

ETUDE D'UNE INSTALLATION DE PRODUCTION D'HYDROGENE SOLAIRE PAR ELECTROLYSE DE L'EAU DANS LA REGION D'OUARGLA

Nasreddine CHENNOUF^{*}, Noureddine SETTOU, Belkhir NEGROU, Khadidja BOUZIANE et Boubekour DOKKAR

*Laboratoire de Valorisation et de Promotion des Ressources Sahariennes (VPRS),
Université Kasdi Merbah Ouargla, 30000 Ouargla, Algérie*

^{*} Email : chennouf.nasreddine@gmail.com

RÉSUMÉ : L'hydrogène présente certaines caractéristiques physico-chimiques avantageuses d'un point de vue énergétique. C'est un gaz très léger qui possède un pouvoir calorifique très élevé. Il est inodore, incolore, non polluant. L'hydrogène est le combustible et le porteur d'énergie le plus prometteur et le plus universel, dont l'emploi se généralisera dans l'avenir. Nous permet d'utiliser dans ce travail la production d'hydrogène par la voie solaire avec l'électrolyse d'eau. La réalisation d'une installation photovoltaïque au but de la production d'hydrogène par électrolyse d'eau est faite en utilisant un électrolyseur de type alcalin avec NaOH comme électrolyte dans le site d'Ouargla. Les résultats obtenus montrent le rôle important de l'éclairement, de la température, et de la concentration comme paramètres de production d'hydrogène solaire. L'ensemble du système montre une production durable à partir d'une source illimitée et un procédé environnemental

MOTS-CLÉS : Hydrogène, PV- Solaire, Electrolyse, Ouargla

ABSTRACT: About energetic aspect, hydrogen has some advantages concerning its physico-chemical characteristics. It is a very light gas with high calorific capacity. It is odorless, colorless, non-pollutant. The hydrogen as fuel is the most promising universal energy which its uses will have wide spread in the future. In this work we present the production of hydrogen by solar water electrolysis. Photovoltaic system is used to produce hydrogen by water electrolysis using an alkaline electrolyzer with NaOH as an electrolyte. This experiment is realized in Ouargla city (south of Algeria). The results show the important role of solar radiation, temperature, and concentration as parameters of solar hydrogen production. The whole system shows a sustainable production from unlimited source and an environmental process.

KEYWORDS: Hydrogen, Solar-PV, Electrolysis, Ouargla

1. Introduction

L'hydrogène est actuellement une des matières de base des industries chimiques et pétrochimiques. Plus de la moitié de l'hydrogène produit à dessein est utilisée pour la production d'ammoniac (46%) et de méthanol (8%). Le raffinage et la chimie utilisent de larges quantités d'hydrogène dont l'essentiel est disponible sur place en tant que sous-produit de procédés de raffinage (FCC, reformage catalytique) et de fabrications chimiques (production de chlore, d'éthylène, de styrène, ...). Une petite partie (< 4%) est commercialisée en tant que gaz industriel dans des secteurs comme la soudure, l'industrie du verre, la fabrication de semi-conducteurs, la fabrication d'aliments et le transport spatial. L'évolution prévisible de ces secteurs industriels ne laisse pas prévoir de changement notable dans les volumes de production.

Bien que les technologies de production de l'hydrogène à partir du gaz naturel ou d'autres combustibles fossiles soient aujourd'hui bien établies, le changement d'ordre de grandeur conduira vraisemblablement à des modifications notables. En particulier, du fait de la nécessité de séquestrer le CO₂ le plus économiquement possible, les unités seront de grande taille et proches des sites de production où les conditions de séquestration pourront être les plus favorables.

Plusieurs techniques existent pour la production de l'hydrogène. Certaines de ces techniques sont arrivées à maturité de production commerciale, d'autres sont encore à l'échelle expérimentale. La décomposition catalytique du gaz naturel, l'oxydation partielle des huiles lourdes, la

gazéification du charbon et l'électrolyse de l'eau est parmi les procédés de production d'hydrogène qui est industrialisés ou en phase d'industrialisation.

Les cycles thermo-chimiques purs et hybrides par exemple sont à l'échelle de Recherche et Développement, tandis que les procédés photochimiques et photo biologiques sont encore au premier stade de la recherche.

L'électrolyse de l'eau pour la production de l'hydrogène est le procédé le plus répandu et le plus prisé.

