réduisant les émissions de GES. Il faut alors que la puissance publique mette en place des incitations aux efforts de mutualisation.

En ligne avec le certificat d'effort de décarbonation, les acteurs seront incités **aux pratiques les plus mutualisées possibles pour les chargeurs**, dans des véhicules les plus sobres possibles.

D'autre part, une **incitation à ralentir les flux pour les livraisons aux particuliers** doit être mise en place, par exemple par des nudges⁹⁵ et par une répercussion dans les prix de la difficulté à mutualiser⁹⁶. Un prix progressif avec la vitesse commerciale permettrait par exemple de limiter les livraisons express. La mutualisation demande une rupture de charge, puis une mise en commun pour préparer la tournée de livraison finale. Tout ceci possiblement en remplacement d'un trajet en trace directe. Ces activités prennent un certain temps, qui vient s'ajouter au temps qui était passé dans le transport sans mutualisation. Cela peut ne pas être un problème pour les flux relativement constants dans le temps, mais peut en devenir un pour les livraisons rapides ou express.

3. Utiliser les bons véhicules routiers

Les véhicules utilisés par les différents CMU doivent être adaptés à la taille des flux qu'ils transportent. En effet, il est plus optimal d'un point de vue énergie/carbone d'utiliser le véhicule le plus capacitaire qui puisse être rempli par le flux à transporter, car la consommation unitaire (ramenée à la t.km) des véhicules pleins est favorable aux véhicules les plus capacitaires, exceptée la cyclo-logistique qui est plus efficace que les VUL.

Nous proposons que le certificat "transporteur/commissionnaire" contienne un accompagnement sur le choix de flotte de véhicules afin qu'elle soit la plus efficace possible. Ce choix peut être structurant et stratégique pour les transporteurs/ commissionnaires, impliquant différentes compétences et formations des conducteurs en fonction de la taille des véhicules, et/ou différents choix d'investissements dans les flottes sur le moyen terme.

Nos propositions

- Par l'item sur la mutualisation du certificat « chargeur », les chargeurs seront incités par l'autorité de certification à contribuer, en concertation avec les agglomérations dans lesquels ils expédient, à la formation de réseaux complets de mutualisation et à leur articulation avec la cyclo-logistique
- Par l'item sur l'adaptation des flottes aux flux à transporter de la certification « transporteur/commissionnaire routier », les transporteurs/ commissionnaires seront accompagnés vers une flotte qui optimise la consommation d'ensemble en passant par les véhicules les plus capacitaires ou par la cyclo-logistique dans les situations où elle est adaptée

Articuler les réseaux de mutualisation avec les transports en commun passagers ?

⁹⁵ Quelques retours d'expérience en France et aux US suggèrent que des incitations relativement « faibles » font pencher le consommateur vers des options de livraison plus lentes (position de l'option en tête de liste, contrepartie écologique...)

⁹⁶ Par exemple, faire payer un surplus dépendant du remplissage du véhicule

Il a déjà été envisagé, testé, voire opérationnalisé, en France et ailleurs, d'utiliser les infrastructures des transports publics urbains pour transporter des marchandises vers les centres-villes. Les effets de telles pratiques ne pourront rester que marginaux dans la décarbonation du fret français. Néanmoins, passer par le train ou le tramway passagers là où c'est possible, reste un moyen de réaliser le segment jusqu'à un espace de mutualisation proche du centre-ville de manière décarbonée.

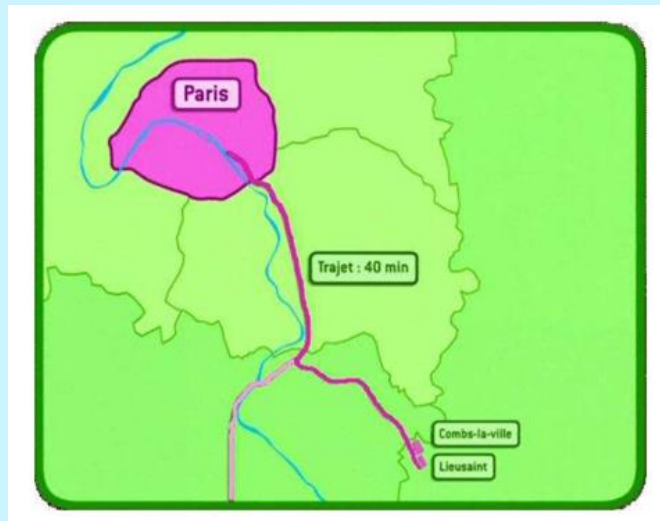
L'usage d'infrastructures ferroviaires passagers pour le fret est réalisé dans la région parisienne. Depuis 2007 Fret SNCF transporte par voie ferrée des marchandises pour la chaîne alimentaire Monoprix, en utilisant les infrastructures de la ligne de RER D. (Marinov et al., 2013)

Le fret a pour origine 2 entrepôts de Monoprix, embranchés fer, situés en dehors de la ville de Paris (à Combs-la-Ville et Lieusaint). La navette ferroviaire de 20 wagons réalise ensuite 1 fois / jour, du lundi au vendredi (5 trains par semaine au total donc), un trajet de 30km (40 minutes) jusqu'à la Gare de Bercy (où 3 700 m² sont utilisés par Monoprix au sein de la Halle Gabriel Lamé), en empruntant les voies de la ligne D du RER (axe Paris-Melun). Le train arrive généralement à Bercy à 20h20 (et repart à 5h du matin pour être rechargé ensuite aux 2 plateformes le soir).

A Bercy, 12 manutentionnaires déchargent la marchandise et la charge sur une vingtaine de camions de 26 t, qui partent à partir de 7h du matin livrer par la route les magasins de la chaîne.

210 000 palettes / 120 000 tonnes de marchandises sont ainsi livrées annuellement à 60 magasins Monoprix implantés Paris intra-muros.

Les marchandises transportées sont notamment des boissons (sans alcool), du textile, des produits de beauté, des produits de maison. Il s'agit en majorité de produits peu pondéreux.



Trajet ferroviaire de 30 km entre les dépôts Monoprix et la Gare de Bercy (source : <http://www.oree.org/docs/groupe-de-travail/transports/monoprix-dossier-de-presse-ferroviaire.pdf>)

Autre exemple : le groupe RATP a conduit un projet nommé « TramFret » qu'il a présenté en 2015 à la COP21. L'objectif du projet était de transporter des marchandises d'un point à un autre au sein de la ville de Saint-Etienne, en faisant rouler des tramways en stock réhabilités et en le faisant circuler entre des services dédiés aux passagers, sur le réseau d'infrastructures existant. (Ozturk & Patrick, 2018)

Le projet visait à réaliser de multiples livraisons par jour de marchandises de tailles variées, en lien avec les besoins des chargeurs urbains. Les tramways sont ici, et comme pour l'exemple de Monoprix-Fret SNCF précédent, dédiés au transport de marchandises (pas de voyageurs pris en

charge). Les marchandises sont chargées et déchargées au niveau des stations de tramway « classiques ».

L'expérimentation a duré 2 semaines, à l'été 2017 (sur juin-juillet). Le tramway livrait des colis à 2 magasins différents.

Ces expériences montrent le potentiel mais également les difficultés associées à ces pratiques.

Elles permettent un transport de fret décarboné, tout en maximisant l'usage d'infrastructures existantes et en prolongeant la vie de matériel roulant légèrement adapté. A ce titre, elles doivent être appliquées là où c'est praticable.

Cependant, les flux de marchandises doivent être planifiés et réguliers, et doivent avoir lieu en dehors des heures de pointe passagers afin de ne pas dégrader le service passagers. Et surtout, leurs origines et destinations doivent se situer assez proche d'arrêts de tramway/ train d'une même ligne, afin de ne pas multiplier les ruptures de charge entre plusieurs lignes. »

Ces limitations sont telles qu'à un niveau national on peut estimer, par exemple pour le tram fret, qu'il ne pourrait pas couvrir plus de 0,01 % du fret⁹⁷.

III. Améliorer les remplissages du e-commerce

Les propositions ci-après visent à jouer sur le facteur « Taux de remplissage » de l'identité de Kaya (voir Figure 1).

Le fret du dernier kilomètre fait face à des problématiques particulières en termes de chargement, notamment en lien avec l'essor du e-commerce. Nous abordons ici quelques pratiques spécifiques du e-commerce qui affectent le bon chargement pour la livraison du dernier kilomètre.

Les **taux d'échecs de livraison** à la première présentation du colis sont en baisse, du fait des efforts effectués (livraisons sur créneaux horaires validés par le client, applications pour changer les horaires...). Ces taux sont assez faibles chez La Poste, de nombreux petits colis sans signature étant déposés directement dans les boîtes aux lettres. Les acteurs privés qui disposent de l'autorisation postale de l'ARCEP comme Colis Privé, bénéficient des mêmes avantages pratiques que la Poste pour livrer, c'est-à-dire la clef des boîtes aux lettres et les badges Vigik permettant d'accéder aux halles d'entrées des immeubles. **Le taux de livraison à la première tentative est de l'ordre de 95 %, et 65 % des colis confiés sont d'une taille permettant d'être livrés en boîte aux lettres.** Les colis dont les dimensions dépassent celles d'une boîte aux lettres normée sont identifiés en amont pour qu'un

⁹⁷ Le calcul d'ordre de grandeur se déroule comme suit. On dénombre environ 80 lignes de tramway en France, dont la longueur moyenne est d'environ 10 km. (Wikipédia, 2021a) Les expériences de tramfret en France ont permis de transporter une dizaine de tonnes de fret par jour. En supposant une amélioration du concept à un débit de 100 t/jr, et en supposant sa généralisation totale à toutes les lignes de tramway françaises, on couvrirait environ 30 Mt.km chaque année, soit moins de 0,01 % des 360 Gt.km transportées annuellement, ou environ 0,2 % du transport du dernier kilomètre.

appel sortant soit fait auprès du client avant le départ en tournée du livreur, pour trouver une solution de livraison avec le destinataire.⁹⁸

Les **taux de retours** sont en augmentation du fait des pratiques commerciales d'essayage à domicile. Ces retours concernent principalement l'habillement et la chaussure, et plus particulièrement le prêt à porter, jeans, vestes en cuir, etc. Plus les produits sont chers, plus les taux de retour sont élevés. Les autres secteurs connaissent des taux de retour faibles.

Le taux de remplissage moyen des camions pour livraisons e-commerce est de l'ordre de 75 %, avec des réalités diverses en fonction des flux et des typologies de produits. Pour le réseau de Colis Privé, c'est le plus souvent le volume maximum du véhicule de livraison sur le dernier kilomètre qui est atteint, pas le poids. En effet, le poids moyen des colis transportés étant bas (inférieur à 5 kg), même avec plus de 100 ou 150 colis dans le véhicule, c'est bien la taille totale, pas le poids total, qui est le facteur limitant.⁹⁹

D'autre part, **la livraison express en 1h**, en plein essor, est associée à des chargements très faibles étant donné la probabilité plus faible qu'un grand nombre de clients aient besoin d'une livraison dans la même zone au même moment.

Une autre tendance forte est **l'explosion du e-commerce de particulier à particulier (C2C)**, notamment sous l'effet des plateformes type Etsy, Vinted, etc. Les chiffres du C2C ne sont pas comptabilisés lorsqu'on parle de e-commerce. Les flux passent majoritairement par La Poste, qui optimise efficacement les aspects emballage, chargement et tournées. Par contre ces flux non professionnels sont associés à de **forts taux d'échecs de livraison**, à des relivraisons, des reprogrammations, etc. dégradant d'autant la performance carbone.

Pour améliorer l'efficacité de la livraison e-commerce, il s'agit donc de poursuivre les bonnes pratiques de réduction des échecs livraison et de les étendre au e-commerce C2C, d'instaurer des pratiques pour limiter les retours et d'inciter à des livraisons moins rapides.

Nos propositions

- Nos propositions relatives à un cadre de certification d'effort de décarbonation inciteront les acteurs à réguler ces pratiques pour améliorer leurs chargements et leur efficacité carbone et énergie
- Les distributeurs de e-commerce doivent afficher les informations environnementales relatives à la livraison, doivent donner un prix séparé aux livraisons rapides, aux retours (sauf pour produits défectueux) et aux échecs de livraison

⁹⁸ données internes Colis Privé

⁹⁹ données internes Colis Privé

IV. Développer la cyclologistique pour le dernier km

A. Potentiels et limitations de la cyclologistique

1. Une évolution rapide des modes légers électriques

La cyclo-logistique peut se définir comme toute activité économique (livraisons, services urbains publics, artisanat...) utilisant des vélos ou vélos cargo (avec 2, 3 ou 4 roues), avec ou sans remorques, avec ou sans assistance électrique.

Il existe une typologie variée de vélo-cargos : biporteurs avec remorque, triporteurs avec containers, quadriporteurs. Le poids transporté peut aller jusqu'à 250 voire 300 à 350 kg selon les modèles. La plupart des vélos cargo électriques possèdent un moteur d'une puissance nominale de 250W, pour une émission inférieure à 10gCO₂/km. (ECLF, Luciano 2017)



Figure 5 : Une typologie de vélos cargos (Sogaris / Université Gustave Eiffel / Poste Immo, 2020)

2. Un mode de transport extrêmement sobre

La cyclo-logistique est très sobre et présente l'avantage d'être très peu émissive en GES et en autres polluants : pour transporter une tonne sur un kilomètre, elle est en ordre de grandeur 10

fois plus sobre que le VUL électrique. Une comparaison des performances énergétiques de vélos cargos à assistance électrique à celles de VUL électriques donne les ordres de grandeur suivants :

	Consommation d'électricité (Wh/tkm)
Vélo cargo	~25
VUL	~250

En vélo cargo à assistance électrique, l'apport musculaire de la personne qui conduit le vélo-cargo n'est pas négligeable. Une personne en condition physique normalement bonne peut ainsi apporter environ 40 % de l'énergie totale du transport¹⁰⁰.

L'autonomie des vélos cargo à assistance électrique dépend de la charge, de la topographie, du nombre d'arrêts et de la capacité de la batterie. Les batteries actuelles permettent déjà une autonomie d'une centaine de kilomètres.

3. Un gisement de réduction des émissions de GES relativement faible à l'échelle du secteur du fret

A l'échelle du fret, la cyclo-logistique ne permet une réduction que marginale des émissions de GES.

Selon des scénarios conservatifs, 8 à 23 % des trajets réalisés en camion(nette) pourraient être transférés sur le vélo-cargo (Rudolph & Gruber, 2017), soit 1 à 4 % des km parcourus par ces camionnettes. (Luciano, 2017)

Cependant, dès lors qu'elle permet de remplacer des VUL, la cyclo-logistique constitue le moyen le plus efficace de décarbonation.

4. Une occupation de l'espace et une vitesse de déplacement des véhicules de la cyclologistique qui ne gênent pas le trafic urbain en 2050

Les livraisons urbaines requièrent aujourd'hui beaucoup d'espace puisqu'elles comptent pour 30 % de l'occupation de la voirie. Ceci est en partie dû aux évolutions de la logistique urbaine et la croissance du e-commerce, qui favorisent la fragmentation des flux ; ainsi, 64 % des chauffeurs-livreurs stationnent en double file dans les rues de Paris pendant les livraisons ou les chargements. (Luciano, 2017)

Les vélos-cargo présentent une faible largeur (moins de 60 cm pour un biporteur), ce qui en fait des véhicules plus maniables, moins encombrants, avec plus d'options de stationnement temporaire pour le dé/chargement dans des espaces publics et privés interstitiels, que les VUL. Tant qu'ils ne sont pas dominants dans la livraison, ce qui est loin d'être le cas actuellement, leurs dimensions leur permettent une circulation plus fluide dans les rues encombrées du centre-ville, même en l'absence de piste cyclable. (ECLF, Luciano 2017)

¹⁰⁰ Elle peut pédaler à une puissance de 75 W pendant 7 heures sans ressentir de fatigue, générant un peu plus de 500 Wh sur une journée de travail. (Tipagornwong & Figliozzi, 2014) La batterie apporte quant à elle de l'ordre de 850 Wh sur la journée de travail.

Dans l'absolu, pour transporter une même quantité de marchandises, la famille des cycles demande un espace de voirie plus grand que les VUL. Une comparaison des performances d'emprise au sol entre la famille des vélo-cargo et les VUL, ramenée à la charge utile donne les ordres de grandeur suivants :

	Emprise au sol par tonne de charge utile (m2/t)	Emprise au sol par m3 de charge utile (m2/m3)
Vélo cargo	~10	~1-10
VUL	~5-10	~0,5-2

Une tonne transportée par vélos cargos occupe de l'ordre de 10 m2 de voirie ; transportée par VUL, elle occupe de l'ordre de 5 à 10 m2. Un m3 de marchandises transporté par vélos cargos occupe de l'ordre de 1 à 10 m2, en fonction de la hauteur de la caisse ou du conteneur des vélos ; transporté par VUL, il occupe environ 0,5 à 2 m2, en fonction de la taille du VUL.

On voit donc qu'une massification de la cyclologistique en remplacement des VUL pourrait mener à une emprise au sol 1 à 5 fois plus grande pour le transport de ces marchandises. Cependant, une massification de cette technologie dans une ville qui resterait par ailleurs la même, bien que générant des congestions, garderait des performances environnementales meilleures que celles des VUL¹⁰¹.

Dans le PTEF en 2050, avec les transformations prévues dans le secteur de la mobilité quotidienne, la cyclologistique s'intégrera de manière fluide aux flux des personnes. Les voitures sont plus petites, et dans l'urbain dense les véhicules individuels majoritaires sont des microvoitures et des vélos, vélos à assistance électrique ou deux-roues électriques légers. Ainsi, l'espace pris pour la circulation des personnes est considérablement réduit, ce qui laisse une place plus grande pour la circulation des marchandises, notamment via la cyclologistique.

5. La cyclologistique permet de décarboner efficacement le transport par petits VUL dans l'urbain dense

La zone de pertinence de la cyclo-logistique est un rayon de 3 à 4 km autour d'un site hyperurbain, donc une zone dense, pour des colis de petite taille, pour une distance totale journalière par véhicule d'une cinquantaine de km.

Les segments de marché pertinents pour les vélo-cargo sont (Rudolph & Gruber, 2017) :

- Les services postaux, pour la livraison de lettres et colis allant jusqu'à 1kg ;
- Les services de colis actuellement effectués par des véhicules de 3,5 à 7,5t ;
- Les services de livraison à domicile provenant de restaurants, de petits détaillants, ou de grandes surfaces¹⁰² ;

¹⁰¹ Les différents impacts de l'usage de vélos-cargo à assistance électrique pour le transport de marchandises dans un petit périmètre urbain, en fonction de la part qu'ils prennent ont été estimés. Pour les scénarios avec une pénétration du vélo-cargo de 20 %, 30 % ou 100 %, les conditions de circulation sont dégradées, avec des ralentissements plus longs pour tous les types de véhicules. Ces conditions dégradent un peu la performance environnementale de ces scénarios, mais au second ordre seulement : les avantages découlant du remplacement des véhicules de transport de marchandises sont plus importants. (Melo & Baptista, 2017)

¹⁰² Par exemple le magasin IKEA de Hambourg-Altona fait appel à la cyclologistique pour certaines de ses livraisons.

- Le transport interne à une organisation, sur site, de marchandises ou d'outils ;
- Les déplacements de services effectués par des prestataires de services (plombiers...).

Le réapprovisionnement pour de petites boutiques de vente au détail dans les centres historiques, là où l'accessibilité est moindre pour les VUL, serait également un segment pertinent pour la cyclo-logistique. Une partie plus ou moins grande de ces segments est déjà couverte par la cyclo-logistique selon les villes¹⁰³.

Il n'est pas pertinent de remplacer toutes les livraisons par de la cyclo-logistique : chaque type de véhicules a sa zone de pertinence. Le ré-aprovisionnement de commerces de centre-ville au-delà de quelques palettes en flux diffus ne paraît pas aujourd'hui faisable par vélo-cargo. A fortiori, l'approvisionnement des lieux à forte demande comme les centres commerciaux n'est pas envisageable en vélo-cargo. (Assmann, Müller, Bobeth, & Baum, 2019) En effet, la charge utile et la capacité de volume d'un vélo-cargo sont limitées¹⁰⁴. Les marchandises ne peuvent pas être livrées par un vélo-cargo si le poids ou le volume de la cargaison dépassent la capacité du tricycle. En outre, son rayon d'action est limité comparé à un VUL ou un PL. Le transport de marchandises en température dirigée via cyclo-logistique semble aussi compliqué, notamment en raison des normes à respecter sur la chaîne du froid.

Pour des raisons de rayon d'action, la plage de pertinence de la cyclo-logistique dépend de la vitesse maximale d'assistance électrique, aujourd'hui limitée à 25 km/h et de la puissance maximale d'assistance, aujourd'hui limitée à 250 W. On pourrait imaginer une augmentation de ces valeurs à 30 km/h et 1 kW pour une nouvelle classe de véhicules qui seraient réservés aux possesseurs d'un permis de les conduire. De tels véhicules resteraient très sobres par rapport aux VUL et permettraient de remplacer les VUL sur une plus grande gamme d'usages.

6. La cyclo-logistique s'articule particulièrement efficacement avec les réseaux de mutualisation

La cyclo-logistique s'articule particulièrement efficacement avec les réseaux d'espaces logistiques de proximité décrits dans la section *Développer un réseau de sites de mutualisation urbains*. Dans les zones très denses comme le cœur des grandes agglomérations, un réseau d'espaces dont le but serait la livraison de la zone de chalandises alentour serait disponible, desquels partiraient des véhicules de taille différente dont des cycles.

Il n'est pas possible de remplacer directement un véhicule à moteur par un vélo-cargo en raison du nombre d'envois par tournée, et ce particulièrement pour le segment de marché des services de colis. Une manutention supplémentaire des marchandises est nécessaire, par exemple via un micro-dépôt en centre-ville, ou un dépôt mobile. Cette nécessité peut être considérée comme un obstacle opérationnel,

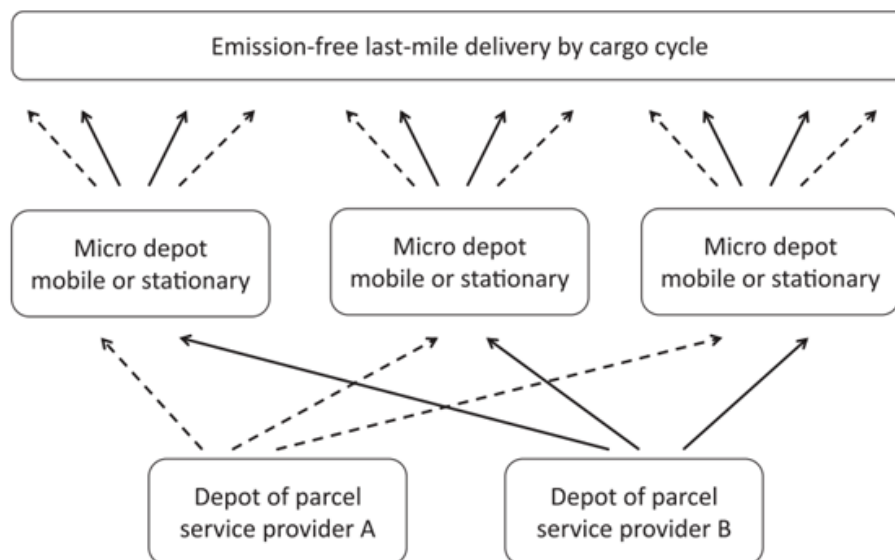
¹⁰³ Les services postaux, de colis et services express (CEP) sont déjà surreprésentés parmi les compagnies ayant recours à la cyclo-logistique. D'autres secteurs transportent des marchandises de cette façon dans la restauration, le commerce de détail, voire l'artisanat ou les services municipaux. (Rudolph & Gruber, 2017)

Le modèle péniche puis vélo-cargo d'ULS à Strasbourg livre boissons, sacs de farine, colis et cartons recyclables dans de grosses remorques. (Le Parisien, 2021). Une étude en Italie indique que les produits livrés en vélos-cargo étaient souvent de l'alimentaire, des produits de boulangerie et d'épicerie, des boissons, des fournitures de bureau, des produits électroniques, produits du quotidien et pharmaceutiques. (Tipagornwong & Figliozzi, 2014)

¹⁰⁴ Le transport de grandes et/ou lourdes marchandises, telles que le gros électroménager, semble pour l'instant difficile en cyclo-logistique. Néanmoins, certains acteurs font appel à de la cyclo-logistique pour de la livraison à valeur ajoutée, allant de 3 à 5 % de leur livraison, et comprenant l'installation du matériel.

qui engendre un besoin d'espaces logistiques supplémentaires à proximité du centre-ville et des coûts accrus de transbordements. (Rudolph & Gruber, 2017)

Le développement de la cyclo-logistique pour les livraisons du dernier km doit être pensé dans son potentiel de complémentarité avec d'autres modes. Il s'agit alors de massifier en amont l'arrivée des marchandises en ville, par VUL/PL électriques ou encore via des péniches entrepôt flottantes, pour qu'en aval les vélo-cargos livrent les marchandises. L'espace logistique de proximité joue l'interface entre les modes¹⁰⁵. La portée maximale pour la cyclo-logistique entre cet espace et le lieu de livraison est estimée entre 3 et 4 km.c



Source : (Rudolph & Gruber, 2017)

B. Développer la cyclologistique

Il existe différentes mesures et divers outils pour favoriser une adoption efficace de la cyclo-logistique dans les villes. Les propositions ci-après visent à jouer sur les facteurs « Efficacité Énergétique » et « Intensité Carbone » de l'identité de Kaya (voir Figure 1), en considérant la cyclologistique comme faisant partie du mode routier.

