

# THE BASICS & THE GAPS

Future Cleantech Factsheet Series #6 / 2024

# Hydrogène (H<sub>2</sub>)

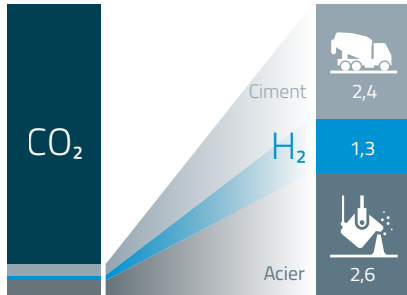
Partie 1

## HYDROGÈNE ET CHANGEMENT CLIMATIQUE

La production de H<sub>2</sub> est intense en carbone et représente ~2,5% des émissions mondiales de GES.

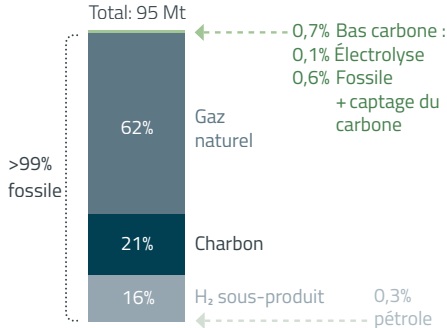
Émissions mondiales (Gt CO<sub>2</sub>eq)

Total: 54 Gt



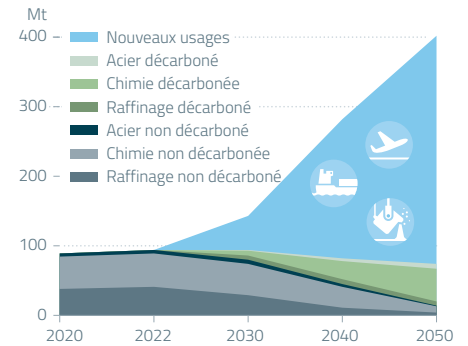
Le H<sub>2</sub> est aujourd'hui produit à partir de combustibles fossiles. Le H<sub>2</sub> bas carbone ne couvre qu'une fraction minime de la demande actuelle.

Production mondiale par technologie (Mt)



À l'avenir, d'autres industries au-delà de la pétrochimie nécessiteront du H<sub>2</sub>.

Demande mondiale d'hydrogène par secteur (Mt)



## VUE D'ENSEMBLE : VOIES DE PRODUCTION, COÛTS, PERTES ÉNERGÉTIQUES

L'hydrogène ne contribue pas à la sécurité énergétique car sa production est énergivore. Tous les moyens de production proposés ont un coût et des pertes énergétiques associées.

| Voies de production de l'hydrogène                 | Fossile                  |                                  | Fossile + captage et stockage du carbone |                                | Biogénique              |                  | Renouvelable                 |
|----------------------------------------------------|--------------------------|----------------------------------|------------------------------------------|--------------------------------|-------------------------|------------------|------------------------------|
|                                                    | Gazéification du charbon | Réformage du méthane à la vapeur | Réformage du méthane + CSC               | Gazéification du charbon + CSC | Réformage de biométhane | Biométhane + CSC | Électrolyse H <sub>2</sub> O |
| Maturité technologique                             | ██████████ 9             | ██████████ 9                     | ██████████ 5-9                           | ██████████ 5-9                 | ██████████ 9            | ██████████ 7-8   | ██████████ 5-9               |
| Production actuelle (%)                            | 21                       | 62                               | <0,6                                     | <0,6                           | 0                       | 0                | ~0,1                         |
| Disponibilité                                      | Haute                    | Haute                            | Haute                                    | Haute                          | Rare                    | Rare             | Basse                        |
| Coût LCoH* (\$/kg H <sub>2</sub> )                 | 2,3 - 3,3                | 1 - 3                            | 2 - 5                                    | 2,8 - 3,8                      | 2,1**                   | 2,8**            | 5 - 12                       |
| Émissions (kg CO <sub>2</sub> /kg H <sub>2</sub> ) | 15 - 30                  | 10 - 17                          | 3 - 9                                    | 2 - 10                         | 1-9                     | -12 - -9         | 0,5 - 2,5                    |
| Matière première (kg/kg H <sub>2</sub> )           | 7,6                      | 3,2                              | 3,5                                      | 8,4                            | 3,2                     | 3,5              | 11                           |
| Énergie (kWh/kg H <sub>2</sub> )                   | 60                       | 41,5                             | 45,5                                     | 67                             | 41,5                    | 45,5             | 55                           |

