

L'hydrogène, un atout majeur pour décarboner la mobilité lourde ou intensive

Par Philippe BOUCLY
Président de France Hydrogène

Face au changement climatique qui se manifeste de plus en plus fréquemment et violemment, l'hydrogène apparaît comme une des solutions possibles, notamment pour la mobilité lourde ou intensive. Dans le cadre de la Stratégie nationale publiée en septembre 2020, les acteurs français s'organisent. De premiers déploiements de véhicules (bus, bennes à ordures, camions, autocars) se mettent en place sous l'impulsion des collectivités et des opérateurs. Des solutions originales, telles que des offres de mobilité tout compris, sont proposées. Forte de ses atouts (constructeurs de véhicules, équipementiers, excellence de ses centres de recherche), la filière accélère et change d'échelle. Les efforts de réduction des coûts et d'adaptation de la réglementation à ce nouveau vecteur énergétique qu'est l'hydrogène doivent être poursuivis pour permettre à la France de rester dans le peloton de tête des nations qui développent la mobilité hydrogène. La révision de la stratégie hydrogène en cours doit être l'occasion de poursuivre sur les deux axes définis en septembre 2020 : la décarbonation de l'industrie et, en même temps, celle de la mobilité lourde ou intensive. Cela permettra de contribuer au maintien en France d'une industrie forte de la mobilité, qui soit créatrice d'emplois et de valeur dans les territoires et contribue à la décarbonation d'un secteur fortement émetteur de gaz à effet de serre.

Un cadre général favorable pour des objectifs ambitieux

Au sein de l'Union européenne (UE), les transports consomment un tiers de l'énergie finale totale et sont responsables de plus d'un quart des émissions totales de gaz à effet de serre. Alors que les autres secteurs économiques, tels que l'énergie ou l'industrie, ont réduit leurs émissions depuis 1990, celles des transports se sont accrues du fait de l'accroissement du volume de fret et du nombre de passagers transportés. En 2020, le transport routier (voitures particulières, véhicules utilitaires légers, camions et bus) a généré 77 % des émissions globales de gaz à effet de serre du secteur des transports, le reste provenant essentiellement de la navigation et de l'aviation.

En France, en 2021, le secteur des transports au sens large (incluant les transports aérien, ferroviaire et maritime, ainsi que le transport fluvial de marchandises et autres modes de navigation) est à l'origine de près de 40 % des émissions totales de CO₂ de la France et de 30 % des émissions de gaz à effet de serre, soit 126 Mt CO₂éq ; le secteur du transport routier représentant à lui seul 94 % de ces émissions.

Entre 1995 et 2019, les émissions de GES du secteur des transports ont crû de 1,4 %, alors que tous les autres secteurs (industrie, agriculture, résidentiel et tertiaire) ont baissé de 25 % leurs niveaux d'émissions.

Depuis 1998, les transports sont le secteur qui émet le plus de gaz à effet de serre.

Les voitures particulières représentent 53 % des émissions du secteur, soit 60 Mt CO₂éq. Depuis 2009, les émissions annuelles des poids lourds diesel se maintiennent autour de 34 Mt CO₂éq en moyenne. Depuis 2012, celles des véhicules utilitaires légers (VUL) stagnent autour de 19 Mt CO₂éq par an en moyenne.

Au plan européen, dans le cadre du Pacte vert (Green Deal), le paquet législatif sur le climat, le paquet « Fit for 55 », a pour objectif de réduire les émissions de CO₂ de 55 % d'ici à 2030 par rapport aux niveaux de 1990. Au cours de l'année 2022, l'agenda législatif bruxellois a été dominé par la question du transport, notamment l'examen du règlement sur les normes d'émission de CO₂ des véhicules. Ainsi, dans la soirée du 27 octobre 2022, les législateurs de l'Union européenne ont conclu un accord exigeant que les nouvelles voitures et camionnettes soient à partir de 2035 neutres en carbone, c'est-à-dire essentiellement électriques. Cependant, à l'initiative de l'Allemagne, un considérant non contraignant a été ajouté demandant à la Commission européenne de présenter une proposition visant à autoriser, au-delà de 2035, la vente de véhicules « fonctionnant exclusivement avec des carburants neutres en CO₂ », ce qui pourrait représenter un sursis pour le moteur à combustion, à condition qu'il

soit alimenté par des carburants de synthèse. Devant l'absence de proposition de la part de la Commission, le vote final, prévu le 7 mars, a été reporté *sine die*. Les législateurs ont également convenu d'un objectif intermédiaire de réduction des émissions de CO₂ de 55 % d'ici à 2030 par rapport aux niveaux de 2021 pour les voitures et de 50 % pour les camionnettes.

Par ailleurs, en matière d'infrastructure de recharge, le règlement AFIR (Alternative Fuel Infrastructure Regulation) fixera notamment des objectifs d'installation de points de recharge tout le long des principaux axes routiers européens.

À la suite de l'invasion de l'Ukraine par les troupes russes, la Commission européenne a publié le programme « REPower EU », qui réhausse les objectifs à atteindre dans tous les domaines, et en particulier dans le domaine de la mobilité.

En France, la Stratégie nationale hydrogène a été publiée le 8 septembre 2020. Elle repose fondamentalement sur trois piliers :

- décarboner l'industrie lourde et se fonder sur les grandes quantités nécessaires à la décarbonation de ce secteur pour créer une filière française de l'électrolyse compétitive ;
- décarboner la mobilité lourde (bus, camions, bennes à ordures, trains, bateaux, avions) ou intensive (taxis, logistique du dernier kilomètre) ;
- maintenir un haut de niveau d'excellence en matière de recherche, développement et innovation et former les compétences qui seront nécessaires à l'avenir pour mettre en œuvre et exploiter les technologies de l'hydrogène.

En outre, un certain nombre de textes, en particulier la loi « Climat et Résilience », renforcent les exigences en matière de lutte contre le changement climatique, en imposant, par exemple, la mise en place dès 2025 de zones à faible émission (ZFE) dans les agglomérations de plus de 150 000 habitants.