Nos propositions

- Afin d'obtenir le certificat "chargeur", les chargeurs qui distribuent en zone urbaine dense doivent adopter le transport par cyclo-logistique en passant par le réseau de mutualisation existant, dès lors que celui-ci est mis en place. Dans leur effort de mutualisation, ils contribuent à la mise en place de ce réseau
- Afin d'obtenir le certificat "transporteur/ commissionnaire", les acteurs concernés doivent adapter la taille de leur flotte à la demande. Ainsi, des acteurs spécialisés dans la logistique de proximité, associés aux espaces logistiques de proximité, pourraient voir le jour et obtenir facilement leur certificat via une flotte contenant une majorité de cycles

¹⁰⁵ Ces espaces peuvent prendre des formes diverses en fonction des disponibilités de foncier. Pour une illustration de cette diversité, voir le rapport (Assmann, Müller, Bobeth, & Baum, 2019).

- Inclure les questions de foncier pour la logistique et la cyclologistique dans les politiques locales, par exemple via les PLU. Dans le cas de la cyclologistique, intégrer les besoins de douches proches des espaces logistiques de proximité pour les livreurs à vélo
- Inclure dans les politiques locales les questions de partage de l'espace public entre les différents types de véhicules qui circuleront dans l'urbain au cours de la transformation de l'économie, et y consacrer un budget suffisant
- Harmoniser les vitesses de circulation entre les véhicules qui partagent un même espace. Par exemple, la vitesse maximale autorisée sur les voiries partagées par la cyclologistique et des modes plus lourds ne doit pas dépasser 30 km/h
- Afin d'étendre la gamme d'usage de la cyclologistique, une nouvelle catégorie de véhicule pourrait être créée en augmentant la vitesse maximale d'assistance électrique à 30 km/h, et la puissance maximale à 1kW pour les cycles dédiés au fret et conduit par des professionnels.

V. Massifier l'écoconduite pour les VUL

Les propositions ci-après visent à jouer sur le facteur « Efficacité Énergétique » de l'identité de Kaya (voir Figure 1).

Les VUL sont utilisés aussi bien pour effectuer du transport (et de la livraison) de marchandises en zone urbaine et sur de longues distances. C'est cependant plutôt sur les segments urbains/périurbains que l'écoconduite a le plus d'effets, de par la fréquence plus élevée des phases d'accélération et de décélération dans ces zones.

Sur un plan opérationnel, il est nécessaire de rendre la formation aux techniques de l'écoconduite obligatoire pour tous les opérateurs de transport routier, quel que soit le vecteur énergétique ou le type de trajet (long ou court). En effet, d'une part les économies de carburant obtenues grâce à ce type de formation concernant à la fois les véhicules légers et les véhicules lourds - les estimations sont de l'ordre de 8 % pour les poids lourds et 15 % pour les véhicules légers. (Nouvelle Route, 2021) D'autre part, pour tirer tout le bénéfice de l'électrification massive des VUL, il faut être formé et savoir adopter le style de conduite pertinent au vecteur électrique.

Un effet positif à court terme sera de réduire la consommation des énergies fossiles, et plus largement pendant la transition, une formation écoconduite spécifique aux véhicules utilitaires électriques pourra, par exemple, insister sur l'importance d'utiliser le frein moteur pour générer de l'énergie - on augmente facilement de 10 % l'autonomie grâce à l'énergie générée de cette manière. (Automobile Propre, 2021) Il pourrait même y avoir des modules dédiés à la livraison en VUL électriques dans les centres urbains denses - comment profiter de la caractéristique "*stop and start*" de la tournée pour optimiser l'autonomie de la batterie, comment préserver la durée de vie de la batterie etc.

Il s'agit donc d'instaurer cette formation obligatoire pour tous les nouveaux entrants dans le secteur, et il faut également prévoir un programme permettant de former tous les acteurs pertinents qui sont déjà en poste dans le secteur. Ces formations devront être récurrentes pendant la carrière des chauffeurs du secteur, pour que les bons réflexes ne se perdent pas, et que les mauvaises ou vieilles habitudes ne reviennent pas.

Nos propositions

- Un plan de formation à l'écoconduite et de rappel devra être mis en place et suivi par les transporteurs/commissionnaires pour obtenir leur certificat d'effort à la décarbonation
- Le suivi de l'application de l'écoconduite est fait par les modules de télématiques, qui disposent déjà de tels critères (ex. suivi des accélérations et freinages brusques)
- De plus, cet item pourrait devenir un thème obligatoire dans les rapports RSE, les Déclarations Extra Financières, les plateformes institutionnelles comme Impact¹⁰⁶ et faire partie des KPI sociaux/RH obligatoires, comme le sont l'index d'égalité ou le taux d'emploi de personnes en situation de handicap aujourd'hui par exemple, dans un bilan social

VI. Électrifier les VUL

Les propositions ci-après visent à jouer sur le facteur « Intensité Carbone » de l'identité de Kaya (voir Figure 1).

Au niveau des véhicules, il est techniquement possible dès aujourd'hui de passer quasiment tous les VUL en électrique. L'autonomie est aujourd'hui d'environ 300 km pour des VUL¹⁰⁷ de 6m3. Cela est suffisant pour la grande majorité des usages.

A noter que certains segments comme la température dirigée ou le froid négatif ne sont pas possibles aujourd'hui sur des grandes tournées régionales comme celle opérées par les enseignes de livraison de produits surgelés, mais cela devrait le devenir rapidement avec l'amélioration de la techno des batteries et/ou les technologies alternatives (ammoniaque) pour générer le froid sans pénaliser l'autonomie du véhicule.

L'électrification massive et rapide du parc de VUL requiert une coordination des usagers de ces véhicules, des constructeurs, et des infrastructures permettant leur bonne circulation. Ainsi, les transporteurs doivent être incités à convertir leur flotte, les constructeurs doivent monter en capacité de production de véhicules électriques, et les infrastructures de recharge doivent se mettre en place au rythme adéquat.

90 % des recharges électriques sont faites aujourd'hui sur un site privé - domicile ou entreprise (selon Chargemaps), donc il faut disposer d'un site propre pour recharger. Les chauffeurs livreurs et artisans qui disposent d'un seul et même véhicule pour les usages professionnels et personnels ne vivent pas tous dans les logements individuels avec parking privatif, où l'accès à l'énergie est la plus simple, le cas échéant avec installation d'une borne de recharge accélérée. La Commission Européenne travaille à un projet de Règlement sur le déploiement des infrastructures publiques de recharge à destination des voitures et VUL. Il s'agirait d'asservir l'infrastructure au nombre de véhicules immatriculés dans les pays membres, et d'harmoniser les connexions physiques, les échanges de données entre acteurs, les tarifications et les modes de paiement¹⁰⁸. (Transport & Environment, 2021a)

¹⁰⁶ <https://www.impact.gouv.fr/>

¹⁰⁷ Comme les nouveaux modèles du groupe Stellantis (essais menés par Colis Privé)

¹⁰⁸ Le réseau public de recharge se densifie, mais les procédures et la tarification sont complexes et peuvent être obscures. Il faut disposer d'au moins une carte de recharge car il est souvent impossible de payer en carte bleue. (WebLex, 2020) Pour disposer d'une carte de recharge, il faut souvent généralement s'abonner pour bénéficier d'un tarif intéressant, et les cartes proposées actuellement ne permettent pas un accès universel aux bornes installées sur le réseau public. (Chargemap, 2021) En plus des cartes nationales, s'ajoutent les cartes régionales émises par les régions ou les métropoles (voir par exemple <https://www.evzen.com/larecharge> pour la métropole Aix-Marseille-Provence). Enfin, les modes de tarifications sont hétérogènes et ne facilitent pas le calcul en amont du coût d'un plein.

Nos propositions

- Afin d'obtenir leur certificat d'effort de décarbonation, les transporteurs et commissionnaires de transport opérant des VUL devront très rapidement passer leur flotte à l'électrique pour pouvoir continuer à opérer. Des aides pourront être allouées pour les acteurs dont la situation le justifie aux yeux de l'autorité.
- Afin d'obtenir leur certificat, les chargeurs devront passer dès que possible par des transporteurs ou commissionnaires proposant l'électrique.
- Des obligations de produire une part de plus en plus grande de VUL électriques doivent être mises en place pour les constructeurs. Cela peut passer par des normes d'émissions CO₂ plus contraignantes au niveau européen via la réglementation CAFE (Corporate Average Fuel Economy). (Transport & Environment, 2021b)
- Le réseau de recharge électrique sur l'espace public doit être développé, notamment en concertation avec les acteurs du fret pour tenir compte de leurs besoins, et l'accès au service doit être simple et unifié sur le territoire français (ou encore mieux, européen), via un travail avec l'ensemble des parties prenantes.

Nos propositions transversales pour le dernier kilomètre

- Le certificat d'effort de décarbonation permet d'accompagner les acteurs du transport sur le dernier kilomètre dans leur contribution à la transformation de l'économie.
- En articulation avec le certificat, les zones à faibles émissions (ZFE) doivent devenir des zones accessibles seulement aux transporteurs disposant d'un macaron assurant qu'ils ont obtenu leur certificat d'effort de décarbonation et qu'ils ne travaillent qu'avec des chargeurs l'ayant également obtenu. Une autorité de l'agglomération délivre annuellement ces macarons aux transporteurs.
- L'agglomération peut bien sûr y ajouter des règles spécifiques supplémentaires, concernant les véhicules par exemple (bruit, émissions spécifiques...).

05

**UNE GOUVERNANCE
DU FRET ORIENTÉE
VERS LA
DÉCARBONATION**



Une gouvernance du fret orientée vers la décarbonation

I. La gouvernance actuelle du transport de marchandises et de la logistique

Il existe un cadre juridique d'ensemble et des compétences territoriales partagées entre les collectivités territoriales. Néanmoins, ce cadre ne permet pas une planification satisfaisante des activités logistiques. (France Stratégie/ CGEDD/ IGF, 2021)

La région est compétente en termes d'aménagement du territoire, du développement économique et du transport. Le département est en charge des routes, tandis que les communes et les intercommunalités gèrent l'urbanisme, le transport, la politique du commerce et l'immobilier économique. (France Stratégie/ CGEDD/ IGF, 2021)

L'échelon régional a vu son rôle de planificateur stratégique renforcé via le schéma régional d'aménagement de développement durable et d'égalité des territoires (SRADDET). Par ce schéma, la région prévoit des objectifs « de logistique et de développement des transports de personnes et de marchandises » que doivent respecter les schémas de cohérence territoriale (SCoT) et plans locaux d'urbanisme (PLU) du territoire. (France Stratégie/ CGEDD/ IGF, 2021)

Au niveau des groupements de communes (bassin de vie), le SCoT peut notamment prévoir les conditions du développement ou du maintien de la logistique commerciale de proximité dans les centralités urbaines ; déterminer les conditions de constructions logistiques commerciales ou encore soumettre l'implantation d'une construction logistique à certaines conditions. (France Stratégie/ CGEDD/ IGF, 2021)

Au niveau communal et intercommunal, le PLU exprime la vision à long terme du territoire (inter)communal et détermine la vocation des espaces du territoire. (Heitz & Dablanc, 2019) Il peut ainsi définir des secteurs pour lesquels il est nécessaire de préserver ou de développer des infrastructures et équipements logistiques, dans le périmètre des zones urbaines ou à urbaniser. (France Stratégie/ CGEDD/ IGF, 2021)

Toutefois, il apparaît que “le cadre réglementaire ainsi construit n'est pas contraignant et se limite à ouvrir des possibilités” (France Stratégie/ CGEDD/ IGF, 2021). Ainsi, certaines communes voisines peuvent participer au “mitage” logistique en créant des zones logistiques concurrentes, qui nécessitent chacune des investissements d'infrastructures. Des grands entrepôts s'installent hors de zones logistiques prévues à cet effet. Si des possibilités d'embranchement avec le rail ou la voie d'eau existent, elles ne sont pas toujours utilisées. Enfin, la création d'entrepôts urbains est ardue, bien qu'ils permettraient d'éviter des flux en zones denses (France Stratégie/ CGEDD/ IGF, 2021). En pratique, la planification et le développement de la logistique urbaine sont mal appréhendés dans la plupart des villes. (Heitz & Dablanc, 2019)

La mission pour un développement durable du commerce en ligne et des entrepôts logistiques souligne, en matière d'aménagement logistique, que l'intermodalité est peu prise en compte dans les transports,

avec une domination du mode routier et ses conséquences (émissions de GES, pollutions, congestion)¹⁰⁹. Les rares entrepôts existants embranchés au réseau ferroviaire ou aux voies d'eau n'utilisent pas forcément ces modes "pour des raisons de coût et de souplesse d'utilisation" (France Stratégie/ CGEDD/ IGF, 2021).

Penser l'implantation de l'immobilier logistique pour limiter le besoin d'espace au sol

Ces 30 dernières années, la tendance a été à la hausse du nombre d'entrepôts dans les grandes agglomérations. Cette augmentation est attribuée à trois facteurs :

- L'externalisation de la logistique a vu les activités d'entreposage (auparavant effectuées dans le cadre des activités de production ou de distribution) confiées à des prestataires de services logistiques, qui disposent donc de leurs propres entrepôts et hubs. Cependant, les entreprises productrices et de distribution possèdent parfois une installation spécifique pour l'entreposage et la logistique, ce qui augmente mécaniquement le nombre d'entrepôts.
- La mondialisation des échanges a eu un impact matériel sur les activités logistiques métropolitaines. Cette économie mondialisée nécessite la mise en œuvre de chaînes logistiques complexes. « Les activités de stockage traditionnel ont diminué, avec la réduction des temps moyens d'entreposage, mais on a assisté à un accroissement concomitant du nombre de centres de distribution, toujours appelés par commodité des entrepôts, mais qui jouent le rôle de hubs, commutateurs des flux à plusieurs échelles spatiales ». (Béchet, Le Bissonnais, Ruas, & Aguilera, 2017)
- Le développement de nouvelles consommations urbaines, notamment favorisées par le développement du e-commerce, propose des services de livraisons le jour même, voire en quelques heures. Pour ce faire, les entreprises ont besoin d'entrepôts à proximité des grandes agglomérations. (Béchet et al., 2017)

Les pratiques du « zéro-stock » sont largement répandues tout au long de la chaîne de production. Elles permettent de réduire le temps de l'immobilisation matérielle des marchandises transportées tout en réduisant les coûts de stockage. Dans les magasins des grandes villes, les pratiques de « *just-in-time* » ont par exemple engendré moins de réserves, mais des stocks déportés aux alentours.

Ainsi, une économie fondée sur les principes logistiques de « zéro-stock » et de « juste à temps » se concrétise par un nombre de plus en plus important de bâtiments logistiques ; et ces entrepôts sont de plus en plus polarisés dans les grandes agglomérations urbaines, là où le foncier n'est certainement pas le moins cher, ce qui participe à une dynamique d'étalement urbain. (Béchet et al., 2017)

L'intérêt d'une gouvernance efficace de ces activités se fait donc ressentir, afin d'éviter l'accroissement des distances parcourues par les marchandises, mais aussi l'étalement logistique qui engendre une empreinte foncière croissante et une artificialisation des sols périurbains.

¹⁰⁹ Elle souligne d'autre part que les zones logistiques sont faiblement densifiées, avec des entrepôts dont l'implantation n'est pas coordonnée, qui se placent à proximité d'échangeurs routiers. De ce fait, ces entrepôts éparpillés ne disposent pas de transports mutualisés pour les salariés, qui doivent alors s'y rendre en VP. Cette dynamique porte aussi atteinte aux paysages et participe de l'artificialisation des sols.

Enfin, les friches sont difficilement réutilisables, ce qui est problématique dans un contexte de besoin croissant d'espace pour les opérateurs logistiques. Selon la mission, la difficulté de réutilisation des friches provient notamment de l'obsolescence des entrepôts du fait des évolutions techniques et normatives, de la rotation des baux commerciaux qui peuvent réduire la visibilité des investisseurs ainsi que de la hausse prévisible du nombre de friches commerciales (du fait de la crise économique et de la tendance à la réduction des zones commerciales).

Quelques pistes de mesures, appliquées aux échelons pertinents, pourraient permettre d'encadrer ces dynamiques :

- Promouvoir la densification, via les outils urbanistiques et réglementaires à disposition. Concrètement, une densification des activités logistiques peut passer par l'incitation au regroupement physique des installations logistiques (« clusterisation »). Cela peut aussi passer par un assouplissement de certaines réglementations sur l'architecture logistique, afin de permettre des bâtiments à étages.
- Développer des dispositifs fiscaux afin de dissuader l'artificialisation des sols, à l'instar de la taxe¹¹⁰ visant à lutter contre la spéculation sur le foncier agricole.
- Promouvoir la réhabilitation des friches logistiques, par exemple en les réutilisant pour d'autres activités logistiques.

II. Vers une planification stratégique du transport de marchandises et de la logistique

La gouvernance du transport de marchandises et de la logistique doit être abordée à toutes les échelles. Au niveau national, elle permettrait de fixer les grandes orientations stratégiques, en accord avec les objectifs de l'accord de Paris. L'organisation des grands flux logistiques pourrait être renforcée au niveau régional, puis plus localement au niveau des bassins de vie.

A. Échelon national

Le transport de marchandises et la logistique concernent à la fois le transport (ferroviaire, fluvial et routier) et des considérations d'aménagement du territoire et urbanistique. “Le secteur transport-logistique hors voyageurs représente plus de 7 % du Produit intérieur brut. Il emploie 900 000 personnes, soit près de 5 % des emplois non marchands, essentiellement dans les transports routiers et la logistique” (France Stratégie/ CGEDD/ IGF, 2021).

Nous proposons de **créer un ministère du transport de marchandises et de la logistique**, ou a minima un secrétariat d'Etat à la logistique. Ce nouvel échelon ministériel aurait pour fonction de fixer les grandes orientations stratégiques du secteur du transport de marchandises et de la logistique afin de planifier leur décarbonation rapide, en cohérence avec les évolutions des autres secteurs de l'économie.

La vision stratégique nationale pour la décarbonation du secteur pourrait par exemple être définie dans des **plans nationaux de décarbonation du fret**.

Ces plans s'inscriraient **dans le cadre plus global de la transformation d'ensemble de l'économie**, dont le rôle serait d'assurer le bon rythme de la transformation dans l'ensemble des secteurs,

¹¹⁰ Taxe sur la plus-value immobilière assise sur la cession de terrains nus rendus constructibles (CGI, art. 1605 nonies, créé par l'article 55 de la loi n° 2010-874 du 27 juillet 2010 de modernisation de l'agriculture et de la pêche)

garantissant l'absence d'effets rebonds, c'est-à-dire, pour le fret, la réduction de la demande malgré les améliorations d'efficacité du fret.

Ces plans permettraient notamment de définir les objectifs nationaux de reports modaux, de mutualisation des flux, d'efficacité énergétique, de transformation des flottes de véhicules et de réduction des émissions de GES pour le secteur. Ils seraient également l'occasion de réunir les parties prenantes du transport de marchandises et de la logistique afin de co-construire un programme cohérent et efficace de décarbonation (gestionnaires d'infrastructures, chargeurs, transporteurs, constructeurs de matériel de transport...).

Ce ministère aurait également pour tâche de définir les indicateurs pertinents à suivre pour s'assurer de la bonne gouvernance du secteur ainsi que du bon avancement de sa transformation vers la décarbonation.

Il conviendrait par ailleurs d'inscrire dans la loi une **mesure sur la remontée de données, afin que chaque échelon territorial ait connaissance des flux logistiques qui les traversent**. A chaque échelon pertinent, la puissance publique émettrait une liste des exigences quant à la nature des données à fournir par les acteurs de la logistique et du transport de marchandises, nécessaires au bon pilotage de ces activités sur son territoire¹¹¹. Les modalités d'application de cette mesure seront à définir à ce moment.

B. Échelon régional

La région est un échelon pertinent pour planifier le transport de marchandises et la logistique. En effet, les grands axes logistiques sont visibles à cette échelle. Une gouvernance cohérente nécessite également une **coordination interrégionale** (France Stratégie/ CGEDD/ IGF, 2021).

Comme vu précédemment, c'est au niveau régional qu'est défini le SRADDET. Nous proposons que ses prérogatives soient renforcées, notamment dans l'objectif de **rendre plus prescriptives les délimitations de clusters de parcs logistiques**. De cette manière, la région générerait l'implantation de dépôts en barycentre de flux, proche d'embranchements rail et/ou fleuve. Les grands entrepôts seraient ainsi concentrés autour de quelques grands sites, ne participant plus à une dynamique de mitage territorial, et favorisant l'usage des modes efficaces en termes d'énergie.

La mission pour un développement durable du commerce en ligne et des entrepôts logistiques affirme que les SRADDET ne seront efficaces que s'ils se fondent sur un **diagnostic partagé, entre la puissance publique et les acteurs du fret, des enjeux territorialisés de la logistique**. Les implantations devraient être établies dans une dynamique de cohérence afin d'éviter "la concurrence territoriale, la consommation de foncier, l'étalement le long des axes routiers, conserver et promouvoir les opportunités de report modal". Des études prospectives regroupant l'ensemble des acteurs devront être lancées pour accompagner les prises de décision long-terme sur ces implantations. (Contexte, 2021a) Les acteurs du transport devront y participer et être moteurs dans le choix d'implantations permettant les reports modaux, afin de répondre aux exigences de la certification d'effort de décarbonation.

Cette mission suggère que dans l'attente de la révision des SRADDET, l'installation de nouveaux entrepôts soit soumise à agrément préalable, en concertation avec les parties prenantes. L'objectif ici visé serait de renforcer la capacité des pouvoirs publics à faire prévaloir des considérations d'intérêt général, notamment d'ordre environnemental (France Stratégie/ CGEDD/ IGF, 2021).

¹¹¹ Le rapport "Fret, rail et performance logistique des territoires" propose de mettre en place une remontée systématique d'informations en temps réel sur les origines et destinations des flux, les modes utilisés, les types de marchandises, la consommation énergétique, et l'empreinte carbone associée. Des informations sur les infrastructures disponibles, notamment les nouvelles infrastructures intermodales, devraient aussi être collectées et partagées.

La région pourra **rassembler régulièrement les acteurs territoriaux de la logistique pour détecter les opportunités de mutualisation amont et/ou aval** et d'amélioration du remplissage moyen des véhicules, notamment en développant des centres de routage collaboratif si cela est jugé pertinent par les acteurs et la force publique. Les **opportunités de reports modaux** pourront être abordées en fonction des évolutions d'infrastructures et de services dans la région (pôles intermodaux, nouveaux services ferroviaires, ERS...). Pour les acteurs du transport, la participation à ces initiatives sera obligatoire pour répondre aux exigences de certification d'effort de décarbonation.

Il peut également être pertinent de relâcher certaines réglementations afin d'autoriser la construction de sites logistiques en hauteur, sur le modèle asiatique, pour gagner en foncier.

Enfin, il est **nécessaire que les régions aient suffisamment de financement pour remplir les fonctions qui leur incombent**. Par exemple, la gestion des petites lignes ferroviaires est désormais dépendante de l'implication des régions. Les conditions de leur maintien supposent donc des financements.

C. Échelon inter/communal

Comme indiqué précédemment, le SCoT est un document d'urbanisme à l'échelle intercommunale. Le SCoT doit décliner les orientations du SRADDET, en définissant plus précisément les zones ou espaces logistiques (France Stratégie/ CGEDD/ IGF, 2021). Le SCoT pourrait lui aussi devenir plus prescriptif sur les obligations d'implantation de sites logistiques, en accord avec le SRADDET.

Au niveau du bassin de vie, le **renforcement des zones à faibles émissions en une zone dans laquelle seuls les transporteurs habilités peuvent circuler**, sous condition minimale de possession du certificat d'effort de décarbonation et de ne travailler qu'avec des chargeurs le possédant aussi. Le respect de ces zones à faibles émissions de GES à la tonne transportée pourrait être assuré par divers moyens, par exemple l'obtention de puces embarquées certifiant de l'habilitation à circuler dans la zone, contrôlées par des détecteurs en entrée de zone, ou le déploiement de caméras de contrôle.

Il serait également pertinent d'introduire systématiquement des clauses dans les PLUs pour la **réintroduction de l'activité logistique dans les milieux urbains denses** : mise place d'un réseau de mutualisation, d'espaces de livraison, de foncier pour la livraison par les VUL ou cycles, règles d'arbitrage sur l'espace dédié à la circulation des véhicules en fonction de leur taille (cycles « simples » pour les personnes, « cycles pour le fret », voitures ou plus gros).

De la même manière, afin de favoriser les modes décarbonés pour l'entrée des marchandises dans l'urbain dense, il serait pertinent de rendre systématique l'étude de faisabilité du transport ferroviaire ou fluvial. Pour ce dernier mode, cela concernerait notamment les chantiers.

Pour les agglomérations suffisamment denses, l'intercommunalité devra animer l'écosystème des acteurs de transport afin de favoriser la **concertation quant à la mise en place de nouveaux services de mutualisation et de cyclo-logistique** qui répondent effectivement aux besoins de transport.

De manière globale, l'intercommunalité pourrait veiller à la bonne prise en compte de la mobilité des marchandises dès la conception de réseaux, à la bonne intégration du volet marchandises dans les réflexions stratégiques sur la mobilité et dans les documents réglementaires associés. Il est également envisageable d'intégrer un volet marchandises dans les délégations de services publics des transports publics ou encore d'expérimenter des solutions avec des opérateurs de transports publics et des transporteurs (MTES/PMP/LAET/Logicités/ELV Mobilités, 2018).

D. Développement des Autorités Organisatrices du Fret (AOF)

La révision de 2019 de la loi d'orientation des mobilités (ou LOM) introduit la possibilité pour les autorités organisatrices de la mobilité (AOM) de s'emparer des compétences en termes de transport de marchandises¹¹². Les AOM se sont peu emparées de cette compétence, qui est optionnelle puisqu'elle est principalement laissée aux mains du privé, sauf inexistence, insuffisance ou inadaptation de l'offre.