\* « Levelised Cost of Hydrogen » = coût actualisé de l'hydrogène  
\*\* Pas d'application commerciale à ce jour, très incertain.  
\*\*\* Avec un potentiel de réchauffement planétaire sur 20 ans ; sur 100 ans, il serait d'environ 30.  
\*\*\*\* Des exigences strictes en matière de contrôle du méthane doivent aussi s'appliquer aux mines de charbon.

Fuites : CH<sub>4</sub> 1 kg CH<sub>4</sub> = 85 kg CO<sub>2</sub>\*\*\*

Contrôle strict des fuites de CH<sub>4</sub> requis\*\*\*\*

Passage à l'échelle limité

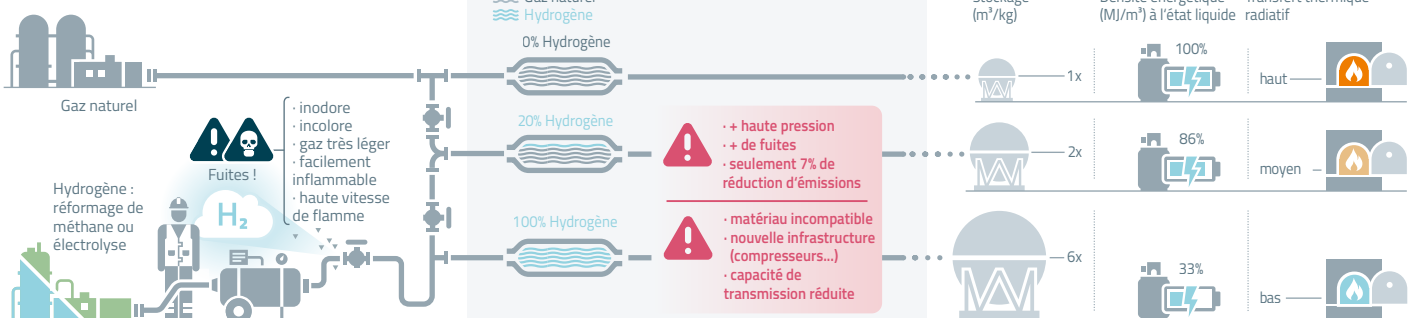
Solaire et éolien sont variables

## VUE D'ENSEMBLE : DES DÉFIS TOUT AU LONG DE LA CHAÎNE DE VALEUR

**Production et gestion :** comparé au gaz naturel, le H<sub>2</sub> possède une haute inflammabilité et une basse énergie d'inflammation, le rendant plus susceptible de provoquer des explosions et des incendies.

**Transport :** Les propriétés particulières du H<sub>2</sub> nécessitent de nouvelles infrastructures, ce qui implique que les gazoducs existants nécessiteront une rénovation profonde.

**Usage final :** Les propriétés de l'hydrogène sont différentes des hydrocarbures et il ne peut pas être substitué tel quel dans tous les secteurs.



**Bibliographie :** Our World in Data (2024), IEA (2023), Rosa & Mazzotti (2022), BNEF (2023), NREL (2022), Lou et al. (2023), S&P Global (2024), Zang et al. (2024), CATF (2023), Hydrogen Science Coalition (2024), IEA (2021), Lange et al. (2023), MIT Climate Portal (2023)  
Méthodologie et bibliographie :  
fcarchitects.org/content/future-cleantech-factsheet-hydrogen/

