

# L'HYDROGÈNE : UN VECTEUR D'AVENIR POUR LES TERRITOIRES

*Abondant, polyvalent et souple, l'hydrogène est reconnu comme un vecteur d'énergie à fort potentiel susceptible de réduire notre dépendance à l'énergie fossile et de contribuer à la croissance de demain... Avec une recherche de haut niveau, de grands énergéticiens convaincus, des start-up innovantes et des territoires de plus en plus engagés, la France dispose de nombreux atouts pour développer une filière hydrogène dynamique et économiquement viable.*

## À lire dans ce dossier

**ZOOM SUR...**  
Le projet  
HyWay  
**P. 8**

**REGARDS  
CROISÉS**  
Le « Power  
to Gas »  
à l'heure de la  
démonstration  
**P. 9**

**REPORTAGE**  
À Nantes,  
l'hydrogène  
vogue !  
**P. 10**

**AVIS D'EXPERT**  
Loïc Antoine,  
ingénieur  
hydrogène  
et piles  
**P. 11**



## HYDROGÈNE

# DÉMONSTRATEURS ET ÉCOSYSTÈMES TERRITORIAUX

*Ces dernières années, les progrès techniques réalisés dans la filière hydrogène conjugués aux défis de la transition énergétique ont créé des conditions favorables au développement de ce vecteur énergétique. Avec un nouvel appel à projets dédié, 2016 marque une étape décisive dans la montée en puissance de l'hydrogène.*

Fabrication d'ammoniac, synthèse des matières plastiques, industrie du verre... Sur le papier, les grands usages de l'hydrogène n'ont pas de quoi faire sauter de joie ceux qui œuvrent pour l'avènement d'une société moins nocive pour l'environnement. Mais, depuis quelques décennies, de plus en plus d'acteurs se mobilisent pour que l'hydrogène soit mis au service de la transition vers un modèle énergétique décarboné. « *Quand il est produit à partir de ressources renouvelables, le gaz hydrogène est un vecteur énergétique à fort potentiel adapté à différents usages* », explique Michel Gioria, responsable du service Recherche et technologies avancées de l'ADEME. En matière de mobilité, il fait



Avec le fil d'actu, suivez l'info par courriel en vous inscrivant sur [www.ademe.fr/ademeetvous-abonnement](http://www.ademe.fr/ademeetvous-abonnement)

## X 20

**À L'ÉCHELLE DE LA PLANÈTE, LA PRODUCTION D'HYDROGÈNE À PARTIR DE RENOUVELABLES ET LIÉE AUX APPLICATIONS ÉNERGÉTIQUES (C'EST-À-DIRE HORS PÉTROLE ET CHIMIE) POURRAIT PASSER DE 0,17 À 3,5 MILLIONS DE TONNES D'ICI À 2030**

## 150

**MILLIONS DE VÉHICULES HYDROGÈNE POURRAIENT ÊTRE VENDUS DANS LE MONDE EN 2050**

## 29

**PROJETS - DONT 19 PORTÉS PAR DES TERRITOIRES - ONT ÉTÉ LABELLISÉS LE 3 NOVEMBRE 2016 DANS LE CADRE DE L'APPEL À PROJETS TERRITOIRES HYDROGÈNE**

Source : Afhyprac.



© Istock

figure d'énergie complémentaire aussi bien pour les véhicules thermiques fonctionnant au gaz que pour les véhicules électriques. À la clé : moins d'émissions polluantes pour les premiers et une plus grande autonomie pour les seconds. Parallèlement, l'hydrogène permet de stocker les surplus d'électricité, ce qui ouvre de nouvelles perspectives pour la valorisation de la production des énergies renouvelables. « À l'heure où l'on parle beaucoup de systèmes flexibles, d'adéquation entre l'offre et la demande et de décentralisation de la production d'énergie, l'hydrogène fait figure de "joker" intéressant », souligne Luc Bodineau, ingénieur spécialisé dans l'hydrogène au sein du service recherche et technologies avancées.