Développer une gouvernance locale du fret consiste justement à revenir sur ce caractère facultatif, afin d'intégrer le transport des marchandises comme une composante à part entière de la mobilité et pour réduire l'impact environnemental des livraisons urbaines.

L'AOF aura donc la compétence d'organiser le transport de marchandises et de logistique, et ce même si l'offre privée ne fait pas défaut. Elle respectera les différents plans du transport de fret et de logistique établis pour son territoire. L'AOF se placerait au même échelon que l'AOM, elle peut être régionale si la région est AOM.

Les prérogatives de l'AOF seraient notamment de **rassembler régulièrement les acteurs territoriaux de la logistique** pour co-construire des stratégies de mutualisation amont et aval, d'augmentation des remplissages moyens, de reports modaux, de développement de la cyclo-logistique.

L'AOF encouragerait le **développement d'outils logistiques**, par exemple les écosystèmes des centres de mutualisation urbain, les hôtels logistiques, et toute autre initiative locale en faveur de la décarbonation des activités du transport de fret.

Comme indiqué précédemment, une mesure cadre sur la remontée des données du transport de marchandises et de la logistique serait votée au niveau national. Les AOF seraient responsables **d'organiser cette remontée de données avec les entreprises**, puis de remonter ces données aux échelons supérieurs de l'Etat.

Enfin, les AOF devront être soutenues financièrement et durablement afin de remplir les prérogatives qui leur incombent.

Quel(s) rôle(s) pour l'échelon européen ?

Le PTEF s'adresse essentiellement au débat sur la transition énergétique en France. Cependant, l'Union Européenne dispose de certains leviers utiles à la transformation du transport de marchandises :

- Norme d'émissions CO2 des véhicules de transport de marchandises mis en vente (dite « CAFE ») ;
- Taxation à l'usage des PL (par une « Eurovignette »), qui pourrait intégrer des critères environnementaux (notamment un prix du carbone) ;
- Standardisation et déploiement des infrastructures de recharge (l'autoroute électrique n'étant actuellement pas considérée par l'UE comme une infrastructure à développer) ;
- Interopérabilité des infrastructures ferroviaires et fluviales entre les pays membres (via le Trans-European Network Transport) ;
- Aide au transport combiné pour favoriser le rail et le fleuve (Directive transport combiné).

¹¹² Le texte indique que l'AOM peut « organiser ou contribuer au développement des services de transport de marchandises et de logistique urbaine, en cas d'inexistence, d'insuffisance ou d'inadaptation de l'offre privée, afin de réduire la congestion urbaine ainsi que les pollutions et les nuisances affectant l'environnement » (Légifrance, 2019).

Ces outils pourraient en théorie être mobilisés pour contribuer au PTEF. Nous proposons de pousser dans cette direction au niveau européen. Cependant, cela ne doit pas freiner la mise en place des propositions du PTEF en France dans le même temps.

Nos propositions

- Au niveau national, créer un ministère du transport de marchandises et de la logistique en charge de fixer un plan national de décarbonation du fret, en concertation avec l'ensemble des secteurs de l'économie, et de s'assurer de son bon suivi.
- Doter la Région de la capacité effective à organiser la structuration physique des chaînes logistiques afin de les orienter vers les infrastructures efficaces et décarbonées et à animer l'écosystème des acteurs à cette échelle pour déclencher les opportunités de mutualisation.
- Doter la commune/l'intercommunalité de la capacité effective à organiser et réglementer la logistique urbaine pour déployer la cyclologistique, les camionnettes électriques, et les pratiques de mutualisation.
- Les autorités organisatrices du fret (AOF) pourraient être le véhicule porteur de ces capacités.
- Doter les échelons inférieurs des moyens (humains et financiers) nécessaires à la bonne mise en place du plan.

III. Former les acteurs du fret aux enjeux énergie-climat

Il existe aujourd'hui diverses formations et certifications ayant trait au transport, fortement orientées vers la professionnalisation comme la capacité professionnelle en transport routier (léger) de marchandises. Cette dernière est attribuée à diverses conditions, dont celle d'un examen (ou équivalence via une expérience ou niveau de diplômes)¹¹³. Les annales consultées de cet examen montrent qu'il ne contient pas de section dédiée aux enjeux climat/énergie¹¹⁴ - les sujets sont le droit appliqué au transport, la gestion commerciale et financière de l'entreprise, les réglementations sociales et professionnelles, le transport international, les normes et exploitation techniques, la sécurité... mais rien sur les émissions de GES, le CO₂, le lien entre les énergies fossiles et le réchauffement climatique.

Nos propositions

- L'examen de capacité professionnelle en transport routier devra dorénavant intégrer le sujet climat/énergie, dans la partie QCM comme dans la partie d'analyse et réponses aux problèmes, le but étant d'avoir des acteurs du secteur qui aient un canal officiel et obligatoire d'informations, ainsi qu'un seuil de connaissance minimum afin de pouvoir y exercer le métier souhaité. En clair, à l'avenir, pour obtenir la capacité professionnelle en transport routier (léger) de

¹¹³ Voir https://www.formulaires.service-public.fr/gf/cerfa_11414.do

¹¹⁴ Voir par exemple http://www.occitanie.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/sujet_marchandises_2020.pdf

marchandises, il faudra avoir travaillé sur des sujets climat/énergie, et avoir obtenu une note sur cette thématique en particulier qui soit supérieur à un seuil minimum à définir.

- Il en est de même pour toutes les formations de conducteur/livreur sur véhicule utilitaire léger, qui actuellement ne comportent pas de partie dédiée aux enjeux énergie/climat. Ces sujets doivent y être intégrés et faire partie des entretiens et critères d'évaluations des candidats pour l'obtention du diplôme.
- Pour les dirigeants, nous recommandons la mise en place d'une forme "d'habilitation climatique" sans laquelle il ne sera pas possible d'encadrer des activités de transport de marchandises et de logistique. L'habilitation portera sur les enjeux énergétiques et climatiques (notamment) spécifiques au secteur : comment construire une stratégie carbone, contribuer à l'effort de décarbonation, etc.
- Ces deux points font référence aux nouveaux entrants dans le marché du secteur du fret, et nous préconisons en parallèle une échéance à laquelle tous les acteurs déjà dans le secteur devront également obtenir respectivement soit l'habilitation pour les dirigeants, soit la capacité transport avec mention énergie/climat.
- De manière plus large et transverse, un module de formation énergie et climat doit être mis en place pour tous les acteurs professionnels (du secteur du fret), pour augmenter le niveau de connaissance sur ces sujets et ainsi favoriser les prises d'initiatives éventuelles au sein du secteur, et réduire les risques d'opposition ou non adhésion par incompréhension des enjeux. Cette formation, avec un pan général sur les enjeux climat/énergie pour la France, se concentre ensuite sur une partie spécifique au transport de marchandises, traitant de la sobriété, de meilleures pratiques opérationnelles, de sujets technologiques, et de résilience.

06

**ADAPTATION DES
INFRASTRUCTURES ET
DU MATÉRIEL ROULANT
AU CHANGEMENT
CLIMATIQUE**



Adaptation des infrastructures et du matériel roulant au changement climatique

“Les impacts du changement climatique varieront en fonction des modes de transport et des infrastructures correspondantes [...] L'évolution future du transport [...] de passagers sera liée à la sensibilité respective des différents modes de transport vis-à-vis des phénomènes météorologiques extrêmes et d'autres incidences des changements climatiques.” (University of Cambridge / BSR, 2015)

Les événements climatiques extrêmes causés par le changement climatique sont divers : canicules, inondations, submersions marines, précipitations intenses, sécheresses, glissements de terrain, vents forts... Leurs conséquences vont concerner et fragiliser les transports et leurs infrastructures, pour l'ensemble des modes.

Les **routes en goudron** risquent de se ramollir sous l'effet de chaleurs extrêmes, ce qui demande des rénovations avec des matériaux plus durables. Des épisodes de gel-dégel peuvent également endommager la base et la surface goudronnée. Des inondations plus fréquentes peuvent nécessiter un renforcement des besoins d'entretien et d'investissement pour le drainage et la protection. Les ouvrages d'art sont également exposés à des inondations, raison pour laquelle il est important d'actualiser les spécifications pour les nouvelles constructions et les rénovations.

Par ailleurs, l'augmentation de la demande en refroidissement des véhicules (climatisation, température dirigée) augmente leur consommation d'énergie, ce qui pourrait jouer sur le dimensionnement des batteries et des réseaux de recharge.

Enfin, les précipitations intenses pourraient nuire à la sécurité de la conduite, à cause de la mauvaise visibilité et de l'état du revêtement des routes. (University of Cambridge / BSR, 2015)

Afin d'adapter les infrastructures routières, il est possible de renforcer l'épaisseur des revêtements et d'améliorer la qualité du béton. Ce besoin d'adaptation vise les nouvelles infrastructures mais aussi les infrastructures existantes. (University of Cambridge / BSR, 2015)

Les **lignes ferroviaires** sont vulnérables à l'augmentation des précipitations, aux inondations et glissements de terrain, à l'élévation du niveau de la mer ainsi qu'à l'augmentation de l'incidence des cycles de gel et de dégel. Pendant les canicules, les rails et les caténaires se dilatent sous l'effet d'une chaleur excessive et peuvent alors se déformer. Les vitesses sont certes réduites pour assurer la sécurité, mais les incidents de caténaires sont plus nombreux. (Sivardière, 2020)

Les mesures d'adaptation du système ferroviaire sont fortement dépendantes des différentes spécifications de ce système en matière de conception ainsi que des différents types de voies et de matériaux utilisés ou l'évolution des températures à venir. (University of Cambridge / BSR, 2015) La SNCF étudie et prévoit des mesures d'adaptation au changement climatique (SNCF Réseau, 2021).

Le dérèglement climatique, du fait de sécheresses et d'inondations plus fréquentes, pourrait impacter la **navigabilité des voies fluviales**. En effet, de faibles débits d'eau dans les rivières limitent les

possibilités d'utiliser de grands bateaux. Un rapport pour le parlement européen indique que le maintien de la navigabilité des voies navigables sera un "défi permanent". Ce constat sera d'autant plus vrai pour les grands fleuves, puisque les possibilités de régulation du débit y sont limitées. Les rivières plus petites, elles, ont tendance à avoir plus d'écluses, ce qui facilite la régulation du débit d'eau. (European Parliament, 2018)

L'adaptation des voies navigables internes pourrait être favorisée par la canalisation de sections de rivières et par le recours accru à des techniques de gestion de l'eau, afin de réguler leur profondeur. Il pourra s'avérer nécessaire de développer des protections contre les inondations dans les terres. (University of Cambridge / BSR, 2015)

Enfin, toutes les infrastructures situées à proximité des côtes deviendront plus vulnérables aux inondations et à l'érosion, du fait de l'élévation du niveau de la mer ou des phénomènes météorologiques extrêmes comme les épisodes de submersion marine¹¹⁵.

La conservation et la restauration des habitats tels que les dunes et les zones humides peuvent constituer des options d'adaptation pour les zones côtières. Concernant les infrastructures lourdes, des mesures d'adaptation pourraient consister en le renforcement des barrières de routes côtières, des chemins de fers et autres infrastructures, ou bien à les déplacer sur des terrains plus élevés.

¹¹⁵ Pour illustrer la vulnérabilité des infrastructures proches des côtes, le MTE indique que si le niveau de la mer monte d'un mètre, seront submergées par les eaux une ou plusieurs fois par siècle près de 200 km de routes nationales, 355 km d'autoroutes, 1967 km de voies ferrées, 4338 km de routes départementales, 15 522 km de routes communales. (Ministère de la transition écologique, 2017)

07

**EFFETS SUR LES
FLUX D'ÉNERGIE
ET DE CARBONE**



Effets sur les flux d'énergie et de carbone

Cette section présente nos hypothèses chiffrées et nos résultats quant à la consommation d'énergie du secteur et à ses émissions de GES suite à l'application des propositions faites dans les sections précédentes.

Nous supposons, pour nos propositions les plus rapides à mettre en œuvre, qu'elles sont appliquées sur le quinquennat 2022-2027 ; pour les autres, nous supposons qu'elles sont initiées sur ce quinquennat mais que leurs pleins effets se matérialisent entre 2027 et 2050.

Nos résultats sont donc présentés autour de 2 dates clés :

- 2027, comme point de passage permettant de mesurer si la vitesse du changement est du bon ordre de grandeur. On vise une décarbonation très rapide de 5 %/an dès le prochain quinquennat.
- 2050, pour s'assurer que les propositions faites permettent bien, à long terme, d'atteindre la neutralité carbone. Autrement dit, on s'assure qu'elles permettent de maintenir l'effort de décarbonation sur le temps long.

I. Nos hypothèses

A. Une décrue des besoins de transport de marchandises

Dans le PTEF, l'ensemble des secteurs de l'économie évolue. Ces évolutions se répercutent sur les besoins en transport de marchandises. Nous avons raisonné par type de marchandise afin d'estimer à quel point les besoins en transport pour chaque type évolueraient selon nos hypothèses d'évolution des différents secteurs de l'économie.

Ces évolutions sont décrites qualitativement et quantitativement dans le tableau ci-dessous.

Elles induisent une **baisse d'un tiers de la demande de transport de marchandises**.

Type de marchandise	Evolution PTEF	Hypothèse d'évolution demande (tkm)	Demande 2019 (Gtkm)	Demande PTEF 2050 (Gtkm)
Produits de l'agriculture, de la chasse, de la pêche, de la forêt, poisson	Re-territorialisation de l'agriculture française induisant une forte baisse des importations, et une part plus grande de produits consommés dans leur région de production	-60 %	51	20
Energies primaires fossiles (charbon, pétrole, gaz)	Forte décrue de ces énergies, sauf les intrants pour la pétrochimie	-84 %	2	0
Minerais métalliques ou non métalliques; tourbe; uranium et thorium	Il s'agit des matériaux amont du secteur de la construction et de l'usinage des machines. On garde donc la réduction moyenne pour ces produits finis	-26 %	34	25
Produits alimentaires, boissons, tabac	Re-territorialisation de l'agriculture française induisant une forte baisse des importations, et une part plus grande de produits consommés dans leur région de production	-60 %	55	22
Textiles ; cuir et produits en cuir	Pas d'hypothèse d'évolution	Stable	2	2
Bois, produits en bois ou liège (sauf mobilier) ; objets en paille et tressages ; papier et produits en papier ; produits imprimés et enregistrements de médias	Pas d'hypothèse d'évolution	Stable	14	14
Coke et produits pétroliers raffinés	Forte décrue de ces énergies, sauf les intrants pour la pétrochimie	-84 %	12	2
Produits chimiques et fibres synthétiques ; produits en plastique et gomme ; carburant nucléaire	Pas d'hypothèse d'évolution	Stable	10	10
Autres produits minéraux non métalliques pour la construction	La construction de logements neufs baisse d'environ 40 % dans le PTEF. Pas d'hypothèse sur le tertiaire neuf ni le génie civil	-28 %	33	23
Métaux de base ; produits métalliques usinés sauf machines et équipements finis	On suppose un allongement de la durée de vie moyenne des produits utilisant du métal de 20 %	-22 %	19	15

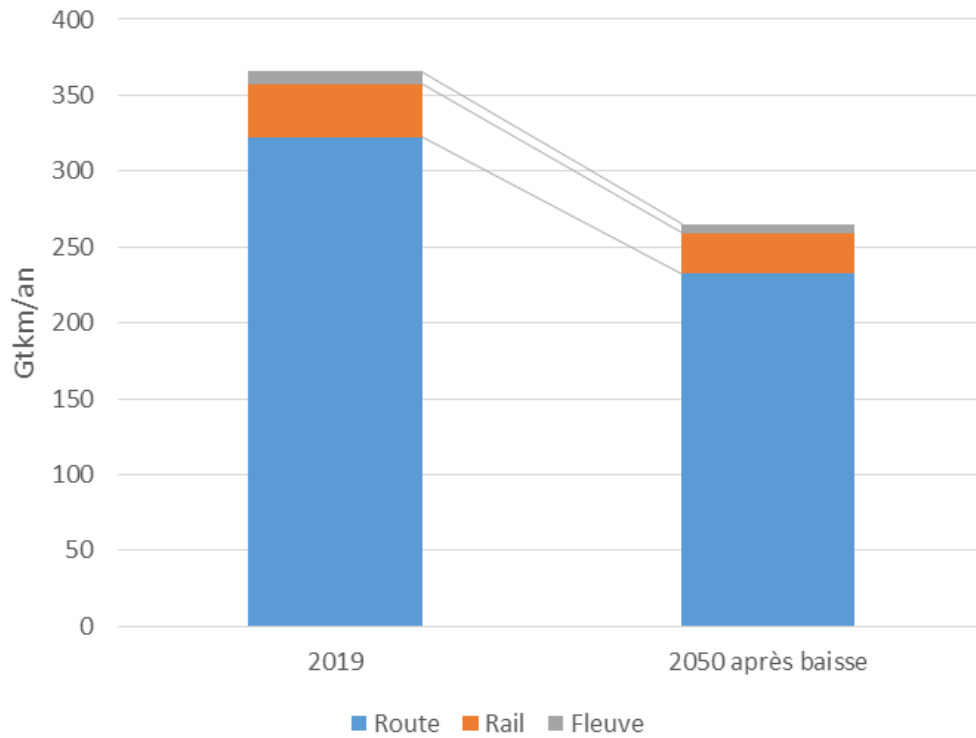
Type de marchandise	Evolution PTEF	Hypothèse d'évolution demande (tkm)	Demande 2019 (Gtkm)	Demande PTEF 2050 (Gtkm)
Machines et équipements non classés ailleurs : machines de bureau et ordinateurs ; machines et appareils électriques ; appareils radio, télé et de communication ; instruments médicaux et optique de précision	On suppose un allongement de la durée de vie moyenne de ces équipements de 50 %	-33 %	9	6
Equipements de transport	On suppose une réduction proportionnelle à la baisse de circulation des véhicules routiers de transport de passagers	-40 %	12	7
Mobilier ; produits manufacturés non classés ailleurs	Pas d'hypothèse d'évolution	Stable	4	4
Matériaux bruts secondaires ; déchets municipaux ou autres	Les déchets municipaux étant négligeables dans cette catégorie, on suppose que seul l'allongement de la durée de vie des produits a un impact	-17 %	13	11
Colis et courrier	Pas d'hypothèse d'évolution	Stable	13	13
Equipements et matériel pour le transport de marchandises	On suppose une réduction proportionnelle à la baisse de circulation des véhicules routiers de transport de marchandises	-38 %	6	4
Biens transportés lors de déménagements ; bagages ; véhicules motorisés transportés pour réparation ; autres produits hors marché	Pas d'hypothèse d'évolution	Stable	2	2
Marchandises groupées : mélange de types de biens transportés ensemble	On suppose un allongement de la durée de vie moyenne de ces produits (catégorisés à haute valeur ajoutée) de 20 %	-17 %	59	49
Marchandises qui n'ont pas pu être identifiées	On suppose un allongement de la durée de vie moyenne de ces produits (catégorisés à haute valeur ajoutée) de 20 %	-17 %	11	9

Type de marchandise	Evolution PTEF	Hypothèse d'évolution demande (tkm)	Demande 2019 (Gtkm)	Demande PTEF 2050 (Gtkm)
Autres biens non classés ailleurs	On suppose un allongement de la durée de vie moyenne de ces produits (catégorisés à haute valeur ajoutée) de 20 %	-17 %	5	4
	Total	-33 %	366	244

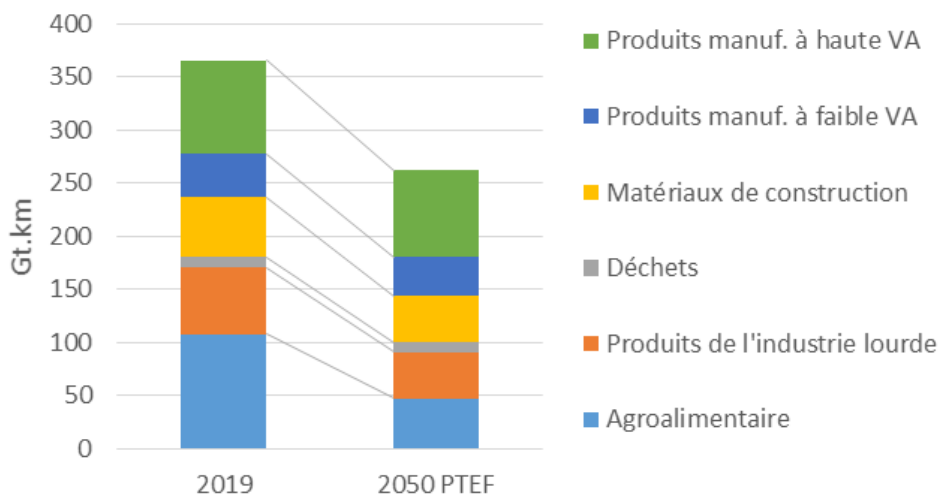
Cette baisse est un peu plus marquée dans le fluvial (-40 %) que pour le rail et la route. Cela s'explique par le fait que la part des produits agricoles, de construction, et issus de l'industrie lourde, dominant le transport par fleuve, alors même qu'ils accusent les baisses les plus importantes de besoin de transport dans le PTEF.

En parallèle, la démographie tend au contraire à augmenter le besoin de fret. En suivant le scénario central de l'INSEE, on suppose qu'elle passe de 67,8 millions actuellement à 74 millions en 2050, augmentant dans les mêmes proportions (9 %) le besoin de fret. Ainsi, la baisse de fret entre aujourd'hui et 2050 est de 28 % dans le PTEF.

Effets de l'évolution des secteurs de l'économie dans le PTEF sur la demande en fret



Effets de l'évolution des secteurs de l'économie dans le PTEF sur la demande en fret



Nous supposons que l'évolution des différents secteurs se déroule, dans l'ensemble, linéairement entre le début du prochain quinquennat (2022) et 2050.

B. Un report modal du routier de longue distance vers le fer et le fleuve

Notre plan met en avant plusieurs transformations pour favoriser un report modal fort du routier intra et inter-régional vers le fer et le fleuve :

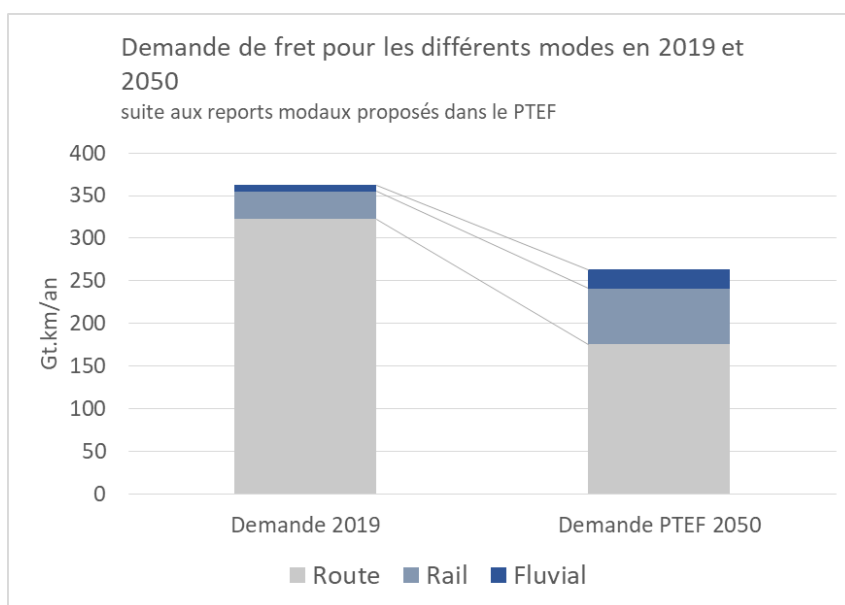
- Une mise à niveau des infrastructures fluviales et ferroviaire afin d'y accueillir des flux de marchandises plus importants ;
- Un déploiement d'infrastructures, d'équipements et de pratiques d'intermodalité, afin de reporter des flux de longue distance actuellement entièrement effectués par la route vers le fleuve et le train, avec des segments de pré- et post-acheminement par la route ;
- Des contraintes et accompagnements pour réorienter les flux routiers vers le fer et le fleuve, quand c'est énergétiquement intéressant ;
- Une gouvernance de la logistique à différents échelons territoriaux visant sur le moyen-long terme à rapprocher les lieux de production des infrastructures ferroviaires et fluviales.

Sous ces conditions, nous avons procédé à une analyse des possibilités de report modal tenant compte à la fois de l'offre (quelle capacité des infrastructures ferroviaires et fluviales pour accueillir les flux de marchandises ?) et de la demande (quels flux de marchandises pourraient y être reportés ?). Nous avons pris les hypothèses de chiffrage suivantes :

- La capacité de l'infrastructure ferroviaire peut accueillir deux fois plus de flux de marchandises qu'actuellement, soit une capacité maximale d'environ 70 Gt.km/an. A titre de comparaison, le fret ferroviaire a représenté jusqu'à 74 Gt.km dans les années 1970 en France (Bigo, 2020) ;
- La capacité de l'infrastructure fluviale a été estimée à partir d'estimations proposées par les Voies Navigables de France et des distances caractéristiques des différents fleuves considérés. On suppose que sa capacité maximale est de 26 Gt.km. Ces estimations ne tiennent pas compte de la construction du canal Seine Nord Europe ;
- Les infrastructures d'intermodalité sont mises en place d'ici 2030. Ce sont elles qui permettent une massification du report et l'exploitation des capacités des infrastructures à leur pleine mesure ;
- Tous types de marchandises sont reportés vers le fer et le fleuve, mais à des degrés divers pour tenir compte notamment de la périssabilité de certaines denrées ou de l'immobilisation de valeur que représentent ces modes pour certaines marchandises (voir tableau ci-dessous) ;
- Seuls les flux qui ne font que transiter par la France sans s'y arrêter (en très grande majorité des flux de plus de 500 km) ou les flux de plus de 500 km sont reportés ;
- On suppose que les acteurs économiques pilotant des flux de marchandises de plus de 500 km circulant en France mettent une dizaine d'années à adapter leurs pratiques pour reporter leurs flux vers le fer et le fleuve. Ainsi, le report modal n'atteint que 50 % de sa pleine mesure en 2027.

