

# HYDROGÈNE

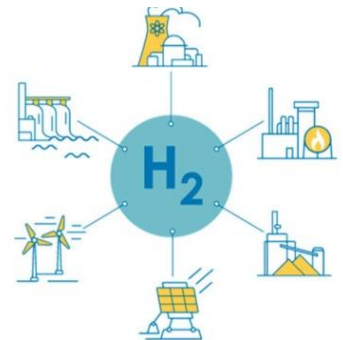
# HYDROGÈNE



## C'est quoi ?

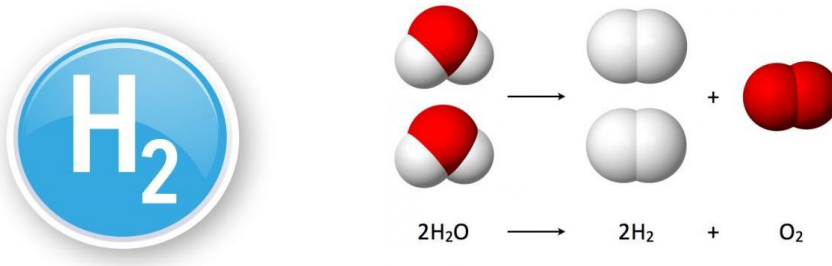
Il s'agit de la conversion de l'électricité en hydrogène. En cas de surplus de production d'électricité, celle-ci est utilisée pour séparer des molécules d'eau [H<sub>2</sub>O] en hydrogène [H<sub>2</sub>] et en oxygène [O<sub>2</sub>]. C'est ce qu'on appelle l'électrolyse de l'eau. L'hydrogène ainsi produit peut alors être valorisé de différentes manières :

- être injecté dans les réseaux de gaz naturel en l'état,
- alimenter des véhicules à hydrogène,
- être consommé à des fins industrielles,
- être reconverti en électricité via une pile à combustible.



## Comment ça fonctionne ?

L'hydrogène [H] est l'élément chimique le plus abondant de l'univers. Il s'agit de l'atome le plus simple et le plus léger : il est constitué d'un noyau contenant un proton et d'un électron périphérique. La molécule H<sub>2</sub> de dihydrogène, constituée de deux atomes d'hydrogène, est aussi communément appelée « hydrogène ».



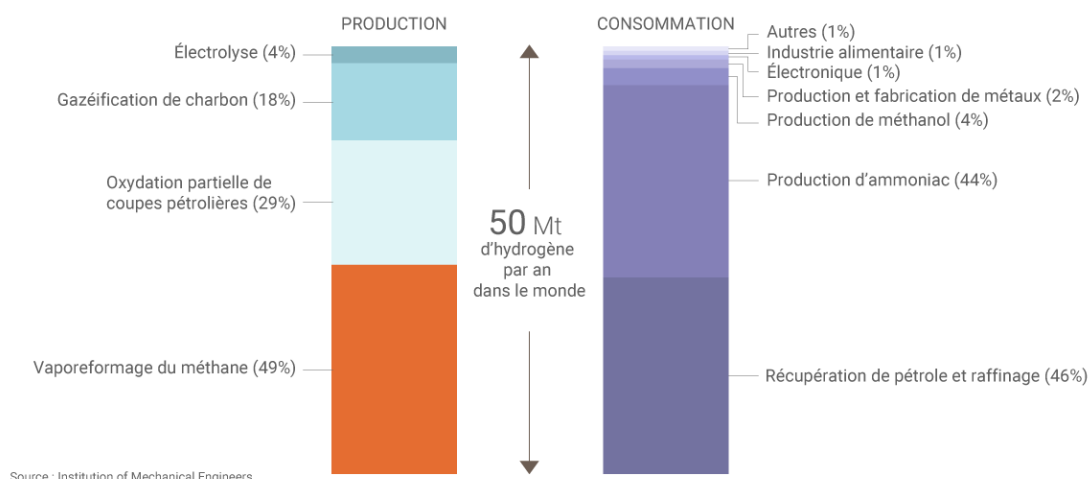
C'est cette molécule H<sub>2</sub> qui fait l'objet d'une exploitation chimique et suscite un fort intérêt énergétique, tant par ses possibilités d'usage que de stockage.

