

La décarbonation du transport routier des marchandises

Quels sont les moyens nécessaires pour une décarbonation
réaliste du secteur ?



Alex Montfort
Alice El Khazen
Enol Álvarez
Maxendre Buvot

Nazem El Khatib
Remy Martinez
Romain Delsol
Yiru-Aimie LIU

2023 - 2024

Cette publication a été réalisée par des étudiants en troisième année du cycle ingénieur de Mines Paris PSL Research University. Il présente le travail réalisé dans le cours intitulé « Descriptions de controverse », qui a pour objectif d'introduire les étudiants à l'univers incertain de la recherche scientifique et technique et de les sensibiliser aux enjeux de la participation citoyenne.

Mines Paris décline toute responsabilité pour les erreurs et les imprécisions que peut contenir cet article. Vos réactions et commentaires sont bienvenus. Pour signaler une erreur, réagir à un contenu ou demander une modification, merci d'écrire à la responsable de l'enseignement : madeleine.akrich@mines-paristech.fr.

Introduction

En France, le secteur des transports demeure le plus polluant en termes d'émission de gaz à effet de serre (GES) en étant responsable de 31% des émissions françaises annuelles. Bien que les voitures particulières occupent la majeure partie de ces émissions avec presque soixante-dix mégatonnes équivalent CO₂ annuelles sur les cent trente du secteur, les poids lourds sont à la deuxième place avec près de trente mégatonnes¹. Ces chiffres prennent une autre dimension une fois pris en compte le fait que le secteur des transports est le seul qui a vu une augmentation nette de ses émissions de GES depuis 1990, avec une évolution de 9% en 2019¹ (donc avant la pandémie du Covid-19).

Ce constat récent s'accompagne d'une multiplication de lois, stratégies, enquêtes et règlements qui ont pour but commun la nécessité impérieuse de réduire les émissions des transports en France ainsi que dans l'Union Européenne (UE), en particulier pour les poids lourds. Bien que de telles réglementations étaient présentes dès la création de l'Union Européenne - puisque le traité de Maastricht a jeté les bases d'une politique environnementale européenne - une accélération au cours des dernières années est notable.

Les années 2000 ne verront en effet que peu de régulations visant à réduire les émissions de polluants atmosphériques, les plus importantes étant les directives Euro 5 et Euro 6 de l'Union Européenne (2009) qui visent explicitement les poids lourds circulant dans l'UE et leurs émissions.

C'est durant ces dernières années, près de dix ans après ces deux directives, qu'une intensification des actions du gouvernement et des acteurs du secteur s'est opérée. Nous noterons en particulier l'adoption d'une *stratégie européenne pour la mobilité durable et intelligente* (2020) qui vise à promouvoir des solutions de transport innovantes, respectueuses de l'environnement et efficaces pour répondre aux besoins de déplacement tout en réduisant les émissions de carbone et de la *loi d'orientation des mobilités* (LOM) (2021) qui vise à moderniser les infrastructures de transport et à favoriser les modes de déplacement alternatifs et durables.

La succession de ces mesures montre l'intérêt politique croissant que constituent les émissions du secteur du transport et *a fortiori* celui du transport de marchandises par poids lourds, qui nous intéresse ici. L'objectif actuel au niveau européen, fixé par un texte adopté au Parlement en février 2023, est une réduction de 90% des émissions des camions proposés à la vente d'ici 2040, par rapport à ceux vendus en 2019. Cette cible s'inscrit dans la volonté de parvenir au fameux "Net Zero 2050" du Green Deal européen.

Bien que ces aspirations se concrétisent au travers d'initiatives des collectivités, des constructeurs, des compagnies de transport et d'énergie, certaines questions demeurent. Ces ambitions sont-elles réalistes face aux défis économiques et technologiques que représente une telle transformation du secteur ? Quelles technologies sont les plus adaptées pour remplacer de façon viable et rapide les moteurs thermiques qui représentent la quasi-totalité du parc de poids lourds français ? Comment financer la transition technologique particulièrement onéreuse de cette filière, que ne peuvent entièrement prendre en charge les entreprises de transport ? Le gouvernement doit-il intervenir plus fortement dans ce combat contre les émissions de gaz à effet de serre et l'implication d'autres acteurs doit-elle être une étape de la décarbonation ?

La question de la décarbonation du transport routier de marchandises ne suscite pas de débat quant à son importance parmi les acteurs du secteur. Lors d'un récent entretien avec un responsable du secteur des infrastructures routières, il a été affirmé de manière unanime que tous les acteurs, des collectivités aux transporteurs, reconnaissent la nécessité pressante de décarboner le transport des marchandises. En effet, il

¹ Robert, C., Barrault, S., & Druart, A. (2022). *Greenhouse gases and atmospheric pollutants 1990-2021 France emissions report National inventory report / Secten format—June 2022 edition* (p. 512). http://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig_q=RN:53079964.

semble que personne ne souhaite rester en retard dans cette transition inéluctable. La direction vers la décarbonation est perçue comme une exigence incontournable, motivée autant par des considérations écologiques que par des impératifs économiques, sanitaires et politiques. Il est crucial de souligner que dépendre exclusivement d'autres modes de transport pour minimiser les émissions du transport routier n'est pas une solution viable. En effet, la réalité opérationnelle impose de parcourir le dernier kilomètre en route, et les autres moyens de transport disponibles peuvent être limités en termes de capacité, soulignant ainsi la nécessité de trouver des solutions spécifiques à ce secteur pour assurer une décarbonation efficace. La question qui se pose désormais n'est donc pas de savoir si la décarbonation du transport routier de marchandises est nécessaire, mais plutôt comment la mettre en œuvre de manière réaliste et efficace.

Lorsque l'on cherche à analyser la prévalence de ces sujets dans la presse, nous observons un récent pic médiatique qui semble débuter en 2019 et ne cesse de croître, signe de l'importance de ces sujets de décarbonation dans les débats actuels. Le fait que 2019 soit une date clé témoigne peut être de la prise de conscience écologique qu'a suscité l'épidémie de covid.

ÉVOLUTION

Pic médiatique : 8 documents le 19 juin 2023

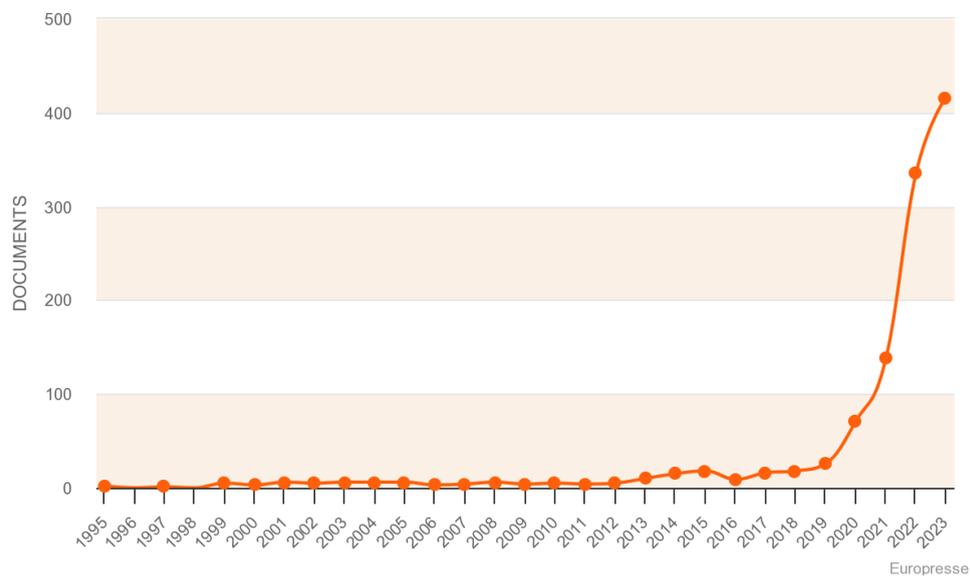


Figure #1: Evolution de la présence dans la presse de sujets en lien avec la décarbonation des camions (recherche [text = (décarbonation | sobriété) & (fret | logistique | camions | transport routier)] dans la base de données europresse)

Cette analyse de la base de données Europresse a aussi donné lieu à une étude quantitative des cooccurrences de termes dans la presse. Cette étude, donnée en annexe, met en valeur entre autres le lien entre organisation du réseau et report modal vers le moyen de transport décarboné qu'est le train, ainsi que le rôle important de la puissance publique dans la décarbonation de ce secteur.

Quelles sont les options envisagées pour décarboner le transport de marchandises routier ?

■ De l'hydrogène à l'électrique : le choix incertain de la motorisation

Actuellement, les entreprises du secteur du transport de marchandises en Europe ont amorcé une transition dans le but de réduire leurs émissions. La stratégie mise en place consiste à développer de nouvelles technologies de camions décarbonés et à produire suffisamment de véhicules pour remplacer la flotte actuelle. C'est cette stratégie qui matérialise le plus de débats, et le sujet des technologies de camions est donc central dans cette controverse.

Il existe différentes motorisations permettant de faire rouler un poids lourd en réduisant ses émissions. Leurs pertinences sont débattues par différents acteurs liés au secteur. Voici les principales qui sont envisagées :

- Le camion à hydrogène fonctionne avec un moteur électrique, alimenté par une pile à combustible. Le camion est donc doté d'un réservoir d'hydrogène comprimé, qui alimente la pile pour générer l'électricité nécessaire. Il existe également une motorisation thermique à hydrogène : le carburant est alors brûlé directement dans un moteur à explosion, qui remplace le couple pile à combustible - moteur électrique. Nous parlerons ici uniquement de la technologie à pile à combustible car il s'agit aujourd'hui de la solution la plus mature des deux.
- Le camion à batterie (aussi appelé camion ou véhicule électrique par raccourci) dispose d'une grande quantité de batteries lithium-ion, qui alimentent un moteur électrique durant le fonctionnement. Les batteries peuvent être rechargées pendant les pauses via le réseau électrique.
- Le camion à gaz utilise un moteur à explosion, comme les motorisations classiques. Le gaz rejette cependant moins d'oxydes d'azote et de particules fines, et réduit légèrement les émissions de gaz à effet de serre par rapport à un véhicule essence ou diesel.
- Le biocarburant est utilisable en mélange avec du carburant diesel classique et ne demande pratiquement pas de changement au niveau du moteur du camion.

Un hydrogène pas encore mature

En 2023, aucun poids lourd à hydrogène n'est encore commercialisé en France. L'utilisation de ce carburant, inédite dans le secteur du fret, pose plusieurs problèmes techniques qui restent imparfaitement traités. Les risques de fuites ou d'explosions en particulier sont de nature à ralentir le déploiement de la technologie. Le manque de points de recharge pour les véhicules à hydrogène est également responsable du faible développement de cette motorisation sur les routes.

Étant donné le manque de maturité apparent de la technologie à hydrogène et les inconnues qui règnent encore sur un grand nombre de problématiques, certains acteurs considèrent que miser sur des transports électriques est plus raisonnable. Ce camp est constitué d'ONG, comme Transport & Environment (« T&E », fédération européenne regroupant une cinquantaine d'ONG actives dans ces domaines)² de certains constructeurs comme MAN Trucks & Bus³ et de l'Avere-France (association représentant les intérêts des

² T&E - *Camions électriques pourquoi et comment accélérer leur déploiement* (p. 29). (2022). [Atouts carbone et faisabilité technico-économique]. Transport & Environment. <https://www.transportenvironment.org/wp-content/uploads/2023/01/TE-Briefing-EVTruck-Dec22-3.pdf>.

³ Batteries ou hydrogène : La course est lancée pour sortir le camion du tout-diesel. (2023, mars 10). *Le Monde.fr*. https://www.lemonde.fr/economie/article/2023/03/10/batteries-ou-hydrogene-la-course-est-lancee-pour-sortir-le-camion-du-tout-diesel_6164883_3234.html.

entreprises de la mobilité électrique)⁴. Ils doutent surtout de la disponibilité et du coût du futur hydrogène décarboné. En effet, la filière ne sera décarbonée que si l'hydrogène utilisé est produit sans émission de CO₂. Développer ces camions nécessitera donc de disposer de grandes capacités de production de ce carburant renouvelable, ce qui reste assez ambitieux. Par ailleurs, le parc de véhicules légers électriques étant amené à augmenter grandement dans les prochaines années, le transport lourd électrifié pourrait profiter des innovations et des infrastructures liées à une industrie déjà existante. En effet, avec la multiplication des "gigafactories" implantées en Europe, les batteries offrent des perspectives de réduction de coût qui leur procurent un surcroît d'attractivité⁵. Ces acteurs affichent un avis très tranché sur la question : « On ne sait pas faire de l'hydrogène en grande quantité (...), les e-fuels, on ne peut pas les faire, c'est très énergivore. Il nous reste une solution : l'électrification » selon un représentant d'Avere-France rencontré lors de nos entretiens. Le bilan prévisionnel 2023 - 2035 publié par RTE en 2023 est souvent mis en exemple pour justifier cette vision : dans ces prévisions, la solution des poids lourds électriques est fortement privilégiée face à l'hydrogène (selon sa trajectoire privilégiée, RTE compte 23% de camions électriques et 3% de camions à hydrogène dans le parc français à horizon 2035), un choix plus net que dans les rapports des années précédentes, justifié par le développement des modèles électriques par les constructeurs « notamment en raison d'un bon rendement énergétique (environ 2 fois supérieur à l'alternative hydrogène) »⁶⁻⁷.