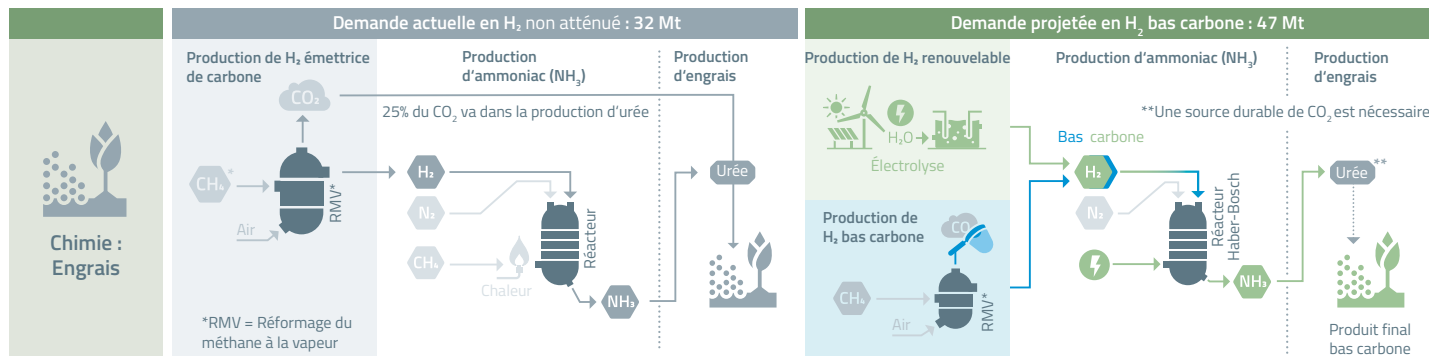
Envie d'en savoir plus ? [fcarchitects.org](https://fcarchitects.org)  
ou contactez-nous : [mail@fcarchitects.org](mailto:mail@fcarchitects.org)

