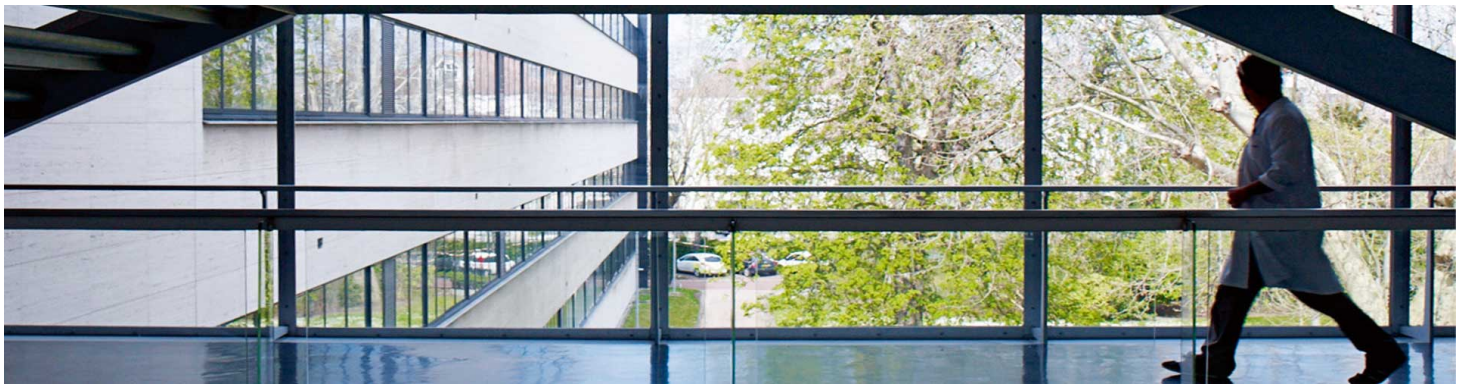

Rédigé le 22 novembre 2024 10 minutes de lecture

Actualités

IFPEN

Mobilité durable

Pierre-Franck Chevet
Président

La décarbonation des transports terrestres est une priorité incontournable pour atteindre les engagements français de réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES) d'au moins **40 % d'ici 2030, par rapport à 1990**.

En effet, **le secteur des transports** est actuellement responsable de 32 % des émissions de GES en France, soit 130,5 millions de tonnes d'équivalent CO_2 en 2022, dont 92 % provenant de la mobilité terrestre **[1]**.
L'objectif, renouvelé par le Gouvernement en mai 2023 au travers de son plan de réduction des émissions de GES, est de réduire ces émissions à 92 millions de tonnes d'ici 2030.

IFPEN est pleinement engagé pour contribuer aux avancées scientifiques et technologiques **permettant de décarboner ce secteur clé de notre économie**.
Nos travaux de **recherche et innovation** portent notamment sur le **véhicule électrique** (moteurs électriques, batteries, électronique de puissance), les **carburants alternatifs** (biocarburants avancés et e-fuels) et l'**utilisation de l'hydrogène dans les transports**.
Tous ces travaux sont menés en étroite **collaboration avec les acteurs industriels et les pouvoirs publics**, une collaboration qui est cruciale si nous voulons atteindre les **objectifs de réduction des émissions de CO_2**.

La décarbonation des transports terrestres nécessite de prendre en compte les **besoins des usagers, l'impact environnemental** des différentes technologies, en particulier en termes de pollution atmosphérique et d'impact carbone, ainsi que la **mobilisation raisonnée et durable des ressources et des métaux**.
Autant de critères que nous regardons, notamment dans le cadre de nos analyses de cycle de vie, pour guider les **choix technologiques et éclairer la prise de décision**.

[1] Bilan annuel des transports en 2022, Ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des Territoires, novembre 2023

Grand angle

La décarbonation de la mobilité terrestre

décarbonation de la mobilité terrestre

La décarbonation du secteur des transports routiers requiert une approche favorisant la neutralité technologique. En complément de la sobriété et du report modal, cette approche combine en effet des solutions diversifiées comme **l'électrification, l'hydrogène et les biocarburants**, en fonction des usages, des ressources et des applications spécifiques.

