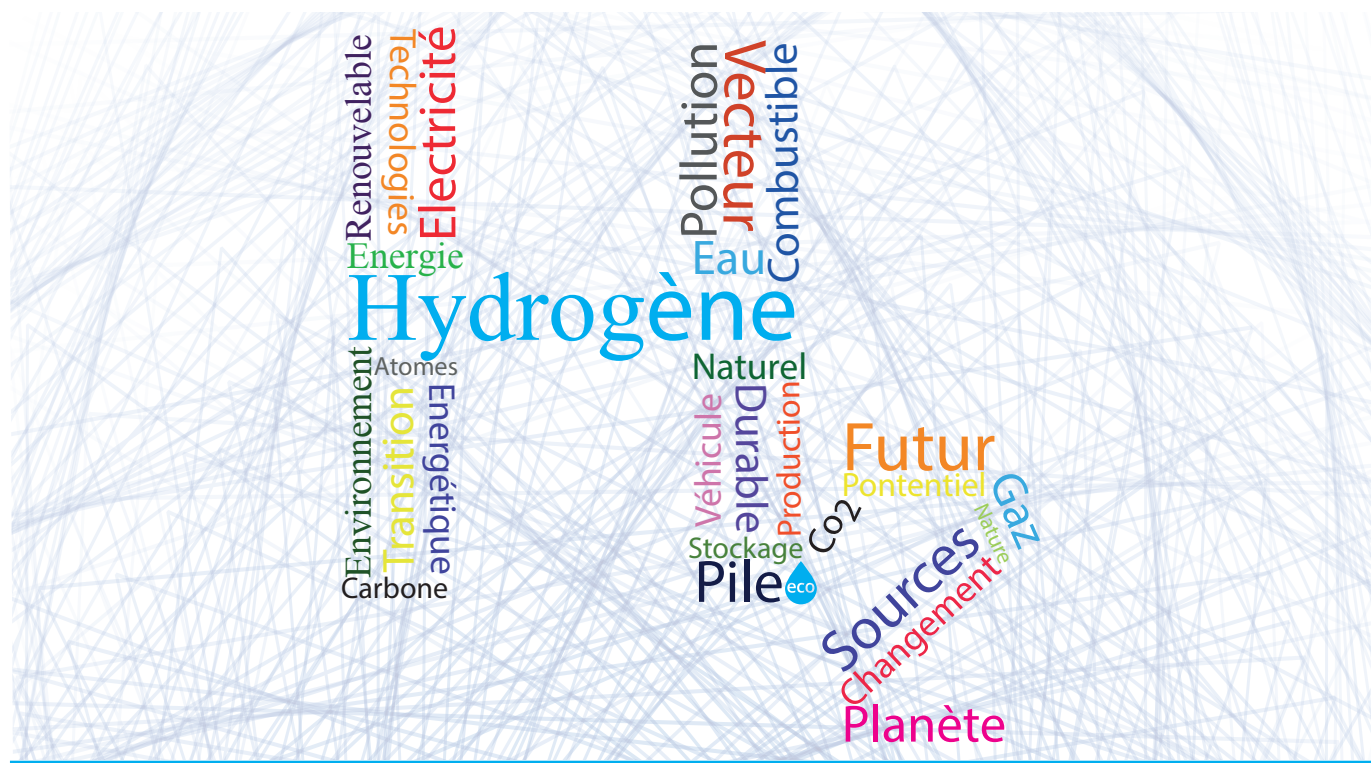


L'hydrogène électrolytique renouvelable

KABOUCHE Nourdine, Attaché de Recherche
Division Hydrogène Energie Renouvelables
E-mail : n.kabouche@cder.dz



