

## Étude experts PNC

### L'HYDROGÈNE BAS-CARBONE DANS LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE - LA RÉALITÉ

Jean Fluchère

#### A. UN PROJET EUROPÉEN

L'union européenne s'est imposée des objectifs 2030 extrêmement ambitieux, avec une baisse de 55 % de ses émissions de Gaz à Effet de Serre (GES) par rapport à 1990, puis une neutralité carbone en 2050. Pour cela elle privilie, de manière inconsidérée, un développement massif des énergies renouvelables, électriques intermittentes en particulier (ENRi), avec une compensation présentée comme transitoire de cette intermittence par le méthane appelé joliment gaz naturel. Ce dernier devrait être remplacé progressivement par un stockage de masse d'électricité, essentiellement via le vecteur hydrogène bas-carbone.

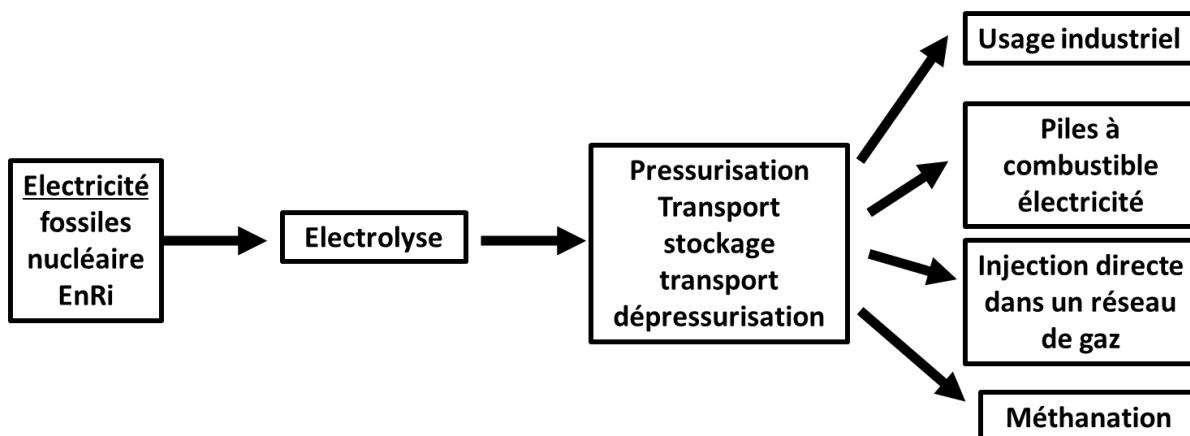
L'Europe vient ainsi de mettre en place des financements colossaux, à engager très rapidement, sous la pression de pays hostiles au nucléaire, pour l'élargissement des usages de l'hydrogène bas carbone comme vecteur énergétique et stockage de masse d'électricité. Il devient un élément clé de tous programmes nationaux faisant appel à une contribution massive des électricités intermittentes, un nouveau Graal de la transition énergétique.

#### B. LA FRANCE ET LE VECTEUR HYDROGÈNE

Le gouvernement français envisage à son tour un développement très rapide des énergies renouvelables voire, pour certains, un mix 100 % EnR en 2050, option que PNC-France estime totalement déraisonnable car notre pays bénéficie d'une électricité déjà très décarbonée.

La France produit 0.9 millions de tonnes de H<sub>2</sub> par an, pour l'industrie et l'agriculture essentiellement (Europe 10 et monde 100 environ). Sa production par vaporeformage du méthane émet environ 10 tonnes CO<sub>2</sub>/tonne H<sub>2</sub>, plus de 2 % de nos émissions totales. Elle vient, à la suite de l'Allemagne, d'annoncer l'engagement d'un programme massif de 7,2 milliards d'ici 2030 sur les usages de l'hydrogène bas carbone, dont 2 milliards dans le cadre du plan de relance en 2021 et 2022. Pour quel usage ? Pour produire une électricité non compétitive par rapport au mix actuel ? L'importance de l'engagement est-il justifié en regard de nos objectifs climatiques ?

