

Hydrogène, entre mythes et réalités

Par

Julien Deleuze

Vice President, Estin & Co

Les enjeux d'énergie et de climat occupent le débat économique, géopolitique et médiatique. Comme toujours, un travail d'analyse est indispensable pour faire le tri entre les bonnes idées et les « fausses bonnes idées ». Les enjeux liés à l'hydrogène, qui revient à la mode, n'échappent pas à la règle.

Aperçu des mythes et réalités en la matière.

Une « source d'énergie zéro émission » ?

Qui n'a pas entendu les caractéristiques élogieuses souvent utilisées pour faire référence à l'hydrogène ? Dans un contexte où nous faisons face à de sérieuses menaces concernant d'une part l'approvisionnement énergétique, et d'autre part le changement climatique causés par les émissions de CO₂, l'hydrogène est parfois présenté comme une « source d'énergie zéro émission », c'est-à-dire une solution évidente en apparence à ces deux problèmes.

L'hydrogène n'est pas une « source » d'énergie.

L'hydrogène (pour être précis, le dihydrogène H₂) n'existe pas en l'état dans la nature sous une forme déjà disponible et en quantité significative. Il faut donc le produire, à partir d'une véritable source d'énergie primaire. Rappelons que, à ce jour, la principale source d'énergie primaire utilisée pour la production d'hydrogène est d'origine fossile (du gaz principalement).

L'hydrogène n'est pas « zéro émission ».

Tout dépend de son mode de production (cf. tableau 1). La technologie principalement utilisée à l'heure actuelle, à partir de reformage de gaz, génère 11 tonnes de CO₂ pour 1 tonne d'hydrogène produit. C'est beaucoup. L'idée est plutôt de produire de l'hydrogène à partir d'électricité « bas-carbone » (en hydrolysant de l'eau), ce qui est nettement plus vertueux. Mais ce n'est pas « zéro émission » non plus. Pour produire 1 tonne d'hydrogène, cela correspond alors à une génération de 2,6 tonnes de CO₂ environ avec de l'électricité issue de panneaux solaires photovoltaïques ; 0,8 tonnes de CO₂ avec de l'éolien ; et 0,2 tonnes de CO₂ avec du nucléaire.

L'hydrogène dans « la mobilité propre »

Dans un pays comme la France, avec un mix électrique proche de 70% de nucléaire (donc à faible émission de CO₂), la principale source d'émissions directes de CO₂ provient du secteur du transport (cf. tableau 2). (Ce serait différent pour d'autres pays comme l'Allemagne dont le mix énergétique entraîne d'avantage d'émissions de CO₂ dans l'industrie ou la production d'électricité). *Il est donc tout à fait pertinent dans ce pays de s'attaquer en priorité à la décarbonation de ce secteur.*

Rappelons que les émissions de CO₂ dans le transport concernent la « mobilité » des personnes (voitures, bus au diesel, avions, trains, ...), mais également celle des marchandises (camions, bateaux, avions, trains, ...). En France où l'électricité est « bas-carbone », le train (électrique) est un moyen de transport « bas-carbone », et les priorités de décarbonation dans le transport (par l'hydrogène ou autres) concernent d'abord les voitures et les camions. Dans d'autres pays, où la production d'électricité est moins « bas-carbone », la décarbonation du train peut également être un enjeu.

Selon les estimations des experts, le développement au niveau mondial des véhicules à hydrogène toutes catégories confondues (voitures, camions, trains) pourrait connaître de fortes

- Tableau 1 -

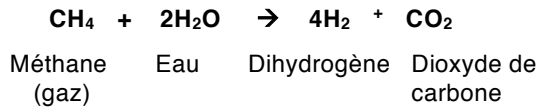
L'hydrogène n'est pas « zéro émission ». Tout dépend de son mode de production

Mode de production de dihydrogène

**Hydrogène
« Gris »**

**Actuellement $\geq 95\%$
de la production d'hydrogène
au niveau mondial**

- **A partir de Gaz (Méthane CH₄)**



- **Pour produire 1 tonne d'H₂**

- SMR ⁽¹⁾ :

11 tonnes of CO₂ ⁽²⁾

**Hydrogène
« Vert »**

**Actuellement $\leq 5\%$
de la production d'hydrogène
au niveau mondial**

- **A partir de l'électrolyse de l'eau, avec de l'électricité d'origine nucléaire / éolienne / solaire PV**



