

# L'hydrogène, vecteur de la transition énergétique

*Diplômé de l'École polytechnique et de l'IFP School, Pascal Mauberger évolue dans le secteur de l'industrie des hautes technologies depuis maintenant trente ans. Il est le président directeur général de la société anonyme française McPhy Energy<sup>1</sup>, qui est spécialisée dans les équipements et systèmes de production, stockage et mise en œuvre d'hydrogène pour les applications énergétiques. Il est également président de l'Association Française pour l'Hydrogène et les Piles à Combustibles (AFHYPC<sup>2</sup>).*

## 1 L'hydrogène, l'énergie de demain ?

transport et dans la production de l'énergie.

### 1.1. L'état des lieux

Le changement climatique nous confronte à deux défis majeurs. Le premier est de pouvoir **répondre à une consommation énergétique mondiale en hausse** (Figure 1), tirée par une population mondiale en constante augmentation et qui voit son taux d'accès au confort moderne augmenter. Le deuxième est de **limiter l'impact de l'activité humaine sur le climat** pour atteindre l'objectif de limiter le réchauffement à 2 °C à la fin de ce siècle. Pour cela, il faut limiter massivement les émissions de gaz à effet de serre dans l'industrie, dans le

### 1.2. Les avantages de l'hydrogène

Sans bien sûr résoudre tous les problèmes, l'hydrogène peut contribuer à leurs solutions. L'hydrogène n'est pas une nouveauté, il est massivement produit et utilisé depuis plus d'un siècle dans l'industrie (à hauteur de 60 millions de tonnes par an), essentiellement dans la pétrochimie et la synthèse d'engrais, mais également dans la métallurgie, la chimie de spécialité, la production du verre, l'agroalimentaire et la production des semi-conducteurs<sup>3</sup>.

3. Semi-conducteur : matériau dont la conductivité électrique est intermédiaire entre celle des métaux et des isolants.

1. [www.mcphy.com/fr/](http://www.mcphy.com/fr/)

2. [www.afhypac.org](http://www.afhypac.org)

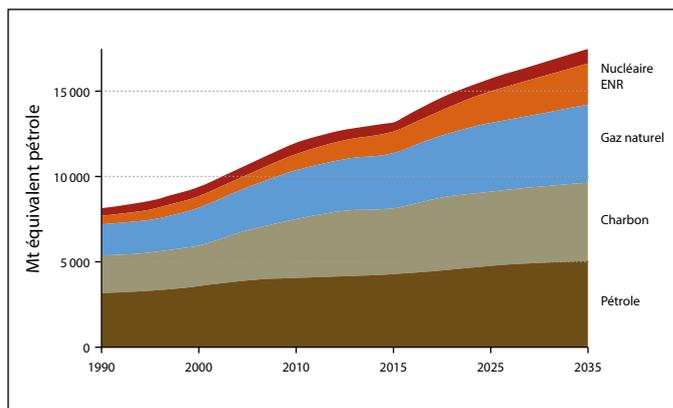


Figure 1

Tendance à la hausse de la consommation mondiale d'énergie pour les vingt années à venir (en millions de tonnes équivalent pétrole). L'utilisation du gaz et du charbon augmente, alors que l'objectif est de les réduire.

Cette ressource énergétique est extrêmement abondante, pratiquement illimitée sur Terre. L'hydrogène provient principalement du vaporé-



Figure 2

L'hydrogène  $H_2$  peut être extrait de la molécule d'eau  $H_2O$  par électrolyse.

formage<sup>4</sup> de gaz naturel (méthane) mais il est également extrait de la molécule d'eau ( $H_2O$ ) par électrolyse, c'est cette caractéristique qui lui donne tout son intérêt pour les applications énergétiques (Figure 2). La technologie de l'électrolyse est parfaitement maîtrisée par les industriels depuis longtemps grâce à la production de chlore par ce procédé.

L'avantage de l'hydrogène est sa très forte capacité énergétique (33 kWh/kg en PCI<sup>5</sup>). Il y a trois fois plus d'énergie que dans un kilo de méthane ou d'essence. L'hydrogène est l'élément le plus léger que l'on connaisse, il faut donc le densifier. La société McPhy Energy a développé un procédé, le *stockage solide de l'hydrogène sur hydrure de manière réversible*, qui permet d'obtenir des densités volumiques très intéressantes.

## 2 L'hydrogène, pour réduire le gaspillage énergétique

### 2.1. Valoriser les énergies renouvelables grâce à l'hydrogène

La transition énergétique en cours nous confronte à un

4. Vaporéformage : procédé de production de gaz de synthèse. Pour l'hydrogène, cela consiste à faire réagir du méthane avec de la vapeur d'eau pour former  $CO_2$  et  $H_2$ .

5. PCI : Pouvoir Calorifique Inférieur. Cette valeur nous renseigne sur la quantité d'énergie émise lors de la combustion d'une mole de produit.

changement majeur dans la production et la distribution d'énergie. Avec les « énergies renouvelables », elle nous conduit en effet à insérer des éléments de production d'électricité intermittents et peu prévisibles (Figure 3). On est en train de passer d'un modèle dans lequel on produisait l'électricité à la demande, de manière centralisée, à un système dans lequel on va avoir une production diffuse sur tout le territoire et non calquée sur une consommation. Cela entraîne des problèmes de stabilité des réseaux et de stockage d'énergie.

