

# NOTE RAPIDE

DE L'INSTITUT D'AMÉNAGEMENT ET D'URBANISME - ÎLE-DE-FRANCE N°799



Pragma Industries

MOBILITÉ

Janvier 2019 • [www.lau-idf.fr](http://www.lau-idf.fr)

## L'HYDROGÈNE, UN POTENTIEL ENCOURAGEANT POUR LA MOBILITÉ PROPRE

**SUR TERRE, EN MER ET DANS LES AIRS, L'HYDROGÈNE APPARAÎT DE PLUS EN PLUS COMME UN VECTEUR ÉNERGÉTIQUE D'AVENIR POUR LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE, ET PARTICULIÈREMENT EN MATIÈRE DE MOBILITÉ. DE NOMBREUX PROJETS SONT DÉJÀ ENGAGÉS À TRAVERS LE MONDE ET NOTAMMENT EN FRANCE. EN ÎLE-DE-FRANCE, LA STRATÉGIE ÉNERGIE-CLIMAT PRÉVOIT DE SOUTENIR CETTE FILIÈRE PAR LE LANCEMENT D'APPELS À PROJETS.**

L'État a lancé en juin 2018 un plan de déploiement de l'hydrogène organisé autour de trois grands axes : créer une filière industrielle décarbonée, développer des capacités de stockage des énergies renouvelables et développer des solutions zéro émission pour les transports. Cette approche globale reprend ainsi les préconisations de l'Afhyac (Association française pour l'hydrogène et les piles à combustible). En matière de mobilité, il s'agit d'accompagner le développement des véhicules routiers, légers et lourds, ferrés, fluviaux et aériens avec des objectifs aux horizons 2023 et 2028, soutenus par des crédits de l'Ademe, à hauteur de 100 millions d'euros dès 2019. Mais au-delà des nombreux atouts qu'offre l'hydrogène pour la mobilité, quelques inconvénients sont néanmoins à considérer.

### LES AVANTAGES DE L'HYDROGÈNE

Le principal point fort des véhicules à hydrogène est qu'ils n'émettent aucun gaz, aucune particule, uniquement de l'eau pour une autonomie plus grande qu'un véhicule 100 % électrique. Cette énergie est donc particulièrement intéressante pour les véhicules utilitaires, qui parcourent des distances quotidiennes importantes. Pour les véhicules lourds, là où la technologie des batteries électriques ne suffit pas à fournir l'énergie et la puissance compatibles avec des conditions d'exploitation acceptables, la combinaison avec une pile à hydrogène permet de concevoir des véhicules ayant des caractéristiques d'usage similaires aux carburants traditionnels. C'est notamment le cas pour la conception de poids lourds, bateaux, locomotives et bus électriques. Un autre avantage de l'hydrogène réside dans la vitesse de remplissage du réservoir qui se fait en quelques minutes, comparativement à la recharge de batteries classiques.

Dans les véhicules, l'hydrogène est stocké dans un réservoir, sous forme comprimé, puis converti en électricité et en chaleur via une pile qui alimente le moteur électrique.



Le recours aux véhicules électriques hydrogène apparaît alors particulièrement pertinent dans le domaine des flottes professionnelles, avec un temps de rechargement de vingt minutes pour les bus et de cinq minutes pour les voitures, et une autonomie respective d'environ 350 kilomètres et 500 kilomètres.

### LES INCONVÉNIENTS DE L'HYDROGÈNE

Malgré ses nombreux avantages, l'obstacle majeur au déploiement massif des véhicules électriques à hydrogène est le coût. Cette technologie reste chère compte tenu des faibles volumes de production. La baisse des coûts ne pourra être obtenue que par une industrialisation de la fabrication des piles et l'élargissement de l'offre de véhicules. Les stations d'avitaillement sont également très coûteuses (1 à 2 millions €). De plus, le catalyseur de la pile à hydrogène est le platine, un métal rare et cher, susceptible de poser des problèmes d'approvisionnement et dont l'exploitation minière peut avoir un impact élevé sur l'environnement. On note tout de même une division par dix en dix ans des besoins en platine pour la production d'énergie : de 2 g/kW à 0,22 g/kW.