Comme souvent quand on observe les évolutions technologiques, l'hydrogène vecteur d'énergie est une vieille connaissance, et il faut comprendre pourquoi il ne s'est encore développé que dans des technologies captives. Il faut rappeler que ce n'est pas une énergie mais un vecteur énergétique, qu'il en faut beaucoup pour le produire, et cependant qu'on en perd beaucoup pour l'utiliser. Le cycle hydrogène bas carbone est complexe :



Des conclusions immédiates :

- Par rapport à un usage direct du vecteur électricité, il faut surinvestir dans trois ou quatre technologies successives, d'où un coût élevé,
- Fatalité des processus complexes, les pertes sont considérables, pouvant s'élever à 70/75 %,
- Les filières de production d'hydrogène seront-elles réellement décarbonées ? Le risque de voir apparaître un hydrogène plus gris que bas carbone, pour longtemps, est grand, ouvrant ainsi la voie au gaz naturel. Les discussions autour de la taxonomie européenne en sont la démonstration.

Les projections à 2050 montrent, logiquement, que la "stratégie" européenne a des limites évidentes en raison de l'intermittence des productions électriques renouvelables. Elle aura pour conséquence, un fonctionnement haché des électrolyseurs et techniques connexes, avec un pourcentage d'utilisation faible.

Quand les techniques de production de cet hydrogène bas carbone seront-elles matures ? Seront-elles économiquement supportables, alors que le prix de l'électricité s'envole déjà pour financer les électricités intermittentes ? Seront-elles réellement aptes à réduire significativement les émissions actuelles de CO<sub>2</sub> ? Tous les risques induits ont-ils été évalués ?

Si la décarbonation de l'hydrogène industriel et celle des transports lourds peuvent se justifier, à condition que son coût de production soit drastiquement réduit, PNC s'inquiète d'une nouvelle mode, après celles des bioénergies et des batteries, qui ont depuis montré leurs limites. Comment gérer une civilisation très électrifiée (les projections mondiales annoncent une part de l'électricité de 65 à 75 % dans la consommation finale d'énergie), qui résulte inéluctablement de l'interdiction de combustibles fossiles qui couvrent encore 85 % des besoins. La garantie de fourniture d'électricité pourra-t-elle reposer sur la distribution d'un hydrogène bas carbone produit aléatoirement, stocké et véhiculé en très grandes quantités. C'est un vecteur puissant mais présentant des risques évidents.

Dans cette perspective, bien que sans besoin d'un développement massif de la production d'hydrogène sur son territoire, la France bénéficie d'une bonne R&D, d'une expérience considérable dans la production de gaz, d'acteurs dans le domaine ferroviaire, d'industriels des électrolyseurs et des piles à combustible. Créer une industrie orientée vers l'exportation et assise sur une production d'électricité compétitive, basée sur un mix électrique français déjà décarboné, fait partie des stratégies envisageables, si la recherche de compétitivité l'emportait sur la simple chasse aux subventions.

## C. L'HYDROGÈNE BAS CARBONE : DONNÉES FACTUELLES

L'H<sub>2</sub> n'existe pas à l'état naturel. C'est un vecteur énergétique qui nécessite une source d'énergie pour sa fabrication. Il est fabriqué à partir de molécules comme le méthane ou l'eau. Actuellement plus de 99 % de l'hydrogène est carboné car produit à partir du vaporeformage du méthane. Il est utilisé pour la désulfuration des pétroles, la fabrication d'engrais et la réduction des fontes dans la métallurgie.

- Inconvénient : sa fabrication émet **10 tonnes de CO<sub>2</sub> pour une tonne d'H<sub>2</sub>**.
- Avantage : Son **coût est de 1,5 €/kg**, hors captage et stockage du CO<sub>2</sub>, non opérationnel industriellement.

75 millions de tonnes d'H<sub>2</sub> fossile sont produits annuellement dans le monde, et les émissions de CO<sub>2</sub> correspondantes représentent **2 % des émissions mondiales de GES**.