Les énergies renouvelables produisent de l'électricité même quand il n'y a pas de consommateur. Comme elles ont une priorité d'accès au réseau, et comme l'énergie qu'elles produisent est payée même si elle n'est pas consommée, les acteurs de marché peuvent avoir intérêt à pratiquer, sur certaines périodes, des « prix négatifs » de l'électricité (Figure 4). Cela

illustre le fait que le système ne fonctionne pas précisément comme on le voudrait et qu'il conduit à un gaspillage de la valeur sur nos réseaux énergétiques.

En face de l'intermittence de la production d'électricité par les énergies renouvelables, et au lieu de gaspiller les surplus de production, on peut mettre la possibilité de synthèse d'hydrogène à partir d'électricité et d'eau. Cela ouvre la capacité d'utiliser l'électricité lorsqu'elle est trop abondante sur le réseau électrique, de la transformer en hydrogène, et d'ouvrir ainsi à cette électricité, principalement éolienne ou photovoltaïque, de nouveaux usages :

- le premier est de la valoriser en utilisant l'hydrogène produit dans l'industrie – avec des avantages de coût et de rendement (Figure 5) ;
- le deuxième est d'utiliser cet hydrogène pour alimenter des véhicules électriques. L'électricité est générée par

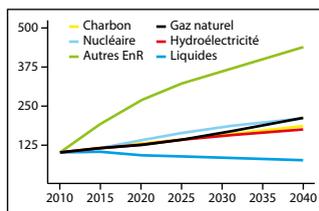


Figure 3

Croissance de la production électrique mondiale. On prévoit une augmentation importante de la production d'électricité par les énergies renouvelables (ENR) pour les années à venir – une production dont le débit n'est pas facilement contrôlable.

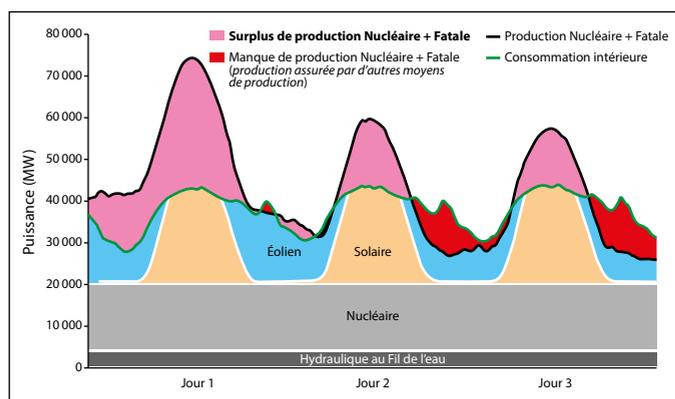


Figure 4

La progression des énergies renouvelables dans le mix énergétique dépend du lissage et du stockage de la production. Elle peut nécessiter le recours à des « prix négatifs ».

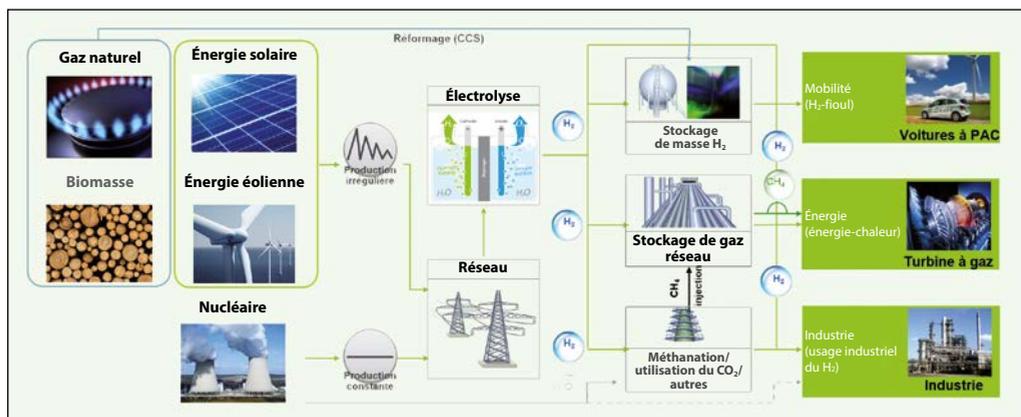


Figure 5

Un changement de paradigme dans le modèle énergétique. On voit apparaître les chemins que peut emprunter l'électricité générée en excès afin d'être valorisée sous d'autres formes d'énergie.

le vecteur hydrogène directement dans le véhicule, ce qui est une voie de motorisation sans émission de carbone. L'intérêt du vecteur hydrogène est que l'on densifie la quantité d'énergie emportée dans le véhicule par rapport aux batteries, qui sont trop lourdes est beaucoup moins efficaces ;

- le troisième usage est d'injecter cet hydrogène dans les réseaux de gaz de ville, le « power to gas » (voir plus loin), qui est aussi une façon de stocker, sous forme de gaz, de l'énergie éolienne ou photovoltaïque.

## 2.2. Stocker l'énergie sur du long terme

S'il s'agit de stocker de l'énergie électrique sur des courtes durées, les batteries font très bien le travail ; elles permettent de stocker des quantités d'énergie relativement modestes pendant quelques heures. Si on veut stocker sur plusieurs jours voire plusieurs semaines, les batteries atteignent leurs limites pour des problèmes d'autodécharge, de quantité, de volume et de masse utili-

sée. La solution aujourd'hui ce sont les Stations de Transfert d'Énergie par Pompage<sup>6</sup> (STEP) (Voir *le Chapitre de Y. Bréchet* dans cet ouvrage *Chimie et changement climatique*, EDP Sciences, 2016). En France, on pourrait avoir, en 2050, 70 Terawattheures (TWh) d'énergie renouvelable à stocker. Sur les plus grosses STEP, on est largement en-deçà de cette valeur ; même si elles ont de très bons rendements, elles ne conviennent pas à l'ordre de grandeur du besoin.

