



L'hydrogène, une source d'énergie prometteuse

Cette source d'énergie sera-t-elle la panacée pour tous les usages à décarboner ?

Gérald Sanchis
Expert CIGRE

Introduction

Depuis quelques années l'hydrogène est considéré comme une source d'énergie incontournable pour atteindre la neutralité carbone d'ici 2050. Mais l'hydrogène va-t-il tenir ses promesses ? Est-il l'élément miraculeux que l'on nous présente ? Pourra-t-on compenser dans ses usages le bilan carbone de la production de ce gaz présent un peu partout dans l'univers, mais qui n'existe pratiquement pas à l'état naturel sur terre ? Dans ce dossier, vous trouverez une vision plus réaliste à travers le témoignage de chercheurs et d'industriels.

La France, comme beaucoup d'autres pays, fonde de grands espoirs sur l'hydrogène. En septembre 2020, l'Etat a publié son « plan de déploiement de l'hydrogène pour la transition énergétique » et affiché son soutien à la filière hydro-

gène bas-carbone, en accordant sept milliards d'euros d'ici 2030. Le plan a pour but de favoriser l'accélération de la décarbonation des secteurs de l'industrie et des transports, et concrètement, espère une économie de six millions de tonnes de CO₂ par an à partir de 2030.

Au niveau européen, la stratégie vise à installer au moins 6 GW d'électrolyseurs d'hydrogène bas carbone d'ici à 2024 et 40 GW d'ici à 2030. L'Allemagne ambitionne de devenir le leader mondial de l'hydrogène vert, c'est-à-dire produit à partir d'énergies renouvelables. Neuf

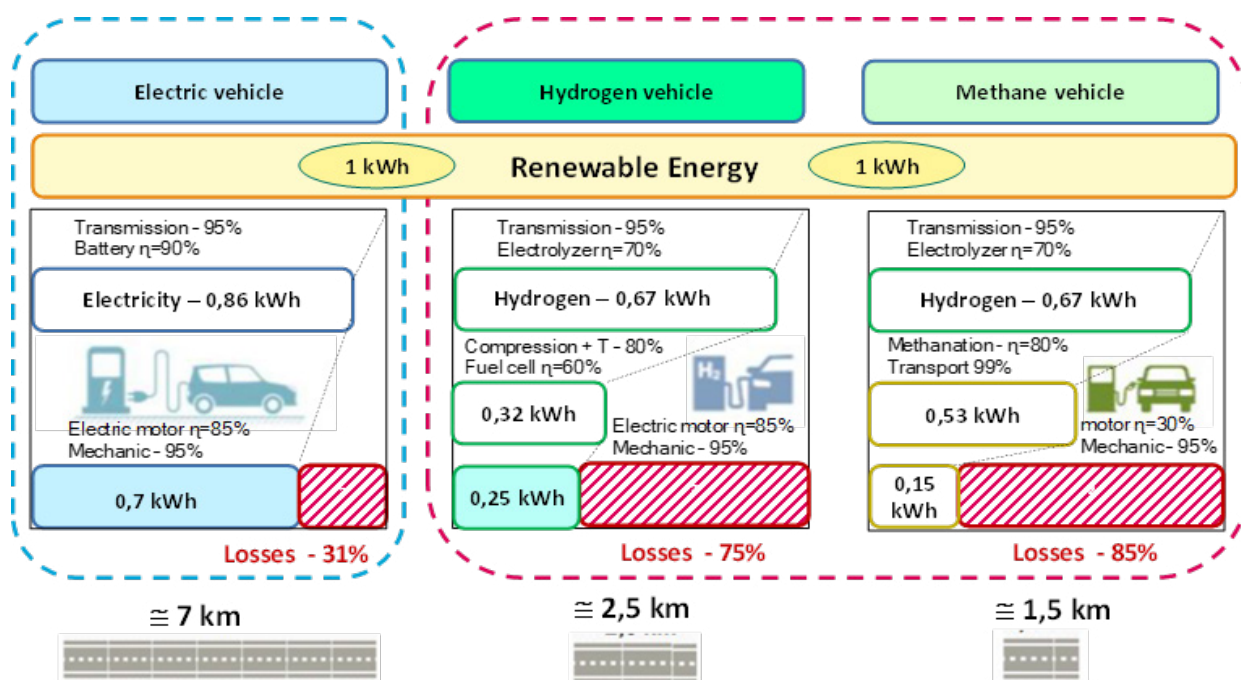


Figure 1 : Comparaison des rendements entre la batterie électrique, l'hydrogène et le méthane pour la propulsion d'un véhicule particulier (source CIGRE).

