



L'hydrogène

Louis Debiais

Rappel de ses principales caractéristiques physiques et physico-chimiques et de quelques comparaisons avec le gaz naturel

Extrait du *Mémento de l'Hydrogène*, fiche n° 2.1, AFH2 (www.afh2.org).

Propriété	Valeur numérique
PCI (pouvoir calorifique inférieur)	10 800 kJ/Nm ³
	119 930 kJ/kg (gaz naturel 50 020 kJ/kg)
	3,00 kWh/Nm ³
	33,33 kWh/kg
PCS (pouvoir calorifique supérieur : inclut l'énergie de la vapeur d'eau)	12 770 kJ/Nm ³
	141 860 kJ/kg
	3,55 kWh/Nm ³
	39,41 kWh/kg
Densité gazeuse à 20,3 K	1,34 kg/m ³
Densité gazeuse à 273 K	0,08988 kg/Nm ³ (gaz naturel 0,6512 kg/Nm ³)
Densité liquide à 20,3 K	70,79 kg/m ³
Chaleur spécifique (C _p)	14 266 J/kg K (293 K)
Chaleur spécifique (C _v)	10 300 J/kg K
Conductivité thermique du gaz	0,1897 W/(mK)
Chaleur d'évaporation	445,4 kJ/kg
Énergie théorique de liquéfaction	14 112 J/g (3,92 kWh/kg)
Électronégativité (Pauling)	2,1
Masse atomique	1,0079
Constante du gaz	4 124,5 J/kg K
Température de solidification	14,01 K
Température d'ébullition (à 1 013 mbar abs.)	20,268 K
Température critique	33,30K
Température d'auto-inflammation dans l'air	858 K (gaz naturel 813 K)
Température de flamme dans l'air à 300 K	2 318 K (gaz naturel 2 148 K)
Limites d'inflammabilité dans l'air (vol %)	4-75 (gaz naturel 5,3-15)
Limites de détonation dans l'air (vol %)	13-65 (gaz naturel 6,3-13,5)
Énergie minimale d'inflammation (μJ)	20 (gaz naturel 290)
Énergie explosive théorique (kg de TNT/m ³ de gaz)	2,02 (gaz naturel 7,03)
Surpression de détonation (mélange stœchiométrique)	14,7 bar (gaz naturel 16,8 bar)
Coefficient de diffusion dans l'air	0,61 cm ² /s (gaz naturel 0,16)
Vitesse de flamme dans l'air	260 cm/s (7 fois le gaz naturel)
Vitesse de détonation dans l'air	2,0 km/s (gaz naturel 1,8 km/s)
Mélange stœchiométrique dans l'air (vol)	29,53 % (gaz naturel 9,48 %)



PRODUCTION

Production actuelle et perspectives

Extrait du *Mémento de l'Hydrogène*, fiche n° 2.2, AFH2 (www.afh2.org).

Si l'hydrogène, constituant essentiel du gaz de ville, a largement été utilisé comme vecteur énergétique au XIX^e siècle et dans la première moitié du XX^e siècle, il est utilisé aujourd'hui quasi exclusivement comme réactif chimique dans les industries de la chimie et du pétrole.

Nous rappelons ci-dessous les ordres de grandeur des quantités d'hydrogène fabriqué en Europe et dans le monde et les situons par rapport à la demande énergétique mondiale.

L'hydrogène en Europe

L'hydrogène dans l'industrie chimique

L'hydrogène est une des matières de base des industries chimiques et pétrochimiques. Il est :

- soit fabriqué spécifiquement dans des unités dédiées (steam-reformers, oxydation partielle d'hydrocarbures, électrolyseurs...),
- soit coproduit dans des fabrications d'autres produits chimiques tels que l'éthylène ou le chlore.

Sa valorisation en tant que matière première étant très supérieure à sa valeur calorifique, les « coproductions » d'hydrogène sont généralement, sur les sites industriels chimiques, regroupées dans un « réseau hydrogène » et utilisées dans les diverses fabrications du site nécessitant de l'hydrogène.

Les quantités d'hydrogène liées à la fabrication d'un produit chimique varient dans des proportions importantes.

• Ammoniac

Le produit dominant sur le plan de la consommation d'hydrogène avec une part voisine de 50 % est l'ammoniac NH₃, utilisé dans l'industrie des engrais.

