

# Hydrogène : Graal ou Chimère ?

# Ça bourdonne sur l'hydrogène !



# Toute activité humaine génère 3 types d'impact sur l'environnement



Épuisement  
des ressources  
naturelles



Impact  
sur la santé humaine  
et la biodiversité



Dérèglement  
climatique

Sur les trois grands types d'impacts de l'activité humaine sur l'environnement, quel est l'impact qui n'a pas été pris en compte par la **convention citoyenne pour le climat** pour être inscrit par le gouvernement dans une modification de l'article 1 de la constitution ?

Réponse A : L'épuisement des ressources naturelles

Réponse B : L'impact sur la santé humaine et la biodiversité

Réponse C : Le dérèglement climatique.

*« la France garantit  
la préservation de l'environnement  
et de la diversité biologique  
et lutte contre le dérèglement climatique »*



Epuisement  
des ressources  
naturelles



Impact  
sur la santé humaine  
et la biodiversité



Dérèglement  
climatique

# Hydrogène

Le plus petit atome de l'univers

Le plus répandu dans l'univers

Moins répandu sur terre  
sauf associé

à l'oxygène ou au carbone

Eau  $H_2O$

Hydrocarbures  $C_nH_m$



le Dihydrogène  $H_2$   
est le gaz le plus léger  
de tout l'univers

**90g par  $m^3$**

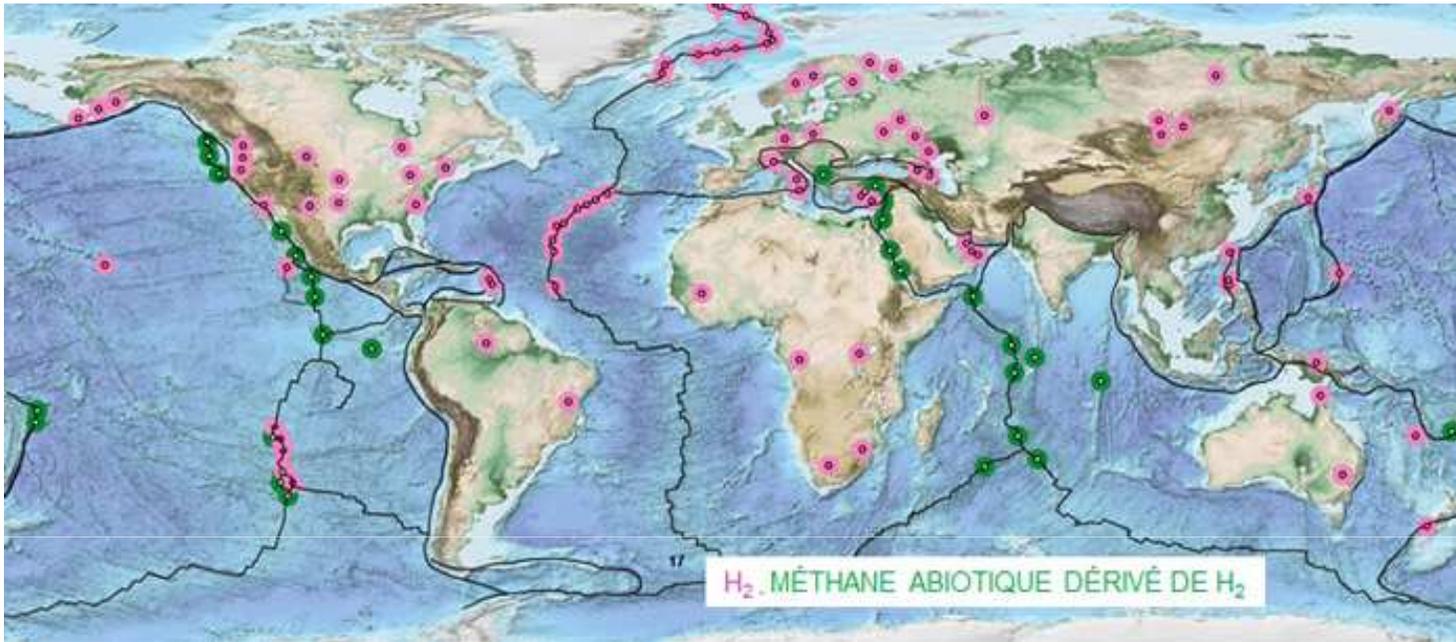
**à pression atmosphérique**

**2 fois plus léger que l'hélium**

**11 fois plus léger que l'air**

*Le  $CO_2$  est «seulement»  
1.5 fois plus léger que l'air*

# Hydrogène naturel



# Source d'énergie ou vecteur énergétique

Biomasse

Charbon naturel

Pétrole naturel

Gaz naturel

Hydrogène naturel

Vent / Soleil

Relief

Coke

Fuel lourd

Kérosène Gazole

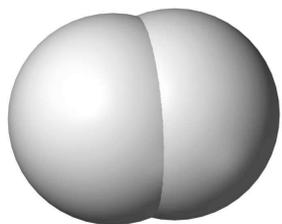
Essence

Gaz raffiné

Dihydrogène H<sub>2</sub>

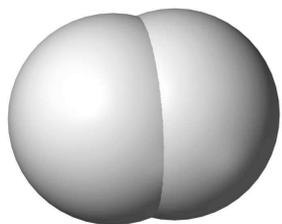
Électricité

Énergie mécanique



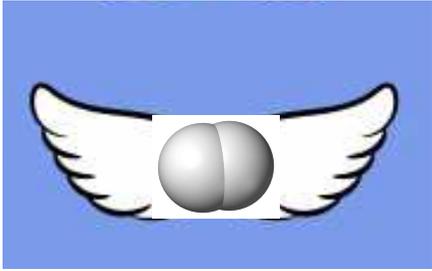
# Décarboner l'économie L'éternelle quête du Graal