La mobilité routière se développe en France

Dans ce cadre brièvement rappelé, la mobilité routière se développe en bénéficiant de soutiens financiers européens, nationaux et régionaux.

Au plan européen, les programmes de soutien à la mobilité sont nombreux et déjà anciens. Il s'agit notamment des projets H2ME, ZEFER, JIVE, H2 Accelerate, H2Haul ou encore LaunchHy4Good.

En France, au plan régional, les projets ZEV, Corridor H2 et Hyport sont les plus emblématiques et auxquels il convient d'ajouter les projets développés dans le cadre de l'appel à projets « Écosystèmes territoriaux » de l'Ademe, lequel est doté d'un premier montant de 275 millions d'euros. De 2019 à aujourd'hui, 46 projets ont été financés sur les 138 déposés. Le montant de l'aide de l'Ademe, sur la période précitée, s'élève à 320 millions d'euros, pour un investissement total de 1,2 milliard. Ces projets vont conduire à la mise en

place de 80 mégawatts d'électrolyse et à la production annuelle de 8 400 tonnes d'hydrogène pour des usages sécurisés à 90 % dans le domaine des transports et vont permettre d'éviter le rejet de 103 000 tonnes de CO₂ par an pendant 15 ans, soit un coût de la tonne de carbone évité égal à 208 €.

En voici quelques exemples (sans prétendre à l'exhaustivité) :

- En région Auvergne-Rhône-Alpes, la société Himpulsion SAS (qui associe Engie, Michelin, la région Auvergne-Rhône-Alpes et la Caisse des dépôts) va, dans un premier temps, implanter un réseau de 14 stations de recharge pour alimenter des véhicules lourds et utilitaires légers à l'aide de 3 électrolyseurs implantés à Grenoble, Clermont-Ferrand et Chambéry.



Figure 1 : Station de recharge hydrogène Ataway à Moûtiers, en région Auvergne-Rhône-Alpes – Photo©Ataway.

- À l'aéroport de Toulouse-Blagnac, la société Hyport SAS, détenue à 51 % par Engie solutions et à 49 % par l'AREC (Agence régionale Énergie-Climat d'Occitanie), va développer un écosystème hydrogène afin de « verdir » la mobilité aéroportuaire, qui s'accompagnera d'applications en matière aéronautique et industrielle.
- À Vannes, le projet Hygo consiste à adosser un électrolyseur à un *process* industriel et à des usages en mobilité. Michelin consommera une partie de la production correspondant à 40 kilos d'hydrogène par jour sur les 260 kilos produits, le reste étant utilisé pour la mobilité avec une borne de recharge ouverte aux véhicules lourds et légers pour différents usages en mobilité professionnelle.
- À Auxerre, le projet AuxHYGen va, dans une première phase, alimenter 5 bus du réseau de transport urbain de l'agglomération, ainsi que 3 véhicules utilitaires. L'ambition est d'accroître ultérieurement les capacités de la station afin d'alimenter des bus, des véhicules utilitaires, des camions, des trains, des bateaux, ainsi que pour servir à des applications stationnaires et industrielles.
- En région Sud, le projet HyAMMED vise à développer le transport de marchandises par des camions alimentés par de l'hydrogène coproduit par électrolyse sur le

site de la société Kem One. Dans une première phase, 6 camions de 44 tonnes pourront être approvisionnés, correspondant à une tonne d'hydrogène distribuée par jour.

- À Pau, le syndicat mixte Pau Béarn-Pyrénées Mobilités a développé le projet Fébus, une ligne de bus à haut niveau de service de 6 km de long et dotée d'un électrolyseur et d'une station de recharge pour alimenter 8 bus de 18 mètres.
- À Paris, dans le cadre du projet HYPE 600, la société de taxis HysetCo développe une flotte de 600 véhicules et gère 3 stations de recharge. Le projet sera poursuivi par la construction de 6 nouvelles stations en Île-de-France pour alimenter près de 900 taxis d'ici à 2024 et intégrer 200 véhicules à hydrogène au sein de la flotte de la ville de Paris.

Les acteurs français s'organisent

Forts de leurs compétences et de leurs capacités de recherche et d'innovation, ainsi que de leurs capacités industrielles, et soutenus qu'ils sont par la politique gouvernementale, les acteurs français s'organisent.

Reconnu au plan européen comme étant une filière stratégique, l'hydrogène a été érigé en tant que projet important d'intérêt européen commun (PIIEC – IPCEI : Important Project of Common European Interest). Dans ce cadre, et en conformité avec les règles mondiales de la concurrence, la Commission européenne autorise les États membres à subventionner la recherche et le développement de certaines technologies ainsi que de premiers déploiements. Une des raisons majeures de la possibilité d'octroyer de telles dérogations est la reconnaissance d'une « market failure », c'est-à-dire d'une défaillance du marché ; la reconnaissance d'une situation, où sans aides publiques, le marché ne décollera pas !

Parmi les quatre vagues prévues dans le cadre de l'IPCEI Hydrogène, les résultats des deux premières vagues ont été annoncés à l'automne dernier. La première vague, Hy2Tech, concerne 41 projets au plan européen pour un montant global d'aides de 5,4 milliards d'euros, qui s'ajoute à un investissement privé de 8,8 milliards d'euros. Sur les 41 projets retenus, 10 sont français. Outre les 4 fabricants français d'électrolyseurs, il s'agit des projets portés par les sociétés Forvia, Plastic Omnium, Symbio (filiale de Michelin et de Forvia), Hélium (filiale d'Alstom) et Hyvia (filiale de Renault et de l'américain Plug Power).

Les subventions allouées permettront de poursuivre la recherche et la mise au point de technologies, la construction de capacités de production de composants de la chaîne de valeur hydrogène, ainsi que de premiers déploiements.

