

L'Hydrogène – Généralités



- Gaz diatomique, sans couleur ni odeur, non toxique et hautement inflammable.
- Élément le plus abondant dans l'univers.
- Carburant du soleil.
- Jupiter : 99.8 % d'hydrogène et d'hélium.



Jupiter

Malgré sa position au sommet du Groupe I, il n'en fait pas vraiment partie :

- C'est un gaz et non un métal.
- Il ne réagit pas avec l'eau.
- Il est beaucoup plus électronégatif que les métaux alcalins.

H	
2.20	
Li	Be
.97	1.47
Na	Mg
1.01	1.23
K	Ca
.91	1.04
Rb	Sr
.89	.99
Cs	Ba
.86	.97
Fr	Ra
.86	.97

Électronégativité
des Groupes I et II

L'Hydrogène – Histoire

- 1766 : Henry Cavendish découvre et isole l'hydrogène.
- 1781 : Cavendish démontre qu'en brûlant l'hydrogène forme de l'eau, infirmant ainsi la théorie des quatre éléments (dont l'eau faisait partie) d'Aristote.
- 1898 : James Dewar produit pour la première fois de l'hydrogène liquide.
- 1900 : le premier 'Zeppelin' effectue son vol inaugural, rempli d'hydrogène.
- 1931 : Harold Urey découvre le deutérium.



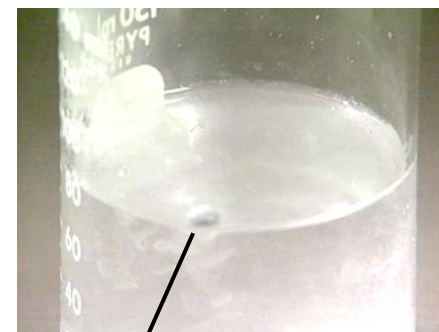
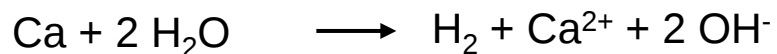
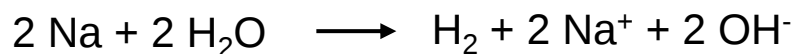
Henry Cavendish
(1731-1810)



L'incendie de l'Hindenburg en 1937

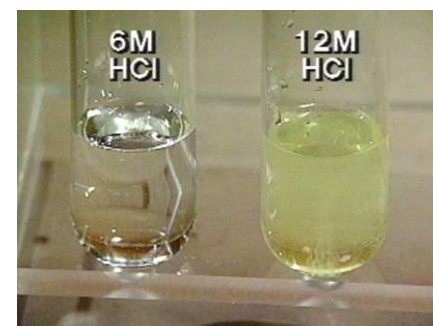
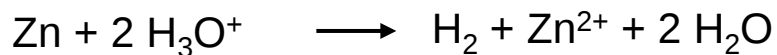
Synthèse de l'Hydrogène

Les métaux électropositifs réagissent avec l'eau pour donner de l'hydrogène :



Morceau de Na
dans H₂O

En laboratoire : réaction de Fe ou Zn avec des acides :

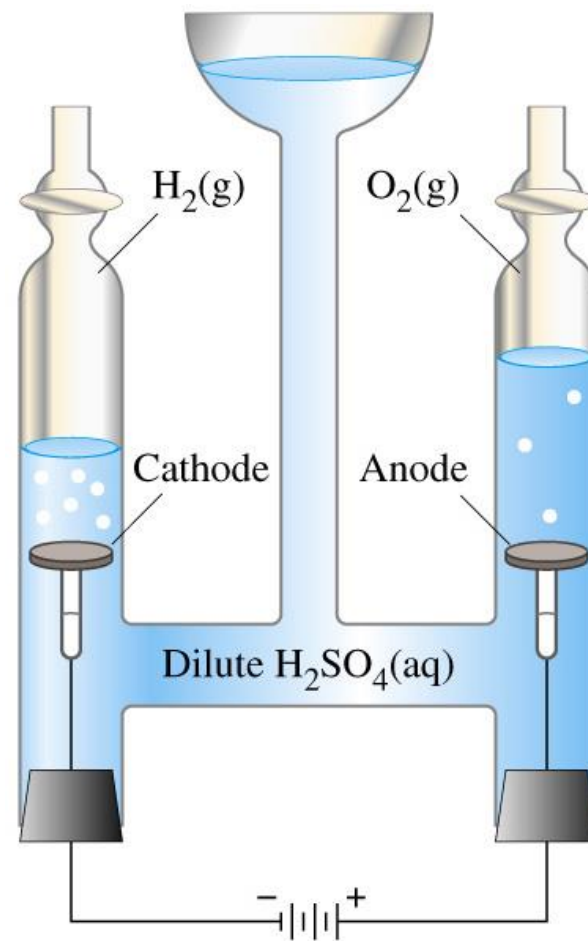


Morceaux de Fe
dans HCl/H₂O

Synthèse de l'Hydrogène

Électrolyse de l'eau :