La complexité d'évaluation de l'impact environnemental sur le cycle de vie d'un véhicule à hydrogène est également un autre inconvénient. Cette évaluation dépend de son mode de production (vaporeformage ou électrolyse de l'eau), de son transport, de son stockage, ainsi que de la fabrication du véhicule et de la pile à combustible.

L'Ademe montre ainsi que le bilan n'est intéressant que si l'hydrogène est produit localement, à moins de 100 km des besoins et à partir d'énergie renouvelable. Actuellement, seulement 5 % de l'hydrogène mondial est produit par électrolyse. Enfin, la sécurité doit faire l'objet d'une attention particulière lorsque l'on sait que l'hydrogène est un gaz explosif au contact de l'air.

### TOUR D'HORIZON DU DÉVELOPPEMENT DE L'HYDROGÈNE POUR LA MOBILITÉ

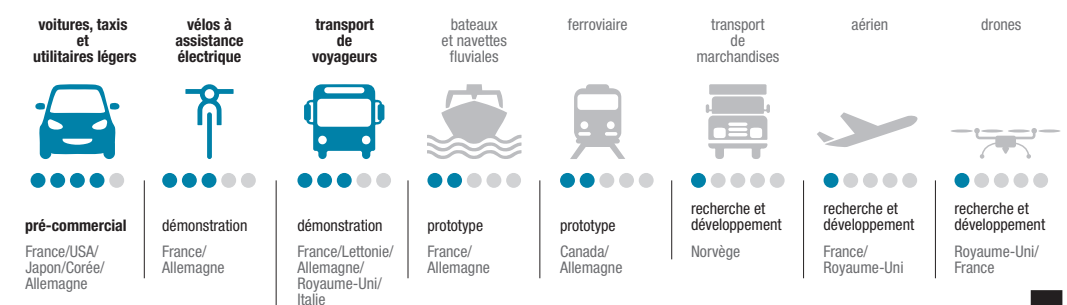
Poussé à la fois par l'élan des États les plus actifs que sont la Californie, le Japon et l'Allemagne et par un mouvement mondial de limitation des émissions de gaz à effet de serre et de polluants, l'hydrogène se développe aux quatre coins du monde. En 2017 s'est créé le H<sub>2</sub> Council à Davos, qui rassemble aujourd'hui plus de 30 industriels dont Air Liquide, Alstom, BMW Group, Engie, Honda, Total, Toyota, Airbus et EDF. Leur volonté est d'intensifier leurs investissements dans le développement et la commercialisation de l'hydrogène et des piles à combustible.

La Californie est l'État le plus investi dans la filière hydrogène. Selon le rapport annuel 2018 du California Resources Board (Carb), 36 stations et 5 000 véhicules légers hydrogène sont actuellement en service. Le Carb prévoit à l'horizon 2030 le déploiement de 1 000 stations et d'un million de véhicules.

De son côté, le Japon a mené une politique historique permettant l'émergence d'une « société de l'hydrogène », en particulier d'une mobilité hydrogène progressive au travers de l'industriel Toyota qui ambitionne de devenir leader de la filière. Les grands constructeurs et gaziers se sont regroupés en 2018 au sein de l'alliance « Japan H<sub>2</sub> Mobility » (JHyM) pour développer la filière. La feuille de route du gouvernement vise une accélération du déploiement des stations avec 90 en 2017, 160 en 2020, 320 en 2025 et des véhicules avec 200 000 en 2025 (soit 100 fois plus que la production de 2017) et 800 000 en 2030.

La Chine a annoncé en novembre 2016 un plan pour construire une infrastructure de remplissage hydrogène suffisante pour alimenter 50 000 véhicules à pile à combustible d'ici 2025 et 1 million d'ici 2030, soit respectivement 300 et 1 000 stations.