L'hydrogène vient se positionner en complément : on saura stocker les nécessaires quantités importantes d'énergie sous cette forme et les conserver sur une durée longue (*Figure 6*).

## 2.3. Le « power to gas »

La possibilité de valoriser les surplus d'énergie par les réseaux de gaz a été démontrée

6. Stations de transfert d'énergie par pompage (STEP) : installations où de l'eau est pompée dans un réservoir haut, puis envoyée sur une turbine pour régénérer l'électricité, sur le même principe qu'un barrage hydroélectrique.

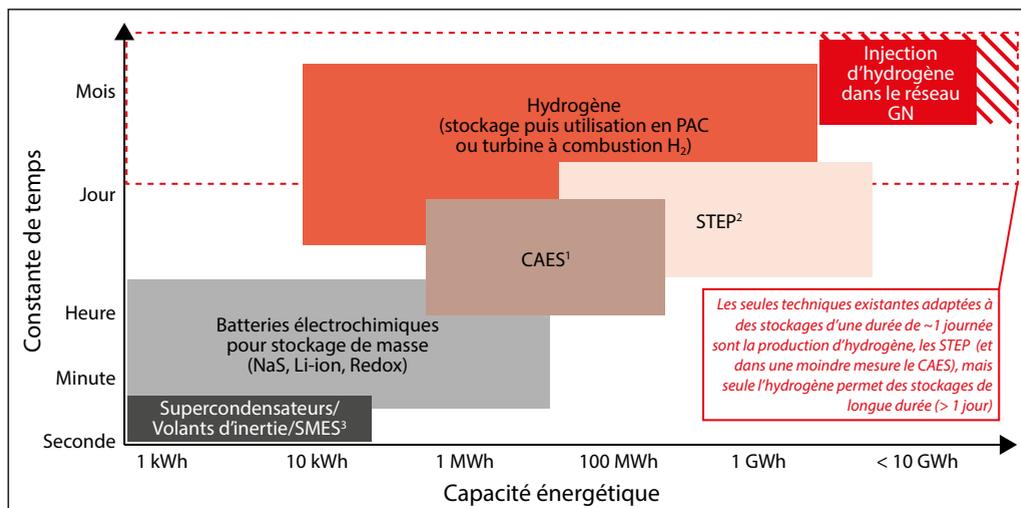


Figure 6

Capacité énergétique et constante de temps des différentes solutions de stockage de l'électricité. Des compromis sont à faire entre quantité d'énergie stockée et durée limite de stockage des différents moyens existants. L'hydrogène est la technologie la plus adaptée pour le stockage massif de longue durée ; à la différence des STEP, il ne peut pas stocker de très grandes quantités d'énergie, mais il permet une durée de stockage beaucoup plus longue.

1) CAES (« Compressed Air Energy Storage ») : stockage d'énergie par air comprimé.

2) STEP : Station de Transfert d'Énergie par Pompage.

3) SME (« Superconduction magnetic energy storage ») = stockage d'énergie par supraconducteurs.

4) La constante de temps d'un stockage est égale au ratio « capacité énergétique/puissance maximale » du stockage. Elle caractérise le temps mis par un stockage pour se vider (ou se charger) entièrement lors d'un fonctionnement à puissance maximale. Son unité est une unité de temps (le plus souvent, l'heure).

par le biais de « Falcon Agen », le premier projet allemand significatif au niveau industriel. Il consiste à prendre de l'énergie éolienne, et à la transformer en hydrogène pour l'injecter dans les réseaux de gaz naturel (Figure 7). Ces réseaux peuvent contenir jusqu'à 6 % d'hydrogène. Il y a quelques années, les usines à gaz construites en Seine-Saint-Denis (autour de l'actuel stade de France) produisaient du gaz issu du procédé Fischer Tropsch<sup>7</sup> conte-

nant 50 % d'hydrogène. Le gaz de ville comportait ce même pourcentage en hydrogène. On l'a petit à petit remplacé par le méthane qui provenait de gisements dans le sol.

En utilisant ce potentiel de 6 % d'ajout en hydrogène, on pourrait valoriser la totalité de l'énergie éolienne mondiale. En France, on a un paradoxe : on possède des réseaux de gaz qui peuvent transporter aux alentours de 500 TWh par an, mais ils ne sont pas utilisés au maximum de leur capacité. Ceci parce que l'amélioration de l'efficacité énergétique des chauffages des bâtiments fait que la demande en gaz

7. Le procédé Fischer-Tropsch permet de convertir le monoxyde de carbone et le dihydrogène en hydrocarbure, en utilisant un catalyseur :  $(2n + 1)H_2 + nCO \rightarrow C_nH_{2n+2} + nH_2O$ .



Figure 7

Valoriser intelligemment les surplus d'énergie électrique par le « Power to Gas ». Cette technique consiste à produire de l'hydrogène par électrolyse de l'eau grâce au surplus d'électricité générée par les énergies renouvelables, et de l'injecter dans le réseau de gaz naturel.

Source : courtoisie AFHYPAC, Mcphy.

est de moins en moins forte. Cette tendance est bénéfique en soi mais conduit à la sous-charge de nos réseaux de transport et de distribution de gaz, alors qu'à l'inverse, on a des réseaux électriques de plus en plus saturés par des afflux massifs et intermittents d'électricité.