<i><b>Carburants</b></i>	<b>KWh/kg</b>	<b>H/C</b>	<b>kgCO<sub>2</sub>/kWh</b>
<b>Hydrogène H<sub>2</sub></b>	<b>34,1</b>	<b>∞</b>	
<b>Méthane CH<sub>4</sub></b>	<b>15.4</b>	<b>4</b>	<b>0.23</b>
<b>Propane (ou GPL)</b>	<b>12,9</b>	<b>2.6</b>	<b>0.26</b>
<b>SP Gazole Kérosène</b>	<b>12,6</b>	<b>2</b>	<b>0.32</b>
<b>Pétrole</b>	<b>12</b>	<b>1</b>	<b>0.33</b>
<b>Charbon</b>	<b>9</b>	<b>0.7</b>	<b>0.38</b>
<b>Bois Energie</b>	<b>4</b>	<b>0.12</b>	<b>0.30</b>



# Décarboner l'économie L'éternelle quête du Graal

<i><b>Carburants</b></i>	<b>KWh/kg</b>	<b>H/C</b>	<b>kgCO<sub>2</sub>/kWh</b>
<b>Hydrogène H<sub>2</sub></b>	<b>34,1</b>	<b>∞</b>	<b>0 à 0.40</b>
<b>Méthane CH<sub>4</sub></b>	<b>15.4</b>	<b>4</b>	<b>0.23</b>
<b>Propane (ou GPL)</b>	<b>12,9</b>	<b>2.6</b>	<b>0.26</b>
<b>SP Gazole Kérosène</b>	<b>12,6</b>	<b>2</b>	<b>0.32</b>
<b>Pétrole</b>	<b>12</b>	<b>1</b>	<b>0.33</b>
<b>Charbon</b>	<b>9</b>	<b>0.7</b>	<b>0.38</b>
<b>Bois Energie</b>	<b>4</b>	<b>0.12</b>	<b>0.30</b>



# L'hydrogène n'est pas facile à transporter !

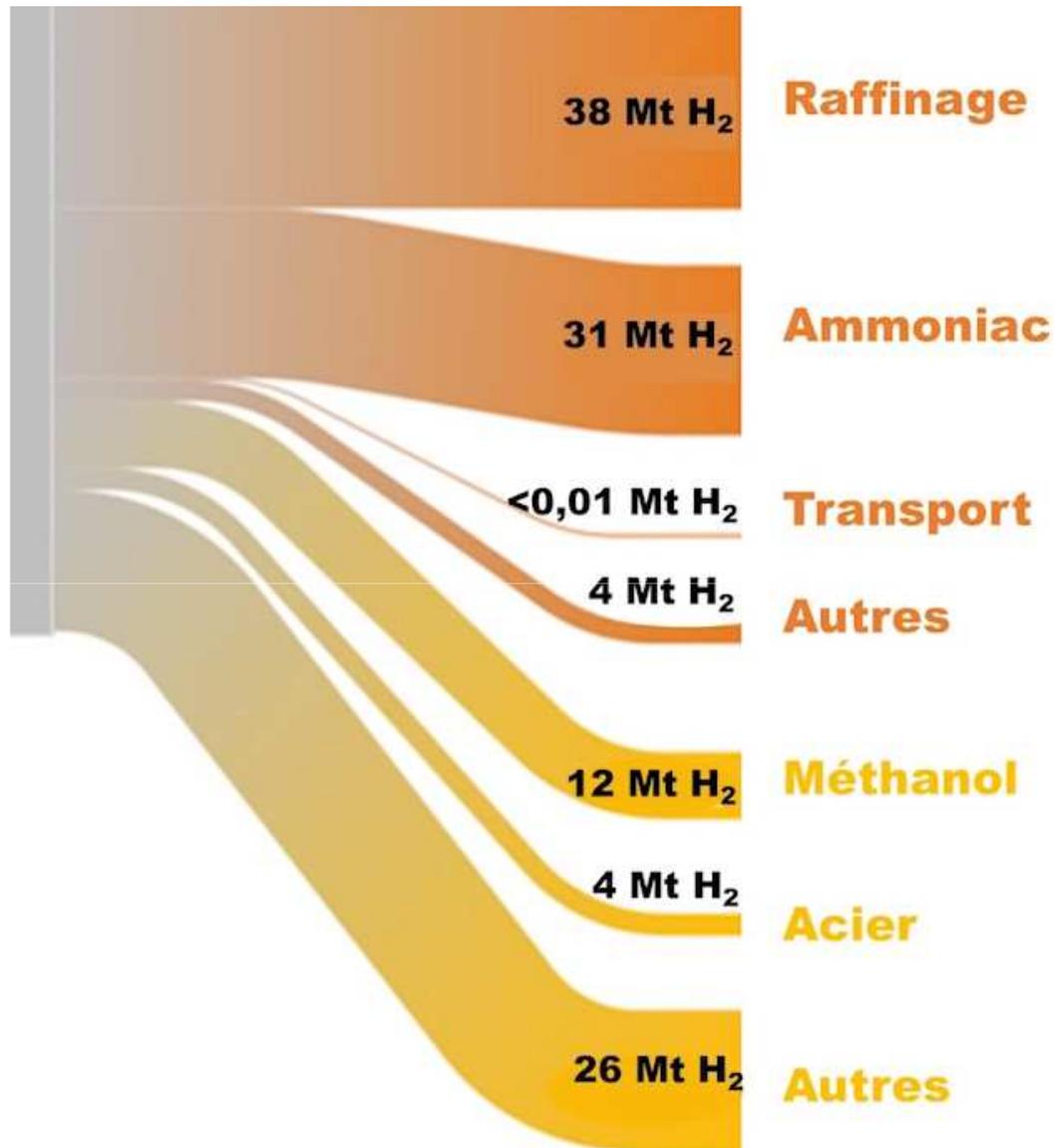
**Pression  
élevée  
700 bars  
température  
ambiante  
4,2 kg/100 litres**