L'hydrogène est produit par la séparation d'éléments chimiques dont l'atome H est un composant et par la mobilisation d'une source d'énergie.

⇒ La plus grande partie de l'hydrogène est actuellement produite à partir de gaz naturel et est utilisée par les industriels pour ses propriétés chimiques, en particulier dans les usines d'ammoniac [50% de la consommation mondiale] et dans les raffineries de pétrole [désulfuration d'essence et de gazole, production de méthanol, etc.].

⇒ Plus de 95% de la production d'hydrogène est encore issue d'énergies fossiles [gaz naturel, pétrole, charbon]. On appelle « hydrogène bas carbone » l'hydrogène produit grâce à une source d'énergie renouvelable ou nucléaire [ou par vaporeformage de gaz naturel si le procédé est associé à une unité de captage, stockage et valorisation du CO<sub>2</sub>].

### Hydrogène Production et consommation dans le monde



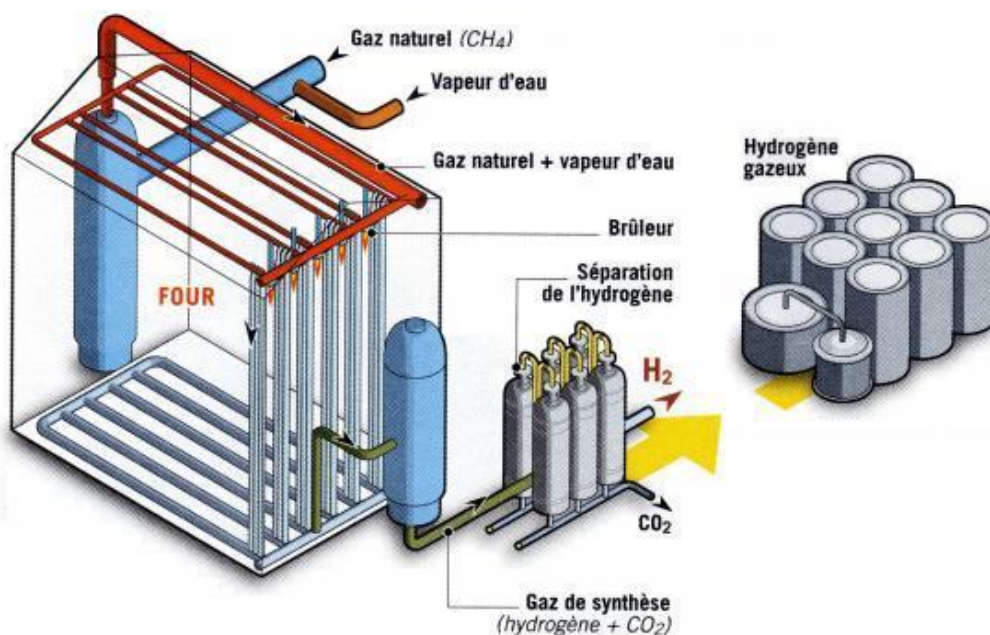
## Différents procédés de production

### Reformage des combustibles fossiles à la vapeur d'eau [ou vaporeformage]

Le **vaporeformage** du gaz naturel est le procédé le plus courant pour produire de l'hydrogène. Le gaz naturel est exposé à de la vapeur d'eau très chaude (900°C) et libère ainsi le dihydrogène qu'il contient.

Cette réaction chimique casse, sous l'action de la chaleur, les molécules de méthane [CH<sub>4</sub>] qui est le principal composant du gaz naturel, et qui possède 4 atomes d'hydrogène, pour en libérer le **dihydrogène**. Deux réactions successives permettent de produire de l'hydrogène [H<sub>2</sub>] et du dioxyde de carbone [CO<sub>2</sub>] :  $\text{CH}_4 + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 4 \text{H}_2 + \text{CO}_2$

95% du dihydrogène est produit à partir des combustibles fossiles par reformage.



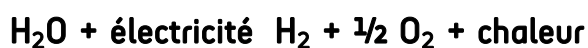
Cette méthode n'est pas renouvelable puisque le gaz naturel [CH<sub>4</sub>] est une énergie fossile. De plus, elle n'est pas propre car elle émet de fortes quantités de dioxyde de carbone [CO<sub>2</sub>]. Le dioxyde de carbone pourrait être capté et stocké dans le futur. Le **vaporeformage du biogaz** [gaz issu de la décomposition des déchets] est également possible.