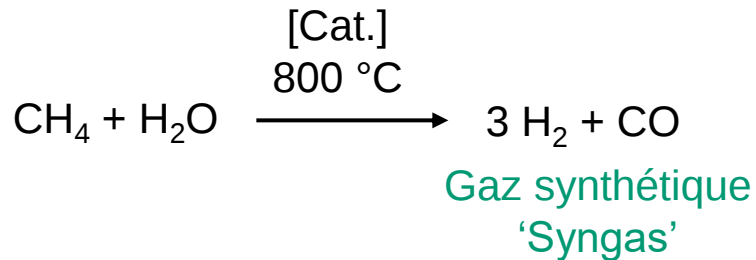
- Par électrolyse de H_2SO_4 ou KOH .
- Produit de l'hydrogène très propre.



Production Technique d'Hydrogène

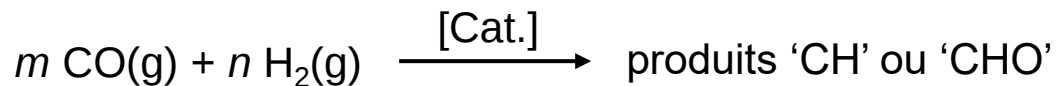
- La plus grande partie de l'hydrogène est produite à partir de gaz naturel (principalement du méthane).
- La moitié de la production d'hydrogène est utilisée pour la synthèse de NH_3 .

Vaporeformage



Usine à vaporeformage
chez BASF

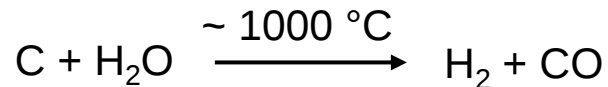
Utilisations du syngas:



'CH' = gasoline, cires; 'CHO' = méthanol, glycols

Production Technique d'Hydrogène

Gazéification du charbon



La gazéification du charbon étant un processus endothermique, de l'énergie est requise. On l'obtient en brûlant du charbon. Le CO généré par vaporeformage ou par gazéification du charbon peut être converti par la **réaction du gaz à l'eau**:

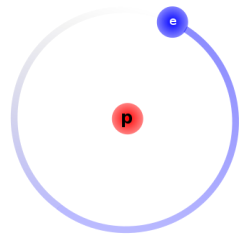


Usine pilote de démonstration pour la gazéification du charbon.

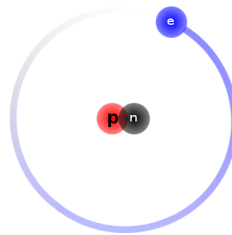
Production : 2544 tonnes par jour

L'Hydrogène – Isotopes

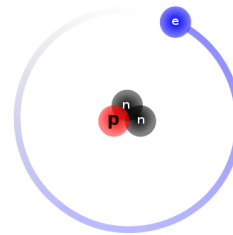
	<u>nucleus</u>	<u>abundance</u>	
^1H	1 proton	99.985 %	
^2H (D)	1 proton, 1 neutron	0.015 %	
^3H (T)	1 proton, 2 neutrons	10^{-15} %	(radioactif)



Protium



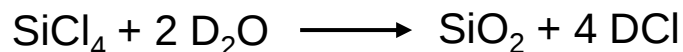
Deuterium



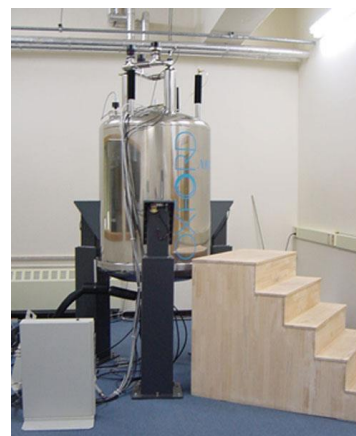
Tritium

Le Deutérium

- Pour aucun autre élément la différence de masse relative entre deux isotopes n'est aussi importante. Il en résulte des différences prononcées de réactivité chimique.
- H_2 est plus réactif que D_2 . L'électrolyse de H_2O conduit à un enrichissement en D_2O .
- Les effets isotopiques peuvent être utiles pour sonder le mécanisme d'une réaction.
- Des composés deutérés peuvent être obtenus par réaction d'échange:



- D_2O est utilisé comme modérateur dans les réacteurs nucléaires car il peut ralentir les neutrons.
- Des composés deutérés sont massivement utilisés pour les expériences de Résonance Magnétique Nucléaire (RMN).



