

Cours: Nouvelles technologies des énergies renouvelables

Chapitre II

Combustible hydrogène

I.1. Introduction

L'hydrogène est un combustible qui n'émet aucun gaz à effet de serre. Il peut être produit en dissociant l'eau par électrolyse ou par thermochimie à haute température. D'autres possibilités existent à partir d'hydrocarbures, d'alcools ou de biomasse, ce sont le **reformage**, l'oxydation partielle et la gazéification. Le CO₂ émis par ces méthodes peut être capté et stocké. L'hydrogène obtenu par dissociation de l'eau est «vert» si l'énergie nécessaire est d'origine renouvelable, il devient alors un auxiliaire de ce type d'énergie qu'il permet de stocker. Sur Terre, le dihydrogène est très abondant sous forme H, atome présent dans l'eau et principal composant du soleil.

La molécule H₂ de dihydrogène, constituée de deux atomes d'hydrogène, est communément appelée "hydrogène".

L'hydrogène peut être converti en électricité, en chaleur ou en force motrice et a ainsi de nombreuses applications possibles.

L'hydrogène est cependant difficile à stocker et à transporter en raison de sa faible densité énergétique par unité de volume.

I.2. Conversion énergétique de l'hydrogène

Elément chimique le plus abondant dans l'univers, l'hydrogène (H) est classé en première place du tableau de Mendeleïev. Il s'agit de l'atome le plus simple et le plus léger : il est constitué d'un noyau contenant un proton et d'un électron périphérique.

La molécule H₂ de dihydrogène, constituée de deux atomes d'hydrogène, est aussi communément appelée « hydrogène » (nous emploierons cette terminologie dans la fiche). C'est cette molécule H₂ qui fait l'objet d'une exploitation chimique et suscite un fort intérêt énergétique, tant par ses possibilités d'usage que de stockage.

Vecteur énergétique d'avenir et substitut possible aux hydrocarbures, elle présente plusieurs avantages conséquents:

- sa combustion génère une forte quantité d'énergie (environ 3 fois plus que l'essence à poids constant) ;
- elle est très abondante sur Terre sous forme atomique (eau, hydrocarbures, etc.). Le dihydrogène existe aussi à l'état naturel (les premières sources naturelles d'hydrogène ont été découvertes au fond des mers dans les années 1970 et plus récemment à terre, rappelle IFP Énergies nouvelles) ;
- sa combustion est non carbonée (pas d'émission de CO₂ lorsqu'il est issu de sources renouvelables) ;
- elle est stockable et peut constituer un moyen efficace de stockage de l'électricité sur des durées longues.

II.3. Mise à disposition de l'hydrogène énergie

L'hydrogène est produit par la séparation d'éléments chimiques dont l'atome H est un composant et par la mobilisation d'une source d'énergie.

La plus grande partie de l'hydrogène est actuellement produite à partir de gaz naturel et est utilisée par les industriels pour ses propriétés chimiques, en particulier dans les usines d'ammoniac (50% de la consommation mondiale) et dans les raffineries de pétrole (désulfuration d'essence et de gazole, production de méthanol, etc.).

Plus de 95% de la production d'hydrogène est encore issue d'énergies fossiles (gaz naturel, pétrole, charbon). On appelle « hydrogène bas carbone » l'hydrogène produit grâce à une source d'énergie renouvelable ou nucléaire (ou par vaporeformage de gaz naturel si le procédé est associé à une unité de captage, stockage et valorisation du CO₂).

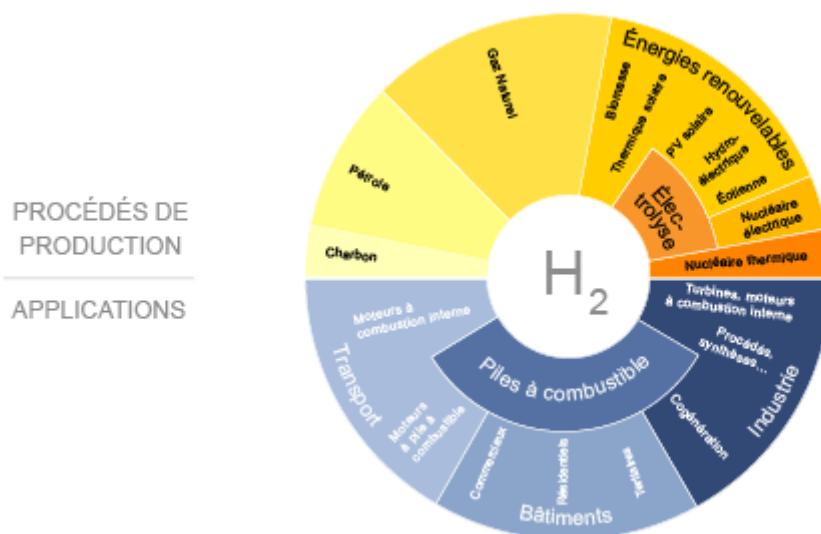
L'hydrogène peut être converti en électricité, en chaleur ou en force motrice selon l'usage final. Il a l'avantage de présenter une capacité de stockage (problématique avec l'électricité) et de pouvoir être produit sans émission de CO₂. En tant que vecteur énergétique, il trouve ainsi :

- **des applications stationnaires** : stockage d'énergie dans les bâtiments en assurant une fourniture d'électricité et de chaleur grâce à la cogénération, ce qui permettrait le développement des bâtiments à énergie positive ;
- **des applications mobiles** : l'hydrogène peut alimenter des véhicules équipés de moteurs à combustion fonctionnant au gaz. Par ailleurs, un réservoir d'hydrogène peut-être associé à une pile combustible pour améliorer l'autonomie de véhicules

électriques (électro-mobilité de 2^e génération, dite 2G, la première correspondant aux véhicules électriques) ;

- **des applications industrielles** : l'hydrogène est un composant chimique très employé dans l'industrie.