## Par décomposition de l'eau

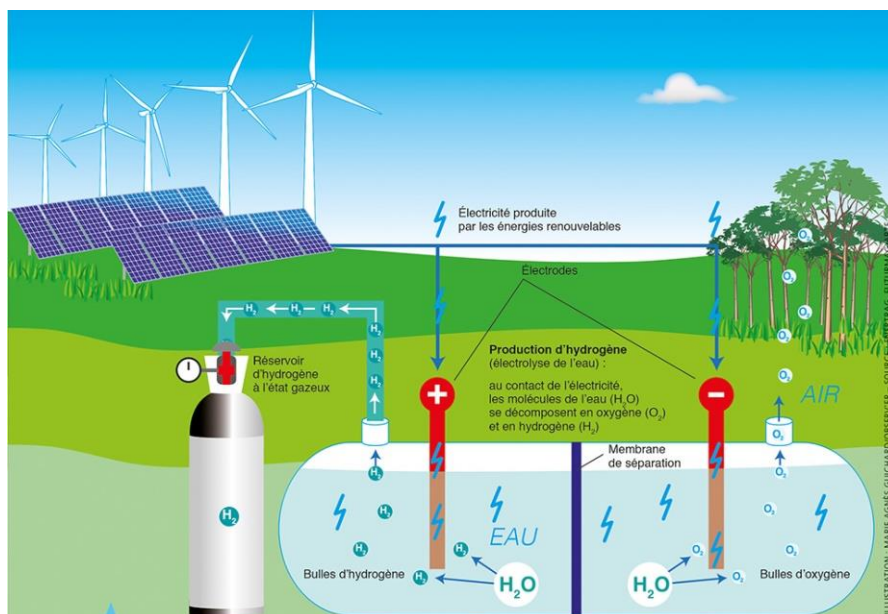
Séparer les composants de la molécule d'eau permet de produire de l'hydrogène. La molécule d'eau (H<sub>2</sub>O), est composée de deux atomes d'hydrogène [H] et d'un atome d'oxygène [O]. Pour produire l'hydrogène, il est nécessaire de casser les liaisons de cette molécule. Différents procédés existent, utilisant un courant électrique ou une succession de réactions chimiques.

### Electrolyse de l'eau

La molécule d'eau, soumise à un courant électrique au travers de deux électrodes, se dissocie en oxygène et hydrogène gazeux : c'est l'électrolyse. Le courant électrique dissocie la molécule d'eau en ions hydroxyde [OH]<sup>-</sup> à la cathode et en protons H<sup>+</sup> à l'anode. Les protons acceptent des électrons dans une réaction d'oxydation en formant de l'hydrogène gazeux.



L'électrolyse en elle-même ne dégage aucun CO<sub>2</sub>. Mais, il faut tenir compte de la production d'électricité. Dans le cas où l'électricité utilisée est produite à partir de sources qui n'émettent pas de CO<sub>2</sub> [énergies renouvelables], l'hydrogène sera produit sans aucune émission de gaz à effet de serre. Cette méthode est généralement utilisée pour produire de faibles volumes d'hydrogène ou à proximité de sources électriques à faible coût [hydroélectricité]. Actuellement, de nombreuses recherches sont effectuées pour améliorer le rendement de l'électrolyse. Une voie d'amélioration est l'électrolyse à haute température de la vapeur d'eau.



