

Contribution à la stratégie de l'Union européenne pour l'hydrogène

La Société Française d'Énergie Nucléaire (SFEN) est une association scientifique à but non lucratif, qui rassemble 4 000 professionnels, ingénieurs, techniciens, chimistes, médecins, professeurs, et étudiants, des sites industriels et des organismes de recherche nucléaire français. La SFEN est un lieu d'échanges pour celles et ceux qui s'intéressent à l'énergie nucléaire et à ses applications. Elle est membre fondateur de l'European Nuclear Society (ENS).

POSITION DE LA SFEN

L'énergie nucléaire fait partie des solutions pour la production d'hydrogène bas carbone

L'hydrogène est identifié par plusieurs organisations internationales comme **l'un des principaux vecteurs de la transition écologique**. Dans sa communication de 2018, l'Union européenne (UE) cite explicitement l'hydrogène comme l'une des cinq technologies clefs pour l'avenir énergétique du continent¹. Une position partagée par l'Agence internationale de l'énergie (AIE) et notamment par la voix de son directeur, Fatih Birol, qui affirme que « *le monde ne devrait pas manquer cette chance unique de faire de l'hydrogène un élément important de notre avenir énergétique propre et sûr* ».

Cette année, l'Europe a décidé d'accélérer son ambition en matière d'hydrogène bas carbone. Le 10 mars 2020, à Bruxelles, **la Commission européenne a présenté une stratégie industrielle** prévoyant le lancement d'une alliance destinée à favoriser l'émergence d'une filière européenne de l'hydrogène vert. Dans cette perspective, la Commission prépare une communication sur la stratégie hydrogène de l'UE.

La France affiche de fortes ambitions en matière d'hydrogène dans sa feuille de route énergétique, la Programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE), publiée en avril 2020. L'hydrogène est également identifié comme un vecteur clé de la transition énergétique nationale dans la Stratégie nationale bas carbone (SNBC), adoptée cette année en même temps que la PPE.

Néanmoins pour pouvoir être réellement efficace dans la lutte contre le changement climatique, **l'hydrogène doit être produit à partir de sources elles-mêmes peu carbonées** (nucléaire, énergies renouvelables (ENR) ou fossiles et CCS). Dans cette

¹ A Clean Planet for all A European strategic long-term vision for a prosperous, modern, competitive and climate neutral economy COM/2018/773 final

perspective, l'énergie nucléaire peut devenir un véritable atout dans la production d'un hydrogène bas carbone à l'échelle du continent.

RÉSUMÉ

1. Pour être un atout dans la transition énergétique, l'hydrogène devra être produit de manière peu carbonée. L'hydrogène est aujourd'hui produit essentiellement à partir d'énergies fossiles. Plusieurs solutions existent pour produire de l'hydrogène bas carbone : l'électrolyse de l'eau à partir de l'électricité bas carbone par exemple est une technologie mature industriellement et déployable dès aujourd'hui à grande échelle. La France, en particulier, peut s'appuyer sur un réseau électrique déjà quasiment décarboné pour développer une filière industrielle d'électrolyse performante.

2. Afin de caractériser l'hydrogène, il faut établir des critères clairs avec un vocabulaire simple. La méthode de l'Analyse du Cycle de Vie (ACV) sur l'ensemble de la chaîne de production (incluant la production d'électricité) apparaît comme la méthode scientifique la plus rigoureuse pour évaluer le bilan carbone de la production d'hydrogène comme des autres vecteurs énergétiques. A ce titre, parler d'hydrogène « bas carbone », avec un seuil d'émissions de CO₂/kgH₂, est la définition la plus simple, pertinente, et efficace, en comparaison à une caractérisation sur la base de couleurs, censées représenter différentes chaînes de production.

3. L'hydrogène produit par électrolyse, avec un approvisionnement sur le marché de de l'électricité en base, nucléaire et renouvelables, sera la plus compétitive par rapport au procédé de vaporeformage du méthane. Ce procédé permettra de plus son utilisation près des lieux de consommation industrielle, en limitant ainsi les émissions de CO₂ liées au transport de l'hydrogène.

4. L'UE doit soutenir à la fois la création de filières et la R&D. L'UE, dans son ambition de faire de l'hydrogène l'un des cinq piliers de la transition énergétique, doit à la fois accompagner la création de filières et apporter son soutien à la R&D pour toutes les solutions dans ce domaine, y compris celles qui reposent sur de nouvelles générations de réacteurs nucléaires. Cette stratégie lui permettra de maintenir son leadership dans la concurrence internationale.