La production **d'H<sub>2</sub> bas carbone** devra être réalisée par électrolyse **à partir d'une électricité décarbonée** grâce à des électrolyseurs industriels encore coûteux. Leur rendement est de 60 à 70 % quand ils fonctionnent à puissance constante, et l'électricité absorbée représente près de 50 % du coût de l'H<sub>2</sub> produit. **Son coût est environ 5 fois supérieur à celui de l'H<sub>2</sub> carboné avec les moyens actuels.**

### 1. Les usages potentiels de l'H<sub>2</sub> au service de la Transition Énergétique et leur intérêt.

L'objectif de la Transition Énergétique est d'éradiquer les émissions de CO<sub>2</sub>. L'hydrogène peut y contribuer, mais il doit être très bas-carbone et produire une électricité en substitution des sources fossiles. Son coût

doit être réduit considérablement pour concurrencer le vaporeformage, ce qui devrait conduire à une production quasi continue.

Pour les usages futurs, l'électricité produite à partir de H<sub>2</sub> bas-carbone constitue une alternative à l'électricité décarbonée quand celle-ci ne peut pas facilement remplacer les énergies fossiles.

## **2. Substitution à l'H<sub>2</sub> fossile dans l'industrie :**

La substitution par de l'H<sub>2</sub> bas-carbone électrolytique permettrait **d'éviter autour de 2 % des émissions de CO<sub>2</sub> dans le monde ainsi qu'en France.**

Mais pour cela il faut que le prix de l'H<sub>2</sub> bas-carbone rejoigne celui de l'H<sub>2</sub> fossile taxe carbone incluse (actuellement moins de 1,5 €/kg hors taxe carbone), ce qui implique de développer un mode de production compétitif.

## **3. Prix de l'H<sub>2</sub> bas-carbone électrolytique**

Le coût de l'H<sub>2</sub> bas carbone dépend du coût de l'électricité et de celui des électrolyseurs. A ce jour les estimations à long terme vont de 5€/kg à 12 €/kg, ce qui montre le degré d'incertitude actuel.

Avec la seule technologie performante disponible actuellement, on ne peut espérer descendre sous **5 €/kg d'H<sub>2</sub> bas-carbone**, à condition d'utiliser une source d'électricité constante décarbonée à faible coût. Un fonctionnement haché des électrolyseurs adapté à une production intermittente conduirait à un coût nettement plus élevé (hors subventions très importantes) en raison d'un mauvais rendement des électrolyseurs.

## **4. Quelles utilisations de l'H<sub>2</sub> en France ?**

Seules les utilisations dans la sidérurgie, le secteur agricole et pour la mobilité lourde (trains, bus, camions et bateaux) sont réellement envisageables vers la fin de la décennie, et seulement si l'hydrogène était réellement bas carbone. Des contraintes réglementaires et des dispositions de sécurité lourdes devraient cependant s'appliquer, a fortiori encore plus en zones urbaines denses.

## **5. Utilisation de l'H<sub>2</sub> produit par électrolyse pour le stockage d'énergie.**

On distingue trois procédés :

- **Le Power-to-Gas (PtG)** : l'H<sub>2</sub> bas carbone est injecté dans le **réseau de gaz naturel**, dans la limite de 5 à 10 %. Le rendement global, celui des électrolyseurs, est d'environ **60%**.
- **Le Power-to-Power (PtP)** : l'H<sub>2</sub> bas carbone est re-transformé en électricité dans des piles à combustible. Le rendement global du PtP est d'environ **35 %**.  
**Une variante du PtP** : l'H<sub>2</sub> bas carbone est transformé en méthane de synthèse puis en électricité. Son rendement est d'environ 25 %.