L'utilisation de l'énergie solaire dans les procédés d'électrolyse s'avère la méthode la plus rentable et la plus protectrice de l'environnement [1]

Le soleil fournit ainsi chaque jour à la terre, par son rayonnement, l'équivalent de plusieurs milliers de fois la consommation énergétique totale de l'humanité pour ses activités d'aujourd'hui [2].

Les principales caractéristiques de l'énergie solaire ayant suscité l'intérêt qu'on lui a porté à l'époque étaient sa gratuité (nous y reviendrons), sa disponibilité sur une grande partie du globe terrestre et l'absence de risque d'épuisement connu par les sources d'énergie fossile [3].

Parmi les systèmes solaires utilisés, le système photovoltaïque, qu'il ne nécessite aucun apport extérieur de combustible ; de plus, le générateur lui-même ne contient aucune pièce mobile et ne requiert donc pratiquement pas d'entretien. Par conséquent, les coûts récurrents d'opération et de maintenance sont relativement faibles [4].

Dans le cadre du présent article, nous envisageons l'étude de la production de combustibles solaires. L'hydrogène, associé à d'autres éléments, abonde dans la nature et sa combustion n'est pas polluante : il constitue, ainsi, le parfait combustible solaire [5].

Cette étude a pour objet la mise au point d'une installation de production d'hydrogène solaire au Laboratoire de Valorisation et Promotion des Ressources Sahariennes (VPRS), à l'Université Kasdi Merbah Ouargla. Le système est constitué des panneaux photovoltaïques et d'un électrolyseur. Les panneaux photovoltaïques alimentent l'électrolyseur en énergie électrique. L'électrolyseur produit l'hydrogène et l'oxygène. Chaque étape du processus tels que la conversion photovoltaïque, l'électrolyse, sera réalisée à l'échelle laboratoire.

Le but de cette étude a été d'évaluer le fonctionnement du système dans la chaîne de production d'hydrogène ou les caractéristiques sont étudié par partie (électrolyse, et conversion photovoltaïque) avant de réaliser l'ensemble du système, ce qui déduire l'effet de quelques paramètres : la température, la concentration, l'électrolyte, et l'éclairement solaire. Ce qui permet d'adopter les meilleures conditions de fonctionnement.

2. Données météorologique et énergétique

Ouargla est une ville d'Algérie et le chef lieu de la Wilaya d'Ouargla. Elle est située dans le sud-est de l'Algérie et de l'État n° 30 dans la division administrative de l'Algérie, et est l'un des plus vieux États. La ville de près de Ouargla au nord de la latitude 32 degrés Est et 5 degrés à une altitude de 135 m au niveau de la mer. La ville d'Ouargla, à 128 mètres d'altitude, se situe à 190 km à l'est de Ghardaïa, 160 km au sud-ouest de Touggourt, 388 km au sud de Biskra. Une vraie capitale du désert, entourée de cinq petites oasis : BeniThour, Sidi Khouiled, Chott, Rouissat, Said Otba et N'goussa. On évalue à environ un million le nombre de palmiers. Les oasis sont irriguées à partir de puits artésiens d'une profondeur moyenne de 60 mètres; on en compte plus de 800 dans la région. Ouargla se situe au sud-est de l'Algérie, à 800 km de la capitale Alger. La ville est peuplée de 195 000 habitants.

L'insolation solaire moyenne est estimée en tant que 2900 KWh/m² annuellement, et la durée moyenne de soleil est plus de 3300 heures. Le rayonnement global mesuré dans Ouargla change de 2,280 KWh/m² en décembre, à 7,620 KWh/m² en juillet, sur une surface horizontale. Le rayonnement diffus est évalué à 1,324 KWh/m² en janvier, et 1,984 kWh/m² en juillet [6].

3. Système P-V électrolyseur

Le système PV qu'on utilise est constitué d'un générateur PV (panneau solaire), d'un régulateur, d'un Ampèremètre, d'un Voltmètre, et un électrolyseur d'eau de type alcaline (l'électrolyte utilisé est NaOH). La figure 1 présente le montage du procédé utilisé.