Plusieurs alternatives au couplage de la motorisation thermique et du carburant fossile coexistent aujourd'hui et font l'objet de **travaux de recherche et innovation conduits par IFPEN**.
N'ayant pas toutes le même degré de maturité, elles rencontrent encore des défis, qu'ils soient technologiques (performance, efficacité et durabilité), environnementaux (impact carbone), liés à la disponibilité des ressources (biomasse, métaux, électricité) ou encore économiques (coût des batteries, prix des carburants alternatifs).

- **La mobilité électrique, atout majeur de la décarbonation des transports terrestres**

Selon les données de l'Avere-France **[2]**, près d'**1,6 million de véhicules électriques ou hybrides rechargeables** étaient en circulation en fin d'année 2023, dont près de 500 000 véhicules neufs immatriculés en 2023.

[2] Baromètre 2023 de la mobilité électrique, Avere France, décembre 2023

Les principaux atouts du véhicule électrique à batteries (VE) résident dans le fait qu'il n'émet lors de son utilisation ni CO_2, ni polluants, et qu'il consomme deux à trois fois moins d'énergie que les véhicules essence et diesel.
Au regard de ses vertus en matière de réduction des émissions de GES et de consommation énergétique, la mobilité électrique est aujourd'hui fortement encouragée par les pouvoirs publics français. En témoigne **la place de premier rang donnée au véhicule électrique** dans la stratégie de planification écologique du Gouvernement ou la création de plusieurs dispositifs d'aide à l'acquisition de véhicules électriques et au déploiement de solutions de recharge.

Les constructeurs automobiles français développent activement une gamme de véhicules électriques particuliers, tant à des fins citadines que de longs trajets.
La filière du transport routier a, elle-même, pris l'engagement, dans sa feuille de route de décarbonation, de recourir davantage à l'électrification.
La mise en place récente d'une **aide à l'électrification des poids lourds** via les CEE participera à cette ambition commune.

Cependant, le déploiement massif du VE se heurte à plusieurs freins :

- D'un point de vue technologique, le développement de la mobilité électrique soulève des questions d'autonomie des véhicules, de maillage territorial en bornes de recharge, mais également de durabilité, vieillissement et sûreté des batteries.

- **D'un point de vue environnemental**, la fabrication des batteries suppose l'utilisation de métaux (lithium, cobalt, nickel), dont l'extraction et le traitement ont des impacts environnementaux significatifs, alourdissant le bilan carbone global du véhicule électrique. La durée de vie et le recyclage des batteries figurent également au rang des défis à relever.

- Pour rendre le véhicule électrique plus accessible et abordable, des efforts importants doivent être réalisés en termes de réduction des coûts, principalement dans le domaine des batteries.

- Enfin, l'enjeu de la souveraineté industrielle européenne est primordial. C'est la raison pour laquelle, tant en France qu'à l'échelle européenne, des efforts importants sont déployés pour mettre en place une filière batteries.

Au travers de son **Carnot IFPEN Transports Energie (TE)**, IFPEN développe des solutions et technologies visant à apporter des solutions à ces défis.

Dans le domaine des batteries :

- IFPEN développe des procédés de synthèse des matériaux actifs de cathode (CAM) ainsi que de leurs précurseurs (pCAM) pour les batteries actuelles et à venir, en partenariat avec sa filiale Axens. IFPEN s'intéresse aussi aux nouveaux matériaux pour **les batteries qui émergeront au-delà de 2035**, notamment les batteries « tout solide » ou encore Lithium-Soufre.
Le développement de ces nouveaux matériaux vise à augmenter **la densité énergétique massique et volumique des batteries**, à accroître leur sécurité et leur durabilité et à diminuer l'utilisation de matériaux critiques tout en en limitant les coûts globaux, depuis la conception jusqu'au recyclage.
IFPEN participe dans ce domaine à de nombreux projets européens et a plus particulièrement piloté le **projet MODALIS²** qui a obtenu de très bons résultats sur la simulation des futures générations de batteries, notamment celles utilisant des alliages à base de silicium.
Ces recherches sont poursuivies actuellement dans le cadre d'autres **projets européens** sur les problématiques de durabilité des batteries et de sécurité (emballement thermique).