On se trouve donc confronté au paradoxe suivant : surinvestir dans des boucles locales et les réseaux électriques alors qu'on a une

capacité de transport excédentaire sur le réseau de gaz. Si on ouvre et on optimise ces deux réseaux de manière intelligente et cohérente, à travers le « power to gaz », on peut tirer partie de cette situation. En France, on a de premiers projets de démonstration, dont un dans la région de Dunkerque, porté par Engie-CRIGEN<sup>8</sup> (ancien-

8. Centre de Recherche et Innovation gaz et Énergies Nouvelles.

nement GDF Suez). Il consiste à prendre l'électricité éolienne de la région, l'utiliser pour produire de l'hydrogène et injecter celui-ci dans les réseaux de gaz naturel d'un éco-quartier de 200 maisons situé à Capelle-la-Grande. Le gaz naturel sera enrichi dans un premier temps à 6 %, et dans deuxième temps à 20 %, d'hydrogène. Pour rassurer le consommateur, tous les appareils fonctionnant au gaz – comme les gazinières ou les chaudières – sont testés et homologués avec un gaz qui peut contenir jusqu'à 23 % d'hydrogène ! Un projet de démonstration de grande envergure (1 MW) vient d'être lancé par GRT Gaz et ses partenaires (dont McPhy pour l'électrolyse) à Fos-sur-mer.

### 3 La mobilité électrique hydrogène

#### 3.1. De la batterie à l'hydrogène

On sait que le transport est un contributeur majoritaire dans l'émission de gaz à effet de serre et qu'il faut le « décarboner »<sup>9</sup> (Figure 8).

Pour y arriver, la traction ou la propulsion électrique des véhicules est l'un des meilleurs moyens bien que, naturellement, le moteur thermique consommant 2 litres de carburant pour 200 kilomètres aura aussi son rôle à jouer. Le problème du véhicule électrique est la manière de générer ou de

stocker l'électricité qui alimente le véhicule. La première technique est d'utiliser des batteries, cela fonctionne très bien – on peut le vérifier sur les véhicules comme Autolib et autres véhicules commercialisés – mais ce ne sont que des véhicules ayant 100-150 kilomètres d'autonomie et des temps de notoirement trop longs. Ils peuvent convenir pour des transports urbains ou périurbains, mais pour un Paris-Grenoble avec une Zoé (voiture électrique de la marque Renault), c'est plus limité : il faut s'arrêter cinq à six fois pendant plusieurs heures, ce qui est contraignant...

En revanche, avec les véhicules électriques à hydrogène, on pourra recharger le véhicule en hydrogène. Grâce à une station comme celle d'Ivry-sur-Seine (station installée par l'entreprise

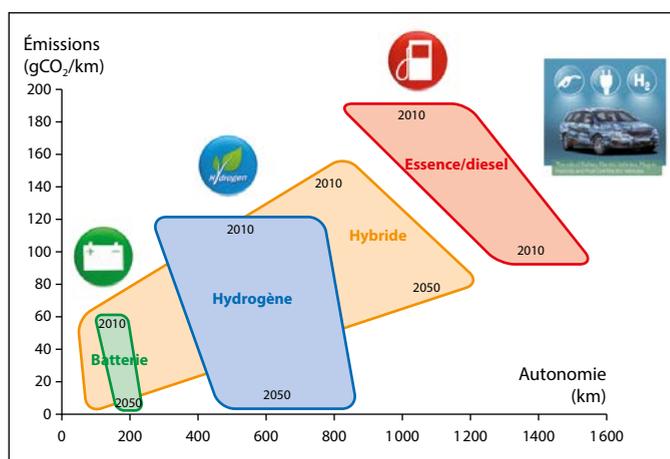


Figure 8

9. Voir *Chimie et transports, vers des transports décarbonés*, coordonné par M.-T. Dinh-Audouin, D. Olivier et P. Rigny, EDP Sciences, 2014.

La réduction de 95 % des émissions de CO<sub>2</sub> du transport routier ne peut pas se faire sans l'utilisation des véhicules propres. Or encore aujourd'hui, 99 % des véhicules fonctionnent à l'essence : la marge de progression est énorme.

McPhy pour le compte de la mairie de Paris à l'occasion de la COP 21) par exemple, on peut aller jusqu'à Lyon où se trouve une autre station sur le port Edouard Herriot exploitée par GNvert (filiale de Engie) et continuer ainsi jusqu'à Marseille. L'hydrogène chargé dans le véhicule vous permet d'obtenir une autonomie de 500 à 600 kilomètres entre deux pleins qui se font en quatre à cinq minutes (Figure 9). L'hydrogène apporte à la mobilité électrique des valeurs d'usages semblables à celles des véhicules thermiques dans le cadre d'une mobilité complètement propre et sans émission de carbone.

La mobilité électrique par batterie ou la mobilité électrique à hydrogène sont bien deux types de mobilité totalement écologiques et complémentaires.



Figure 9

Les véhicules à hydrogène sont beaucoup moins contraignants que les véhicules à batterie au niveau du temps de rechargement. De plus, ils présentent un rapport autonomie/émission de  $\text{CO}_2$  beaucoup plus intéressant que les véhicules à essence car leur autonomie est suffisante pour de longs trajets.

Source : Wikipédia, licence CC-BY-SA-3.0, Kirill Borisenko (voiture électrique), Dynamicwork (hydrogène).