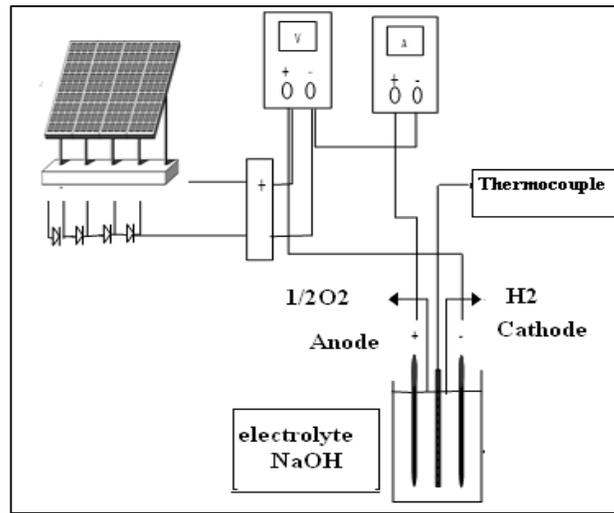


Figure 1 : Montage du procédé

3.2 Principe de conversion d'énergie

En omettant les détails sur les explications du phénomène physique intervenant dans la conversion de la lumière en électricité, le schéma électrique équivalent à une cellule photovoltaïque est représenté par la figure 2. Ce circuit est constitué d'une source de courant et d'une diode montées en parallèles. La source de courant délivre un courant I_{ph} , directement proportionnel à l'intensité de la lumière, la diode représente la jonction p-n de la cellule solaire.

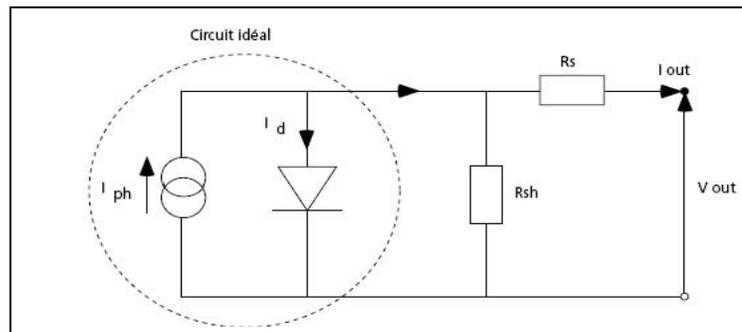


Figure 2: Schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque [7].

L'équation I-V du schéma 2 déduite directement à partir de la loi de Kirchoff est [7]. :

$$I = I_{ph} - I_0 [\exp(C_1 (V + R_s I)) - 1] - \frac{V + R_s I}{R_p} \quad (1)$$

Avec :

$$C_1 = \frac{q}{A.K.T_c}$$

A : le facteur d'idéalité de la jonction ($1 < A < 3$).

I_{ph} : photocourant créé par la cellule (proportionnel au rayonnement incident).

I_0 : courant de diode, représentant le courant de fuite interne à une cellule causée par la jonction p-n de la cellule.

R_p : résistance shunt représentant les fuites autour de la jonction p-n dues aux impuretés et sur les coins de cellule.

R_s : résistance série symbolisant la résistance de masse du matériau semi conducteur, ainsi les résistances ohmique et de contact au niveau des connexions des cellules.

q : la charge de l'électron ($1,6.10^{-19}C$)

K : constant de Boltzmann ($1,38.10^{-23}J/K$).

T_c : température de jonction (K).

- La puissance électrique à la sortie du système PV est:

$$P_{el} = I V \tag{2}$$

- puissance maximale est [8] :

$$P_{max} = (I V)_{max} = V_{OC} * I_{CC} * FF \tag{3}$$

$P_{max} = V_{mp} * I_{mp}$, correspondant au point de puissance maximal.

- Le rendement du système PV, η : [8]

$$\eta = V_{mp} I_{mp} / P_C = V_{oc} * I_{CC} * FF / P_C \tag{4}$$

3.2. Principe d'électrolyseur alcalin

L'électrolyse alcaline est la technologie la plus répandue pour la production d'hydrogène électrolytique mais également pour la production de nombreux composés chimiques dont le chlore. Elle bénéficie ainsi d'une très grande maturité industrielle. L'électrolyseur choisi est à technologie alcaline, l'électrolyte est une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium (NaOH). La conduction ionique est alors assurée par les ions hydroxyde (OH^-) et sodium (Na^+). Les réactions anodiques et cathodiques sont décrites ci-dessous [9].



