

Hydrogène et piles à combustible (01)

⇒ 01. Hydrogène décarboné : un rêve loin de devenir réalité, selon France stratégie - Actu Environnement, 28.08.2014

⇒ 02.

⇒ 03.

⇒ 04.

⇒ 05.

⇒ 06.

⇒ 07.

⇒ 08.

⇒ 09.

⇒ 10.

⇒ 11.

⇒ 12.

⇒ 13.

⇒ 14.

⇒ 15.

⇒ 16.

01. Hydrogène décarboné : un rêve loin de devenir réalité, selon France stratégie

France Stratégie n'envisage pas un développement à court terme du vecteur hydrogène. Les experts chargés de conseiller Matignon proposent d'abandonner le financement des projets intégrés au profit de la R&D sur l'électrolyse et les PAC.



© bentrussell

L'hydrogène a "une aura exceptionnelle", estime France stratégie, le service d'analyse rattaché au Premier ministre, car "il est perçu comme "propre" et comme pouvant remplacer les hydrocarbures à terme".

S'il "fait rêver" depuis le XIX^{ème} siècle, force est de constater que "les défis à relever sont nombreux pour que ce gaz puisse pénétrer dans notre quotidien".

D'autant que si des expérimentations sont menées à l'aval de la filière hydrogène (mise au point de véhicules, installation de stations-service ou intégration de solutions de stockage électrique), "la pertinence de telles expérimentations se pose" tant que les électrolyseurs et les piles à combustible (PAC) ne seront pas économiquement matures. Surtout, hors expérimentations et applications de

niche, la production d'hydrogène est issue du vaporeformage du méthane, une technique fortement émettrice de CO₂. Tant que les procédés de production décarbonée ne seront pas compétitifs, l'hydrogène ne restera qu'"une solution séduisante au plan intellectuel".

Tel est le constat dressé par l'ancien Conseil d'analyse stratégique (CAS), qui formule trois propositions pour l'avenir de la filière, dans une **note publiée le 27 août**. Il préconise notamment d'abandonner le soutien aux projets d'intégration à l'aval (système complet de stockage électrique ou véhicules à l'hydrogène, par exemple) au profit de la recherche sur les points clés : l'**électrolyse** et les piles à combustible.

Très cher hydrogène

Parmi les freins, France Stratégie retient surtout son coût de production décarbonée. En effet, il faut avant tout commencer par dépenser de l'énergie pour produire de l'hydrogène, rappelle la note, précisant les principales méthodes disponibles : le vaporeformage du méthane, l'électrolyse alcaline et l'électrolyse à membranes polymères échangeuses d'ions.

Quant aux coûts de production, qui varient selon les scénarios d'investissement et de fonctionnement des unités, ils restent très élevés et non compétitifs, hors marché de niche. S'agissant de l'hydrogène "propre", "même avec un fonctionnement en continu et les hypothèses les plus optimistes – qui ne seront pas atteintes avant de nombreuses années –, le coût de production de l'hydrogène par électrolyse reste environ deux fois plus élevé que le vaporeformage du méthane (3,7 euros par kg contre 1,5 à 2,5 euros par kg)", constate la note, ajoutant qu'"avec de l'électricité provenant de sources intermittentes, ce coût est de trois à huit fois plus élevé (6,1 à 12,2 euros par kg)". Ainsi, aux conditions actuelles, France Stratégie évalue à 500 euros par mégawattheure (MWh) le coût de l'hydrogène produit par une éolienne dédiée à l'électrolyse.

Pour rendre compétitif l'hydrogène décarboné, il faudrait qu'au minimum le prix du gaz quintuple et que le prix de l'électricité reste stable. C'est d'ailleurs pour cette raison que l'industrie privilégie le vaporeformage du méthane, ce qui fait dire à France Stratégie que "le signal annonçant un début de rentabilité de l'hydrogène-énergie pourrait (...) être la substitution de l'électrolyse au vaporeformage du méthane dans l'industrie".

Des projets de stockage hors de toute rentabilité

Malgré ce frein économique, les initiatives en faveur de l'hydrogène fleurissent. Mais, France Stratégie se montre dubitatif, pour ne pas dire très pessimiste, à court et moyen termes.

Ainsi, il est envisagé d'**injecter dans le réseau gazier de l'hydrogène** (P2G, power to gas), produit à partir de l'électricité renouvelable excédentaire. GDF estime pouvoir en stocker 20 à 35 térawattheure (TWh) par an dans son réseau d'ici 2030-2050. Mais compte tenu du coût, cela "n'apparaît pas pertinent à un horizon prévisible", juge France Stratégie.

