

# L'HYDROGÈNE (dihydrogène)

Le dihydrogène est un gaz composé de deux atomes d'hydrogène. Le terme « hydrogène » est utilisé dans le langage courant pour qualifier le dihydrogène.



## LES USAGES DE L'HYDROGÈNE

Élément le plus abondant de l'univers, l'hydrogène se présente dans l'atmosphère comme un gaz invisible et inodore. Son usage actuel se concentre principalement sur les secteurs de la chimie et de la pétrochimie pour lesquels l'hydrogène est valorisé pour ses propriétés chimiques.

L'hydrogène est ainsi utilisé comme réactif dans les procédés de raffinage des bruts en produits pétroliers (désulfuration, hydrogénation), comme intermédiaire pour la production d'ammoniac (pour fixer l'azote de l'air et produire des engrais) ou de méthanol, ou comme gaz réducteur pour éviter l'oxydation de certains procédés industriels (exemple : verre trempé).

Outre ses usages « matière », l'hydrogène connaît un intérêt croissant comme vecteur énergétique. Dès 1875, Jules Verne prédisait ainsi dans son ouvrage L'île mystérieuse son développement : « *Oui, mes amis, je crois que l'eau sera un jour utilisée comme combustible, que l'hydrogène et l'oxygène, qui la constituent, utilisés isolement ou simultanément, fourniront une source de chaleur et de lumière inépuisable et d'une intensité que la houille ne saurait avoir. [...] L'eau est le charbon de l'avenir.* ».

## AUJOURD'HUI, LA CONSOMMATION MONDIALE D'HYDROGÈNE, C'EST...



Le marché mondial est estimé à près de 70 millions de tonnes par an, dont 1 million de tonnes sur le marché français, principalement à partir de gaz naturel ou comme co-produit pétrolier.



D'abord limités à l'industrie spatiale, les usages dit « énergie » de l'hydrogène sont multiples : mobilité routière avec les véhicules à pile à combustible, industrie avec la production d'acier ou d'acier décarboné, ferroviaire avec les trains à hydrogène comme Alstom, ou aérien et maritime directement sous forme d'hydrogène ou par l'intermédiaire de dérivés comme ceux du projet E-CHO.



Depuis 2020, le **réseau de transport de l'agglomération de Pau** est équipé de **8 Bus à Haut Niveau de Service (BHNS)** fonctionnant à l'hydrogène avec une autonomie quotidienne de 240 kilomètres. 18 mois plus tard, l'agglomération de Pau a réalisé une acquisition de 4 BHNS supplémentaires.

L'hydrogène produit sur le site HyLacq sera dit « **bas-carbone** » car il sera produit par électrolyse de l'eau, alimentée par de l'électricité renouvelable ou nucléaire.

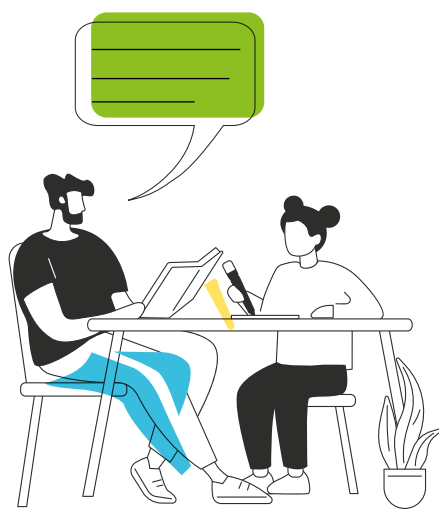
## LE PROCÉDÉ DE FABRICATION DE L'HYDROGÈNE

Selon les méthodes de production de l'hydrogène, des couleurs y sont associées. Bien qu'aucune nomenclature n'ait été entérinée, on retrouve souvent les nuances ci-dessous :

- **Hydrogène carboné** : hydrogène produit par vaporeformage du méthane ou gazéification du charbon sans captage ni stockage du  $\text{CO}_2$ .
- **Hydrogène renouvelable** : hydrogène produit par électrolyse de l'eau à partir d'électricité provenant de sources d'énergie renouvelable (solaire, éolienne, hydraulique, etc.).
- **Hydrogène bas-carbone** : produit par électrolyse de l'eau. Ce processus est alimenté par de l'électricité renouvelable ou nucléaire.
- **Hydrogène naturel** : extrait de réservoirs souterrains.