### 3.2. Les constructeurs automobiles entrent dans la danse

Les véhicules fonctionnant à l'hydrogène commencent à apparaître car les piles à combustible sont maintenant capables de servir un véhicule. Elles atteignent des durées de vie compatibles avec un fonctionnement de 300 000 kilomètres sans panne ni besoin de remplacement ; par ailleurs, leur coût est devenu intéressant car l'utilisation du platine dans les membranes PEM<sup>10</sup> a été fortement réduite. L'industrie automobile commence donc à prendre ce type de technologie en compte. Avec les volumes et le savoir-faire de l'industrie automobile, on peut s'attendre à une réduction très forte du prix des piles à combustible.

Un constructeur en pointe sur ce sujet est Honda avec sa Civic Clarity, suivi de Hyundai, qui a commercialisé depuis décembre 2013 son YX35 aux États-Unis puis en Europe, comme à Paris par exemple (Figures 10 et 11). La Toyota Mirai (Mirai signifie « avenir » en japonais), annoncée en décembre 2014, est une voiture de milieu haute gamme, déjà commercialisée aux États-Unis et qui arrivera en Europe en 2016. Le pari de Toyota est de démontrer sa maîtrise des tractions électriques et de la façon d'hybrider les techno-

10. Membrane PEM (« Proton Exchange Membrane ») : membrane échangeuse de protons qui consiste en une membrane perméable aux ions  $\text{H}^+$  de l'eau pour permettre l'électrolyse de celle-ci, mais imperméable aux gaz tel que  $\text{O}_2$  ou  $\text{H}_2$  pour éviter la réversibilité de la réaction.

logies. Ils ont été à l'origine de l'hybridation électrique-thermique et veulent utiliser ce savoir-faire pour donner aux clients les véhicules qu'ils veulent, à savoir : propres et avec une autonomie suffisante.

La complémentarité entre les véhicules à batterie pour les courtes distances et les véhicules à hydrogène pour les trajets interurbains commence à se traduire par l'offre de modèles commercialisés.

### 3.3. La mobilité électrique hydrogène en France à l'échelle des particuliers

En France, les plans tournent autour d'un véhicule produit par Renault, la Kangoo ZE, à

batteries avec un prolongateur d'autonomie à hydrogène. Il s'agit de véhicules de fret urbain, véhicules utilitaires confrontés au besoin d'aller dans les centres-villes où s'exerce une forte pression citoyenne, des collectivités et des maires de ne plus voir de véhicules polluants dans les centres-villes. Cette contrainte oriente vers des véhicules propres... donc électriques (Figure 12).

Grâce aux aides financières de l'État et les économies de carburant, l'achat d'un véhicule à prolongateur à hydrogène n'entraîne un surcoût sur la vie complète du véhicule que de 5 000 euros maximum.

Le directeur de DHL Rhône-Alpes, après livraison de sa



Figure 10

Les véhicules du futur sont déjà là.

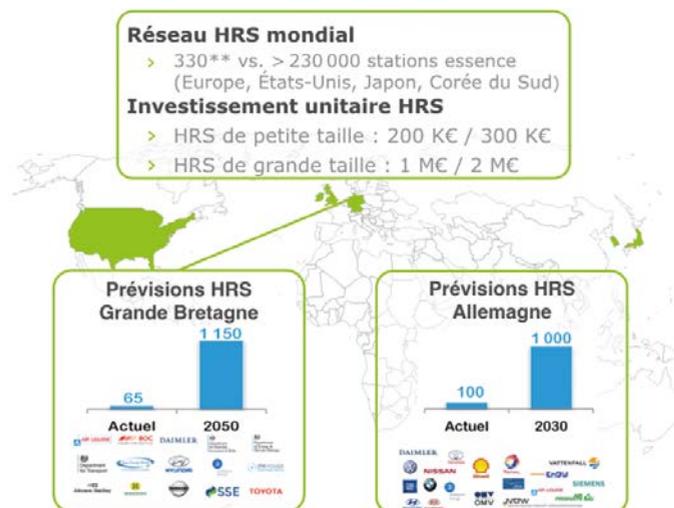


Figure 11

La Mobilité hydrogène prend son essor au niveau mondial (pionniers : Allemagne, Grande-Bretagne, Californie, Japon, Corée du Sud). Le développement du réseau de stations HRS (« Hydrogen Refueling Station ») déterminera sa croissance. Les prévisions de développement sont positives pour les années à venir. L'HRS jouera un rôle majeur dans l'expansion de la mobilité électrique hydrogène.

Source : H2mobility.org.

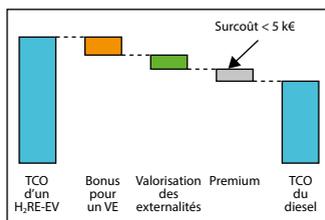


Figure 12

Les véhicules à prolongateur d'autonomie  $H_2$  ont un coût total de possession (« Total Cost of Ownership », TCO) très proche de celui des véhicules diesel (surcoût < 5 k€).

VE = véhicule électrique ;  
 $H_2RE-EV$  = véhicule électrique à prolongateur d'autonomie  $H_2$

Kango à hydrogène au mois de mars 2015, a tenu un discours remarqué sur le fait que leur métier est de livrer des paquets en centre-ville, qu'ils veulent et doivent le faire avec des véhicules propres. Ils ont acheté des Kango ZE à batterie ; cependant, l'autonomie de ces véhicules n'est que de 100 kilomètres alors que leur besoin est de 150 à 300 kilomètres d'autonomie. Pour faire une journée de travail, il leur faudrait donc davantage de véhicules. Avec le prolongateur à hydrogène qui double l'autonomie, celle-ci atteint 250-300 kilomètres, si bien que la voiture réalise sa journée de travail et revient au dépôt, où elle est rechargée en trois minutes en hydrogène et branchée sur une prise de courant. Le lendemain matin, elle repart pour sa journée (Figure 13).