Glaçons d'Eau Lourde



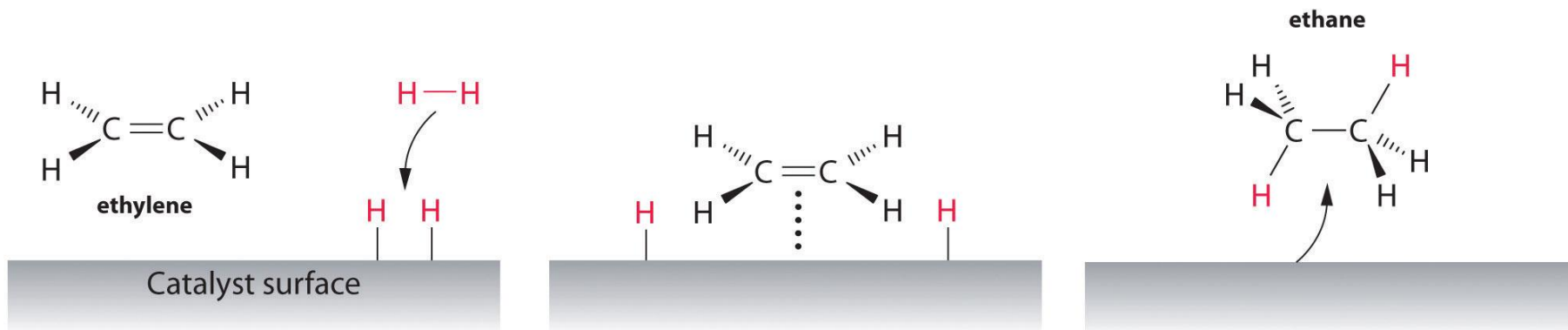
Un glaçon fait d'eau normale flotte dans un récipient rempli d'eau liquide



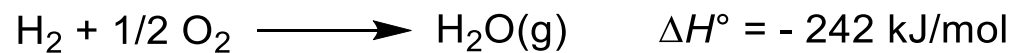
Un glaçon d'oxyde de deutérium coule dans l'eau.

Réactivité de l'Hydrogène

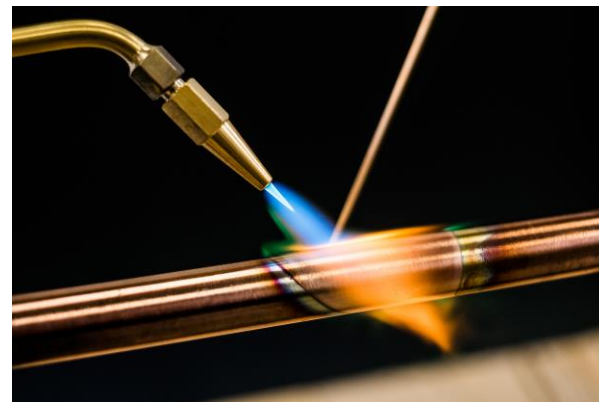
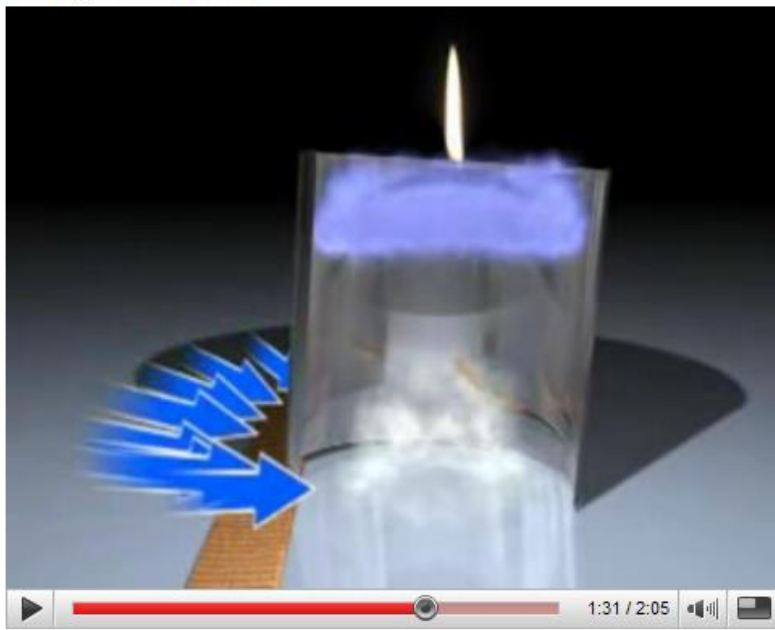
- A température ambiante, H_2 n'est pas très réactif en raison de son haute énergie de dissociation.
- H_2 peut être activé à la surface de catalyseurs.