Notons que l'hydrogène est déjà largement utilisé dans le domaine de l'aérospatial comme combustible pour la propulsion des fusées.



La chaîne hydrogène (©Connaissance des Énergies d'après AFH₂ – UE)

Enjeux par rapport à l'énergie

Production dé carbonée de l'hydrogène

L'intérêt de l'hydrogène dans la lutte contre les émissions de gaz à effet de serre dépend évidemment de la manière dont il est produit. Une chaîne non carbonée de production existe (électrolyse ou séquestration de CO₂, s'il est issu des énergies fossiles).

La conjonction de trois facteurs conditionne le développement d'une filière énergétique de l'hydrogène : compétitivité en termes de prix, rendement énergétique et absence d'émission de CO₂.

Gestion des intermittences des énergies renouvelables

Avec les piles à combustible, l'hydrogène énergie permet de stocker et de produire de l'électricité à la demande, valorisant ainsi les énergies renouvelables intermittentes.

Stockage et transport de l'hydrogène

L'hydrogène est difficile à stocker et à transporter, en raison de sa faible densité énergétique par unité de volume. Le transport s'effectue généralement en bouteilles ou en pipelines sous forme comprimée : le gaz peut être comprimé de quelques dizaines de bars à 350 ou 700 bars pour être acheminé. D'autre part, il est possible de le liquéfier l'hydrogène à -253°C mais cette transformation est très énergivore. Notons également la possibilité de transporter l'hydrogène sous forme d'hydrure métallique (la réaction d'hydruration est en effet réversible).

Le réseau de gaz naturel peut aussi contenir de l'hydrogène jusqu'à 20% en volume mais cela nécessite de le purifier en aval du réseau. Notons qu'il faut dix fois plus d'espace pour stocker de l'hydrogène gazeux par rapport à l'essence.

Utilisation dans les transports

Le secteur des transports offre un potentiel de développement majeur au vecteur hydrogène : celui-ci peut être utilisé directement dans des moteurs à combustion interne ou dans des piles à combustible. Des moteurs à combustion utilisant l'hydrogène équipent déjà des bus et des

bennes à ordures ménagères sous forme d'hythane (mélange 20% hydrogène / 80% gaz naturel).

III.4. Dangers de l'hydrogène et sécurité

Cependant, l'hydrogène énergie (ou vecteur hydrogène) se heurte encore à plusieurs limites :

- le stockage de l'hydrogène nécessite des quantités d'énergie importantes en raison de sa faible densité (il peut être stocké sous forme comprimée, liquide ou encore d'hydrure métallique) ;
- l'efficacité de son transport (énergie transportée par unité de volume) est beaucoup moins forte que celle du pétrole ou du gaz en raison de cette faible densité ;
- des risques d'inflammabilité et de détonation avec l'air existent (bien que moindres que pour le gaz naturel) ;
- le coût du procédé de production d'hydrogène le plus prometteur, l'électrolyse de l'eau, reste élevé ;
- son utilisation grand public dans les transports nécessite la mise en place d'un réseau de stations à hydrogène (de type stations services) qui requiert des investissements considérables.

L'hydrogène énergie est prometteur à plus d'un titre. Néanmoins, son exploitation à l'échelle industrielle en est à ses balbutiements.

La réputation de l'hydrogène pâtit de quelques accidents historiques comme l'incendie du dirigeable Hindenburg en 1937 ou l'explosion de la navette Challenger le 28 janvier 1986. Néanmoins, ce gaz se révèle moins dangereux que le gaz naturel. Dans les voitures fonctionnant à hydrogène, on rajoute un colorant au gaz. En cas de fuite, l'hydrogène est

invisible, inodore et n'est chaud qu'au-dessus de la source. Etant très léger, le gaz se libère verticalement, ce qui constitue un avantage en termes de sécurité.

Acteurs majeurs

On peut distinguer deux grandes catégories d'acteurs de la filière hydrogène : les centres de recherche qui travaillent sur les procédés de production et de transport les plus performants (en France, notamment le CEA, le CNRS ou IFP Énergies nouvelles) et les industriels qui travaillent sur les débouchés de ce vecteur énergétique (constructeurs automobiles ou groupes gaziers comme Air Liquide). En France, la filière est mise en valeur auprès des acteurs économiques et du grand public par l'association française de l'hydrogène (AFH₂).

Unités de mesure et chiffres clés

La production industrielle mondiale d'hydrogène gazeux atteint actuellement près de 130 Mtep, soit environ 1,5% de la production mondiale d'énergie.

Zone de présence ou d'application

- Plusieurs pays se trouvent à la pointe de la recherche appliquée à l'hydrogène : l'Allemagne avec le programme *H₂ Mobility* et *Callux*, le Japon avec le *Japanese Large Scale Fuel Cell Demonstration Programme* ou encore les États-Unis avec le *US National Hydrogen & Fuel Cell Program*.
- En 2007, le Canada et les États-Unis ont convenu de créer une « autoroute verte », un réseau de 200 stations de ravitaillement en hydrogène entre la Colombie-Britannique et la Californie.

- La ville de Londres, en Angleterre, s'est engagée à réduire ses émissions de 60 % d'ici 2025 et a acquis une flotte de huit autobus à hydrogène⁽⁵⁾ dans cette optique.