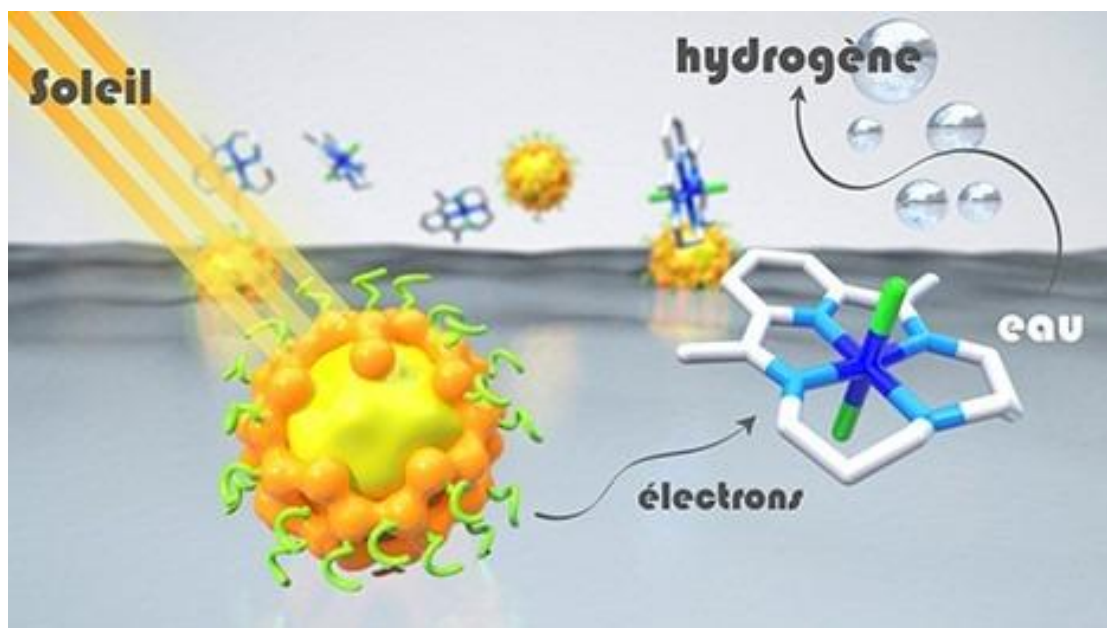
© Source : Observ'ER

## Par photosynthèse

Produire de l'hydrogène uniquement à partir de lumière et d'eau pourrait relever de la science-fiction. Or, différents micro-organismes produisent naturellement de l'hydrogène grâce à la lumière lors de la photosynthèse.

C'est le cas par exemple de certaines algues vertes unicellulaires ou de certaines cyanobactéries, qui possèdent l'avantage de produire de l'hydrogène à partir de l'énergie solaire en utilisant juste de l'eau.

Cette méthode de production d'hydrogène évite tout dégagement direct de gaz à effet de serre. Aujourd'hui, elle est au stade du laboratoire, les chercheurs essayent de comprendre, de copier et d'optimiser ce processus naturel en vue d'une éventuelle industrialisation.

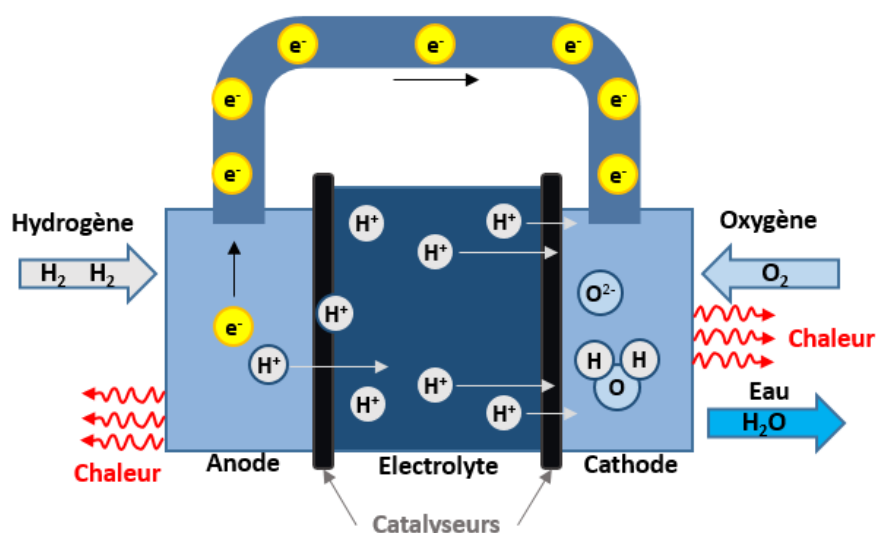


© Damien Jouvenot, Département de chimie moléculaire [CNRS/Université Grenoble Alpes].

## Pile à combustible

La pile à combustible fonctionne sur le monde inverse de l'électrolyse de l'eau. Ici, on supprime la source de tension, on alimente en hydrogène et oxygène et on constate l'apparition d'une tension électrique entre les deux électrodes : le dispositif est devenu un générateur électrique qui fonctionnera aussi longtemps qu'il sera alimenté.

