



Flash 95

Janvier 2025

Sommaire

L'hydrogène, un futur prometteur à condition de faire les bons choix

Notre prochaine conférence

mardi 28 janvier

Lithium pour la mobilité électrique et décarboner le transport : comment éviter de remplacer un problème par un autre ?

Nos dernières conférences :

(diapos et vidéo sur le site Centrale-energies, cliquez sur le lien ci-dessous)

- Décarbonation du transport maritime : où en sommes nous ?
- «Les technologies adaptées ou low-tech pour la transition bas carbone»
- Agir en faveur du climat et de l'environnement dans son entreprise
- *Vous avez l'idée d'un sujet pour une prochaine conférence Centrale-Energies, idéalement avec des intervenants à proposer ? Vous avez envie de proposer un article pour un prochain flash ? Contactez-nous !*
- rcontact@centrale-energie.fr

L'hydrogène, un futur prometteur à condition de faire les bons choix

May OUIR (Mines de Nancy N20)

De septembre 2023 à mars 2024, des étudiant·e·s scientifiques venus de toute la France se sont réunis lors de la Convention Scientifique Étudiante sur l'hydrogène. Cet événement, organisé par l'IESF, sous le haut patronage du ministre délégué chargé de l'Industrie et de l'Énergie, avait pour objectif de répondre à une question cruciale : Dans quelle mesure et à quelles conditions les technologies liées à l'hydrogène sont-elles pertinentes pour atteindre les objectifs de développement durable, dans un monde aux ressources finies ? Quels devraient être les usages prioritaires ?

Inspirée des conventions citoyennes, cette initiative a permis à de jeunes scientifiques, choisis pour leur diversité de parcours, d'échanger avec des experts, des industriels et des représentants d'ONG sur les enjeux énergétiques et environnementaux de l'hydrogène. Les résultats de ces débats approfondis ont été présentés par May Ouir et Noé Blévin (Mines de Paris) au ministère de l'Industrie ainsi que rédigés au sein d'un rapport contenant au total 28 recommandations.

La principale conclusion à laquelle nous sommes arrivés après quatre weekends de réflexions est que l'hydrogène n'est pas une solution miracle, mais une technologie pertinente pour certains usages que nous qualifions de prioritaires. De fait, l'hydrogène ne remplacera jamais le gaz ou le pétrole, il faudra nécessairement des évolutions sociétales pour s'adapter à une moindre abondance énergétique dans le futur. En conséquence, pour assurer le bon déploiement de la filière hydrogène, certaines conditions s'imposent, notamment le respect des objectifs de développement durable et la sobriété.

1. L'hydrogène : un argument de plus pour la sobriété

L'hydrogène, élément le plus abondant de l'univers, joue un rôle important dans les stratégies de décarbonation. Utilisé comme vecteur énergétique ou comme matière première, il présente l'avantage de ne produire aucune émission de CO2 lors de son utilisation.

A l'heure actuelle, la France produit déjà de l'hydrogène pour le raffinage, la production d'engrais, et la chimie. Cet hydrogène est actuellement produit à partir de gaz naturel à travers un procédé très polluant responsable de 3% des émissions françaises de CO2 équivalent. L'hydrogène de demain, pour sa part, sera produit grâce à des électrolyseurs et de l'électricité bas-carbone, nucléaire ou

Les couleurs de l'hydrogène



Source: Revue de l'Énergie, Hors-série octobre 2021

Cependant, sa production actuelle est massivement carbonée : 95 % de l'hydrogène consommé dans le monde est issu d'énergies fossiles, comme le vaporeformage du méthane, qui génère d'importantes émissions de GES. En effet, produire de l'hydrogène bas-carbone coûte encore aujourd'hui trois à quatre fois plus cher que l'hydrogène gris produit par vaporeformage.

renouvelable (appelé hydrogène vert pour le renouvelable et rose pour les énergies nucléaires). Or, nous savons d'ores et déjà que nous n'aurons pas assez d'électricité à allouer à la production d'hydrogène. En effet, si nous souhaitons couvrir la demande actuelle française en hydrogène avec des électrolyseurs, il faut de l'ordre de 10% de la production française d'électricité. **Dit autrement, il faut l'équivalent de 5 réacteurs nucléaires de nouvelle génération, les fameux EPR2, pour seulement maintenir la production existante d'hydrogène, ce qui ne permet même pas de développer de nouveaux usages.** Dans le même temps, nous passons collectivement aux voitures à batteries et aux pompes à chaleur, ce qui induit aussi une hausse de la demande en électricité. Il est alors essentiel

de recourir à la sobriété pour limiter la demande en électricité et assurer une transition ordonnée de tous les secteurs. La sobriété permettra par ailleurs de limiter les prélèvements en eau, autre composant essentiel à la production d'hydrogène bas-carbone.