Eau Dihydrogène Dioxygène

- **Pour produire 1 tonne d'H₂**

- **Nucléaire : 0,2 tons of CO₂**
- **Eolien : 0,8 tons of CO₂**
- **Solaire PV : 2,6 tons of CO₂**

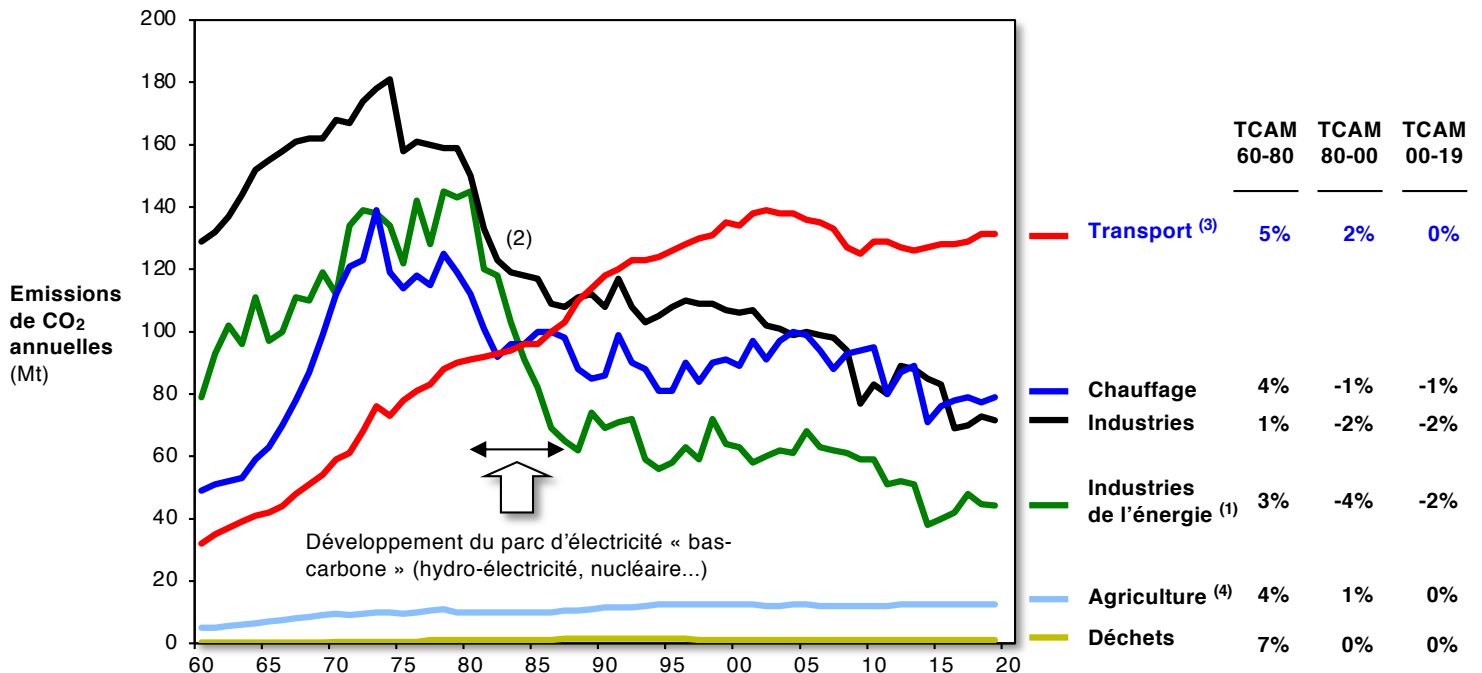
(1) Steam Methane Reformer / Vaporeformage de Méthane ; (2) La capture et le stockage de carbone (CCS : Carbone Capture and Storage) peut-être considéré ; hydrogène dit « bleu » dans ce cas

Sources : ADEME, analyses et estimations Estin & Co

- Tableau 2 -

**Dans un pays comme la France, la principale source d'émissions directes de CO₂
est le secteur du transport**

France – Hors CO₂ issu des importations – Million de tonnes – 1960-2019



(1) Principalement production d'électricité ; (2) Impact de la délocalisation dans d'autres pays manufacturiers ; (3) Principalement le transport routier (voitures, camions, utilitaires,...) ; (4) En ajoutant les émissions de méthane, l'agriculture représente 20-25% des émissions de gaz à effet de serre de la France ; Sources : CITEPA, analyses et estimations Estin & Co

croissances sur la prochaine décennie, à environ 40% par an. C'est une forte croissance, mais sur une base de départ inexistante.