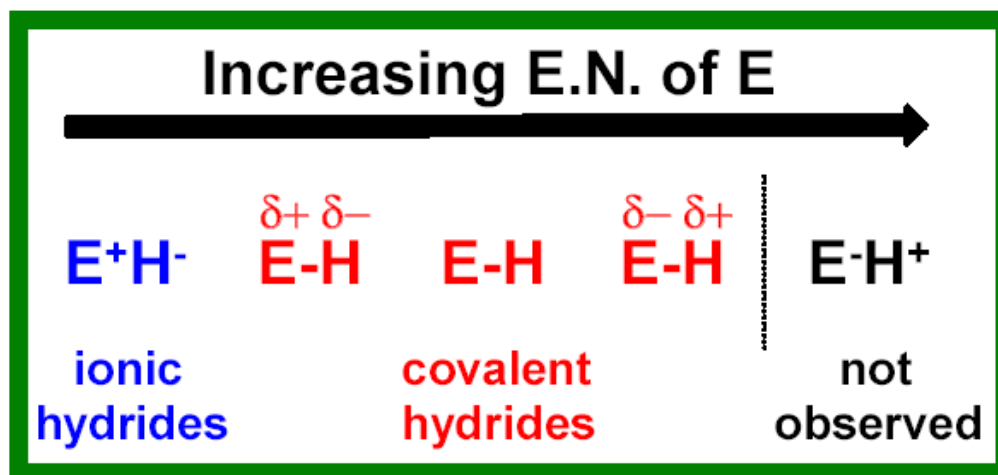
L'Hydrogène – Réaction avec O₂



Knallgas - GALILEO



Les Composés de l'Hydrogène



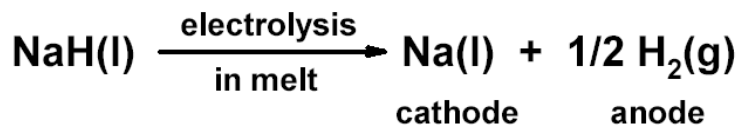
H possède une électronégativité intermédiaire (2.1)

Les Hydrures Ioniques

- H^- se forme avec les éléments extrêmement électropositifs (Groupe I, éléments plus lourds du Groupe II) et a un comportement essentiellement semblable à celui de Cl^- , comme l'on peut s'y attendre en considérant sa charge et sa taille :

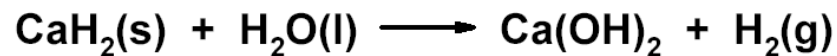
	<u>radius (r)</u>	<u>Q/r ratio</u>
H	0.32 Å	
H^-	1.53	0.65
F^-	1.19	0.84
Cl^-	1.67	0.60

- Preuves de l'existence de H^- :
 - a) les composés en fusion conduisent l'électricité, comme NaCl
 - b) l'électrolyse donne $H_2(g)$ à l'anode (+).