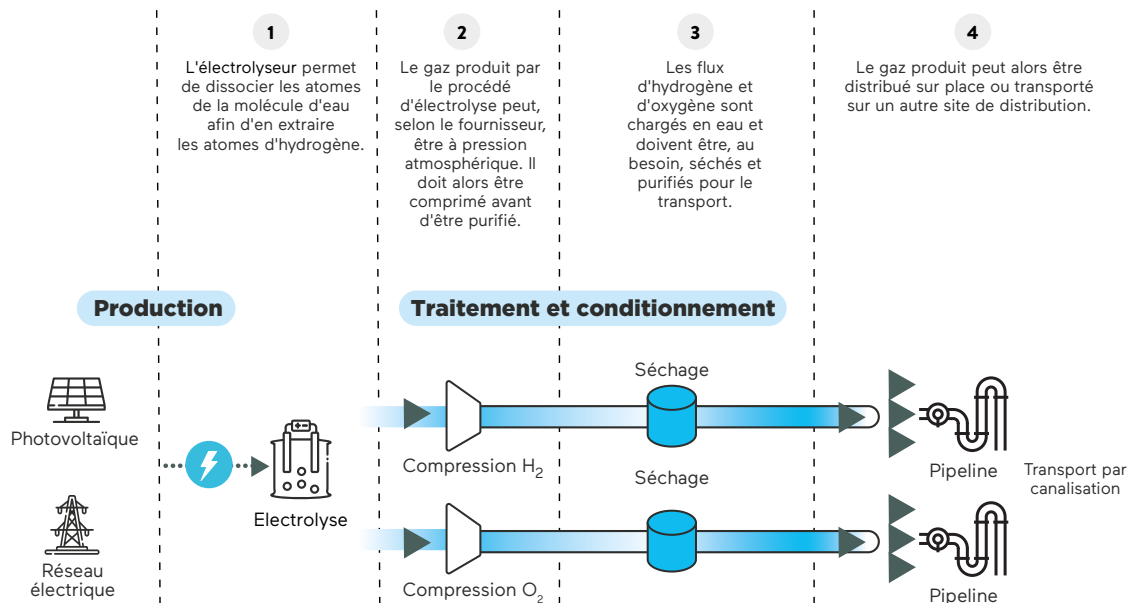
L'hydrogène peut donc être produit par différentes méthodes :

- **Le vaporeformage** : l'hydrogène est extrait du gaz naturel ( $\text{CH}_4$ ) sous l'action de la vapeur d'eau surchauffée. À cette étape, l'hydrogène est séparé du  $\text{CO}_2$  qui peut être capturé. C'est la méthode la plus couramment utilisée.
- **La gazéification du charbon de bois** : comme pour le charbon, la biomasse peut être gazéifiée, et produire, grâce à sa combustion à haute température, un mélange d'hydrogène et de  $\text{CO}_2$  qui peut ensuite être purifié.
- **L'électrolyse de l'eau** : cette technique consiste à décomposer la molécule de l'eau en dihydrogène et oxygène grâce à un courant électrique.



## ZOOM SUR LA PRODUCTION D'HYDROGÈNE PAR ÉLECTROLYSE DE L'EAU

### SCHÉMA DU PROCÉDÉ DE FABRICATION DE L'HYDROGÈNE



# 1.

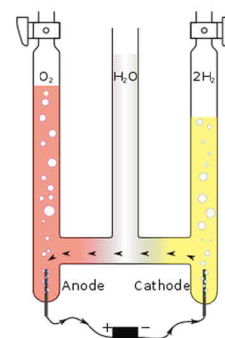
## L'électrolyse

L'électrolyse de l'eau est un procédé électrochimique visant à décomposer l'eau ( $H_2O$ ) en ses éléments constitutifs – le dihydrogène ( $H_2$ ) et le dioxygène ( $O_2$ ) – en appliquant un courant électrique direct et une tension à l'eau, sous forme liquide ou de vapeur.

L'électrolyse est constituée de trois niveaux d'architectures : la cellule, la pile et l'unité de production. La cellule d'électrolyseur est constituée de deux électrodes métalliques conductrices (l'anode et la cathode), reliées à un générateur de courant continu et séparées par un électrolyte qui peut être une solution aqueuse ou une membrane.

Assemblées les unes aux autres, les cellules constituent des piles, souvent installées en parallèle, qui, complétées par des équipements auxiliaires (contrôles électriques, traitement de l'eau, tuyauterie, compresseur, etc.) forment les unités de production de l'électrolyse.  **$2 H_2O \text{ liq} > 2 H_2 \text{ gaz} + O_2 \text{ gaz}$**

Une unité de stockage en aval de l'unité de production par électrolyse peut parfois être installée pour stocker temporairement l'hydrogène produit. Celle-ci inclut de nombreux éléments de contrôle (pression, volume) et de sécurité (vannes, capteurs) afin de permettre un suivi adapté du gaz. Ce stockage a pour objectifs de réguler le flux d'hydrogène en sortie d'électrolyse et d'alimenter la compression.