La deuxième vague, Hy2Use, concerne au plan européen 35 projets pour un montant total d'aides de 5,2 milliards d'euros, qui s'ajoute à un investissement privé de 7 milliards d'euros. Dans ce cadre, les projets Normand'Hy (porté par Air Liquide) et MassilHya (porté par TotalEnergies et Engie) pour la bioraffinerie de La Mède ont été retenus.

Au-delà de ces grands projets emblématiques, la filière française s'organise autour d'un grand nombre d'acteurs très dynamiques (voir le site Vig'Hy de France Hydrogène : <https://vighy.france-hydrogene.org/>).

Sans prétendre à l'exhaustivité, on peut néanmoins citer quelques membres actifs du domaine de la mobilité : Stellantis (avec sa gamme de véhicules Jumpy, Expert et Vivaro), Chéreau (remorque frigorifique à hydrogène), Gaussin (« skateboard » à hydrogène qui permet notamment la manutention de lourdes charges dans les milieux portuaires), SAFRA (un constructeur de bus implanté à Albi), ainsi que des sociétés qui développent leetrofit de véhicules (par exemple, GCK, E-Neo, IBF H2 ou EHM).

Face à l'urgence climatique et à la concurrence étrangère, la filière française doit accélérer

Planifier une infrastructure de recharge

En matière de mobilité, un des défis est de surmonter le « dilemme de l'œuf et de la poule » et de faire coïncider le développement du parc de véhicules avec le déploiement d'une infrastructure de recharge. En la matière, on se heurte à une double réticence, celle des acheteurs potentiels de véhicules hydrogène du fait de l'absence d'infrastructures de recharge et celle des développeurs potentiels d'infrastructures de recharge en raison de l'absence de véhicules. Il s'agit là d'un problème commun à toutes les mobilités nouvelles. Au cours de l'année 2022, France Hydrogène et la PFA ont confié à l'IRT SystemX une étude de l'infrastructure optimale de recharge nécessaire à l'horizon 2030 pour atteindre les objectifs fixés par la Stratégie nationale.

Pour localiser les stations, la modélisation cible principalement, en 2026, les EPCI (établissements publics de coopération intercommunale) situés dans les 43 ZFE-m. Elle prend en compte un parc français de 11 000 poids lourds à hydrogène à l'horizon 2030 et également le transit de poids lourds étrangers qui utiliseront le réseau transeuropéen de transport (RTE-T). Elle répond également aux obligations du règlement européen sur les infrastructures de carburant alternatif (AFIR), qui implique une distance minimale entre deux stations (une station au moins tous les 100 km).

L'objectif est de disposer à l'horizon 2030 d'un réseau de 750 stations permettant d'alimenter un parc de 340 000 véhicules utilitaires légers et de 170 stations pour les poids lourds, soit un total proche de 1 000 stations pour être en conformité avec les objectifs de la Stratégie nationale. L'étude doit maintenant se prolonger par une concertation approfondie avec les responsables des territoires (régions, départements et agglomérations) afin de localiser plus précisément les stations nécessaires et répondre au mieux aux besoins des utilisateurs (collectivités et transporteurs, notamment) (voir la Figure 2 de la page suivante).

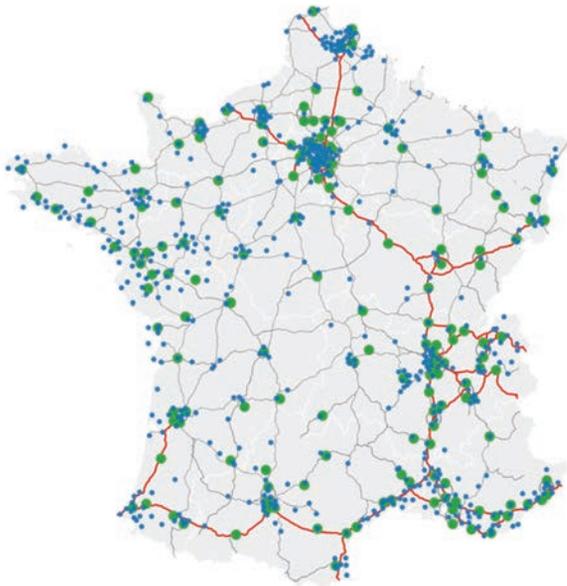


Figure 2 : Spatialisation de la demande en stations de recharge et localisation de celles-ci à échéance 2030 (en vert, les stations PL, et, en bleu, les stations VUL) – Source : France Hydrogène.

En parallèle, les acteurs se mobilisent dans les territoires

À ce jour, en matière de déploiement de bus, 34 bus sont en exploitation (à Pau, Versailles, Auxerre et Lens, notamment), 108 sont en cours de déploiement et 600 sont envisagés, certaines annonces étant dès à présent publiques (voir la Figure 3 ci-après).

En ce qui concerne les bennes à ordures, à ce jour, une seule est en exploitation, à Sorigny (Programme Interreg Hector – Communauté de communes Touraine-Vallée de l'Indre). 12 bennes seraient déployées d'ici la fin de 2023 et la mise en service de près de 130 bennes serait dès aujourd'hui envisagée par les collectivités et les porteurs de projets (voir la Figure 4 ci-après).