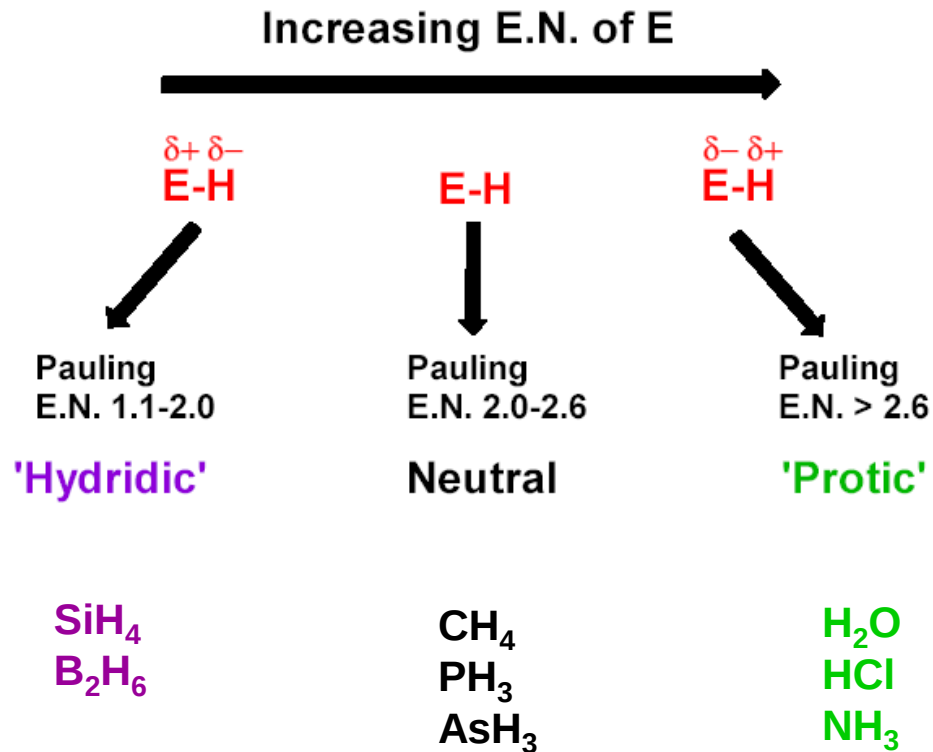


- Les hydrures ioniques réagissent avec l'eau :

drying agent



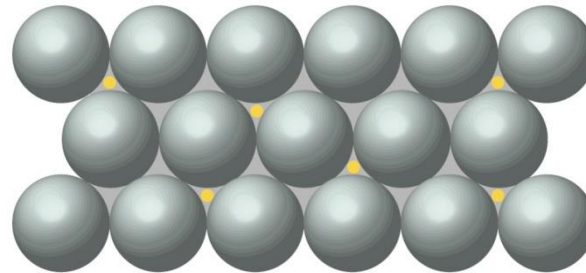
Les Hydrures Covalents



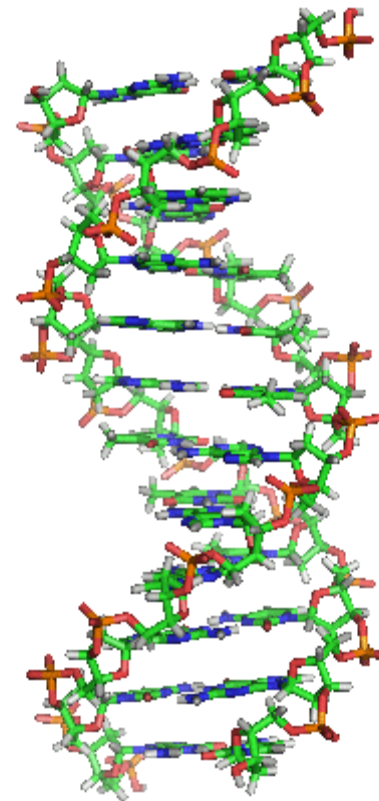
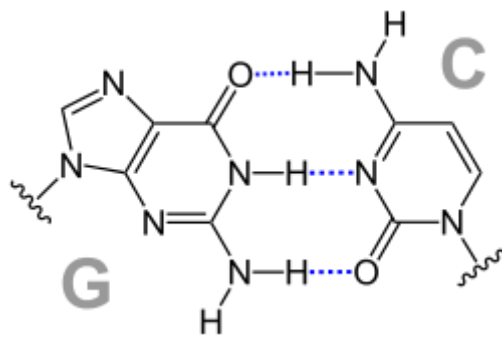
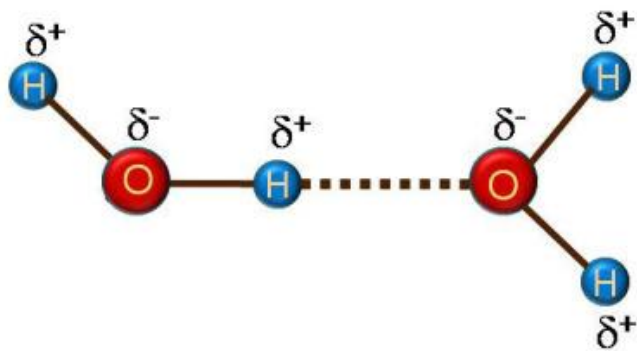
Les Hydrures Métalliques

