

HYDROGÈNE : LE MIRAGE DE LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE

L'hydrogène ? Tout le monde en parle ! Certains y voient la solution énergétique de demain, d'autres une énième utopie de nos dirigeants pour stocker l'énergie électrique intermittente (éolienne ou solaire).

En juin 2018 la France déployait son premier plan hydrogène doté de 100 millions d'euros et présenté par Nicolas Hulot, encore Ministre du gouvernement. Ambitions affichées : stocker l'électricité, alimenter les voitures, recycler le CO₂, rendre les processus industriels plus propres.



© Photomelia

Le plan de relance global de 2020 y fait encore la part belle. Où en sommes nous sur ce sujet ? *Options* vous propose, au travers ce dossier, d'apporter des éléments de réponses sur les enjeux présents et futurs autour de l'hydrogène.

HYDROGÈNE GRIS, BLEU, VERT... TOUTE UNE PALETTE DE COULEURS

L'utilisation massive de l'hydrogène est un levier majeur pour viser la neutralité carbone à l'horizon 2050.

L'urgence écologique et climatique oblige de nombreux pays à réduire rapidement et notamment l'empreinte CO₂ (carbone) de leurs activités industrielles. Pour atteindre la neutralité carbone à l'horizon 2050, ils consacrent donc une part de plus en plus importante de leurs budgets nationaux à préparer une révolution technologique et industrielle majeure. L'utilisation massive de l'hydrogène comme vecteur d'énergie constitue un des principaux axes de cette démarche. Le plan de relance global de 30 Md € présenté en septembre dernier par le gouvernement fait une large part à la transition écologique, et l'hydrogène y occupe une part prépondérante avec 7,2 Md € sur 10 ans, bien supérieure aux 470 millions € prévus pour soutenir la filière nucléaire par exemple... La stratégie du gouvernement porte sur 3 axes : décarboner l'industrie, développer les transports collectifs et de marchandises fonctionnant à l'hydrogène et enfin soutenir la recherche, l'innovation et le développement des compétences.

Effet de mode ou véritable solution d'avenir ?

Aujourd'hui, l'hydrogène (H₂) est déjà très utilisé dans l'industrie chimique, pétrochimique ou la sidérurgie. En 2018, 115 millions de tonnes ont été produites dans le monde représentant 2 % des émissions totales de CO₂. En effet, 95 % de l'H₂ produit actuellement est issu des énergies fossiles : on parle alors d'hydrogène « gris ». Mais l'H₂ peut être aussi bleu, vert... selon son mode de production, plus ou moins durable (voir encadré). L'enjeu pour le futur serait donc de fournir un hydrogène « propre », en quantité et à un coût compétitif pour les usages d'aujourd'hui et de demain...

L'hydrogène : production et rendement.

Actuellement, la production massive d'H₂ pour l'usage industriel est assurée à 99 % à partir de ressources fossiles et à 71 % à partir du gaz naturel. Précisons que l'hydrogène n'est pas une énergie mais un vecteur d'énergie, c'est-à-dire qu'il est produit à partir d'une source d'énergie (gaz ou électricité). Deux techniques principales sont utilisées pour cette production : le reformage et l'électrolyse.

L'hydrogène n'est pas
une énergie mais
un vecteur d'énergie

Une des techniques du reformage est le vaporeformage du méthane (CH₄). C'est une réaction du gaz à l'eau avec une température supérieure à 700 °C : 1 kg d'hydrogène est généré pour 13 kg de CO₂ produit. Ce procédé est viable économiquement car son rendement est de 80 %. Cette

Hydrogène vert	Hydrogène à base d'électrolyse alimentée par EnR
Hydrogène turquoise*	Hydrogène à base de méthane. L'hydrogène est isolé par pyrolyse, en produisant du carbone résiduel sous forme solide, qu'il faut stocker de façon pérenne.
Hydrogène bleu – CCU / CCS	Hydrogène à base d'énergies fossiles. Le CO ₂ dégagé est capturé et soit séquestré de manière pérenne (CCS), soit réutilisé d'une manière éco-responsable (CCU).
Hydrogène bleu – électricité décarbonée**	Hydrogène à base d'électrolyse alimentée par l'électricité décarbonée (hors EnR ; notamment nucléaire).
Hydrogène gris	Hydrogène à base d'énergies fossiles. Le CO ₂ dégagé n'est pas capturé ou séquestré.

technique associée à un procédé de capture et de séquestration du carbone conduirait à générer entre 2,3 et 4,2 kg de CO₂ par kg d'H₂ produit, soit une réduction d'un facteur 3 à 5 de l'empreinte CO₂... mais il n'existe pas encore de solution satisfaisante pour le stockage à long terme du CO₂ capturé.