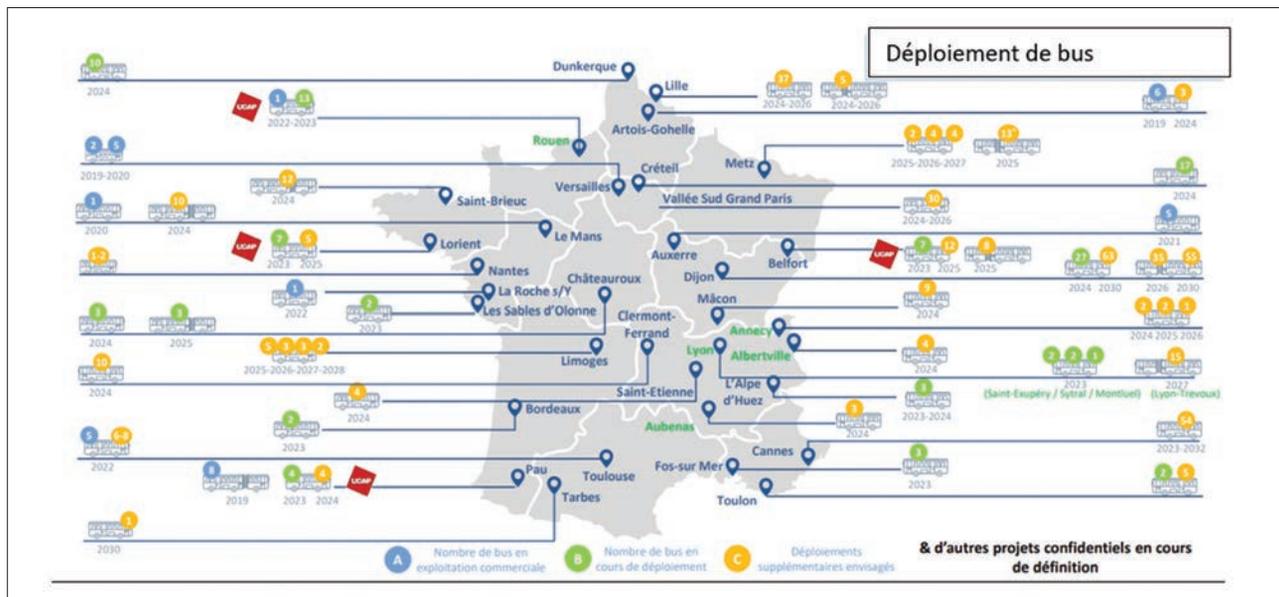


Figure 3 : Le déploiement de bus sur l'ensemble du territoire – Source : France Hydrogène.

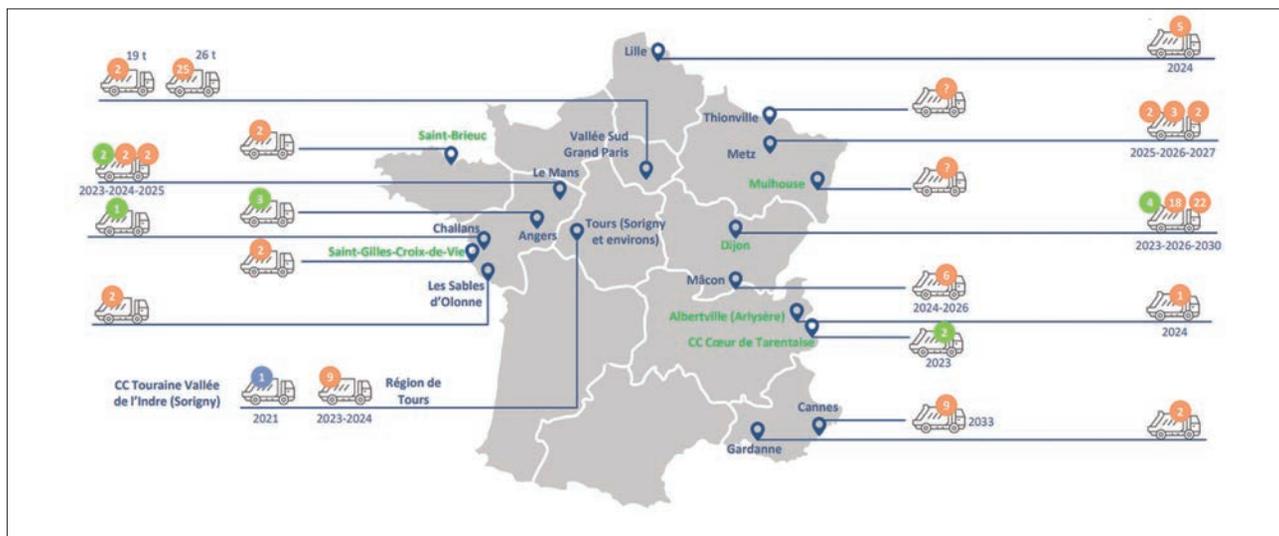


Figure 4 : Le déploiement de bennes à ordures à l'échelle régionale – Source : France Hydrogène.

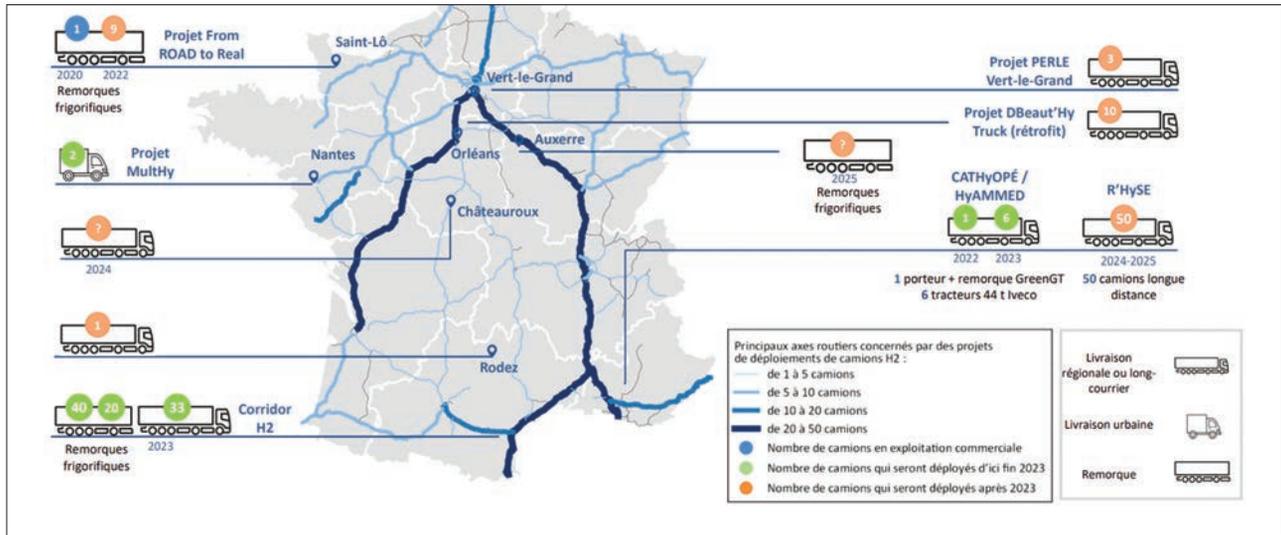


Figure 5 : Le déploiement de camions à hydrogène à l'échelon national – Source : France Hydrogène.