Quant à la méthanation, c'est-à-dire la conversion de l'hydrogène en méthane pour s'affranchir des limites de stockage des réseaux gaziers, elle "**suscite outre-Rhin un intérêt** qui interroge", d'autant que le rendement total apparaît très faible, de l'ordre de 25%. Bref, "le stockage d'électricité via l'hydrogène apparaît aujourd'hui hors de toute rentabilité".

Le constat est plus sévère encore pour le **power to power**, c'est-à-dire la chaîne complète restituant sous forme d'électricité le courant initialement stocké sous forme d'hydrogène.

"Les éléments technico-économiques disponibles sur le **projet Myrte** de production solaire avec stockage à l'aide d'hydrogène révèlent des coûts de production extraordinairement élevés, même pour une expérimentation", déplore la note.

Doubler le prix des carburants classiques

Quant à la mobilité hydrogène, elle

"n'a d'avenir que si le coût des PAC diminue drastiquement et si la chaîne de distribution est sécurisée".

Selon France Stratégie, cette utilisation repose sur

"l'idée récurrente, mais pas encore justifiée par les faits", d'une hausse des prix des carburants.

D'ailleurs, depuis 2009, la mobilité hydrogène fait l'objet d'"un engouement notoire", notamment en Californie et au Japon. Mais, le coût des PAC, de l'ordre de 30.000 euros "dans le meilleur des cas" reste prohibitif. Une division par dix de ce coût "est donc le préalable à tout développement significatif de ce type de véhicule", estime la note, qui souligne "la contrainte d'approvisionnement en métaux nobles".

Autre écueil, le stockage qui lui aussi coûte très cher. Pour obtenir une autonomie comparable à celle offerte par le pétrole, il faut installer un réservoir de 150 litres, pesant 100 kg et pressurisé à 700 bars. "Un tel réservoir coûte 2.000 euros, dont 40% environ pour la matrice de fibre de carbone de l'enveloppe", explique la note.

Par ailleurs, le coût de l'**infrastructure d'approvisionnement** serait "extrêmement important". Les 400 stations prévues en Allemagne en 2023 nécessitent un investissement de 350 millions d'euros.

En prenant les hypothèses les plus optimistes,

"le coût en hydrogène du km parcouru serait de 13 centimes d'euro (selon Air Liquide, mais en réalité sûrement bien plus) s'il est produit par électrolyse, chiffre qu'il faut comparer aux 3,5 centimes d'euro de gazole (hors taxes) nécessaires pour parcourir la même distance", indique la note.

Sur le plan environnemental,

"il faudrait affecter un prix de l'ordre du millier d'euros à la tonne de CO₂" pour justifier l'investissement.

Une faible acceptation sociale

Alors que "l'acceptation sociale de l'hydrogène dépend de la confiance du public en sa sûreté", rappelle France Stratégie, "sur le plan de la sécurité "grand public", les obstacles semblent difficilement surmontables".

En cause ? Les conditions de sécurité appliquées dans l'industrie (à savoir la détection et la suppression des fuites, le suivi de l'obsolescence des matériaux des réservoirs et de la dégradation des jonctions devant supporter 700 bars, et la prévention des mauvaises utilisations) "sont difficilement applicables au grand public". "Quand bien même l'hydrogène serait largement distribué, quelques accidents pourraient retarder ou même mettre en cause l'émergence de la filière", estime la note. L'exemple du gaz de pétrole liquéfié (GPL) a été retenu.

Dit autrement, il faudrait transformer intégralement la fiscalité sur les carburants en taxe carbone, "[ce qui] reviendrait environ à tripler son niveau, soit doubler le prix des carburants".

Vers un abandon des subventions accordées aux prototypes ?

En conséquence, France Stratégie s'interroge sur "la pertinence" des expérimentations en cours. "On peut se demander s'il ne convient pas mieux de consacrer les aides publiques à la R&D sur les électrolyseurs et les PAC plutôt que de subventionner des prototypes sans réelle valeur ajoutée et risquant d'être rapidement frappés d'obsolescence", questionne la note. La réponse est lapidaire :

"tant que les essais réalisés en laboratoire ne laissent pas entrevoir une division par au moins un facteur 10 des coûts nécessaires pour assurer la compétitivité de l'électrolyse (...) [les expérimentations en cours] ne devraient pas sortir du domaine de la R&D presque fondamentale".

La question de l'intérêt de la filière se pose d'autant plus que son développement

"ne sera pas sans impact sur les autres filières", et en premier lieu celle des hydrocarbures. "Les produits pétroliers supportant des droits d'accises importants, une étude fiscale apparaît nécessaire si la filière hydrogène devait se substituer pour une part significative à celle des hydrocarbures", pointe le document...