**ou**

**Température  
très basse  
-253 °C  
pression  
atmosphérique  
7.1 kg/100 litres**

**Utilisation à 70% sur le lieu de production**

# Qui utilise l'hydrogène aujourd'hui ?



**Le producteur est souvent le consommateur ou très proche du consommateur !**

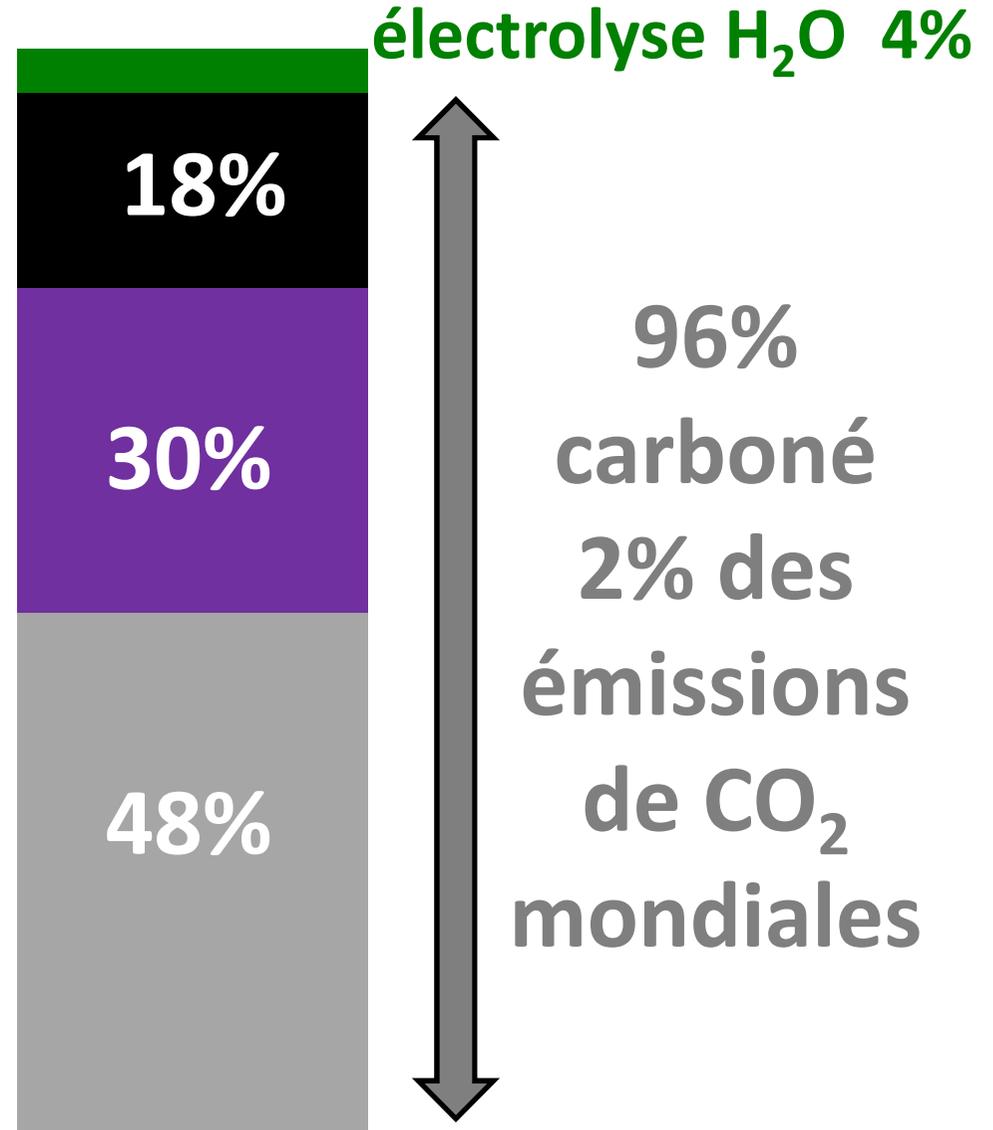
# Production mondiale hydrogène 115 MT/an