Pour les camions, 42 véhicules sont en cours de déploiement et près de 200 sont envisagés, auxquels viendront s'ajouter 70 remorques frigorifiques (voir la Figure 5 ci-dessus).

Le camion à hydrogène présente en effet un double avantage : sa rapidité de recharge et sa capacité d'export supérieure ; des qualités appréciées des transporteurs.

Pour un poids lourd électrique à hydrogène disposant d'un réservoir à 700 bars (technologie vers laquelle s'oriente principalement la filière), la recharge à 100 % du réservoir se fait en moins de 20 minutes (avec un débit de 60 gH₂/seconde), soit un temps 6 fois plus court que pour un poids lourd électrique à batterie (voir la Figure 6 ci-dessous). En outre, les évolutions attendues en matière de vitesse de recharge permettront d'atteindre 120 gH₂/s dans un premier temps, voire éventuellement 180, puis, à terme, 300 gH₂/s (<https://prhyde.eu>), soit des temps de recharge inférieurs à 6 minutes.

Par ailleurs, pour satisfaire un objectif de 500 km d'autonomie, un poids lourd électrique à hydrogène doit embarquer un système correspondant à environ 1,8 tonne de composants (pile à combustible, réservoirs d'hydrogène, batterie de faible capacité). En comparaison, la technologie électrique à batterie demande l'intégration dans le poids lourd d'une batterie de haute capacité pesant 4,3 tonnes, ce qui a un impact important sur le modèle d'affaires de transporteurs désireux de maximiser le volume et la charge des biens transportés.

Des offres « tout compris » pour la mobilité apparaissent

En la matière, le groupe Stellantis a lancé avec Engie (qui vise un réseau d'une centaine de stations en France d'ici à 2030) des offres « tout compris », combinant véhicules utilitaires légers et fourniture d'hydrogène. Les entreprises qui commandent des utilitaires Citroën Jumpy, Peugeot Expert ou Opel Vivaro se verront proposer l'installation d'une station

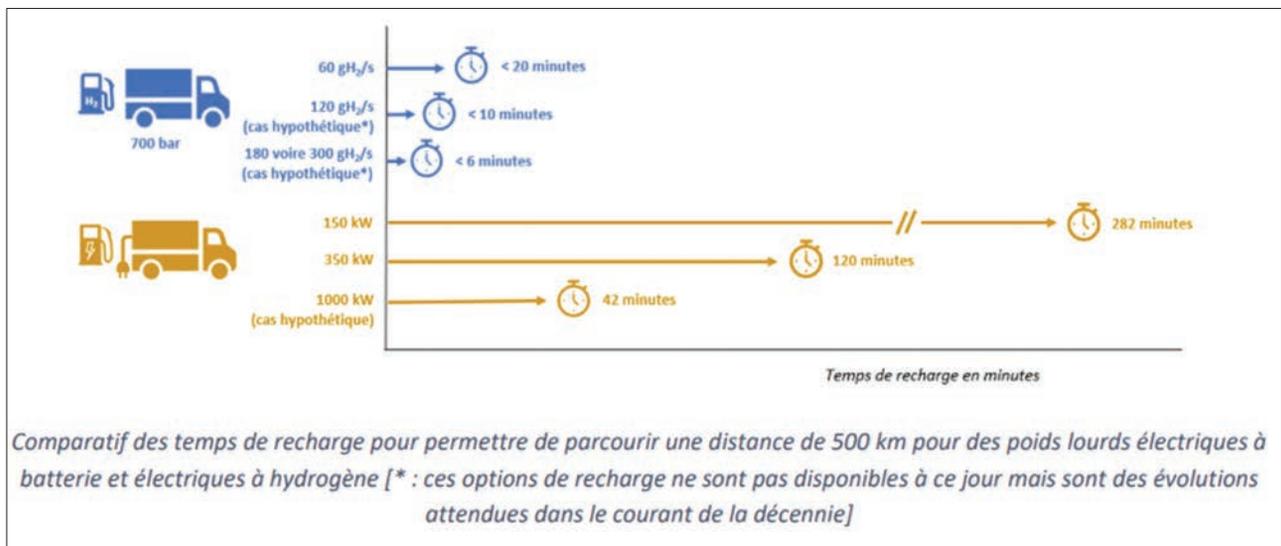


Figure 6 : Comparatif des temps de recharge entre un poids lourd à hydrogène et un poids lourd à batterie – Source : France Hydrogène.

de recharge répondant spécifiquement aux besoins de la flotte achetée. Trois offres seront proposées : l'offre Amorçage (une station pour alimenter 20 à 40 véhicules par jour), l'offre Pure Player (pour 100 à 200 véhicules) et l'offre Écosystème (une offre, qui outre une station pour alimenter 200 à 400 véhicules par jour, comprendra la fourniture d'un électrolyseur pour la production d'hydrogène). Industrialisée à Hordain (Nord), la capacité de production de Stellantis devrait atteindre 10 000 véhicules par an dès 2024.

De même, la société Hyvia (filiale de Renault et de Plug Power) et la société HysetCo, premier opérateur de taxis à hydrogène, se sont associées pour construire une offre intégrée pour les véhicules Hyvia (pour l'instant, le Master de Renault décliné en 3 versions (voir la Figure 7 ci-dessous)), ainsi que pour accompagner HysetCo dans le développement de ses stations de recharge.