“ Pour une énergie électrique de un kWh, produite à partir d'énergie renouvelable par exemple, un véhicule pourrait parcourir 7 kilomètres s'il est équipé de batteries électriques. Cette distance se réduit à 2,5 kilomètres dans le cas d'utilisation de l'hydrogène. ”

milliards d'euros vont être investis dans ce pays d'ici 2030 pour atteindre une production de près de 5 GW.

Qu'attend-t-on de l'hydrogène ?

L'hydrogène sert à l'heure actuelle principalement dans les secteurs du raffinage pétrolier et de la chimie. La France utilise environ un million de tonnes par an d'hydrogène notamment pour réduire le taux de soufre des carburants, pour la synthèse de l'ammoniac dans la production d'engrais ainsi que dans l'industrie chimique. A l'échelle mondiale, la consommation actuelle est estimée à environ 70 millions de tonnes. Cette production, issue principalement

d'énergies fossiles, s'accompagne d'importantes émissions de gaz à effet de serre : au niveau mondial, environ 800 millions de tonnes de CO₂, sont à rapprocher des 37 milliards de tonnes de CO₂ issues de la combustion des énergies fossiles.

On attend de l'hydrogène qu'il remplace tout ou partie des carburants actuels à base d'énergies fossiles pour les transports de personnes et de biens par voies routières, ferroviaires, aériennes et maritimes.

Dans les transports, l'hydrogène sera en compétition avec d'autres solutions comme l'électricité délivrée par des batteries. Le Conseil international des

grands réseaux électriques (CIGRE) a publié une comparaison fort intéressante entre les performances des batteries, de l'hydrogène et du méthane pour le transport routier.

L'étude montre que pour une énergie électrique de un kWh, produite à partir d'énergie renouvelable par exemple, un véhicule pourrait parcourir 7 kilomètres s'il est équipé de batteries électriques. Cette distance se réduit à 2,5 kilomètres dans le cas d'utilisation d'hydrogène et 1,5 kilomètre dans le cas d'utilisation de méthane (figure 1).

Cette étude se concentre sur l'aspect énergétique. Par conséquent, elle ne tient pas compte du coût des véhicules dans ces résultats. Toutefois, les informations économiques communiquées actuellement par les constructeurs de ces types de véhicules ne donnent pas non plus un avantage à la propulsion à base d'hydrogène ou de méthane.

L'hydrogène est aussi une solution attendue pour stocker l'électricité produite à partir d'énergie renouvelable intermittente. Cet hydrogène est qualifié d' « hydrogène vert ».



From an energetic point of view		Electricity		Synthetic molecules	
		⚡	☢	☢	⚡
Transport	Passenger, light-duty	η ~ 70%* ✓	η ~ 15%-25%* ✗		
	Heavy-duty	✓	✓		
	Maritime, Aviation	✓ / ✗	✓		
Domestic Commercial	Heating	η ~ 100 - 350%** ✓	η ~ 25%-45% ✗		
	Feedstocks	#N/A	✓		
Industry	Heating	High-T ✓ Low-T ✓	High-T ✓ ✗		

Figure 2 : Pertinence d'utiliser l'hydrogène vert, ou directement l'électricité selon l'usage (source CIGRE).

●●● L'étude CIGRE apporte un éclairage sur les usages pertinents de l'hydrogène vert (figure 2).