### État d'avancement des projets de véhicules à hydrogène



À l'échelle européenne, de nombreux projets ont été soutenus et financés par l'Europe pour développer les flottes de bus à hydrogène, et notamment par la FHCJU (Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking). Ce partenariat public-privé soutient la recherche, le développement et les opérations de démonstration des technologies hydrogène. Son objectif est d'accélérer leur introduction sur le marché. La FHCJU est composée de la Commission européenne et des chercheurs et industriels de la filière hydrogène. L'Allemagne est le pays historique de l'hydrogène en Europe avec la présence de ses industriels engagés sur le sujet : Daimler, Shell, Linde. Le pays dispose d'une centaine de véhicules en circulation et de 56 stations déployées à ce jour, avec un objectif de 400 stations en 2023. Par ailleurs, un train hydrogène, le Coradia i-Lint, est entré en service commercial en septembre 2018. Il est développé par Alstom et financé par l'État fédéral à hauteur de 8,4 millions d'euros. La Région de Basse Saxe et le groupe Linde ont pour leur part investi dix millions d'euros dans une station hydrogène. D'ici 2021, 50 trains i-Lint seront construits. En Europe du Nord, le constructeur suédois Scania teste actuellement avec un partenaire norvégien des camions électriques alimentés en hydrogène produit à partir d'énergie solaire. Ces camions pourront parcourir près de 500 km et seront commercialisés en 2019. On peut également citer le projet Jive qui vise à déployer plus d'une centaine de bus à hydrogène à travers l'Europe et notamment en France. À Pau et Toulouse, il y a aussi le projet 3Emotion qui prévoit la mise en service de 21 bus dont deux à Versailles.

#### AVIONS, BATEAUX, BUS, VÉLOS : L'HYDROGÈNE SANS LIMITE

Le centre de recherche aérospatiale français l'Onera a présenté en 2017 lors du salon du Bourget, Ampère, un prototype d'avion équipé de 40 moteurs électriques, alimentés par dix piles à hydrogène. Celui-ci devra s'appuyer sur un partenaire industriel pour une mise en service en version taxi volant et avion privé, d'une capacité de quatre à six passagers ainsi qu'en version d'avion de transport régional (de 50 à 80 passagers) à l'horizon 2030.

Au Royaume-Uni, Wirth Research développe actuellement un drone à hydrogène qui pourrait atteindre une autonomie de six heures en vol et être utilisé pour la surveillance de réseaux de transport de gaz ou d'électricité. En France, Ergosup et Delair, ont développé le projet HyDrone avec les mêmes objectifs.

Côté mer, l'Energy Observer est un bateau français alimenté en hydrogène produit à bord à partir de sources d'énergies renouvelables par électrolyse de l'eau de mer. Les deux flotteurs du catamaran font office de locaux techniques et intègrent toute la chaîne de production d'hydrogène. À La Rochelle, les bus de mer YeloH<sub>2</sub> propulsés par des moteurs électriques équipés de prolongateur d'autonomie hydrogène assurent la navette entre les ports.

La société Pragma Industries, située à Biarritz, a conçu dès 2008 le projet Alpha, le premier vélo à hydrogène dans le monde. Avec ses 100 km d'autonomie, une recharge d'une minute et une durée de vie de 10 ans, ce vélo équipe déjà plusieurs flottes professionnelles. Dès lors, Pragma travaille sur un nouveau modèle autonome pour conquérir le marché grand public à partir de 2020 et développer également scooters et drones.

#### TROIS PROJETS EMBLÉMATIQUES EN ÎLE-DE-FRANCE

Le plan énergie climat de la région Île-de-France voté en juin 2018 a pour objectif que les énergies renouvelables en 2030 représentent 40 % de la consommation francilienne et 100 % en 2050. Pour atteindre ces objectifs, la stratégie régionale prévoit de soutenir le développement de la filière hydrogène, une énergie qui peut ainsi prendre sa part dans le mix énergétique, notamment en matière de mobilité.

#### *Hype : première flotte de taxis hydrogène au monde*

La société du taxi électrique parisien (Step) est le premier opérateur de mobilité zéro émission à hydrogène en milieu urbain. Avec ses partenaires (Air Liquide, Hyundai, Toyota et la Caisse des dépôts et consignations), elle monte fin 2015 le projet Hype avec la mise en circulation d'une flotte de cinq taxis hydrogène et d'une première station Place de l'Alma. Le projet a également bénéficié du soutien de la Région Île-de-France via les fonds Feder. Aujourd'hui, la société dispose de 100 véhicules et quatre stations de recharge (Place de l'Alma, Orly-Rungis, Les-Loges-en-Josas et une à Roissy qui devrait être livrée fin 2019).

