



## Production d'hydrogène par électrolyse de l'eau à haute température

MEZIANE Fares  
 Attaché de Recherche  
 Division Hydrogène Energies Renouvelables - CDER  
 E-mail: f.meziane@cder.dz

### Introduction

Le secteur de l'énergie est aujourd'hui confronté à un double défi, une accélération du réchauffement climatique, à laquelle contribuent de façon importante les émissions de gaz à effet de serre (GES) par le secteur énergétique et les transports, et une hausse de la demande en énergie. Afin de répondre à cette demande, il serait donc nécessaire d'augmenter considérablement la production tout en assurant une production sans émission de GES. Les contraintes environnementales renforcent également l'idée de développement de nouvelles méthodes de production reposant sur les ressources renouvelables non polluantes (Eolien, solaire,...). En raison de la nature répartie de ces gisements, il est légitime d'imaginer une production basée sur le stockage d'énergie. En effet, le recours à l'hydrogène comme vecteur énergétique est l'une des solutions envisagées pour l'avenir énergétique.

Pour des usages industriels, l'hydrogène a commencé une nouvelle vie dans le domaine de l'énergie, il trouve d'ores et déjà différentes finalités, que ce soit comme vecteur de stockage ou de valorisation d'énergie renouvelable, ou comme complément au gaz naturel, voire comme carburant, ainsi que pour une variété d'applications liées à la pile à combustible dans les domaines stationnaires ou mobiles.

### Production de l'hydrogène

La production mondiale d'hydrogène est d'environ 55 millions de tonnes par année (1), il est généralement produit à partir de différents combustibles fossiles, tels que le gaz naturel (49 %), le pétrole (29 %), le charbon (18 %), et seulement 4 % de la production d'hydrogène est issue de la décomposition de l'eau par électrolyse (figure 1).

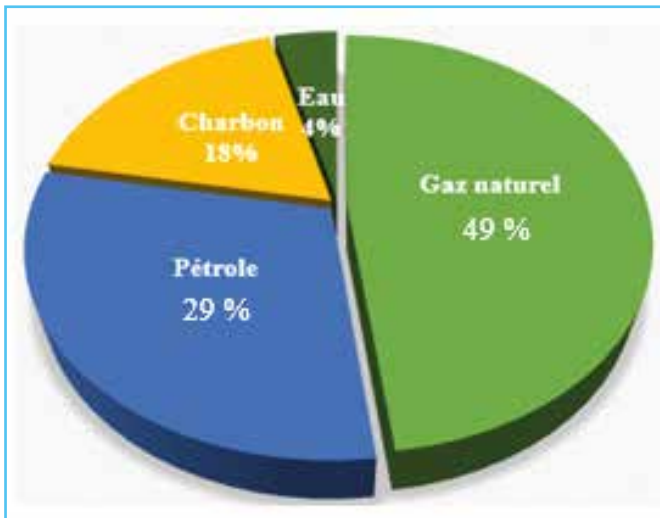


Figure 1: Répartition des modes de production d'hydrogène (1)

La quasi-totalité de l'hydrogène produit aujourd'hui provient de la décomposition d'hydrocarbures, essentiellement par le reformage de vapeurs de gaz naturel, l'oxydation partielle d'hydrocarbures, et la gazéification du charbon. Cependant, ces procédés ne contribueront pas à réduire notre dépendance envers les combustibles fossiles,

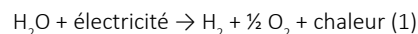
mais aussi favorisent le rejet dans l'atmosphère des GES (gaz à effet de serre).

Face aux procédés fossiles, seule la décomposition de l'eau est susceptible d'apporter également de grosses quantités d'hydrogène en réduisant les émissions de GES (Gaz à Effet de Serre).

Cette technique qui fait partie des objectifs tracés par la division Hydrogène-Energie Renouvelable du CDER est appelée à être de plus en plus utilisée dans le cadre du développement durable.