Type de bien	Flux de transit ou supérieurs à 500 km reportés	Part du report vers le fer	Part du report vers le fleuve
Agroalimentaire	20 %	50 %	50 %
Produits de l'industrie lourde	80 %	80 %	20 %
Déchets	80 %	70 %	30 %
Matériaux de construction	80 %	50 %	50 %
Produits manufacturés de faible VA	80 %	70 %	30 %
Produits manufacturés de forte VA	20 %	90 %	10 %

Au total, en 2050, ce sont ainsi 40 Gt.km qui sont reportés vers le fer, et 18 Gt.km qui sont reportés vers le fleuve. En tenant compte de la baisse générale de demande, le fer assure alors 25 % des flux (contre 9 % aujourd'hui), le fleuve 9 % (contre 2 % aujourd'hui).



C. Une augmentation des remplissages du routier

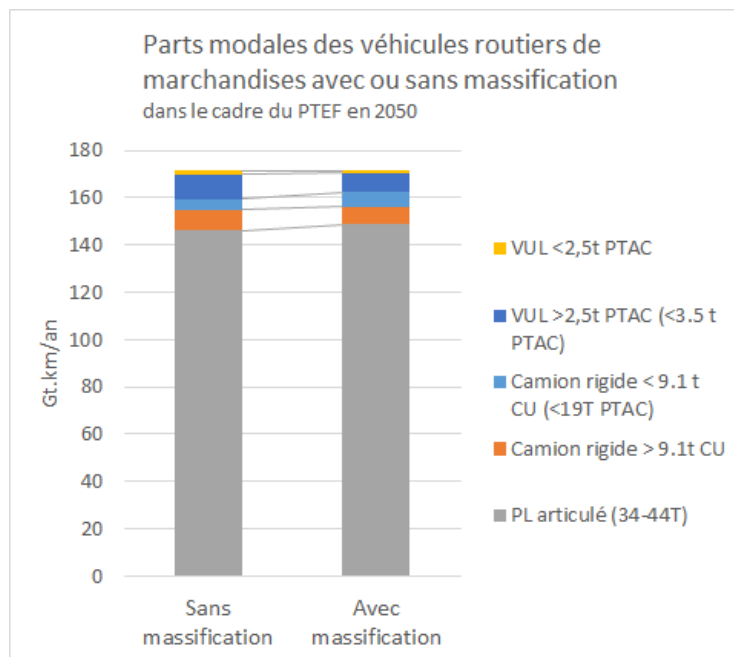
Dans notre Plan, les remplissages du routier augmentent par deux biais :

- Des incitations à la mutualisation, à la réduction des cadences d'envoi, à l'évolution des flottes vers des véhicules plus capacitaires et néanmoins bien remplis, et à l'optimisation des remplissages. On suppose que la réduction des cadences d'envoi joue à la fois sur les remplissages du routier intra et inter-régional, mais aussi sur le routier du DK ;
- La mise en place de réseaux de mutualisation pour le DK dans l'urbain.

Concernant le premier point, on suppose ici, en suivant une étude de Complexio et du LET (Complexio/LET/ADEME, 2010), que les efforts de mutualisation, de cadence d'envois réduite, et de pratiques de bon remplissage, permettraient une réduction de la consommation de 7 % du routier.

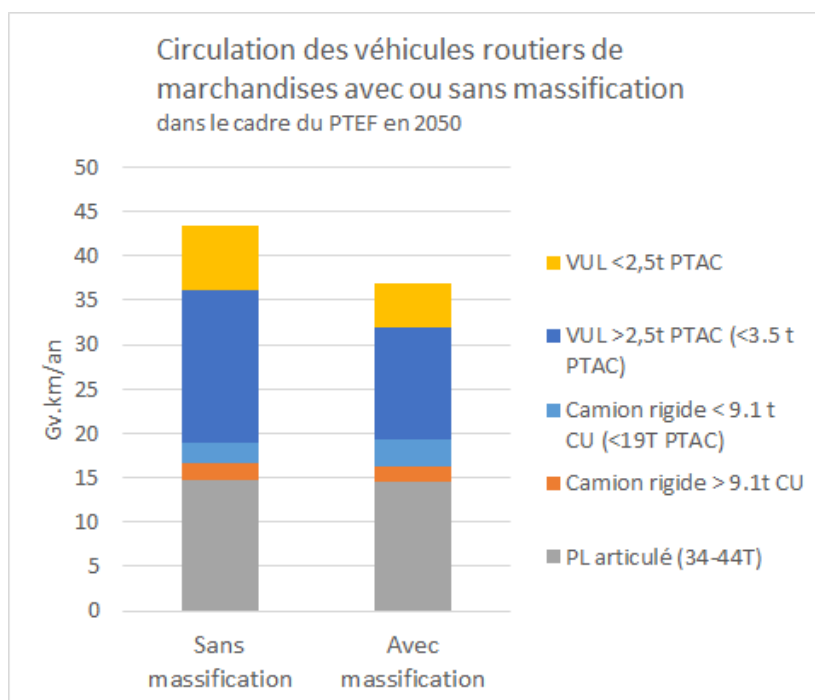
Cette hypothèse correspond à :

- Une augmentation de la capacité moyenne des véhicules utilisés, par un jeu de vases communicants entre les flottes de gabarit différent (voir diagramme de gauche ci-dessous) ;
- A véhicule constant, une légère augmentation du remplissage (+2,5 %).



L'effet de la massification est un report en cascade des flux de marchandises vers les véhicules plus capacitaires (une partie des flux des petits VUL est reportée vers les grands VUL, quand leurs flux eux-mêmes sont reportés vers les petits camions rigides, etc.), et une augmentation du remplissage de tous les véhicules.

Ainsi, en proportion, plus de gros véhicules circulent, et ils sont mieux remplis. Cela permet au global une réduction du nombre de km parcourus par les véhicules routiers pour une même quantité de t.km transportées (diagramme ci-dessous).



On suppose la mise en place de cette massification relativement progressivement : elle requiert la création de partenariats, la mise en place de flux logistiques moins cadencés et donc l'évolution des espaces de stockage pour les acteurs concernés, et l'évolution des flottes d'acteurs vers des véhicules plus capacitaires¹¹⁶. On suppose que ces évolutions atteignent leur plein effet en une quinzaine d'années.

D. Une logistique du dernier kilomètre s'appuyant sur un réseau de mutualisation et sur la cyclologistique

La transformation que nous proposons pour la logistique du dernier kilomètre est de deux ordres :

- La mise en place d'un réseau de mutualisation dans les centres urbains qui permettra de mutualiser les flux du dernier kilomètre pour une certaine partie des acteurs ;
- La mise en place d'une cyclologistique articulée à ce réseau, qui permet des ruptures de charges vers les cycles pour la distribution fine urbaine.

Afin de chiffrer les effets de nos propositions, nous posons les hypothèses suivantes :

- Seuls les flux transportés par VUL ou petits camions rigides sont concernés ;
- En 2050, 20 % des flux transportés par les petits VUL (PTAC < 2,5t), et 15 % des flux transportés par les grands VUL (PTAC < 3,5 t), sont reportés vers la cyclologistique¹¹⁷. Le remplissage moyen des cycles est de 100 kg ;

¹¹⁶ L'évolution des flottes sera en grande partie un jeu de vases communicants, les acteurs utilisant des petits camions rigides cherchant par exemple à acquérir de plus grands camions, mais vendant leurs petits camions rigides aux gestionnaires de flottes de grands VUL qui cherchent eux-aussi à faire évoluer leur flotte vers du plus capacitaine.

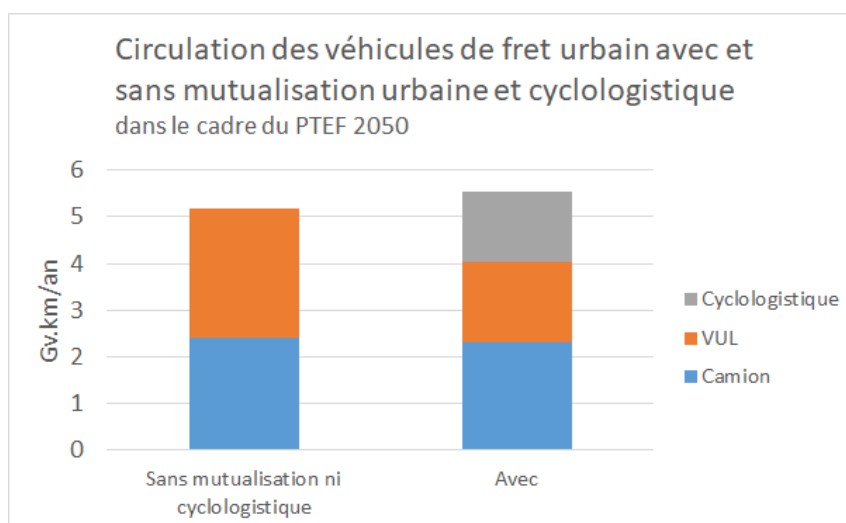
¹¹⁷ Les flux concernés étant ceux parcourant moins de 50 km, on suppose ainsi que la cyclologistique effectue les tournées en milieu dense, dans sa zone de pertinence à quelques kilomètres autour de son centre de chargement (un CMU), via des

- 35 % des flux de marchandises urbains sont concernés par la mutualisation¹¹⁸ ;
- En 2050, les flux remplissent alors mieux les véhicules, qui sont ainsi moins nombreux à circuler, et qui peuvent optimiser les routes pour l'ensemble des marchandises qu'ils transportent. Nous supposons une réduction de 70 % des kilomètres parcourus par les véhicules qui transportent ces flux¹¹⁹, ce qui correspond à une augmentation du remplissage moyen des petits VUL concernés, de 170 à 230 kg, et pour les grands VUL de 510 kg à 670 kg ;
- On suppose que la mise en place du réseau de mutualisation et de la cyclologistique dans les villes, et leur adoption par les acteurs, se fait en une quinzaine d'années de manière progressive (linéaire, par simplification). Ainsi, en 2027, seul un tiers des effets de ces mesures est réalisé. On suppose également que le remplissage moyen des cycles en 2027 est de 67 kg (contre 100 kg en 2050), la mutualisation étant moins grande.

Les mesures de mutualisation permettent une réduction de la circulation urbaine des véhicules concernés de 25 %, soit une réduction de 15 % de la circulation urbaine dédiée au fret, mais seulement une réduction de 2 % de la circulation totale des véhicules de fret sur le territoire national.

Quant à la cyclologistique, elle ne permet un report que d'1 % environ des flux urbains de marchandises, mais une baisse de 18 % de la circulation des VUL urbains.

Au total, la circulation des VUL urbains baisse de 37 %. C'est 1,1 Gv.km en moins, quand la circulation des cycles augmente de 1,5 Gv.km.



tournées d'une dizaine de km. La part des flux des grands VUL captés par la cyclologistique est 25 % inférieure à celle des petits VUL. On suppose en effet que certaines marchandises transportées par les grands VUL sont trop lourdes/ volumineuses pour être transportées par des cycles.

¹¹⁸ On suppose que le transport par les artisans (qui privilégient le contact direct avec leurs fournisseurs), le transport de marchandises industrielles, du commerce de gros ou de la grande distribution urbaine, ne sont pas concernés.

¹¹⁹ Suivant les mesures effectuées sur les expériences de mutualisation, et confirmées par des exercices de simulation. (Allen et al., 2012; Faccio & Gamberi, 2015; van Rooijen & Quak, 2010)

E. Des baisses de consommation pour l'ensemble des véhicules routiers, suite à des mesures de sobriété et d'efficacité énergétique

Plusieurs de nos propositions permettent des gains de consommation unitaire des différents véhicules routiers :

- L'amélioration de l'aérodynamique des PL, et le passage à des PL articulés double remorque ;
- La réduction des vitesses maximales pour les PL sur le réseau routier et autoroutier, accompagné d'une évolution des chaînes de traction thermiques pour un point de fonctionnement optimal à ces vitesses ;
- La massification de l'écoconduite pour les VUL par des formations initiales et récurrentes des chauffeurs concernés.

Le temps caractéristique industriel dans les poids-lourds (motorisation, aérodynamique de la cabine...) étant d'une dizaine d'années, nous considérons que si les premiers jalons d'incitation envers ce secteur sont posés lors du prochain quinquennat, les effets de reconceptions aérodynamiques ne se feront sentir qu'à partir de 2030.

La réduction des vitesses peut avoir un effet à court terme sur les consommations des PL via un rétrofit logiciel des moteurs, voire un léger rétrofit matériel. A un horizon moyen terme (une dizaine d'années), les motorisations passeront massivement à l'électrique pour les poids-lourds.

Concernant l'écoconduite pour les VUL, nous supposons que les formations peuvent se mettre en place lors du prochain quinquennat et atteindre leur plein effet dès 2027.

En termes d'effets, nous posons les hypothèses suivantes :

Mesure	Effet sur la consommation unitaire (CU) en 2027	Effet sur la consommation unitaire en 2050
Aérodynamique PL articulé + double remorque + limitation vitesse	-2,5 %	-15 %
Limitation vitesse PL rigide	0 %	-2,5 %
Ecoconduite VUL	-15 %	-15 %

Selon nos modélisations internes sur les PL articulés, l'amélioration de l'aérodynamique par allongement de la cabine est, parmi les différentes améliorations aérodynamiques, celle qui a le plus d'effet sur la consommation. A vitesse constante à 90 km/h, elle permet une réduction de la CU d'environ 10 %.

L'usage de doubles remorques, voire du *platooning* permet quant à lui une réduction de la CU (par t.km) d'environ 25 % à vitesse constante de 90 km/h.

Enfin, une circulation à vitesse constante de 80 km/h au lieu de 90 km/h permet une réduction d'environ 10 % de la CU. Dans les conditions réelles de circulation des PL en France, cette réduction semble plutôt être de 5 % pour les PL articulés et de 2,5 % pour les PL rigides. (Objectif CO₂, 2020)

L'ensemble de ces mesures n'étant pas additives sur un camion donné (la baisse de vitesse menant à un moindre effet des mesures d'aérodynamique), ces mesures s'appliquant aux conditions réelles de circulation, et l'application des doubles remorques/*platooning* ne pouvant pas se généraliser (la demande doit y être adaptée) nous supposons que l'ensemble des mesures cumulées permet une réduction moyenne de 15 % de la CU des PL articulés.

A 2027, on suppose que seule la mesure sur les vitesses maximales PL a un effet, réduit de moitié par rapport à son plein potentiel pour tenir compte du fait que les camions auront été bridés et auront subi une adaptation logicielle mais pas encore une adaptation matérielle.

F. Une électrification massive des véhicules de fret

Nos propositions permettent d'aller vers une électrification massive, si ce n'est complète, des parcs de véhicules de fret :

- Accompagnement rapide vers l'électrification des flottes de VUL ;
- Accompagnement vers l'électrification des flottes de camion en fonction des avancées technologiques sur les batteries ;
- Construction d'une infrastructure d'autoroutes électriques d'ampleur couvrant les axes autoroutiers les plus parcourus par les flux de marchandises ;
- Electrification frugale du ferroviaire actuellement au diesel et usage de locomotives bi-modes caténaire/ batterie ;
- Usages de locomotives hydrogène/batterie et/ou agrocarburant pour le ferroviaire non électrifiable par caténaire ;
- Adaptation des flottes fluviales aux biocarburants liquides ou gazeux qui leur seront réservés.

On suppose ainsi que le parc de VUL s'électrifie rapidement dès le prochain quinquennat (14 % du parc est électrifié en 2027), et que les parcs de camions rigides et articulés commencent à s'électrifier significativement (9 % du parc électrifié en 2027). On suppose que l'entièreté des parcs routiers est électrifiée en 2050, que cela soit à batterie uniquement, ou à batterie et système de branchement sur autoroute électrique.

Le déploiement massif de l'électrification des poids lourds nécessiterait certainement un déploiement à grande échelle d'un réseau de chargeurs lents et rapides sur le territoire, ainsi que s'assurer de la capacité du réseau électrique à supporter ces recharges quotidiennes. Selon nos estimations dans le cadre du PTEF, intégrant l'ensemble des transformations décrites dans ce rapport, l'électrification complète du transport routier de marchandises tel qu'il serait en 2050 (avec une réduction sensible du routier et une consommation unitaire réduite) mènerait à une consommation d'électricité annuelle d'un peu moins de 30 TWh¹²⁰, soit environ 5 % de la production française actuelle.

Le parc de locomotives diesel commence à se transformer après 2027, pour remplacer 70 % des locomotives diesel par des locomotives bimodes électriques + batterie. Ainsi on atteint 94 % d'électrification des kilomètres parcourus en train en 2050, contre 80 % aujourd'hui.

¹²⁰ Cette surcharge s'ajoute à celle générée par l'électrification de la mobilité des personnes, du chauffage, de certains procédés industriels etc., comme décrit dans les différents secteurs du PTEF et centralisé dans le bilan énergétique d'ensemble (The Shift Project, 2022). C'est ce bilan d'ensemble qui permet de conclure à la possibilité ou non de produire assez d'électricité d'ici 2050 pour répondre à ces demandes nouvelles.

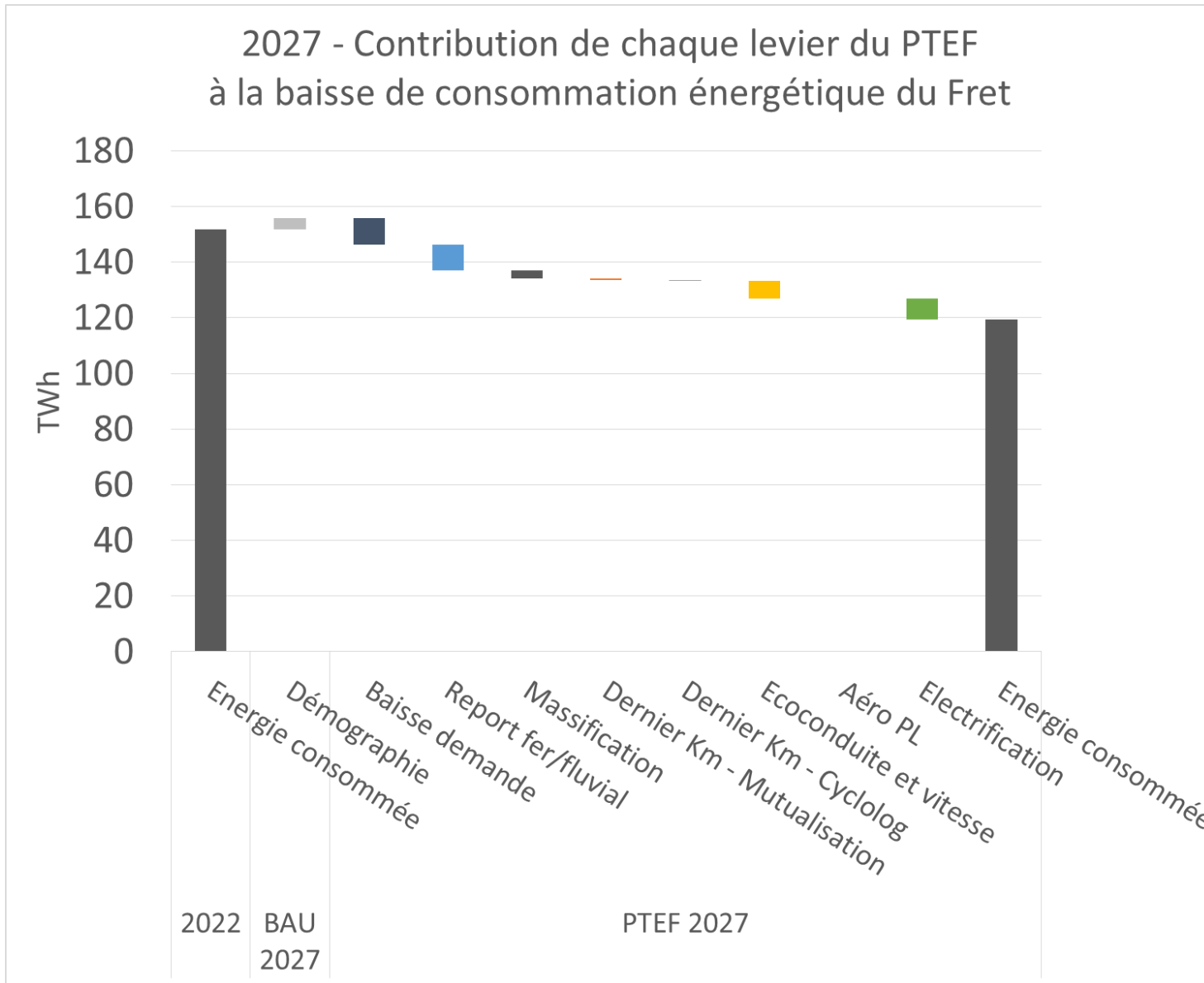
Quant au parc de bateaux, nous supposons que son efficacité énergétique s'améliore et qu'il continue de s'alimenter par des carburants liquides issus de la biomasse.

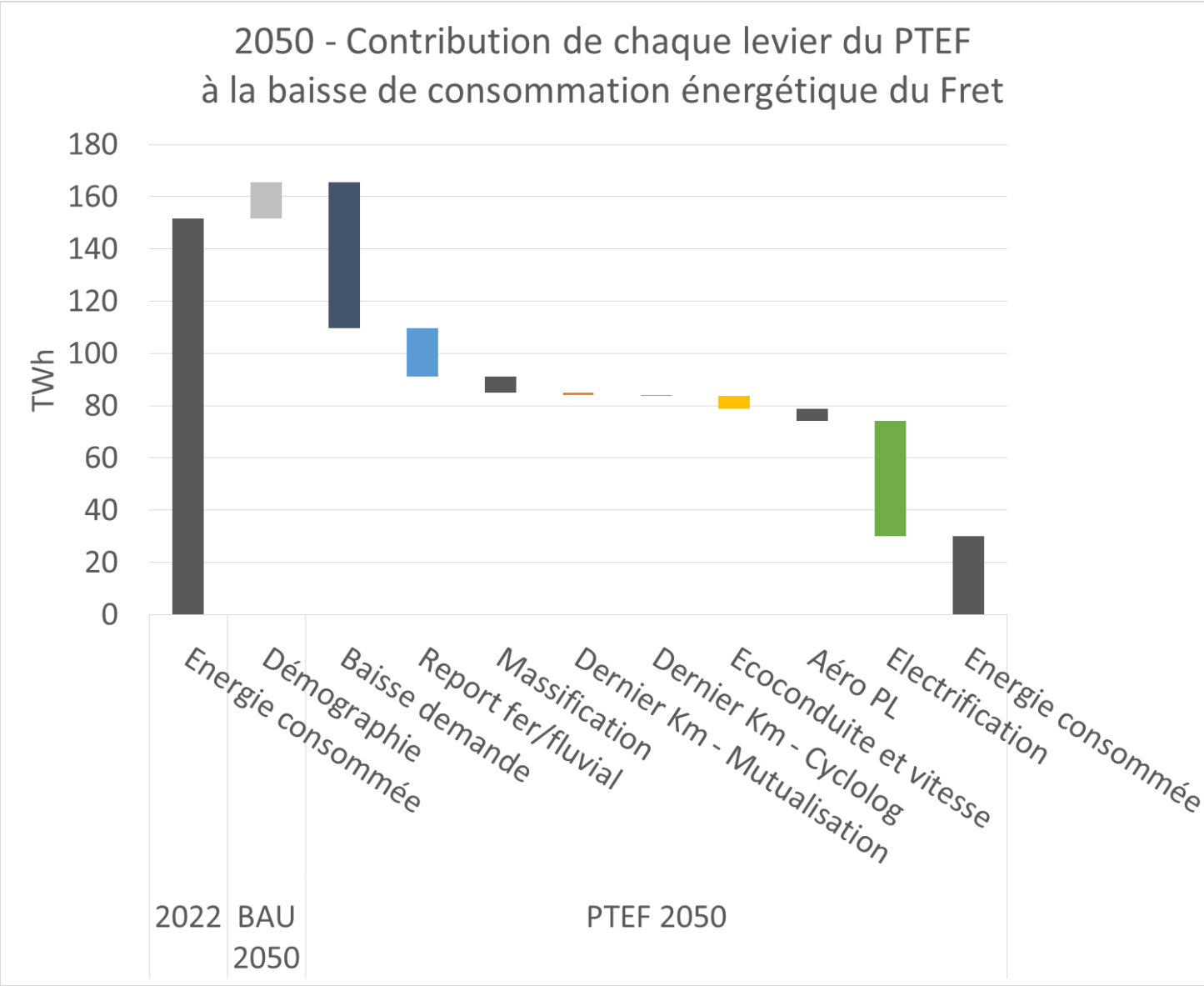
G. Les effets rebonds

Dans l'approche PTEF appliquée au fret, la demande en transport de marchandises provient des autres secteurs de l'économie. Les diverses contraintes mises en place lors du prochain quinquennat, ou les années suivantes, dans ces différents secteurs mènent à une baisse de la demande pour le fret, comme expliqué plus haut. En d'autres termes, ces contraintes se répercutent en cascade sur le secteur du fret, ce qui borne sa demande. Dans ce contexte, un gain d'efficacité du secteur ne peut pas se rediriger vers une augmentation directe de la circulation des véhicules de fret, puisque la demande est contrainte. C'est pourquoi nous ne modélisons pas d'effet rebond sur ce secteur.

