

## Compte-rendu du séminaire « Le rôle de l'hydrogène dans la transition énergétique »

Telman Azarmahd\*

@ 93053

*Cet article est proposé par le collectif des FEL-France, qui représente la branche française des Future Energy Leaders, programme du Conseil Mondial de l'Énergie dont l'objectif est de rassembler des jeunes professionnels de l'énergie engagés ensemble dans les enjeux de la transition énergétique. Il s'agit du compte-rendu de la table ronde « Objectifs et solutions, politiques et stratégies pour un développement durable de l'hydrogène » qui a terminé le séminaire consacré au rôle de l'hydrogène dans la transition énergétique organisé par le Conseil Français de l'Énergie le 22 novembre à Paris. Les participants à cette table ronde, modérée par Jean Eudes Moncomble (Conseil Français de l'Énergie) étaient : Olivier Appert (Académie des technologies), François Dassa (EDF), Didier Holleaux (ENGIE), François Kalaydjian (IFPEN).*

### **L'émergence de la filière hydrogène : un potentiel économique considérable... mais explosif!**

L'hydrogène est l'élément chimique le plus abondant de l'univers, et les hypothèses sur son potentiel en tant que vecteur énergétique datent de plusieurs siècles. Citons notamment le capitaine Nemo de Jules Verne qui, dans *L'Île mystérieuse* (1874), présageait déjà à l'époque que «[...] l'eau sera un jour employée comme combustible, que l'hydrogène et l'oxygène qui la constituent isolément ou séparément, fourniront une source de chaleur et de lumière inépuisable et d'une intensité que la houille ne saurait avoir [...]».

Si l'ère de l'hydrogène s'est progressivement accélérée depuis les chocs pétroliers des années 1970, son développement ne pourra se faire sans une logique favorisant l'émergence d'une filière industrielle française, portée par

la collaboration dynamique d'acteurs regroupant fabricants de composants, équipementiers ou énergéticiens, grands groupes, et PME/ETI, via des appels à projets et les marchés publics. *A fortiori* sur un terrain de bataille international où la concurrence avec les Allemands, les Américains, et surtout la Chine devient particulièrement rude.

Toutefois, il est fondamental de ne pas omettre une dimension encore trop souvent négligée pouvant entraver ce développement de la filière : celle de la sécurité. En effet, avant d'être un vecteur énergétique, l'hydrogène demeure un produit chimique aux plages d'explosivité très larges, avec de très forts effets détonants, et dont l'inflammation ne requière qu'une énergie extrêmement faible. Si ces contraintes de sécurité sont bien maîtrisées dans les milieux industriels, la démocratisation de ses usages au niveau du grand public nécessitera des précautions très importantes, et qui restent encore trop souvent reléguées au

\* EDF et FEL-France (cf. biographies p. 86-87).

second plan dans les études scientifiques sur l'hydrogène.

### **Blanc, gris, vert, rose, bleu, turquoise... au-delà de la « guerre des couleurs », une filière hydrogène à technologies de production multiples avant tout portée par la demande**

Si l'étude du World Energy Council [WEC, 2021] préconise de rationaliser le débat public sur les différentes nuances de couleur de l'hydrogène, celles-ci permettent avant tout de définir les technologies sous-jacentes à sa production. Au-delà de leur couleur d'attribution, les technologies de production se différencient par leurs coûts, mais aussi leur priorisation dans la taxonomie européenne qui conditionnera les investissements et la compétitivité de la filière, et qui régulera le marché. Pour autant, la « guerre des couleurs » présente le risque d'infantiliser le débat sur l'hydrogène, eu égard à certaines politiques énergétiques nationales qui accordent une place prépondérante au développement de certaines énergies dans leur transition. *L'Energiewende* allemande en est un exemple : le déploiement massif des énergies renouvelables variables et le retour concomitant de centrales à gaz ou au charbon risquent de freiner fortement l'électrification de son économie. Le pays n'aura alors que peu de marge de manœuvre pour produire sur place l'hydrogène décarboné dont il aura besoin, et risque de se voir contraint de l'importer. Or, des pays exportateurs tels que la Russie ou l'Algérie produiront l'hydrogène à partir de leurs ressources existantes : par exemple de l'hydrogène bleu produit à partir de méthane combiné à du captage et stockage de CO<sub>2</sub>, ou de l'hydrogène turquoise produit à partir de méthane couplé à de la pyrolyse et avec un système de captage de CO<sub>2</sub> solide. Ceci laisse un champ des possibles intéressant pour l'exportation vers l'Allemagne d'hydrogène décarboné produit à base d'électricité nucléaire en France (hydrogène rose). La bataille des couleurs prônée par certains lobbys ne doit alors pas entraver l'objectif final de ces politiques européennes, qui est de décarboner leur économie à moindre coût.