Le développement des véhicules à hydrogène restera donc, au moins à l'horizon des 5 à 10 prochaines années, un phénomène de « diversification » plus que de « substitution » massive. Même dans les projections les plus optimistes, la part des véhicules à hydrogène produits annuellement vers 2030 pourrait rester bien inférieure à 5%. Une des raisons réside dans le rendement énergétique d'ensemble, entre la production d'électricité de départ et l'énergie mécanique restituée « à la roue » du véhicule. Ce rendement est estimé à 30% environ pour l'hydrogène, contre 75% environ pour une simple voiture électrique toutes choses égales par ailleurs.

Pour un producteur de réservoirs, il peut néanmoins y avoir un facteur d'attractivité additionnel. Compte tenu du fait que l'hydrogène est un gaz, il est nécessaire de développer pour des raisons de sécurité des réservoirs plus élaborés pour les véhicules automobiles. Ceci nécessite en général le recours plus important aux matériaux composites (cf. tableau 3), plus résistants que les matériaux plastiques classiques. Les réservoirs à hydrogène auront ainsi une valeur unitaire supérieure à celle des réservoirs classiques à essence (d'un facteur x10-20 environ, voire plus si l'on considère l'opportunité de proposer des systèmes intégrés comprenant également le moteur / pile à hydrogène). Mais cette amélioration de la valeur ne compensera pas à 5 ou 10 ans l'étroitesse du marché.

L'enjeu est donc de bien calibrer les investissements - ni trop peu, ni trop - pour bénéficier d'un relai de croissance significatif, sans miser sur des capacités qui risqueraient de s'avérer trop ambitieuses.

A titre illustratif, le développement de l'A380, de même que le TGV à ses débuts, sont des exemples de surdimensionnement initial.

Un enjeu de filière de production ...

La production d'électricité « bas-carbone » est le premier enjeu. Un pays comme la France a de forts atouts en ce domaine compte tenu des capacités de production nucléaire, hydraulique, et renouvelables. Il y serait d'ores et déjà possible de produire de l'hydrogène « bas-carbone » *quasiment en se branchant sur le réseau d'électricité.*

Ce n'est pas vrai dans d'autres pays où le mix de production d'électricité est beaucoup moins « bas-carbone » par rapport à la France (par exemple avec un recours encore significatif au charbon et au gaz).

Attention également aux recours dédiés à des actifs de production d'électricité renouvelables (solaire photovoltaïque et éolien), structurellement intermittents, dont le taux d'utilisation faible et variable impacterait négativement la compétitivité en coûts de la production d'hydrogène.

Il est à noter que dans certains pays, la production d'hydrogène est envisagée comme un moyen de stockage d'énergie intermittente, sans rendre explicite le rendement énergétique (mauvais par construction) de ce type de cycle.