II. Nos résultats sur les flux d'énergie et de carbone

A. Consommation d'énergie en 2027 et en 2050 si le PTEF est appliqué au prochain quinquennat





Nous analysons ici l'effet cumulé de nos différentes propositions par rapport à un scénario de type Business as usual (BAU), qui ne suppose aucun changement par rapport à aujourd'hui, si ce n'est une prolongation démographique.

1. Une forte baisse de la consommation

En 2027, les effets principaux sont dus :

- aux propositions qui sont efficaces rapidement : la mise en place de l'écoconduite pour les VUL ;
- à la grande efficacité des reports modaux qui débutent au cours du quinquennat, au fur et à mesure de la mise en place des infrastructures d'intermodalité et de la production des véhicules ferroviaires et fluviaux permettant d'accueillir les flux reportés.
- à l'électrification du parc de VUL, et dans une moindre mesure du parc de camions, qui commence à avoir un effet significatif
- à la baisse de la demande générée par le début de la transformation des autres secteurs de l'économie

Au global, les propositions mènent à une réduction de 21 % de la consommation en énergie finale du secteur, soit environ **5 % de baisse moyenne annuelle entre 2022 et 2027**.

En 2050, les propositions qui ont le plus d'effet en termes de consommation d'énergie sont :

- l'électrification du parc de véhicules de transport routier ;
- la baisse de la demande générée par la transformation des autres secteurs de l'économie d'ici 2050, selon les propositions du PTEF ;
- Les reports modaux du routier vers le ferroviaire et le fluvial.

L'aérodynamique des poids-lourds, l'abaissement des limitations de vitesse sur les autoroutes et l'écoconduite jouent un rôle secondaire du point de vue énergétique global, mais permettent une réduction des consommations unitaires, qui permet une réduction de la taille des batteries et, par suite, de la consommation de matériaux et d'énergie lors de leur fabrication, et réduit la pression sur le système électrique.

La massification joue un rôle secondaire mais pourrait certainement jouer un rôle principal. L'hypothèse de réduction des cadences d'envoi que nous avons prise est modérée, mais des mesures plus fortes permettraient un effet sensiblement plus fort (certainement en contrepartie d'une consommation d'espace de stockage supplémentaire ou d'une réduction du nombre de références accessibles).

Enfin, la cyclologistique a un effet négligeable sur les consommations globales d'énergie, le transport du dernier kilomètre pesant peu, selon nos données, dans le transport total de marchandises. Ce calcul mériterait cependant d'être affiné avec de meilleures données : le partage effectué entre les flux du DK et ceux de l'intra et inter-régional est entaché d'une grande incertitude.

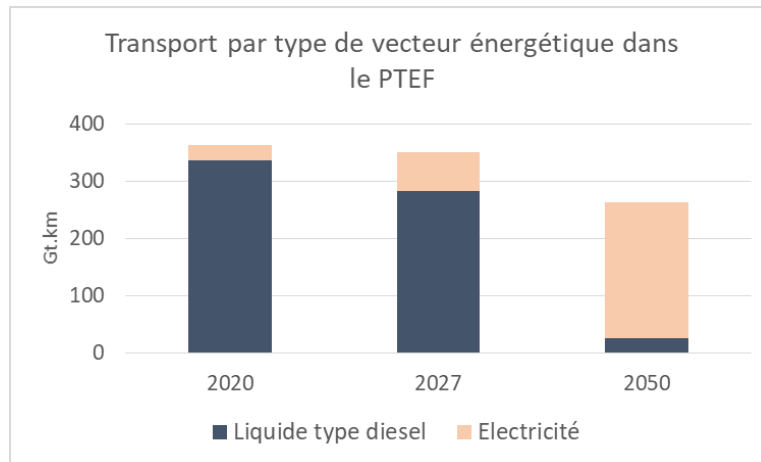
Prises ensemble et dans l'ordre présenté¹²¹, les mesures non technologiques permettent de réaliser les deux tiers de la réduction de consommation, les mesures technologiques le dernier tiers.

La baisse de consommation est de 80 % entre aujourd'hui et 2050.

¹²¹ Certaines mesures ayant des effets multiplicatifs (comme l'électrification du parc de voitures), un autre ordre de présentation aurait généré d'autres résultats.

2. Une quasi disparition des combustibles liquides au profit de l'électricité

Hormis sur une part négligeable du ferroviaire et sur le fluvial, minoritaire, le fret est entièrement électrifié.



Ainsi, une grande résilience est obtenue vis-à-vis des contraintes sur l'approvisionnement en combustibles fossiles, mais elle s'accompagne d'une dépendance accrue à l'électricité. **Le système électrique porte donc une forte responsabilité dans le bon fonctionnement du fret en 2050 dans le cadre du PTEF.** Il doit alors être lui-même résilient aux chocs qui peuvent survenir d'ici 2050.

C. Evolution des émissions de GES

1. Notre périmètre de comptabilisation des GES dans le cadre du fret

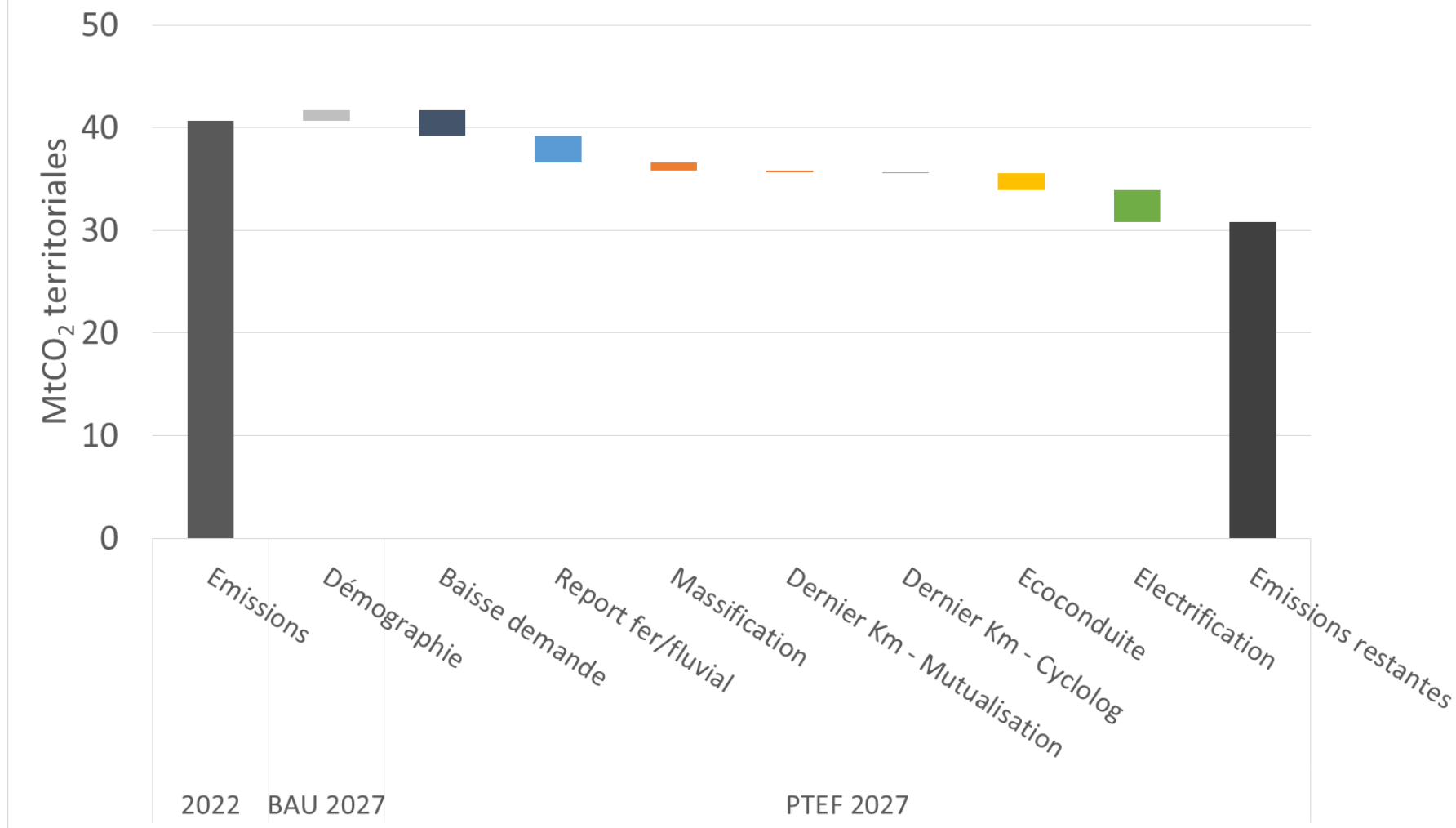
Les émissions de GES comptabilisées ici sont celles qui réunissent les 3 conditions suivantes :

- les émissions associées à l'**usage** des véhicules du fret
- les émissions énergétiques du **puits à la roue** (c'est à dire intégrant à la fois la phase de combustion et la phase de production du vecteur énergétique associé)
- les émissions **territoriales**, c'est-à-dire celles dues à des procédés qui arrivent sur le territoire français

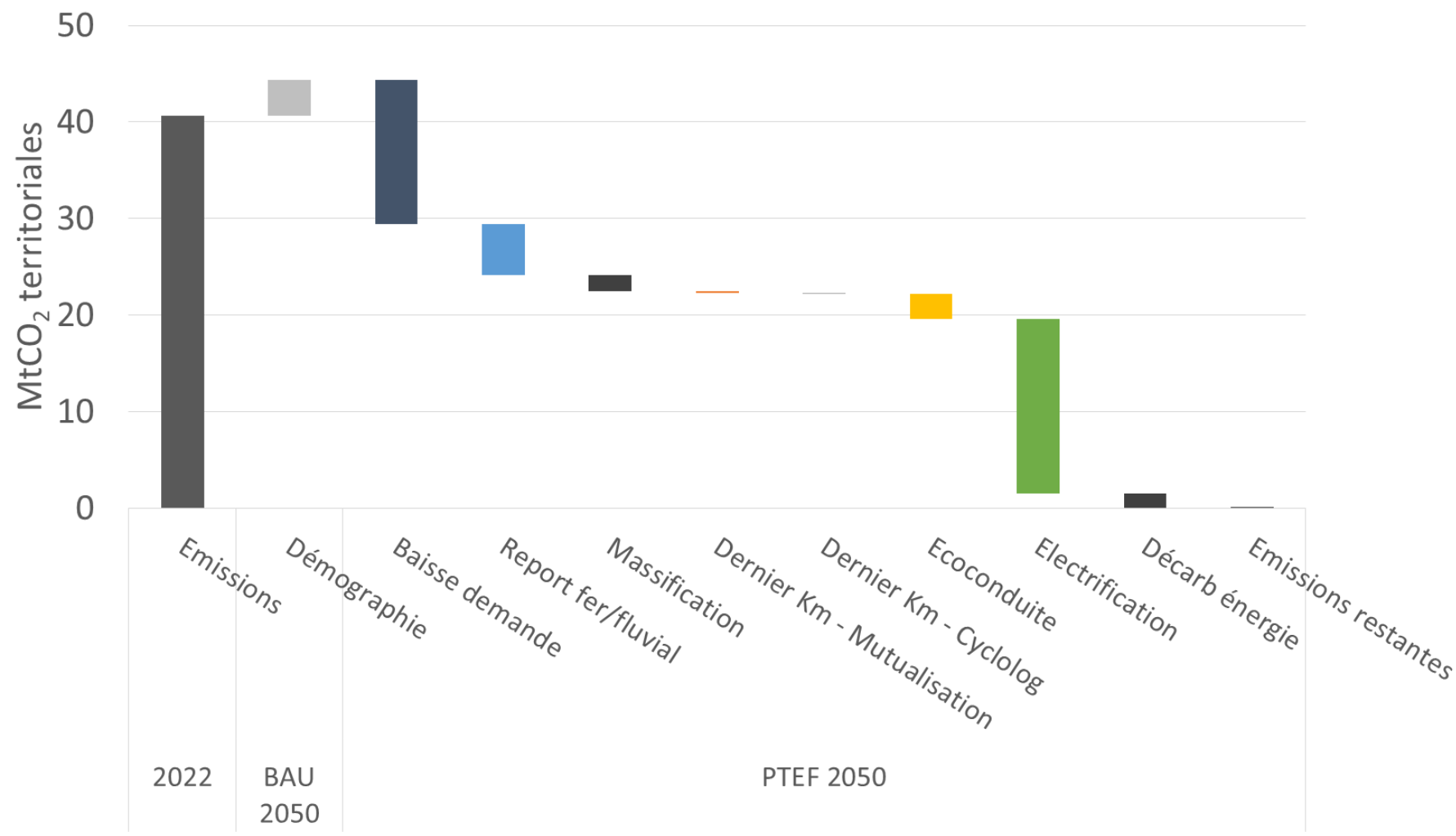
Nous excluons donc par exemple :

- les émissions dues aux phases de fabrication des véhicules ou des infrastructures (ne sont pas associées à l'usage mais à la fabrication), qui sont comptées dans les secteurs industriels du PTEF ;
- les émissions dues aux phases d'extraction de carburants fossiles (effectuées en dehors du sol français) ;
- les émissions de carbone biogénique (dues à la combustion des agrocarburants), celles-ci étant supposées annulées par la phase de croissance de la biomasse ayant servi à leur production.

2027 - Contribution de chaque levier du PTEF à la décarbonation du Fret



2050 - Contribution de chaque levier du PTEF à la décarbonation du Fret



2. Une réduction très rapide et durable des émissions de GES du fret

La baisse des émissions obtenue par la mise en place des propositions du PTEF est de 5,4 %/an environ entre 2022 et 2027, passant de 41 MtCO₂/an à 31.

En 2050, les émissions ont baissé, de par la mise en place des propositions du PTEF *relatives au fret* (et non à l'industrie de l'énergie), de 97 % par rapport à 2022, passant de 41 MtCO₂ à 1. En tenant de plus compte de l'évolution du mix énergétique dans le PTEF, vers une décarbonation des liquides, devenus minoritaires, par les agrocarburants, et une décarbonation quasi-complète de l'électricité, les émissions sont réduites de quasiment 100 %.

D. Potentiels et limites des évolutions technologiques

Nous avons comparé les résultats de notre scénario résilient (c'est-à-dire si le PTEF est mis en place), à un scénario de type "technoptimiste".

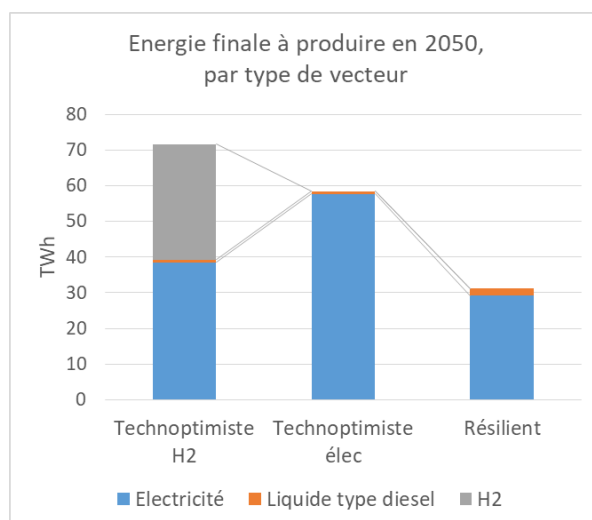
Dans ce scénario "technoptimiste", on imagine que seules les propositions technologiques sont mises en place :

- Amélioration de l'aérodynamique des poids-lourds
- Electrification des flottes routières, électrification frugale du ferroviaire à hauteur de celle proposée dans le PTEF

On suppose ainsi que les pratiques actuelles sont totalement maintenues. On suppose également que le reste des secteurs du PTEF ne mettent pas de sobriété en place.

1. Presque deux fois plus d'énergie finale décarbonée à produire si seules les propositions technologiques sont suivies

Si on suppose que les camions articulés circulant sur de longues distances passent par l'hydrogène, et que le reste de la flotte routière est électrifiée par batterie, la quantité d'électricité consommée par le fret dans le scénario technoptimiste (« Technoptimiste H₂ » dans la figure ci-dessous) en 2050 est d'environ 40 TWh contre 30 pour notre scénario résilient ; la consommation d'H₂ est d'environ 30 TWh PCI dans le scénario technoptimiste et nulle dans le scénario résilient ; pour les liquides types diesel, la tendance est inverse, bien que les quantités mobilisées sont d'un ordre de grandeur inférieur : l'énergie consommée est d'environ 0,8 TWh pour le technoptimiste contre 2 TWh dans le résilient.



La consommation de liquides est légèrement plus grande dans le scénario résilient, du fait des reports sur le fluvial et le ferroviaire qu'on a supposé ne pas pouvoir être complètement électrifiés.

Pour que le scénario technoptimiste se réalise, il faudrait que le système énergétique en 2050 soit capable de produire ces vecteurs énergétiques de manière décarbonée.

Autrement dit, si les propositions de sobriété ne sont pas mises en place, il faudra produire 10 TWh d'électricité décarbonée en plus et 30 TWh d'H₂ décarboné. En supposant que cet H₂ est produit par électrolyse de l'eau, alors ce sont environ 55 TWh d'électricité décarbonée qu'il faudra produire en plus pour alimenter le fret (soit plus de 10 % de la consommation d'électricité actuelle).

Si on suppose que l'entièreté de la flotte de véhicules est électrifiée par batterie (« Technoptimiste élec » dans la figure ci-dessus), il faudrait produire environ 30 TWh de plus que dans le scénario résilient.

Etant donné les contraintes sur la capacité de production électrique française en 2050, parier sur la seule technologie nous paraît risqué si on veut assurer que le fret reste fonctionnel.

2. Un appel de puissance électrique en pointe qui pourrait être 2 à 3 fois plus élevé sans sobriété

La flotte de camions étant électrifiée, la question de la puissance instantanée appelée lors des pics recharge ou de consommation (si les camions circulent sur ERS) se pose : met-elle en danger le réseau électrique de demain ?

On peut estimer que si l'application du PTEF est effective, alors un **pic d'appel de puissance d'environ 8 GW aura lieu en cours de journée**, pour la circulation des ensembles routiers, via l'ERS¹²².

Ce pic pourrait être un peu plus élevé en absence d'ERS, et par des recharges rapides le long du trajet. En effet, l'énergie chargée dans les camions le serait « par à-coup », alors que l'ERS permet de lisser l'appel de puissance sur l'ensemble du trajet. Ainsi, si les recharges des camions sont bien réparties sur la journée, le pic d'appel de puissance avec ou sans ERS est sensiblement le même. Par contre, si la répartition des recharges dans le temps n'est pas équilibrée (par exemple si la pause des chauffeurs, moment où le camion charge, se situe en milieu de journée), le pic d'appel généré est plus élevé sans ERS. D'autre part, si les batteries sont de capacité suffisante pour effectuer les trajets complets sans

¹²² Le ferroviaire ne représentera qu'une petite fraction supplémentaire malgré le doublement du trafic, nous le négligeons.

recharge, alors la recharge peut se faire de manière plus lente pendant la nuit. Dans ce cas, passer par les batteries permettrait certainement un appel de puissance *plus faible* qu'avec l'ERS.

L'appel pourrait être compris entre 15 et 25 GW dans le cas d'un scénario technoptimiste sans réduction de la demande, sans report modal, et en passant par une flotte électrifiée par batterie avec recharges rapides¹²³. A titre de comparaison, les pointes d'appel de puissance envisagées par RTE en 2050 sans prise en compte d'une telle électrification du transport routier sont de 100-110 GW.

Le critère de l'appel de puissance plaide donc également en faveur de la sobriété : il pourrait peser sur la capacité du fret à opérer correctement si on parie sur la seule technologie.

¹²³ Dans notre scénario résilient (application du PTEF), le parc d'ensembles routiers est de 120 000 véhicules ; on suppose que 65 % de ce parc est connecté au système d'ERS au pic de la circulation (20 % circulant de nuit, et 20 % du restant n'étant pas connecté au moment du pic), la connexion au système consommant environ 100 kW. Dans une hypothèse technoptimiste, on suppose que le parc est de 200 000 véhicules, et qu'environ 10 % du parc est en recharge rapide à 800 kW au moment du pic d'appel de puissance.

08

**EFFETS SUR
L'EMPLOI**



Effets sur l'emploi

Messages clés

- L'emploi du transport de marchandises sera impacté à la hauteur des modes privilégiés pour la décarbonation : une forte diminution du besoin en emploi dans le fret routier (- 112 000 ETP), compensée par le développement du ferroviaire (+ 14 000 ETP), du fluvial (+ 2 000 ETP) et surtout de la cyclologistique pour le « dernier km », malgré une forte incertitude sur ce mode (environ + 111 000 ETP).
- Ces évolutions supposent un fort soutien du développement des modes ferroviaires et fluviaux ainsi que de la cyclologistique, pour lequel l'enjeu d'attractivité et de qualité de l'emploi est élevé, ainsi qu'un accompagnement des conducteurs routiers qui auront besoin d'appui fort à la reconversion.
- Certains emplois de services du fret pâtiront de la diminution globale des volumes transportés et des distances parcourues.
- Pour plusieurs activités, l'effet à la hausse ou à la baisse sur le besoin en emploi est incertain. Par exemple pour l'entreposage et le stockage, l'exploitation des infrastructures de transport et des terminaux, et la manutention, l'effet net de la réorganisation du secteur est difficile à déterminer, entre flux moins importants et plus lents d'un côté, et accroissement de l'intermodalité de l'autre.
-

I. L'approche emploi dans le secteur Fret du PTEF

La décarbonation du fret telle que définie dans le PTEF s'accompagne de mouvements d'emploi principalement dans les activités de transport. Elle s'appuie sur une diminution des volumes de marchandises et des distances parcourues et sur un report modal depuis le transport routier vers le ferroviaire et le fluvial, ainsi que vers la livraison à vélo dans les villes. Ainsi, le secteur devra se restructurer pour les grandes distances autour du rail et du fleuve, qui représentent actuellement une part limitée du fret, et pour les courtes distances autour du cycle, encore négligeable dans la livraison de marchandises actuellement.

Les activités d'affrètement et d'organisation des flux logistiques devront quant à elles s'adapter à une réduction des flux. Quant aux autres services du fret – la manutention des chargements entre différents modes de transport, l'entreposage et le stockage, l'exploitation des infrastructures de transport – il est difficile d'estimer comment ils devront se transformer.

Le périmètre retenu comprend les emplois du transport ferroviaire, routier et fluvial de marchandises, de l'entreposage et du stockage, ainsi que des services au fret : entreposage et stockage, affrètement et organisation des transports, fret express, exploitation des terminaux et infrastructures, et activité des transferts intermodaux. Cela inclut la logistique du dernier kilomètre, dont la cyclologistique.

Plusieurs activités ne sont toutefois pas intégrées :

- **Le fret aérien et le fret maritime** n'ont pas été intégrés au périmètre qui se concentre sur le fret réalisé sur le territoire français métropolitain. Ils sont bien entendu impactés dans le cadre de la transformation mais ne font pas l'objet de mesures spécifiques.
- **Les activités de logistique en compte propre**, c'est-à-dire assurée par les entreprises industrielles et commerciales elles-mêmes et non par des entreprises spécialisées dans la logistique. En effet, en dehors des activités de transport à proprement parler, les effets sur l'emploi dépendent majoritairement du volume d'activité du secteur, la diminution des tonnes-km étant due pour la plupart des secteurs à une baisse des volumes produits. Pour les filières industrielles traitées dans le PTEF, ces évolutions d'activités seront donc incluses dans les notes dédiées aux secteurs de l'industrie lourde, manufacturière, et des déchets et du recyclage. Le secteur agricole et alimentaire fait exception, étant donné qu'il s'agit d'une réduction des distances parcourues plutôt que des volumes transportés : cette évolution sera à intégrer à terme aux estimations de besoin en emploi et compétences du secteur agriculture et alimentation.
- **La livraison de repas à domicile**, au sein de laquelle de nombreux travailleurs sont non-salariés et rattachés à des plateformes numériques. La livraison de courses alimentaires, en fort développement mais encore émergente aujourd'hui en France, n'a pas non plus été intégrée.

II. Anticiper l'évolution de la demande de main-d'œuvre

A. Etat des lieux et tendances actuelles

On estime que le secteur du fret tel que défini dans le PTEF représente environ 465 000 ETP en 2018, dont l'activité est répartie ainsi (cf. infra pour le détail des calculs) :

Activité	Emploi actuel (ETP) ¹²⁴
Transports ferroviaires de fret	10 900
<i>dont SNCF (TFMM¹²⁵ et Marchandises & logistique)</i>	10 200
<i>dont Transports ferroviaires de fret hors SNCF</i>	600
Transports routiers de fret	300 000
Transports fluviaux de fret	1 500
Entreposage et stockage	28 900

¹²⁴ Sources : INSEE, ESANE 2018, codes NAF 49.2, 49.41, 50.4, 52.1, 52.24B, 52.29A et 52.29B (« ESANE 2018 », s. d.) ; et rapport financier 2020 du groupe SNCF (Groupe SNCF, 2020)

¹²⁵ Transport Ferroviaire et Multimodal de Marchandises

Services auxiliaires des transports terrestres (exploitation des infrastructures et terminaux)	21 300
Manutention non portuaire (chargement et déchargement de marchandises lors des ruptures de charge)	9 500
Autres services auxiliaires des transports	93 000
<i>dont Messagerie, fret express (groupage d'envois pour constituer des chargements complets, livraison de colis hors Poste)</i>	30 400
<i>dont Affrètement et organisation des transports</i>	62 600
Total	465 000

Tableau 1 - Emploi actuel du secteur du fret

Sont ici comptabilisés uniquement les salariés des entreprises dont le fret et l'entreposage de marchandises constituent l'activité principale. Il est à noter que les évolutions du secteur auront également des effets sur les emplois de la logistique en compte propre, c'est-à-dire la logistique assurée par les entreprises industrielles et commerciales elles-mêmes, que l'association des professionnels de la logistique Afilog estime représenter près de la moitié des emplois de la logistique (Afilog, 2016). Les emplois impactés par le secteur du fret du PTEF seraient donc de l'ordre de 900 000 ETP.