**FCA** Future Cleantech Architects

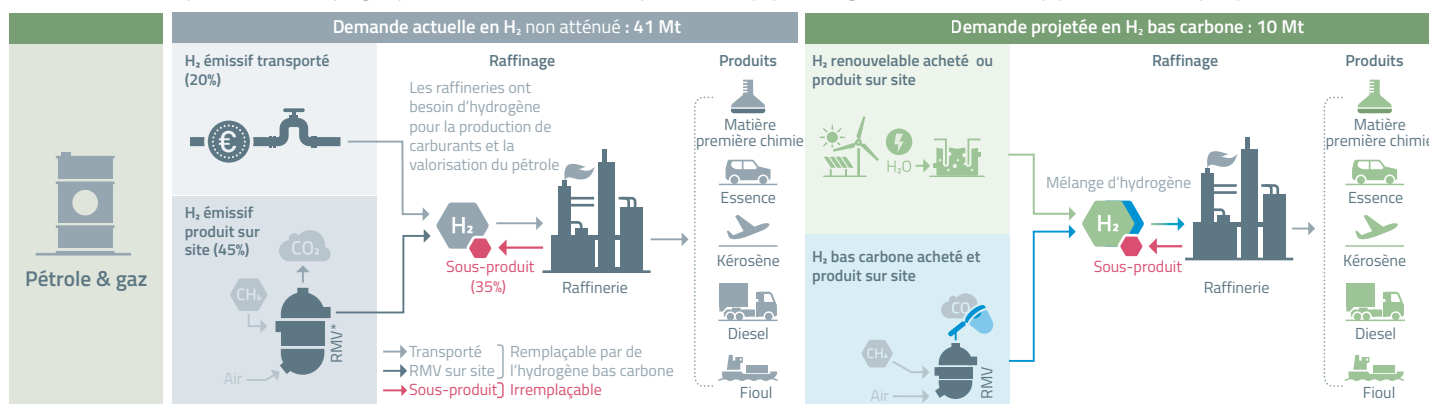


## PRIORISATION DE L'HYDROGÈNE : PRINCIPAUX CAS D'USAGE

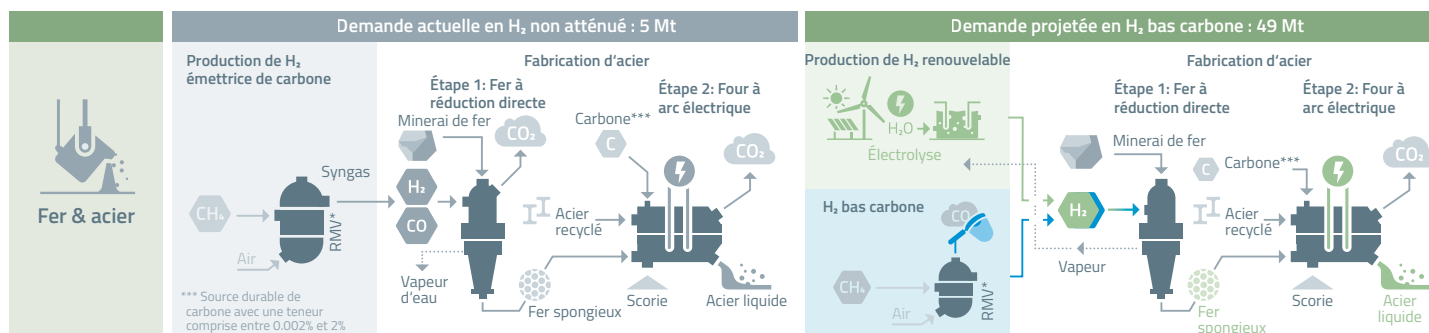
Plusieurs secteurs économiques à fortes émissions dépendent ou dépendront de l'hydrogène. Étant donné que l'hydrogène bas carbone restera limité et coûteux pour les décennies à venir, les secteurs ci-dessous doivent avoir un accès prioritaire à cet hydrogène avant de l'introduire ailleurs.



L'hydrogène est une matière première essentielle pour la production d'ammoniac, l'émetteur le plus important de l'industrie chimique. Actuellement, 400 Mt/an de CO<sub>2</sub> sont émises par la production dédiée d'hydrogène pour l'ammoniac. L'ammoniac est le précurseur de la plupart des engrais, dont environ 50% de la population mondiale dépend pour s'alimenter.



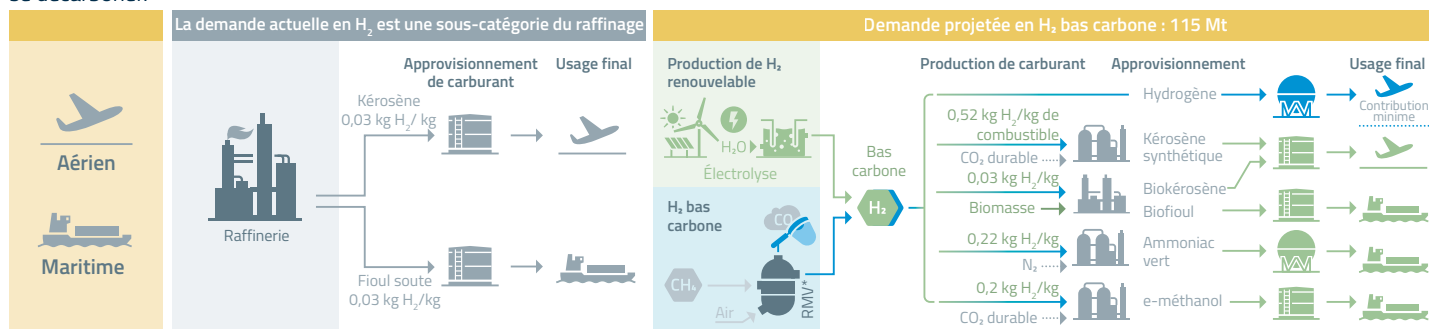
L'hydrogène est une matière première essentielle dans les procédés de raffinage. ~380 Mt/an de CO<sub>2</sub> sont émises par son utilisation dans les raffineries. Avec la décarbonation des secteurs, la dépendance au pétrole et gaz comme carburants va décroître mais leur utilisation pour la pétrochimie et l'asphalte demeurera, nécessitant du H<sub>2</sub> dans les raffineries.



L'hydrogène est une matière première prometteuse pour la fabrication d'acier primaire par réduction directe du fer, qui est pour le moment mineure. La production actuelle d'acier est une industrie à forte intensité de carbone responsable de 2,6 Gt/an soit ~5% des émissions de CO<sub>2</sub> et dépendante du charbon pour répondre à 75% des besoins en énergie et en matières premières du secteur. L'acier primaire continuera à jouer un rôle majeur dans la production d'acier, puisque les taux actuels de collecte de ferrailles sont de 85% et insuffisants pour répondre à la demande actuelle et projetée en acier dans le monde.

## PRIORITÉS POUR L'HYDROGÈNE : USAGES VIABLES

Les secteurs dits difficiles à décarboner, tels que le maritime à longue distance et l'aérien, nécessiteront l'hydrogène d'une façon ou d'une autre pour se décarboner.