### DES MATURITÉS DIFFÉRENTES

Cet intérêt pour l'hydrogène n'est pas nouveau : il y a dix ans, l'engouement pour ce gaz était même à son apogée, avec des investissements de plusieurs millions d'euros annuels. « Aujourd'hui l'approche a évolué. L'hydrogène n'est plus perçu comme une énergie de remplacement, mais davantage comme une solution d'appui au service d'une vision globale et intelligente des systèmes énergétiques », poursuit Luc Bodineau. Parallèlement, les technologies ont progressé. Du véhicule léger au bus en passant par le bateau et les engins logistiques, les applications dans le domaine des transports et de la mobilité sont aujourd'hui les plus matures, avec la montée en puissance des piles à combustibles. Concernant les applications stationnaires, l'heure est actuellement à la mise en place de démonstrateurs portant sur l'interconnexion entre les réseaux électriques et les réseaux gaz (« power to gas », voir p. 9) sachant qu'il existe aussi des expérimentations de solutions autonomes d'accès à l'énergie dans les îles ou des endroits isolés, comme des refuges de montagne ou le cirque de Mafate, à La Réunion. « Mais il faudra sans doute attendre une dizaine d'années pour un déploiement à grande échelle, même si des opportunités de marché à l'export commencent à s'ouvrir », remarque Michel Gioria.

### ACCOMPAGNER L'EXPÉRIMENTATION ET LE TRANSFERT DE TECHNOLOGIES

Quel rôle pour l'ADEME dans ce contexte ? « Notre positionnement a évolué avec le

### Initiative

Que peuvent apporter des technologies de stockage d'électricité à un réseau électrique territorial ? C'est ce à quoi tente de répondre l'étude Smarthyles, réalisée par le CEA avec la collaboration et le soutien de l'ADEME. Cette étude prospective s'appuie sur différentes configurations existantes du réseau électrique local en Corse. Dans cette étude, l'intérêt de systèmes de stockage, comme des batteries ou une chaîne hydrogène, est étudié : maximisation de l'autoconsommation d'électricité photovoltaïque sur site, maintien du plan de tension en bout de ligne, délestage du réseau électrique et plafonnement des appels de puissance. Les simulations aboutissent à des estimations de coûts des différentes solutions technologiques. Les résultats de ces travaux seront prochainement disponibles sur le site de l'ADEME.

temps, poursuit Michel Gioria. Après avoir accompagné pendant plusieurs années de gros projets de recherche et des travaux d'études et de prospectives, nous avons pris conscience que, malgré l'existence du Programme des Investissements d'Avenir et d'Initiatives PME, nous manquions d'outils pour l'expérimentation et le transfert de technologies. C'est ce qui nous a amenés à créer le dispositif Titec, qui a financé une vingtaine de projets en cinq ans avant de fusionner à l'automne avec l'appel à projets Énergie durable. »

2016 a également vu le lancement de l'appel à projets Territoires hydrogène par le ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer. Fonctionnant comme un guichet unique, ce programme fait bénéficier les lauréats d'un comité de suivi dédié, regroupant l'ensemble des financeurs publics, dont l'ADEME. « L'enjeu est ici de développer des expérimentations et des modèles économiques à l'échelle des territoires pour favoriser l'émergence d'écosystèmes soutenables sur le plan économique comme sur le plan environnemental », indique Michel Gioria en conclusion.

# HYWAY : L'HYDROGÈNE PASSE À LA VITESSE SUPÉRIEURE



© David Dagulier

*Des flottes captives et des Kangoo électriques modifiées... À Lyon et à Grenoble, le projet HyWay a permis aux véhicules à hydrogène de franchir un cap décisif.*

Automne 2012, Mondial de l'auto : les allées bruissent d'une curiosité palpable... Le véhicule qui attire tant de regards n'a rien d'un concept car aux lignes futuristes : il s'agit d'une Kangoo, plus précisément d'une Kangoo ZE-H2, et c'est la première voiture électrique de série dotée d'une pile à hydrogène. Six ans plus tard, le petit utilitaire hybride conçu par la start-up iséroise Symbio FCell a fait un bon bout de chemin. « Aujourd'hui 120 véhicules sont en circulation en France, indique Pierre-Yves Le Berre, vice-président et cofondateur de Symbio FCell. Tous appartiennent à des flottes captives multiclients dotées de petites stations où ils peuvent se recharger en hydrogène. » L'intérêt ? Une autonomie doublée par rapport aux modèles équivalents sans pile. Ainsi, quand une Kangoo ZE standard s'arrête au

bout de 120 km sans recharge, la ZE H2 roule encore aisément 130 km, voire beaucoup plus puisque le record enregistré est de 367 km!