2. L'électrolyse de l'eau : un procédé encore peu maîtrisé et coûteux

La production d'hydrogène bas-carbone repose principalement sur l'électrolyse de l'eau. Ce procédé consiste à utiliser de l'électricité pour séparer l'oxygène de l'hydrogène. Les avantages environnementaux de cette technologie sont indéniables, mais elle implique des défis techniques et économiques :

- **Améliorer les technologies** : Aujourd'hui, les électrolyseurs ont un rendement d'environ 70 %. Cela signifie qu'en utilisant une certaine quantité d'énergie électrique, nous aurions au minimum une perte de 30% si celle-ci est utilisée sous forme d'hydrogène. Les technologies de rupture, comme les électrolyseurs à haute température, pourraient améliorer ces performances tout en réduisant l'empreinte matière, mais cela signifie qu'il est préférable d'utiliser l'électricité à l'hydrogène lorsque cela est possible.
- **Limiter la consommation d'eau** : La production d'1 tonne d'hydrogène nécessite environ 9 tonnes d'eau. Bien que cette demande soit faible par rapport à d'autres usages industriels, elle peut poser des problèmes dans les régions touchées par le stress hydrique.
- **Renforcer les capacités énergétiques** : Produire de l'hydrogène à grande échelle nécessite une augmentation significative de la production électrique décarbonée. En France, où l'énergie nucléaire domine, cela pourrait constituer un atout. Mais se pose alors la question de la position de la France dans cette production d'hydrogène : au vu des demandes énergétiques de nos voisins européens et de leur incapacité à produire de l'hydrogène bas carbone, sommes-nous en voie et en mesure de devenir exportateurs de cette ressource?

L'électrolyse n'étant pas encore une technologie mature, il est encore difficile de se projeter sur les capacités réelles de production d'hydrogène, d'autant que son stockage et son transport posent également des problèmes puisqu'il s'agit

d'un gaz très volumineux par rapport à la quantité d'énergie qu'il véhicule.

D'autre part, l'électrolyseur nécessite des métaux rares, dont l'approvisionnement pose des problèmes éthiques et géopolitiques à cause de l'exploitation minière déjà en tension pour l'électrification des véhicules et la fabrication de matériaux électroniques. L'expansion incontrôlée de la filière hydrogène peut donc aggraver la crise environnementale si l'on ne se concentre que sur l'aspect CO₂, ce que nous avons pris soin d'éviter.

3. Nos conclusions sur l'utilisation de l'hydrogène dans les différents secteurs

Pour commencer, nous avons pris conscience que le recours à l'hydrogène induira une augmentation des coûts dans les secteurs concernés. Le raisonnement économique est simple : si l'hydrogène était moins cher et aussi pratique que le gaz ou le pétrole, nous y aurions déjà recours. A revenu égal, l'utilisation de l'hydrogène entraîne nécessairement une hausse des coûts et donc une baisse du pouvoir d'achat pour la société, ce qui est rarement évoqué lorsqu'on parle d'hydrogène et plus globalement de transition énergétique. Si les ménages les plus aisés sauront s'y adapter, l'accompagnement des plus précaires est essentiel pour assurer une transition de l'ensemble de la société, collectivement.

Nous tenons aussi à préciser que, dans notre définition, l'hydrogène bas-carbone correspond à un hydrogène produit grâce à des électrolyseurs et à une électricité renouvelable ou nucléaire, il s'agit donc des hydrogènes vert et rose. L'hydrogène bleu, produit grâce à du gaz naturel associé à un système de capture et stockage du carbone, est une solution que nous recommandons de ne pas développer. En effet, cela ne permettra pas de sortir de notre dépendance aux énergies fossiles, tout en immobilisant des capitaux pour 20 ou 25 ans alors qu'ils pourraient être investis dans de l'hydrogène vert ou rose.

Toutes ces contraintes - les objectifs de développement durable, la sobriété, la priorité à l'électrification, l'augmentation des prix, la non utilisation d'hydrogène bleu - nous ont conduits à prioriser les usages, dans le but d'allouer l'hydrogène aux secteurs qui en auront réellement besoin.

En premier lieu, nous préconisons d'allouer prioritairement l'hydrogène aux industries lourdes, en particulier la sidérurgie et la chimie. C'est dans ces secteurs que l'hydrogène est le plus pertinent pour diminuer nos émissions nationales de gaz à effet de serre. C'est aussi dans ce secteur que les opportunités économiques amenées par l'hydrogène sont les plus intéressantes en termes d'emploi, de réindustrialisation et de création de valeur.