Pour cela elle est constituée de deux électrodes (anode et cathode) séparées par un électrolyte, matériau qui bloque le passage des électrons mais laisse circuler les ions.



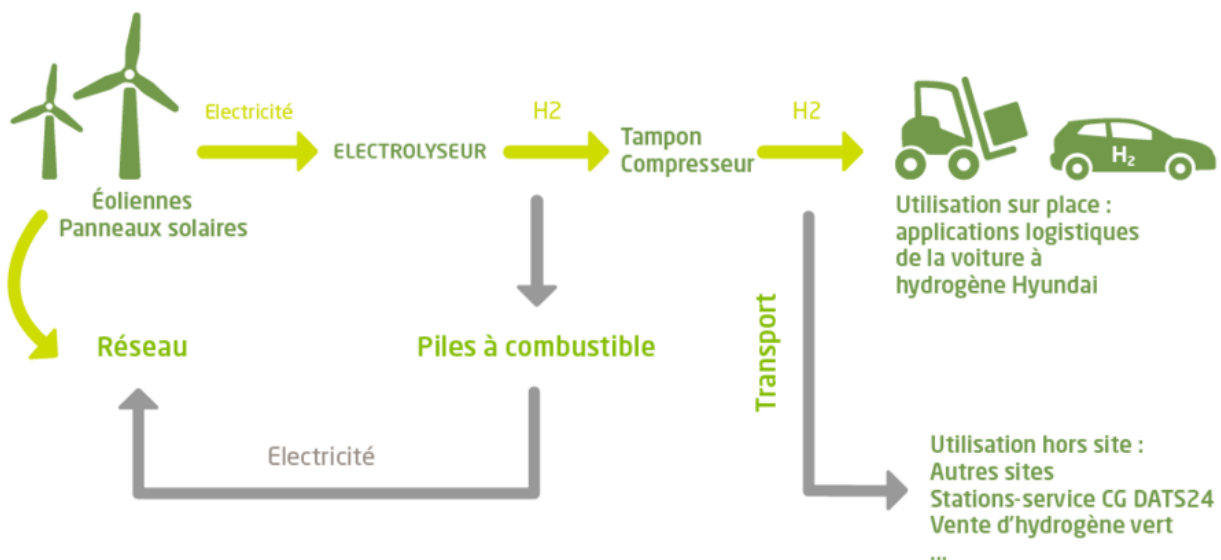
Le combustible à base d'hydrogène  $H_2$  est amené sur l'anode. L'hydrogène va se transformer en ions  $H^+$  et libérer des électrons qui sont captés par l'anode. Les ions  $H^+$  arrivent sur la cathode où ils se combinent aux ions  $O_2$  constitués à partir de l'oxygène de l'air, pour former de l'eau. C'est le transfert des ions  $H^+$  et des électrons vers la cathode qui va produire un courant électrique continu à partir de l'hydrogène.