Préambule

L'ensemble des institutions estiment que l'hydrogène bas carbone pourra jouer un rôle important pour atteindre les objectifs de neutralité carbone :

- Dans l'immédiat, il permettra de décarboner l'hydrogène industriel (le premier usage de l'hydrogène actuellement dans le monde), qui est produit à base d'énergies fossiles, très émettrices de CO₂.

- Dans un second temps, il pourra être un vecteur de décarbonation pour d'autres usages existants, comme le transport lourd (de manière très complémentaire aux solutions électriques).
- Enfin le vecteur hydrogène peut être envisagé pour contribuer à des solutions de stockage inter-saisonnier et participer à l'interconnexion des réseaux énergétiques (Power to X, X=power, gas, fuel, chemical) dans des mix électriques comportant une part importante d'énergies renouvelables variables.

1- Pour être un atout dans la transition énergétique, l'hydrogène devra être produit de manière peu carbonée

L'hydrogène consommé aujourd'hui est fortement carboné. Actuellement, la production mondiale d'hydrogène se fait pour 96 %² à base de combustibles fossiles (reformage de gaz, gazéification de charbon, etc.) Elle conduit à l'émission d'environ 8 à 13 tonnes de CO₂ par tonne d'hydrogène produite. Au niveau mondial ce sont environ 830 millions de tonnes de dioxyde de carbone par an, soit l'équivalent des émissions de CO₂ du Royaume-Uni et de l'Indonésie réunis, ou encore des émissions du secteur aérien³. En France, la production d'hydrogène est responsable de l'émission de 11,5 Mt de CO₂, soit environ 3 % des émissions nationales⁴.

A court terme, décarboner notre consommation d'hydrogène industriel, principal l'usage de l'hydrogène, est l'un des objectifs prioritaires de la France : la PPE⁵ fixe un objectif de 10 % d'hydrogène décarboné dans l'industrie en 2023 et de 20 à 40 % dès 2028.

Afin d'atteindre ces objectifs, une des solutions est **l'électrolyse de l'eau, à base d'électricité bas carbone.** C'est une technologie mature et déployable à grande échelle, avec une chaîne industrielle française et/ou européenne, qui est freinée aujourd'hui par des coûts de production encore supérieurs à ceux des technologies à base d'énergies fossiles. La PPE prévoit dans ses trajectoires que le développement de l'électrolyse couplé à l'adaptation du parc de production d'électricité décarbonée permettrait d'éviter l'émission annuelle en France d'au moins 5 millions de tonnes de CO₂ d'ici 2035.

La France peut s'appuyer sur **son électricité bas carbone à 93 %⁶** grâce au nucléaire et aux renouvelables, pour développer une filière performante de production d'hydrogène bas carbone par électrolyse.

² AFHYPAC « Production et consommation d'hydrogène aujourd'hui », février 2016, Paris

³ IEA (2019), The Future of Hydrogen, IEA, Paris

⁴ MTES

⁵ PPE mars 2020

⁶ RTE bilan 2019

2 - Afin de caractériser l'hydrogène, il faut établir des critères clairs avec un vocabulaire simple

La production d'hydrogène doit être elle-même bas carbone pour être un outil de décarbonation efficace.

Pour calculer les émissions de CO₂, **la méthode de référence reste l'ACV sur l'ensemble de la chaîne de production.** Elle a fait l'objet d'un consensus scientifique international ; elle est utilisée dans tous les secteurs pour calculer le bilan environnemental d'un service ou d'un produit. L'ACV est normalisée depuis de nombreuses années (normes ISO 14040 & 44).

Ce n'est donc pas uniquement le mode de production de l'électricité utilisée, mais bien **le bilan carbone du système électrique dans son ensemble qui doit être pris en compte.**

Il faut noter que **se sont développées récemment des classifications confuses** avec l'utilisation de couleurs pour qualifier différents process de production (hydrogène « vert », « bleu », « turquoise » en Allemagne et même « jaune » en Russie). Parler d'hydrogène « bas carbone » (ou *clean hydrogen*) en posant comme critère un seuil d'émissions de CO₂/kgH₂, apparaît comme plus simple, plus pertinent, et plus efficace au regard des objectifs de neutralité carbone.