Les emplois du secteur sont pour la grande majorité des emplois ouvriers. Les données disponibles pour le transport routier et l'organisation du fret font état de 80 % d'ouvriers (Observatoire Prospectif des métiers et des qualifications dans les Transports et la Logistique (OPTL), 2020), contre 19 % dans l'ensemble de la population en emploi (INSEE, 2020). Suivent les employés (9 %), puis les techniciens et agents de maîtrise, et enfin les cadres. Parmi les ouvriers, hors conducteurs, des entreprises spécialisées dans le fret et la logistique, un peu plus de la moitié sont des ouvriers qualifiés¹²⁶. Les conducteurs routiers doivent obtenir un titre professionnel qui requiert une formation spécifique d'environ trois mois selon le site de l'Afpa¹²⁷.

Il s'agit d'emplois largement masculins : dans l'ensemble des activités de transport de marchandises et de logistique (compte propre inclus), plus de 80 % des salariés sont des hommes (Afilog, 2016).

La localisation des emplois correspond principalement aux pôles économiques et industriels, avec une polarité supplémentaire liée aux zones portuaires. Ceci peut être visualisé sur les **Figure 20** et **Figure 21** ci-dessous.

¹²⁶ Afilog 2016, p. 13 (Afilog, 2016)

¹²⁷ Formation qualifiante de chauffeur routier sur porteur, dispensée par l'Afpa (Agence nationale pour la formation des adultes). (« Formation qualifiante de chauffeur routier sur porteur », s. d.)

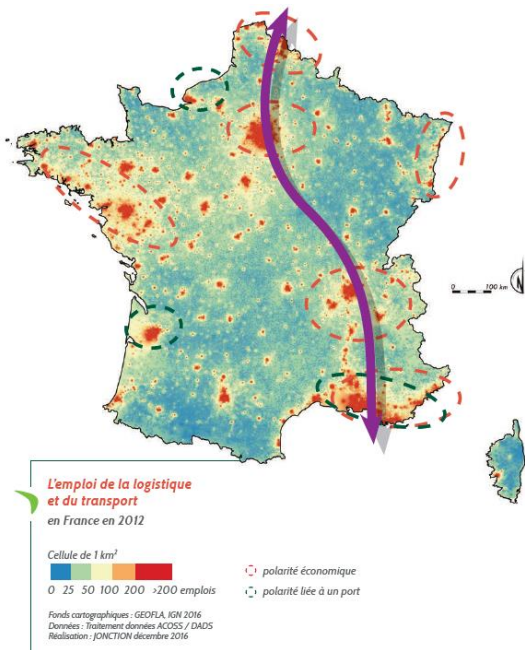


Figure 6 - Emplois de la logistique et du transport (y compris compte propre)

Surfaces d'entrepôts de plus de 5000m² en France en 2012

- Surfaces en m²
- de 5 000 à 49 999 m²
 - de 50 000 à 99 999 m²
 - de 100 000 à 199 999 m²
 - de 200 000 à 499 999 m²
 - de 500 000 à 1 245 088 m²

- polarité économique
- polarité liée à un port

Fonds cartographiques : GEOFLA, IGN 2016
Données : Traitement données SOES
Réalisation : JONCTION décembre 2016

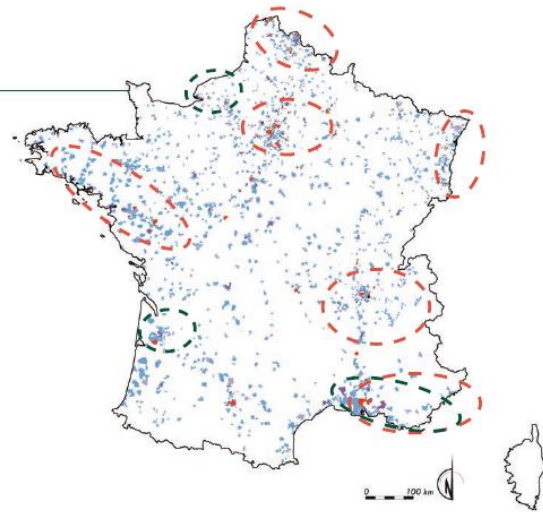


Figure 7 - Surfaces d'entrepôts de plus de 5 000 m²

Source : Afilog 2016, Panorama des emplois de la supply chain

B. Le besoin en emploi dans le secteur Fret après transformation

Les leviers de décarbonation du fret ont des effets à la hausse sur le besoin global en emploi, mais avec des effets fortement contrastés selon les modes.

La hausse du besoin en emploi est largement due au besoin de cyclologistique (vélos à assistance électrique et deux-roues légers électrifiés avec cargo), qui bénéficie d'un report modal d'environ 15 % des livraisons urbaines en VUL pour un contenu en emploi 3 fois plus élevé (22 ETP/M€ de CA¹²⁸ contre 7,3 pour la livraison urbaine actuelle¹²⁹). On estime à environ 110 000 ETP le besoin d'emploi pour la livraison en cycle en 2050 avec une distance moyenne de 70 km par jour travaillé et un remplissage moyen de 100 kg¹³⁰, pour ce niveau de report modal et en tenant compte de la baisse des volumes transportés.

Hors cyclologistique, la diminution du volume de transport impacte à la baisse les emplois des transporteurs, ce qui est nettement accentué par le report modal depuis la route (dont le besoin en emploi diminue d'un tiers) vers le rail et le fleuve. En effet, l'emploi par tonne-kilomètre est plus faible dans le ferroviaire et le fluvial (respectivement 360 et 150 ETP/Gt.km) que dans le routier (1 050 ETP/Gt.km).

¹²⁸ Selon l'étude d'Inddigo – Vertigolab pour l'ADEME, Impact économique et potentiel de développement des usages du vélo en France, 2020 (Inddigo - Vertigolab, 2020)

¹²⁹ ESANE 2018, NAF 49.41B (Transports routiers de fret de proximité) (« ESANE 2018 », s. d.)

¹³⁰ On prend une hypothèse de 67 kg d'emport à horizon 2027 (estimation actuelle de l'IDDR1), et on suppose des améliorations techniques pour l'emport permettant d'atteindre 100 kg de chargement moyen.

Il est difficile de conclure sur les emplois de l'entreposage et du stockage à ce stade. Cette activité devrait être impactée à la baisse du fait de la réduction des volumes transportés ; quant au ralentissement des flux, il est difficile de déterminer s'il diminuerait ou s'il augmenterait les besoins d'entreposage et de stockage. En l'absence de quantification plus précise, on prend l'hypothèse d'une stabilité de l'activité au cours de la transformation du secteur.

Les services auxiliaires des transports terrestres, c'est-à-dire l'exploitation des infrastructures et terminaux routiers et ferroviaires, font également l'objet de tendances contrastées : une hausse d'activité pour le rail, et une baisse pour le routier – ces deux tendances sont également dues à la décarbonation du transport de voyageurs. On prend là aussi une hypothèse de stabilité globale de l'activité par manque de données plus précises.

Il en est de même pour les emplois de la manutention, c'est-à-dire de chargement et déchargement de marchandises lors des ruptures de charge. On estime qu'il y a une hausse de besoin de main-d'œuvre dans la rupture de charge de l'intermodalité vers et depuis le rail, ainsi que dans les centres de mutualisation et de manutention qui seront créés pour la logistique urbaine. À l'opposé, la manutention du routier devra diminuer. En l'absence de données plus précises (répartition des emplois par mode), on fait l'hypothèse d'une stabilité du volume d'emploi de la manutention.

On considère que les autres services auxiliaires des transports sont impactés uniformément par le levier de sobriété. Le secteur Fret du PTEF prévoit en effet une réduction des volumes transportés et des distances, équivalente à une baisse de 10 % des tonnes-kilomètres tous modes confondus. Les services concernés sont la messagerie et le fret express (livraison de colis hors Poste) et l'affrètement et l'organisation des transports.

Ce bilan permet de donner une première idée de l'évolution de l'emploi par type d'activité dans la décarbonation du secteur, comme on peut le visualiser sur la **Figure 22** ci-dessous :

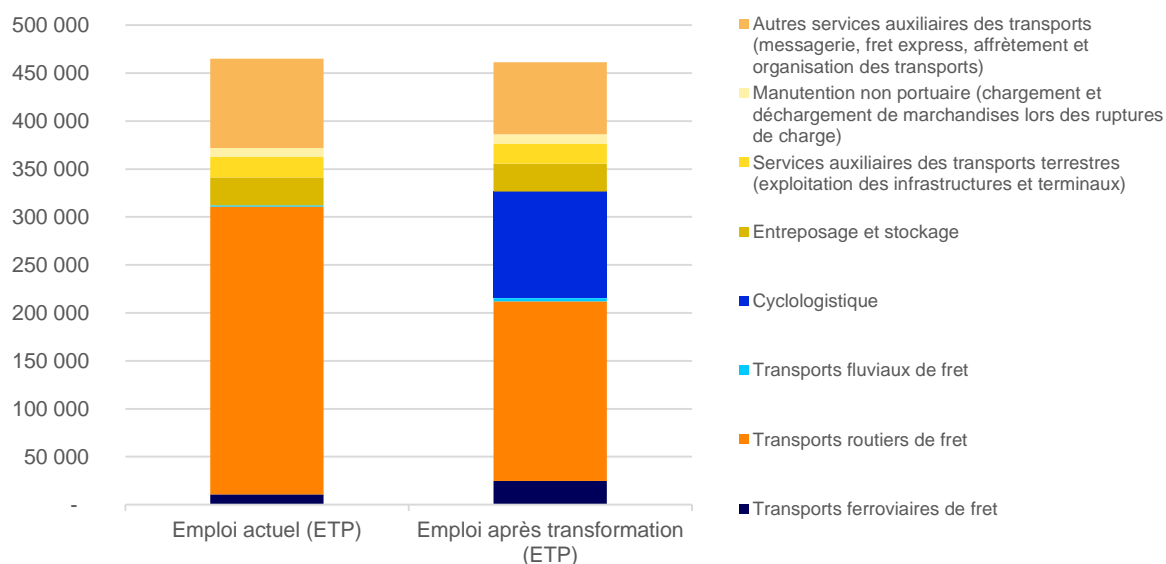


Figure 8 - Évolution du besoin en emploi dans la décarbonation du fret

Le détail des résultats par activité et des calculs est développé ci-dessous.

Les effets de la tendance actuelle de hausse de l'e-commerce sur l'emploi du secteur n'ont pas été pris en compte. Bien que pouvant faire croître l'emploi du secteur du fret, le développement de l'e-commerce s'accompagne de pertes d'emplois dans d'autres secteurs de l'économie et notamment dans le commerce de détail traditionnel. Ces pertes peuvent dépasser largement les gains d'emploi dans la logistique : le niveau d'emploi ramené au chiffre d'affaires des entrepôts Amazon a été évalué par certaines études de l'ordre de 2,2 fois plus faible que celui des commerces traditionnels (Proposition de

loi n°3040 instaurant un moratoire sur l'implantation de nouveaux entrepôts logistiques destinés aux opérateurs du commerce en ligne et portant mesures d'urgence pour protéger le commerce de proximité d'une concurrence déloyale, 2020). Cette intensité en emploi des entrepôts logistiques tels que ceux d'Amazon est elle-même en diminution du fait de l'automatisation grandissante des tâches, plus aisée à réaliser dans ce contexte compte-tenu des économies d'échelle (France Stratégie/ CGEDD/ IGF, 2021). Ainsi, prendre en compte l'e-commerce dans le fret uniquement gonflerait artificiellement l'emploi à l'issue de la transformation – cette dernière ne s'appuyant d'ailleurs nullement sur le développement du commerce en ligne.

C. Estimer les trajectoires de création et destruction d'emploi

Dans les premières années de transformation, on projette une hausse rapide de la demande de main-d'œuvre pour la livraison urbaine à vélo (environ 45 000 ETP en 2027, soit 40 % du besoin à 2050 – voir Figure 9). Cela est lié à une volonté de report modal rapide mais progressif de la livraison urbaine vers le cycle, alors que la baisse des volumes transportés est encore en cours sur ces premières années de transformation.

La Figure 23 ci-dessous permet de visualiser les trajectoires proposées pour l'ensemble des modes :

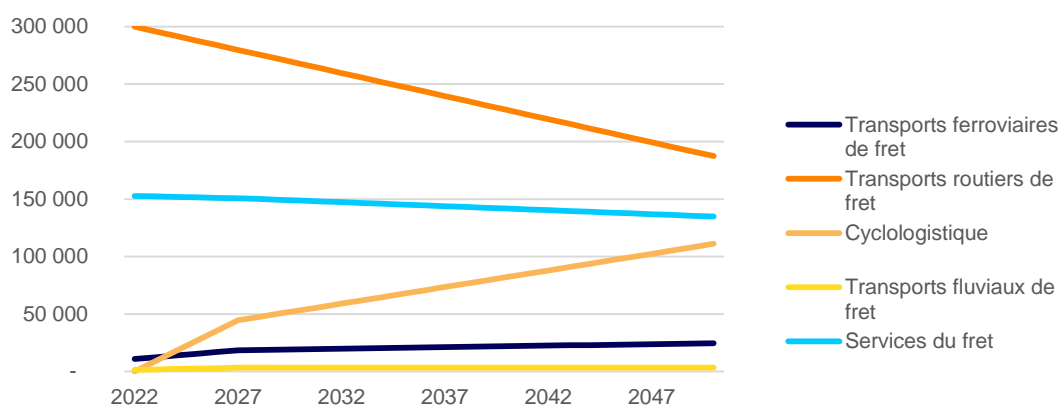


Figure 9 - Évolution du besoin en emploi du fret¹³¹

III. Accélérer et accompagner la transformation de l'offre d'emploi et de compétences

Les mouvements d'emploi décrits ci-dessus posent la question de possibles transferts entre modes pour faciliter la transformation et limiter les conséquences sociales.

La perte d'emplois dans le transport routier devra être accompagnée pour permettre des reconversions. La difficulté sera d'identifier des métiers au niveau de qualification ou de savoir-faires similaires. Le niveau de salaire devrait être moins problématique, le secteur router n'étant pas réputé

¹³¹ Services du fret : affrètement, messagerie et fret express, entreposage, exploitation des terminaux et des infrastructures

attractif, mais étant possiblement protégé par des accords de branche. La question de la localisation de l'emploi reste toujours la plus difficile, potentiellement en balance avec la suppression de la contrainte d'éloignement fréquent. Une projection plus précise, incluant une estimation du turnover, des départs en retraite et du besoin actuel non satisfait, permettrait d'évaluer le besoin réel de reconversion, dans un secteur qui peine à recruter.

Des transferts vers le fret ferroviaire, fluvial ou cycle, ou les emplois de manutention pourraient être envisagés. Pour ces derniers, cela dépendra de la hausse avérée ou non du besoin en emploi pour gérer la rupture de charge en modes – emplois mieux valorisés et rémunérés que ceux des conducteurs, avec un lieu de travail fixe et moins de contraintes horaires. Les besoins de compétences et de formation restent à préciser pour permettre les transferts vers le rail, le fleuve et le cycle.

Les emplois de la cyclologistique doivent être rendus suffisamment stables et globalement attractifs pour permettre d'atteindre les objectifs de report modal visé. La qualité des emplois de la livraison urbaine (hors restauration) interroge dans un contexte général « d'ubérisation ». Les évolutions actuelles sur le statut des travailleurs des plateformes numériques, vers une reconnaissance du statut salarié, vont dans le bon sens. Ces évolutions doivent être renforcées et stabilisées pour garantir l'attractivité du secteur. Dans tous les cas, la prise en charge du coût des véhicules devra être organisée de façon à ce qu'elle ne devienne pas également un frein, par exemple par la prise en charge et la gestion d'une location longue durée pour la durée du contrat.

Les besoins de formation sont également importants pour mobiliser tous les leviers de décarbonation, notamment pour les chauffeurs et livreurs routiers, mais aussi les cadres et dirigeants des entreprises de fret en général. La formation des conducteurs routiers à l'éco-conduite, avec suivi et actions de sensibilisation, est essentielle pour atteindre les objectifs de gains de consommation de carburant¹³² et éviter qu'ils ne s'estompent – notamment pour les conducteurs de la livraison urbaine pour lesquels le potentiel de gain est le plus important (Objectif CO₂, 2020). La formation des cadres et dirigeants est également essentielle pour réussir une réorganisation bas carbone générale. Cela s'applique à toutes les entreprises prenant en charge du fret, aussi bien celles spécialisées dans le fret et la logistique en compte d'autrui, que dans les entreprises productrices de biens qui prennent en charge leur propre logistique.

¹³² Jusqu'à 6 % en trois ans avec un suivi renforcé.

09

**LIMITATION DE
NOTRE ÉTUDE**



Limitations de notre étude

Voici une liste (certainement non exhaustive) des limitations de cette étude :

La configuration physique des réseaux logistiques (vue sous forme de nœuds – les entrepôts, usines de production et lieux de distribution, et de liens entre ces nœuds – les flux de marchandises passant par des infrastructures) **n'est envisagée dans cette étude que de manière indirecte, par l'angle du transport de marchandises**. Ainsi, nos propositions n'abordent pas frontalement ce sujet de moyen/long-terme, mais posent un cadre incitatif qui mènera progressivement à aligner cette configuration sur les infrastructures efficaces et décarbonées que sont le réseau ferroviaire, fluvial, et le réseau à venir d'ERS.

Ni notre étude, ni le PTEF **ne se positionnent sur le fonctionnement de la distribution**¹³³ (grande distribution, e-commerce...). Par conséquent, nous avons supposé ce fonctionnement comme étant majoritairement inchangé. Par exemple, nous n'avons pas supposé que la part du transport direct aux particuliers (livraison à domicile) augmente dans la demande en transport. Un tel mouvement pourrait schématiquement avoir pour conséquences de réduire la mobilité des personnes pour aller faire leurs courses et d'augmenter la demande en transport de marchandises. Il est possible que des solutions efficaces énergétiquement puissent être proposées dans ce domaine. Il s'agit là d'un domaine de recherche qui pourrait faire l'objet d'un prochain projet du PTEF.

Nous n'avons **pas pris en compte le transport maritime**, même si les bateaux maritimes et les ports constituent des facteurs importants dans le transport de marchandises, et devraient connaître des transformations, en particulier technologique, afin de réduire leurs émissions de GES et être résilients aux contraintes énergétiques à venir. Ce secteur particulier a déjà fait l'objet d'études et de propositions pour aller vers la décarbonation (IRENA, 2019; Transport & Environment, 2018).

Le **fret aérien n'a pas non plus été pris en compte dans notre étude**, mais pourrait faire l'objet de propositions en ligne avec le rapport Pouvoir voler en 2050 (Del Bucchia & Carpentier, 2021).

Afin d'alimenter spécifiquement le débat pour l'élection présidentielle française de 2022, et car nos moyens ne sont pas illimités, nous avons fait le choix de nous concentrer sur les flux de marchandises qui circulent en France. Par conséquent, nous **n'avons pas toujours tenu compte d'aspects internationaux lors de l'établissement de nos propositions**. Ces dernières pourraient être affinées, voire complétées par de tels aspects, notamment en termes d'inclusion de parties prenantes extra-nationales dans les discussions et concertations quant à l'organisation efficace et décarbonée du transport (emplacement des pôles intermodaux, structuration du réseau d'ERS, établissement de services ferroviaires...).

Les technologies potentiellement efficaces et décarbonées mais pour l'heure marginales ou encore inexistantes n'ont pas été mentionnées (par exemple les ballons dirigeables pour certains usages précis, ou le funiculaire fret dans l'urbain). Cela ne veut pas dire qu'il ne faut pas les développer, tant que la décision est prise dans un cadre mettant en balance l'utilité du cas d'usage considéré et les risques que cette technologie pose face aux contraintes énergie-climat, au niveau de déploiement envisagé de ladite technologie.

¹³³ Si ce n'est certains aspects de la chaîne de valeur de l'alimentation, abordés dans la fiche sur l'agriculture (Lallemand, 2020).

Cette étude n'a **pas quantifié finement la quantité d'infrastructures à déployer ni la capacité que ces infrastructures seraient capables d'accueillir**. Pour le ferroviaire et le fluvial, nous nous sommes basés sur les estimations des acteurs du fret ferroviaire et du fret fluvial. Pour le système d'autoroutes électriques, une étude se basant sur les flux de marchandises les plus importants sur le réseau devrait établir, selon une approche « 80-20 », quels 20 % linéaire du réseau autoroutier/routier devraient être équipés d'un système ERS afin de couvrir 80 % des flux de marchandises intra-interrégional. Cette étude devrait se faire idéalement à un niveau européen.

Notre étude n'a **pas tenu compte d'une éventuelle rupture que représenterait la crise COVID sur la demande en transport de marchandises dans les décennies à venir**. Notre étude vise précisément à rendre notre système de transport de marchandises plus résilient aux chocs à venir (et donc, paradoxalement, d'assurer un niveau élevé de demande, mais qui soit durable face à ces chocs). Tout choc non préparé, au-delà des conséquences concrètes sur notre économie et nos modes de vie, peut alors constituer une source de retard dans la mise en place d'une organisation qui résistera mieux aux chocs suivants. La survenance de crises telles que celle de la COVID plaide donc en faveur de la mise en place rapide d'un plan tel que le PTEF.

10 ANNEXES



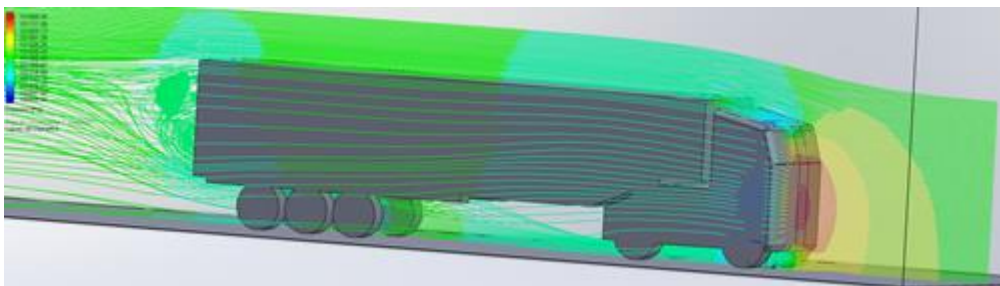
Annexes

I. Etude numérique interne des gains obtenus par optimisation aérodynamique

Selon une étude interne par modélisation numérique, on peut mettre en évidence le gain en consommation (et en émissions de polluants) ainsi que l'impact sur le coût de possession obtenu par amélioration aérodynamique de différentes parties d'un semie-remorque : par allongement du nez, par ajout d'une jupe et d'une structure déflectrice à l'arrière de la remorque. L'étude reste indicative dans la mesure où les modèles de véhicules utilisés restent peu raffinés (absence des équipements tels que les rétroviseurs ou essuie-vitre, absence des passages de roues...). Mais à partir de la corrélation des performances aérodynamique d'un modèle témoin avec des résultats connus, on peut obtenir des performances calculées relatives entre les modèles.

Camion témoin (forme classique actuelle)

Ce modèle reprend la forme classique la plus répandue actuellement : remorque parallélépipédique, cabine avec une calandre verticale et un angle de pare-brise de l'ordre de 12°. Les arêtes de la partie avant sont arrondies, un déflecteur est présent pour réaliser une continuité de forme entre le dessus de la cabine et la remorque.

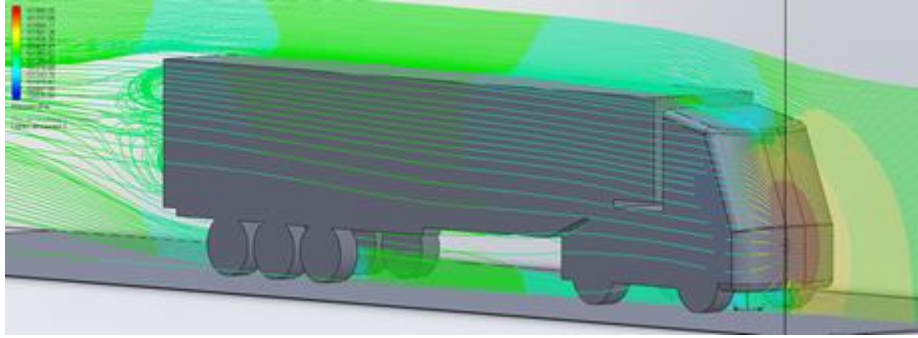


La simulation donne une traînée aérodynamique de 2524 N à 90 km/h ce qui correspond à un $C_x = 0.67$

Pour valider ce premier modèle par comparaison avec le modèle actuel utilisé dans le rapport [T&E « Analysis of long haul battery electric trucks in EU »](#), on ajoute une force de résistance au roulement $F = M \cdot g \cdot C_{rr}$ avec $C_{rr} = 0.0055$ (proposée dans le rapport T&E) et on obtient une consommation d'énergie au kilomètre de 1,3 kWh/km comparable à celle figurant dans le rapport T&E, de 1,23 kWh/km (avec un $C_x = 0.6$). Le différentiel entre les deux étant acceptable, on se base sur ce modèle de camion témoin.