20MT de perte

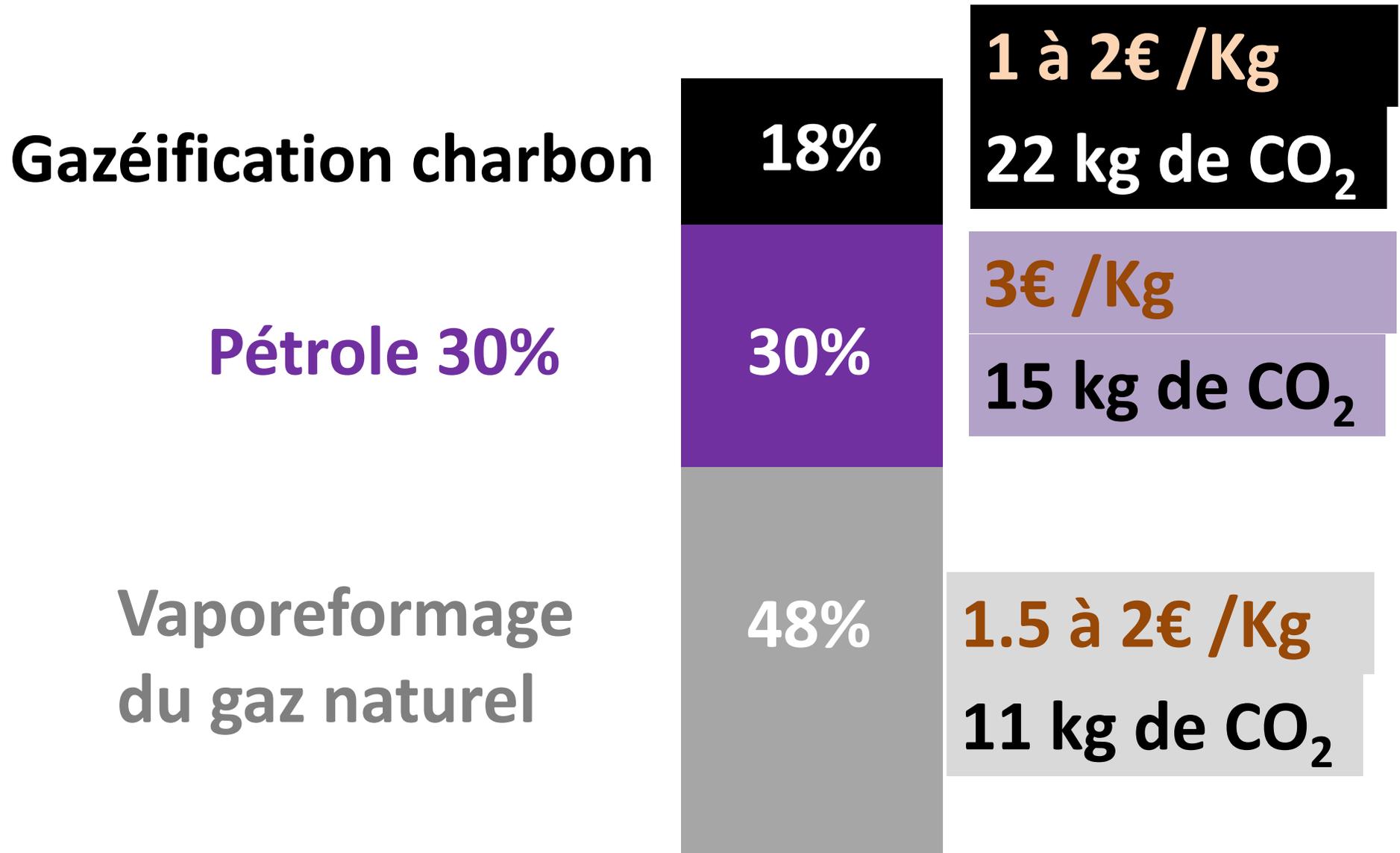
Gazéification charbon

Pétrole 30%

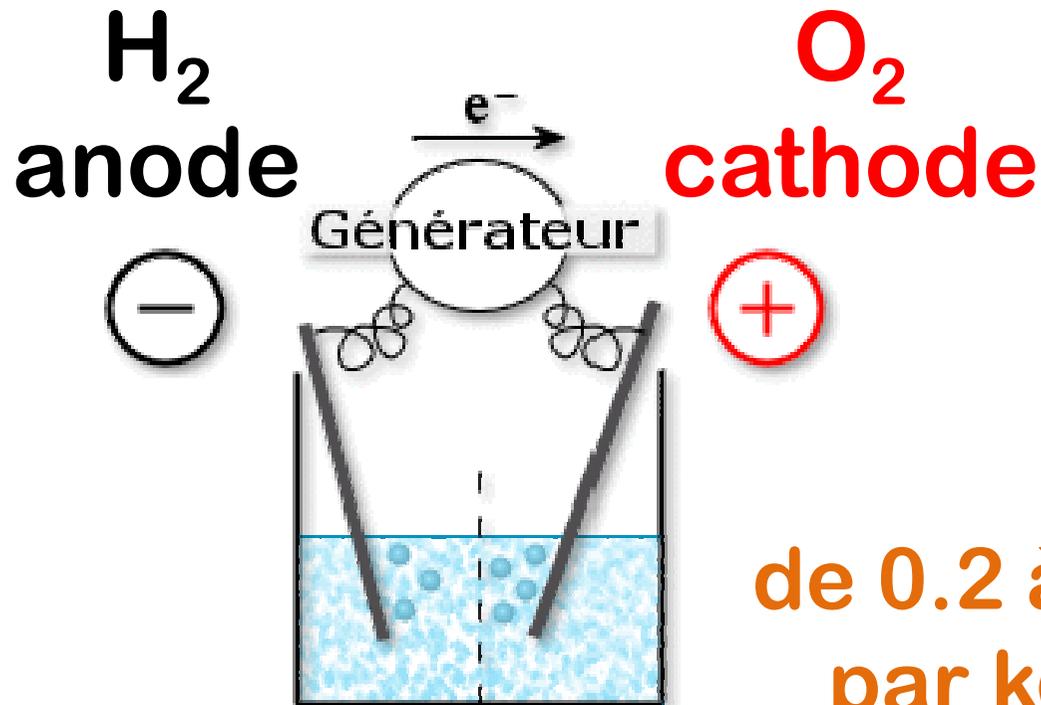
Vaporeformage  
du gaz naturel



# Quelques données clef par Kg de H<sub>2</sub> produit



# Electrolyse de l'eau (4% de la production mondiale)

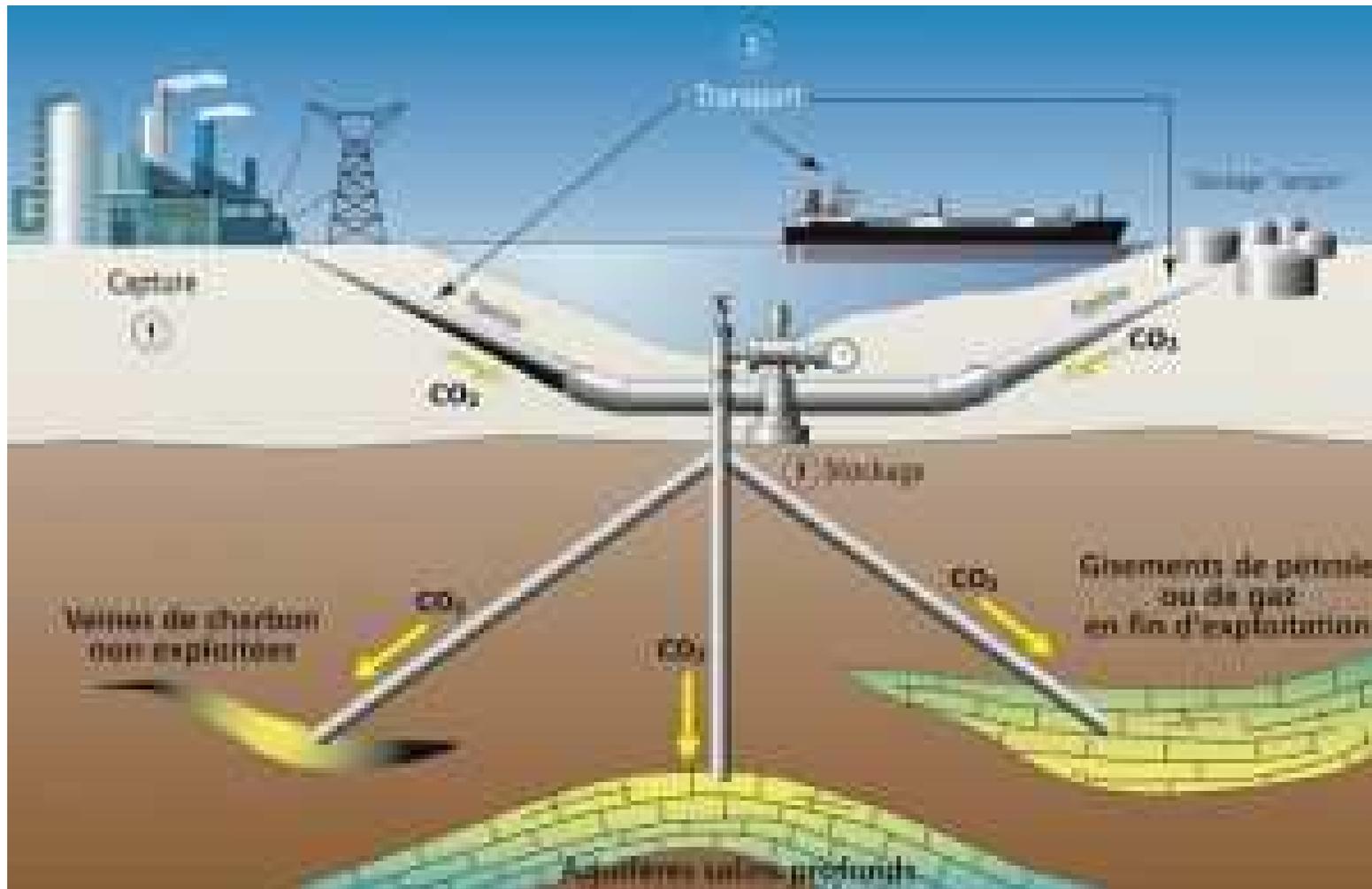


de 0.2 à 36 kg de  $CO_2$  émis  
par kg de  $H_2$  obtenu !!!

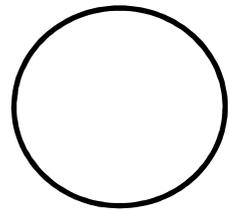
de 4€ à 6€ le kg de  $H_2$

# capture et stockage du carbone CCS

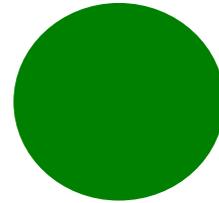
## Remettre le CO<sub>2</sub> dans le sol



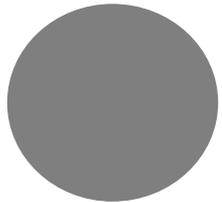