3.3. Paramètres de calcul

Débit volumique d'hydrogène : $Q_a = V_H / t \tag{5}$

Puissance absorbée par l'électrolyse : $P_a = V * I \tag{6}$

Puissance utile par l'électrolyse : $P_u = PCI * Q * \rho \tag{7}$

L'énergie électrique consommée : $W = P_a * t \tag{8}$

- Rendement utile :

$$R_U = PCI * \frac{V_H}{P_a * t} * \rho \tag{9}$$

- Rendement solaire :

$$R_S = PCI * \frac{V_H}{P_g * t} * \rho \tag{10}$$

4. Résultats et discussions

4.1. Les caractéristiques I-V des panneaux

La figure 3 représente une comparaison des caractéristiques I-V et puissance des panneaux entre trois types des mesures (expérimentale, simulation par logiciel PVSYST et simulation par un programme appliqué avec le logiciel MATLAB 7 utilisant les équations de fonctionnement du présent travail) pour les mêmes conditions de température et d'éclairement

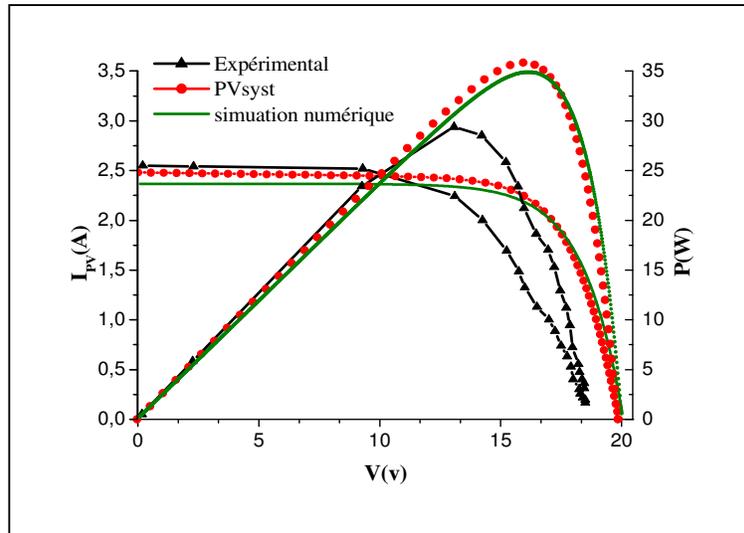


Figure 3 : Comparaison des caractéristiques du panneau par différentes méthodes

D'après la figure 3, on peut voir la différence entre l'expérimentale et la simulation de manière nette pour le point maximal de puissance et la zone de fonctionnement du panneau. Cette différence peut être produite par l'effet de la résistance shunt qui est négligé dans le cas de la simulation, et aussi aux phénomènes de transfert de chaleur se produisant au niveau des panneaux.

4.2 Les caractéristiques d'électrolyse d'eau

Dans le but d'établir l'évolution du courant dans l'électrolyseur au moyen de l'utilisation du panneau photovoltaïque et ceci en présence d'un électrolyte fort le NaOH, il faut d'abord trouver son évolution à l'aide d'un générateur électrique en fonction de :

- la tension : la température et la concentration sont fixées respectivement à 25°C et 2g/l.
- la température : la tension et la concentration sont fixées respectivement à 10V et 2g/l.

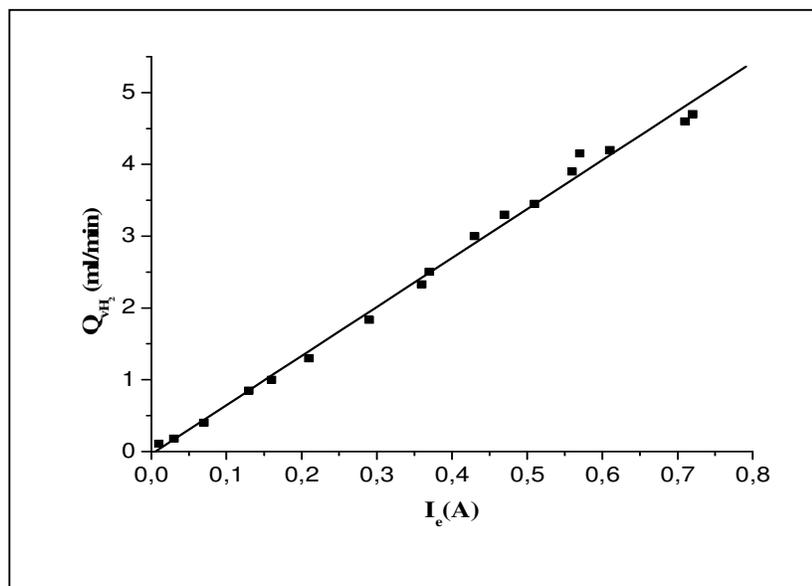


Figure 4 : Evolution de production d'hydrogène en fonction du courant

La figure 4 montre que l'évolution du débit d'hydrogène en fonction de courant est une évolution linéaire.