Certains métaux de transition et alliages forment des hydrures non stoechiométriques dans lesquels les atomes d'hydrogène se trouvent dans les espaces tétraédraux et octaédraux du réseau métallique ('hydrures interstitiels'). Ce sont des solides conducteurs ou semi-conducteurs à l'aspect métallique.

p.ex. $\text{TiH}_{1.9}$ $\text{HfH}_{2.1}$



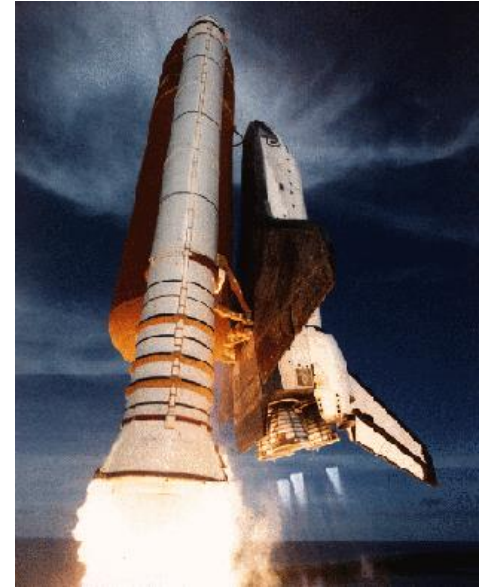
Liaison hydrogène



L'Hydrogène comme Carburant



Hyundai avec pile à combustible



Navette spatiale: 500 000 l d'O₂ liquide et 1,5 million de litres de H₂ liquide

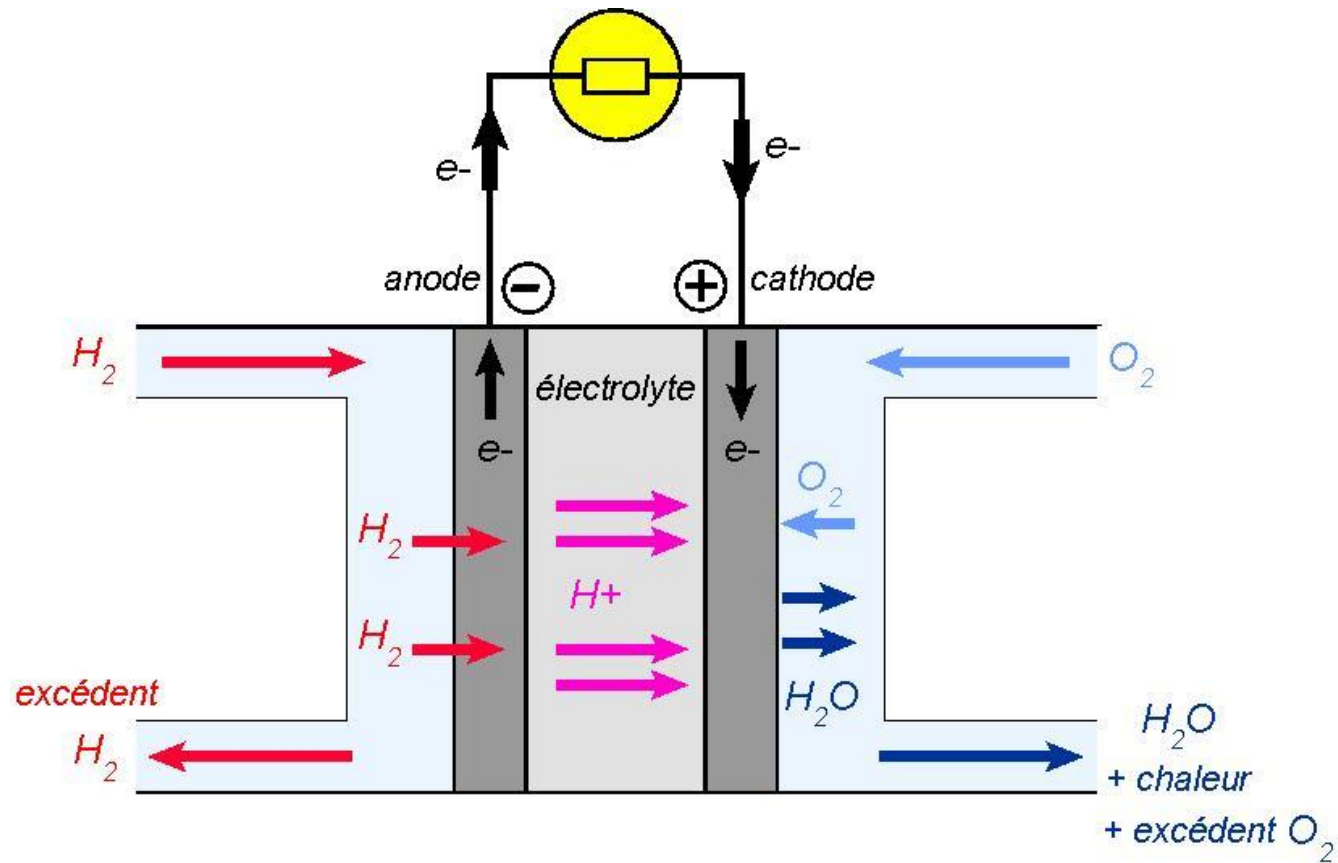
L'hydrogène est soit brûlé soit converti en électricité dans une pile à combustible.