Vaporeformage du méthane : 13 kg de CO₂ par kg d'hydrogène

Pour l'avenir, c'est l'électrolyse de l'eau qui est le procédé de choix retenu pour la production massive d'hydrogène. Cela consiste à casser la molécule d'eau avec de l'électricité. Sous réserve d'utiliser une électricité faiblement carbonée, les dégagements de CO₂ sont alors inférieurs à 1 kg pour 1 kg d'hydrogène produit, mais en revanche il faut 9 kg d'eau. Généralisé à l'échelle industrielle ce procédé ne pose pas de problème, puisque sa consommation d'eau ne représenterait que 1 % de l'eau nécessaire à la production actuelle d'énergie (comme le refroidissement des centrales nucléaires par exemple). Toutefois le rendement de ce procédé est encore faible : environ 40 %.

D'autres variantes existent aussi comme l'électrolyse basée sur la technologie PEM (Proton Exchange Membrane) dont le rendement va jusqu'à 70 %, ou l'électrolyse à haute température qui a un rendement de 95 %. Ainsi, une production d'hydrogène à proximité d'une centrale nucléaire, qui dispose d'électricité et de la source de chaleur nécessaire, semble être une voie prometteuse... Enfin l'électrolyse à Haute Température, qui ne nécessite pas d'utiliser un dispositif faisant appel à des métaux rares, possède un atout de poids pour son bilan environnemental.

Restera à voir, localement, si les ressources en eau ne seront pas en tension. Mais d'un point de vue écologique, le recours à l'électrolyse de l'eau ne présente un intérêt que si l'électricité utilisée pour la production d'hydrogène vient de sources bas carbone et disponibles en grande quantité.

Le problème du stockage et du transport

Produire de l'hydrogène via l'électrolyse alimentée par de l'électricité bas carbone (ou verte), de type solaire, éolien, hydraulique, nucléaire... est actuellement une idée qui fait

son chemin. En effet, il apparaît séduisant de contourner le caractère intermittent des EnR (solaire, éolien) en stockant l'électricité produite et inutilisée sous forme d'hydrogène. Car il faut rappeler que l'électricité se stocke difficilement. Aussi séduisante qu'apparaisse cette solution, il ne faut alors pas perdre de vue que les panneaux photovoltaïques et les éoliennes nécessitent de grandes quantités de Terres Rares pour leur élaboration. Leur bilan environnemental n'est donc pas si parfait que cela... De plus, en raison de la faible densité de l'hydrogène, son stockage et son transport sur le lieu final de son utilisation nécessite une forte compression (700 bars), ce qui entraîne de nombreuses difficultés techniques et des équipements coûteux.

Par contre injecter directement de l'hydrogène dans le réseau de gaz naturel est tout à fait possible. Cela est déjà expérimenté via le projet GRHYD, à proximité de Dunkerque. Le CETIAT a mesuré qu'injecter de l'hydrogène à hauteur de 10 à 20 % améliore même le rendement énergétique des chaudières, tout en offrant une meilleure hygiène de combustion. En revanche, transporter l'hydrogène par bateau, comme c'est le cas du pétrole aujourd'hui, nécessiterait de le compresser à 700 bars, car la densité énergétique de l'hydrogène est de 1,3 kWh/litre contre 9,5 kWh/litre pour l'essence. C'est l'une des raisons pour lesquelles l'hydrogène à destination des véhicules reste réservé à une utilisation locale, proche du site de production, telle que pour des flottes captives de moyens de transport.

La densité énergétique de l'hydrogène est de 1,3 kWh/litre contre 9,5 pour l'essence

Si l'utilisation d'hydrogène injecté dans le réseau de gaz naturel ou dans des moteurs à hydrogène semble pertinente, que penser de la reconversion de l'hydrogène en électricité via des piles à combustibles ? Techniquement, c'est réalisable. Mais cette conversion supplémentaire dégrade à nouveau le rendement énergétique global. Et donc l'idée d'utiliser l'électricité reconvertie à partir d'hydrogène, afin de charger la batterie d'un véhicule électrique laisse plus que songeur quant à l'efficacité globale d'un tel dispositif...