Au-delà de la question de la production, se pose aussi celle du transport de l'hydrogène produit à partir d'énergie bas-carbone. Doit-il être consommé sur le lieu de production ou est-il pertinent et rentable

d'utiliser les infrastructures de gaz traditionnel pour transporter cet hydrogène sur de longues distances ? D'autre part, est-il plus pertinent de transporter des électrons plutôt que des molécules ?

A ces dernières questions, CIGRE donne une réponse nuancée. Si l'usage final requiert l'électricité, il s'avère plus rentable

d'utiliser les lignes électriques plutôt que les pipelines de gaz. Si l'usage final utilise directement l'hydrogène, les solutions sont comparables en termes de coût (figure 3).

Le mode de production de l'hydrogène envisagé à partir d'eau et d'électricité bas-carbone, issue d'énergie renouvelable ou nucléaire, présente des atouts pour atteindre la neutralité carbone à l'horizon 2050. Tous les secteurs de l'économie sont engagés dans une adaptation des sources d'énergie et, à cet égard, sa production à partir d'électricité prend une place privilégiée, car issue d'un mix énergétique très faiblement carboné.

Pour autant, la production d'hydrogène bas-carbone n'est pas encore au point. Les coûts de production restent élevés et l'utilisation de l'électricité renouvelable pour produire de l'hydrogène pose encore des questions. Sur ce point, la Commission européenne englobe maintenant dans le terme d'hydrogène bas-carbone l'énergie nucléaire en plus des énergies renouvelables, pour pouvoir produire d'ici 2030 les quantités d'hydrogène estimées nécessaires.

“ Est-il plus pertinent de transporter des électrons plutôt que des molécules ? ”

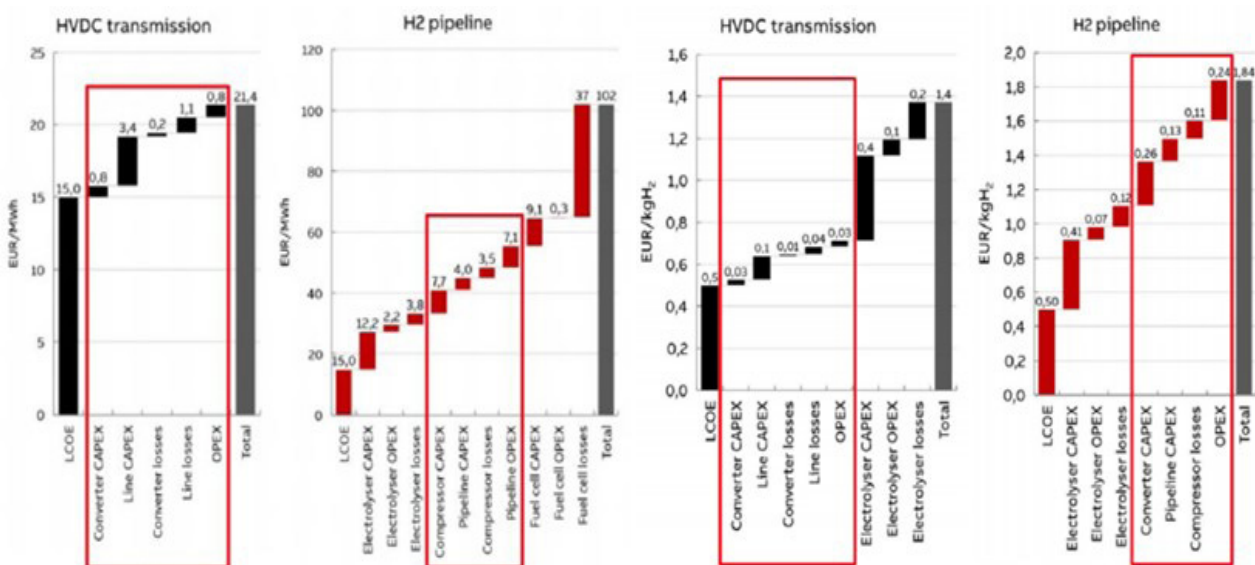


Figure 3 : Comparaison des coûts entre transport par lignes électriques et gazoducs – électricité usage final (2 graphes à gauche) – hydrogène usage final (2 graphes à droite) - (source CIGRE).