3 - La solution d'électrolyse avec un approvisionnement sur le marché de l'électricité bas carbone en base (nucléaire et renouvelables) sera la plus compétitive par rapport au vaporeformage

Le développement massif de l'hydrogène bas-carbone n'offrira pas les mêmes opportunités selon son bilan économique complet (y compris l'aval) et son efficacité à réduire les émissions, par rapport aux solutions alternatives.

- **A court terme, l'objectif est la compétitivité par rapport à la technologie de vaporeformage du méthane issu du gaz naturel**

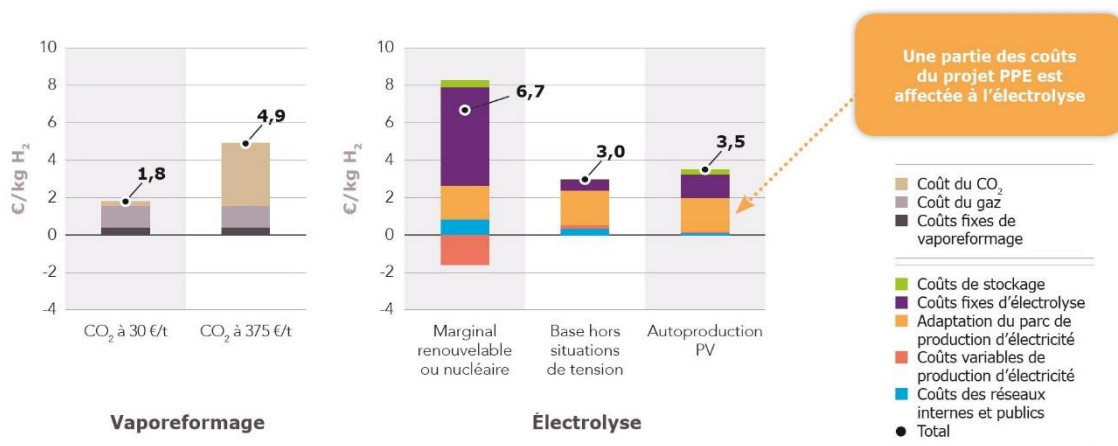
Dans les prochaines années, la principale opportunité de développement pour l'hydrogène bas carbone restera sa substitution à l'hydrogène produit actuellement par les unités de vaporeformage du méthane, lesquelles représentent en France 40 % de la production d'hydrogène et des émissions de CO₂ de l'ordre de 4 Mt CO₂/an. Cette première brique sera clef pour la constitution d'une filière nationale de production d'hydrogène bas carbone, et le développement des applications de l'hydrogène bas carbone vers d'autres usages dans le futur (ex : transports lourds).

D'après RTE⁷, la production par électrolyseur a un coût de revient entre 3 et 7 €/kgH₂⁸, contre moins de 2€/kg avec le procédé de vaporeformage du méthane, aux conditions économiques actuelles et hors coût de logistique aval pour le transport et le stockage.

Ce différentiel est amené à se réduire à l'avenir sous l'effet de la baisse des coûts des électrolyseurs, liée au déploiement à plus grande échelle au niveau mondial d'unités de grandes tailles. Le coût complet de production par électrolyse bas carbone dépend aussi beaucoup de la façon dont fonctionneront les électrolyseurs.

- Le coût de production le moins cher est atteint avec un approvisionnement sur le marché de l'électricité en base

Dans son étude en janvier 2020, RTE explore et compare les coûts de plusieurs modes opératoires pour les électrolyseurs. Les résultats de l'étude montrent que la production à partir de l'électricité de base (hors période de tension) est la plus avantageuse (3€/kgH₂), en particulier par rapport à l'approvisionnement sur le marché en période de surplus renouvelable ou nucléaire (6,7€/kgH₂).



Source : RTE

Le fonctionnement en période d'excédents (prix bas de l'électricité) conduit à des facteurs de charge faibles pour les électrolyseurs, et nécessite de déployer rapidement une très grande capacité d'électrolyseurs, au point de poser une question de faisabilité. Aussi, il présente des enjeux importants pour l'aval de la chaîne qui doit trouver les solutions pour assurer la continuité de son approvisionnement en dehors des périodes de production (ex : stockage).

La solution avec électricité en base permet d'atteindre des facteurs de charge significatifs pour les électrolyseurs (entre 3000 et 6000 heures/an). Aussi, elle permet de répartir, du fait de la disponibilité de l'électricité sur tout le territoire, les électrolyseurs

⁷ RTE « la transition vers un hydrogène bas carbone : atouts et enjeux pour le système électrique à l'horizon 2030-2035* »

⁸ RTE

près des lieux de consommation industrielle : ceci permet d'économiser sur la chaîne logistique associée à l'hydrogène vapo-réformé. Enfin, elle offre des possibilités de services systèmes (effacement) lors des périodes de tension.