# La palette de l'artiste Hydrogène ? !



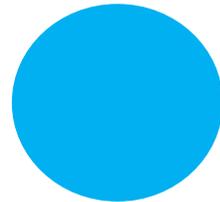
naturel



Electrolyse ENR



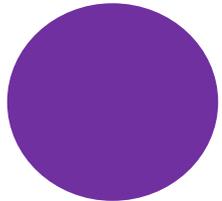
Vapo  
CH<sub>4</sub>



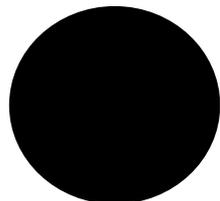
CH<sub>4</sub>  
+ CCS



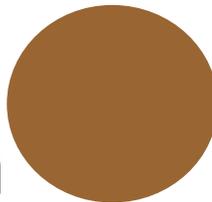
Electrol.  
nucléaire



Pétrole



Gazéif.  
Charbon



Gazéif.  
Lignite

# Quel surcoût pour éviter une tonne de CO<sub>2</sub>

	<b>Méthane + Capture</b>	<b>100 €</b>
	<b>Charbon + Capture</b>	<b>150 €</b>
	<b>Nucléaire + Electrolyse</b>	<b>450 €</b>
	<b>Éolien + Electrolyse</b>	<b>550 €</b>
	<b>Photovoltaïque + Electr</b>	<b>950 €</b>