## **6. Les projets de recherche concernent donc essentiellement les outils permettant la réduction des coûts de production d'H<sub>2</sub> bas carbone.**

La stratégie hydrogène présentée par le gouvernement pèserait 7 milliards d'ici 2030 dont 3,4 milliards de 2021 à 2023 :

- priorité n°1: Décarboner l'hydrogène pour l'industrie – 1,84 mds €,
- priorité n°2: Développer une mobilité lourde à l'hydrogène bas carbone – 0,92 mds €,
- priorité n°3 Soutenir la R&D – 0,64 mds €,

le reliquat visant à la mise en place d'une production massive d'électrolyseurs (giga factory).

Le programme de R&D cible particulièrement

- L'électrolyse PEM
- L'électrolyse à Haute Température (HTE).
- La dissociation thermochimique de la vapeur d'eau
- Le "séparateur d'eau"
- La pyrolyse du méthane

## **7. Les problèmes de sécurité.**

L'H<sub>2</sub> est un gaz extrêmement inflammable. En cas de fuite dans l'air, selon les taux d'hydrogène, trois configurations accidentelles sont possibles : le « flash fire » thermique, la déflagration subsonique ou la détonation supersonique<sup>1</sup>. Or, la molécule d'hydrogène étant très ténue, ce gaz fragilise les aciers, fuit aisément et exige une grande rigueur dans la gestion de l'étanchéité des technologies mises en œuvre et de leur entretien. Quelle sera l'acceptabilité de stockages saisonniers, de réseaux de distribution de l'hydrogène à haute pression ou liquide, quelles limites seront apportées à l'usage en zones urbaines ?

## **8. Les coûts**

On ne souligne pas assez qu'en évaluant le coût de l'énergie finale, que ce soit via des utilisations thermiques (dans le réseau de gaz) ou électriques, il devra intégrer ceux de la production nucléaire ou intermittente, de l'électrolyse, du transport et du stockage sous pression de l'hydrogène pour desservir l'ensemble du territoire, et de sa transformation finale en gaz de synthèse ou électricité.

Il y a donc empilement d'investissements : production d'énergie primaire (éolien et solaire par exemple), électrolyseurs, compression et décompression de l'hydrogène, transports, stockages (y compris saisonniers), transformation en gaz de synthèse (méthanation) ou électricité (piles à combustible).

## **9. Stratégie de l'UE et de la France.**

L'UE veut consacrer 30 % du plan de relance consacré à la transition énergétique à la production d'hydrogène bas-carbone, car **la Commission européenne considérant que le recours aux EnRi est la seule option pertinente, il faut y adjoindre une solution de stockage**. La France, initialement peu favorable à la voie hydrogène, a soudainement présenté un plan de 7 milliards dans le cadre du plan de relance.

PNC-France s'interroge sur la solidité d'un programme présenté dans l'urgence, avec un démarrage qu'on pourrait qualifier de foudroyant. Mais PNC-France observe que des entreprises et centres de recherche français disposent de compétences solides en matière de gestion des gaz, ont pris de l'avance dans ce domaine, par exemple en développant des trains à hydrogène qui sont déjà sur le marché, et en ayant développé une R&D fondamentale et technologique solide. La France pourrait ainsi développer une industrie de l'hydrogène à l'exportation, cohérente avec l'intention affichée de réindustrialiser le pays, et s'appuyer sur une électricité nucléaire piloteable pour produire un hydrogène compétitif.

Le développement de la filière hydrogène pour stocker les surplus de production d'électricité par les énergies renouvelables intermittentes - une issue envisagée par les pays qui ont choisi d'abandonner les moyens de production décarbonés et pilotables tel le nucléaire- conduira inéluctablement à un coût très élevé de l'électricité en Europe. C'est à l'évidence une situation qui sera très pénalisante pour la compétitivité de l'industrie européenne dans un marché mondialisé, appelé à s'appuyer de plus en plus sur l'électricité pour la sauvegarde du climat.

---

<sup>1</sup> Dans l'air ambiant le régime de « flash-fire » est obtenu pour des concentrations d'hydrogène allant de 4 à 8 % alors que la déflagration sera atteinte à partir de 8 % et la détonation pourra, dans certaines configurations se produire à partir de 11 %