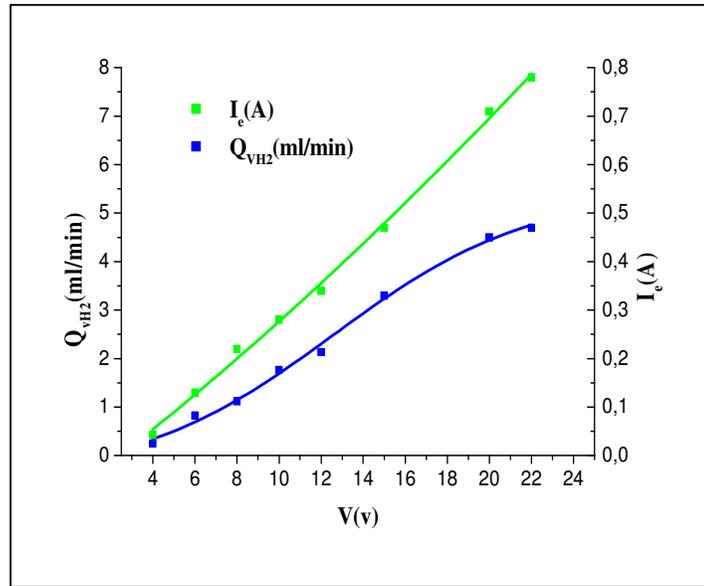


Figure 5 : Evolution de production d'hydrogène et de courant en fonction de tension

La figure 5 montre que le courant et débit d'hydrogène augmentent avec la tension ce qu'il est expliqué par le phénomène d'effet de Joule.

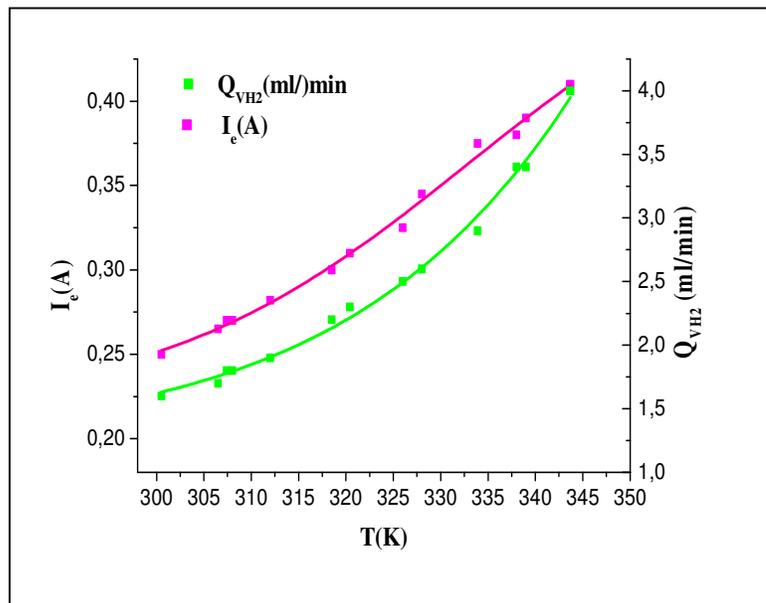


Figure 6 : Evolution de production d'hydrogène et de courant en fonction de la température

La figure 6 présente l'évolution de courant et débit d'hydrogène en fonction de température d'entrée, on remarque que la température a un effet important parce qu'elle augmente la vitesse des électrons dans l'électrolyte, ce qui résulte une augmentation de courant