# Qui pourrait utiliser l'hydrogène demain?

**Ceux qui utilisent l'H<sub>2</sub> aujourd'hui**

**+**

**ceux qui utilisent des hydrocarbures**



**+**

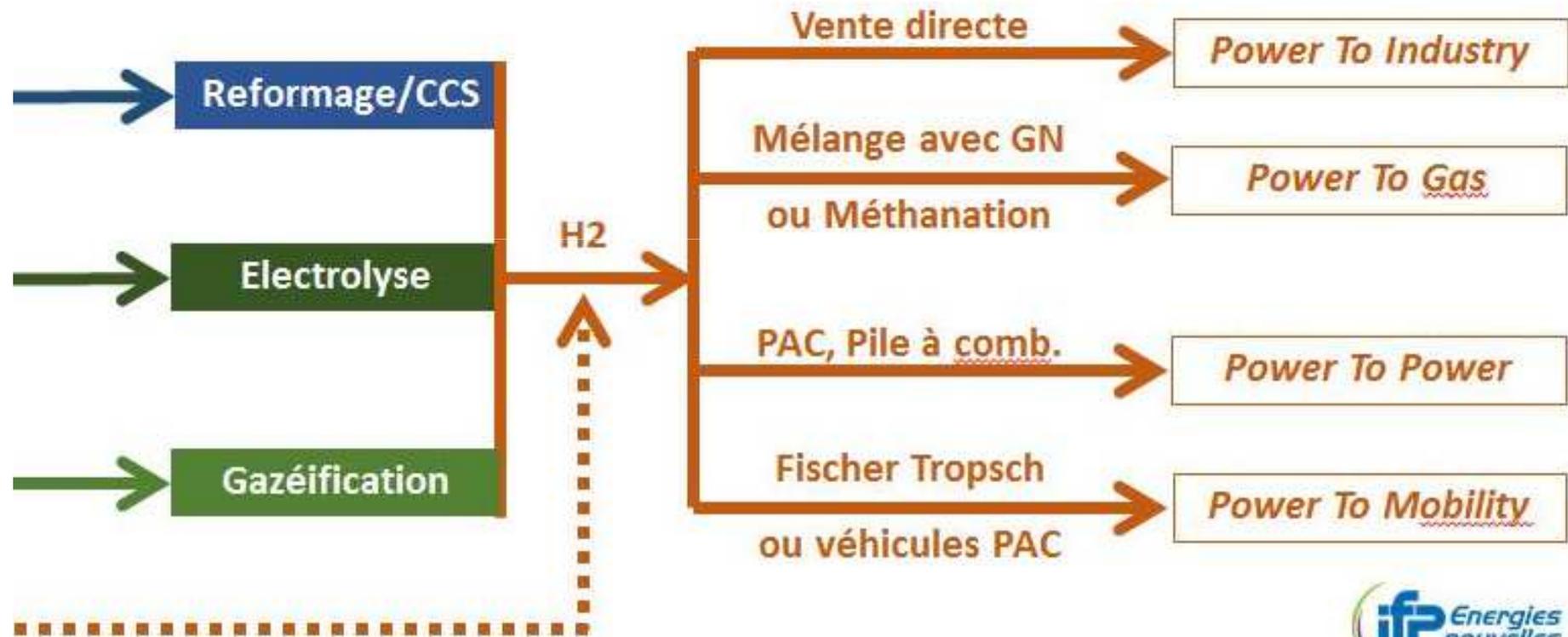
**Ceux qui veulent stocker  
des énergies intermittentes**