Du côté de la demande en hydrogène, celle-ci est aujourd'hui particulièrement émergente au sein des entreprises industrielles désireuses de s'approvisionner en hydrogène décarboné en substitution d'énergies fossiles, ainsi que dans le secteur des transports lourds. Cette demande est également portée par les collectivités territoriales : quatre des treize régions métropolitaines en France ont ainsi déjà passé des commandes de trains à hydrogène.

Une des particularités de cette demande globale est qu'elle manifeste aujourd'hui une volonté de transparence accrue des clients : ceux-ci ne sont pas uniquement sensibles au taux de CO<sub>2</sub> de l'hydrogène avec lequel ils s'approvisionnent, mais également à son mode de production. Les dispositifs de gestion des garanties d'origine mis en place sur le marché français permettent aujourd'hui de répondre à ces attentes. Si l'hydrogène vert, produit à base de renouvelables, reste le moyen privilégié de répondre à cette demande des clients, d'autres voies sont à explorer, et notamment celles de l'hydrogène blanc (naturellement présent dans le sol terrestre) mais aussi bleu qui restera également un levier à utiliser pour garantir le développement rapide des marchés, afin que des volumes d'hydrogène décarbonés soient disponibles rapidement.

### **Des investissements dans les infrastructures déterminants pour pérenniser la filière**

Au-delà des capacités énergétiques (électriques, gazières, ou autres) nécessaires à sa production, développer les marchés de l'hydrogène ira de pair avec les investissements dans des infrastructures essentielles à son transport ainsi qu'à son stockage, qui représenteront potentiellement près de la moitié de ses coûts complets. Au niveau du transport, le *blending* (possibilité de faire transiter de l'hydrogène dans des gazoducs existants dédiés au gaz naturel) ne semble pas une solution d'avenir viable. Ceci pose la question de l'arbitrage économique complexe à réaliser entre la construction de nouveaux hydrogénoducs et,

en parallèle, la gestion des gazoducs existants qui auront sans doute vocation à transporter moins de gaz naturel à l'avenir.

Au niveau du stockage, la France dispose, comme beaucoup de pays d'Europe, de cavités salines parfaitement adéquates au stockage d'hydrogène à des coûts raisonnables. L'exploitation de ces cavités sera l'un des facteurs permettant de créer des stocks tampons d'énergie, afin de pallier les problèmes de déséquilibre offre-demande créés par la variabilité d'énergies renouvelables telles que le solaire ou l'éolien, ou encore pour répondre aux besoins de stockage de gros volumes demandés par certains usages.

### **L'arbitrage compétitivité économique internationale versus souveraineté technologique est-il inévitable en Europe ?**

À l'horizon 2050, les ordres de grandeur des coûts complets de l'hydrogène oscillent entre 100 et 150 € par MWh, ce qui, dans l'étude du World Energy Council, équivaut au coût complet moyen de production de l'électricité. L'arbitrage économique est alors a priori sans appel : pour deux vecteurs énergétiques de coûts similaires tels que l'hydrogène et l'électricité, ce dernier a l'avantage de requérir près de quatre fois moins d'énergie primaire pour la production de 1 MWh d'énergie finale, notamment dans les usages de types moteurs électriques et piles à combustible. Ceci signifie que, toutes choses égales par ailleurs, l'électrification des usages restera encore, d'un point de vue économique, le levier optimal de décarbonation avant l'hydrogène, qui sera alors réservé à certains usages très spécifiques.

L'étude du World Energy Council montre par ailleurs que le coût de l'hydrogène produit à partir d'électrolyseurs sera sans doute divisé par quatre en 2050. Se pose néanmoins la question de la politique industrielle européenne : en effet, la localisation des unités d'électrolyse sera déterminante pour atteindre cette baisse de coûts. Consolider la politique industrielle

et le savoir-faire européen sur la technologie de l'électrolyse nécessitera alors d'accepter des surcoûts liés à la production d'un hydrogène « made in Europe ». Dans le cas contraire, obtenir un coût de l'hydrogène compétitif avec d'autres vecteurs énergétiques impliquera de délocaliser ces unités de production dans des pays à main-d'œuvre comparativement moins chère tels que la Chine. Le dilemme est alors complexe : faut-il privilégier notre souveraineté technologique européenne moyennant des coûts de production plus élevés, ou bien rendre à tout prix l'hydrogène économiquement compétitif en délocalisant nos moyens de production ?