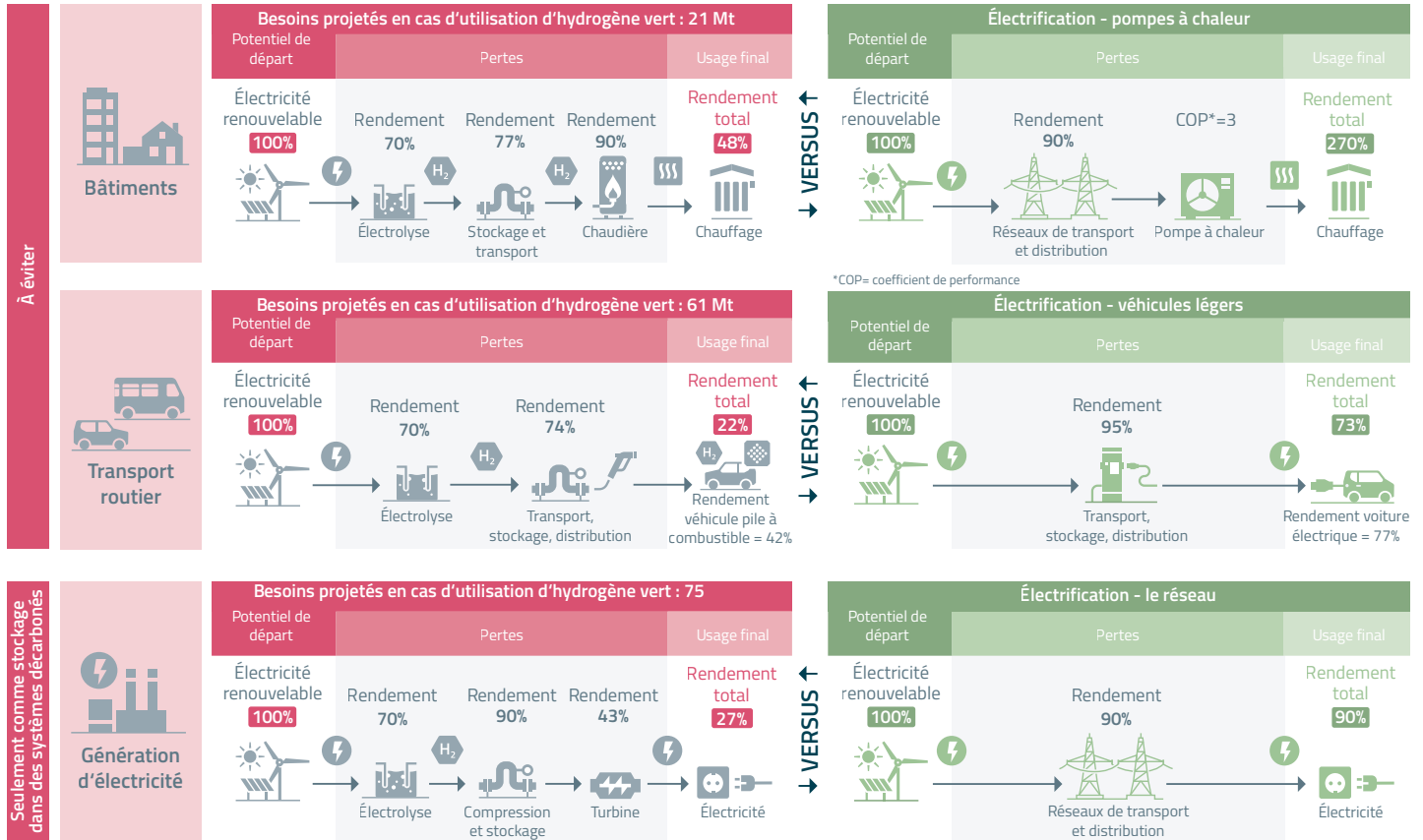


## PRIORITÉS POUR L'HYDROGÈNE : SECTEURS INCOMPATIBLES

L'hydrogène doit être utilisé en priorité dans les secteurs où son potentiel de réduction des émissions de carbone est le plus efficace. Les secteurs pour lesquels l'électrification directe est faisable doivent éviter l'hydrogène et les pertes énergétiques significatives associées à son usage en raison des étapes de conversion supplémentaires.