La note s'achève donc sur trois recommandations : réserver les aides pour la R&D sur les électrolyseurs et les PAC, évaluer l'impact économique des développements possibles de l'hydrogène en examinant également ses conséquences sur les autres filières et prendre en compte dès le début les enjeux de sûreté et d'acceptabilité.

Dernières actualités sur l'hydrogène

- Algues vertes : l'Etat reconnu co-responsable de la mort d'un cheval - 21/07/2014
- Nouvelle France industrielle : un plan Navires écologiques pour soutenir la filière... - 14/07/2014
- Loi sur la transition énergétique : et les alternatives au transport routier ? - 04/07/2014
- Changement climatique : comment les entreprises s'investissent-elles ? - 25/06/2014
- Surveillance médicale renforcée des travailleurs : le Conseil d'Etat rétablit neuf... - 10/06/2014
- Toutes les infos sur l'hydrogène

10 réactions à cet article

➤ Cette filière potentielle justifiait dans de nombreux débats le développement des énergies intermittentes, l'éolien en particulier. Une bien mauvaise nouvelle pour les promoteurs des machines à capter le vent déjà inutiles pour réduire le CO2 en France, inutiles pour ne serait-ce qu'envisager de sortir du nucléaire, inutile car impossible d'envisager le stockage de l'hydrogène

obtenu par électrolyse. Inutile tout simplement ! Qu'attend-on pour arrêter de subventionner cette filière... INUTILE.

ITC78 | 28 août 2014 à 21h23

➤ Ce monsieur Beeker, X72, début de carrière dans les labos d'EDF, n'a aucune expérience industrielle. Il est un "spécialiste" de la modélisation. Pour lui, le passé présage de l'avenir par de simples équations. Mais comme il l'admet, "c'est pas facile de faire des modèles économiques pour l'énergie : j'avais pas prévu Poutine".

À part cela, d'après mes sources, il a rencontré plusieurs fois des experts et acteurs de la filière, en France et en Europe. Commentaires entendus : ce monsieur avait une idée précise avant même de commencer les entretiens, et refusait obstinément de considérer les données et les chiffres qu'on lui présentait mais qui ne répondaient pas à sa vision a priori.

De fait, nombre de ses calculs sont simplement faux du fait de mauvaises données, et il considère simplement que si des grands constructeurs mondiaux comme Toyota y croient et ont investi plus d'1 milliard de dollars pour leur seule R&D, c'est qu'ils sont débiles. D'ailleurs, on disait la même chose de Toyota quand ils ont commencé à faire des hybrides.

Pour finir, l'auteur remercie, en tout petit, Syrota et Appert (IFP), deux personnes largement connues pour être des ennemis absolument acharnés de l'hydrogène.

En résumé, c'est une honte que des gens comme cela s'expriment au nom du CAS. Il ne faut pas s'étonner avec ce genre de rapports si la France finit par rester à quai sur les grande innovations qui changent le monde.

bdam | 29 août 2014 à 08h49

➤ Si le coût semble encore trop important, je souhaiterais qu'on se pose cette question : combien nous a coûté et combien nous coûtera un Kw/h d'électricité nucléaire? Le chiffrage est difficile, les centrales n'ont pas été démantelées, et on ne sait pas encore ce que le stockage des déchets coûtera aux générations futures (est-ce chiffrable?).

MamaTTT | 29 août 2014 à 10h06

➤ J'espère que ces experts ne sont pas payés par des industriels allemands. Par ailleurs les plus grandes avancées ne se font pas sans dépenser de l'argent,

Jean Jacques | 29 août 2014 à 10h08

➤ à Jean-Jacques : les industriels Allemands extrêmement présents sur les technologies hydrogène sont sûrement des fous ou des imbéciles eux aussi. Il suffit d'aller les voir chaque année sur les salons de Francfort ou de Hanovre pour se rendre compte qu'ils sont fous, et nombreux en plus !!

bdma | 29 août 2014 à 10h32

➤ Ma pratique des énergies montre que le rendement est un aspect essentiel. Les économistes, quelques fois loin de la réalité concrète ne voient que le coût. Or le problème de l'hydrogène c'est avant tout le médiocre ou faible rendement des transformations eau-hydrogène et surtout hydrogène- électricité, sans oublier que le stockage sous pression même en fonctionnement isotherme qui coute beaucoup d'énergie à cause du mauvais rendement des compresseurs aux pressions élevées. A priori la solution hydrogène conduira à des pertes d'énergies à cause de la

cascade des rendements. Ces pertes d'énergie seraient elles tolérables dans un futur où l'énergie propre sera plus rare et coûteuse ?