À l'occasion du salon Hyvolution, qui s'est tenu le 2 février dernier, la société Hyliko a présenté son camion de 44 tonnes (conçu sur la base d'un camion Renault Trucks T rétrofité équipé de 2 piles Toyota et embarquant 35 kg d'hydrogène stockés dans 6 réservoirs Plastic Omnium à 350 bars et une batterie Forsee Power offrant une autonomie de 400 km). Cette société se présente comme une « plateforme de décarbonation de la mobilité » et propose une approche « truck as a service » : sa solution clé en main inclut le *leasing* des camions, leur maintenance, les services de gestion de flotte ainsi que les stations de recharge. Hyliko fournit l'hydrogène nécessaire à l'alimentation des poids lourds considérés en faisant appel à une autre filiale du groupe Kouros, la société Carbonloop, qui produit l'hydrogène à partir de thermolyse de la biomasse (pour l'instant, des résidus de bois). Grâce au biochar produit par le procédé de thermolyse, la société fournit

ainsi une solution de séquestration du CO₂ et permet donc au camion d'afficher un bilan carbone négatif. Le gain apporté par un camion Hyliko en la matière est tel qu'il permet d'éviter des émissions d'un niveau correspondant à celles du camion diesel qu'il est appelé à remplacer et compense, pour une grande partie, les émissions d'un second camion diesel en fonction. Dès à présent, la société annonce 350 précommandes émanant notamment de Point P, la filiale de Saint-Gobain, et des transporteurs Berto et Bert&You. La mise en service des premiers poids lourds est prévue pour septembre 2023, l'ambition étant de déployer en Europe 6 000 camions et 60 stations de recharge d'ici à 2030.

Le rétrofit comme moyen d'accélérer le déploiement de la mobilité lourde

En attendant la production de camions par les grands constructeurs habituels (IVECO, Daimler, DAF, etc.), un certain nombre de PME se sont engagées dans le rétrofit de matériels existants. Cette opération consiste à remplacer le moteur diesel par un moteur électrique alimenté par une pile à combustible et une batterie. Ce sont notamment les sociétés GCK et e-Neo (qui présentait au salon Hyvolution, un tracteur Renault Trucks de 44 tonnes rétrofité (voir la Figure 8 de la page suivante)). Peuvent également être citées la société IBF H2, qui a réalisé, en collaboration avec la société Transdev Normandie, le premier rétrofit d'un autocar (plus précisément, d'un véhicule Iveco Crossway âgé de 11 ans pour la société Nomad, en Normandie, qui assure le service entre Rouen et Évreux (65 km)), ainsi que la société SAFRA, un constructeur de bus implanté à Albi, qui réalise également le rétrofit de bus, notamment dans le cadre du projet Corridor H2.



Figure 7 : Le véhicule utilitaire léger (VUL) d'Hyvia, filiale de Renault et de PlugPower – Photo©Hyvia-France Hydrogène.



Figure 8 : Le camion porteur d'e-Neo – Photo@e-Neo - France Hydrogène.

L'entreprise GCK (Green Corp Konnection), basée en Savoie, va en outre réaliser le rétrofit de 5 dameuses et de 3 bus (pour la société Resalp en charge de l'exploitation des bus) pour la station de l'Alpe d'Huez. Les dameuses de la gamme « Select » du fabricant allemand Kässbohrer seront équipées chacune d'un moteur électrique alimenté par une pile à combustible de 150 kW associée à une batterie et embarqueront 70 kilos d'hydrogène stocké à 700 bars, ce qui leur confèrera une autonomie de 8 heures en fonctionnement continu.

Le rétrofit – une opération facilitée notamment par l'existence de l'arrêté ministériel Rétrofit du 13 mars 2020 – doit être réalisé par un professionnel et être réceptionné par les services de l'État (CNRV, le Centre National de Réception des Véhicules), après des essais réglementaires réalisés par un laboratoire agréé (UTAC, l'Union Technique de l'Automobile, du motorcycle et du Cycle). Il permet d'accélérer la transformation des flottes de camions diesel sans attendre l'échéance de leur remplacement et se présente comme un outil d'économie circulaire pour capitaliser sur la durée de vie du châssis et du moteur électrique en remplaçant les piles à combustible après une certaine durée d'usage.

Afin d'accélérer ces opérations de rétrofit et d'industrialiser la conversion des véhicules lourds du diesel à l'hydrogène, une coalition, Rétrofit H2, s'est constituée (<https://cr-h2.eu>), qui rassemble des entreprises et des organisations désireuses d'industrialiser le rétrofit à hydrogène dans le domaine du transport routier lourd (chargeurs, transporteurs et logisticiens, équipementiers, « rétrofiteurs », financeurs et « leasers »).

La coalition s'est fixé comme objectif d'atteindre 10 000 camions rétrofités par an en 2030, et ce : en créant un réseau de « rétrofiteurs » et de garages de maintenance ; en s'efforçant de baisser les coûts de cette opération grâce à la massification des volumes ; en faisant la promotion des commandes de camions rétrofités passées par des transporteurs engagés, suivis dans leur démarche par leurs clients chargeurs ; et en mobilisant les pouvoirs publics pour adapter la réglementation et la fiscalité et, éventuellement, apporter des subventions. La coalition s'engage sur le rétrofit basé sur la pile à combustible, mais n'écarte pas également la possibilité de convertir les moteurs à l'hydrogène : des modèles d'engins de chantier, de la société JCB notamment, sont déjà convertis à l'hydrogène.

Pour accélérer, la filière doit relever un certain nombre de défis

Réduire les coûts

Les technologies de l'hydrogène sont certes matures, mais elles restent encore peu développées : il en résulte des coûts élevés qui, pour l'instant, constituent un frein à leur développement, notamment au niveau des entreprises de transport et de logistique qui sont évidemment très contraintes par des impératifs économiques et qui disposent généralement d'une marge de manœuvre limitée pour assurer la rentabilité de leur entreprise. Tout en poursuivant les efforts de recherche, de développement et d'innovation qui permettront, à coup sûr, de réduire les coûts, l'essentiel de ces réductions viendra du passage à l'échelle dans le déploiement de ces technologies. En matière

de transport et de logistique, le TCO (le coût total de possession) est un élément fondamental, qui, dans le cas du véhicule à hydrogène, doit être le plus proche possible de celui de son équivalent diesel.