De multiples utilisations et études en cours

Passerelle entre tous les systèmes énergétiques (électrique, gazier...), l'hydrogène pur ou recombinaison en combustible de synthèse avec du CO₂ recyclé, pourrait couvrir la majorité des usages actuels en énergie. Les enjeux actuels pour le stockage et le transport de l'hydrogène se concentrent sur les technologies de compression, afin de trouver des solutions efficaces et peu chères.

Electrolyse de 9 kg d'eau : moins d'1 kg de CO₂ par kg d'hydrogène produit

L'hydrogène pourrait couvrir la majorité des usages actuels en énergie

D'autres solutions sont également à l'étude ou en cours d'expérimentation : réseau dédié, mélangé avec du gaz naturel liquéfié, combiné avec d'autres composés... Par exemple, le projet GRHYD consiste à étudier, en situation réelle, la production, le stockage puis l'injection d'hydrogène dans le réseau de gaz. L'électrolyseur PEM produit en une heure jusqu'à 10 m³ H₂ (à température et pression normale). Le module de stockage d'hydrogène « solide » a une capacité de 5 kg. Ce stockage est particulièrement sûr, innovant et présente un bon rendement. L'hydrogène est absorbé sous la forme d'hydrures métalliques (à basse température et à basse pression), puis restitué à la demande par désorption.

Stocker l'hydrogène sous forme liquide

C'est notamment l'utilisation qui en est faite dans le spatial, pour les lanceurs. Et cette solution pourrait être développée pour le transport et le stockage de l'hydrogène par bateau, comme avec le GNL (Gaz Naturel Liquéfié). Un des cas d'usage le plus intéressant serait alors les zones non connectées à des infrastructures d'énergie (électricité et/ou gaz) (off grid, ou hors grille).

Un prototype grandeur nature est à l'étude sur une des îles de Singapour. L'enjeu est de gérer l'approvisionnement en énergie (électricité, mobilité, gaz), la connexion et la stabilité électriques liées aux multiples composants de la micro grille (micro grid) : unités de stockage et de production et demande en énergie des utilisateurs. Un des éléments clés de ce système est la brique « hydrogène », destinée à stocker le surplus d'énergie et à lisser les intermittences pour apporter de la flexibilité sur le réseau. L'hydrogène, via une pile à combustible, est alors un complément aux batteries « conventionnelles ». Car si la batterie a un intérêt pour de courtes durées (consommation électrique de quelques foyers pour une journée), l'hydrogène est plus avantageux sur du long terme, pour atténuer les effets de saisonnalité. Sa capacité de stockage est plus modulable car directement liée à la taille physique de ses réservoirs.

L'hydrogène carburant « vert »

Il serait idéal pour l'industrie, notamment pour les industries « énergie-intensives » comme la production d'acier, de ciment, de verre... très émettrices de gaz à effet de serre et très énergivores. Si des recherches visent à modifier les matériaux produits et les procédés utilisés de manière à être moins énergivores, les industriels s'intéressent également à l'électrification des procédés pour atteindre la neutralité carbone en utilisant l'hydrogène comme vecteur intermédiaire (power to hydrogen).

Quel positionnement syndical sur l'H₂

La première question à se poser est celle relative à l'emploi. Ce secteur est-il susceptible de déboucher sur la création de nouveaux emplois ? Au niveau R&D ce n'est hélas pas (encore ?) observé à l'heure actuelle, alors que des projets R&D fleurissent de partout. Il est probable qu'un déploiement massif de cette énergie correspondrait à une forte transformation d'emplois existants. Du point de vue de nos entreprises, l'engouement et la plus-value actuels résident dans les fortes subventions pour inciter les centres de R&D (entreprises, universités, écoles...) à lancer des projets dans ce domaine.