L'autonomie des véhicules électrique rattrape son retard

Même si le camion à hydrogène dispose d'une plus grande autonomie que son équivalent électrique, ces think tank et ONG estiment qu'il n'est pas nécessaire de faire apparaître une filière hydrogène pour les trajets de longue distance. Il n'y aurait pas non plus besoin de filière hydrogène pour les livraisons à moyenne et courte distance. En effet, de nombreux acteurs de la livraison comme Le Petit Forestier, La Poste ou Amazon commencent à déployer une flotte de véhicules électriques (allant du camion électrique, au simple vélo électrique) pour effectuer des trajets de courte et moyenne distance. Les premiers prototypes de poids lourds électriques n'offraient pas d'autonomie satisfaisante, et à des coûts très conséquents. Mais depuis, beaucoup de progrès ont été faits sur l'autonomie et le coût d'achat de ce type de véhicules. L'offre actuelle atteint désormais une autonomie de 400 km, une performance alignée avec la prévision théorique de l'autonomie des poids lourds pour les prochaines années représentée par Carbone 4, un cabinet de conseil spécialisé dans la stratégie bas-carbone, dans le graphe ci-dessous⁸. Ce cabinet produit des analyses sur la décarbonation de l'économie et conseille des entreprises dans leur transition.

⁴ Danielzik, P. (2023, juillet 17). [Tribune] *Oui, le transport lourd peut connaître sa révolution électrique... mais encore faut-il l'y aider!* Avere-France.

<https://www.avery-france.org/tribune-oui-le-transport-lourd-peut-connaître-sa-revolution-electrique-mais-encore-faut-il-y-aider/>.

⁵ « Batteries ou hydrogène : la course est lancée pour sortir le camion du tout-diesel », 2023.

⁶ *Les enjeux du développement de l'électromobilité pour le système électrique*. (2019). RTE, AVERE France.

⁷ *RTE Bilan prévisionnel 2023*. (2023). RTE.

<https://assets.rte-france.com/prod/public/2023-09/Bilan-previsionnel-2023-principaux-resultats.pdf>.

⁸ Meunier, N., & Sorret, J. (2022, septembre). *Camion électrique : Il est temps d'embrayer sur la logistique urbaine* | Carbone 4. Carbone 4. <https://carbone4.com/fr/publication-camion-electrique>, p. 4.

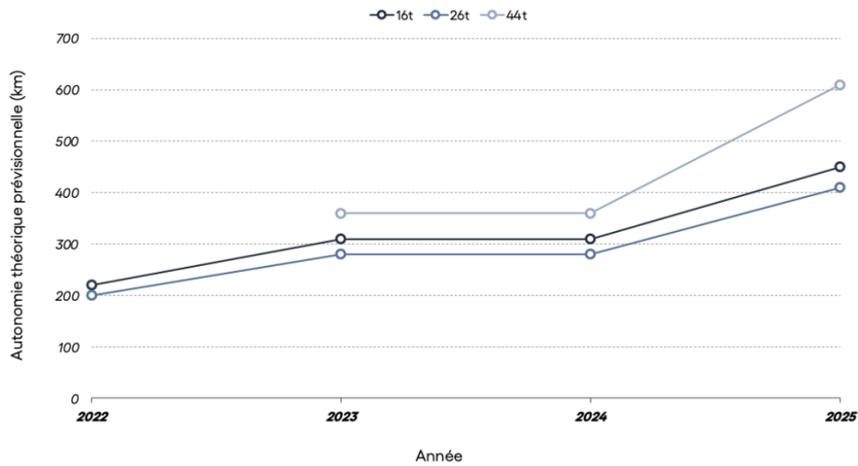


Figure #2: Projection de l'autonomie théorique pour les poids lourds à horizon 2025 (Carbone 4)⁹

En parallèle de l'augmentation de l'autonomie au fil des années, la diminution du coût d'acquisition des camions électriques accroît davantage leur attractivité. Cette baisse de coût est attribuable à l'augmentation de la production de camions électriques et à la baisse anticipée du coût des batteries pour les poids lourds. Selon Carbone 4, une diminution de 40% du coût est prévue d'ici 2030 par rapport à celui enregistré en 2020.

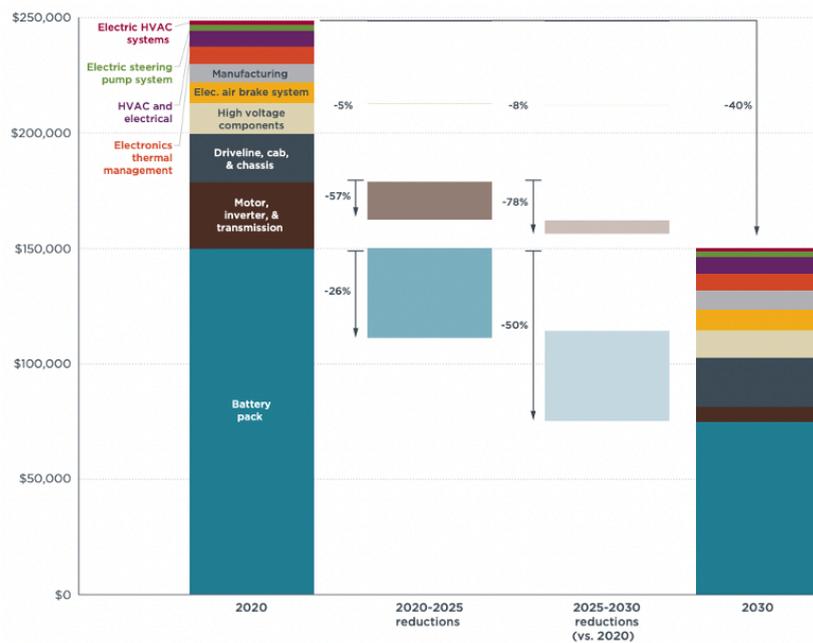


Figure #3: Évolution des coûts à horizon 2025 et 2030 des différents composants pour un tracteur routier (Carbone 4)⁹

Ces arguments font écho à l'opinion de MAN Truck & Bus France, qui considère que l'hydrogène n'est envisageable qu'en tant que plan B : «Une version avec pile à combustible est envisagée pour 2030 mais seulement dans l'hypothèse où l'essor des camions à batterie ne serait pas au rendez-vous»¹⁰. De l'autre côté,

⁹ Meunier & Sorret, 2022.

¹⁰ « Batteries ou hydrogène : la course est lancée pour sortir le camion du tout-diesel », 2023.

d'autres constructeurs de camions, comme Volvo Trucks, envisagent une coexistence fluide des deux technologies, avec un partage raisonnable du marché entre elles. Ceci afin de répondre aux objectifs fixés en France et de bénéficier de l'autonomie offerte par l'hydrogène. À terme, c'est le poids lourd à hydrogène qui permet d'aller au-delà de 1 000 kilomètres d'autonomie, associé à sa légèreté qui augmente sa charge utile. L'électrique serait donc principalement utilisé en milieu urbain ou à l'échelle régionale en raison de son fonctionnement silencieux, de son accélération plus franche facilitant l'insertion dans le trafic, et de son coût, qui est 30% moins cher qu'un camion à hydrogène, entre beaucoup d'autres raisons.

L'essentiel des problématiques autour du camion électrique réside aujourd'hui dans leur utilisation sous forme de poids-lourd, les véhicules de tailles plus modestes étant déjà en cours d'adoption. Selon Anne-Marie Idrac, présidente de l'association France Logistique, « Les camionnettes, ça va aller, mais pour les camions électriques, globalement ça n'existe pas et ça va être très très long ».

Des technologies qui ne convainquent pas encore tout le monde...

La Task Force "transition énergétique du transport routier de marchandises" a réuni les transporteurs, constructeurs, énergéticiens et administrations pendant 18 mois jusqu'en mai 2022 pour discuter des solutions à apporter pour le secteur. Au cours de ces travaux, les transporteurs, au travers de leurs fédérations, ont fait valoir un autre point de vue sur les technologies à adopter. Ces compagnies ont exprimé leur scepticisme quant à un éventuel développement rapide des motorisations électriques et hydrogène. Selon elles, ces 2 technologies ne sont pas assez matures pour avoir des coûts compétitifs et les réseaux de points de recharge associés sont encore insuffisamment déployés. L'absence de planification de la part des pouvoirs publics expliquerait ce retard de déploiement, en particulier pour les bornes électriques¹¹.

Les transporteurs voient donc plutôt les biocarburants de première génération, et surtout le biogaz, comme les voies les plus prometteuses. Selon eux, ce sont même les seules solutions envisageables en attendant que les autres motorisations arrivent à maturité. Ces énergies alternatives bénéficient en effet de réseaux de distribution relativement développés. Le faible coût du biogaz et son fort potentiel de production sont également des arguments plaidant pour son utilisation. Les fédérations de transporteurs jugent même que les constructeurs ne développent pas suffisamment leur offre de camions au gaz, leur préférant les véhicules électriques. Enfin, les énergéticiens impliqués dans la production du biogaz comme GRDF ou Total Energies promeuvent également cette solution¹²⁻¹³.

L'ONG T&E (Transport et Environnement) voit d'un mauvais œil la promotion de ces énergies alternatives. Elle pointe du doigt les conflits d'usage du biogaz et des biocarburants et désapprouve la stratégie qui consisterait à développer des camions au biogaz à court terme : se lancer dans la construction de ces véhicules à longue durée de vie aujourd'hui ralentit la décarbonation du secteur pour 15 à 20 ans, selon l'analyse de cette association¹⁴.

¹¹ Décarboner les poids lourds, « c'est compliqué ». (2022, juin 17). AFP.

<https://www.connaissancedesenergies.org/afp/decarboner-les-poids-lourds-cest-complique-220617>.

¹² Grinand, M. (2021, juin 14). Le biogaz au cœur des débats de la Task Force du transport routier lourd. *Flottes Automobiles*. <https://www.flotauto.com/lbiogaz-task-force-du-transport-routier-lourd-20210614.html>.

¹³ FEUILLE DE ROUTE DE DÉCARBONATION DES VÉHICULES LOURDS - ARTICLE 301 DE LA LOI CLIMAT RÉSILIENCE (p. 8). (2023). FNTR - UNION TLF - OTRE.

<https://www.fntr.fr/sites/default/files/2023-05/Feuille%20de%20route%20d%C3%A9carbonation.pdf>.

¹⁴ T&E - *Camions électriques pourquoi et comment accélérer leur déploiement*, 2022.

■ Des infrastructures essentielles à la bonne mise en place de ces solutions techniques

La question épineuse de l'approvisionnement en carburant

Une des problématiques clés autour du développement de ces véhicules est l'équipement des aires d'autoroutes en bornes de recharge électrique et leur approvisionnement en hydrogène. C'est le concessionnaire de l'autoroute qui est chargé d'équiper ses aires telles que tous les utilisateurs de l'autoroute utilisant un "carburant usuel" - en pratique un carburant utilisé par au minimum 1% des utilisateurs - puissent l'utiliser et s'y recharger. Les concessionnaires sont donc chargés d'équiper les aires de repos en bornes de recharge par exemple, et passent alors par des sous-concessionnaires, des sous-traitants, pour les équiper.

Faire rouler des camions à hydrogène rendra nécessaire l'apparition d'un réseau de stations et de gazoducs pour l'approvisionnement en hydrogène. Pour le concessionnaire d'autoroutes, tout est une question de volume. Les premières aires d'autoroute équipées en station de recharge hydrogène pourraient être approvisionnées par camion. Au-delà d'un approvisionnement par jour, il serait plus rentable de construire sur les différentes aires des électrolyseurs pour alimenter en continu la station, et à partir d'un volume d'hydrogène critique, les petits électrolyseurs sont dépassés et il faut passer par un gazoduc. Airliquide et Total se sont par exemple positionnés près de Marseille pour leur production de dihydrogène, et il est probable qu'un gazoduc soit mis en place pour relier l'industrie en région lyonnaise avec le site de production près de Marseille.

Les camions électriques amènent également leur lot de problématiques d'infrastructures de recharge. La réglementation contraint déjà les conducteurs de poids lourds à faire une pause au bout de 4h30. L'autonomie des nouveau poids lourds électriques de Renault arrive aujourd'hui à 300km¹⁵ en une seule charge et ceux de Mercedes peuvent atteindre les 500km¹⁶ selon la charge et le trajet. Ces autonomies correspondent respectivement à des temps de trajets théoriques de 3h20 à 5h30, qui sont à minorer pour obtenir les autonomies réelles qui subissent l'impact du froid, de l'usure, de la charge par exemple. Tesla produit également des semi-remorques haut de gamme avec une autonomie de 800km annoncés qui permettraient également de couvrir les 4h30 de trajet confortablement.

Conventionnellement, les conducteurs peuvent conduire 4h30 de suite, avec une pause de 45 minutes suivie à nouveau de 4h30 de conduite continue¹⁷. Étant donné les autonomies actuelles et futures, les enjeux de faisabilité se trouvent également dans la recharge du véhicule pendant les pauses. La pause de 45min ne peut être exploitée convenablement qu'avec des superchargeurs de plusieurs centaines de kW voire d'1MW (supportés par les véhicules de Tesla et Mercedes par exemple). Cependant, les superchargeurs d'1MW ne sont à ce jour pas une réalité industrielle qui permettrait leur déploiement massif à court et moyen terme, même si des superchargeurs de plusieurs centaines de kilowatts sont déjà en cours de déploiement.