### Electrolyse de l'eau

L'électrolyse de l'eau a été conduite pour la première fois dans les années 1800 par Nicholson et Carlisle (2), cette technique nécessite de l'électricité pour dissocier la molécule d'eau en dihydrogène et en dioxygène :



Elle possède différentes variantes, à différentes températures à savoir :

- Electrolyse de l'eau à basse température (< 200°C) alcaline utilisant une solution aqueuse d'acide sulfurique ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) ou d'hydroxyde de potassium (KOH).
- Electrolyse de l'eau à basse température (< 200°C) utilisant un électrolyte solide : membrane polymère conductrice de protons PEM.
- Electrolyse de l'eau à haute température (> 400°C) utilisant une membrane céramique conductrice d'ions oxydes ou protonique, qui doit être couplée à un système solaire à concentration, ou à un réacteur nucléaire à haute température pour profiter d'une source de vapeur de bas coût.

### Electrolyse de l'eau à haute température

L'électrolyse de l'eau à haute température ou EHT (entre 700 et 1000°C) est une technique similaire à l'électrolyse alcaline, mais qu'elle utilise de la vapeur d'eau au lieu de l'eau liquide.

La vapeur d'eau est dissociée à la cathode ou à l'anode selon la nature de l'électrolyte (figure 2), les réactions mises en jeu au niveau des électrodes sont décrites dans le tableau 1.

Tableau 1 : Réactions mises en jeu pour une HTE.

Réaction	Electrolyte	
	à conduction d'ions oxydes	à conduction protonique
<b>Cathode</b>	$\text{H}_2\text{O} (\text{g}) + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2 (\text{g}) + \text{O}^{2-}$	$2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2 (\text{g})$
<b>Anode</b>	$\text{O}^{2-} \rightarrow 1/2\text{O}_2 (\text{g}) + 2\text{e}^-$	$\text{H}_2\text{O} (\text{g}) \rightarrow 2\text{H}^+ + 1/2\text{O}_2 (\text{g}) + 4\text{e}^-$
<b>Globale</b>	$\text{H}_2\text{O} (\text{g}) \rightarrow \text{H}_2 (\text{g}) + 1/2\text{O}_2 (\text{g})$	

Dans le premier cas une réduction de la vapeur d'eau, formation de  $\text{H}_2$  et d' $\text{O}^{2-}$ , est générée par la différence de potentiel entre les électrodes, le surplus de la vapeur d'eau et l'hydrogène seront évacués. Sous l'effet du champ électrique les anions  $\text{O}^{2-}$  qui passent de la cathode à l'anode seront oxydés en  $\text{O}_2$  et évacués. Afin de faciliter l'évacuation de l'oxygène, un gaz de balayage (air, azote ou vapeur d'eau), est parfois utilisé (3).

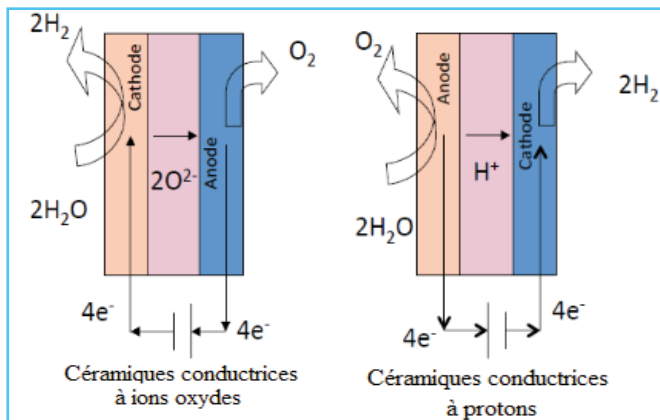


Figure 2: Principe de HTE selon le type d'électrolyte (2)

L'EHT présente un avantage énergétique puisque d'un point de vue thermodynamique, l'énergie nécessaire à la décomposition de l'eau est apportée à la fois par l'électricité et la chaleur, moins chère que l'électricité seule, et d'un point de vue cinétique, les pertes ohmiques, qui sont principalement liées à des phénomènes de surtension, diminuent quand la température augmente. La figure 3, montre que la quantité d'énergie totale nécessaire pour la décomposition de la molécule d'eau en phase liquide est environ 16 MJ/Kg H<sub>2</sub>O, cette énergie diminue jusqu'à 13.5 MJ/Kg H<sub>2</sub>O en phase vapeur (4).