Les progrès incessants dans l'utilisation des énergies renouvelables sont dus aux défis auxquels le monde est confronté comme le changement climatique, la pollution et ses impacts sur la santé publique, l'épuisement inévitable des énergies fossiles, etc. Ces énergies renouvelables impliquent des sources qui ne s'épuisent pas, à savoir l'énergie solaire, éolienne, la biomasse, la géothermie, les marées et l'hydroélectricité. En effet en 2018, la capacité totale des énergies renouvelables dans le monde était d'environ 2350 GW, dont environ 20.5 % est obtenue à partir de la conversion photovoltaïque (PV) des rayons solaires [1]. Cependant, la disponibilité irrégulière de l'irradiation solaire le long de l'année et sa disparition pendant la nuit, sont des inconvénients qui limitent le développement et le taux d'intégration de l'énergie photovoltaïque. C'est pourquoi, la conversion de l'excès d'énergies renouvelables intermittentes en une autre forme d'énergie, par exemple, électrochimique, chimique, électrique, mécanique ou thermique, pour une utilisation ultérieure, est incontournable pour fiabiliser et intégrer de grandes quantités d'énergie renouvelable dans le réseau électrique. Mais il faut savoir qu'il n'existe pas de technologie de stockage parfaite pour toutes les gammes de puissance.

La conversion de l'électricité en combustibles chimiques tels que l'hydrogène permet de stocker de grandes quantités d'énergie (jusqu'à des GWh) et à long terme (jours et semaines). Ainsi, la combinaison énergies renouvelables-électrolyse de l'eau permet la production d'un hydrogène écologique, durable et de haute pureté. La décomposition de l'eau, la source la plus abondante sur terre, en ses atomes dioxygène et dihydrogène dans une cellule d'électrolyse se fait au moyen d'un courant électrique continu. Les principes de fonctionnement de l'électrolyse de l'eau sont les mêmes, mais selon la nature de l'électrolyte et les agents ioniques intervenants dans les réactions on distingue quatre types de cellule d'électrolyse de l'eau, à savoir électrolyse microbienne, électrolyse à l'oxyde solide, électrolyse alcaline et électrolyse PEM (Proton Exchange Membrane), et [2]. L'électrolyse microbienne produit de l'hydrogène à partir de la biomasse renouvelable et des eaux usées. L'électrolyse à l'oxyde solide décompose la vapeur d'eau à haute pression et à des hautes températures 500-850°C, l'électrolyse à haute température a un rendement meilleur qu'à température ambiante. Les cellules d'électrolyse à l'oxyde solide utilisent deux types d'électrolyte, soit conducteur d'ion O^{2-} ou conducteur de proton H^+ . Les deux autres technologies sont les plus commercialisées et les plus utilisées.

line et électrolyse PEM (Proton Exchange Membrane), et [2]. L'électrolyse microbienne produit de l'hydrogène à partir de la biomasse renouvelable et des eaux usées. L'électrolyse à l'oxyde solide décompose la vapeur d'eau à haute pression et à des hautes températures 500-850°C, l'électrolyse à haute température a un rendement meilleur qu'à température ambiante. Les cellules d'électrolyse à l'oxyde solide utilisent deux types d'électrolyte, soit conducteur d'ion O^{2-} ou conducteur de proton H^+ . Les deux autres technologies sont les plus commercialisées et les plus utilisées.

Electrolyse alcaline et PEM

L'électrolyse alcaline est la technologie la plus mature, elle utilise une solution aqueuse de 20 % à 30 % de KOH ou de NaOH (hydroxyde de potassium ou de sodium) en tant que milieu conducteur ionique. La réduction des molécules de la solution alcaline au niveau de la cathode permet la production du dihydrogène (H_2) et des ions hydroxyle (OH^-) qui traversent le diaphragme pour atteindre l'anode, Figure 1.