C'est également pendant la période de repos de 11h que les poids-lourds électriques devront se recharger. Et dans ce cas, il n'y a pas nécessairement besoin de superchargeurs. Une charge traditionnelle plus lente permettrait au véhicule de rester branché sans interruption et de ne pas monopoliser les chargeurs très rapides.

¹⁵ *DES POIDS LOURDS ÉLECTRIQUES RENAULT TRUCKS T ET C DANS LA GAMME E-TECH.* (s. d.). Consulté 20 décembre 2023, à l'adresse <https://www.renault-trucks.com/fr/newsroom/press-releases/des-poids-lourds-electriques-renault-trucks-t-et-c-dans-la-gamme-e-tech>.

¹⁶ *Showroom | Mercedes-Benz Trucks.* (s. d.). Consulté 22 janvier 2024, à l'adresse <https://eactros600.mercedes-benz-trucks.com/int/en/eactros-600/showroom.html>.

¹⁷ *Le temps de travail des conducteurs routiers de transport de marchandises.* (s. d.). Ministère de la Transition Écologique et de la Cohésion des Territoires. Consulté 20 janvier 2024, à l'adresse <https://www.ecologie.gouv.fr/temps-travail-des-conducteurs-routiers-transport-marchandises>.

Du point de vue des concessionnaires d'autoroutes, il faut donc adapter les aires et massivement développer les bornes de recharges sur ces dernières que ce soit pour les véhicules individuels mais également pour les poids lourds électriques. Les constructeurs de camions Daimler Truck, Traton et Volvo Group ont annoncé la mise en place en Europe de 1 700 bornes de recharge de très forte puissance (jusqu'à 1 mégawatt) d'ici 2027 : un investissement de 500 millions d'euros qui ne couvrira que 10% des besoins¹⁸⁻¹⁹. C'est un investissement à mettre en perspective avec les plus de 400 aires de service qui existent rien qu'en France.

Des infrastructures complémentaires pour pallier les autonomies réduites

Il existe de nombreux problèmes soulevés par les batteries des poids lourds électriques : leur prix, le lieu de leur fabrication et leur impact écologique en font partie, mais aussi leurs longs temps de recharge, leur poids et donc leur impact sur la charge utile transportée par les poids lourds. Afin de réduire ces problèmes, certains acteurs se penchent vers des solutions alternatives d'alimentation électrique du véhicule.

En Chine notamment, où un fabricant quasiment unique de batterie (CATL) équipe la quasi totalité des poids lourds électriques à la vente, l'utilisation du battery swapping pour remplacer rapidement les batteries des véhicules électriques légers comme les poids lourds, est à l'étude²⁰⁻²¹. Le battery swapping est une méthode qui permettrait de changer rapidement la batterie en station BSS ou "Battery Swapping Stations". Cette méthode a l'avantage de réduire à zéro les temps de recharge, les batteries devenant un produit partagé, qui s'échange en station pour une batterie mieux rechargée. Cette méthode permet également de réduire la demande en superchargeurs, puisqu'elle peut être effectuée en un laps de temps très court alors que la recharge des batteries peut-être effectuée en continu ou bien hors des pics de consommation d'électricité.

En contrepartie, les batteries doivent être modulaires et compatibles avec l'immense majorité des véhicules électriques de la flotte considérée. Le battery swapping a un potentiel très important également en Europe, dans le sens où la flotte de poids lourds électriques n'est pas encore constituée, les acteurs américains et européens commençant tout juste à annoncer leurs produits. Cependant, la multitude de prises de recharge propriétaires existantes au lancement des premiers véhicules électriques légers montre que les acteurs ne se mettent pas naturellement d'accord pour utiliser un standard²², ici indispensable au bon fonctionnement du battery swapping. Alors que le marché chinois représente plus de 90% du marché global, la montée très rapide des acteurs Chinois avec des poids lourds compatibles avec le battery swapping pourrait, si ces modèles finissent par être certifiés et autorisés en Europe, entraîner avec eux dans cette tendance le marché européen. Aujourd'hui près de 50% des poids lourds électriques vendus en Chine sont compatibles avec du battery swapping²³⁻²⁴ mais cette technologie reste limitée aux véhicules légers en Chine, le déploiement des infrastructures pour les poids lourds étant encore en cours. Cependant Vinci reconnaît qu'à moins que le modèle Chinois ne prenne d'assaut le marché européen, ou bien qu'une volonté d'uniformisation et de développement de cette technologie soit rapidement manifestée dans les hautes sphères européennes, il est

¹⁸ Guillet, A. (2022). *Daimler Truck, Traton et Volvo Group lancent leur réseau de recharge électrique*. <https://www.auto-infos.fr/article/daimler-truck-traton-et-volvo-group-lancent-leur-reseau-de-recharge-electrique.253432>.

¹⁹ *Volvo Group, Daimler Truck, and the TRATON GROUP sign joint venture agreement for European high-performance charging network*. (2023, décembre 14).

<https://www.volvogroup.com/en/news-and-media/news/2021/dec/news-4142931.html>.

²⁰ *CATL Launches Battery Swap Solution EVOGO Featuring Modular Battery Swapping*. (s. d.). Consulté 20 décembre 2023, à l'adresse <https://www.catl.com/en/news/856.html>.

²¹ *CATL presents battery swapping system for trucks | electrive.com*. (s. d.). Consulté 20 décembre 2023, à l'adresse <https://www.electrive.com/2023/06/13/catl-presents-battery-swapping-system-for-trucks/>.

²² Charging station. (2023). In *Wikipedia*. https://en.wikipedia.org/wiki/Charging_station.

²³ Scott, D. (2023, août 9). China is propelling its electric truck market by embracing battery swapping. *International Council on Clean Transportation*. <https://theicct.org/china-is-propelling-its-electric-truck-market-aug23/>.

²⁴ Deng, Y., Chen, Z., Yan, P., & Zhong, R. (2023). Battery swapping and management system design for electric trucks considering battery degradation. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 122, 103860. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2023.103860>.

peu probable que le battery swapping prenne de l'ampleur en Europe. Le même constat est fait du côté d'Avere-France (« le battery swap, ça n'existera jamais »), car en plus de la question de la standardisation (chaque constructeur fait son véhicule, avec ses dimensions, ses normes...), s'ajoutent des contraintes liées à des normes de sécurité incendie qui interdisent l'accès aux batteries de certains constructeurs automobiles.

On peut cependant noter que le constructeur automobile NIO chinois se positionne en faveur de cette technologie avec leurs véhicules légers, pour l'instant les seuls compatibles en Europe. Une vingtaine de stations de battery swapping ont été ouvertes en Europe et d'autres sont à prévoir partout en Europe²⁵.

Les autoroutes électriques

Une alternative sérieuse à la recharge classique des batteries se situe dans la recharge dynamique sur des "Autoroutes électriques". Le gouvernement français a demandé à Vinci d'explorer les possibilités d'application de recharge dynamique. Trois différentes technologies sont recensées, toutes avec un impact en infrastructure conséquent. Une autoroute électrique peut fonctionner avec des caténaires, avec un rail électrique dans la chaussée, ou avec des bobines sous le revêtement de la chaussée pour recharger les véhicules par induction. Ces trois technologies permettraient aux véhicules concernés de se recharger tout en restant en mouvement, permettant ainsi de réduire l'autonomie réelle des batteries embarquées. Plusieurs stratégies sont envisagées. Il s'agirait soit d'électrifier des tronçons de route de taille variable à intervalles réguliers, ou bien électrifier complètement la voie de droite de l'autoroute.

Pour Vinci autoroute, ce sont plutôt les solutions par rail et par induction qui sont prometteuses et joueront peut-être un rôle dans la décarbonation du transport de marchandise routier. En effet, la solution par caténaire pose des problématiques de compatibilité avec les différents véhicules, la taille du pantographe dépendant de la distance entre le toit du véhicule et la position de la caténaire. De plus, la présence de pylônes en béton à intervalle régulier au bord de la chaussée fragilise l'installation en cas d'accidents, en plus de mettre en danger les usagers de la route. En juillet 2023, Vinci Autoroute a annoncé étudier les possibilités autour de la recharge dynamique avec l'utilisation d'un rail électrique et de la recharge dynamique par induction²⁶. La mise en place d'un rail électrique serait très similaire à la technologie présente pour alimenter les métros, qui utilise un troisième rail, un "rail de traction" pour alimenter les rames. Mais étant donné les fortes contraintes mécaniques auxquelles la chaussée d'une autoroute doit pouvoir résister, la mise en place d'un rail dans la chaussée pose des problématiques d'usure de cette dernière. Accentue-t-il la fissuration de cette dernière ? Quel est son comportement lors des périodes de gel ? Que se passe-t-il lorsque la chaussée est salée afin d'être dégelée ?

La recharge dynamique par induction passe par l'utilisation de bobines souterraines et permet quant à elle de dissimuler les installations sous la chaussée tout en éliminant les contacts supplémentaires avec l'installation, permettant ainsi de garantir l'intégrité structurelle de la voirie, tout en offrant une potentielle compatibilité accrue avec les différents usagers.

Pour Vinci, qui va expérimenter avec ces deux dernières technologies en construisant des tronçons d'expérimentation à la demande du gouvernement, il s'agit avant tout de vérifier leur viabilité économique notamment du point de vue des investissements et de la maintenance, mais aussi leur viabilité écologique. La diminution des tailles de batteries est-elle compensée par une installation lourde à construire avec potentiellement des pertes énergétiques non négligeables ?

²⁵ *EV charging without the wait: Battery swap stations open in Europe.* (2023, avril 10). Euronews. <https://www.euronews.com/next/2023/04/09/tired-of-waiting-ev-charging-stations-first-nio-battery-swap-stations-open-in-europe>.

²⁶ *L'autoroute à induction pour des voitures électriques sans limites.* (s. d.). Radio 107.7. Consulté 21 décembre 2023, à l'adresse <https://radio.vinci-autoroutes.com/article/autoroute-a-induction-pour-voitures-electriques-9401>.

Lors de l'entretien réalisé avec Avere-France, l'autoroute électrique est présentée comme une solution faisable et souhaitable mais elle serait en complément de l'installation de bornes de recharge rapide (qui reste la principale solution privilégiée). L'autoroute électrique aurait comme désavantage son coût très important (le budget total de l'expérimentation de Vinci sur un tronçon de 4 km de l'A10 s'élève à 26 millions d'euros). Pour l'ONG T&E, ce problème relatif à la rentabilité, ainsi que le besoin de coordination internationale qui serait nécessaire, rend les techniques de recharge dynamique inutilisables à court et moyen terme.

■ Repenser les flux de marchandises : logistique et sobriété comme leviers d'action supplémentaires

Effectivement, les innovations technologiques ne sont pas les seuls leviers d'action pour décarboner le transport. Ces deux thèmes recouvrent les leviers d'action restants présentés par la Stratégie Nationale Bas Carbone (SNBC). Cette dernière décrit le report modal, le taux d'occupation et la réduction de la demande de transport comme des leviers qu'il faut nécessairement mobiliser si l'on souhaite collectivement atteindre les objectifs de réduction carbone²⁷. La pluralité des leviers d'actions est aussi visible lorsque l'on effectue une étude quantitative comme l'étude sur la base de données europresse donnée en annexe.

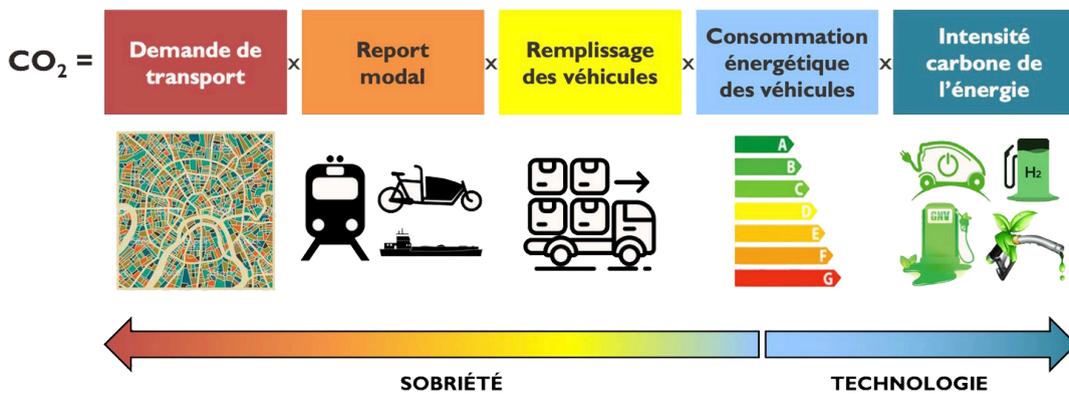


Figure #4: Les 5 leviers de la stratégie nationale bas-carbone (SNBC)²⁷

On remarque que les leviers d'actions de la SNBC sont séparés sur une échelle d'intensité sur deux aspects. Certains leviers sont plutôt technologiques, ce sont ceux étudiés jusqu'à présent. Les trois autres leviers quant à eux se basent sur une forme de sobriété. Il s'agit de changer des comportements, bien que cela soit moins pratique au final pour décarboner les transports.