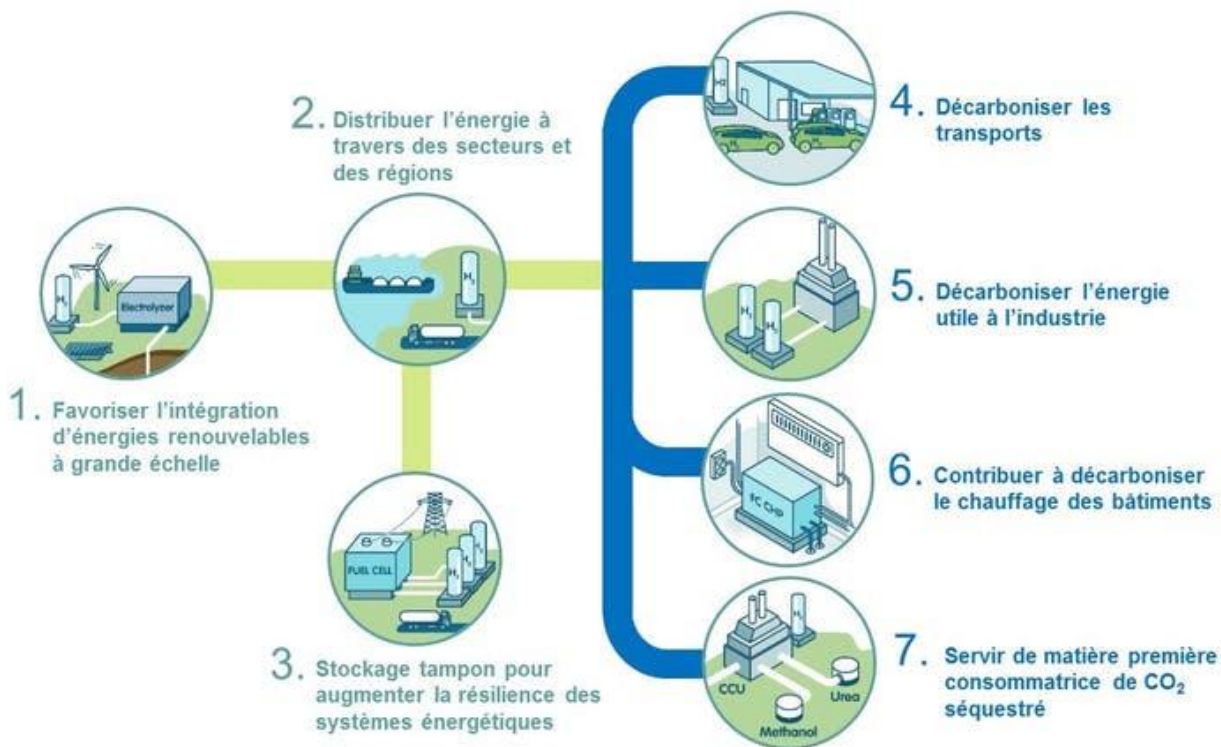
## Hydrogène comme système de stockage durable

Il est possible de produire de l'hydrogène en utilisant de l'eau et de l'électricité. Ensuite, il est possible de faire l'opération inverse et de récupérer de l'électricité en transformant l'hydrogène en eau. Cette transformation étant réversible, on peut donc utiliser l'hydrogène pour stocker de l'électricité.

La pile à hydrogène [également appelée pile à combustible] convertit l'énergie d'un combustible [l'hydrogène] en énergie. Cela consiste à synthétiser une quantité d'hydrogène par courant électrique [électrolyse], puis à stocker le gaz pour ensuite reproduire ce courant électrique grâce à une pile à combustible.

L'hydrogène, contrairement à d'autres solutions de stockage, peut se conserver plusieurs mois avant d'être utilisé pour la production d'électricité. Les énergies renouvelables [éolien, solaire] subissent un fort effet de saisonnalité dans la production d'énergie [alternance de saisons sèches et humides, chaudes ou froides,...]. Le stockage par production d'hydrogène permet de remédier à cette saisonnalité.