## DES FLOTTES À LA PRODUCTION

Si le parc de voitures à hydrogène hexagonal est aussi conséquent, c'est en grande partie grâce au projet HyWay, qui réunit Symbio et d'autres partenaires industriels comme Air Liquide, le CEA, Engie ou la Compagnie nationale du Rhône, sous la houlette de Tenerrdis. Soutenu par l'ADEME, le conseil régional d'Auvergne-Rhône-Alpes et l'Europe, via les fonds Feder, ce projet démarré en 2013 a permis de déployer deux flottes captives de 25 Kangoo ZE-H2 chacune et leurs stations de recharge respectives, installées à Lyon et à Grenoble. En cette

fin d'année 2016, HyWay entre dans sa deuxième phase, qui concerne la production d'hydrogène *in situ* à partir du surplus d'électricité d'origine 100 % renouvelable. Dans les mois qui viennent, des expérimentations sur des véhicules plus lourds, de type bennes à ordures, sont également envisagées.

## EXEMPLE SUIVI

« En prenant en charge une grande partie du surcoût lié aux kits hydrogène, ce projet a rendu possible l'industrialisation de notre solution, poursuit Pierre-Yves Le Berre. Désormais, le coût total de possession d'un Kangoo ZE-H2 est quasiment à parité avec un Kangoo thermique dès lors que le kilométrage atteint 30 000 km par an. » Et cette équation avantageuse semble rencontrer un écho favorable auprès des décideurs : dans le sillage d'HyWay, des douzaines de villes planifient actuellement le déploiement de stations et de flottes captives en France, mais aussi en Allemagne, aux Pays-Bas, en Écosse... « D'ici un an et demi, la Normandie sera la première région Hydrogène de France, avec 15 stations installées du Tréport à Cherbourg », annonce Pierre-Yves Le Berre. Et l'aventure ne devrait pas s'arrêter là pour la jeune entreprise, qui compte s'intéresser de près au marché du bus, où la demande est déjà très forte...



Plus d'infos :  
 > pierre-yves.le-berre@symbiofcell.com  
 > geraldine.hervel@symbiofcell.com



**DAMIEN CARÊME,**  
VICE-PRÉSIDENT À LA  
TRANSFORMATION  
ÉCOLOGIQUE ET SOCIÉTALE  
DE L'AGGLOMÉRATION,  
ENVIRONNEMENT, ÉNERGIE  
ET TRANSPORT DE  
LA COMMUNAUTÉ URBAINE  
DE DUNKERQUE, ET MAIRE  
DE GRANDE-SYNTHE



**JEAN-PAUL REICH,**  
DIRECTEUR SCIENTIFIQUE  
À LA DIRECTION RECHERCHE  
& TECHNOLOGIES ENGIE



## LE « POWER TO GAS » À L'HEURE DE LA DÉMONSTRATION

*Lancé à Dunkerque en 2014, le projet Ghryd évalue la pertinence technique et économique d'un modèle de « power to gas ». Le point sur les enjeux et les développements d'un programme pionnier.*

### Le « power to gas », qu'est-ce que c'est et à quels enjeux territoriaux cela peut-il répondre ?

**Jean-Paul Reich :** Pour résumer à grands traits, le power to gas consiste à tirer pleinement parti du vent, du soleil et plus généralement des énergies renouvelables disponibles en transformant une partie de l'électricité verte produite en hydrogène – ou en méthane. Facile à fabriquer, à stocker et à transporter, l'hydrogène peut à son tour être valorisé pour différents usages. Le projet de démonstration dunkerquois Ghryd – pour Gestion des Réseaux par l'injection d'Hydrogène pour Décarboner les énergies – explore deux des grands usages de l'hydrogène.

Centré sur l'habitat, le premier volet consiste à alimenter un nouveau quartier d'environ 200 logements par un mélange d'hydrogène et de gaz naturel, dans des proportions variables mais avec un taux d'hydrogène plafonné à 20 % en volume. La seconde partie du projet concerne la mobilité et s'inscrit dans le sillage d'une

première expérimentation dunkerquoise (projet Althytude) sur des bus roulant à l'Hythane®, un gaz enrichi à l'hydrogène qui produit moins de CO<sub>2</sub> et de NOx.

