Comment substituer l'hydrogène aux

Par Salhi Essaïd

I- Introduction

La pollution des grandes villes ne peut perdurer à cause de l'effet de serre provoqué par le transport. Une voiture relâche, tous les 5 000 km, 1 tonne de CO2. Pour cela, révolutionner le carburant des véhicules est une nécessité.

Cette révolution se confirme à travers l'utilisation de l'hydrogène (H2) avec la pile à combustible. L'utilisation de l'H2 à l'échelle industrielle sera généralisée, en particulier dans le domaine du transport, dès le début de la troisième décennie de ce siècle dans la plupart des continents, et l'énergie fossile ne sera plus à sa première place dans ce monde.

L'énergie actuelle provient du fossile, du nucléaire et du renouvelable. La société a appris à vivre avec deux vecteurs énergétiques, l'électricité et le gaz naturel. Le second, facile à transporter et à stocker, devra progressivement être remplacé par un autre ayant, au moins, les mêmes qualités. Ce nouveau vecteur a été identifié et accepté par tous, ce sera l'hydrogène qui est également une énergie renouvelable à produire généralement à partir de l'eau. La concrétisation du développement de l'hydrogène dans le transport s'est confirmée à travers l'avancement de la recherche et la généralisation de l'emploi qui est en cours [http://www.global-hydrogen-bus-platform.com].

L'Allemagne, leader européen dans le domaine, a mis en place 1 000 stations de recharge à hydrogène à travers le pays. La Grande-Bretagne est bien placée pour la deuxième place dans le développement de cette technologie. L'orientation vers les énergies renouvelables est primordiale et en particulier le développement du combustible d'hydrogène motivé par la croissance démographique en 2050. Le second impact pour l'humanité est que les émissions de CO2 dépasseront en 2050 le seuil de concentration de 550 ppmv, actuellement, il est de 370 ppmv (partie par million en volume).

Dans cette contribution, nous évoquerons les différentes techniques de production d'hydrogène, son stockage et les conditions de sécurité envisageables, ainsi que les défis de cette révolution industrielle à travers les différents axes de recherche en cours.

II- Les nouvelles techniques de transport

Les différentes techniques utilisées destinées aux véhicules sont : tout électrique batterie, véhicules hybrides (électriques-thermiques), véhicules au GPL, véhicules à combustion hydrogène, véhicules solaires et véhicules électriques à pile à combustible qui est le plus économique. A retenir que l'équivalence énergétique est environ de 1 g d'hydrogène pour 3,5 litres d'essence. Avec un véhicule qui consomme 7 litres d'essence au 100 km. Il faudrait 35 litres d'essence pour 500 km correspondant à 10 kg d'hydrogène pour un moteur à explosion et 5 kg d'hydrogène pour un moteur à pile à combustible.

III- Production de l'hydrogène

Les sources d'énergie pour produire l'hydrogène par l'électrolyse sont nombreuses dans le domaine du renouvelable, entre autres le photovoltaïque et l'éolien. Un triangle énergétique est conçu par «le photovoltaïque et ou l'éolien», «les piles à combustible» et «l'électrolyse pour la production d'H2». Néanmoins, les chercheurs ont envisagé d'autres sources sans courant imposé telles que la photosynthèse qui consiste à produire l'hydrogène avec de la lumière en présence de micro-organismes dans l'eau. Cependant, les deux techniques de production d'H2 les plus connues sont :

- L'électrolyse à haute température (EHT) qui consiste à dissocier la molécule d'eau en hydrogène et en oxygène à des températures comprises entre 700 et 1 000°C. Ce procédé de production massive d'hydrogène a été particulièrement étudié en Allemagne dans les années 1980. Pour les Etats-Unis, une économie de dizaines de milliards de dollars par an est possible sur l'H2 produit par le nucléaire. Cependant, la sécurisation de la filière de production, ainsi que la valorisation de l'oxygène est nécessaire «lors du soudage et l'oxycoupage, aquaculture, élaboration du verre et de l'acier en sidérurgie, les hôpitaux….» de façon qu'il n'y ait pas d'impact environnemental en étant massivement relargué dans l'environnement. La production accrue d'ozone le jour provoque l'augmentation de la corrosion et les risques d'incendie.