Cabine allongée de 0.5 m

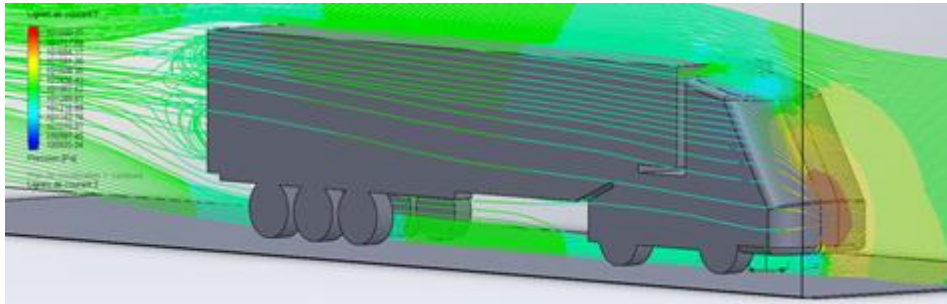
L'extrémité de la cabine est avancée de 0,5 m sans modifier la remorque. L'allongement permet des arrondis plus importants sur les arêtes latérales de la face avant et un angle plus prononcé du pare-brise.



La simulation donne une traînée aérodynamique de 2236 N à 90 km/h pour un $C_x=0,59$. Les gains sont de 11 % sur la traînée aérodynamique, et de 6 % sur la consommation à 90 km/h.

Cabine allongée de 1 m

Les modifications sont de même type que le modèle précédent mais avec un allongement de 1 mètre.



La simulation donne une traînée aérodynamique de 1981 N à 90 km/h pour un $C_x = 0,56$. Les gains sont de 22 % sur la traînée aérodynamique, et de 12 % sur la consommation à 90 km/h.

Impact sur le coût de possession

Selon le [calcul de prix de revient en 2020 d'un Véhicule longue distance de type « ensemble articulé » du Comité national routier](#), le coût de possession de référence annuel est de 147 327 €. L'achat de carburant contribue à hauteur de 23,5 % de ce coût.

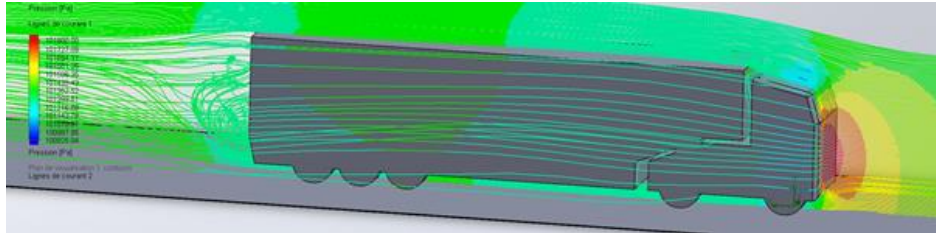
Selon l'étude aérodynamique interne, une cabine rallongée de 0,5 m ferait donc une économie maximum de 1,4 % sur le coût de possession annuel, et de 4 % maximum pour la cabine rallongée de 1 m. En réalité, les gains sont moindres du fait que les véhicules ne sont pas constamment à leur vitesse maximum de 90 km/h et que la traînée aérodynamique n'est pas proportionnelle à la vitesse. L'étude prenant en compte le profil de vitesse type pendant les cycles de fonctionnement des véhicules n'a pas été faite. L'étude présente permet néanmoins de majorer les gains obtenus.

Jupe sous remorque

La transformation consiste à ajouter une jupe sur la partie basse de la remorque, évitant la pénétration des flux d'air sous celle-ci et les turbulences engendrées. Cette pratique est bien implantée sur le continent nord-américain et presque pas en Europe.



Le modèle utilise la cabine du camion témoin (pas d'amélioration aérodynamique sur la cabine).



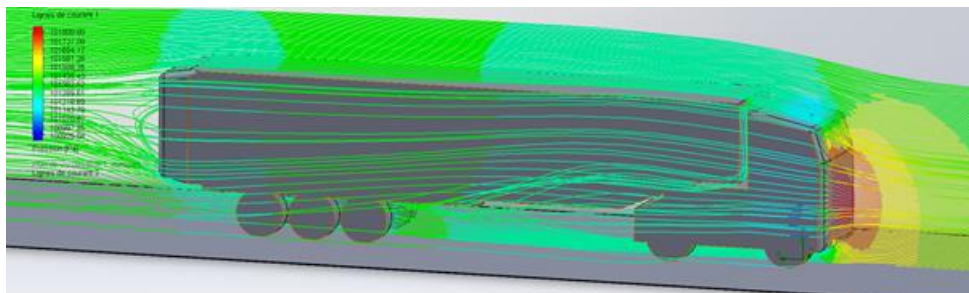
La simulation donne une traînée aérodynamique de 2477 N à 90 km/h. Les gains sont de 1,9 % sur la traînée aérodynamique et 1 % sur la consommation de carburant par rapport au camion témoin.

Défecteur arrière (800 mm)

La transformation consiste à ajouter un déflecteur sur la partie arrière de la remorque, guidant le flux d'air sortant et les turbulences engendrées à l'arrière.



Le modèle utilise la cabine du camion témoin (pas d'amélioration aérodynamique sur la cabine).



La simulation donne une traînée aérodynamique de 2428 N à 90 km/h. Les gains sont de 3,8 % sur la traînée aérodynamique et de 2,1 % sur la consommation de carburant par rapport au camion témoin.

Cumul des technologies (cabine rallongée de 1m + jupe + déflecteurs + profil remorque arrondi)

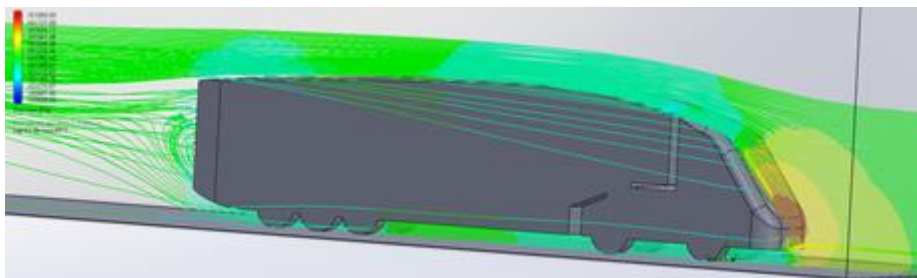
Afin de rechercher quel serait le gain maximum de traînée aérodynamique atteignable sur un semie-remorque en utilisant les technologies à l'étude et en maintenant le volume de chargement, on peut

utiliser un modèle cumulant les technologie évoquée précédemment avec en plus un bombé sur le dessus de la remorque afin de guider les lignes de flux d'air supérieures. Ce cumul d'innovations est visible sur le concept Truck de MAN présenté au salon de l'IAA de 2010, annonçant un gain de 25 % de consommation et un Cx de 0.29.



MAN Concept S aerodynamic tractor-trailer design concept.
Source: MAN via The Truth About Cars, 5 Dec 2009

Le modèle utilisé en interne cumule les transformations déjà étudiées et un bombé de la remorque augmentant sa hauteur de 0,45 m.



La simulation donne une traînée aérodynamique de 1904 N à 90 km/h. Les gains sont de 24 % sur la traînée aérodynamique et de 13.2 % sur la consommation de carburant par rapport au camion témoin. On obtient un $C_x=0,45$ ($H = 4,45$ m). A noter que le concept truck MAN utilise un essieu en moins sur la remorque.

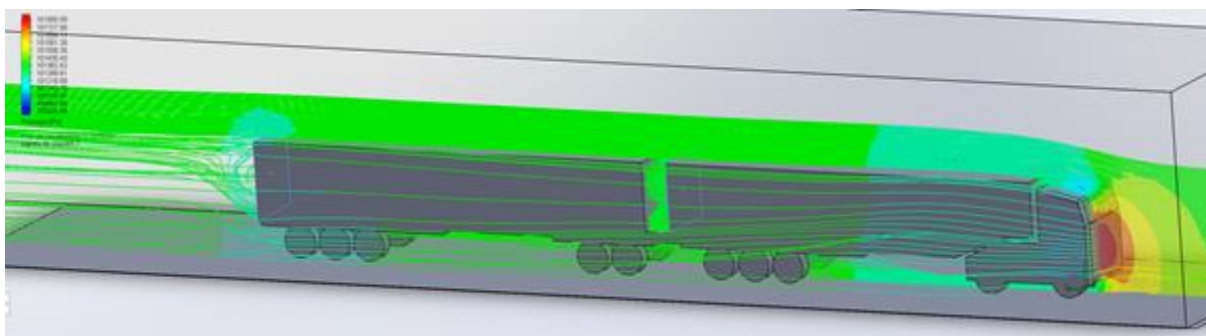
Double remorque

On étudie ici le gain atteignable par l'utilisation d'une double remorque, c'est-à dire du doublement de la capacité de charge du véhicule par ajout d'une seconde remorque. Le [projet Seat duotrailer](#) à expérimenté cette technologie avec un PTRA maximal de 70 tonnes et une longueur de 31,7 m.



Les gains annoncés sont de 20 % des émissions de CO₂ et un gain de 25 % sur le coût ramené à la charge transportée.

La simulation utilise une double remorque derrière la cabine du camion témoin.



La simulation donne une traînée aérodynamique de 2847 N à 90 km/h en augmentation de 12 % par rapport au camion témoin mais, à charge transportée équivalente, le gain de consommation est de 23,5 % par rapport à deux camions témoins en tenant compte de la résistance au roulement des 10 roues supplémentaires.

II. Les (55) mesures proposées

A. Pour le fret intra & inter-régional

1. Diversifier le service ferroviaire en renouvelant les services de type "wagon isolé" et en massifiant les services de transport combiné rail-route
2. Repenser la gestion des priorités d'usage du réseau ferré entre les passagers, les marchandises et les travaux afin d'atteindre les objectifs nationaux de report modal
3. Déployer un réseau maillé de plateformes intermodales assurant l'accès au rail ou au fleuve à moins de 2h de route pour les acteurs de la chaîne logistique
4. Pour le fluvial, mailler le réseau "grand gabarit" et assurer la bonne maintenance du réseau "petit gabarit"
5. Pour le ferroviaire, remettre à niveau le réseau et développer les infrastructures d'intermodalité
6. Aider et accompagner les acteurs dans l'amélioration de l'efficacité de leur flotte, en fonction des bateaux qui la composent et de leur usage, et dans l'adaptation de leur système propulsif aux carburants (liquides ou gazeux) décarbonés
7. A court terme : abaisser les limitations de vitesses sur les routes
8. Sur le long terme : accompagner les acteurs dans la (re)localisation de leurs chaînes logistiques en articulation avec le fer, le fleuve, et les autoroutes électriques
9. Accompagner les acteurs dans la réduction intelligente de leurs cadences d'envoi afin d'augmenter les chargements
10. Inciter les chargeurs et les transporteurs à s'équiper de camions plus efficaces et moins émissifs
11. Abaisser réglementairement la vitesse de bridage des ensembles routiers de 90 km/h à 80 km/h
12. Développer la pratique du platooning sur les axes où les flux de marchandises seraient suffisants
13. Permettre aux camions de ne plus marquer l'arrêt aux aires de péage (flux libre)
14. Les véhicules : un calendrier d'interdiction de ventes de camions thermiques en fonction des gabarits concernés doit être défini et partagé. L'ensemble des véhicules routiers thermiques doivent être interdits à la vente au plus tard en 2035. Une limitation absolue de la masse de batterie embarquée, de l'ordre d'une tonne, doit être instaurée.
15. Le déploiement de systèmes ERS sur les axes autoroutiers, voire routiers, les plus fréquentés par les poids-lourds, doit être planifié de manière à créer un nouveau réseau structurant décarboné pour le fret routier, qui permettra de réaliser l'ensemble des trajets longs avec des batteries légères.
16. Déployer l'électrification partielle des voies par caténaires lorsque c'est pertinent d'un point de vue énergie-climat, pour les voies non encore électrifiées
17. Développer les matériels roulants hybrides à batterie ou hydrogène pour exploiter ces lignes
18. Assurer un accès à ces carburants liquides ou gazeux au secteur, par exemple par des quantités réservées pour le secteur et proposées à prix plafonnés
19. Sur le long terme : accompagner les acteurs dans la (re)localisation de leurs chaînes logistiques en articulation avec le fer, le fleuve, et les autoroutes électriques
20. Le réseau de charge : le déploiement de réseaux de recharge, lente et rapide doit être planifié sur les territoires avec les acteurs. Ces réseaux seront adaptés à des batteries de moins d'une tonne, en cohérence avec le point précédent.

B. Pour le dernier kilomètre

21. Développer des plateformes intermodales fluviales aux abords des grandes villes pour irriguer le centre via le transport fluvial, dans les agglomérations où cela sera jugé pertinent d'un point de vue énergétique
22. Etablir un cadre réglementaire multimodal ("universel") de partage d'informations numériques
23. Favoriser l'accès au partage numérique à l'ensemble des acteurs
24. Accompagner les acteurs dans leurs pratiques de mutualisation
25. Accompagner les transporteurs dans la gestion de leur flotte pour l'adapter aux flux mutualisés
26. Accompagner les transporteurs dans leurs pratiques de chargement afin de maximiser les remplissages
27. Afin d'étendre la gamme d'usage de la cyclologistique, une nouvelle catégorie de véhicule pourrait être créée en augmentant la vitesse maximale d'assistance électrique à 30 km/h, et la puissance maximale à 1kW pour les cycles dédiés au fret et conduit par des professionnels.
28. Des obligations de produire une part de plus en plus grande de VUL électriques doivent être mises en place pour les constructeurs afin de pouvoir immatriculer en France. Cela peut passer par des normes d'émissions CO2 plus contraignantes au niveau européen via la réglementation CAFE (Corporate Average Fuel Economy). (« Higher van CO2 reduction targets needed to deliver e-vans in the 2020s - T&E recommendations to revise the EU van CO₂ standards », 2021)
29. Le réseau de recharge électrique sur l'espace public doit être développé, notamment en concertation avec les acteurs du fret pour tenir compte de leurs besoins, et l'accès au service doit être simple et unifié sur le territoire français (ou encore mieux, européen), via un travail avec l'ensemble des parties prenantes.

C. Gouvernance

30. Au niveau national, créer un ministère du transport de marchandises et de la logistique en charge de fixer un plan national de décarbonation du fret, en concertation avec l'ensemble des secteurs de l'économie, et de s'assurer de son bon suivi ;
31. Doter la Région de la capacité effective à organiser la structuration physique des chaînes logistiques afin de les orienter vers les infrastructures efficaces et décarbonées et à animer l'écosystème des acteurs à cette échelle pour déclencher les opportunités de mutualisation ;
32. Doter la commune/ l'intercommunalité de la capacité effective à organiser et réglementer la logistique urbaine pour déployer la cyclologistique, les camionnettes électriques, et les pratiques de mutualisation
33. Les autorités organisatrices du fret (AOF) pourraient être le véhicule porteur de ces capacités
34. Doter les échelons inférieurs des moyens (humains et financiers) nécessaires à la bonne mise en place du plan
35. Afin d'obtenir leur certificat d'effort de décarbonation, les transporteurs et commissionnaires de transport opérant des VUL devront très rapidement passer leur flotte à l'électrique pour pouvoir continuer à opérer. Des aides pourront être allouées pour les acteurs dont la situation le justifie aux yeux de l'autorité.
36. Afin d'obtenir leur certificat, les chargeurs devront passer dès que possible par des transporteurs ou commissionnaires proposant l'électrique.
37. Nos propositions relatives à un cadre de certification d'effort de décarbonation inciteront les acteurs à réguler ces pratiques pour améliorer leurs chargements et leur efficacité carbone et énergie.

38. Les distributeurs de e-commerce doivent afficher les informations environnementales relatives à la livraison, doivent donner un prix séparé aux livraisons rapides, aux retours (sauf pour produits défectueux) et aux échecs de livraison.
39. Afin d'obtenir le certificat "chargeur", les chargeurs qui distribuent en zone urbaine dense doivent adopter le transport par cyclo-logistique en passant par le réseau de mutualisation existant, dès lors que celui-ci est mis en place. Dans leur effort de mutualisation, ils contribuent à la mise en place de ce réseau.
40. Afin d'obtenir le certificat "transporteur/ commissionnaire", les acteurs concernés doivent adapter la taille de leur flotte à la demande. Ainsi, des acteurs spécialisés dans la logistique de proximité, associés aux espaces logistiques de proximité, pourraient voir le jour et obtenir facilement leur certificat via une flotte contenant une majorité de cycles.
41. Par son item sur la mutualisation, les chargeurs seront incités par l'autorité de certification à contribuer, en concertation avec les agglomérations dans lesquels ils expédient, à la formation de réseaux complets de mutualisation et à leur articulation avec la cyclo-logistique.
42. Par son item sur l'adaptation des flottes aux flux à transporter, les transporteurs/ commissionnaires seront accompagnés vers une flotte qui optimise la consommation d'ensemble en passant par les véhicules les plus capacitaires ou par la cyclo-logistique dans les situations où elle est adaptée.
43. Inclure les questions de foncier pour la logistique et la cyclologistique dans les politiques locales, par exemple via les PLU. Dans le cas de la cyclologistique, intégrer les besoins de douches proches des espaces logistiques de proximité pour les livreurs à vélo.
44. Inclure dans les politiques locales les questions de partage de l'espace public entre les différents types de véhicules qui circuleront dans l'urbain au cours de la transformation de l'économie, et y dédier un budget suffisant.
45. Harmoniser les vitesses de circulation entre les véhicules qui partagent un même espace. Par exemple, la vitesse maximale autorisée sur les voiries partagées par la cyclologistique et des modes plus lourds ne doit pas dépasser 30 km/h.
46. Concevoir une stratégie nationale de déploiement du transport combiné, via conteneurs ou autre solution localement adaptée permettant une intermodalité rapide et peu demandeuse en manutention, en concertation avec les acteurs ferroviaires, fluviaux et les acteurs de la logistique qui seront fortement incités au report vers ces modes. Cette stratégie s'appuiera sur la construction d'un réseau de plateformes intermodales et se déclinera dans les différentes régions pour coordonner les opérateurs des plateformes, les acteurs locaux, les infrastructures locales etc., pour permettre la massification du report de la route vers le fer et le fleuve.
47. Doter le certificat d'effort de décarbonation d'un volet "Chargement"
48. La puissance publique émet une liste des exigences quant à la nature des données à fournir par les acteurs de la logistique, nécessaires au bon pilotage des activités logistiques sur son territoire
49. Elargir les normes d'émissions de CO2 existantes pour les constructeurs camion, aux consommations par km parcouru, et au cycle de vie des véhicules
50. A moyen terme : rendre obligatoires les reports modaux sous des conditions de consommation énergétique moindre, selon les distances parcourues et le type de marchandises.
51. L'examen de capacité professionnelle en transport routier devra dorénavant intégrer le sujet climat/énergie, dans la partie QCM comme dans la partie d'analyse et réponses aux problèmes, le but étant d'avoir des acteurs du secteur qui aient un canal officiel et obligatoire d'informations, ainsi qu'un seuil de connaissance minimum afin de pouvoir y exercer le métier souhaité. En clair, à l'avenir, pour obtenir la capacité professionnelle en transport routier (léger) de marchandises, il faudra avoir travaillé sur des sujets climat/énergie, et avoir obtenu une note sur cette thématique en particulier qui soit supérieur à un seuil minimum à définir.

52. Il en est de même pour toutes les formations de conducteur/livreur sur véhicule utilitaire léger, qui actuellement ne comportent pas de partie dédiée aux enjeux énergie/climat. Ces sujets doivent y être intégrés et faire partie des entretiens et critères d'évaluations des candidats pour l'obtention du diplôme.
53. Pour les dirigeants, nous recommandons la mise en place d'une forme "d'habilitation climatique" sans laquelle il ne sera pas possible d'encadrer des activités de transport de marchandises et de la logistique. L'habilitation portera sur les enjeux énergétiques et climatiques (notamment) spécifiques au secteur : comment construire une stratégie carbone, contribuer à l'effort de décarbonation, etc.
54. Ces deux points font référence aux nouveaux entrants dans le marché du secteur du fret, et nous préconisons en parallèle une échéance à laquelle tous les acteurs déjà dans le secteur devront également obtenir respectivement soit l'habilitation pour les dirigeants, soit la capacité transport avec mention énergie/climat.
55. Un plan de formation à l'écoconduite et de rappel devra être mis en place et suivi par les transporteurs/ commissionnaires pour obtenir leur certificat d'effort à la décarbonation. Cet item pourrait devenir un thème obligatoire dans les rapports RSE, les Déclarations Extra Financières, les plateformes institutionnelles comme Impact et qu'il fasse partie des KPI sociaux/RH obligatoires, comme le sont l'index d'égalité ou le taux d'emploi de personnes en situation de handicap aujourd'hui par exemple, dans un bilan social.

11

BIBLIOGRAPHIE



Bibliographie

- Actu Transport Logistique. (2018a). Plateforme rail/route de Châlons-en-Champagne : Bientôt un appel à manifestation d'intérêt. Consulté 18 août 2021, à l'adresse Actu Transport Logistique website: <http://www.actu-transport-logistique.fr/ferroviaire/plateforme-railroute-de-chalons-en-champagne-bientot-un-appel-a-manifestation-dinteret-511619.php/?latest>
- Actu Transport Logistique. (2018b, novembre 26). Fret ferroviaire : Fret SNCF déploie les trains longs. Consulté 18 février 2022, à l'adresse Actu Transport Logistique website: <http://www.actu-transport-logistique.fr/ferroviaire/fret-ferroviaire-fret-sncf-deploie-les-trains-longs-511374.php/?latest>
- ADEME. (2014). *Impacts des limitations de vitesse sur la qualité de l'air, le climat, l'énergie et le bruit* (p. 55). ADEME.
- ADEME. (2019a). *EFFICACITE ENERGETIQUE ET ENVIRONNEMENTALE DU TRANSPORT FLUVIAL DE MARCHANDISES ET DE PERSONNES* (p. 94).
- ADEME. (2019b). *Efficacité énergétique et environnementale du transport fluvial de marchandises et de personnes* (p. 94). ADEME / VNF / AjbD.
- ADEME. (2021). Base Carbone en ligne. Consulté à l'adresse <https://www.bilans-ges.ademe.fr/>
- Afilog. (2016). *Panorama des emplois de la supply chain*.
- AFNOR. (2021, juin). AFNOR SPEC X43-072. Consulté 7 mars 2022, à l'adresse Afnor EDITIONS website: <https://www.boutique.afnor.org/en-gb/standard/afnor-spec-x43072/fa200498/238093>
- Allen, J., Browne, M., & Woodburn, A. (2012). *The Role of Urban Consolidation Centres in Sustainable Freight Transport*. 20.
- Allen, J., Browne, M., Woodburn, A., & Leonardi, J. (2014). A Review of Urban Consolidation Centres in the Supply Chain Based on a Case Study Approach. *Supply Chain Forum: An International Journal*, 15(4), 100-112. <https://doi.org/10.1080/16258312.2014.11517361>
- Alliance 4F. (2020). *Le Fret ferroviaire pour concilier relance économique et écologie—Les propositions de l'Alliance 4F pour doubler la part de marché du fret ferroviaire en 2030* (p. 22). Alliance 4F.
- Altermind. (2020). *Les co-bénéfices du fret ferroviaires—Éléments d'évaluation et propositions* (p. 50). Altermind.
- APUR. (2014). *Logistique urbaine : Vers un schéma d'orientation logistique parisien* (p. 48). Paris: APUR.
- Assmann, T., Müller, F., Bobeth, S., & Baum, L. (2019). *Planning of cargo bike hubs—A guide for municipalities and industry for the planning of transshipment hubs for new urban logistics concepts*. Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg.
- Automobile Propre. (2021, octobre 21). L'éco-conduite en voiture électrique. Consulté 21 décembre 2021, à l'adresse Automobile Propre website: <https://www.automobile-propre.com/dossiers/conseil-eco-conduite-voiture-electrique/>

- Autorité de régulation des transports. (2018). *Le marché français du transport ferroviaire de marchandises* (p. 40). Autorité de régulation des transports. Consulté à l'adresse Autorité de régulation des transports website: https://www.ortl-grandest.fr/wp-content/uploads/2020/02/ART_bilan_marche_ferroviaire_marchandises_2018_fev2020.pdf
- Baaj, H. (2012). Dégradation et usure des revêtements routiers souples. *Techniques de l'Ingénieur*.
- Bagnaud, A. (2018, octobre 8). Le cross-docking : Une technique pour optimiser votre logistique. Consulté 25 août 2021, à l'adresse SupplyChainInfo website: <https://www.supplychaininfo.eu/cross-docking/>
- Barjonet, C. (2014, septembre 4). Le monde mis en boîte ou l'histoire du conteneur. *Les Echos*. Consulté à l'adresse <https://www.lesechos.fr/2014/09/le-monde-mis-en-boite-ou-lhistoire-du-conteneur-308918>
- Basma, H., Beys, Y., & Rodríguez, F. (2021). *Battery electric tractor-trailers in the European Union : A vehicle technology analysis*. 19.
- Béchet, B., Le Bissonnais, Y., Ruas, A., & Aguilera, A. (2017). *Sols artificialisés et processus d'artificialisation des sols : Déterminants, impacts et leviers d'action*. INRA. Consulté à l'adresse INRA website: <https://hal-amu.archives-ouvertes.fr/hal-01687919>
- Bigo, A. (2020). *Les transports face au défi de la transition énergétique. Explorations entre passé et avenir, technologie et sobriété, accélération et ralentissement*.
- Blin, A.-C. (2020, août 25). Transport de marchandises : Et si on passait en mode rail? *Shiptify*.
- BloombergNEF. (2021, novembre 30). Battery Pack Prices Fall to an Average of \$132/kWh, But Rising Commodity Prices Start to Bite. Consulté 18 février 2022, à l'adresse BloombergNEF website: <https://about.bnef.com/blog/battery-pack-prices-fall-to-an-average-of-132-kwh-but-rising-commodity-prices-start-to-bite/>
- Briand, Y., Svensson, J., Koning, M., Combes, F., Lamy, G., Pourouchottamin, P., ... Lefevre, J. (2019). *Trajectoires de décarbonation profonde du transport de marchandises en France, Rapport descriptif* (p. 48). IDDRI.
- Carbone 4. (2020). *Transport routier: Quelles motorisations alternatives pour le climat?* (p. 52). Carbone 4. Consulté à l'adresse Carbone 4 website: <https://www.carbone4.com/wp-content/uploads/2020/12/Transport-Routier-Motorisations-Alternatives-Publication-Carbone-4.pdf>
- CCNR. (2017). *Annual Report 2017 Inland navigation in Europe market observation* (p. 150). Consulté à l'adresse https://inland-navigation-market.org/wp-content/uploads/2019/08/ccnr_2017_Q2_EN_CCNR_annual_report_EN_Q2_2017_BD_-1-min.pdf
- CE Delft. (2018). *Modal choice criteria in rail transport—Assessment of modal choice criteria in various rail transport market segments*. CE Delft.
- CEREMA. (2020). *La logistique urbaine fluviale—Connaître pour agir* (p. 69). CEREMA.
- CGDD. (2017). *Evolution du transport léger dans les secteurs du transport routier de fret et de la messagerie entre 1995 et 2013* (p. 4). CGDD. Consulté à l'adresse CGDD website: https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/sites/default/files/2018-11/datalab-essentiel-119-transport-leger-fret-messagerie-1995-2013-septembre2017-b_0.pdf