**Damien Carême :** Pour la Communauté urbaine de Dunkerque, le démonstrateur GHRYD est avant tout un outil au service d'une gestion énergétique intelligente en créant des passerelles entre les réseaux d'électricité et de gaz. Ce qui nous séduit, c'est avant tout la flexibilité offerte par l'hydrogène, qui apporte une vraie réponse au caractère « non programmable » des énergies renouvelables.

### Où en est le projet actuellement ?

**D.C. :** Après quatre années de conception, d'expérimentations et d'études sociologiques, le volet habitat a récemment reçu avec notre soutien le « laissez-passer » de la direction générale de la prévention du risque, qui va permettre d'entrer en phase opérationnelle au second semestre 2017.

**J.-P.R. :** Côté mobilité, nous sommes à ce jour en attente de l'homologation qui nous permettra de déployer la flotte de 30 bus à Hythane®. Sur le papier, la différence entre un bus au gaz naturel et un bus à Hythane® est très mince, mais d'un point de vue réglementaire c'est une autre paire de manches ! Cela dit, nous espérons être en mesure de mettre les véhicules en circulation à compter de 2018.

### Quels sont les freins à lever pour aller plus loin et envisager la démultiplication de ce type d'initiative ?

**J.-P.R. :** Au regard de notre expérience, je dirais qu'à l'heure actuelle les principaux freins sont de nature réglementaire. Mais une fois que les pionniers auront réussi à surmonter ces obstacles, ce sera plus simple pour l'ensemble des acteurs de l'hydrogène. En parallèle, nous adresserons la question du coût de revient de ces technologies. Et pour cela, il faudra que la demande change d'échelle...



Plus d'infos :  
> frederick.mabille@tud.fr  
> jean-paul.reich@engie.com

# ET VOGUE L'HYDROGÈNE...



© DR

*Des bus à l'Hythane®,  
des voitures et des bennes  
à ordures à piles à  
combustible... et maintenant,  
voici le premier bateau  
à propulsion hydrogène.  
C'est à Nantes qu'il arrive  
à quai.*

C'est à Nantes que le transport urbain a été inventé. C'est à Nantes que le tramway à air comprimé a débuté... et c'est encore à Nantes que le tramway moderne a fait sa réapparition. Ici, l'histoire d'amour entre les transports en commun et l'innovation est une affaire qui dure... et qui n'est pas près de s'arrêter. Dernier épisode en date avec le NavibusH2, premier bateau à pile à combustible de France, qui assurera le passage entre les deux rives de l'Erdre à hauteur du quartier universitaire. « Ce petit navire fluvial sera le dernier né de la flotte de Semitan, l'exploitant des transports en commun de Nantes Métropole, souligne Pierre-François Gérard, chargé de mission projets de recherche. Avec sa capacité d'accueil de 12 personnes et son trafic de 80 000 passagers par an, NavibusH2 est un petit poucet comparé aux 134 millions de voyageurs que nous transportons chaque année, mais il s'inscrit pleinement dans la démarche de mobilité décarbonée de la Métropole, qui prévoit notamment le remplacement de la

totalité des bus diesel par des bus GNV à l'horizon 2019-2020. »

## UNE AVENTURE AU LONG COURS

Qui dit Petit Poucet ne dit pas nécessairement petit chantier. L'histoire a commencé il y a une dizaine d'années par des discussions avec la Mission Hydrogène (MH2), une association qui réunit des industriels et des chercheurs. « Ils avaient besoin d'un démonstrateur et nous envisagions de remplacer notre navette sur l'Erdre qui était vieillissante. En 2012, le projet est devenu réalité, réunissant 7 partenaires autour de MH2 et des financements issus de l'ADEME et de la Région Pays de la Loire. » Toutes ces années pour un seul bateau, cela peut paraître très long, mais il faut bien reconnaître que l'aventure a été mouvementée de bout en bout, avec des défis techniques complexes, en particulier pour Symbio FCell, qui fabrique la pile, la défaillance d'un membre du consortium, sans oublier l'impact non négligeable de la réglementation en matière de sécurité et du processus d'homologation. « Car, faute de précédents, le frêle esquif a été traité comme un car-ferry! Ce qui lui a valu par exemple de devoir accueillir des toilettes aux normes PMR\*... pour un trajet de 2 minutes, et nous avons échappé de peu à l'obligation d'installer des WC séparées pour le personnel », sourit Pierre-François Gérard.