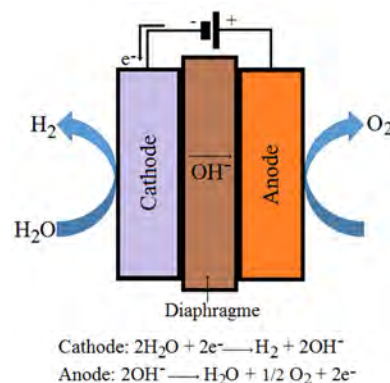


Figure 1. Schéma de l'électrolyse de l'eau alcaline

L'électrolyse PEM, est la deuxième technologie d'électrolyseur à basse température, elle est basée sur une membrane polymère mince, solide et conductrice d'ions (généralement du Nafion). Cette membrane permet le transfert des protons H^+ de l'anode vers la cathode. L'hydrogène est produit au niveau de la cathode et l'oxygène au niveau de l'anode, Figure 2.

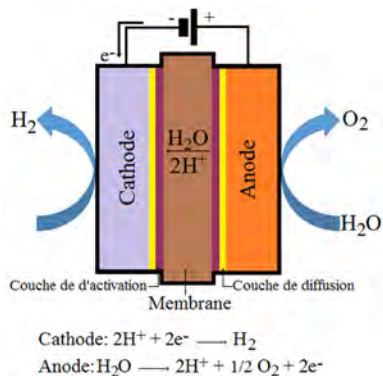


Figure 2. Schéma de l'électrolyse de l'eau PEM

L'électrolyse PEM a été développée pour surmonter les inconvénients de l'électrolyse alcaline comme le rendement énergétique. Cependant, le rendement élevé des électrolyseurs PEM nécessite des matériaux coûteux ce qui est un défi devant leur commercialisation à grande échelle. Une comparaison des deux technologies est donnée dans le Tableau 1.

Tableau 1 : Avantages et inconvénients des deux technologies d'électrolyse

Electrolyse PEM	Electrolyse Alcaline
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Densités de courant élevées ($> 2 A/cm^2$); ▪ Efficacité énergétique élevée; ▪ Autorise des pressions élevées et fonctionne entre 20 et 80° C; ▪ Une perméabilité aux gaz plus faible et production d'hydrogène ultra pur; ▪ Les catalyseurs en métaux nobles augmentent le coût; ▪ Utilisation spatiale et dans des laboratoires; ▪ Temps de réponse rapide et faible encombrement. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Densités de courant limitées ($< 0.4 A/cm^2$); ▪ Faible efficacité énergétique; ▪ Fonctionne à des pressions faibles et à des températures entre 30 et 80° C; ▪ Le degré de pureté d'hydrogène faible; ▪ Utilisation de matériaux moins nobles; ▪ Utilisation commerciale à grande échelle; ▪ Appropriée aux applications stationnaires; ▪ Electrolyte corrosif et contamination des tuyauteries par le KOH.

Production d'hydrogène solaire via deux technologies d'électrolyse

Nous avons étudié la production d'hydrogène via les deux technologies électrolytiques à savoir alcaline et PEM alimentées par un système PV dans le site de Ghardaïa (latitude 32.47° N, longitude 3.68° E, élévation 549 m). Ghardaïa, est une région aride dans le nord du désert Algérien. L'étude proposée est menée en utilisant des données de résolution temporelle d'une heure sur une année météorologique typique (TMY). Ainsi, le site étudié se caractérise par une température moyenne annuelle d'environ 22.5 °C (allant de 2 °C à 46 °C), une vitesse annuelle moyenne du vent d'environ 3,6 m/s et d'une irradiation horizontale globale annuelle d'environ 2.2 MWh/m². La puissance du système PV est d'environ 1,6 kW. L'électrolyseur alcalin se compose d'une cellule de 0.25 m² et d'une puissance nominale de 1.35 kW [3]. Alors que l'électrolyseur PEM se compose de 17 cellules de 27 cm² et d'une puissance nominale de 78.7 W chacune, la puissance totale est de 1.33 kW [4]. La Figure 3 représente les caractéristiques tension densités de courant $U(i)$, à 80 °C, des deux cellules d'électrolyse PEM et Alcaline étudiées [3]. Il est montré que l'électrolyse alcaline consomme beaucoup plus d'énergie que l'électrolyse PEM.