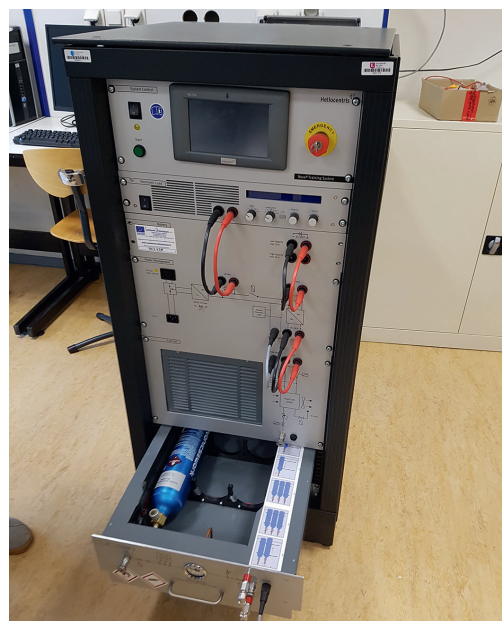
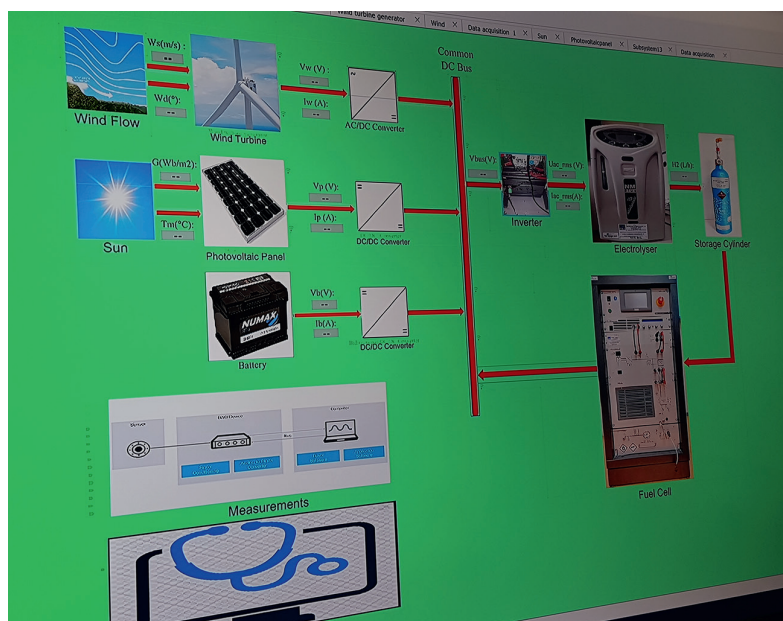
Durant les 20 dernières années chez Engie (et antérieurement à Gaz de France), de nombreux projets « hydrogène » ont été lancés à plusieurs reprises... et à grand renfort de communication. Bizarrement tous ces projets ont finalement été abandonnés, sans qu'on en connaisse vraiment la raison... L'engouement actuel pour l'hydrogène est-il le début d'une réelle transition vers une nouvelle énergie plus compatible avec les enjeux environnementaux à venir ? L'H₂ est sans doute vu comme un bon moyen d'absorber les pics de production des EnR intermittentes, car s'il est vrai qu'il atténuerait cet inconvénient majeur, il détériorerait aussi leur rendement... qui est encore loin d'être exceptionnel à ce jour.

Plus généralement pour l'hydrogène, comme pour d'autres énergies, il serait nécessaire d'avoir une réelle vision à long terme. Cela nécessiterait en premier lieu des emplois pérennes dans le domaine de la R&D, pour développer de réelles compétences débouchant sur l'excellence scientifique. Actuellement, il est fort probable que nous fassions face à une bulle spéculative sur l'hydrogène, avec des entreprises du secteur dont les cours de bourse explosent, et qui, artificiellement, font gonfler leurs résultats financiers de court terme.

Ce n'est certainement pas la réponse à toutes les difficultés énergétiques et environnementales

Si l'hydrogène peut probablement répondre à certaines problématiques spécifiques, en revanche, et ce rapide tour d'horizon le montre, il n'est certainement pas la réponse à toutes les difficultés énergétiques et environnementales à venir, contrairement à ce qui est trop souvent vendu par différents acteurs publics ou industriels.

L'école d'ingénieurs polytechnique de l'Université de Lille travaille sur un programme de recherche européen. Une éolienne et des panneaux solaires situés sur le toit du bâtiment de l'école sont couplés à un électrolyseur qui produit de l'hydrogène ensuite utilisé dans une pile à combustible pour produire de l'électricité. L'école ambitionne d'ajouter cette spécialité à son programme de formation, de façon à être au rendez-vous des futurs métiers de la transition énergétique.



Le schéma de principe de l'installation de l'école polytechnique de l'Université de Lille et sa pile à combustible



Mon œil en région



Envoyez nous vos idées,
coups de gueule, victoires,
espérances... à l'adresse :
coordination@ufict.fnme-cgt.fr