L'objectif est d'atteindre une masse critique de 600 véhicules fin 2020 et d'embaucher à terme près de 2 000 salariés. Le cycle de renouvellement de véhicules étant d'environ trois ans, la société vise ainsi à disposer d'une flotte entièrement renouvelée et d'un système éprouvé pour les Jeux olympiques à Paris en 2024.

Comparés aux modèles entièrement électriques, les véhicules hydrogène apportent une solution fonctionnelle identique aux véhicules thermiques avec un plein par jour. Chez Hype, les taxis tournent ainsi en permanence, grâce à une rotation de deux à trois chauffeurs, ce qui permet en théorie de ne pas avoir à garer les véhicules.

L'objectif du projet est de développer l'ensemble de l'écosystème lié aux véhicules hydrogène : stations de recharge, mode d'entretien des véhicules, assureurs, financeurs, etc. de façon à créer un environnement viable et rentable pour faire fortement baisser les coûts. Mathieu Gardies, PDG de Hype, pense que le plus important est de disposer de « stations usines », c'est-à-dire de grosses stations qui tirent les prix vers le bas, puis quelques stations « maillages » qui pourront combler les manques sur certains territoires. Une mutualisation avec d'autres modes de transport à hydrogène est également à développer. La station des Loges-en-Josas en est un exemple parfait

#### LE STOCKAGE DE L'HYDROGÈNE, UNE ÉTAPE INDISPENSABLE

Faiblement dense, l'hydrogène est assez encombrant : un kg d'hydrogène occupe 11 m<sup>3</sup>, ce qui est un handicap pour son stockage et son transport. Afin de stocker dans un volume équivalent à celui des réservoirs automobiles actuels les 4 ou 5 kg d'hydrogène nécessaires à un véhicule pour bénéficier d'une autonomie de l'ordre de 400 à 500 kilomètres, il s'avère indispensable d'atteindre des pressions de 350 ou 700 bars. Le stockage de l'hydrogène sous une pression de 700 bars nécessite de mobiliser environ un quart de l'énergie contenue dans l'hydrogène ainsi comprimé.

En ce qui concerne son transport, il se fait essentiellement sous forme comprimée par pipeline. La forme liquide (à -253° C) est beaucoup plus coûteuse. Mais le coût de construction d'un tel réseau de pipelines sur l'ensemble du territoire serait prohibitif dans les conditions économiques actuelles. Le réalisme impose de privilégier, chaque fois que possible, une production décentralisée de l'hydrogène, répartie dans les territoires au plus près des besoins.

en alimentant à la fois les bus à hydrogène de Versailles Grand Parc et les taxis Hype. Ce type de stations pourrait aussi être mutualisé avec d'autres modes, tels que des locomotives à hydrogène qui remplaceraient les locomotives diesel destinées aux manœuvres dans les gares. La stratégie de la société Hype se fonde sur l'espoir que les pouvoirs publics imposeront aux nouveaux taxis d'être zéro émission. À Londres, par exemple, la municipalité a imposé à tous ses nouveaux taxis d'être capables, de faire 50 km sans émission dès le 1<sup>er</sup> janvier 2018.

#### Une flotte de véhicules hydrogène utilitaires à Rungis

Engie, aux côtés de ses partenaires – le MIN de Rungis, Symbio, Renault et McPhy – a inauguré la flotte de véhicules utilitaires à hydrogène la plus importante de France et la première station multi-carburants alternatifs. Située au cœur du MIN, la station conçue et fabriquée par McPhy (industriel français) alimente une flotte de 50 véhicules utilitaires Renault Kangoo ZE H<sub>2</sub> récemment acquise par Engie Cofely. Ces véhicules sont utilisés par des techniciens afin d'assurer la réalisation des missions d'exploitation et de maintenance de bâtiments tertiaires en Île-de-France.