- L'électrolyse à basse température (BT) nécessite l'utilisation d'une eau la plus pure possible afin d'éviter l'accumulation de boue et les phénomènes de blocage des réactions électrochimiques et de corrosion aux électrodes dans un électrolyte alimenté par un générateur à courant continu. Dans l'électrolyse conventionnelle à basse température, l'électrolyte est généralement une solution aqueuse alcaline ou en présence d'une membrane polymère échangeuse de protons (PEM). Durant les dernières années, de nombreuses sociétés ont développé des électrolyseurs de capacité de production atteignant jusqu'à 100 Normal.m³/h d'H2 pour certaines applications industrielles. La conception de mini-électrolyseurs pour la production à domicile de l'hydrogène pour son véhicule personnel est envisageable. Le principe est l'utilisation d'une source d'énergie électrique à courant continu issue du photovoltaïque et «ou» de l'éolien pour alimenter l'électrolyseur et produire l'hydrogène compressé et stocké, celui-ci, servant à alimenter les piles à combustibles domestiques ou pour les véhicules.

L'hydrogène peut également être fabriqué par reformage dont un grand nombre de produits pourrait être utilisé tels que le gaz naturel, l'essence, le gazole et le méthanol, dont ce dernier contient 4 atomes d'hydrogène et offre un certain nombre d'avantages, du fait qu'il se fracture le mieux et il est bon marché. Cependant, ce type d'hydrogène nécessite une opération complémentaire de filtration.

IV- Stockage et réseau de distribution de l'hydrogène

A ce jour, il existe trois types de stockage envisageables :

- le stockage sous forme liquide à — 253°C sous 10 bars qui nécessite des réservoirs d'isolation thermique ;

- le stockage réversible de l'hydrogène sur les métaux de transition d'alliages AB «LaNi3, ZnMn2, TiFe…» sous forme d'hydrures métalliques permet d'obtenir une pression élevée. Le déstockage s'effectue par la déshydruration de ces alliages [8-9-10] ;

- la forme de stockage la plus retenue est la forme comprimée à plus de 350 bars permettant d'atteindre une densité massique satisfaisante avec des réservoirs en composite.

1- Le transport de l'hydrogène : Celui-ci est déjà effectué par voie routière sous forme gazeuse dans des conteneurs et sous forme liquide à l'aide de camions-citernes par tous les producteurs et distributeurs de gaz industriels. Le transport d'hydrogène par canalisations est également une opération courante pour approvisionner les complexes pétrochimiques. On peut ainsi citer à titre d'exemple le réseau de 1 500 km existant dans le nord-est de la France. La République fédérale d'Allemagne possède également plusieurs réseaux de distribution d'hydrogène par canalisations. Des études de faisabilité sur le transport maritime d'hydrogène liquide sont réalisées également de façon similaire que les actuels méthaniers.

2- La distribution de l'hydrogène

Les stations-services d'hydrogène peuvent être alimentées par un des modes de transport qui a été évoqué. Plusieurs stations ont déjà été construites à l'occasion de projets de démonstration de véhicules à pile à combustible, notamment en Allemagne. Les stations-services pourraient aussi constituer de petites unités de production d'hydrogène, soit par reformage soit par électrolyse.

V- Conditions de sécurité de l'hydrogène

L'H2 n'est pas plus dangereux que le gaz naturel, c'est la maîtrise des conditions de sécurité dès la conception des installations qui doivent être prises en compte. L'allumage d'une flamme au voisinage d'une source chaude (bougie, allumage d'une lampe…) peut enclencher une déflagration dans le cas d'une fuite d'H2 ; cependant une source chaude en permanence peut empêcher une accumulation trop forte du gaz et éviter sa détonation. La ventilation peut également être un moyen pour diluer l'hydrogène dans l'atmosphère ambiante, et réduire le risque de formation de nuage explosif.

VI- Pile à combustible (PC)

Les sources d'énergie pour produire l'hydrogène par l'électrolyse sont nombreuses dans le domaine du renouvelable, entre autres le photovoltaïque et l'éolien. Un triangle énergétique est conçu par «le photovoltaïque et ou l'éolien», «les piles à combustible» et «l'électrolyse pour la production d'H2». Néanmoins, les chercheurs ont envisagé d'autres sources sans courant imposé telles que la photosynthèse qui consiste à produire l'hydrogène avec de la lumière en présence de micro-organismes dans l'eau.