Le report modal

Plus explicitement, le report modal représente le report du transport de marchandises d'un mode de transport à un autre. On parle notamment du fret ferroviaire sensiblement sous-développé en France qui pourrait aisément prendre le relais sur le transport d'une partie des marchandises traversant le pays. Le transport maritime mais surtout fluvial est également peu développé en France²⁸ et offre des possibilités de transport de marchandises à moindre coût carbone. Le taux d'occupation représente quant à lui la charge moyenne en marchandise par camion la transportant, ces derniers circulant parfois à vide ou à charge réduite. Enfin, la réduction des flux de marchandise englobe toutes les mesures qui visent à la réduction des "tonnes-kilomètres"

²⁷ Bigo, A. (2020). *Les transports face au défi de la transition énergétique*.

²⁸ Roman, B. (2022). *LE MARCHÉ EUROPÉEN DU TRANSPORT FERROVIAIRE EN 2020*. Autorité de Régulation des transports. https://www.autorite-transport.fr/wp-content/uploads/2022/07/art_bilan-ferroviaire-europe-2020.pdf.

ou tkm de marchandises transportées (leur poids multiplié par la distance de transport), par la réduction de la masse de marchandise (réduction de la consommation) et par la réduction des km parcourus (changement de chaîne logistique, relocalisation). C'est la sobriété le levier d'action le plus direct pour réduire la demande de transport, et décarboner le secteur²⁹. Assez naturellement, un camion qui ne roule pas est un camion qui ne pollue pas, sans effet rebond possible lié à des économies effectuées.

Le report modal vers le ferroviaire est un des axes de progression "facile" à actionner pour décarboner le transport de marchandise, notamment à cause de sa faible utilisation en France par rapport aux autres pays européens³⁰.

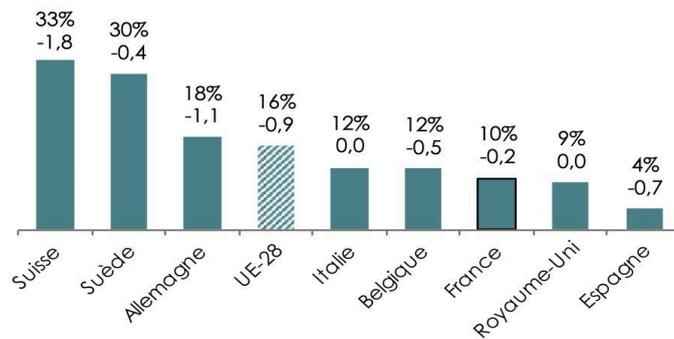


Figure #5: La part modale du ferroviaire dans le fret de certains pays européens et du Royaume-Uni³⁰

D'après le graphe ci-dessus, la France est largement sous la moyenne européenne de part modale du ferroviaire dans le fret, ce qui explique pourquoi cette solution est tant prisée par les acteurs de la décarbonation des transports de marchandises.

Le fret routier représente 88% du flux de marchandise contre 10% pour le fret ferroviaire et 2% pour le fret fluvial³¹. Le fret ferroviaire permet également de réduire le trafic routier, l'accidentalité, l'usure des voiries. Cependant, c'est jusqu'à présent le report inverse qui est observé, le fret ferroviaire passant de 60% du flux de marchandise en 1960 à 10% aujourd'hui. C'est certes parce que le trafic ferroviaire a baissé de 37% mais surtout parce que sur cette période le trafic de marchandise a été multiplié par plus de 3.

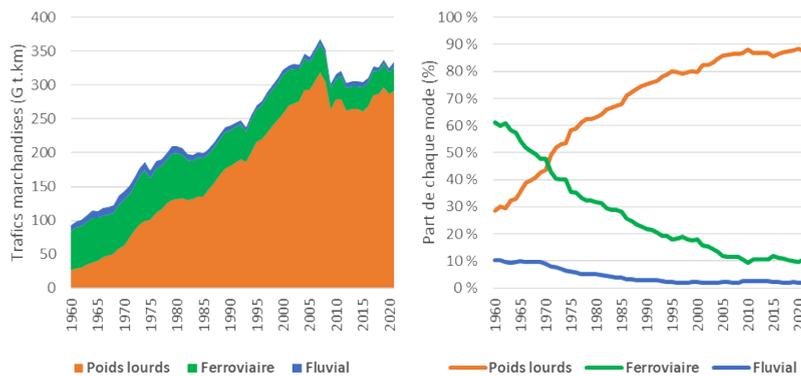


Figure #6: Les trafics de marchandises et leurs parts modales en France, entre 1960 et 2021³²

²⁹ Bigo, 2020.

³⁰ Roman, 2022.

³¹ Bowers, J. (2023, mai 3). *Fret: Pourquoi le train n'a-t-il pas (encore) remplacé le camion ?* Polytechnique Insights. <https://www.polytechnique-insights.com/tribunes/industrie/fret-pourquoi-le-train-na-t-il-pas-encore-remplace-le-camion/>.

³² Bowers, 2023.

C'est un aspect de la décarbonation qui fait relativement l'unanimité au sein des différents acteurs. Cependant la tendance à la décroissance de la part modale du ferroviaire dans les flux de marchandise n'a pas encore été inversée et ce malgré les différents plans de relance du fret ferroviaire annoncés ces vingt dernières années.

Dès 2004, le président de Fret SNCF Marc Véron, injecte 1,5 milliards d'euros sur 2 ans dans le fret ferroviaire avec l'aide de l'État. Son successeur Olivier Marembaud poursuit dans la même direction avec un plan de sauvetage, Plan Marimbaud, à 2 milliards d'euros jusqu'en 2009. La politique du "Wagon isolé" de la SNCF, qui permettait d'ajouter un wagon de marchandise à un train de voyageur a été abandonnée dans 60% des trains, car trop peu rentable, mais a par la même occasion largement réduit les possibilités offertes par le fret ferroviaire, notamment en terme de dessertes des petites gares. Dès 2018 un autre plan de relance est en préparation face aux résultats désastreux des deux précédents. Annoncé en 2021, et avec une enveloppe de 1,35 milliards d'euros, le dernier plan de relance du fret concerne également majoritairement le fret ferroviaire à travers des investissements dans les infrastructures ferroviaire, et les résultats se font attendre alors que l'on ambitionne de passer à 30% de part modale dans le transport de marchandise d'ici à 2030³³.

Pour Anne-Marie Idrac, présidente de France Logistique, qui s'est exprimée à ce sujet lors des 30e rencontres transport en mobilité à Paris, le fret ferroviaire se heurte à d'autres problèmes, notamment la place sur le réseau ferré. Alors que les trains de passagers de nuit reprennent de l'essor, que les projets de RER métropolitains aux horaires relativement tardifs sont à l'étude, l'encombrement des voies ferrées autour des grandes villes augmente. Par ailleurs, elle critique la priorisation du transport de passager sur le fret, "qui lui ne vote pas" ce qui se retranscrit dans les politiques publiques locales. De plus, la solution se trouve d'après elle dans la multimodalité, qui n'est aujourd'hui pas une réalité en France, les interfaces entre le ferré et le fluvial ou la route étant sous-développées saturées voire inexistantes. Les ports français réalisent des tonnages de marchandises assez faibles par rapport aux gros ports de nos pays voisins³⁴, mais même en Provence-Alpes-Côtes-d'Azur, région abritant le port de Marseille, soit le plus important port de marchandise français, la part modale du fret ferroviaire se situe à 7% soit en dessous de la moyenne nationale se situant autour de 10%. Pour Anne-Marie Idrac, les solutions sont aussi à chercher du côté du fret fluvial, facilement mobilisable sur les grands axes fluviaux comme le Rhône, qui peuvent servir à désengorger les axes de transports, qu'ils soient ferroviaires ou routiers, ainsi que du côté du développement du fret ferroviaire, là où il y a une massification du transport de marchandises : autour des ports et des grands axes routiers.

L'optimisation du taux de charge

Ce n'est pas une thématique nouvelle, puisque discutée depuis presque 10 ans³⁵ dans les hautes sphères de l'État Français, mais cette problématique n'est pourtant pas encore résolue. Pour Anne-Marie Idrac, un trop grand nombre de camions effectuent encore un trajet retour à vide. D'après un document du ministère de la transition écologique de 2018³⁶, le "taux d'utilisation du moyen de transport" (qui prend en compte la charge moyenne du poids lourd lorsqu'il est en charge et le pourcentage de trajets effectués à vide) se trouve entre 20 et 50% selon les catégories, les poids-lourd longue distance étant plutôt les bons élèves là où les camion de livraison de colis sont plutôt les mauvais élèves. Un premier chiffre marquant, près de 20% des trajets sont effectués à vide, et le taux de charge moyen des trajets effectués en charge se trouve entre 25 et 60% pour l'essentiel des catégories de véhicules. La marge de progression pour optimiser le taux d'utilisation moyen des transports est donc conséquente. Pour les acteurs de la grande distribution comme Lidl qui possèdent une

³³ *Rail Freight Forward : 30% de part modale dans le fret en 2030*. (2019, février 26).

<https://www.actu-transport-logistique.fr/npi-magazine/a-la-une/rail-freight-forward-30-de-part-modale-dans-le-fret-en-2030-712753.php>.

³⁴ *Le service public ferroviaire et les collectivités territoriales*. (2023, avril 3). Sénat.

<https://www.senat.fr/rap/r13-092/r13-092.html>.

³⁵ *Augmentation du taux de remplissage des véhicules de transport de marchandises*. (2015, octobre 22). Sénat.

<https://www.senat.fr/questions/base/2015/qSEQ151018396.html>.

³⁶ *Information GES des prestations de transport* (p. 238). (2018). Ministère de la transition écologique et solidaire.

https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/Info%20GES_Guide%20m%C3%A9thodo.pdf.

flotte conséquente autour des villes, l'optimisation du taux de charge permet une réduction des coûts et des émissions, puisqu'ils affirment avoir optimisé "à 95%" les trajets à l'aide de l'intelligence artificielle³⁷.

L'amélioration du taux de charge peut passer par la mutualisation des camions entre différents acteurs, une forme de covoiturage de marchandise. C'est ce qu'on appelle une bourse de fret. C'est ce que propose TIMOCOM³⁸ en mettant en relation des transporteurs (avec un taux de charge améliorable) et des commerçants cherchant à déplacer leurs marchandises. Cependant d'après Anne-Marie Idrac, elle pose bien sûr des problématiques de partage de l'information entre concurrents et de compatibilité entre marchandises.

La réduction de la demande. L'effort indésirable

Enfin la réduction de la demande, probablement la solution la plus simple en théorie mais la plus compliquée en pratique. Il s'agit de réduire la quantité de tonnes-kilomètres de flux de marchandises en jouant sur la demande. Cette réduction peut venir de différents aspects. Une révision de la chaîne logistique à travers une augmentation des circuits courts, voire une diminution volontaire de la quantité de marchandise consommée. Le scénario de la SNBC concernant l'évolution du transport de passager et de marchandise est à ce niveau très tourné vers les progrès technologiques et moins vers la sobriété, notamment par rapport à d'autres scénarios comme celui de mégawatt. C'est le constat qu'Aurélien Bigo fait dans ses travaux, la SNBC, qui présente la réduction de la demande en transport comme un potentiel levier, considère que la demande en transport va à l'inverse continuer de croître, considérant qu'espérer atteindre une forme de sobriété dans les transports est vain³⁹. Les différents acteurs du milieu du transport de marchandises ne se prononcent naturellement pas en faveur d'une réduction des flux de marchandises, et même les personnalités politiques manient ce mot soit avec parcimonie et prudence ou bien à l'inverse lui donnent un sens qu'il n'a pas.

Par exemple, France Logistique a dévoilé en 2022 son plan sobriété⁴⁰. En tant qu'organisation, elle recommande "d'optimiser les livraisons", de verdir les flottes, d'augmenter le volume de marchandise transporté par camion, de bien positionner les différents entrepôts mais ne propose rien de très contraignant qui rentrerait vraiment dans la définition de sobriété.

Pourtant la réduction de la demande a un vrai rôle à jouer. Pour Aurélien Bigo, la suppression de flux de marchandise permet également de décupler l'efficacité des mesures précédemment décrites. Certes, les investissements à faire dans des camions électriques (par exemple) sont conséquents, mais plus on réduit la quantité de camions en circulation, moins cela coûtera cher d'effectuer la transition. C'est également la conclusion de Carbone 4 dans son rapport sur le rôle des infrastructures dans la transition bas-carbone⁴¹. Dans le cas d'un scénario axé sur la sobriété, les flux de marchandises peuvent baisser de 20% par rapport à 2018, ou augmenter de 30% dans un scénario accès sur les innovations technologiques. Et c'est autant de flux de marchandise à décarboner.

³⁷ Demangeon, E. (2023, avril 4). *Lidl teste l'IA pour décarboner ses transports*.

<http://strategieslogistique.com/Lidl-teste-l-IA-pour-decarboner,13149>.

³⁸ TIMOCOM, *le spécialiste et leader du transport de fret routier*. (s. d.). TIMOCOM. Consulté 15 janvier 2024, à l'adresse <https://www.timocom.fr/smart-logistics-system/bourse-de-fret/fret>.

³⁹ Bigo, 2020.

⁴⁰ Marechal-Dereu, C. (2022, octobre 5). Plan de sobriété 2022, la filière transports de marchandises et logistique s'engage ! *France Logistique*.