- IFPEN travaille également sur le recyclage des matériaux de batteries dans le cadre d'un partenariat avec Axens et Eurecat.

- Pour mener ses recherches, **IFPEN associe des moyens expérimentaux** afin de prototyper et de caractériser les batteries au travers de différents tests (performances, vieillissement, emballement thermique) à des outils de simulation et modélisation spécifiquement développés pour prédire le comportement des batteries et aider à les concevoir. **IFPEN réalise notamment des campagnes de tests** de vieillissement de batteries dans le cadre du consortium **COMUTES²** (COnsortium pour la Mutualisation de Tests Electriques sur Systèmes de Stockage) réunissant des partenaires de la recherche et de l'industrie.

Dans le domaine des moteurs électriques :

- IFPEN développe des machines électriques, notamment de type « synchro-réluctantes », qui utilisent moins d'aimants, et donc peu voire pas de terres rares, tout en proposant un haut rendement et un coût de production réduit.

- Pour exploiter efficacement ces moteurs électriques, **IFPEN développe de nouvelles générations d'électronique de puissance**, à haute fréquence de commutation et à forte densité de puissance volumique.
Des stratégies spécifiques de contrôle, associées à ces nouvelles technologies, sont mises au point pour améliorer le rendement, réduire le bruit et les vibrations et également maximiser la puissance.

Ces solutions s'adressent aux constructeurs mais également à la production en petites séries pour **des applications du quadricycle au véhicule off-road**, jusqu'au rétrofit de véhicules thermiques. Elles sont développées dans le cadre de **projets collaboratifs** (projets européens Magellan, Archimèdes) et en partenariat avec des industriels comme Ampère (groupe Renault) ou le groupe GCK et sa filiale Solution F ou encore la société MovNTec. **IFPEN s'est récemment associé à TEC INNOV** pour créer un groupe de référence, TEC E MOUV, dans la décarbonation des systèmes de propulsion, en particulier dans la mobilité électrique.

Le Carnot IFPEN TE et le CEA-Liten ont développé, au sein du projet Melchior, un prototype de moteur électrique utilisant une technologie d'aimant recyclable qui permet de réduire significativement la quantité d'aimants habituellement utilisés et d'en faciliter le recyclage. Les gains en CO_2 ont été estimés à 40 %. Ces travaux se poursuivent aujourd'hui dans le cadre du **projet européen Magellan piloté par Orano**.

- **L’émergence des solutions hydrogène**

L’hydrogène se présente comme une solution alternative intéressante pour certains usages spécifiques, notamment lorsqu’une grande autonomie et/ou un faible temps de recharge sont nécessaires (poids lourds longs routiers, autocars, engins de chantier).

Il existe deux voies d’utilisation de l’hydrogène dans les transports :

- L’utilisation de l’**hydrogène** comme carburant dans un moteur à combustion interne.
Cette solution présente plusieurs avantages : elle n’émet pas de CO_2 et **très peu de polluants**, elle peut être facilement déployée et à moindre coût car elle s’appuie sur des outils industriels existants et ne nécessite pas d’hydrogène de grande pureté pour fonctionner.
En revanche, le moteur doit être spécifiquement conçu pour un usage optimal de l’hydrogène tant sur l’aspect compatibilité des matériaux qu’en termes de rendement et d’émissions.

- **L’utilisation de l’hydrogène dans une pile à combustible (PaC)** pour produire de l'électricité à bord du véhicule électrique et réduire ainsi la taille de la batterie.
Cette technologie présente également des avantages : pas d’autres émissions que de la vapeur d'eau et un rendement globalement supérieur à 50 % sur une large plage de fonctionnement.
En revanche, elle nécessite un hydrogène très pur et des développements technologiques et industriels complémentaires pour réduire son coût encore élevé.