## AUTRES APPLICATIONS EN VUE

« Mais l'été prochain, quand NavibusH2 accueillera ses premiers passagers, ces mauvais souvenirs ne pèseront pas lourd face à la satisfaction d'avoir donné naissance à un bateau qui contribuera - grâce à l'hydrogène et à la plus grande autonomie qu'il rend possible - à renforcer la crédibilité des solutions électriques. » D'autres projets sur l'hydrogène ? « Oui, affirme Pierre-François Gérard. Depuis l'été 2016, nous disposons de deux Kangoo H2 (voir p. 8) et, d'ici à 2018, nous préparons la mise en place d'une centrale de production d'hydrogène pour alimenter une flotte captive qui devrait compter une quarantaine de KangooH2 publics et privés. » Cette opération est construite sous l'égide de l'Europe dans le cadre du programme FCH-JU.

\*Personnes à mobilité réduite.





© DR

**LOÏC ANTOINE,**  
INGÉNIEUR HYDROGÈNE  
ET PILES, SERVICES  
RECHERCHE ET  
TECHNOLOGIES AVANCÉES  
À L'ADEME.

## ET LE PLATINE ?

*Le déploiement à plus grande échelle de l'hydrogène suppose de prendre en compte de nombreux enjeux, parmi lesquels figurent les problématiques liées à la rareté, à la recyclabilité et au coût des matériaux constituant les équipements. L'ADEME travaille sur ces sujets. Principal sujet dans la ligne de mire : l'utilisation du platine.*

« Comme toutes les filières récentes, les technologies liées à l'hydrogène soulèvent leur lot de questionnements quant à l'impact qu'elles peuvent avoir sur l'environnement. En 2013, pour disposer d'éléments de réponse, l'ADEME a initié une étude d'analyse du cycle de vie sur les véhicules à pile à combustible afin de

mesurer les impacts environnementaux de 1 kilomètre de mobilité hydrogène : émissions de gaz à effet de serre, utilisation de la ressource en eau, acidification... Ce travail, qui sera d'ailleurs relancé l'an prochain, a mis en lumière plusieurs impacts importants, associés d'une part au transport de l'hydrogène, et d'autre part au recours au platine qui est aujourd'hui déposé en fines particules sur les électrodes des piles à combustible. Or le platine est très rare : il n'en reste que 13 000 tonnes disponibles sur terre. À raison de 1 à 20 g par pile, la ressource pourrait être rapidement épuisée. Ce point est particulièrement crucial car le platine reste à ce jour le meilleur catalyseur qui soit ! Depuis les années 2000, de nombreux acteurs se sont mobilisés pour optimiser l'utilisation de ce matériau stratégique. Pour l'heure, deux voies sont étudiées : d'une part la poursuite de la diminution de la quantité de platine entrant dans la composition des piles, et d'autre part le recyclage du précieux métal. Pour ma part, sans écarter la première piste, je pense que cette seconde solution est à favoriser dans un premier temps, tant pour la ressource mondiale que pour les performances et la durée de vie des piles. Sur ce plan, l'ADEME a répondu présent en soutenant un projet de recherche et une thèse sur la conception d'électrodes sans Nafion®, un produit fluoré qui freine la recyclabilité du platine. Aujourd'hui, on arrive à recycler 95 % du platine, mais on devrait pouvoir aller jusqu'à 97 ou 98 %, sachant que chaque point de gagné permettrait d'optimiser cette gestion du stock de métal.

## BEPOSITIVE EN MODE H2...

En février dernier, le Parc floral de Paris a accueilli HyVolution, le premier grand congrès européen sur l'hydrogène. Avec 700 participants en deux jours, la manifestation a été un grand succès, à tel point que ses organisateurs (GL Events Consulting associé à l'Association française pour l'hydrogène et les piles à combustible - Afhypac) ont décidé de programmer une seconde édition, prévue pour mars 2018. En attendant ce futur temps fort, les organisateurs ont décidé de profiter du salon BePositive, dont l'ADEME est partenaire, pour

proposer un nouvel événement hydrogène. Rendez-vous donc à Eurexpo Lyon du 8 au 10 mars prochain. À noter aussi : les Journées Nationales Hydrogène dans les Territoires de l'AFHYPAC, les 6 et 7 juin à Nantes.



© Alexandre Moulard