Cette stratégie a été mise en avant par un consortium d'industriels, piloté par l'AFHY-PAC, motivé par les besoins du fret urbain d'avoir des véhicules urbains propres et le constat que l'hybridation batterie/prolongateur d'auto-

nomie conduit à une réduction drastique du coût d'usage. On approche ainsi du coût d'un véhicule diesel. Les arguments sont développés sur le site de l'AFHY-PAC : [www.afhypac.org](http://www.afhypac.org).

Un plan de déploiement de véhicules à hydrogène a été proposé pour la France. Il n'implique que des infrastructures peu coûteuses et flexibles (Figure 14). Les stations de rechargement coûteront quelques centaines de milliers d'euros et seront capables d'alimenter une vingtaine ou une quarantaine de véhicules. La stratégie envisagée est de faire évoluer ces infrastructures avec la demande plutôt que de positionner d'emblée de très grosses stations de rechargement (stratégie allemande).

De telles infrastructures pourront trouver leur rentabilité rapidement sur le marché du fret urbain et de la livraison en centre-ville. C'est ce qui se met en place par exemple à Ivry sur Seine (livraisons en novembre 2015 pendant la conférence sur le climat COP

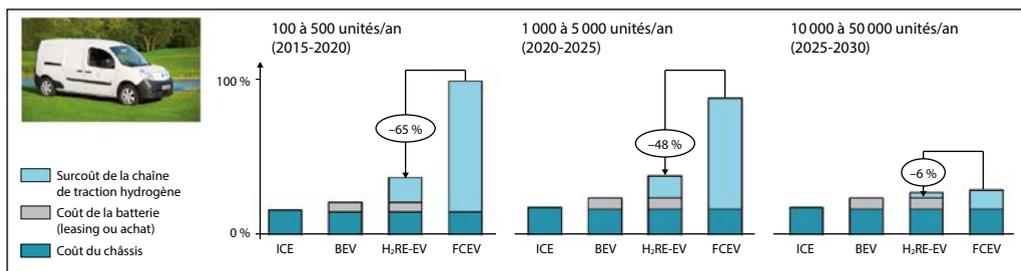


Figure 13

À haut volume de production, la différence de coût de production entre la technologie électrique plus prolongateur d'autonomie et pile à combustibles deviendra minime lorsqu'elle sera au point. Cette dernière sera alors plus avantageuse du fait de sa meilleure autonomie... en 2030 !

BEV : Véhicule électrique à batterie ;  $H_2RE-EV$  : véhicule électrique à prolongateur d'autonomie  $H_2$  ; FCEV : véhicule à pile à hydrogène.

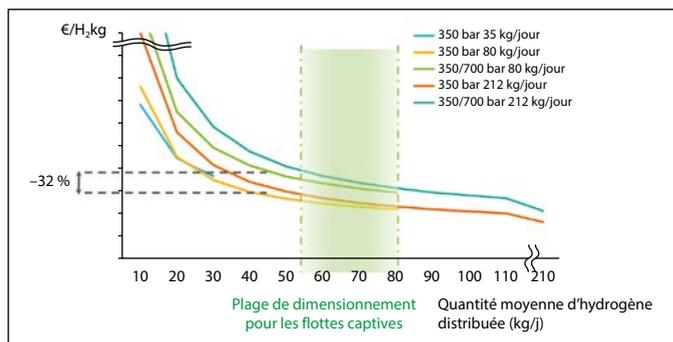


Figure 14

Ce graphe montre qu'il est pertinent d'adapter la taille des stations au nombre de consommateurs pour éviter de surfacturer le kg d'hydrogène et de permettre l'accès à cette énergie pour tous car les stations sont plus rentables.

21), à Sarreguemines au voisinage de la frontière avec l'Allemagne et à Valence, alors que des installations existent déjà à Lyon et à Grenoble : c'est tout un corridor qui se met en place (Figure 15).

La perspective est de voir 800 000 véhicules (Figure 16A) à hydrogène à l'horizon 2030, 90 000 tonnes d'hydrogène produit (Figure 16B), 600 stations de recharge d'hydrogène sur le territoire (Figure 16C),