L'étude menée en 2021 par le groupe de travail France Hydrogène Mobilité considère que l'évolution du marché se fera pour les camions en trois grandes phases :

- une première phase d'amorçage du marché, au travers principalement de déploiements pilotes ;
- une deuxième phase (2025-2028) correspondant à des productions en petite série ;
- et une troisième phase, qui devrait aboutir à un marché mature en 2030, avec des productions en série importantes

La baisse du TCO résultera de la combinaison des baisses du coût des véhicules, de celui de leur maintenance et du coût de production de l'hydrogène carburant.

Concernant les véhicules, c'est la production en série et donc à grande échelle des composants (des piles à combustible et des réservoirs, en particulier) qui permettra la réduction du coût des véhicules. Avec le développement du nombre des véhicules considérés, les coûts de maintenance devraient égale-

ment baisser de façon significative, ces coûts étant inférieurs à ceux de la maintenance d'un camion diesel, en raison du moindre entretien que requiert un moteur électrique. Il est cependant nécessaire de développer des réseaux de maintenance pour généraliser l'entretien de ces véhicules et réduire d'autant les coûts afférents. La baisse de coût de l'hydrogène carburant passe nécessairement par un accès à un coût de l'électricité le plus compétitif possible avec l'objectif d'obtenir rapidement un coût de l'hydrogène de 5 à 7 € par kilo.

Les analyses menées par le groupe de travail France Hydrogène Mobilité mettent en évidence un TCO 2 à 3 fois plus élevé pour un véhicule à hydrogène que pour son équivalent diesel (voir la Figure 9 ci-dessous). Compte tenu des baisses de coûts résultant des actions portant sur les trois paramètres précédemment évoqués et, également, d'une augmentation attendue du TCO des poids lourds diesel (augmentation du prix du gasoil, taxe sur le carbone, augmentation du coût des moteurs du fait du durcissement des normes), le surcoût du TCO d'un camion à hydrogène ne devrait plus être à l'horizon 2030 que de 5 à 6 % par rapport à un véhicule diesel.

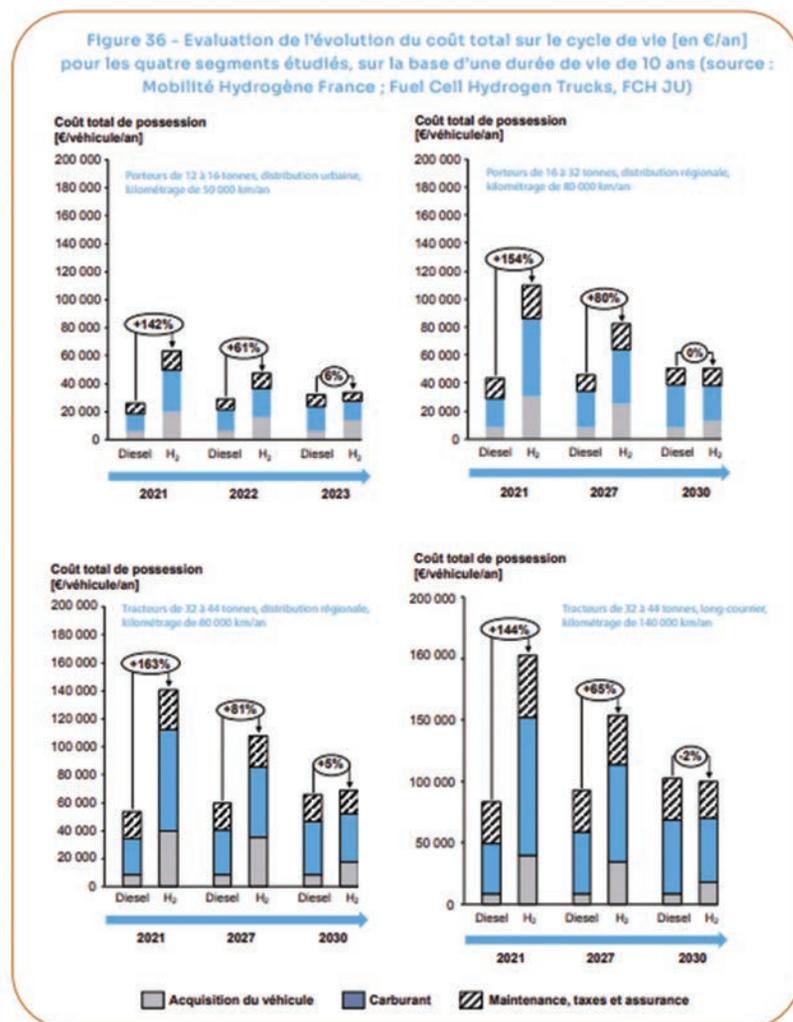


Figure 9 : Évaluation de l'évolution du coût total de la possession d'un véhicule sur l'ensemble de son cycle de vie – Source : France Hydrogène.

Disposer d'une énergie abondante et abordable

Il existe de multiples façons de produire de l'hydrogène renouvelable ou bas-carbone, la méthode la plus mature étant actuellement l'électrolyse de l'eau. C'est pourquoi il est important de disposer d'une électricité renouvelable ou bas-carbone abondante et à un prix abordable et prévisible de façon à donner aux porteurs de projets toute la visibilité nécessaire au développement de leurs projets. Un des moyens d'assurer cette visibilité est la conclusion de contrats de long terme (durée de 10 à 20 ans) de type PPA (Power Purchase Agreement). La réflexion sur les moyens d'assurer cette visibilité à long terme s'inscrit dans la réforme du « market design » du marché de l'électricité pour laquelle la Commission européenne a fait une proposition le 14 mars dernier.