# 2.

## La compression

Le flux d'hydrogène gazeux produit est acheminé vers l'unité de compression, dotée de plusieurs compresseurs fonctionnant en parallèle. Selon le fournisseur, le gaz produit par le procédé d'électrolyse peut être initialement à pression atmosphérique et doit être comprimé avant d'être purifié. Cette étape peut donc être optionnelle en fonction du fournisseur de l'hydrogène. Les technologies de compression varient selon les installations et selon le niveau de pression souhaité. Plusieurs techniques de compression peuvent être utilisées, telles que la compression à piston ou celle membranaire.

# 3.

## La purification

En sortie d'électrolyseur, le flux d'hydrogène est chargé en eau et en oxygène. Il doit donc être purifié afin d'atteindre un niveau de pureté conforme aux besoins du projet. L'unité de purification nécessaire au traitement du flux d'hydrogène est principalement composée d'un réacteur catalytique (désoxydant) dédié à l'enlèvement de l'oxygène et, en cas de besoin, d'un système de séchage du gaz constitué de colonnes permettant l'adsorption de l'eau.

# 4.

## Le transport

La production est transportée par pipeline vers BioTJet et vers eM-Lacq pour une utilisation dans les procédés de production de carburant bas-carbone.



## LA PRODUCTION D'HYDROGÈNE À TRAVERS LE MONDE

À l'échelle mondiale, plusieurs pays ont annoncé des programmes ambitieux de développement autour de l'hydrogène, à l'image du Maroc, du Canada, de l'Australie ou encore du Chili. Ce dernier souhaite mettre à profit les grands espaces du désert d'Atacama, doté des meilleures conditions d'irradiation solaire de la planète (nord du pays), et son gisement de vent en Patagonie chilienne (partie plus méridionale du pays) pour développer une production vertueuse d'hydrogène renouvelable.

Dans une stratégie actée en 2021, ce pays d'Amérique du Sud ambitionne de produire l'hydrogène le moins cher du monde d'ici à 2030, et d'être l'un des 3 plus gros exportateurs d'ici à 2040. Ces projets sont financés par la puissance publique en soutien aux investissements massifs du secteur privé.



Centrale solaire dans le désert d'Atacama au Chili Bolero SolarChile, 2016



Image de synthèse représentant le projet Nascar, ©cetaer.com



À l'échelle européenne, l'Espagne se positionne pour devenir un acteur de référence de la production d'hydrogène renouvelable. Si les projets de production d'hydrogène vert ont principalement émergé en Europe du Nord avec la volonté de valoriser les ressources hydroélectriques, géothermiques et éoliennes, la péninsule Ibérique, richement dotée en ressources renouvelables (soleil et vent) entend s'imposer comme un hub énergétique majeur. L'Espagne s'est fixé une feuille de route en 2020. L'Espagne connaît une croissance massive de capacité électrique renouvelable : la moitié de la croissance des EnR dédiée à l'hydrogène en Europe provient de l'Espagne.

Le « **projet Nascar** » de INNDE CETAER situé en Espagne, soutenue par des fonds européens, ambitionne de produire **7 200 tonnes d'hydrogène vert par an** via de l'énergie photovoltaïque. Cet hydrogène servira à produire du e-méthanol. Le projet vise une première phase opérationnelle en janvier 2025, avec une production équivalente à 3 camions citernes de 25 tonnes de e-méthanol par jour.



À l'échelle française, avec le plan de relance post covid, l'hydrogène bas-carbone a le vent en poupe. De nombreux projets se développent avec des capacités de production d'hydrogène vert toujours plus grosses. Il y a par exemple les usines de **Lhyfe en Vendée et en Bretagne**, ou encore le projet de **TotalEnergies près de Marseille** qui doit produire 5 tonnes d'hydrogène vert par jour pour alimenter l'usine de biocarburant de La Mède.

Un des projets les plus significatifs par son ampleur est « **Normand'Hy** » porté par **Air Liquide**. L'objectif est une capacité de **200 MW** et une mise en service en 2025 au sein de la zone industrielle de Port-Jérôme. Cette production d'hydrogène décarbonée alimentera la vallée de la Seine afin d'en **décarboner les industries**, mais aussi les mobilités lourdes.