L'Hydrogène comme Carburant

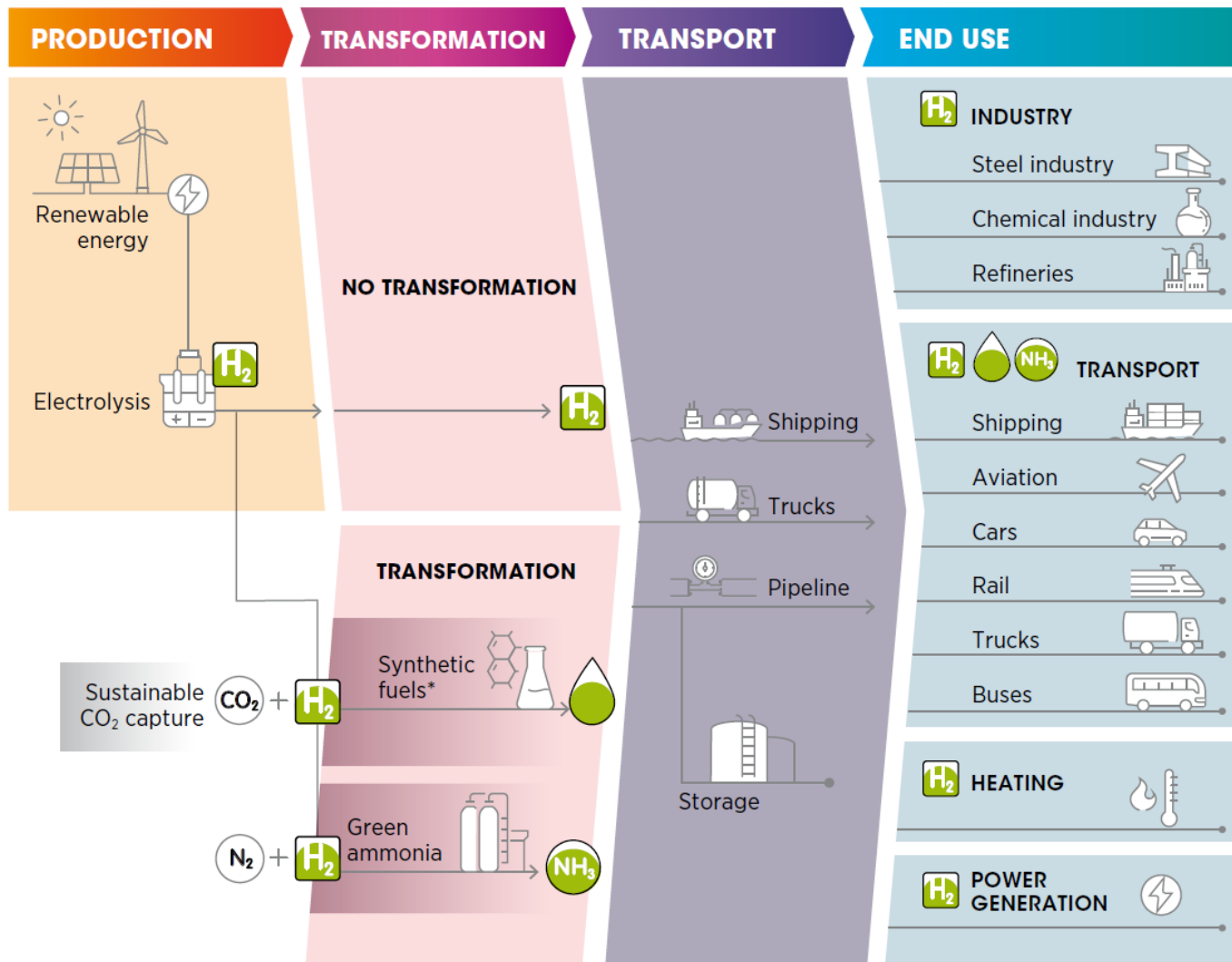


2035 ?