“L'électrolyse pourrait aussi être utilisée comme solution à la stabilité du système électrique. Toutefois, jusqu'en 2035, le stockage par hydrogène n'est pas indispensable en France pour gérer la variabilité des énergies renouvelables.”

Contenu du dossier

Ce dossier contient des témoignages d'universitaires et d'industriels.

Le premier article, rédigé par **Daniel Hissel**, professeur de l'université de Franche Comté, présente un tour d'horizon des questions posées actuellement par le développement de l'hydrogène en France. Les sujets abordés concernent la production d'hydrogène : les rendements, la typologie retenue pour qualifier l'hydrogène selon la source d'énergie utilisée, les performances d'une pile à combustible, la quantité d'électricité pour la production d'hydrogène en France, l'état actuel de la recherche en France et les progrès observés ces dernières années ainsi que l'impact sur l'emploi.

Dans le deuxième article, **Didier Dalmazzone**, professeur de l'Ecole nationale des techniques avancées, après une brève introduction sur l'histoire du développement de l'hydrogène, détaille les principes physiques et chimiques de production de l'hydrogène. Il aborde aussi la réaction inverse, c'est-à-dire la conversion énergétique de l'hydrogène avec l'utilisation de piles à combustible. On y trouve une présentation des différentes catégories de pile à combustible utilisées actuellement, ainsi que leurs caractéristiques principales.

Le troisième article précise l'impact que le développement massif de l'électrolyse pour produire de l'hydrogène bas-carbone pourrait avoir sur le système électrique français. **Marc Le Du**, **Mathilde Françon** et **Alberto Tejada**

de RTE présentent les résultats d'une étude récente sur les atouts et enjeux de l'électrolyse pour assurer la transition énergétique en France. L'électrolyse pourrait aussi être utilisée comme solution à la stabilité du système électrique. Toutefois, jusqu'en 2035, le stockage par hydrogène n'est pas indispensable pour gérer la variabilité des énergies renouvelables. Le système électrique devrait en effet encore disposer d'autres solutions de flexibilités. Au-delà, à l'horizon 2050, la question reste posée. Ces besoins de flexibilité dépendront alors notamment de la part atteinte par les énergies renouvelables intermittentes dans le mix de production.

Le quatrième article présente le cas d'une installation d'électrolyseurs raccordés directement au réseau du transport électrique, dans la région des Hauts de France. **Benoît Vantourout** décrit le projet en cours de la société H2V, près de Dunkerque.

Les articles suivants concernent le transport et l'acheminement de l'hydrogène.

L'auteur



Gérald Sanchis est Secrétaire général de la SEE et conseiller stratégique auprès du Président d'ENT-

SO-E, association européenne des gestionnaires de réseaux de transport d'électricité.

Membre sénior de l'IEEE et membre émérite du CIGRE

Marion Lacombe et **François Marin** présentent la vision du transporteur GRT-gaz sur l'intégration de l'hydrogène dans les infrastructures gazoducs en France et en Europe. **Laurent Allidières**, d'Air liquide précise les conditions à prendre en compte pour le conditionnement et le stockage de l'hydrogène.

Enfin, **Jean-Pierre Huet**, **Servan Lacire** et **Dominique Auverlot** présentent les résultats d'une étude inédite réalisée par Equilibre des Energies qui a évalué les besoins potentiels des transports routiers de marchandises utilisant l'hydrogène. Ils précisent l'écosystème des infrastructures à mettre en place aux horizons 2030 et 2050 pour répondre à ces besoins. ■

Les articles

L'hydrogène : quelques questions et déjà beaucoup de réponses	p.42
L'hydrogène, histoire d'une source d'énergie	p.48
Atouts et enjeux de l'électrolyse pour la transition énergétique	p.55
H2V59, un projet dunkerquois emblématique	p.63
Le développement de l'hydrogène : point de vue de GRTgaz	p.67
L'hydrogène source d'énergie : des applications aux solutions techniques	p.73
L'hydrogène dans le secteur du transport routier de marchandises	p.81