### **La dimension sociale de l'hydrogène : un atout pour la réindustrialisation de l'Europe ?**

Si on suppose que le développement de la filière de l'hydrogène décarboné sera l'un des principaux inducteurs de la transition énergétique permettant à l'Europe son ambition de neutralité carbone en 2050 — actuellement impossible a priori en extrapolant les trajectoires actuelles — subsiste la question de la réindustrialisation, et donc des emplois. Une telle réindustrialisation qui passerait par l'hydrogène décarboné nécessitera un coût de production qui ne devra pas dépasser les 1,5 €/kg, qui est le coût de production de l'hydrogène gris aujourd'hui. Pour certaines industries (raffinage, pétrochimie, production d'engrais... et peut-être cimenteries et aciéries dans le futur) qui seront soumises à une concurrence internationale particulièrement rude dans les prochaines décennies, ce coût risque d'être rédhibitoire et risque de les faire péricliter, détruisant au passage une pléthore d'emplois. Il existe donc bel et bien un enjeu social lié au développement de la filière, notamment sur sa capacité à réindustrialiser et à créer de l'emploi.

Notons par ailleurs que l'originalité du développement de la filière hydrogène est de pénétrer le champ du citoyen, notamment via le secteur du transport et ses utilisateurs finaux. Dans le cas du transport terrestre, le

véhicule hybride doté d'une pile à combustible (permettant de transformer l'hydrogène stocké en électricité) et d'une batterie fait sans doute référence dans les esprits. Il demeure néanmoins un objet complexe tant au niveau de son mode de fonctionnement que dans son coût prohibitif pour le citoyen. Une alternative pourra être d'utiliser l'hydrogène comme carburant destiné à alimenter un moteur à combustion interne : à ce moment-là, l'hydrogène décarboné pourra être utilisé dans des véhicules « standards » où il pourra se substituer au gasoil ou à l'essence, avec une évolution à la marge dans la construction des moteurs et l'ajout d'un réservoir de stockage (dont le surcoût reste minimal comparativement à la technologie hybride pile à combustible/stockage). Ce type de système permet alors en théorie un déploiement de l'hydrogène plus aisément accessible au citoyen d'un point de vue financier. Il pourra également sauvegarder des emplois dans la filière automobile, voire même dans celle du transport fluvial ou maritime s'il se démocratise dans ces secteurs.

## Conclusion

L'étude du World Energy Council et les débats animés qui ont suivi sa présentation ont un double mérite. Tout d'abord, celui de constater — à travers des arguments scientifiques sur le plan technique, économique, et social — que l'ère de l'hydrogène est amorcée et que les investissements dans la filière se justifient par rapport à l'objectif de neutralité carbone de l'Europe à un horizon 2050. *A fortiori* dans une conjoncture où les perspectives de déploiement des moyens actuels (tant du côté de l'offre que de la demande) semblent à première vue insuffisantes pour atteindre les objectifs du Pacte vert dans moins de trois décennies.

En outre, les débats mettent en exergue un certain nombre de paramètres, pour lesquels les postures ne font pas l'unanimité, mais sur lesquels il sera impossible de faire l'impasse dans la politique européenne consistant à développer la filière hydrogène dans l'équation de la

transition énergétique, et ce indépendamment de sa « couleur ». En premier lieu, la question du coût de l'hydrogène décarboné, elle-même directement liée à celle de la compétitivité de l'Europe et à sa souveraineté technologique sur le plan international face à la Chine ou aux États-Unis. Ensuite, celle des infrastructures qui permettront son déploiement tant du côté de l'offre (hydrogénéoducs, installations de stockage...) que de la demande (moteurs à combustion interne adaptés ou piles à combustible pour le transport terrestre). S'ajoute à cela sa dimension sociale, notamment via la capacité de la filière à réindustrialiser le Vieux Continent et à créer des emplois pérennes. Enfin, la question de la sécurité de ses futurs utilisateurs dans la société civile, sur laquelle il sera impossible de transiger.

## RÉFÉRENCE

World Energy Council, 2021. Hydrogène à l'horizon : à vos marques, presque prêts, partez ?, <https://www.wec-france.org/les-publications/hydrogene-a-lhorizon-a-vos-marques-presque-prets-partez-2/>.