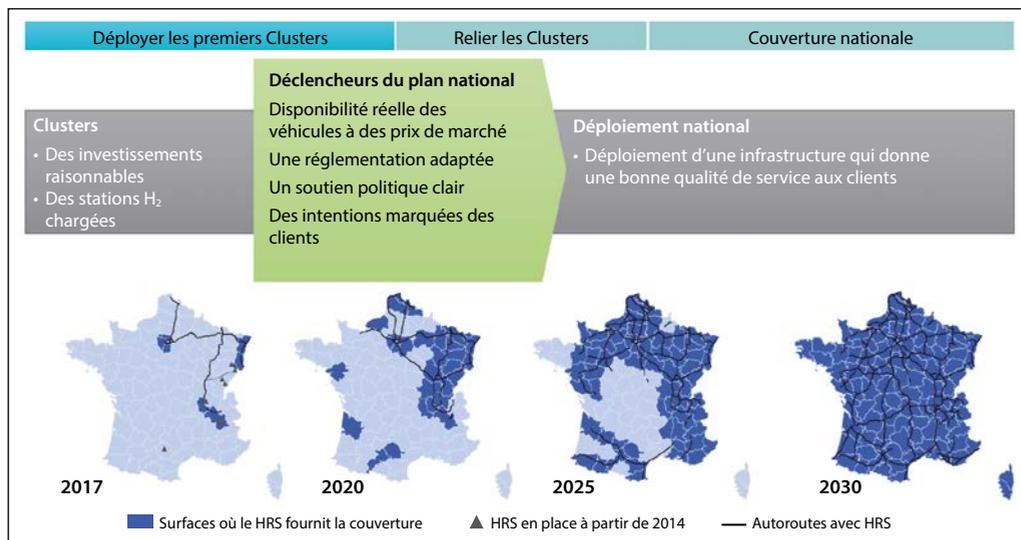
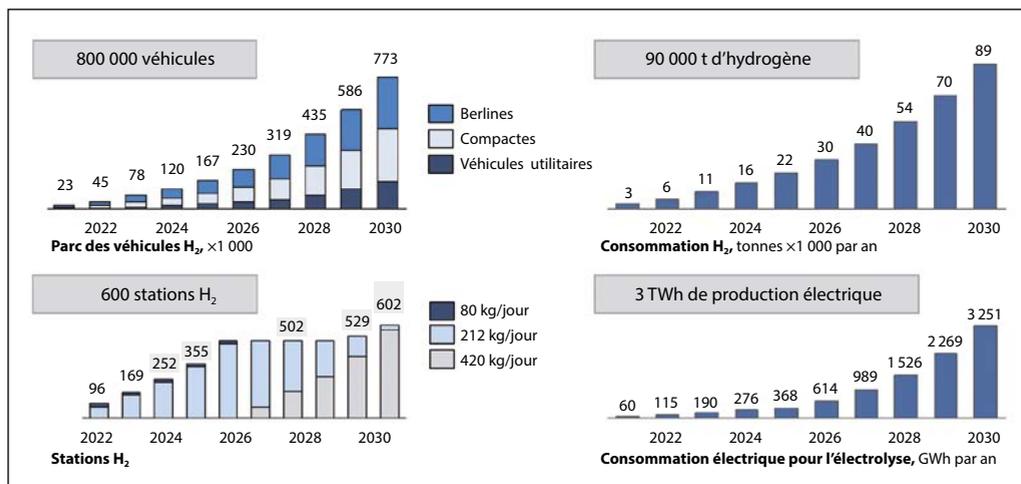


Figure 15

Le développement des stations à hydrogène (HRS, « Hydrogen Refueling Station ») en France d'ici 2030 devrait permettre une utilisation sans contrainte des véhicules à hydrogène.



**Figure 16**

La mobilité hydrogène pourrait connaître une croissance décisive de 2016 à 2030.

et donc 3 TWh de production électrique (**Figure 16D**) utilisés dans le transport électrique à hydrogène.

### 3.4. La mobilité électrique hydrogène en Europe à l'échelle des particuliers

À côté de la France, plusieurs pays en Europe adoptent des stratégies de développement de véhicules à hydrogène, comme l'Allemagne, le Royaume-Uni et la Scandinavie. Petit à petit tous ces pays se couvriront ainsi de points de rechargement s'intégrant dans les corridors européens et permettant un large déploiement. Les plans de la commission de Bruxelles, direction des transports, envisagent des corridors d'Oslo à Naples (**Figure 17**) avec une station-service hydrogène tous les 90 à 100 kilomètres.

### 3.5. La mobilité électrique hydrogène à grande échelle

On vient de voir l'utilisation de l'hydrogène pour la mobilité

domestique : le fret urbain par des véhicules utilitaires légers qui vont livrer des paquets en centre-ville, la « Mirai », les véhicules domestiques quand les infrastructures seront là...

Mais on voit de plus en plus de grosses villes se positionner sur le transport par bus à hydrogène. Les bus ont besoin de puissances importantes, et la capacité des batteries n'est pas suffisante pour assurer leur journée de travail. Avec l'hydrogène et ses réservoirs placés sur le toit du bus, on réalise un véhicule totalement non polluant et non carboné ; c'est la possibilité d'avoir une flotte urbaine de bus tout à fait propre (**Figure 18**).

Dans un autre ordre d'idée, on peut parler des grands « centres logistiques » : des sites de milliers de mètres carrés où l'on n'arrête pas de déplacer des paquets pour aller les livrer dans les Wal-Mart, Coca-cola, Amazon, etc. Des dizaines, voire des centaines de charriots élévateurs fonctionnant initialement avec des batteries passent progressi-

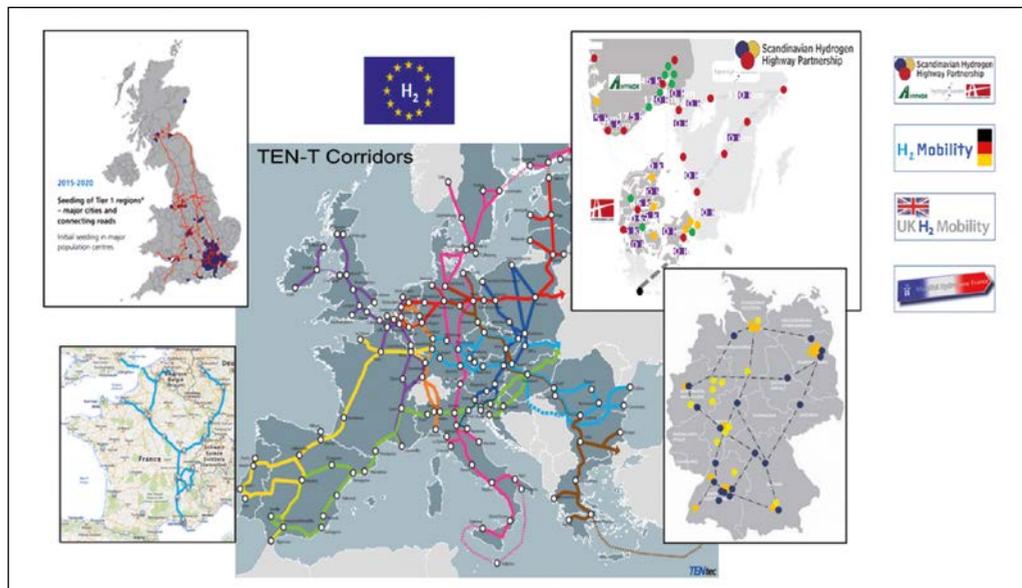


Figure 17

En rassemblant les initiatives existantes, on amorce le déploiement d'un réseau HYDROGENE européen.