Au début des années 60, la NASA cherchait un moyen de produire de l'électricité pour ses vols spatiaux habités. Les piles à combustible apportèrent la réponse. Elles étaient à la fois plus sûres que l'énergie nucléaire, moins chères que l'énergie solaire et plus légères que des batteries. L'intérêt pour l'utilisation de piles à combustible sur Terre s'accroît aux Etats-Unis suite aux difficultés d'approvisionnement en pétrole dans les années 1970. De nombreuses applications ont été réalisées pour les missions lunaires, la propulsion de véhicules, les systèmes de secours (groupe électrogène) et diverses applications des appareils portables. Ainsi, le fonctionnement de la PC consiste à produire de l'eau à partir de l'H2 et l'O2 qui est purement et simplement l'inverse du fonctionnement d'un électrolyseur qui produit l'H2 et l'O2 à partir de l'eau. Par contre la PC produit de l'électricité et de la chaleur lors de la liaison des protons d'H2 et de l'O2. Alors que l'électrolyseur consomme de l'énergie pour dissocier l'eau en H2 et en O2. Les piles à combustibles connues au nombre de cinq, dont deux les plus utilisées, sont la PEMFC et la SOFC.

- Les piles à combustible (PEMFC) [3-11], sont connues aussi sous le nom de piles à combustible à membrane électrolyte polymère (ou PEMFC selon l'expression anglaise «Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cells». C'est un type de piles à combustible développé pour des applications dans les transports. Leurs caractéristiques propres incluent un fonctionnement des gammes de basses pressions et de températures vers 80°C et d'une membrane électrolyte en polymère solide spécifique.

- La pile à combustible SOFC (Solid Oxyde Fuel Cell) fonctionne à haute température (600 à 1 000°C), correspondant à des cycles complexes à haut rendement.

VII- Les domaines d'application de la pile à combustible

A l'état actuel, les principales applications des PC sont le stationnaire et le transport.

- Dans le stationnaire, on peut distinguer l'installation de puissance inférieure à 10 kW qui est principalement destinée à la cogénération (production combinée de chaleur et d'électricité) pour les applications résidentielles. La production en pile SOFC dans la gamme 200 kW à quelques MW est réalisée pour de nombreux projets industriels à travers les sociétés canadiennes Ballard Generation Systems et le pôle européen Alstom-Ballard ainsi qu'un pôle avec l'Allemagne Siemens.

L'installation d'une pile à combustible peut s'avérer plus rentable que la mise en place d'une ligne électrique. En cas de coupure d'électricité, un système de pile à combustible peut être considéré comme une alimentation de secours (hôpitaux, sites sensibles, etc.).

- Dans le transport, plusieurs prototypes de bus et de voitures légères équipés de pile PEMFC ont été mis en circulation depuis le début du XXe siècle par le canadien Ballard, l'allemand Daimler, Chrysler ; les américains General Motors ; les japonais Toyota, Nissan, Honda, Mazda, Mitsubishi, et Daihatsu ; les coréens Kia et Hyundai ; les français Renault... La propulsion des véhicules par pile à combustible permettrait de substituer les moteurs à combustion interne.

Les premiers véhicules initialement équipés en PC sont les véhicules de transport en commun pour des raisons environnementales dans les centres-villes (pollution, bruit) et la disponibilité de la place pour installer la pile à combustible. Cependant, il est porté un intérêt pour la SOFC concernant l'automobile et la construction maritime civile et militaire, au niveau du MW ou plus, pour une propulsion plus propre, plus efficace et plus discrète.

VIII- Les défis relatifs au développement de l'H2.

En général, le choix de l'hydrogène comme vecteur d'énergie du futur fait la quasi-unanimité des scientifiques, des industriels et des politiques (États-Unis, Japon, Canada…). La mise en place d'une infrastructure de production et de distribution d'hydrogène ne peut se faire que graduellement à travers les équipements de production et de distribution. Un programme d'un réseau «We-Net» de stations d'hydrogène permet à ces véhicules de circuler librement. L'hydrogène présente l'avantage de pouvoir être stocké pendant de longues périodes.

La recherche est actuellement orientée vers les SOFC fonctionnant à «basse» température (vers 600 °C) dans le but de décroître les coûts, en permettant l'utilisation de matériaux métalliques avec de meilleures propriétés mécaniques et une meilleure conductivité thermique, ainsi qu'une réduction du temps de démarrage.