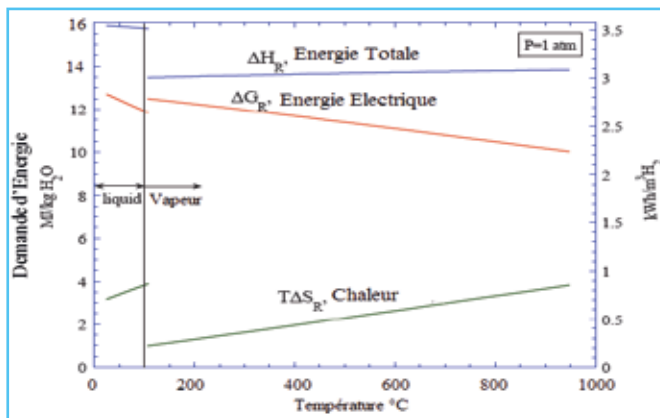


Figure 3: Energie à fournir pour une réaction d'EHT(4)

L'énergie électrique nécessaire pour la dissociation de l'eau diminue avec l'augmentation de la température, le rapport  $\Delta G/\Delta H$  est de 93% à 100°C et 70% à 1000°C, ce qui est expliqué par la diminution du besoin en énergie électrique avec l'augmentation de la température.

Par conséquent, à des températures plus élevées, une grande partie de l'énergie peut être fournie sous forme de chaleur.

### Conclusion

L'électrolyse de l'eau reste la meilleure façon de produire de l'hydrogène sans polluer. Néanmoins lorsque des combustibles fossiles sont utilisés comme source principale d'électricité, le problème de la pollution de l'environnement demeure non résolu. Donc, l'électricité fournie à partir de sources d'énergie renouvelables est essentielle pour la production d'hydrogène exempt des gaz carbonique.

Cependant l'électrolyse à haute température possède de nombreux avantages par rapport à l'électrolyse à basse température, d'un point de vue énergétique, l'énergie totale à fournir est moindre grâce à la haute température qui améliore l'efficacité de la réaction, par rapport à celle demandée pour l'électrolyse classique.

### Références

1. Bicakova O, Straka P. 2012: Production of hydrogen from renewable resources and its effectiveness, Int J Hydrogen Energy, 37:11563e78.
2. P. Baurens, septembre. 2008 : Electrolyse à haute température : Présentation et Verrous actuels, Journées GEDEPEON, CEA.
3. L. Bertier, 2012 : Etude et modélisation d'une plate-forme industrielle de production d'hydrogène par électrolyse de vapeur d'eau à haute température, Thèse de Doctorat, Université de Lorraine, Spécialité Génie des Procédés et des Produits.
4. R. Rivera-Tinoco, mars 2009 : Etude Technico-économique De La Production d'Hydrogène A Partir De L'électrolyse Haute Température Pour Différentes Sources D'énergie Thermique, Thèse de Doctorat, Ecole Nationale Supérieures Des Mines De Paris.

## Division Hydrogène Energies Renouvelables - CDER

La division hydrogène Energie renouvelable vient de mettre en place un laboratoire de recherche.

Ce laboratoire représente un des jalons du processus dont l'objectif est le renforcement des capacités et des moyens de la division à mener à bien ses missions. Tout en s'inscrivant dans le cadre de la politique algérienne de développement et d'encouragement de l'utilisation des énergies propres durables, ces missions s'articulent autour du développement des technologies de l'hydrogène en tant que vecteur énergétique.

Ce laboratoire est conçu de manière à fournir un cadre répondant aux exigences de travail expérimental scientifique. Des mesures ont été prises pour munir ce laboratoire de capacités permettant l'application de protocoles expérimentaux rigoureux dans l'investigation des phénomènes physico-chimiques et dans les tests des réalisations technologiques. En effet, il est appelé à fournir un cadre propice pour mener d'une part les activités de modélisation et d'expérimentation des processus de production et d'utilisation de l'hydrogène en tant que vecteur énergétique et d'autre part pour les travaux de designs, de réalisations, de caractérisations et de tests des équipements et instrumentations liés aux développements de l'hydrogène.

Après l'installation des équipements de base tels que les paillasses et la verrerie, le laboratoire est prêt à abriter les dispositifs expérimentaux.

Le laboratoire est aussi aménagé en tenant compte des mesures de prévention de risque. Dans ce sens le personnel du laboratoire a bénéficié d'un stage.



En plus d'une hotte où les produits toxiques et dangereux peuvent être manipulés sans grand risque, une armoire chimique a aussi été installée. D'autres équipements répondant aux exigences spécifiques de la manipulation de l'hydrogène et autres sources d'énergies similaires sont aussi prévus.