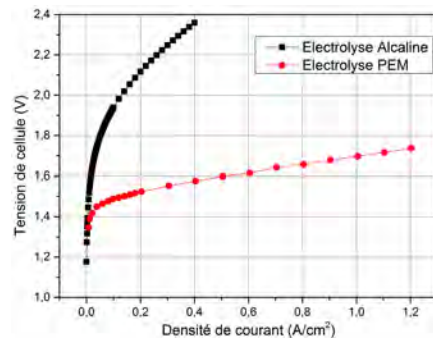


Figure 3. Caractéristiques tensions - densités de courant de deux cellules d'électrolyse alcaline et PEM

La figure 4 montre les moyennes mensuelles journalières de la production d'hydrogène par les deux technologies d'électrolyse ainsi que du rayonnement solaire sur un plan horizontal et sur le plan incliné des modules photovoltaïques. L'inclinaison choisie fixe le long de l'année et égale à la latitude du lieu, permet de capter le maximum d'irradiation solaire aux mois défavorables janvier et décembre. En effet, en comparant les deux systèmes PV-électrolyseur étudiés, la technologie PEM est meilleure que la technologie alcaline; elle permet la production de 22 % à 29 % d'hydrogène. La production annuelle des deux systèmes est respectivement de 66.18 kg et 52.58 kg. Les taux de production d'hydrogène sont maximums pour les mois favorables en termes d'irradiation solaire et de température.

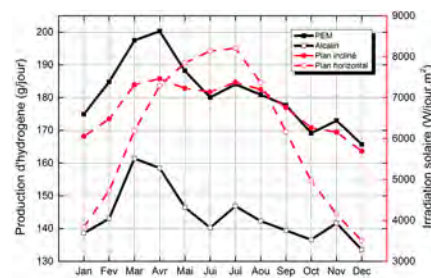


Figure 4. Moyenne mensuelle journalière de la production d'hydrogène et de l'irradiation solaire

Conclusion

L'attention accrue portée à l'hydrogène provient de ses diverses applications, de la variété de procédés et de sources de sa production ainsi que de son importance dans le système énergétique du futur. Actuellement, la majorité de l'hydrogène vient des hydrocarbures épuisables. Alors que la combinaison de deux sources abondantes, l'eau et le soleil, permet la production d'un hydrogène durable. En effet, l'électrolyse (alcaline ou PEM) d'une eau pure alimentée par un courant électrique continu provenant des modules photovoltaïques produit un hydrogène vert et de haute pureté. Ainsi, l'étude théorique d'un tel système a montré l'avantage et l'inconvénient de l'électrolyse PEM, coûteuse, sur l'électrolyse alcaline, mature et disponible à grande échelle.

Références

1. IRENA, 2019: Renewable capacity statistics 2019, International Renewable Energy Agency (IRENA), Abu Dhabi, <https://www.irena.org/publications/2019/Mar/Renewable-Capacity-Statistics-2019>, date consultation : 05/01/2020.
2. S. Shiva Kumar, V. Himabindu. 2019: Hydrogen production by PEM water electrolysis – A review, Materials Science for Energy Technologies, vol. 2019, n° 2, p. 442-454.
3. M. Burhan, K. J. E. Chuaa, K. Choon Ng. 2016: Long term hydrogen production potential of concentrated photovoltaic (CPV) system in tropical weather of Singapore, International Journal of Hydrogen Energy, vol. 41, n° 38, p. 16729-16742.
4. H.Tebibel, R.Medjebour. 2018: Comparative performance analysis of a grid connected PV system for hydrogen production using PEM water, methanol and hybrid sulfur electrolysis, International Journal of Hydrogen Energy, vol. 43, n° 6, p. 3482-3498.