<https://www.francelogistique.fr/2022/10/05/plan-de-sobriete-2022-la-filiere-transports-de-marchandises-et-logistique-sengage/>.

⁴¹ Aulanier, H.-M., Girard, T., Nossek, B., Pitre, M., Ramos, C., Rouault, B., Sorret, J., Tapiero, S., & Vasselin, Z. (2021). *LE RÔLE DES INFRASTRUCTURES DANS LA TRANSITION BAS-CARBONE ET L'ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE DE LA FRANCE*.

Repenser la logistique du transport de marchandise

La logistique du transport de marchandise est assez complexe, et s'est construite naturellement en cherchant à réduire le coût économique du produit final plus que le coût carbone de ce dernier. Les plus grosses entreprises, vendant des produits complexes font parfois faire l'équivalent de plusieurs fois le tour de la terre à certains de leurs produits avant qu'ils arrivent dans les mains des consommateurs⁴². Une relocalisation d'une partie du schéma logistique vers des lieux plus accessibles permet de réduire, certes avec un surcoût qu'il est nécessaire de quantifier, les kilomètres parcourus par les marchandises. Circuit court, économie circulaire, relocalisations sont autant de moyens de réduire la quantité de flux de marchandise efficacement.

Parallèlement, des entreprises comme Amazon jouent sur leur organisation en tant que grossiste pour promouvoir la livraison par leur service. D'après les dires de Yohann Benard, directeur des affaires publiques d'Amazon, le commerce en ligne permet d'être plus sobre en énergie que le commerce traditionnel. Plusieurs études dont celle de l'ADEME⁴³ montrent que dans certains cas, la livraison à domicile peut être moins polluante que le commerce en grande surface, et qu'elle invite notamment moins à la surconsommation. Amazon met de plus en avant son réseau de distribution décarboné, actuellement en cours de déploiement, qui permet à l'entreprise et aux consommateurs de réduire leur empreinte carbone.

Quel cadre instaurer pour accompagner efficacement la décarbonation du fret routier ?

- **La question épineuse de la répartition du financement entre les différents acteurs**

La question du financement de la transformation énergétique du transport routier voit s'affronter trois types d'acteurs ayant chacun une partie de la problématique. La première catégorie d'acteurs correspond aux compagnies de transport, qui utilisent le réseau autoroutier et possèdent des camions. La seconde catégorie d'acteurs correspond aux concessionnaires autoroutiers qui gèrent le réseau et l'approvisionnement en carburants. Enfin la troisième catégorie recouvre les acteurs de la puissance publique qui coordonnent le système global en émettant des règlements, en accordant des concessions et des aides et subventions.

Les transporteurs se sentent obligés de décarboner, sous la pression des cotations en bourse et de la taxe carbone, ils doivent changer leur parc pour respecter les engagements climatiques. Cependant, leur situation est difficile. Les représentants de l'industrie du transport soulignent qu'ils ont besoin des aides massives et du déploiement d'infrastructures pour répondre à la trajectoire envisagée par la SNBC 3.

Pour les transporteurs, d'abord, leur capacité d'investissement est très limitée. Selon une étude de la Banque de France de septembre 2022 sur la situation économique des entreprises de transport routier, une entreprise sur deux a plus de dettes que de capitaux propres ; 30% sont en déficit ; seulement 26% ont une capacité de remboursement supérieure à 5 ans. Il leur est donc impossible de réaliser seuls de nouveaux investissements.

⁴² *Les Impacts du Smartphone*. (2017).

<https://presse.ademe.fr/wp-content/uploads/2017/09/guide-pratique-impacts-smartphone.pdf>.

⁴³ *E commerce : Modélisation des impacts et recommandations filières et grand public*. (s. d.). La librairie ADEME.

Consulté 8 janvier 2024, à l'adresse

<https://librairie.ademe.fr/mobilite-et-transport/6261-e-commerce-modelisation-des-impacts-et-recommandations-filieres-et-grand-public.html>.

Ils appellent à l'aide des gouvernements nationaux et locaux (pour les subventions), du secteur bancaire (pour les investissements verts), et des consommateurs pour obtenir ces fonds considérables. Selon les estimations conjointes de FNTR-UNION TLF-OTRE, trois associations du secteur du transport et de la logistique, pour atteindre les objectifs et le chemin du SNBC 3, entre 2023 et 2040, il est nécessaire d'investir 52,6M€ supplémentaires (par rapport aux véhicules diesel équivalents), dont 11,9M€ pour GNV/BioGNV (7,3M€ pour les véhicules et 4,6M€ pour l'avitaillement), 23,5M€ pour les camions électriques (12,8M€ pour les véhicules et 10,7M€ pour l'avitaillement) et 17,1M€ pour les camions à hydrogène (12,2M€ pour les véhicules et 4,9M€ pour l'avitaillement)⁴⁴.

De plus, et plus important, il n'existe pas actuellement d'infrastructures suffisantes pour soutenir ces camions à énergies alternatives. La France ne dispose presque pas de station de recharge publique pour camions électriques. En avril 2023, le pays a vu le début de la construction des premières stations de recharge haute puissance pour poids lourds, dont l'ouverture est prévue pour l'été 2024⁴⁵. Outre les bornes de recharge haute puissance, il est nécessaire de renforcer le réseau électrique pour supporter la demande accrue en électricité. En mai 2023, la France ne comptait que trois stations de recharge à hydrogène pour camions⁴⁶. La Task Force conclut que "à ce stade, la question du déploiement des réseaux de distribution n'a pas été traitée"⁴⁷. Les constructeurs de camions conditionnent la production en masse de véhicules à énergie alternative à la mise en place effective d'un réseau de distribution adapté, ce qui reste incertain. Par conséquent, les transporteurs hésitent à investir massivement dans des camions décarbonés, d'une part, les associations appellent le gouvernement à établir des plans financiers réalistes à court, moyen et long terme pour planifier le développement des réseaux d'avitaillement ; d'autre part, les entreprises de transport utilisent la location et le retrofit pour gagner du temps, en attendant l'industrialisation du secteur et la construction des infrastructures, comme nous l'a expliqué le directeur de Bert & You.

Les gestionnaires du réseau autoroutier sont un des principaux acteurs au sein de cette controverse. En effet, ils organisent l'infrastructure sur laquelle se base le transport routier en général et celui du fret en particulier. Leur rôle est à la fois d'entretenir le réseau (la chaussée en particulier) mais aussi de percevoir les revenus liés aux péages et de s'assurer que les véhicules aient accès à un approvisionnement en carburant. Cette dernière tâche est habituellement sous-traitée à des sociétés parmi lesquelles on trouve principalement des sociétés spécialisées dans l'énergie fossile : Total énergies, BP, Shell.. mais aussi d'autres sociétés, par exemple de distribution, comme E. Leclerc ou Carrefour. Ce sont ces dernières qui gèrent les stations service et les pompes à carburant qui s'y trouvent.

Les informations fournies par Vinci sont applicables à ses concurrents dans le sens où toutes les sociétés gèrent des parties d'un même réseau autoroutier et sont donc soumises aux mêmes contraintes. L'investissement nécessaire pour ajouter sur chaque station des moyens d'approvisionnement hydrogène ou de rechargement électrique est colossal. Ces entreprises ne peuvent se risquer à cette aventure que si elles ont la certitude de rentabiliser, à terme, leur investissement. Les concessions pour les plus grandes (en nombre de kilomètres) sociétés concessionnaires d'autoroutes (SCA), à savoir ASF (Vinci), APRR, Cofiroute et Sanef prennent toutes fin avant 2040. Ainsi ces sociétés ne peuvent pas accorder de sous-concession pour les stations service au-delà de cette date. L'installation des moyens d'alimentation en électricité ou en H2 ne pouvant être rentabilisé avant 2040 aucun acteur ne peut prendre le risque d'investir dans des électrolyseurs, des bornes de recharge, une caténaire ou un système d'induction. S'il est évident que des camions décarbonés

⁴⁴ FEUILLE DE ROUTE DE DÉCARBONATION DES VÉHICULES LOURDS - ARTICLE 301 DE LA LOI CLIMAT RÉSILIENCE, 2023.

⁴⁵ APRR : Premier réseau de recharge électrique 100 % dédié aux poids lourds. (2023, avril 4). <https://www.engie-solutions.com/fr/presse/APRR-bornes-camion>.

⁴⁶ FEUILLE DE ROUTE DE DÉCARBONATION DES VÉHICULES LOURDS - ARTICLE 301 DE LA LOI CLIMAT RÉSILIENCE, 2023.

⁴⁷ Transition énergétique du Transport Routier de Marchandises. (2021). FNTR - UNION TLF - OTRE. https://www.ort.bourgogne-franche-comte.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/2021_05_task-force-conclusions-op-20-mai-2021.pdf.

ont besoin d'un réseau d'alimentation en énergie pour rouler, l'inverse est aussi vrai : sans les camions, et la prévalence d'une technologie sur une autre, les concessionnaires seraient obligés d'investir dans toutes les technologies sans la certitude d'avoir un retour sur investissement. Le temps pour avoir un retour est ici capital, ainsi les concessionnaires pourraient envisager d'investir dans les technologies qu'ils considèrent comme les plus prometteuses s'ils ont la certitude d'opérer les routes plus longtemps. Par ailleurs, ils seraient en mesure d'accorder des sous-concessions plus longues pour les stations services, ce qui pourrait amener un financement de la part des sous traitants. Ceci suppose néanmoins un allongement de leur concession qui semble pourtant peu probable comme l'indique l'article⁴⁸ faisant référence à un rapport du Sénat de 2020.

Enfin la puissance publique intervient dans la dynamique de transition bas carbone. C'est elle qui a fixé les objectifs de neutralité⁴⁹ et elle peut instaurer le dialogue entre les différents acteurs. Ces derniers (compagnies de transport et SCA) peuvent se tourner vers l'Etat en espérant un investissement de la puissance publique afin d'impulser le changement. Cet investissement colossal se reporterait alors directement sur le contribuable au lieu d'être absorbé par le secteur. Cet acteur garde donc une certaine distance dans le débat. En revanche, l'Etat accorde tout de même certaines subventions qui permettent le développement des technologies bas carbone, ainsi que le déploiement des premiers véhicules. Néanmoins ces aides, totalisant plus d'une centaine de millions d'euros⁵⁰, sont un ordre de grandeur en dessous de l'investissement nécessaire pour changer complètement le système (véhicule et infrastructure), qui s'élèverait quand à lui à plusieurs milliards d'euros (500M€ ne serait-ce que pour 1700 bornes de recharge⁵¹ et Daimler, Volvo et Traton qui cherchent encore des financements).

L'Etat, en tant que propriétaire des autoroutes, a la possibilité de céder ces dernières en concession, ou d'allonger les concessions existantes. Cependant l'impopularité d'une telle mesure, liée à la rente autoroutière qu'elle semble générer⁵² ainsi que les va-et-vient politiques font qu'il est difficile d'établir un plan d'action cohérent à l'échelle de plusieurs mandats. Plan qui serait pourtant nécessaire pour inciter les entreprises à investir dans la transition. Ainsi de récents rapport indiquent qu'en 2020 l'Etat semblait peu favorable à un prolongement des concessions⁵³.

■ La réglementation comme outil pour faciliter la transition vers un fret routier décarboné

Il est clair qu'au-delà de la simple bonne volonté des principaux acteurs du transport routier, la réglementation joue un rôle crucial dans la transition vers un fret routier décarboné en établissant des normes d'émissions strictes, en offrant des incitations financières pour l'adoption de véhicules respectueux de l'environnement, en orientant les investissements vers une infrastructure adaptée, et en imposant des obligations de reporting sur

⁴⁸ *Concessions autoroutières : Le Sénat recommande de ne plus les prolonger* | *vie-publique.fr*. (2020, septembre 23). <http://www.vie-publique.fr/en-bref/276298-concessions-autoroutieres-le-senat-recommande-de-ne-plus-les-prolonger>.

⁴⁹ *La Commission se félicite de l'accord sur des objectifs ambitieux de l'UE visant à réduire les émissions de CO2 des nouveaux camions et autobus urbains—Commission européenne*. (s. d.). france.representation.ec.europa.eu/. Consulté 22 janvier 2024, à l'adresse

https://france.representation.ec.europa.eu/informations/la-commission-se-felicite-de-laccord-sur-des-objectifs-ambitieux-de-lue-visant-reduire-les-emissions-2024-01-19_fr.

⁵⁰ *France 2030 : Des dispositifs de soutien pour la décarbonation des flottes de véhicules*. (s. d.). [Gouvernement.fr](https://www.gouvernement.fr/france-2030-des-dispositifs-de-soutien-pour-la-decarbonation-des-flottes-de-vehicules). Consulté 11 janvier 2024, à l'adresse

<https://www.gouvernement.fr/france-2030-des-dispositifs-de-soutien-pour-la-decarbonation-des-flottes-de-vehicules>.

⁵¹ *Volvo Group, Daimler Truck, and the TRATON GROUP sign joint venture agreement for European high-performance charging network*, 2023.

⁵² Fay, S. (2023, février 13). *Autoroutes : Le trésor des concessions attire les convoitises*. *Le Monde.fr*.

https://www.lemonde.fr/economie/article/2023/02/13/autoroutes-le-debat-sur-les-concessions-est-relance_6161584_3234.html.