Avec une production d'ammoniac voisine de 15 millions de t/an et une consommation spécifique de 2 000 Nm³/t, les besoins européens en hydrogène, pour l'ammoniac, sont de l'ordre de **30 milliards Nm³/an ou 2,7 millions t/an.**

• Ensemble des autres produits chimiques

La quantité d'hydrogène utilisée aujourd'hui pour la fabrication de la totalité des autres produits chimiques tels que les amines, le méthanol, l'eau

oxygénée,... est très inférieure à celle nécessitée par la fabrication d'ammoniac.

On l'estime approximativement à la moitié soit **15 milliards de Nm³/an ou 1,35 millions de t/an.**

L'hydrogène dans l'industrie du pétrole

Dans les raffineries, un certain nombre d'unités sous-produisent de l'hydrogène (cracking thermique ou catalytique, reformeur catalytique...), alors que d'autres en sont consommatrices (hydrocracking, hydrotraitement, désulfuration...).

La tendance vers des spécifications de plus en plus sévères pour les carburants et les produits pétroliers fait croître la demande en hydrogène et conduit à des bilans globaux déficitaires en hydrogène. C'est pourquoi la plupart des raffineries sont amenées à produire dans des unités de « steam-reforming », l'hydrogène complémentaire dont elles ont besoin.

Le recensement des capacités de production d'hydrogène des « steam-reforming » installés en raffineries donne une première évaluation des besoins en hydrogène de l'industrie du raffinage.

C'est ainsi qu'en Europe les besoins en hydrogène de l'industrie pétrolière sont estimés à **20 milliards de Nm³/an ou 1,8 millions de t/an.**

Bilan global européen

Les besoins en hydrogène de l'industrie européenne peuvent donc aujourd'hui se résumer au tableau suivant :

	Consommation (milliards de Nm ³ /an)	Consommation (millions de t/an)	%
Production d'ammoniac	30	2,7	46
Autres produits chimiques	15	1,35	23
Raffinage	20	1,8	31
Total	65	5,85	100

L'hydrogène dans le monde

L'Agence Internationale de l'Énergie estime la production mondiale d'hydrogène à **500 milliards de Nm³/an** ainsi répartis :

Secteur industriel	Consommation (milliards de Nm ³ /an)	%
Production d'ammoniac	250	50
Autres produits chimiques	65	13
Raffinage	185	37
Total	500	100



Ces quantités d'hydrogène sont produites quasi exclusivement au départ de combustibles fossiles et en particulier au départ de gaz naturel.

L'hydrogène dans la demande mondiale d'énergie

La demande mondiale d'énergie

En 2000, la demande mondiale en énergie primaire exprimée en tonnes d'équivalent pétrole (tep) a été de l'ordre de **10 milliards de tep ou 420 EJ** (1 exajoule (EJ) = 10^{18} joules).

Poussée par l'augmentation de la consommation dans les pays en voie de développement, elle croit à un rythme compris entre 1 et 2 % par an, ce qui pourrait conduire à son doublement avant 2050.

Aujourd'hui, les sources d'énergie primaire se répartissent comme suit :

Origine des productions d'énergie primaire

Pétrole	40 %
Charbon	25 %
Gaz naturel	25 %
Nucléaire	6 %
Renouvelable/hydraulique	4 %

Mais pour des raisons liées tant à l'environnement qu'à l'épuisement progressif des combustibles fossiles, cette répartition va évoluer notablement au cours des prochaines décennies.

L'hydrogène aujourd'hui et demain

Les **500 milliards de Nm^3 (6,5 EJ)** d'hydrogène produits annuellement représentent **1,5 %** de la production mondiale d'énergie primaire.

Si l'hydrogène était amené à devenir un vecteur énergétique largement répandu, on voit l'ampleur du problème posé par sa production future.

Pour qu'en **2050** l'hydrogène représente une proportion notable de la couverture des besoins énergétiques mondiaux (disons 20 %, soit 170 EJ), les capacités de production devraient être multipliées par un facteur de l'ordre de 25, ce qui correspondrait à une production de l'ordre de **12 500 milliards de Nm^3 /an ou 120 millions de t/an.**

Bibliographie

- *Hydrogen Today and Tomorrow*, IEA Greenhouse Gas R & D Programm, avril **1999**.
- *Identification of Hydrogen by Products Sources in the European Union*, Ludwig, Bölkow, Systemtechnik GmbH, European Commission.
- *Hydrogen as an energy carrier and its production by nuclear power*, Tecdoc International Atomic Energy Agency, mai **1999**, 1085.



Louis Debiais

est ingénieur et docteur es sciences. Il est membre du bureau de l'Association Française de l'Hydrogène.