Source : AFHYPAC et consortium mobilité hydrogène France.



Figure 18

L'hydrogène pourrait être amené à servir comme carburant pour les véhicules de transport ou de manutention, et pas seulement pour les véhicules domestiques ou utilitaires.

Sources : charriot élévateur : Air Liquide ; bus bleu : AFHYPAC ; bus vert : wikipédia licence CC-BY-SA-3.0, Dynamicwork.

vement à l'hydrogène (8 000 aujourd'hui). Ce qui guide ces évolutions, ce n'est pas tant la problématique du développement durable que la rentabilité : ces centres logistiques

sont de 20 à 25 % moins coûteux avec l'hydrogène, simplement parce que l'autonomie et la puissance sont meilleures, et le rechargement de ces charriots est beaucoup plus rapide.

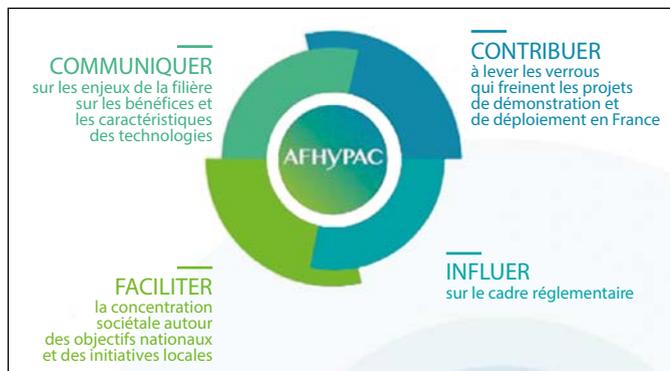
## L'hydrogène pour le développement durable

L'association AFHY PAC, ainsi que les listes de ses membres – grands groupes industriels ou PME innovantes – sont présentées sur la **Figure 19** et le **Tableau**. Beaucoup de technologies françaises peuvent se positionner sur les nouveaux marchés de l'hydrogène. La « transition énergétique pour une croissance verte » est en fait une opportunité de croissance industrielle génératrice d'emploi. Ces technologies sont intégrées dans des produits commerciaux. L'Hydrogène énergie, c'est aujourd'hui !

La recherche reste évidemment à soutenir dans ces domaines : il faut continuer à y investir, à inventer pour produire de nouveaux produits et améliorer ceux existants. Aujourd'hui, les collectivités territoriales s'emparent de ces sujets car c'est pour elles la possibilité de maîtriser leur besoin en énergie en respectant les règles du développement durable.

**Figure 19**

*Les missions de l'AFHY PAC, ses engagements pour le futur.*



## Tableau

Les membres de l'AFHYPAC représentent tous les secteurs ayant un pouvoir de décision ou étant dépendants du développement de la mobilité hydrogène.

Collège « Grands groupes industriels, institutions financières et ETI »	
AIR LIQUIDE	ENGIE
AREVA Stockage d'énergie	GRTgaz
AXA	MICHELIN
Caisse des Dépôts	STAUBLI
Compagnie Nationale du Rhône	TIGF
EDF-EIFER	UNIPER France
Collège « Industriels utilisateurs et clients finaux »	
Dassault Aviation	
Collège « Organismes de recherche, laboratoires, universités, écoles et centres techniques »	
CEA	Fédération FCLAB
CNRS	Institut Carnot Mines
INERIS	CNRS GDR HysPAC
Collège « PME-PMI »	
Actys-BEE	Hydrogenics
AD-VENTA	HySiLabs
Alca Torda Applications	ITM Power
ATAWEY	MaHyTec
AREVA H2Gen	McPhy Energy
AvenHyr Conseil	NEXEYA
Bulane	PaxiTech
ENEA Consulting	Powidian
Enercat	Pragma Industries
Ergosup	PV Puech Long
Green Access	Raigi
GreenGT Technologies	Seiya Consulting
HASKEL France	SERTRONIC
HERA France / ALBHYON	Sylfen
HINICIO	SymbioFCCell
HP Systems	Tronico-Alcen
Hydrogène de France	WH2

**Tableau**

Les membres de l'AFHYPAC représentent tous les secteurs ayant un pouvoir de décision ou étant dépendants du développement de la mobilité hydrogène.

<b>Collège « Associations, collectivités territoriales, pôles de compétitivité et groupements divers »</b>	
AVERE-France	Métropole Rouen Normandie
Communauté d'Agglomération du Grand Dole	Mission Hydrogène
Conseil Départemental de la Manche	PHyRENEES
Conseil National des Professions de l'Automobile	Pôle d'Excellence Energie 2020
Grenoble Alpes Métropole	Pôle Véhicule du Futur
	Tenerrdis
<b>Collège « Personnes physiques »</b>	
30 adhérents	