Au travers du Carnot IFPEN Transports Energie (TE), **IFPEN** a initié des recherches visant **l’optimisation énergétique et la compétitivité** de ces deux solutions :

- S’agissant du **moteur à hydrogène**, IFPEN mène des recherches sur l’optimisation des systèmes de combustion hydrogène dans le cadre de collaborations avec un écosystème d’industriels. L’objectif est de maximiser le rendement énergétique et de minimiser les émissions d'oxyde d'azote.
IFPEN s’appuie, pour ce faire, sur des moyens d’essais dédiés ainsi que sur des outils de modélisation de la combustion développés avec la société **Convergent Science Inc.**, éditrice du logiciel Converge.
IFPEN a participé au **projet CORAM « PLH2 »**, coordonné par Volvo Group-Renault Trucks, qui a démontré la performance d’un moteur thermique à hydrogène sur un poids lourd, solution dont le coût est comparable à celui de son analogue diesel.

- IFPEN travaille également sur **l’optimisation énergétique du système PaC** pour les véhicules électriques : caractérisation du fonctionnement en laboratoire et sur banc d’essais dédié, modélisation avec notamment la mise au point de modèles de vieillissement du système et analyses de cycle de vie. Dans le cadre d’un partenariat avec la société INOCEL, IFPEN mène une campagne d’essais pour tester et valider leur système PaC de forte puissance, INOCEL Z300, et optimiser ses performances.

- **Le recours aux carburants liquides bas carbone**

Même si le véhicule électrique à batterie est l'alternative privilégiée à moyen – long terme, tant pour les véhicules particuliers que pour les poids lourds, cette solution est encore très loin d'être majoritaire : **en 2023, 1 véhicule vendu sur 6 en Europe était électrique**, avec une prédominance des modèles haut de gamme (SUV).
Compte tenu du rythme de remplacement des parcs existants qui est d'une douzaine d'années pour les VP et de l'objectif de neutralité carbone à horizon 2050, des voies alternatives complémentaires comme les biocarburants avancés ou les carburants de synthèse (e-fuels) doivent être considérées pour décarboner le secteur des transports dès maintenant.

Les biocarburants et biocarburants avancés

Il existe plusieurs types de biocarburants, produits à partir de ressources n'entrant pas en concurrence avec l'alimentation humaine ou animale,

- Les biocarburants produits à partir **d'huiles de cuisson usagées ou de graisses animales** par la voie HVO (hydrotraitement des huiles végétales),
- Les biocarburants avancés de synthèse produits à partir de **biomasse lignocellulosique** (déchets et résidus agricoles et sylvicoles) par voie thermochimique ou biomass-to-liquids (BTL)
- L'éthanol avancé produit à partir de **biomasse lignocellulosique** (déchets et résidus agricoles et sylvicoles) par voie biochimique

La **Stratégie française** sur l'Energie et le Climat (SFEC) **[3]**, publiée en septembre 2023, présente les biocarburants, notamment **les biocarburants avancés**, comme un levier majeur de la décarbonation des transports terrestres.
En effet, **leur bilan environnemental est meilleur** que celui des carburants fossiles et des biocarburants de première génération. De plus, ils ne nécessitent pas le développement d'infrastructures ou de moteurs dédiés ; le consommateur peut ainsi les utiliser dans son véhicule thermique ou dans son véhicule hybride. Mais l'essor des **biocarburants avancés** devra prendre en compte le volume de biomasse disponible et mobilisable de façon durable, rendant nécessaire, comme l'a rappelé le **secrétariat général à la planification écologique (SGPE)** dans un rapport publié en juillet 2024, un travail de hiérarchisation des usages non alimentaires de la biomasse pour en optimiser les services rendus.

IFPEN a développé, avec ses partenaires, deux technologies de production de biocarburants avancés commercialisées par sa filiale Axens :

- **La technologie BioTfueL®** de production de biocarburants avancés par voie thermochimique. Celle-ci fait l'objet d'études d'ingénierie pour une mise à l'échelle industrielle.

- La technologie de production de **bioéthanol avancé, Futurol™**, également en voie d'industrialisation.