Concernant le troisième mode opératoire (production d'hydrogène en autoproduction à partir de solaire PV, il faut rappeler qu'un schéma d'incitation qui privilégierait **une liaison physique directe conduirait à des sous optimisations croissantes** avec la pénétration des renouvelables dans le système électrique (surdimensionnement de l'électrolyseur en raison de l'intermittence des ENR, perte pour le réseau de services systèmes ou d'effacement) ainsi qu'une **non prise en charge économique des coûts systèmes d'équilibrage du réseau**.

A noter : RTE avertit dans sa note que le développement de l'électrolyse bas carbone ne dépendra pas seulement du coût des électrolyseurs et du mode opératoire mais aussi du soutien public et du régime de taxation.

4- Le développement de la filière de production d'hydrogène bas carbone nécessite un soutien fort à la fois au niveau français et européen

On a vu qu'aujourd'hui la filière de production par électrolyse n'est pas encore compétitive par rapport à la filière par vaporeformage : elle aura besoin dans les prochaines années d'un soutien pour contribuer à l'atteinte des objectifs fixés par la PPE, le temps de gagner en compétitivité. La massification de la production d'hydrogène bas carbone ne pourra avoir lieu sans une aide provisoire, qui doit permettre, entre autres, l'installation de grandes capacités d'électrolyse près des lieux de consommation. En France, la PPE prévoit un soutien public de 50 millions d'euros/an au développement de l'hydrogène décarboné. Plusieurs territoires apportent également leur soutien au développement de solutions hydrogènes bas carbone.

Au-delà, si la filière traditionnelle d'hydrolyse arrive à maturité industrielle, d'autres filières complémentaires peuvent être développées dans le futur pour améliorer l'efficacité du procédé : c'est le cas en particulier des procédés d'électrolyse haute température (EHT) réalisés entre 700 °C et 800 °C. Une partie de l'énergie nécessaire à la réaction est apportée par de la chaleur, sous forme de vapeur d'eau, qui peut être produite, par exemple, par un réacteur nucléaire.

De nombreux pays conduisent des programmes de recherche pour améliorer la production d'hydrogène avec des réacteurs nucléaires. Aux Etats-Unis, des projets pilotes ont été lancés par Nuscale pour produire de l'hydrogène bas carbone à l'aide des Small Modular Reactor (SMR ou réacteurs modulaires de petite taille), mais aussi par Terrestrial Energy à l'aide de son réacteur à sel fondu intégré (IMSR). La Chine étudie les réacteurs à haute température refroidis au gaz (HTGR) tant pour les applications électrogènes que pour produire, soit de l'hydrogène propre, soit de la chaleur industrielle. Le Japon redémarre son réacteur HTTR qui doit permettre de démontrer un

couplage entre réacteur nucléaire et installation de production d'hydrogène. L'UE et la France doivent **soutenir l'investissement en recherche et développement dans ces nouveaux domaines.**

Conclusion

L'hydrogène, produit par électrolyse à partir d'électricité bas carbone, est une technologie clef pour atteindre la neutralité carbone en 2050, et nécessitera des systèmes électriques combinant à la fois nucléaire et renouvelables.

Dans son scénario EUCO30, la Commission prévoit, au-delà de 2050, une hausse du recours au vecteur hydrogène, lequel pourra même nécessiter, au vu des quantités à produire, une accélération des investissements dans de nouveaux moyens nucléaires.

Enfin, il est important de lier, au niveau de l'UE, la production d'hydrogène avec la question de notre indépendance énergétique. **Faire reposer le mix énergétique européen futur sur des importations élevées d'hydrogène peut créer de nouvelles dépendances, alors que notre stratégie bas carbone doit permettre d'affranchir l'Europe de sa dépendance aux hydrocarbures fossiles.**

Le développement de la production d'électricité bas carbone peut répondre à cet enjeu de deux façons complémentaires : d'une part, en apportant la ressource pour produire l'hydrogène ; d'autre part, via l'électrification des usages (mobilité, chauffage), car l'usage de l'électricité comme énergie finale, sans passer par un vecteur énergétique intermédiaire, est souvent le moyen le plus efficace de décarboner une économie.