# Hydrogen power !

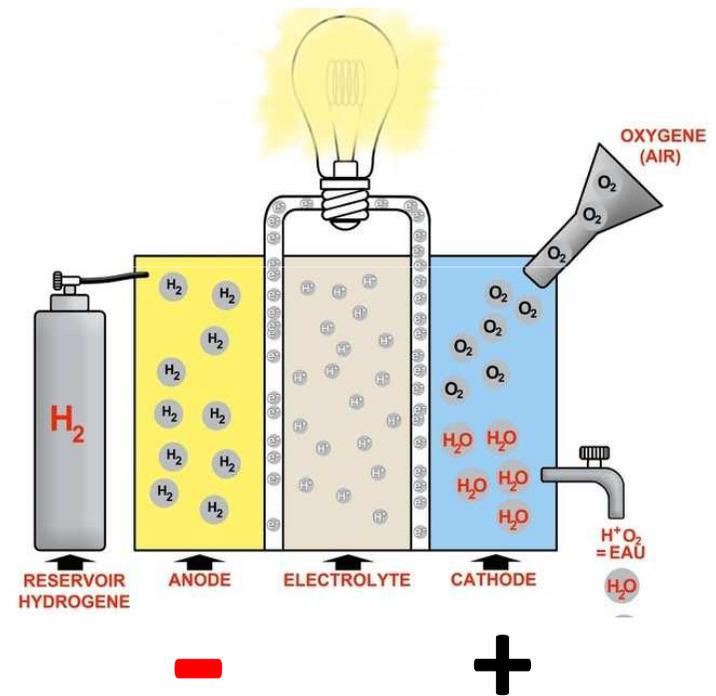
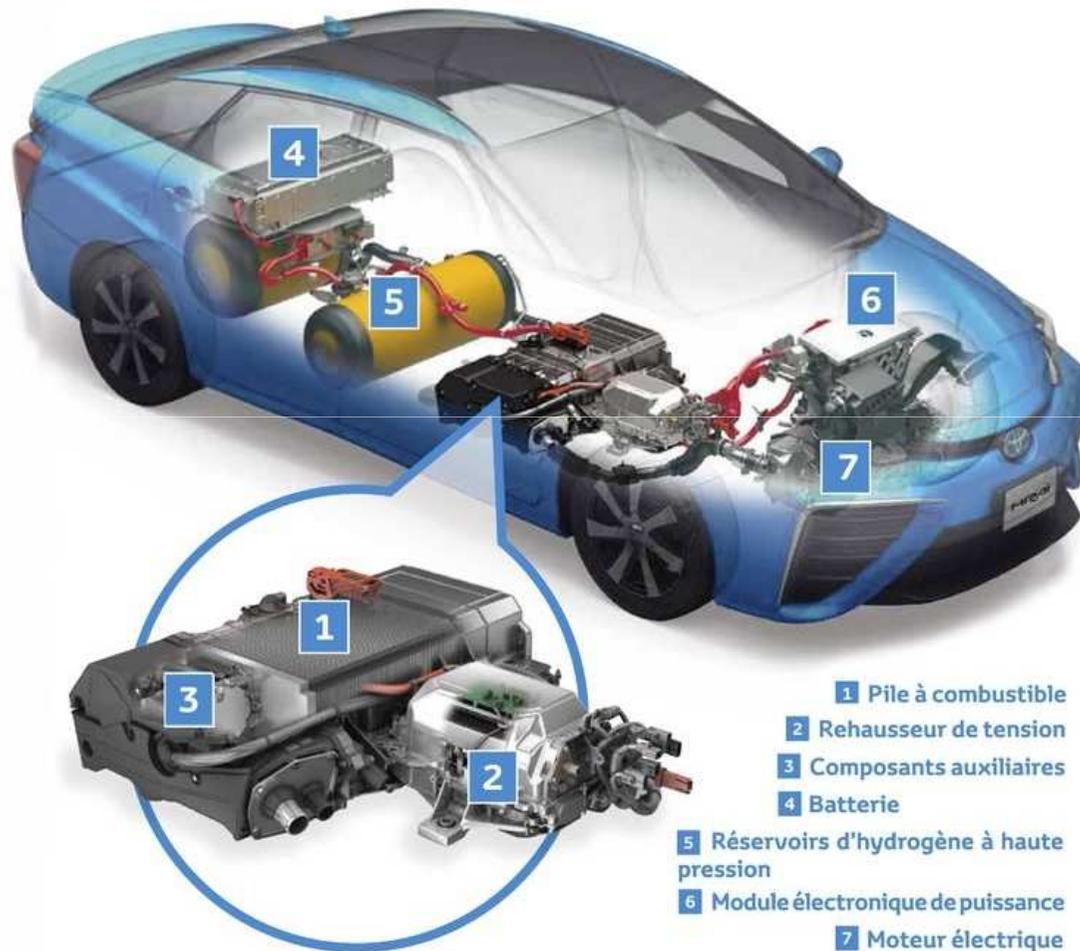
*Production*