- CGDD. (2019). *Chiffres clés du transport édition 2019* (p. 88). CGDD. Consulté à l'adresse CGDD website: <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/sites/default/files/2019-04/datalab-50-chiffres-clefs-du-transport-avril2019.pdf>
- Chargemap. (2021). Bornes de recharge TotalEnergies. Consulté 21 décembre 2021, à l'adresse Chargemap website: <https://fr.chargemap.com/networks/total>
- Citepa. (2019). *Inventaire des émissions de polluants atmosphériques et de gaz à effet de serre en France –Format Secten*. Consulté à l'adresse https://www.citepa.org/wp-content/uploads/publications/secten/Citepa_Secten-2019_Rapport_Completv3.pdf
- Complexio/LET/ADEME. (2010). *Efficacité de politiques de rationnement carbone sur les organisations logistiques de distribution des chargeurs et les émissions de GES du transport de marchandises* (p. 109).
- Contexte. (2021a). *Les 72 mesures de l'avant-projet de stratégie pour le fret ferroviaire*. Contexte.
- Contexte. (2021b, juin). Des corridors de fret européens peu convaincants jusqu'ici. Contexte.
- CRE. (2018). *Etude sur les perspectives stratégiques de l'énergie—Monographie n°2 sur le stockage de l'électricité* (p. 44). CRE. Consulté à l'adresse CRE website: http://fichiers.cre.fr/Etude-perspectives-strategiques/2Monographies/2_Monographie_Stockage.pdf
- Del Bucchia, O., & Carpentier, G. (2021). *Pouvoir voler en 2050 : Quelle aviation dans un monde contraint ?* The Shift Project et Supaéro-Décarbo.
- Deraëve, S., Mimeur, C., Poinot, & Zembri. (2018). Les petites lignes : De la nomenclature UIC à un classement par les enjeux et les potentiels. *Transports urbains*. Consulté à l'adresse <https://www.cairn.info/revue-transports-urbains-2018-2-page-3.htm>
- Earl, T., Mathieu, L., Cornelis, S., Kenny, S., Ambel, C. C., & Nix, J. (s. d.). *Analysis of long haul battery electric trucks in EU*. 22.
- EcoTransIT World. (2020, novembre 30). EcoTransIT World—Calculateur d'émissions. Consulté 22 février 2022, à l'adresse EcoTransIT World website: <https://www.ecotransit.org/fr/calculateur-demissions/>
- ESANE 2018—Principales caractéristiques au niveau sous-classe [Base de données]. (s. d.). Consulté à l'adresse INSEE website: <https://www.insee.fr/fr/statistiques/3560241?sommaire=3560277>
- European environment agency. (2021, novembre 18). Greenhouse gas emission intensity of electricity generation in Europe. Consulté 18 février 2022, à l'adresse European environment agency website: <https://www.eea.europa.eu/ims/greenhouse-gas-emission-intensity-of-1>
- European Parliament. (2018). *Research for TRAN Committee—Modal shift in European transport : A way forward*.
- Eurostat. (2017). *Railway transport—Length of lines, by nature of transport*. Consulté à l'adresse https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/RAIL_IF_LINE_NA__custom_1631365/default/table?lang=en
- Faccio, M., & Gamberi, M. (2015). *New City Logistics Paradigm : From the “Last Mile” to the “Last 50 Miles” Sustainable Distribution*. 22.
- faq-logistique. (2013). Rencontre avec SPHINX : Le plus grand pool mis en place en Europe chez FM Logistic. Consulté à l'adresse Faq-logistique website: <https://www.faq-logistique.com/CP20130605-FM-Logistic-Mise-En-Place-Sphinx-Pool-Europeen.htm>

- FNAUT. (2020). *Le report modal : Un objectif incontournable* (p. 40). FNAUT. Consulté à l'adresse FNAUT website: <https://www.fnaut.fr/uploads/2020/11/db201104reportmodal.pdf>
- Formation qualifiante de chauffeur routier sur porteur. (s. d.). Consulté 16 juin 2021, à l'adresse Afpa website: <https://www.afpa.fr/formation-qualifiante/chauffeur-routier-sur-porte-1>
- France Stratégie/ CGEDD/ IGF. (2021). *Pour un développement durable du commerce en ligne* (p. 318). France Stratégie/ CGEDD/ IGF. Consulté à l'adresse France Stratégie/ CGEDD/ IGF website: https://www.strategie.gouv.fr/sites/strategie.gouv.fr/files/atoms/files/fs-rapport-pour_un_developpement_durable_du_commerce_en_ligne-11-03-2021.pdf
- Fressoz, M. (2019, juin 19). Rail-route : T3M fait rouler des navettes de 850m entre Paris et Lille. Consulté 18 février 2022, à l'adresse Transport Info website: <https://www.transportinfo.fr/rail-route-t3m-fait-rouler-des-navettes-de-850m-entre-paris-et-lille/>
- Gaston-Breton, T. (2013, août 5). Quand les marchands de Venise dominaient le monde. Consulté 7 mars 2022, à l'adresse Les Echos website: <https://www.lesechos.fr/2013/08/quand-les-marchands-de-venise-dominaient-le-monde-1098650>
- Green cross France & territoires. (2020). *Fret, rail et performance logistique des territoires*.
- Grinand, M. (2020, juin 16). Renault Trucks lance la production en série des D Z.E. et D Wide Z.E. Consulté 22 septembre 2021, à l'adresse Flottes Automobiles website: <https://www.flotauto.com/renault-trucks-lance-la-production-en-serie-des-d-z-e-et-d-wide-z-e-20200616.html>
- Groupe SNCF. (2020). *Rapport financier annuel Groupe SNCF*.
- Gustavsson, M., Alfredsson, H., Börjesson, C., Sundelin, H., Johnsson, F., Taljegård, M., ... Lindgren, M. (2021). *DIGITAL SYSTEMS ELECTROMOBILITY*. 189.
- Hartwig, Matthias, Bußmann-Welsch, Anna, & Lehmann, Michael. (2020). *Models for the development of electric road systems in Europe*. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.4327310>
- HBEFA. (2019). *HBEFA v4.1*. Consulté à l'adresse <https://www.hbefa.net/e/index.html>
- Heitz, A., & Dablanc, L. (2019). *Mobilité des marchandises dans la ville durable—Les nouveaux enjeux de l'action publique locale*. IFSTTAR - Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux.
- Huet, J.-M., & Micheaux, J.-M. (2020). *Les défis de la supply chain : Logistique et achat, le renouveau ?*
- Inddigo - Vertigolab. (2020). *Impact économique et potentiel de développement des usages du vélo en France*. 375.
- INSEE. (2020). *Catégorie socioprofessionnelle selon le sexe et l'âge*. Consulté à l'adresse <https://www.insee.fr/fr/statistiques/2489546>
- International Transport Forum / TCAD. (2020). *Electric road systems* (p. 3). International Transport Forum / TCAD.
- IRENA. (2019). *Navigating the Way to a Renewable Future : Solutions do Decarbonise Shipping* (p. 36). IRENA.
- Lallemand, F. (2020). *Vers un plan de transformation de l'économie française en faveur du climat et de la résilience—Agriculture et alimentation* (p. 35). The Shift Project. Consulté à l'adresse The Shift

Project website: <https://theshiftproject.org/wp-content/uploads/2021/04/TSP-PTEF-V1-FL-Agriculture.pdf>

Le Parisien. (2021, mars 13). VIDÉO. Le vélo peut-il remplacer les camions de livraison en ville ? Consulté 20 décembre 2021, à l'adresse [Leparisien.fr](https://www.leparisien.fr/video/video-le-velo-peut-il-remplacer-les-camions-de-livraison-en-ville-13-03-2021-8428367.php) website: <https://www.leparisien.fr/video/video-le-velo-peut-il-remplacer-les-camions-de-livraison-en-ville-13-03-2021-8428367.php>

Łebkowski, A. (2018). Reduction of Fuel Consumption and Pollution Emissions in Inland Water Transport by Application of Hybrid Powertrain. *Energies*, 11(8), 1981. <https://doi.org/10.3390/en11081981>

Légifrance. (2019, décembre 24). LOI n° 2019-1428 du 24 décembre 2019 d'orientation des mobilités. Consulté 30 juillet 2021, à l'adresse <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT00003966574/>

Les Echos. (2020, septembre 3). Plan de relance : L'Etat-actionnaire de nouveau au chevet de la SNCF. Consulté 12 mai 2021, à l'adresse [Les Echos](https://www.lesechos.fr/industrie-services/tourisme-transport/plan-de-relance-letat-actionnaire-de-nouveau-au-chevet-de-la-sncf-1239206) website: <https://www.lesechos.fr/industrie-services/tourisme-transport/plan-de-relance-letat-actionnaire-de-nouveau-au-chevet-de-la-sncf-1239206>

Leśniewski, W., Piątek, D., Marszałkowski, K., & Litwin, W. (2020). Small Vessel with Inboard Engine Retrofitting Concepts; Real Boat Tests, Laboratory Hybrid Drive Tests and Theoretical Studies. *Energies*, 13(10), 2586. <https://doi.org/10.3390/en13102586>

L'Humanité. (2020, avril 8). Sans approvisionnement, Paris n'a que trois jours de vivres devant lui. Consulté 7 mars 2022, à l'adresse [L'Humanité](https://www.humanite.fr/planete/covid-19/sans-approvisionnement-paris-na-que-trois-jours-de-vivres-devant-lui-687563) website: <https://www.humanite.fr/planete/covid-19/sans-approvisionnement-paris-na-que-trois-jours-de-vivres-devant-lui-687563>

L'Institut Paris Region. (2020, avril). État des lieux de la logistique en Île-de-France. Consulté 4 août 2021, à l'adresse [L'Institut Paris Region](https://www.institutparisregion.fr/mobilite-et-transports/transport-de-marchandises-et-logistique/etat-des-lieux-de-la-logistique-en-ile-de-france/) website: <https://www.institutparisregion.fr/mobilite-et-transports/transport-de-marchandises-et-logistique/etat-des-lieux-de-la-logistique-en-ile-de-france/>

Lobner, P. (2020). *MAN Concept S Advanced Aerodynamic Tractor-Trailer* (p. 8). Consulté à l'adresse <https://lynceans.org/wp-content/uploads/2020/04/MAN-Concept-S-tractor-trailer-converted.pdf>

Luciano, F. (2017). *Cyclo logistique, contribution aux ateliers « pour une mobilité plus propre » et « mobilités actives » des Assises de la Mobilité* (p. 9). ECLF.

MariGreen. (2018). *Perspectives for the Use of Hydrogen as Fuel in Inland Shipping*. Consulté à l'adresse https://marigreen.eu/wordpress_marigreen/wp-content/uploads/2018/11/Hydrogen-Feasibility-Study-MariGreen.pdf

Marinov, M., Giubilei, F., Gerhardt, M., Özkan, T., Stergiou, E., Papadopol, M., & Cabecinha, L. (2013). Urban freight movement by rail. *Journal of Transport Literature*, 7, 87-116.

MEDDE. (2012). *Information CO2 des prestations de transport—Guide méthodologique* (p. 236). Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'énergie.

Melo, S., & Baptista, P. (2017). Evaluating the impacts of using cargo cycles on urban logistics : Integrating traffic, environmental and operational boundaries. *European Transport Research Review*, 9(2), 30. <https://doi.org/10.1007/s12544-017-0246-8>


Ministère de la transition écologique. (2017). La COP23 en questions. Consulté à l'adresse <https://www.ecologie.gouv.fr/en/node/2015#:~:text=de%20l'infographie-,Si%20le%20niveau%20de%20la%20mer%20monte%20d'un%20m%C3%A8tre,1967%20kilom%C3%A8tres%20de%20voies%20ferr%C3%A9es>

- Ministère de la Transition écologique. (2019, octobre 29). France Logistique 2025. Consulté 5 août 2021, à l'adresse <https://www.ecologie.gouv.fr/france-logistique-2025>
- Ministère de la transition écologique. (2020, août 27). Les informations clés du secteur du transport de marchandises (TRM). Consulté à l'adresse <https://www.ecologie.gouv.fr/informations-cles-du-secteur-du-transport-marchandises-trm>
- Mobility de TotalEnergies. (2020, décembre 7). Le platooning ouvre de nouvelles perspectives au transport routier. Consulté 21 décembre 2021, à l'adresse Mobility de TotalEnergies website: <https://mobility.totalenergies.com/fr/actus-conseils/collaborateurs-sur-la-route/transporteurs/platooning-avenir-transport-routier>
- MTE. (2020, octobre 12). Le parc de poids lourds en circulation est stable au 1er janvier 2020. Consulté à l'adresse Données et études statistiques du Ministère de la transition écologique website: <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/le-parc-de-poids-lourds-en-circulation-est-stable-au-1er-janvier-2020>
- MTE/SDES. (2020). *Bilan annuel des transports en 2019* (p. 200). MTE/SDES.
- MTES/PMP/LAET/Logicités/ELV Mobilités. (2018). *Étude prospective des enjeux de la livraison du dernier kilomètre sous forme mutualisée et collaborative, ainsi que leurs articulations avec le concept d'internet physique* (p. 86).
- Nieuwsblad transport. (2020, juin 17). 'Vergroening binnenvaart kan prima met flowbatterijen'. Consulté 6 janvier 2022, à l'adresse NT.nl website: <https://www.nt.nl/binnenvaart/2020/06/17/vergroening-binnenvaart-kan-prima-met-flowbatterijen/>
- Nouvelle Route. (2021). Calculez vos économies de carburant en entreprise. Consulté à l'adresse Nouvelle route mobilité dur@ble website: <https://www.nouvelle-route.fr/simulateur-de-calcul-economies-eco-conduite-economique/>
- Objectif CO2. (2020). *Charte d'engagements volontaires de réduction des émissions de CO2 du transport routier de marchandises*.
- Observatoire Prospectif des métiers et des qualifications dans les Transports et la Logistique (OPTL). (2020). *Rapport 2020*.
- Ozturk, O., & Patrick, J. (2018). An optimization model for freight transport using urban rail transit. *European Journal of Operational Research*, 267(3), 1110-1121. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.12.010>
- Parlement européen. *DIRECTIVE (UE) 2015/ 719 DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL - du 29 avril 2015—Modifiant la directive 96/ 53/ CE du Conseil fixant, pour certains véhicules routiers circulant dans la Communauté, les dimensions maximales autorisées en trafic national et international et les poids maximaux autorisés en trafic international.* , (2015).
- Parlement européen. *DÉCISION DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL modifiant la directive 96/53/CE du Conseil en ce qui concerne le délai fixé pour la mise en œuvre des règles spéciales relatives à la longueur maximale pour les cabines améliorant les performances aérodynamiques, l'efficacité énergétique et les performances en matière de sécurité.* , (2019).
- Patrice Geoffron. (2020, octobre 15). Plan de relance : Encore trop peu, mais pas trop tard pour le fret ferroviaire. Consulté 12 mai 2021, à l'adresse I4CE website: <https://www.i4ce.org/plan-de-relance-fret-ferroviaire-climat/>

- Portelier, J., & Perron, L. (2021). *La transition bas carbone, une opportunité pour l'industrie automobile française ?* (p. 148). The Shift Project. Consulté à l'adresse The Shift Project website: <https://theshiftproject.org/wp-content/uploads/2021/11/TSP-PTEF-Industrie-automobile-RF-VF.pdf>
- Proposition de loi n°3040 instaurant un moratoire sur l'implantation de nouveaux entrepôts logistiques destinés aux opérateurs du commerce en ligne et portant mesures d'urgence pour protéger le commerce de proximité d'une concurrence déloyale.* , (2020).
- Raicu, S., Costescu, D., & Burciu Stefan. (2020). *Distribution System with Flow Consolidation at the Boundary of Urban Congested Areas* Serban Raicu, Dorinela Costescu * and Stefan Burciu.
- Rapport d'information pour le Sénat. (2010). *Avenir du fret ferroviaire : Comment sortir de l'impasse ?* Consulté à l'adresse <https://www.senat.fr/rap/r10-055/r10-0550.html>
- Ricardo Energie & Environment / ifeu / E4tech. (2020). *Determining the environmental impacts of conventional and alternatively fuelled vehicles through LCA. Final Report for the European Commission, DG Climate Action* (p. 456). Ricardo Energie & Environment / ifeu / E4tech.
- RTE. (2021). *Futurs énergétiques 2050*. RTE. Consulté à l'adresse RTE website: <https://www.rte-france.com/analyses-tendances-et-prospectives/bilan-previsionnel-2050-futurs-energetiques#Lesdocuments>
- Rudolph, C., & Gruber, J. (2017). Cargo cycles in commercial transport : Potentials, constraints, and recommendations. *Research in Transportation Business & Management*, 24, 26-36. <https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2017.06.003>
- SDES. (2020). *Chiffres clés du transport—Édition 2020* (p. 92). MTES/SDES.
- SDES. (2021). *Chiffres clés du transport—Édition 2021*. SDES. Consulté à l'adresse SDES website: <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/edition-numerique/chiffres-cles-transport-2021/>
- Sénat. (2021). *Rapport d'information fait au nom de la commission de l'aménagement du territoire et du développement durable (1) par la mission d'information relative au transport de marchandises face aux impératifs environnementaux (2à* (p. 171). Sénat.
- Simian, B. (2018). *Le verdissement des matériels roulants du transport ferroviaire en France Comment répondre aux défis de la sortie du Diesel et se tenir à la pointe de l'innovation technologique pour assurer la transition énergétique ?* Assemblée Nationale. Consulté à l'adresse Assemblée Nationale website: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02125084/document>
- Sivardière, J. (2020, février). Le changement climatique fragilise de plus en plus les infrastructures de transport. Consulté 7 juillet 2021, à l'adresse <https://reporterre.net/Le-changement-climatique-fragilise-de-plus-en-plus-les-infrastructures-de-transport>
- SNCF Réseau. (2021). Lutte contre le changement climatique. Consulté 29 juillet 2021, à l'adresse SNCF-Réseau.com website: <https://www.sncf-reseau.com/fr/entreprise/newsroom/sujet/lutte-contre-changement-climatique>
- Sogaris / Université Gustave Eiffel / Poste Immo. (2020). *Les mobilités du e-commerce—Quels impacts sur la ville ?* Sogaris / Université Gustave Eiffel / Poste Immo.
- Sortiraparis.com. (2021, avril 19). Achats en ligne : 3 dépôts-bus de la RATP utilisés pour les livraisons d'Amazon et Chronopost. Consulté à l'adresse Sortiraparis.com website: <https://www.sortiraparis.com/actualites/a-paris/articles/249594-achats-en-ligne-3-depots-bus-de-la-ratp-utilises-pour-les-livraisons-d-amazon-et-chronopost>

- SSPA. (2020). *Battery electric inland waterway vessel* (N° RE41178514-05-00-A; p. 55). interreg / SSPA.
- The ICCT. (2019). *TOWARD GREENER SUPPLY CHAINS A CRITICAL ASSESSMENT OF A MULTIMODAL, MULTINATIONAL FREIGHT SUPPLY CHAIN OF A FORTUNE 50 RETAILER*.
- The Shift Project. (2021). *L'UNION EUROPÉENNE RISQUE DE SUBIR DES CONTRAINTES FORTES SUR LES APPROVISIONNEMENTS PÉTROLIERS D'ICI À 2030* (p. 66). Consulté à l'adresse <https://theshiftproject.org/article/ue-declin-approvisionnement-petrole-2030-etude/>
- The Shift Project. (2022). *L'évaluation énergie-climat du PTEF* (p. 49). The Shift Project.
- Tipagornwong, C., & Figliozzi, M. (2014). Analysis of Competitiveness of Freight Tricycle Delivery Services in Urban Areas. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2410(1), 76-84. <https://doi.org/10.3141/2410-09>
- TotalEnergies. (2019, février 3). Comment le GNR est-il fabriqué ? Consulté à l'adresse TotalEnergies website: <https://www.proxi-totalenergies.fr/agriculteurs/actualites/comment-le-gnr-est-il-fabrique>
- Transport & Environment. (2018). *Roadmap to decarbonising European shipping* (p. 22). Transport & Environment.
- Transport & Environment. (2020a). *Comment décarboner le fret français d'ici 2050* (p. 80). Transport & Environment.
- Transport & Environment. (2020b). *How clean are electric cars?* (p. 33). Transport & Environment. Consulté à l'adresse Transport & Environment website: <https://www.transportenvironment.org/wp-content/uploads/2020/04/TEs-EV-life-cycle-analysis-LCA.pdf>
- Transport & Environment. (2021a). AFIR - Heavy Duty Vehicles (Alternative Fuels Infrastructure Regulation)—The EU prepares the ground for zero-emission road freight transport. Consulté 22 février 2022, à l'adresse Transport & Environment website: <https://www.transportenvironment.org/wp-content/uploads/2021/09/TE-AFIR-HDV-reaction-1.pdf>
- Transport & Environment. (2021b, décembre). Higher van CO₂ reduction targets needed to deliver e-vans in the 2020s—T&E recommendations to revise the EU van CO₂ standards. Consulté 22 février 2022, à l'adresse Transport & Environment website: <https://www.transportenvironment.org/wp-content/uploads/2021/12/van-CO2-standards-position-paper-12-2021.pdf>
- Transport & Environment. (2022). *Why the future of long-haul trucking is battery electric* (p. 5). Transport & Environment. Consulté à l'adresse Transport & Environment website: https://www.transportenvironment.org/wp-content/uploads/2022/02/2022_02_battery_electric_trucks_HDV_factsheet.pdf
- University of Cambridge / BSR. (2015). *Changement climatique : Répercussions sur les transports*.
- van Heeswijk, W., Larsen, R., & Larsen, A. (2019). An urban consolidation center in the city of Copenhagen: A simulation study. *International Journal of Sustainable Transportation*, 13(9), 675-691. <https://doi.org/10.1080/15568318.2018.1503380>
- van Rooijen, T., & Quak, H. (2010). Local impacts of a new urban consolidation centre – the case of Binnenstadservice.nl. *Procedia Social and Behavioral Sciences*, 13.
- Ville, Rail et Transports. (2017, mai 23). Fret : Lancement du premier train long de 850 mètres. Consulté 18 février 2022, à l'adresse Ville, Rail et Transports website: <https://www.ville-rail-transports.com/ferroviaire/16842-fret-lancement-du-premier-train-long-de-850-metres/>

- VNF / BATELIA. (2018). *Propulsion hybride pour bateaux fluviaux* (p. 12). VNF / BATELIA.
- VNF / BATELIA. (2020a). *Propulsion gaz pour bateaux fluviaux* (p. 12). VNF / BATELIA.
- VNF / BATELIA. (2020b). *Propulsion hydrogène pour bateaux fluviaux*. VNF / BATELIA.
- VNF / CCI Hauts de France. (2016). *Les enjeux du transport de marchandises par le mode fluvial en Hauts-de-France* (p. 28). VNF / CCI Hauts de France. Consulté à l'adresse VNF / CCI Hauts de France website: <https://hautsdefrance.cci.fr/content/uploads/sites/6/2016/12/Enjeux-du-transport-fluvial-en-Hauts-de-France-septembre-2016.pdf>
- VNF / Conférence Fluviale. (2016). *R&D et innovation dans la flotte française—Feuille de route*. VNF.
- Voies navigables de France. (2021, janvier 15). Feedback from : Voies navigables de France—Inland waterway transport—NAIADES III action plan 2021-2027. Consulté 10 août 2021, à l'adresse https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/12789-Inland-waterway-transport-NAIADES-III-action-plan-2021-2027/F1454563_en
- WebLex. (2020). Bornes de recharge de véhicules électriques : Un paiement par carte bancaire ? Consulté 21 décembre 2021, à l'adresse WebLex website: <https://www.weblex.fr/weblex-actualite/bornes-de-recharge-de-vehicules-electriques-un-paiement-par-carte-bancaire>
- Wikipédia. (2021a). Liste des tramways en France. In *Wikipédia*. Consulté à l'adresse https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Liste_des_tramways_en_France&oldid=188319584
- Wikipédia. (2021b). Réseau des voies navigables. In *Wikipédia*. Consulté à l'adresse https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=R%C3%A9seau_des_voies_navigables&oldid=184422744
- WWF-DCP. (2009). *Environmentally friendly inland waterway ship design for Danube river* (p. 111). WWF-DCP.



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

www.theshiftproject.org

Contacts :

Reuben Fisher

Chef de projet Fret
reuben.fisher@theshiftproject.org

Nicolas Raillard

Coordinateur du projet Fret
nicolas.raillard@theshiftproject.org

Ilana Toledano

Responsable presse et communication
ilana.toledano@theshiftproject.org

