

Avantages

- 1) L'hydrogène (H₂) forme avec l'oxygène (O₂) de l'eau (H₂O) et libère de l'énergie sans émettre de CO₂.
- 2) Sert aux processus industriels (aujourd'hui principale application), aux véhicules électriques avec cellules à combustible, et comme base pour les carburants synthétiques (Synfuels).
- 3) Les carburants synthétiques fabriqués à partir de l'H₂ (par exemple le méthanol) devront remplacer le pétrole et le gaz, en particulier pour le transport aérien et maritime.
- 4) H₂ a la densité énergétique par masse la plus élevée de toutes les substances

Carburant	MJ / kg	kWh/kg	Forme	MJ / L	kWh/L
H ₂ (avec vapeur)	141	39	H ₂ gazeux 700 bar	5	1,5
H ₂ (sans vapeur)	119	33	H ₂ liquide à -270°C	8,4	2,4
Gaz naturel	54	15	gazeux 250 bar	9	2,5
GPL	46	13	liquide	24	7
Essence	42	12	liquide	34	9,4
Méthanol	19	5.5	liquide	10	2,7

Inconvénients

La densité massive élevée est plombée par le volume de stockage et le poids du conteneur. Dans une voiture, le réservoir H₂ à 700 bar pèse **vingt fois** plus que l'H₂ qu'il contient. Un avion à H₂ a besoin d'un deuxième fuselage comme réservoir pour traverser l'Atlantique.

Les réservoirs d'H₂ fuient, car la molécule H₂ est très petite. Dans les gazoducs, l'H₂ provoque des fissures, ce qui limite la proportion d'H₂ à 5%. L'H₂ ne peut pas servir au stockage saisonnier.

Le stockage sous forme liquide à -270°C est très cher et présente des pertes importantes.

Production d'hydrogène (couleurs selon le mode de production)

- 1) **Par électrolyse de l'eau** : (consommation : 18g /kWh, rendement : 70%, coûts : 6€/kg)

a. **vert**: avec électricité hydraulique, solaire ou éolienne

- Cette production coûte plusieurs fois plus que le H₂ gris et cela même avec électricité excédentaire, inexistante en Suisse.

- L'H₂ vert produit par hydroélectricité est un gaspillage d'énergie renouvelable précieuse.

- Un électrolyseur utilise mal les pics photovoltaïques occasionnels

- L'H₂ vert est bon marché en Afrique, mais il coûte plus de transporter du gaz que de l'électricité.

b. **violet** (UE) ou **rose** (Allemagne): avec électricité nucléaire

c. **jaune**: avec électricité du mixte réseau.

Cette génération la plus importante, car peu d'électrolyseurs ont une centrale électrique dédiée.



Pub: H₂ vert à partir de l'hydraulique
(qui manque ailleurs)
Photo Alpiq/Hydrospider



Réalité: H₂ vient du réseau mixte
(et de la centrale atomique en arrière-plan)
Photo P. Tschanz

2) Par craquage chimique de produits pétroliers :

- d. **gris**: par reformage du gaz naturel, du méthane ou du gaz de houille (gaz de ville), **99%** du H₂ dans le monde est gris et cela le restera pour les 20 à 30 prochaines années. (rendement : 50%, coûts : 2-3 € / kg)
- e. **bleu**: par reformage avec séparation et stockage du CO₂ (CCD) – encore non prouvé.
- f. **turquoise**: par pyrolyse du méthane avec séparation du carbone (C) sous forme solide (en étude)
- g. **blanc**: sous-produit de processus chimiques (rare).

3) Autres méthodes :

- h. craquage d'eau à partir du rayonnement solaire direct dans les pays tropicaux (projet) ou par
- i. photosynthèse végétale (stade de laboratoire).

Seuls les H₂ vert, violet, turquoise ou bleu permettent de réduire l'empreinte CO₂

Véhicules à hydrogène

- 1) Les véhicules H₂, pour être meilleurs pour le climat qu'un véhicule au diesel, à l'essence ou au gaz naturel liquide (LNG) doivent rouler à l'hydrogène vert, bleu ou violet
- 2) Les véhicules H₂ ont une mauvaise efficacité énergétique (du réseau électrique au moyeu): Batterie Li-ion: 73%; Pile à combustible H₂: 22%; Méthanol + moteur à combustion: 13%).
- 3) La chaîne „électricité – H₂-compression-transport-cellule à combustible est en-dessous de 25% (0,7 électrolyse × 0,88 compression × 0,86 transport & charge × 0,50 cellule & batterie = 0,26)
- 4) Les véhicules H₂ nécessitent donc environ trois fois plus d'électricité verte que les voitures à batterie, ce qui triple les émissions de CO₂ due à ces énergies.
- 5) Les véhicules H₂ doivent être remorqués en cas d'épuisement du carburant – on ne peut pas recharger depuis un autre véhicule.
- 6) Les véhicules H₂ ont de toute façon besoin d'une grande batterie comme tampon.
- 7) Les véhicules avec H₂ liquide (comme BMW) ne peuvent pas être gardés au garage avec un réservoir plein - le réservoir se vide en environ une semaine par la soupape de surpression.
- 8) La distribution de H₂ dans les stations-service n'est pas résolue (réseau de gaz H₂? Megatrucks?) et coûte de l'énergie.
- 9) Pour le transport routier, les batteries augmenteront en prix et en capacité, et les camions et les tracteurs seront entièrement électriques.
- 10) Avantage H₂: (le seul vrai) Le ravitaillement en H₂ est plus rapide, mais les conducteurs ont besoin de pauses et la recharge électrique devient de plus en plus rapide.
- 11) Publicité mensongère des partisans de la voiture à l'H₂:



*Tesla chancelle – Megatrend 2020 : l'hydrogène remplace les batteries polluantes. les actions grimpent.

Plan hydrogène international

- 1) Europe : Plan : 1 Million de tonnes d'H₂ vert par an jusqu'en 2024, 10 jusqu'en 2030 (24 à 42 milliard d'€. 220 à 340 milliard d'€ pour solaire et éolien).
- 2) France : 3,4 milliards d'€ jusqu'en 2023 (54% décarbonisation, 27% mobilité, 19% recherche)
- 3) Allemagne : 9 T€ jusqu'en 2030.
- 4) L'industrie pétrolière et gazière soutient ces projets, car cela leur permet de maintenir leur réseau de distribution (oléoducs, gazoducs, stations-service).

Ces projets visent le remplacement de l'H₂ industriel, ensuite le transport lourd et aérien, puis le stockage saisonnier. L'H₂ devrait être réservé à l'industrie (par exemple sous forme de NH₃) plutôt qu'à la mobilité.

<https://www.encyclopedie-energie.org/lhydrogene/>

https://www.techniques-ingenieur.fr/actualite/livre-blanc/hydrogene-decarbone-ou-en-est-la-france-85903/?utm_campaign=72/WP/AY4ENRJ