... et d'infrastructures de stockage et distribution

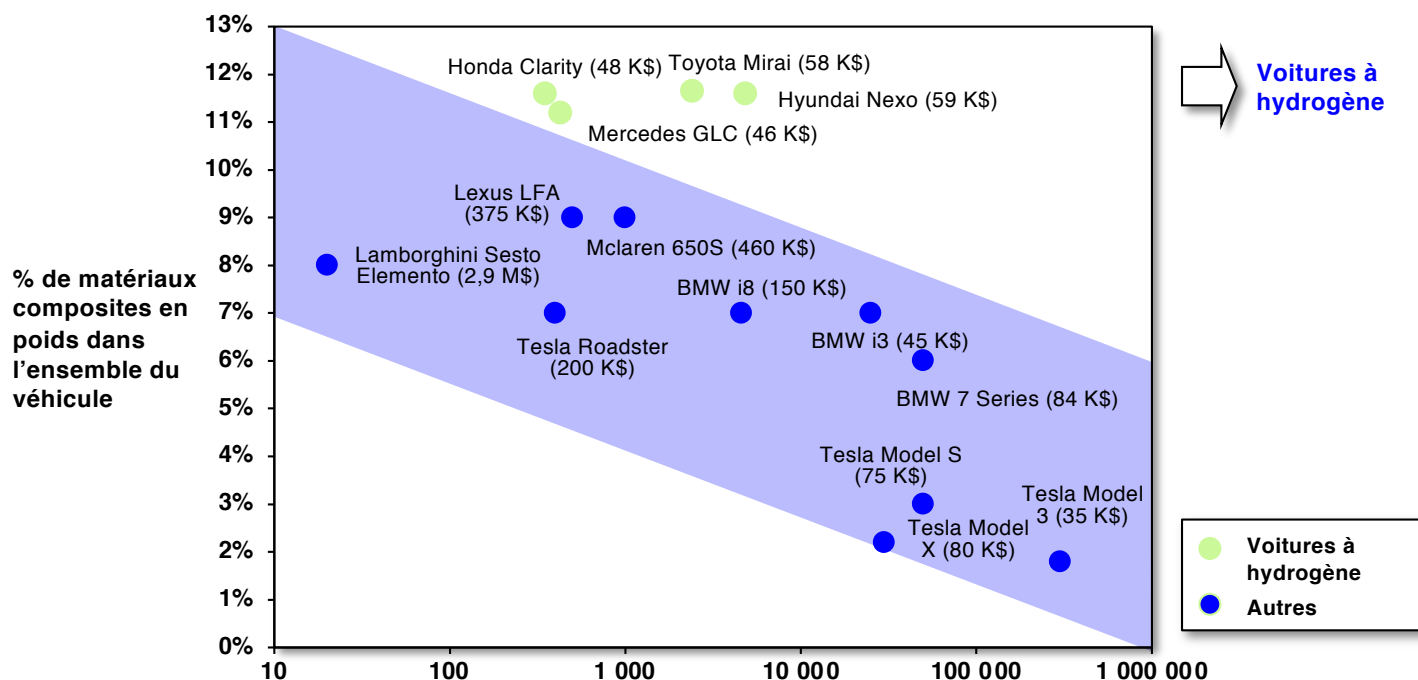
Le deuxième enjeu concerne l'infrastructure de stockage et distribution, soit l'équivalent d'un réseau de « stations-essence » à hydrogène et de la logistique associée. A nouveau, l'hydrogène étant un gaz, qui plus est avec des propriétés différentes de celles du gaz naturel (inflammabilité, légèreté), les infrastructures et les logistiques existantes pour l'essence/diesel et le gaz naturel ne sont pas réutilisables. Il faudrait en développer de nouvelles. Il faudrait également prévoir intelligemment le dimensionnement et l'implantation des « stations-hydrogène ».

Le taux de pénétration d'ensemble d'abord limité pose question pour la couverture et les coûts d'un tel réseau. Il faudrait cibler dans un premier temps quelques gros points de passages récurrents de camions, voitures professionnelles, etc ... *Ici également, le calibrage et la montée en puissance des investissements correspondants sont critiques et probablement différents par pays, ce qui rajoute une contrainte sur le développement rapide de flotte d'automobiles ou de camions à l'échelle européenne.*

- Tableau 3 -

Les voitures à hydrogène requièrent un usage accru de matériaux composites, pour les réservoirs à hydrogène sous pression