Les méthodes de production d'hydrogène par plasmalyse (que ce soit par torche à plasma ou par micro-onde) s'inscrivent dans les mêmes réflexions que celles relatives à l'électricité. Enfin, le processus de production d'hydrogène à partir de la biomasse (par thermolyse ou pyrogazéification) permet de réaliser la production de façon continue et déconnectée du marché de l'électricité. Des sociétés, telles que ETIA, Haffner (avec le procédé Hynoca) ou Carbonloop, développent ces technologies afin d'assurer, notamment, l'approvisionnement en hydrogène de stations de recharge pour véhicules.

Adapter la réglementation

La réglementation actuelle traduit encore bien souvent le statut de produit chimique octroyé à l'hydrogène. Tout en gardant ce statut, l'hydrogène va également se voir attribuer le rôle de vecteur énergétique (l'article L.811-1 du Code de l'énergie définit les différentes catégories d'hydrogène : renouvelable, bas-carbone, carboné, coproduit), ce qui nécessite d'adapter la réglementation sur bien des points. C'est l'objet de l'important travail réglementaire mené par les différents ministères en liaison avec la filière dans le cadre du pack réglementaire décidé par le Conseil national de l'hydrogène. Dans tous les domaines, que ce soit en matière de production, de stockage, de transport ou de distribution de l'hydrogène, des adaptations sont nécessaires. L'inventaire des textes à adapter est en cours.

Quelques exemples peuvent cependant être donnés :

- Dans le domaine de la production d'hydrogène, la rubrique ICPE n°3420 doit être précisée pour les petites installations, car, dans sa rédaction actuelle, elle contraint les porteurs de projets à des procédures longues et coûteuses pour toute installation, et ce dès le premier gramme produit.
- En matière de stockage (rubrique ICPE n°4715), il est souhaitable que les seuils soient adaptés en fonction des quantités stockées pour simplifier les démarches des porteurs de projets.
- Le transport routier d'hydrogène fait l'objet d'un arrêté qui doit également être révisé dans la mesure où la propulsion à hydrogène est actuellement interdite pour les véhicules homologués pour le transport des matières dangereuses. En matière de transport d'hydrogène par canalisation, les différents guides

professionnels relatifs à la conception, à la surveillance et à la maintenance des réseaux doivent être révisés pour intégrer les dispositions spécifiques à l'injection d'hydrogène dans ces réseaux.

- Quant à la distribution d'hydrogène en station de recharge, la rubrique ICPE n°1416 doit également faire très prochainement l'objet d'évolutions.

Contribuer à la réindustrialisation

Forte de ses atouts (excellence de ses laboratoires de recherche, présence d'acteurs dynamiques sur l'ensemble de la chaîne de valeur, un mix électrique fortement décarboné), la France doit faire du développement des technologies de l'hydrogène un des leviers de sa réindustrialisation. Le « Net Zero Industry Act », présenté le 16 mars dernier par la Commission, ainsi que le projet de loi « Industrie verte » devraient permettre des avancées marquantes dans ce domaine. À noter, à cet égard, que les constructeurs d'automobiles Renault (*via* sa filiale Hyvia) et Stellantis sont les seuls constructeurs au monde à fabriquer des véhicules utilitaires légers à hydrogène. Le déploiement des technologies hydrogène constitue une véritable source de création d'emplois dans les territoires. Il doit s'accompagner d'un développement des compétences par la mise en place de formations adaptées de façon à disposer de la main-d'œuvre nécessaire au déploiement et à l'exploitation des technologies de l'hydrogène, en particulier dans le domaine du transport. Afin de réaliser un diagnostic et une analyse des compétences métiers et formations de la filière, France Hydrogène pilote le projet DEF'HY en partenariat avec Adecco, l'AFPA, Pôle Emploi, KIC InnoEnergy et le réseau des CARIF-OREF. S'agissant de la mobilité routière lourde, 49 métiers sont concernés : 80 % de ces métiers requièrent des études supérieures techniques et 14 % demandent de justifier d'un diplôme du secondaire.

En conclusion

Forte du dynamisme de ses acteurs industriels, la France dispose de formidables atouts pour développer l'hydrogène dans tous les domaines, et en particulier celui de la mobilité lourde ou intensive. Cela exige une mobilisation non seulement de tous les acteurs privés de la chaîne de valeur (constructeurs, équipementiers, transporteurs et chargeurs), mais également des pouvoirs publics nationaux et régionaux. Depuis la publication de la stratégie nationale Hydrogène en septembre 2020, des progrès très importants ont été accomplis et les soutiens financiers obtenus permettent de développer les premiers écosystèmes de mobilité, ainsi que de passer à l'échelle en construisant des *gigafactories* de composants. Désormais, il s'agit, dans le cadre de la décarbonation de l'économie française et du développement de « l'industrie verte », de développer une planification écologique qui, alliant le déploiement des véhicules et des stations de recharge, permette de décarboner rapidement un secteur qui est encore, à ce jour, à l'origine de près du tiers des émissions nationales de gaz à effet de serre.

Références

<https://www.france-hydrogene.org/publication/trajectoire-pour-une-grande-ambition-hydrogene-a-2030-industriels-et-territoires-concretisent-les-ambitions/>, 7 décembre 2022.

<https://www.france-hydrogene.org/publication/modelisation-des-besoins-en-infrastructures-de-recharge-hydrogene-pour-la-mobilite-terrestre-en-france/>, 1^{er} février 2023.

<https://www.france-hydrogene.org/publication/quelles-perspectives-pour-le-poids-lourd-electrique-a-hydrogene-pour-le-transport-de-marchandises/>, 16 février 2022.

https://librairie.ademe.fr/cadic/5096/hydrogene-acv-production-hydrogene-mobilite-utilitaire_2020-rapport.pdf

<https://www.france-hydrogene.org/publication/adaptation-des-competences-metiers-aux-specificites-de-lhydrogene/>