Équipés du prolongateur d'autonomie hydrogène du français Symbio, ces véhicules « zéro émission » contribuent ainsi à améliorer la qualité de l'air en Île-de-France. Le Kangoo ZE H<sub>2</sub> est un véhicule électrique utilisant deux énergies : soit la batterie, soit la pile hydrogène. Il offre une autonomie de 300 km en toutes conditions climatiques – doublant ainsi l'autonomie initiale du Kangoo ZE avec un temps de rechargement de cinq minutes. La station a été installée par GNVert sur le MIN de Rungis, à proximité de l'agence Engie Cofely. Une station plus importante sera installée mi-2019 faisant passer la capacité d'avitaillement de 20 à 80 kg/jour. À l'avenir, la station hydrogène délivrera de l'hydrogène « propre » produit sur site grâce à un électrolyseur qui recevra exclusivement de l'électricité d'origine renouvelable.

#### Les bus hydrogène de Versailles Grand Parc

Signe d'une volonté politique francilienne forte, Île-de-France Mobilités a décidé en octobre 2017 la mise en œuvre d'une première ligne de bus à hydrogène. Un partenariat a alors été conclu avec le groupe Savac (exploitant du réseau de bus, qui dispose de la plus grande flotte « propre » de France) et l'agglomération Versailles Grand Parc pour expérimenter sur sept ans deux bus hydrogène dans le cadre du programme européen 3Emotion. Regroupant 20 partenaires, ce programme a pour objectif de déployer une flotte de 29 bus et des stations d'avitaillement dans six villes d'Europe.

L'expérimentation Versailles Grand Parc repose sur trois financeurs : Île-de-France Mobilités pour 60 %, la Commission européenne pour 30 % et l'agglomération de Versailles Grand Parc pour 10 %. Le coût du projet est estimé à 2,8 millions d'euros sur sept ans.

La nouvelle station hydrogène aux Loges-en-Josas près de Versailles inaugurée en mars 2018 avec, le soutien de la FCH JU et du programme européen 3Emotion, alimentera les deux bus à hydrogène qui seront mis en service entre Vélizy et Versailles sur la ligne 264. Cette station a été conçue par Air Liquide, forte de son expérience avec l'installation d'une centaine de stations hydrogène dans le monde.

Forte de ces projets innovants et pour impulser la mutation du parc automobile francilien, la Région va mettre en place un groupe de travail avec les industriels automobiles, les producteurs d'énergie, les syndicats d'énergie d'Île-de-France, les professionnels du numérique, les associations et les distributeurs d'énergie. L'Île-de-France a l'ambition d'accompagner le développement de l'hydrogène en encourageant la production locale et par des techniques « propres » (électrolyse) et en maintenant ses aides à la conversion du parc automobile. L'hydrogène ne se déploiera pas sans une forte implication politique et financière des collectivités locales, de l'État et des entreprises et sans une vision globale, qui favorise le mix énergétique. ■

Mireille Bouleau, experte en mobilité

département Mobilité transports (Dany Nguyen-Luong, directeur)

Marie-Laure Falque-Masset, experte en énergie

département Énergie et climat - ARENE (Christelle Inseguex, directrice)

#### DIRECTEUR DE LA PUBLICATION

Fouad Awada

#### DIRECTRICE DE LA COMMUNICATION

Sophie Roquette

#### RÉDACTION EN CHEF

Isabelle Barazza

#### MAQUETTE

Jean-Eudes Tilloy

#### INFOGRAPHIE/CARTOGRAPHIE

Sylvie Castano

#### MÉDIATHÈQUE/PHOTOTHÈQUE

Claire Galopin, Julie Sarris

#### FABRICATION

Sylvie Coulomb

#### RELATIONS PRESSE

Sandrine Kocki

sandrine.kocki@iau-idf.fr

#### IAU Île-de-France

15, rue Falguière  
75740 Paris Cedex 15  
01 77 49 77 49

ISSN 1967-2144  
ISSN ressource en ligne  
2267-4071



## RESSOURCES

- Fiche technique « L'hydrogène dans la transition énergétique », Ademe, mars 2018
- « Le vecteur hydrogène dans la transition énergétique », *Les Avis de l'Ademe*, avril 2018
- *L'hydrogène, une réalité dans les territoires*, Afhyac, juin 2017