### Voies inefficaces (pertes énergétiques)

### Voies plus efficaces



157 Mt d'hydrogène bas carbone supplémentaire, une ressource rare aujourd'hui, pourraient être affectées en priorité aux secteurs difficiles à décarboner qui ne disposent pas d'alternatives de décarbonation. Les secteurs tels que le bâtiment, le transport routier, et la production d'électricité doivent choisir la voie plus efficace de l'électrification directe.

## RECOMMANDATIONS

### Investir en R&D



Plus de 99% de la consommation actuelle d'hydrogène provient des énergies fossiles. L'hydrogène bas carbone reste une ressource rare et coûteuse. Il est crucial d'investir en R&D pour combler le déficit de commercialisation et augmenter la production afin de couvrir les besoins actuels et futurs en hydrogène.

► Augmenter les financements des filières de production viables commercialement pour démarrer l'approvisionnement des secteurs sans alternative viable à l'hydrogène.

► Investir dans des voies innovantes additionnelles, telles que la thermochimie, pour diversifier la chaîne d'approvisionnement et de réduire la dépendance à l'électricité renouvelable pour l'électrolyse.

► Accélérer la R&D, l'investissement, et le passage à l'échelle de la production, l'infrastructure, et le stockage pour relever les défis en amont et éviter les goulots d'étranglement avec la croissance de la demande pour les secteurs indispensables.

### Décarboner les usages actuels de l'hydrogène



Les usages essentiels actuels produisent 1,3 Gt d'émissions par an et doivent d'abord être décarbonés avant d'étendre l'hydrogène à de nouveaux usages. Le rôle critique de l'hydrogène bas carbone pour décarboner les secteurs tels que le raffinage, la chimie, et l'acier doit être considéré comme une priorité.

► Mettre en œuvre une allocation bien fondée de ressources limitées comme l'électricité renouvelable et l'hydrogène vert, qui sont sujettes à une rude concurrence de multiples secteurs.

► Accélérer le déploiement des renouvelables, y compris de nouvelles sources comme la géothermie, afin d'éliminer les goulots d'étranglement et de diminuer les coûts de l'hydrogène vert.

► Considérer la production de H<sub>2</sub> bleu (à partir de gaz naturel et captage de carbone) comme complément du H<sub>2</sub> vert à court et moyen terme, seulement si des contrôles stricts des fuites de méthane sont mis en œuvre.

### Priorité aux secteurs difficiles à décarboner



L'hydrogène doit être considéré comme un levier de la décarbonation des secteurs difficiles, en parallèle de son rôle en tant que matière première industrielle indispensable. L'hydrogène jouera un rôle clé dans les secteurs où l'électrification directe n'est pas viable, comme l'aérien et le maritime.

► Développer des stratégies nationales claires avec des lignes directrices pour le déploiement du H<sub>2</sub> bas carbone en donnant la priorité aux secteurs difficiles à décarboner qui dépendent de l'hydrogène.

► Comblent les écarts de la commercialisation par des financements dédiés, contrats pour la différence, incitations, et l'octroi de permis pour les projets d'hydrogène et carburants alternatifs.

► Établir une visibilité à long terme pour l'hydrogène et les carburants alternatifs par des objectifs et mécanismes efficaces qui éliminent l'incertitude sur les voies de décarbonation et stimulent les contrats d'achat.

### Abandonner les secteurs incompatibles



Des lignes directrices sont nécessaires pour éviter que de l'électricité renouvelable précieuse et limitée ne soit intrinsèquement perdue dans la production et l'utilisation du H<sub>2</sub> dans des secteurs où des stratégies plus efficaces et efficaces (électrification directe) peuvent être déployées.

► Éliminer les secteurs incompatibles comme le transport routier, la production d'électricité, et les bâtiments des stratégies relatives à l'hydrogène, car ils conduisent à une allocation inefficace de fonds publics.

► Éviter la neutralité technologique pour les secteurs où l'électrification directe est plus efficace, moins coûteuse, et plus respectueuse de l'environnement.

► Sensibiliser toutes les parties prenantes à la disponibilité limitée de l'hydrogène renouvelable et aux défis dans sa production, son transport, et son stockage, ce qui restreint son utilisation aux secteurs les plus difficiles à décarboner.