Transport – Taux de pénétration des composites dans l'automobile



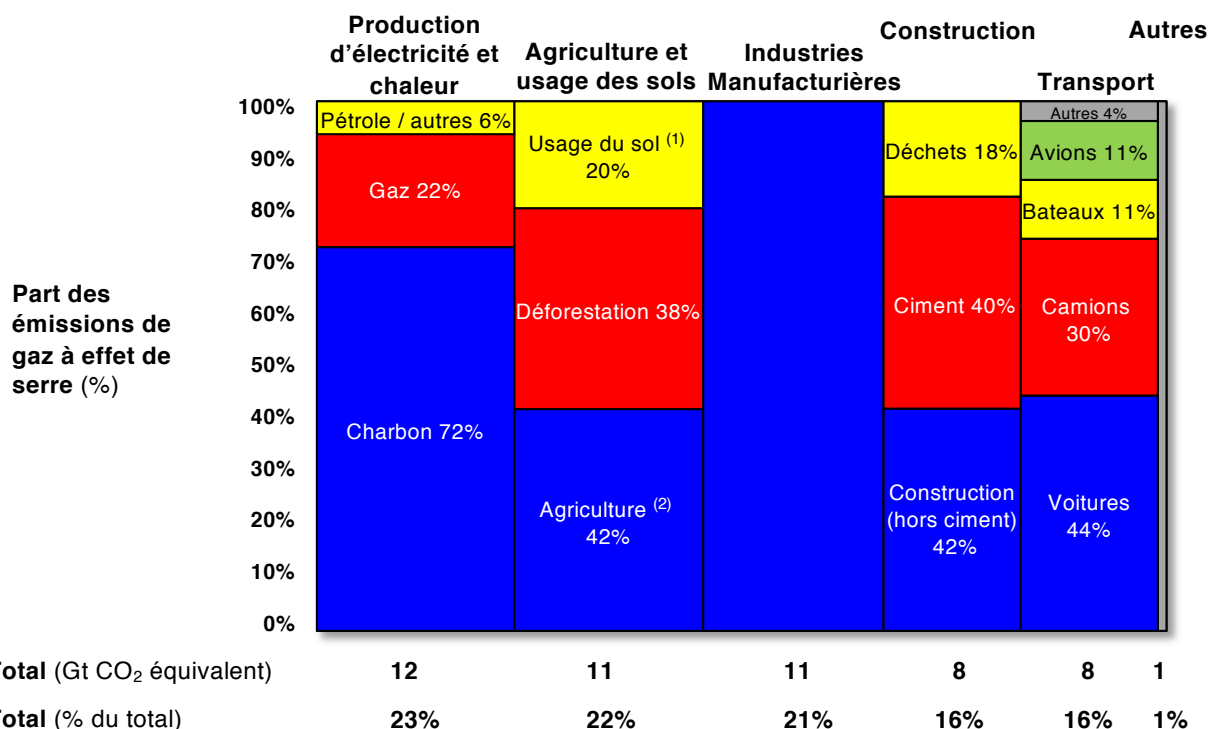
Note : Prix au détail entre parenthèses

Sources : JEC Composites, BMW, Tesla, Lexus, Aston Martin, Toyota, Hyundai, Mercedes, Honda, analyses et estimations Estin & Co

- Tableau 4 -

Au niveau mondial, les émissions de CO₂ sont dues à la production d'électricité et de chaleur, l'agriculture, l'industrie manufacturière, la construction et le transport

Emissions totales de gaz à effet de serre (Gt CO₂ équivalent par an) - 2018



(1) Changement de la quantité de carbone stocké dans le sol, principalement du à la dégradation des tourbières et zones humides pour l'agriculture et l'urbanisation ; (2) Cultures et élevages, dont fermentation entérique du bétail (42%), fumier (24%), engrais de synthèse (14%), rizières (10%) ; Sources : Climate Watch, World in Data, IEA, Helios, Shift Project, FAO

La « décarbonation » par l'hydrogène au-delà de la « mobilité propre »

Le développement d'une filière hydrogène « bas-carbone » significative peut présenter des intérêts au-delà des seuls enjeux de mobilité.

A titre d'exemple parmi quelques autres, nous citerons l'enjeu de décarbonation des engrais agricoles. En effet la production d'hydrogène « bas-carbone » peut conduire à la production d'ammoniaque « bas-carbone ». L'ammoniaque (NH₃) est un des constituants de base pour les fertilisants agricoles, dont la production est fortement dépendante à ce jour d'énergie fossile (gaz ; cf. 1^{er} paragraphe). L'hydrogène pourrait donc contribuer à décarboner le secteur de l'agriculture, aujourd'hui un des contributeurs significatifs aux émissions de CO₂ au niveau mondial (cf. tableau 4).

Le plus il y aura d'applications pertinentes de l'hydrogène « bas-carbone » à l'aval, le plus la filière de production en amont pourrait être pérennisée par les effets d'échelle correspondants.

Que faire ?

En résumé des éléments ci-dessus, il est nécessaire de bien quantifier et revisiter en permanence, pour les challenger ou les conforter, les tendances perçues et leurs implications en bons ordres de grandeur. Il s'agit de faire le tri entre les vrais relais de développement et les phénomènes de mode.

Le seul intérêt technologique de la filière ne sera pas suffisant pour l'imposer, si l'ampleur et la vitesse de substitution potentielles ne sont pas au rendez-vous. D'autant plus si les contextes des différents pays et leurs mix énergétiques sont contrastés. *Pour les investisseurs et les industriels, le choix entre une stratégie de masse ou de niche est critique, avec le calibrage et la montée en puissance des investissements correspondants.*

Janvier 2022

Estin & Co est un cabinet international de conseil en stratégie basé à Paris, Londres, Zurich, New York et Shanghai. Le cabinet assiste les directions générales de grands groupes européens, nord-américains et asiatiques dans leurs stratégies de croissance, ainsi que les fonds de private equity dans l'analyse et la valorisation de leurs investissements.