La mise en œuvre à l'échelle industrielle des **technologies BioTfueL®** et **Futurol™** fait l'objet de deux projets de construction et d'opération des premières unités industrielles de production de biocarburants avancés en France. IFPEN est impliqué, non seulement au niveau technologique, mais

aussi via sa structure IFP Investissements, actionnaire des deux sociétés de **projet BioTJet™ et NACRE**.

Par ailleurs, **IFPEN a développé le procédé d'hydrotraitement d'huiles végétales** (huiles végétales usagées, résidus de la production d'huiles végétales alimentaires, etc.), Vegan®, également commercialisé par Axens et déployé à l'échelle industrielle avec plusieurs références dans le monde.

Les électro-carburants ou e-fuels

IFPEN est également acteur du développement de la filière des électro-carburants fabriqués à partir **de CO_2 et d'hydrogène bas carbone** produit par électrolyse de l'eau. IFPEN développe les briques nécessaires aux différentes étapes :

- **Procédés de captage du CO_2**.
- Technologie de **conversion du CO_2 en CO**, dite technologie RGWS. IFPEN codéveloppe ce procédé avec Axens et Paul Wurth.
- **Procédé de synthèse Fischer-Tropsch, Gasel®**, qui permet de produire un carburant de synthèse à partir de CO et H_2, commercialisé par Axens.

IFPEN est partenaire avec Axens du projet « Take Kair », porté par Hynamics (EDF), dont l'objectif est de **construire en 2028 un pilote industriel de e-kérosène**.

[3] Stratégie Française sur l'Energie et le Climat, Ministère de la Transition énergétique, septembre 2023

La parole à un élu

Gérard LESEUL

Image not found or type unknown

Député de Seine-Maritime
Vice-Président de l'OPECST

Les élections européennes de 2024 ont replacé le débat sur l'interdiction de la vente de véhicules thermiques neufs à l'horizon 2035 au cœur des préoccupations. Dans le cadre de l'examen de la PPL sur le verdissement des flottes d'entreprises, vous avez souligné les dangers d'une transition précipitée vers le tout électrique. La décarbonation de la route reposerait-elle sur un équilibre entre les solutions thermiques, électriques, hydrogène et biocarburants durables ? Pourquoi ?

La décarbonation du transport terrestre est une nécessité en Europe et en France pour tenir nos engagements environnementaux et préserver la santé de nos concitoyens.

Toutefois, pour être acceptable et acceptée cette transition doit être progressive et se faire en concertation avec les différents acteurs du secteur. De plus, comme j'ai pu le souligner à l'occasion des travaux sur la mise en œuvre des Zones à Faibles Émissions mobilité, il est essentiel d'accompagner les TPE/PME et les ménages modestes.

Il est clair que la décarbonation du transport terrestre et plus spécifiquement de la route passe par la mise en œuvre d'une pluralité de solutions. Le tout électrique, comme le tout diesel à une autre époque n'est pas la solution.Nous le constatons, les mobilités sont diverses et variables en fonction des territoires et des usagers, il apparaît donc de bon sens de soutenir des solutions multiples pour permettre une réelle décarbonation de la route.

Si la mobilité électrique semble tout à fait adaptée pour les déplacements urbains, dans la logistique du dernier kilomètre ou dans un usage professionnel de courte distance, il est certain que d'autres solutions, comme l'hydrogène ou la motorisation hybride, peuvent être déployées pour les déplacements plus longs ou pour le fret.

Enfin, la décarbonation doit se lire dans le cadre de l'ensemble du cycle de vie du véhicule. Aussi, la mise au rebus d'un véhicule thermique qui dispose d'un faible kilométrage va à contresens du principe même de décarbonation. Il est donc essentiel d'encourager des solutions intermédiaires, du type retrofitage ou biocarburant, pour réduire les émissions de carbone et prolonger la durée de vie du véhicule avant leur destruction.

Quels sont les principaux obstacles au recours aux énergies alternatives dans les transports ? Quelles solutions proposez-vous pour surmonter ces freins ?