*Conversion/Stockage*

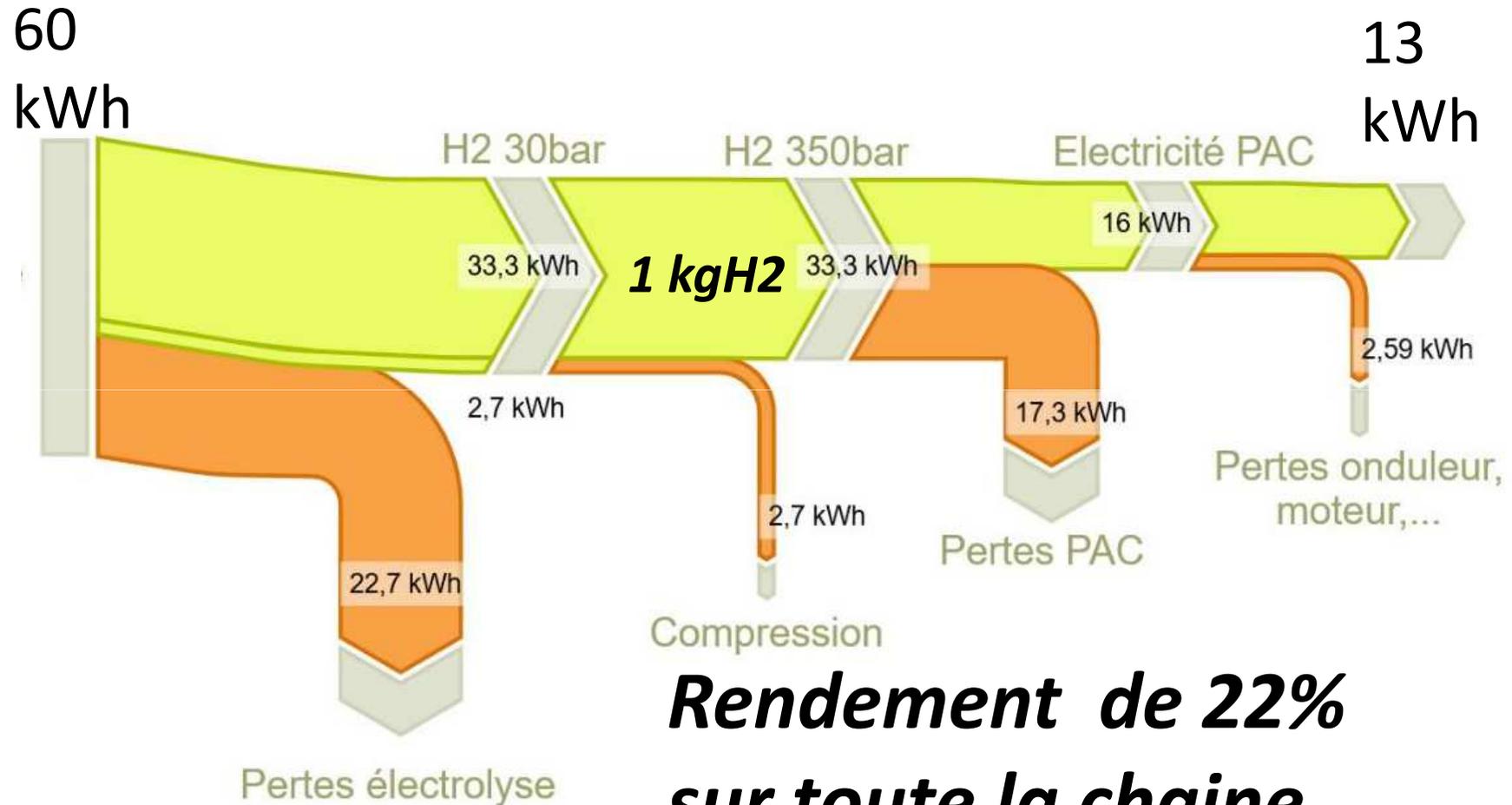
*Usages*



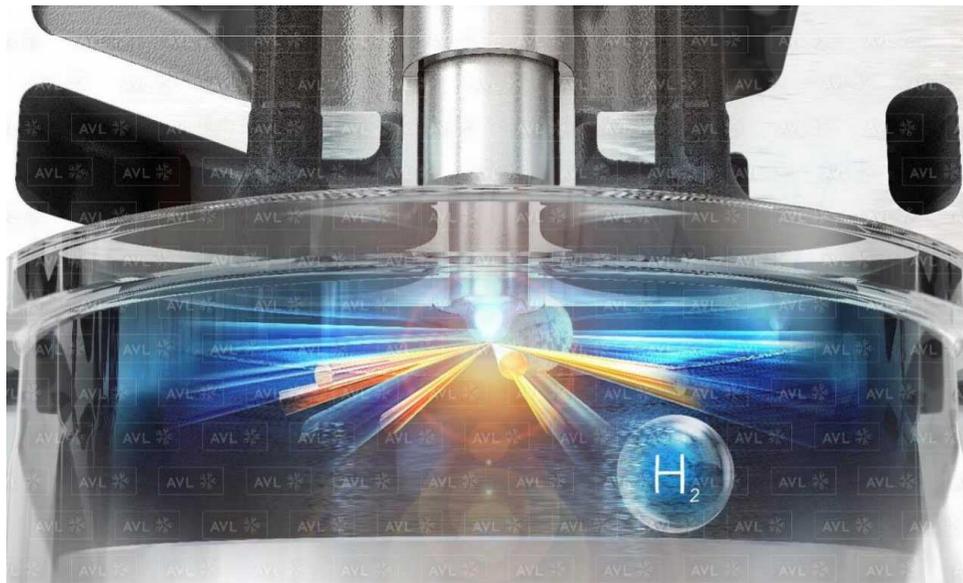
# La Pile À Combustible



# Utilisation sur véhicule avec pile à combustible



**Hydrogène thermique**  
**Moteur HPDI (high pressure direct injection)**  
**Un moteur «diesel» à hydrogène**  
**pour gros moteurs !**  
**Beaucoup moins cher que les PAC**  
**avec des rendement proches.**



**Pas de CO2**  
**Des NOx à traiter**

# Aurons nous les matériaux pour déployer l'hydrogène ?

**Criticité élevée    Cuivre    Cobalt**

**Criticité moyenne    Nickel    Lithium**

Problème de disponibilité de l'eau  
et de l'énergie  
pour extraire les matières premières

# Étonnant non ?

**Le rendement du stockage de l'électricité intermittente par des solutions hydrogène est estimé aujourd'hui entre 20 à 30 %, contre 70 % pour les batteries.**

## Étonnant non ?

**Le rendement du stockage de l'électricité intermittente par des solutions hydrogène est estimé aujourd'hui entre 20 à 30 %, contre 70 % pour les batteries.**

**Pour remplacer la centrale de Fessenheim  
Il faut 4000 éoliennes  
et une très grosse capacité de stockage !**

# Étonnant non ?

**Le rendement du stockage de l'électricité intermittente par des solutions hydrogène est estimé aujourd'hui entre 20 à 30 %, contre 70 % pour les batteries.**

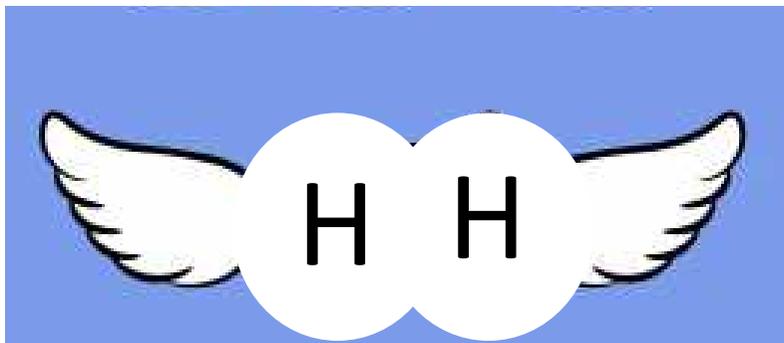
**Pour remplacer la centrale de Fessenheim  
Il faut 4000 éoliennes  
et une très grosse capacité de stockage !**

**Il faudrait 7 fois la capacité électrique française pour produire par électrolyse tout l'hydrogène produit aujourd'hui en France**

**N'oublions pas que les meilleurs investissements sont :**

**Thermostat à 17°,  
2 pulls si nécessaire,  
une bonne couette  
Isolation des logements et bonne VMC  
Pompe à chaleur  
Vélo pour petits trajets  
voitures plus légères**

**Hightech +Lowtech = Righttech**



merci