Les mobilités routières lourdes pourraient aussi avoir accès à l'hydrogène pour les trajets réguliers et de longues distances. Cela concerne cependant une petite partie du parc actuel de camions et non pas l'intégralité des véhicules, la majorité du fret routier pouvant être électrifié. Mais, avant d'envisager l'hydrogène et les camions à batteries, la meilleure solution reste le report modal vers le fret ferroviaire pour décarboner le transport de marchandises lorsque

		Potentiel H ₂ bas-carbone en 2030 : borne haute (MtH ₂)	Intensité décarbonante de l'H ₂ bas-carbone (tCO ₂ e / tH ₂)	Potentiel de réduction des émissions en 2030 ¹ (MtCO ₂ e)
Industrie	Production d'ammoniac	5	12,5	60
	Production de méthanol	10	10	100
	Acier : DRI à l'H ₂	3	24	75

Source : Carbone 4 - Etude Hydrogene

Ensuite, le transport maritime de longue distance nous apparaît comme la mobilité dont l'accès à l'hydrogène est prioritaire. Dans ce secteur, l'hydrogène sera très probablement utilisé sous la forme de e-carburants (cf.* « décarboner le transport maritime » en bas de page 5) et non pas directement sous forme gazeuse ou liquide. L'utilisation de l'hydrogène est nécessaire car le transport maritime longue-distance n'est pas électrisable alors même que le transport de marchandises bénéficie au plus grand nombre et est vital pour l'économie.

Les e-fuels, dont la fabrication implique de la production d'hydrogène, sont aussi essentiels pour décarboner le secteur aérien. Cependant, cet usage n'est pas prioritaire par rapport au secteur maritime, car l'aviation est économiquement et socialement inégalitaire, bénéficiant à une frange restreinte de la population. C'est pour cela que nous recommandons la voie normative plutôt que celle des subventions pour effectuer la transition des aéroports et compagnies aériennes du kérosène vers les carburants d'aviation durables, ce qui constitue d'ailleurs la voie choisie au niveau européen.

cela est possible.

Concernant les usages que nous considérons comme non prioritaires, il y a tout d'abord l'équilibrage du réseau électrique : nous préconisons de ne pas utiliser l'hydrogène pour l'équilibrage quotidien du réseau via le power-to-gas-to-power, puisque des alternatives disposant de meilleurs rendements existent. Cependant, l'équilibrage réseau saisonnier consistant à stocker sous forme d'hydrogène le surplus de production d'électricité produit lors d'épisodes de fort ensoleillement est selon nous un sujet à approfondir.

La décarbonation du transport maritime de courte distance, pour sa part, n'a pas besoin de carburants de synthèse envisagées pour le fret maritime longue distance. En effet, d'autres solutions alternatives sont déployables et plus pertinentes, par exemple des technologies hybrides. L'hydrogène pourrait éventuellement s'intégrer à ces solutions, cette fois-ci sous forme gazeuse. On parle cependant d'un petit secteur aux émissions assez faibles par rapport au transport maritime longue distance, ce qui explique qu'il ne s'agisse pas d'un secteur à prioriser.

En matière de mobilité ferroviaire, l'utilisation de l'hydrogène pourrait se révéler pertinente pour certains cas spécifiques. Cependant, étant donné la part relativement faible du ferroviaire dans les émissions de gaz à effet de serre dans le secteur des transports en France, prioriser le développement et la mise en place de trains à hydrogène semble moins judicieux que d'autres applications. En outre, l'augmentation du trafic ferroviaire due au report modal encourage plutôt l'électrification des lignes, diminuant d'autant les besoins en trains à batteries qu'à hydrogène.

Enfin, nous recommandons de ne pas favoriser le développement de l'hydrogène pour la mobilité routière légère, c'est-à-dire les véhicules individuels et les taxis. En effet, une voiture à hydrogène a besoin de 2 à 3 fois plus d'électricité qu'une voiture à batteries pour parcourir la même distance.

Le développement de l'hydrogène dépend étroitement de la progression des infrastructures et du réseau électrique. Que ce soit pour répondre aux nouveaux besoins en électricité et en hydrogène de l'industrie lourde, ou pour répondre à la demande grandissante liée aux mobilités électriques, une tension sans précédent pèsera sur la demande en électricité. Ainsi, anticiper sur le dimensionnement du réseau électrique et les raccordements aux différents

usages est un enjeu majeur et un pré-requis à la mise en place de l'hydrogène.

De plus, le coût de l'électricité représentant 70% du coût de l'hydrogène produit par électrolyse, il nous paraît obligatoire de conduire une réflexion sur les tarifications de l'électricité, quand bien même notre rapport ne s'est pas concentré sur les enjeux économiques de l'hydrogène par manque de temps. Il est important de prendre en compte l'augmentation inévitable des coûts pour les politiques publiques, les industriels et les consommateurs. Toutefois, dans le cadre d'une décarbonation réussie, cette augmentation des coûts devrait être contrebalancée par la baisse des externalités négatives liées à l'utilisation des énergies fossiles.

Pour conclure, et pour répondre à la question qui nous a été posée, nous affirmons que c'est uniquement dans un contexte de sobriété et pour des usages ciblés que les technologies liées à l'hydrogène apparaissent pertinentes pour atteindre nos objectifs de développement durable.

[« décarboner le transport maritime » a fait l'objet d'un webinaire de centrale-energies le 16 janvier dernier et la vidéo en est au site centrale-energies.fr \(.....\). Voir en particulier de 41'07 à 57'10 pour les carburant alternatifs, bio-carburants e](#)*