⁵³ *Concessions autoroutières*, 2020.

les émissions. De plus, elle peut restreindre l'accès des véhicules polluants aux zones urbaines, favorisant ainsi la planification du transport axée sur l'efficacité énergétique. Ces mesures créent un environnement propice à l'innovation et à l'adoption de pratiques plus durables par les entreprises de transport.

Parmi les réglementations, on notera, en plus de celles citées en introduction, la création de l'objectif "fit for 55" de l'UE (2021) qui vise à réduire les émissions de gaz à effet de serre de 55 % d'ici 2030 par rapport aux niveaux de 1990 est également notable, la stratégie nationale bas carbone (2021) qui est la première à proposer un mix énergétique décarboné pour les camions en France ou encore la Loi de Transition Énergétique pour la Croissance Verte qui fixe des objectifs ambitieux en matière de transition énergétique, incluant des mesures pour réduire les émissions de gaz à effet de serre dans le secteur des transports, notamment par la promotion des véhicules propres. Une telle activité des gouvernements français et européen, associée aux diverses déclarations de représentants de l'État⁵⁴ donne de prime abord l'impression d'une véritable volonté de décarboner le milieu des transports, et de l'établissement d'une feuille de route à laquelle pourraient se référer les acteurs du secteur.

Malgré l'engagement apparent de l'État à décarboner les camions, certaines personnes expriment leur insatisfaction face à la mise en œuvre de ces initiatives. La communauté scientifique notamment pointe du doigt un attitude jugée comme "attentiste" du gouvernement qui refuse de se confronter aux réels problèmes que posera une décarbonation du secteur du transport de marchandise⁵⁵. Cela pousse ces scientifiques à proposer leur aide à l'État dans l'établissement d'un chemin à suivre pour parvenir aux objectifs ambitieux avancés par l'État, en mettant notamment en avant l'importance d'une adhésion collective à la transition, soulignant l'importance d'une répartition équitable des efforts et de mesures d'accompagnement.

Certains acteurs que nous avons interviewés nous ont également fait part de leur insatisfaction sur les actions de l'État. Nous avons pu parler au directeur des mobilités vertes d'un groupe français ayant une place importante dans le secteur du fret routier, jugeant que les processus mis en place pour pouvoir obtenir une aide à l'achat pour des véhicules plus respectueux de l'environnement était un processus fastidieux et difficile, nécessitant parfois l'intervention de prestataires extérieurs pour remplir les dossiers d'une façon à pouvoir obtenir l'aide à l'achat. Pour cette personne qui occupe un rôle central dans la décarbonation des camions, le processus doit profondément changer pour espérer effleurer les objectifs mis en place : l'aide à l'achat devrait être automatique sur la présentation d'une facture justifiant l'achat effectué. Une autre critique portait sur le manque de réalisme des réglementations visant une réduction de 90% des émissions d'ici 2050.

Enfin, bien que des acteurs du milieu du fret et des scientifiques expriment des critiques envers le gouvernement en matière de décarbonation des camions, il existe un consensus sur l'importance d'une collaboration étroite entre les deux parties. Les critiques émises par ces acteurs portent généralement sur la lenteur des progrès et la nécessité d'actions plus décisives. Toutefois, malgré ces réserves, ils reconnaissent l'impératif d'un partenariat étroit avec le gouvernement pour élaborer des politiques efficaces et réalistes. Une telle collaboration est vue comme essentielle pour concevoir des mesures incitatives, des normes et des réglementations qui encouragent l'adoption de technologies plus propres, tout en prenant en compte les réalités opérationnelles et les contraintes économiques du secteur du fret routier. Cette approche conjointe est perçue comme un moyen d'optimiser l'efficacité des initiatives de décarbonation et d'assurer une transition plus harmonieuse et réussie vers un parc de camions plus respectueux de l'environnement.

⁵⁴ Lequatre-Garat, J. (2024). *CILOG : Le gouvernement français réitère son soutien à l'électrification des poids lourds*. <https://www.auto-infos.fr/article/cilog-le-gouvernement-francais-reitere-son-soutien-a-l-electrification-des-poids-lourds.280438>.

⁵⁵ Auverlot, D., & Sauvart, A. (2023). Décarboner les mobilités. Sept scénarios pour la France aux horizons 2040 et 2060. *Futuribles*, 453(2), 25-42. <https://doi.org/10.3917/futur.453.0025>.

Conclusion

Les enjeux liés à la décarbonation du transport routier de marchandises sont donc nombreux et interconnectés.

Différentes voies technologiques peuvent être empruntées et différentes visions contradictoires s'affrontent concernant ces choix. L'évaluation des technologies disponibles est complexe et fait appel à de nombreux critères reflétant le besoin de concilier efficacité, sécurité et performances environnementales pour ce système de transport. Les intérêts de certains segments d'activité interviennent également dans ces choix de technologie et les liens entre les avis des différents acteurs et leurs positions dans la chaîne de valeur apparaissent au travers des sujets abordés. Les problématiques liées aux infrastructures sont centrales, et les débats autour de celles-ci révèlent l'importance des enjeux de coordination et d'organisation dans la transition de ce secteur.

Une réflexion complète sur cette transition implique également de repenser l'usage fait du transport de fret et la logistique du secteur. Les problématiques autour du report modal soulignent bien la complexité des questions d'organisation des différents systèmes de transport. La difficulté de la dimension du changement de société apparaît également à travers les sujets de sobriété et de circuits courts. Les travaux sur les trajectoires de décarbonation du secteur mettent en lumière des choix de comportement et de consommation qu'il s'agit de questionner.

Enfin, le rôle de l'Etat se retrouve au centre des débats sur les objectifs et le financement de la transition. L'importance d'une planification du développement des infrastructures est là encore mise en évidence, de même que la place de la gouvernance liée à ce développement. Finalement, les critiques et discussions autour des mesures et dispositifs mis en place par les pouvoirs publics illustrent bien la variété des points de vue sur ce que devrait être une transition sérieuse et acceptable.

Matériel et méthodes

Le présent travail résulte tout d'abord d'une analyse de la presse nationale et internationale au sujet de la décarbonation du transport routier de marchandises. Ensuite, l'état des lieux des grands pôles d'attraction du débat a pu être dressé à partir du corpus d'articles préalablement transmis et des bases de données Scopus et Europresse consultées au moyen d'équations de recherches différentes. Ce corpus se compose d'articles et de publications issus de la presse comme de la littérature académique ou industrielle. Ces recherches ont été complétées de différents entretiens avec des acteurs de différents pôles. Le corpus a ensuite été enrichi à la lumière des différentes questions soulevées au cours des entretiens.

Les entretiens ont eu lieu aussi bien avec des représentants d'associations que des compagnies de transport et de logistique et des concessionnaires d'autoroutes. Une table ronde autour des transports et mobilités a davantage enrichi l'étude avec divers points de vue de députés, constructeurs, transporteurs, et chercheurs. Toutes ces rencontres ont permis de dresser une vision aussi exhaustive que possible sur les différents aspects qui alimentent la controverse autour de la décarbonation des camions et des poids lourds. Pour alimenter cette base, des recherches quantitatives à l'aide des bases de données Scopus et Europresse ont été faites. Ces analyses ont permis de mettre en lumière les différents liens entre les articles, l'importance et l'évolution des écrits sur ce sujet.

Ce travail initial a permis l'élaboration de grilles de questions adressées à trois acteurs de la controverse analysée, au cours d'entretiens semi-directifs. Les témoignages de ces acteurs, qui occupent tous des fonctions différentes, ont été retranscrits puis analysés, et des extraits pertinents ont été exploités dans ce document.

Nous avons eu l'occasion d'échanger avec :

- un responsable des études de la transition énergétique chez Avere France
- le directeur des mobilités vertes chez le transporteur Bert&You
- un ingénieur de la mobilité électrique chez Vinci Autoroute

Nous avons également assisté à une table ronde autour des transports et mobilités "30^{es} rencontre Transports et Mobilités" qui regroupait des députés, des directeurs généraux de constructeurs d'automobile, de compagnies de transport, ainsi que des chercheurs sur le sujet. Nous avons particulièrement poussé l'échange avec deux des participants après la fin des débats :

- un chercheur sur la transition énergétique des transports
- la présidente de France Logistique

Il convient toutefois de souligner que notre enquête a été effectuée dans un laps de temps assez restreint - trois mois - et que le corpus de témoignages aurait gagné à être enrichi. Nous regrettons par exemple l'absence de témoignages d'acteurs du pouvoir public directement impliqués dans le côté réglementaire de la controverse; nous en avons sollicité des entretiens, mais nos demandes sont restées sans réponse à ce jour.

Références

■ Sites Web

De Bentzmann C. (2023, avril 04). [APRR : Premier réseau de recharge électrique 100 % dédié aux poids lourds.](https://www.engie-solutions.com/fr/presse/APRR-bornes-camion) Disponible sur : <https://www.engie-solutions.com/fr/presse/APRR-bornes-camion> [Consulté le 19/01/2024]

Lienemann M. (2015, octobre 22). Sénat. Disponible sur : <https://www.senat.fr/questions/base/2015/qSEQ151018396.html> [Consulté le 15/01/2024]

Charging station. (2023). Disponible sur https://en.wikipedia.org/wiki/Charging_station [Consulté le 20/01/2024]

Danielzik, P. (2023, juillet 17). [Tribune] Oui, le transport lourd peut connaître sa révolution électrique... mais encore faut-il l'y aider ! Avere-France. Disponible sur <https://www.avery-france.org/tribune-oui-le-transport-lourd-peut-connaître-sa-revolution-electrique-mais-encore-faut-il-l-y-aider/> [Consulté le 22/01/2024]

Demangeon, E. (2023, avril 4). Lidl teste l'IA pour décarboner ses transports. Disponible sur <http://strategieslogistique.com/Lidl-teste-l-IA-pour-decarboner.13149> [Consulté le 15/01/2024]

DES POIDS LOURDS ÉLECTRIQUES RENAULT TRUCKS T ET C DANS LA GAMME E-TECH. Disponible sur <https://www.renault-trucks.com/fr/newsroom/press-releases/des-poids-lourds-electriques-renault-trucks-t-et-c-dans-la-gamme-e-tech> [Consulté le 20/12/2024]

Grinand, M. (2021, juin 14). Le biogaz au cœur des débats de la Task Force du transport routier lourd. Flottes Automobiles. Disponible sur <https://www.flotauto.com/lbiogaz-task-force-du-transport-routier-lourd-20210614.html> [Consulté le 22/01/2024]

Guillet, A. (2022). Daimler Truck, Traton et Volvo Group lancent leur réseau de recharge électrique. Disponible sur <https://www.auto-infos.fr/article/daimler-truck-traton-et-volvo-group-lancent-leur-reseau-de-recharge-electrique.253432> [Consulté le 10/01/2024]

(2023, juillet 14) L'autoroute à induction pour des voitures électriques sans limites. Radio 107.7. Disponible sur <https://radio.vinci-autoroutes.com/article/autoroute-a-induction-pour-voitures-electriques-9401> [Consulté le 21/12/2023]

Lequatre-Garat, J. (2024). CILOG : Le gouvernement français réitère son soutien à l'électrification des poids lourds. Disponible sur <https://www.auto-infos.fr/article/cilog-le-gouvernement-francais-reitere-son-soutien-a-l-electrification-des-poids-lourds.280438> [Consulté le 20/01/2024]

Marechal-Dereu, C. (2022, octobre 5). Plan de sobriété 2022, la filière transports de marchandises et logistique s'engage ! France Logistique. Disponible sur <https://www.francelogistique.fr/2022/10/05/plan-de-sobriete-2022-la-filiere-transport-de-marchandises-et-logistique-sengage/> [Consulté le 22/01/2024]

(2019, février 26). Rail Freight Forward : 30% de part modale dans le fret en 2030. Disponible sur <https://www.actu-transport-logistique.fr/npi-magazine/a-la-une/rail-freight-forward-30-de-part-modale-dans-le-fret-en-2030-712753.php> [Consulté le 11/01/2024]

Scott, D. (2023, août 9). China is propelling its electric truck market by embracing battery swapping. International Council on Clean Transportation. Disponible sur <https://theicct.org/china-is-propelling-its-electric-truck-market-aug23/> [Consulté le 20/12/2023]

Showroom | Mercedes-Benz Trucks. (s. d.). Disponible sur <https://eactros600.mercedes-benz-trucks.com/int/en/eactros-600/showroom.html> [Consulté le 22/12/2023]

TIMOCOM. TIMOCOM, le spécialiste et leader du transport de fret routier. (s. d.). Disponible sur <https://www.timocom.fr/smart-logistics-system/bourse-de-fret/fret> [Consulté le 15/01/2024]

(2023, décembre 14). Volvo Group, Daimler Truck, and the TRATON GROUP sign joint venture agreement for European high-performance charging network. Disponible sur <https://www.volvogroup.com/en/news-and-media/news/2021/dec/news-4142931.html> [Consulté le 11/01/2024]

■ Articles de presse généraliste / presse professionnelle

De Bentzmann C. (2023, avril, 04). [APRR : Premier réseau de recharge électrique 100 % dédié aux poids lourds.](https://www.engie-solutions.com/fr/presse/APRR-bornes-camion) Disponible sur : <https://www.engie-solutions.com/fr/presse/APRR-bornes-camion> [Consulté le 19/01/2024]