Pourquoi cet engouement pour l'hydrogène ? Parce qu'on part d'une belle image et pas des réalités. Comme malheureusement les décisions d'attribution de crédits sont prises par des "décideurs" qui ne connaissent pas la physique beaucoup de crédits vont être perdus sur des solutions qui conduisent à des pertes d'énergie

[fleurent | 29 août 2014 à 12h06](#)

► Ma pratique des énergies démontre que le rendement N'EST PAS un aspect essentiel. Sans quoi on n'aurait jamais utilisé de diesel (27% de rendement en conditions urbaines), ni de nucléaire (33% de rendement centrales basse température actuelle). Le seul aspect essentiel, c'est quelle énergie (propre) à un coût acceptable dans une contrainte de véhicule donnée (taille, poids, capacité d'emport). Dans cette équation là, le rendement joue un rôle important pour le coût, mais il n'est pas en tant que tel discriminant. Si vous avez de l'hydrogène à moins de 8€ du kg, avec les rendements actuels, vous êtes moins cher que du diesel à 1,4€.

[bdam | 29 août 2014 à 12h52](#)

► Les rendements sont liés aux processus mis en oeuvre nécessaires pour obtenir un résultat attendu à partir de ressources prédéfinies. Ces processus obéissent à des lois physiques incontournables même par les plus purs idéologues.

Par exemple un moteur à explosion transforme l'énergie chimique du carburant en travail utile et en chaleur inutile mais obligatoire pour assurer l'obtention du travail que l'on recherche (faire avancer une voiture). L'électricité d'origine thermique est produite par un alternateur animé par de la vapeur produite elle-même à partir de charbon, de gaz, de fuel, d'atome. Le rendement affiché plus haut pour le nucléaire est à peu près le même pour tous les combustibles, il correspond à la transformation de la vapeur en électricité. Les rendements de combustion vers la production de vapeur sont supérieurs à 90%. Si on change de technologie, le rendement sera différent par exemple la turbine à gaz à cycle combiné où on ne passe pas par la case vapeur. Dans tous les cas on peut améliorer le rendement du cycle thermique en récupérant la chaleur induite inutile pour produire de l'eau chaude par exemple.

Le rendement est donc utilisé pour établir et comparer la chaîne de coût de différentes filières qui va aboutir au résultat attendu.

Dans le cas de l'article pour obtenir de l'électricité en passant par la case hydrogène on va multiplier les rendements de chaque étape, pour obtenir le rendement global et en évaluer le coût à comparer avec d'autres filières.

[ITC78 | 29 août 2014 à 15h14](#)

► Si vous tenez vraiment à évaluer le rendement sur l'ensemble de la chaîne de valeur et essayer des comparaisons, ça peut s'avérer assez problématique. La question seule du coût réel de la production d'électricité nucléaire faire l'objet de débats contradictoires sans fins dans la société, en passant par la Cour des Comptes.

Pour ce qui concerne la production d'hydrogène vert par exemple (via électrolyse), vous pouvez faire l'exercice sur la base des coûts marginaux de l'éolien ou du photovoltaïque, dans la mesure où une grande partie de cette électricité (de l'ordre de 70%) est produite en dehors des besoins

du grid. Il devient dès lors possible pour les producteurs d'électricité renouvelable de valoriser du MW/h sur la base d'une valorisation gaz et non plus électricité, en améliorant considérablement l'amortissement de leurs équipements de production.

Pour mémoire, sur le scénario de transition énergétique actuel, c'est près de 75 Tera W/h annuels d'électricité qui seraient concernés à l'horizon 2050.

Enfin, vous pourriez aussi considérer dans l'équation économique tous les gains liés à la réduction de la facture pétrolière, remplacée par de la production locale utilisable dans les voitures (réduction du déficit du commerce extérieur, amélioration de la performance économique, baisse des coûts de la santé etc).

Au bout du compte, et l'exercice de calcul a été fait récemment par le consortium H2 Mobilité France, la mobilité hydrogène est un très bon business model.

[bdam | 29 août 2014 à 16h20](#)

► Pour finir sur cette histoire de rendements, si vous partez de l'électricité renouvelable, une électrolyse PEM c'est 95% de rendement. Côté application, une PEM voiture c'est environ 50% + production de chaleur réutilisée pour le chauffage de la voiture. Globalement un très bon bilan en fait.

Sachez enfin que 30% de l'hydrogène produit mondialement sert à désulfurer les produits pétroliers, donc on pourrait aussi se poser la question du rendement du diesel en ré-intégrant cette donnée, et se dire qu'en fin de compte, l'H2, vaut mieux l'utiliser pour faire de la mobilité propre.

[bdam | 29 août 2014 à 16h27](#)

[retour à l'index](#)