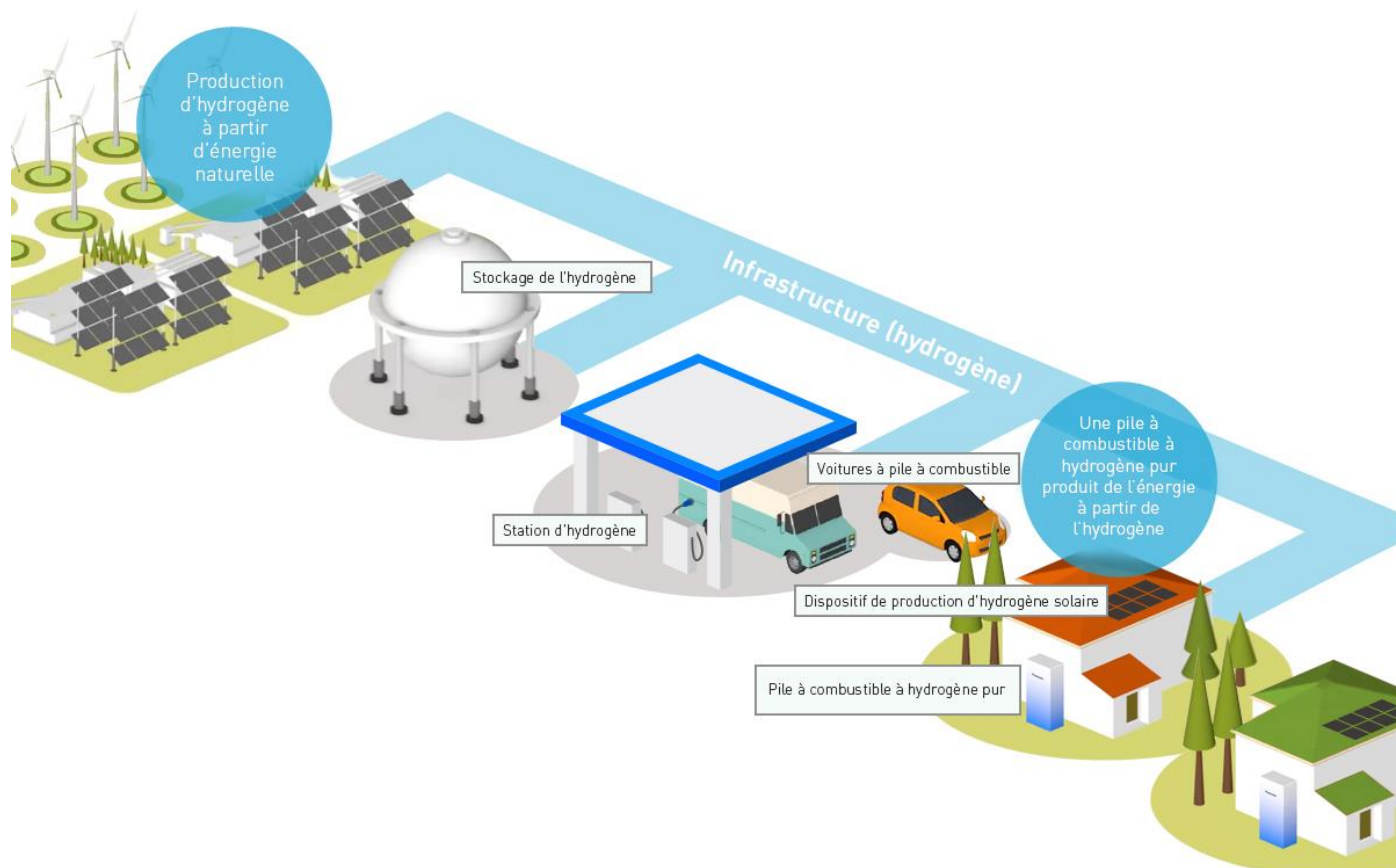




© CEA, CC BY

L'hydrogène pourrait répondre aux enjeux de la transition énergétique :

- Industrie
- Mobilité
- Production d'énergie





## AVANTAGES

- La combustion de l'hydrogène génère une forte quantité d'énergie (3 fois plus que l'essence).
- Très abondant sur Terre sous forme atomique (eau, hydrocarbures).
- Pas d'émission de CO<sub>2</sub> lorsqu'il est issu de sources renouvelables.
- Peut constituer un moyen efficace de stockage de l'électricité sur des durées longues.

## INCONVENIENTS

- Le stockage de l'hydrogène nécessite des quantités d'énergie importantes en raison de sa faible densité (il peut être stocké sous forme comprimée, liquide ou encore d'hydrure métallique).
- L'efficacité de son transport (énergie transportée par unité de volume) est beaucoup moins forte que celle du pétrole ou du gaz en raison de cette faible densité.
- Le coût du procédé de production d'hydrogène le plus prometteur, l'électrolyse de l'eau, reste élevé.
- Son utilisation grand public dans les transports nécessite la mise en place d'un réseau de stations à hydrogène (de type stations services) qui requiert des investissements considérables

### Pour en savoir plus :

<https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/hydrogene-energie>

[https://energies.airliquide.com/sites/abtn/files/2017/10/18/minimento\\_de\\_presentation\\_de\\_lhydrogene\\_fr\\_1.mp4](https://energies.airliquide.com/sites/abtn/files/2017/10/18/minimento_de_presentation_de_lhydrogene_fr_1.mp4)

<https://youtu.be/Mo1WqjJgkw>

<https://youtu.be/dUv3U9w1xz4>

<https://youtu.be/AlrmFv9KYmk>

[https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/production-de-lhydrogene?utm\\_source=newsletter&utm\\_medium=fil-info-energies&utm\\_campaign=/newsletter/le-fil-info-energies-07-oct-2020](https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/production-de-lhydrogene?utm_source=newsletter&utm_medium=fil-info-energies&utm_campaign=/newsletter/le-fil-info-energies-07-oct-2020)