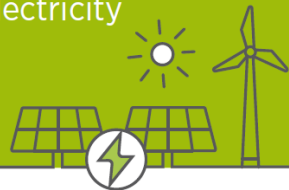
La Technologie de la Pile à Combustible



Économie Hydrogène



Les Couleurs de l'Hydrogène

Color	GREY HYDROGEN	BLUE HYDROGEN	TURQUOISE HYDROGEN*	GREEN HYDROGEN
Process	SMR or gasification	SMR or gasification with carbon capture (85-95%)	Pyrolysis	Electrolysis
Source	Methane or coal 	Methane or coal 	Methane 	Renewable electricity 

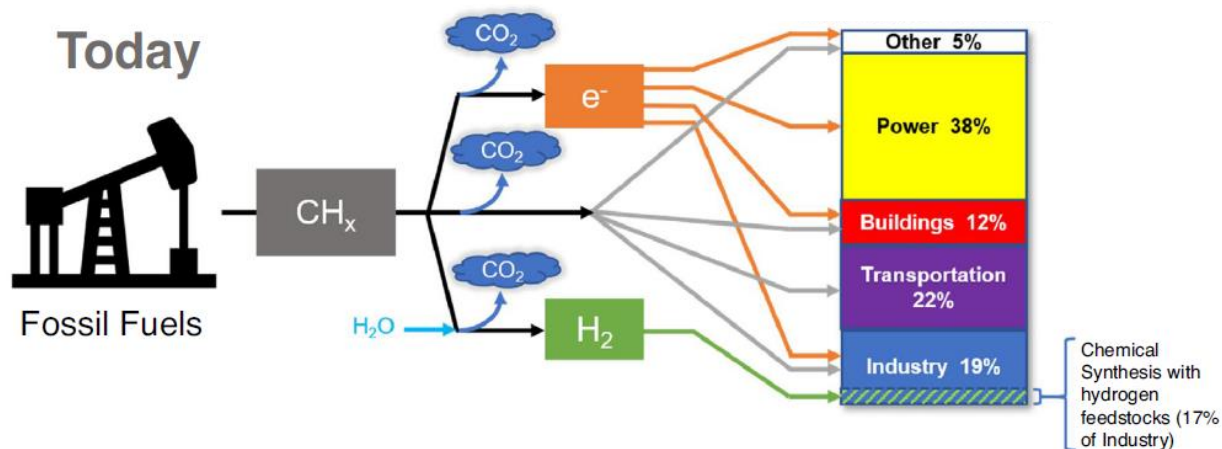
Note: SMR = steam methane reforming.

** Turquoise hydrogen is an emerging decarbonisation option.*

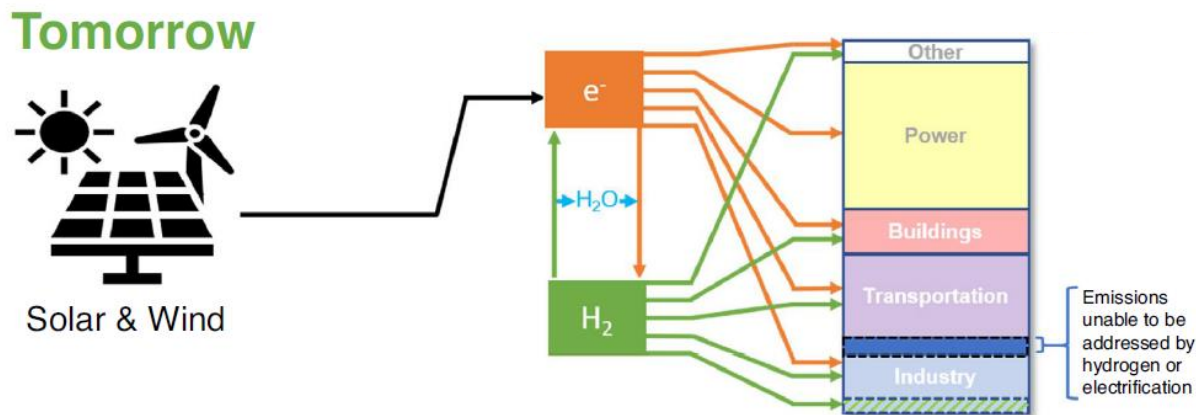
(pilot phase)

Économie Hydrogène

(a)



(b)



Stockage de l'Hydrogène