Normand J. (2023, mars 10). Batteries ou hydrogène : La course est lancée pour sortir le camion du tout-diesel. Le Monde.fr. Disponible sur https://www.lemonde.fr/economie/article/2023/03/10/batteries-ou-hydrogene-la-course-est-lancee-pour-sortir-le-camion-du-tout-diesel_6164883_3234.html [Consulté le 30/10/2024]

Bowers, J. (2023, mai 3). Fret : Pourquoi le train n'a-t-il pas (encore) remplacé le camion ? Polytechnique Insights. Disponible sur <https://www.polytechnique-insights.com/tribunes/industrie/fret-pourquoi-le-train-na-t-il-pas-encore-remplace-le-camion/> [Consulté le 10/01/2024]

CATL. (2022, janvier, 18) CATL Launches Battery Swap Solution EVOGO Featuring Modular Battery Swapping. Disponible sur <https://www.catl.com/en/news/856.html>. [Consulté le 20/12/2024]

Hampel C. CATL (2023, juin, 13) CATL presents battery swapping system for trucks | electrive.com. Disponible sur <https://www.electrive.com/2023/06/13/catl-presents-battery-swapping-system-for-trucks/> [Consulté le 20/12/2024]

La rédaction (2020, septembre 23) Concessions autoroutières : Le Sénat recommande de ne plus les prolonger | vie-publique.fr. Disponible sur <http://www.vie-publique.fr/en-bref/276298-concessions-autoroutieres-le-senat-recommande-de-ne-plus-les-prolonger> [Consulté le 10/01/2024]

AFP .(2022, juin 17). Décarboner les poids lourds, « c'est compliqué ». AFP. Disponible sur <https://www.connaissancedesenergies.org/afp/decarboner-les-poids-lourds-cest-complique-220617> [Consulté le 22/01/2024]

Min R. (2023, avril 10). EV charging without the wait : Battery swap stations open in Europe. Euronews. Disponible sur <https://www.euronews.com/next/2023/04/09/tired-of-waiting-ev-charging-stations-first-nio-battery-swap-stations-open-in-europe> [Consulté le 20/12/2023]

Fay, S. (2023, février 13). Autoroutes : Le trésor des concessions attire les convoitises. Le Monde.fr. Disponible sur https://www.lemonde.fr/economie/article/2023/02/13/autoroutes-le-debat-sur-les-concessions-est-relance_6161584_3234.html [Consulté le 11/01/2024]

(2024, janvier 19) La Commission se félicite de l'accord sur des objectifs ambitieux de l'UE visant à réduire les émissions de CO2 des nouveaux camions et autobus urbains—Commission européenne. france.representation.ec.europa.eu/. Disponible sur https://france.representation.ec.europa.eu/informations/la-commission-se-felicite-de-laccord-sur-des-objectifs-ambitieux-de-lue-visant-reduire-les-emissions-2024-01-19_fr [Consulté le 22/01/2024]

■ Article de revue scientifique

Auverlot, D., & Sauvart, A. (2023). Décarboner les mobilités. Sept scénarios pour la France aux horizons 2040 et 2060. *Futuribles*, 453, Disponible sur <https://doi.org/10.3917/futur.453.0025> [Consulté le 30/10/2023]

Deng, Y., Chen, Z., Yan, P., & Zhong, R. (2023). Battery swapping and management system design for electric trucks considering battery degradation. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 122, 103860. Disponible sur <https://doi.org/10.1016/j.trd.2023.103860> [Consulté le 30/10/2023]

Robert, C., Barrault, S., & Druart, A. (2022). Greenhouse gases and atmospheric pollutants 1990-2021 France emissions report National inventory report / Secten format—June 2022 edition (p. 512). disponible sur http://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig_q=RN:53079964

■ Thèse, mémoires

Bigo, A. (2020). Les transports face au défi de la transition énergétique. Thèse de doctorat. Disponible sur <http://www.chair-energy-prosperity.org/wp-content/uploads/2019/01/These-Aurelien-Bigo.pdf> [Consulté le 02/11/2023]

■ Littérature grise

FNTR - UNION TLF - OTRE. FEUILLE DE ROUTE DE DÉCARBONATION DES VÉHICULES LOURDS - ARTICLE 301 DE LA LOI CLIMAT RÉSILIENCE (p. 8). (2023). Disponible sur <https://www.fntr.fr/sites/default/files/2023-05/Feuille%20de%20route%20d%C3%A9carbonation.pdf> [Consulté le 19/01/2024]

SGPI. 2023. France 2030 : Des dispositifs de soutien pour la décarbonation des flottes de véhicules. Disponible sur <https://www.gouvernement.fr/france-2030-des-dispositifs-de-soutien-pour-la-decarbonation-des-flottes-de-vehicules> [Consulté le 11/01/2024]

Ministère de la transition écologique et solidaire. . 2018. Information GES des prestations de transport (p. 238). Disponible sur https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/Info%20GES_Guide%20m%C3%A9thodo.pdf [Consulté le 11/01/2024]

La librairie ADEME. E commerce : Modélisation des impacts et recommandations filières et grand public. (s. d.). Disponible sur <https://librairie.ademe.fr/mobilite-et-transport/6261-e-commerce-modelisation-des-impacts-et-recommandations-filieres-et-grand-public.html> [Consulté le 08/01/2024]

Sénat. (2023, avril 3). Le service public ferroviaire et les collectivités territoriales. Disponible sur <https://www.senat.fr/rap/r13-092/r13-092.html> [Consulté le 11/01/2024]

Ministère de la Transition Écologique et de la Cohésion des Territoires. (2020 mai 04). Le temps de travail des conducteurs routiers de transport de marchandises. Disponible sur <https://www.ecologie.gouv.fr/temps-travail-des-conducteurs-routiers-transport-marchandises> [Consulté le 20/01/2024]

Les enjeux du développement de l'électromobilité pour le système électrique. (2019). RTE, AVERE France. Disponible sur <https://www.rte-france.com/actualites/developpement-du-vehicule-electrique-et-systeme-electrique-une-faisabilite-sereine-et> [Consulté le 22/01/2024]

ADEME. (2017). Les Impacts du Smartphone. Disponible sur <https://presse.ademe.fr/wp-content/uploads/2017/09/guide-pratique-impacts-smartphone.pdf> [Consulté le 22/01/2024]

Carbone 4. Meunier, N., & Sorret, J. (2022, septembre). Camion électrique : Il est temps d'embrayer sur la logistique urbaine | Carbone 4. Disponible sur <https://carbone4.com/fr/publication-camion-electrique> [Consulté le 21/12/2024]

Roman, B. (2022). LE MARCHÉ EUROPÉEN DU TRANSPORT FERROVIAIRE EN 2020. Autorité de Régulation des transports. Disponible sur https://www.autorite-transport.fr/wp-content/uploads/2022/07/art_bilan-ferroviaire-europe-2020.pdf [Consulté le 13/01/2024]

RTE Bilan prévisionnel 2023. (2023). RTE. Disponible sur <https://assets.rte-france.com/prod/public/2023-09/Bilan-previsionnel-2023-principaux-resultats.pdf> [Consulté le 22/01/2024]

T&E - Camions électriques pourquoi et comment accélérer leur déploiement (p. 29). (2022). [Atouts carbone et faisabilité technico-économique]. Transport & Environnement. Disponible sur <https://www.transportenvironment.org/wp-content/uploads/2023/01/TE-Briefing-EVTruck-Dec22-3.pdf> [Consulté le 22/01/2024]

Transition énergétique du Transport Routier de Marchandises. (2021). FNTR - UNION TLF - OTRE. Disponible sur https://www.ort.bourgogne-franche-comte.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/2021_05_task-force-conclusions-op-20-mai-2021.pdf [Consulté le 19/01/2024]

Carbone 4. Aulanier, H.-M., Girard, T., Nossek, B., Pitre, M., Ramos, C., Rouault, B., Sorret, J., Tapiero, S., & Vasselin, Z. (2021). LE RÔLE DES INFRASTRUCTURES DANS LA TRANSITION BAS-CARBONE ET L'ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE DE LA FRANCE. Disponible sur https://www.carbone4.com/files/Carbone_4_Le_role_des_infrastructures_dans_la_transition_bas_carbone_et_l_adaptation_au_changement_climatique_de_la_France_rapport_complet_version_compressée.pdf [Consulté le 16/01/2024]

Annexe 1 : Analyse quantitative sur la base de données Europresse

Une analyse des différents termes dans les articles de la base Europresse met en valeur le lien entre différentes thématiques qui sont autant d'angles d'attaque sur la question de la décarbonation des camions.

La requête envoyée à la base de données europresse est la suivante : [*text= (décarbonation | sobriété) & (fret | logistique | camions | transport routier)]*, restreinte à la presse nationale. Cette requête, bien que complexe à le mérite de restreindre au secteur visé tout en permettant différentes formulations ("fret routier" au lieu de "camions" par ex). Elle laisse tout de même de la place à l'association de termes "décarbonation & fret" ou "décarbonation & logistique" permettant d'ouvrir à des problématiques plus larges de décarbonation des transports. On observera par la suite l'apparition dans les données des problématiques autour de la décarbonation de l'aérien, ces dernières sont concomitantes avec la décarbonation des camions.

Une première étude simple consiste à observer au sein des 1000 articles extraits de la base de données europresse le nombre d'articles publiés en fonction du temps. Cette première étude permet d'observer en quelque sorte l'histoire médiatique de la controverse. Nous observons alors un récent pic médiatique qui semble débiter en 2019 et ne cesse de croître, signe de l'importance de ces sujets de décarbonation dans les débats actuels et de sa nouveauté.

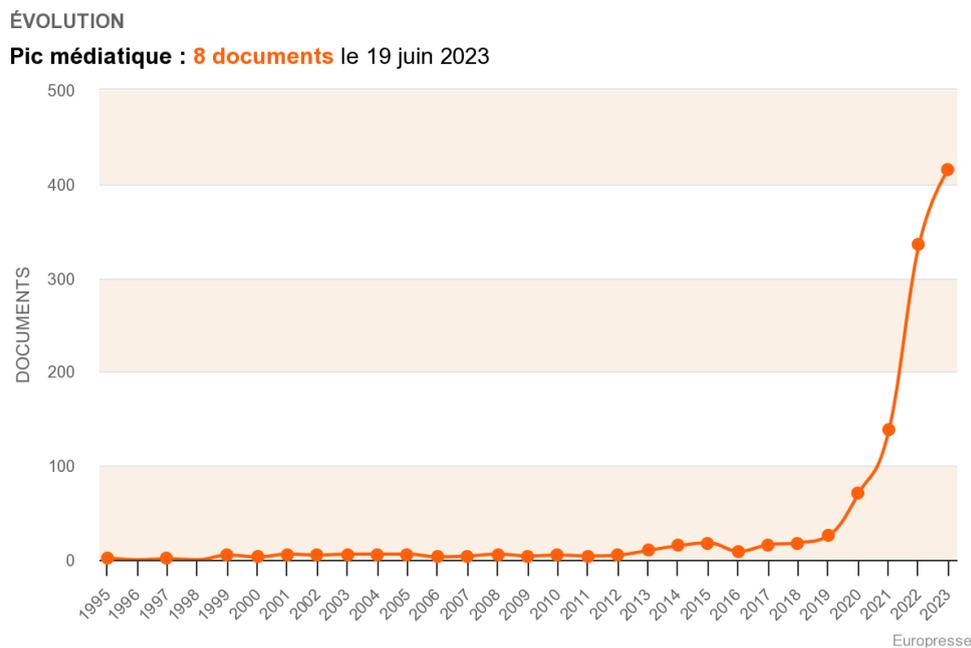


Figure #1: Evolution de la présence dans la presse de sujets en lien avec la décarbonation des camions

Une seconde étude a été effectuée en utilisant l'outil Cortext sur le même corpus de textes. Cela permet d'étudier les cooccurrences de termes au sein des documents extraits de la base de données, et entre autres de mettre en valeur les liens qu'il existe entre les différentes sous-thématiques de la controverse dans la presse. Les nœuds correspondent aux unités de sens qui apparaissent le plus, et les lignes correspondent aux

liens d'apparition (lorsque deux unités ont tendance à apparaître ensemble elles sont les reliées par un lien), de même les groupes d'unités de sens qui apparaissent ensemble sont rapprochés.

On observe un réseau dense formé par les clusters A et B. Ces derniers semblent correspondre respectivement à des problématiques d'organisation du réseau logistique, et du report modal vers le train. Ces deux clusters sont proches du cluster D correspondant à la décarbonation du secteur aérien, ce cluster concerne surtout le transport de passagers et est donc en dehors du cadre de notre étude même si le lien entre le transport de fret et de passagers n'est pas dénué d'intérêt. Ces clusters sont reliés d'une part par le cluster E correspondant aux politiques publiques et au rôle de l'Etat dans la prise de décision sur l'organisation du transport, d'autre part par le cluster C. Ce dernier cluster correspond à de récentes problématiques de tensions sur les matières premières, en particulier sur le gaz avec la guerre en Ukraine. Les clusters F et G, plus distants, semblent correspondre respectivement aux problématiques globales d'émissions de GES et au marché carbone européen, ces deux thématiques enjoignant la décarbonisation du fret routier.