> Les réseaux de distribution des carburants (essence et diesel) sont les plus importants et les plus développés, de fait, la mise en œuvre d'une mobilité avec des énergies alternatives induit le déploiement d'un système de distribution nouveau. Le principal frein se trouve donc dans la faiblesse du réseau de distribution de ces énergies.
>
> En ce qui concerne la mobilité électrique, l'enjeu est de déployer massivement des bornes de rechargement afin d'offrir aux usagers des solutions de recharge efficiente et rapide dans tous les territoires et dont les tarifs sont transparents. Ici encore, il convient de développer les solutions de recharge dans l'espace public, au domicile et dans les espaces professionnels.
>
> La mise à disposition des énergies alternatives est consubstantielle au développement des mobilités décarbonées, l'Etat doit donc être un acteur majeur dans la planification et la mise en œuvre de ces solutions.
>
> Par ailleurs, comme avait pu le pointer Jean-Louis Bricout, ancien député de l'Aisne, sur les mobilités électriques, il semble pertinent de réguler le secteur du rechargement afin d'en simplifier et d'en harmoniser l'utilisation. Je souhaite reprendre cette proposition.

Vous avez été corapporteur d'une mission d'information sur les mesures d'accompagnement à la création de zones à faibles émissions de mobilité dans les territoires. Quel rôle les collectivités locales doivent-elles jouer dans la décarbonation des transports routiers ?

> Les collectivités en application de leur rôle d'Autorité Organisatrice des Mobilités sont au cœur de la mise en œuvre des solutions de mobilités. Elles peuvent avec le soutien de l'État mettre en place des solutions collectives, encourager à l'autopartage, mettre en place des politiques tarifaires spécifiques etc.
>
> Le rôle des collectivités locales qui connaissent finement leur territoire est donc primordial. La décarbonation du transport routier passe aussi par le report modal d'une partie des circulations. Toutefois, les marges de manœuvre financières des collectivités sont aujourd'hui limitées, je souhaite donc travailler à une révision des conditions de fixation du Versement mobilité afin d'encourager des politiques tarifaires incitatives et des augmentations de l'offre.

La France favorise-t-elle suffisamment la recherche et l'innovation en matière de décarbonation des transports ? Quels domaines nécessitent une accélération des efforts ?

Quels moyens supplémentaires devraient être mobilisés pour soutenir ces efforts ?

> La décarbonation des transports passe aussi par la recherche et l'innovation. J'ai pu le constater dans le cadre de la rédaction d'une note de l'Office Parlementaire d'Évaluation des Choix Scientifiques et Technologiques sur le stockage de l'électricité. Ainsi les découvertes dans le domaine des batteries (sodium-ion, tout solide …) permettront d'améliorer sensiblement l'autonomie des véhicules électriques.
>
> La recherche et l'innovation dans ce domaine, comme dans celui de l'hydrogène vert, dans les carburants de synthèse ou encore dans le biocarburant sont donc essentielles. Il est donc important d'encourager les industriels et la recherche publique vers ces secteurs d'avenir.
>
> Notre pays est reconnu pour la qualité de ses enseignements universitaires et scientifiques, nous avons donc l'opportunité, avec un soutien fort de l'État, de créer des filières d'excellence dans la mobilité décarbonée.

VOUS SEREZ AUSSI INTÉRESSÉ PAR

Le CNRS et IFP Energies nouvelles inventent les énergies de demain
Recyclage des plastiques : quel cadre réglementaire pour un développement rationnel, efficace et pérenne ?
Le consortium GreenWITS/IFPEN/Epsiline choisi pour projet éolien CAP DEMO-TASE
Voir le Replay : RDV IFPEN | Décarbonation de la mobilité terrestre
VivaTech : IFPEN et Solinjection présentent un gel innovant pour lutter contre les effets de la sécheresse sur les bâtiments
IFPEN : 80 ans d'innovation pour un avenir durable
Newsletter institutionnelle IFPEN #13– Décarbonation de la mobilité terrestre - Novembre 2024
22 novembre 2024

Lien vers la page web :