Comme évoqué précédemment il apparaît aussi la problématique annexe de décarbonation du transport aérien. Bien que cette problématique puisse sembler "parasite" ou "hors sujet" nous avons choisi de la laisser apparaître car elle est en plusieurs points concomitante à la décarbonation du fret routier. On citera notamment le développement de carburants biosourcés, décarbonés, d'utilisation de l'hydrogène, le développement de nouvelles infrastructures pour alimenter le réseau en énergie. Sur certains aspects il peut y avoir des liens positifs entre les secteurs de l'aérien et du routier, en particulier concernant le développement de technologies, d'un réseau de distribution et de la production de ces carburants. En revanche sur d'autres aspects les différents secteurs vont entrer en concurrence, particulièrement en ce qui concerne l'utilisation des ressources : si le stock de biocarburants est limité cela va faire grimper les prix voire causer une pénurie.

D'un point de vue pratique, si la requête à la base de données était modifiée pour enlever ce qui touche à l'aérien, en théorie seul le cluster D (celui sur l'aérien) disparaîtrait. Les autres clusters pourraient légèrement bouger mais on retrouverait les mêmes grandes unités que dans cette étude.

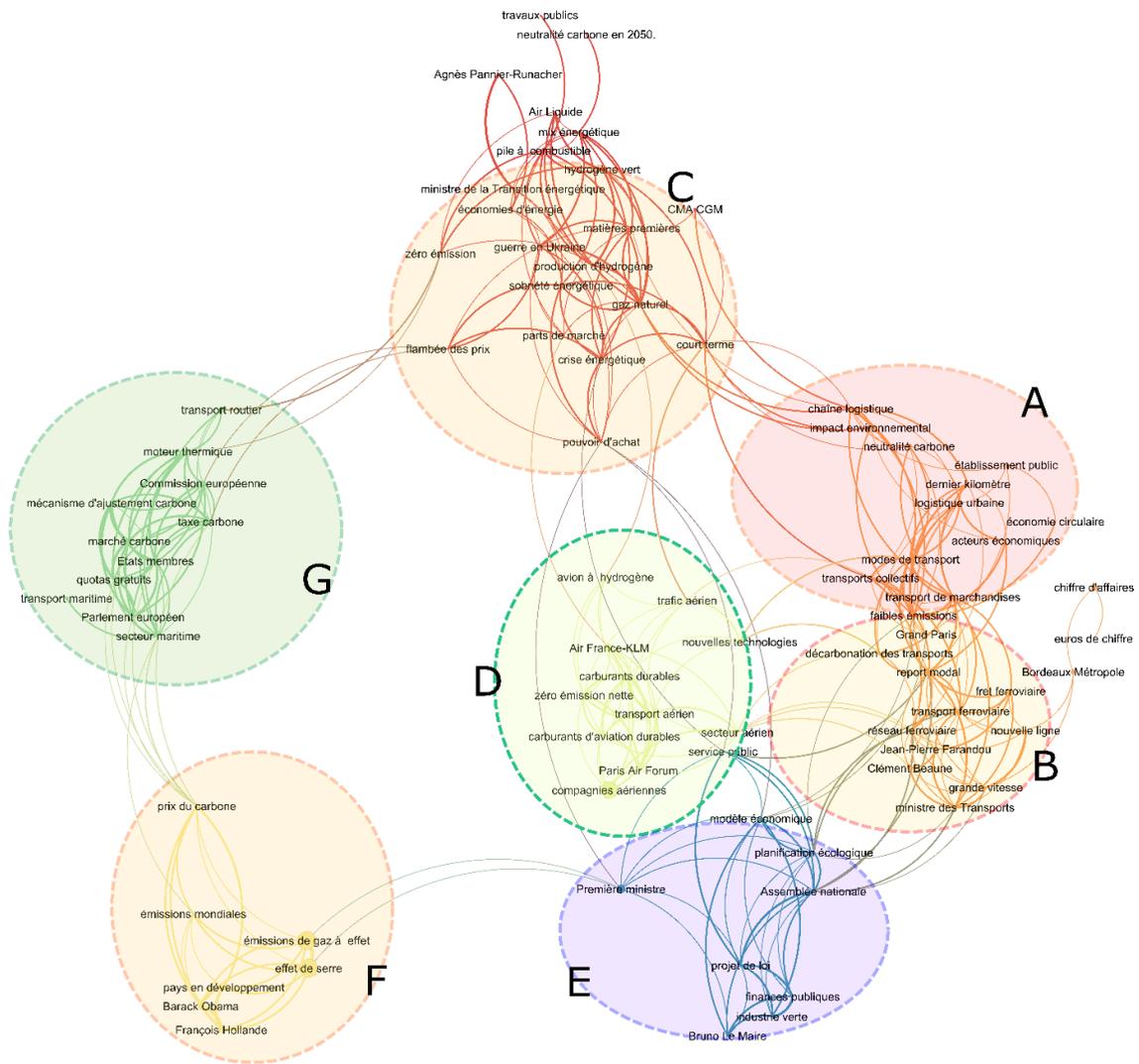


Figure #7: Cartographie CorText des résultats de l'enquête Europepress

Annexe 2 : Analyses quantitatives de la base de données Scopus

Nous avons utilisé la base de données Scopus pour comprendre quelles recherches scientifiques ont été menées sur le sujet de la "décarbonation du transport des marchandises". La stratégie de recherche que nous avons utilisée est la suivante : (TITLE-ABS-KEY ("freight") ET TITLE-ABS-KEY ("decarbon*")) ET (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar") OU LIMIT-TO (DOCTYPE , "cp")), ce qui signifie les articles et les communications de conférence dont le titre, le résumé ou les mot-clé contiennent «fret» et ceux qui ont une racine de «décarbon». De 2007 au 16 novembre 2023, cette stratégie nous a retourné 179 publications pertinentes.

Ces publications se répartissent clairement dans quatre grands domaines disciplinaires : l'ingénierie, l'énergie, les sciences de l'environnement et les sciences sociales, avec des proportions respectives de 21,5 %, 19,4 %, 18 % et 12,1 %.

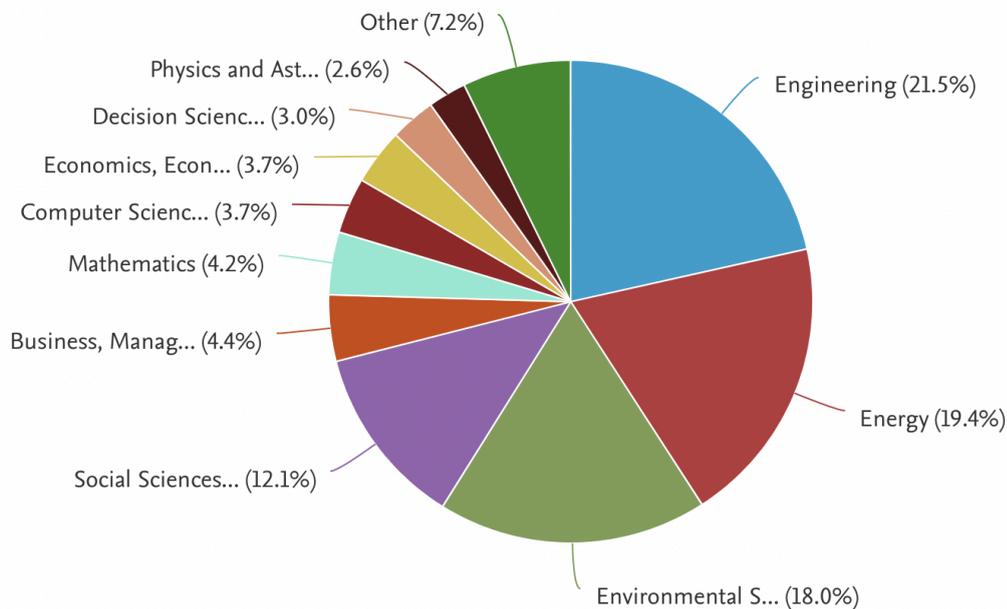


Figure #8 : Répartition disciplinaire des résultats de l'enquête dans Scopus

Afin de développer une compréhension globale du contenu de ces recherches scientifiques, nous avons utilisé Cortext pour extraire les mots-clés des résumés de ces publications. Nous les avons ensuite fusionnés en termes synonymes et les avons représentés en fonction de leur fréquence d'apparition (taille des nœuds) et de leur fréquence de co-occurrence (distance entre les nœuds). Ce processus a permis de créer la cartographie des termes suivants.

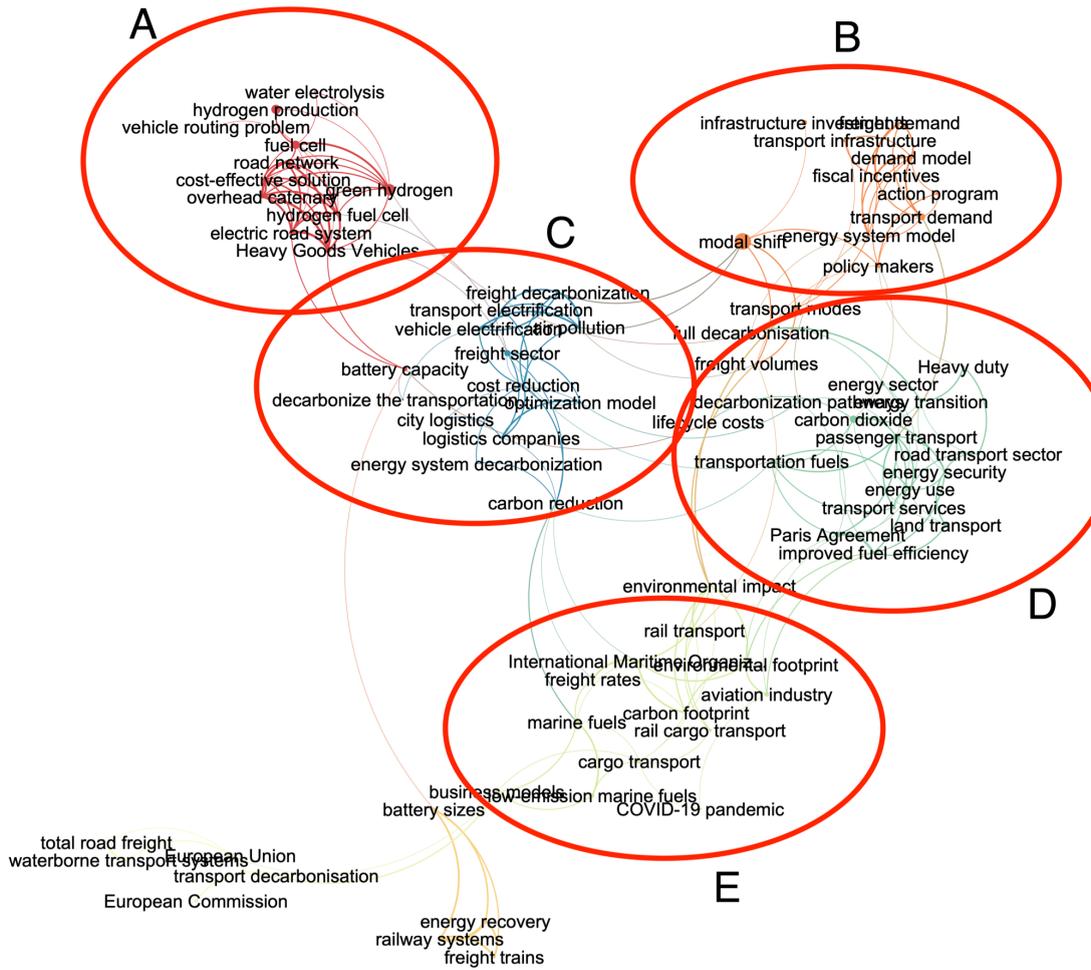


Figure #9 : Cartographie des termes des résultats de l'enquête dans Scopus

Nous avons donc une vision macroscopique des recherches scientifiques sur le sujet de « décarbonation du transport des marchandises » : Le cluster A forme un réseau dense, comprenant des technologies d'énergie alternative pour les camions (fuel cell, hydrogen production). De plus, d'autres solutions techniques externes (overhead catenary, electric road system) sont également discutées. Il peut être noté que hydrogène (hydrogen) est un sujet de recherche majeur. Le cluster B est centré autour du terme « rapport modal » (report modal), qui est l'une des principales thématiques de recherche dans les travaux actuels. Elle implique la compréhension du rôle des incitations fiscales (fiscal incentives) et du financement des infrastructures (infrastructure investment) dans les politiques publiques (policy maker). Le cluster C regroupe des termes liés à la planification de la logistique (city logistic, optimisation model), l'amélioration des itinéraires de transport de marchandises et l'adoption de méthodes de chargement efficaces, tous constituant des leviers efficaces pour la décarbonisation. La question des batteries relie les clusters A et C, ce qui en fait une question importante pour l'organisation du secteur du fret et la nouvelle logistique à mettre en œuvre. Le cluster D rend visible les recherches liées à la décarbonation (carbon dioxide) du secteur du transport de passagers (passenger transport) notamment en lien avec les dispositions de l'accord de Paris (Paris agreement). Il montre la connexité des recherches sur la décarbonation du fret et du transport routier des personnes. Le cluster E traite de différents secteurs de transport, et les sujets discutés dans cet article peuvent être étendus à chaque secteur pour atteindre la décarbonisation et évaluer l'empreinte carbone globale du transport de marchandises.