4.2. Les caractéristiques du système PV-électrolyse

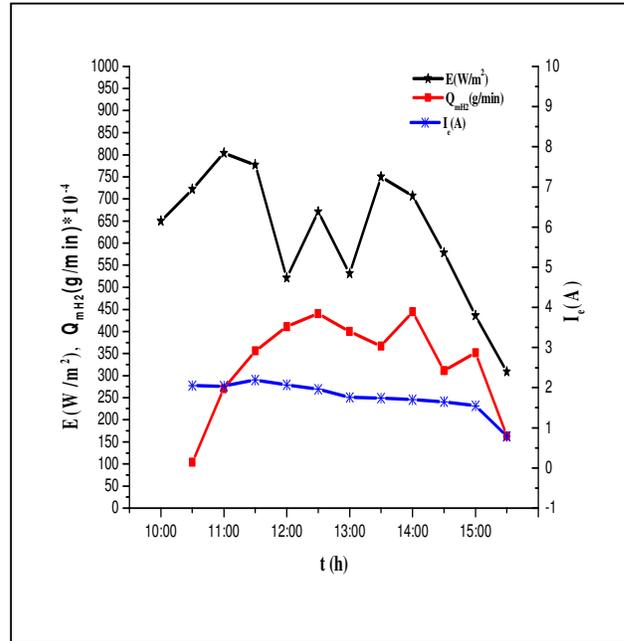


Figure7 : Evolution de l'éclairement E, de la production d'hydrogène QmH₂, et le courant d'électrolyseur en fonction du temps

La figure 7 représente l'évolution des paramètres d'électrolyse tels que : éclairement, courant, débit d'hydrogène, rendement solaire de système PV-électrolyse en fonction du temps. D'après cette figure, on remarque que l'évolution de courant dépend directement de l'éclairement solaire où la tension varie aussi, ce qui influe de manière directe sur la production d'hydrogène.

5. Conclusion

Les résultats obtenus permettent d'étudier le fonctionnement du système PV pour un électrolyseur alcalin comme une charge et Ouargla comme un site. L'étude de l'influence de quelques paramètres sur le processus d'électrolyse d'eau révélé les comportements suivants : L'évolution de débit d'hydrogène en fonction de courant d'électrolyseur est une évolution linéaire qui dépend pratiquement des phénomènes de dissociation de l'eau.

- Un changement de l'éclairement solaire produise un changement du courant d'électrolyse d'eau suivi par une variation du débit d'hydrogène dégagé. Ces deux paramètres conduisent à une influence du rendement du système.
- Une augmentation de la tension d'électrolyseur présente une élévation de courant à cause de l'augmentation des électrons déplacés, résulte une croissance de réduction d'hydrogène.
- L'élévation de température et la concentration d'électrolyte créent une croissance de conductivité ionique qui s'augmente le courant d'électrolyseur.
- Concernant la concentration d'électrolyte, les résultats montrent son effet important dans la production d'hydrogène signifier par l'augmentation des ions OH⁻ oxydés.

Nomenclature

E : éclairage solaire (W / m^2)

q : charge de l'électron, C

K : constante de Boltzmann

T : température absolue, K.

NOCT : température nominale de fonctionnement de cellule solaire.

I_{mp} : courant de point maximal.

V_{mp} : tension de point maximal.

I : courant des panneaux, A.

V : tension de circuit, V.

V_{OC} : tension de circuit ouvert.

I_{SC} : courant de court circuit.

FF : facteur de forme

V_H : volume d'hydrogène dégagé (m^3)

t : temps (s)

ρ : masse volumique de l'hydrogène (kg/m^3)

PCI : pouvoir calorifique inférieur (J /kg)

Références

- [1] R. Boudries; Etude technico-économique de la production d'hydrogène solaire en Algérie. Thèse de Doctorat : Thermo-énergétique. Université des Sciences et de la Technologies Houari Boumediene, 2009, 117p.
- [2] P. Ludovic et S. Astier ; Convertisseurs photovoltaïques, Techniques de l'Ingénieur, 1995.
- [3] R. Bernard, G. Menguy et M. Schwartz ; Le rayonnement solaire, conversion thermique et applications, Technique et Documentation, Paris, 1980.
- [4] J. Royer, D. Thomas, Eric Schiller et Bocar Sada Syn ; Le pompage photovoltaïque, IEPF / Université d'Ottawa /EIER/CREPA, 1998.
- [5] F. Barber et T. N. Veziroglu ; Environmental benefits of the solar hydrogen energy system. Clean Energy. Research Institute University of Miami, Coral Gables, FL 33124, USA. 2000.
- [6] T. N. Veziroglu, S. Karac ; Solar production of hydrogen, Solar Energy Engineering; Edited by A. A. M. Sayigh. Academic Press , p.388, 1985.
- [7] R.P. Mukund ; « Wind and solar Power Systems », Ph.D, P.e U.S merchant Marine Academy Kings Point, New York, CRC Press LLC1999.
- [8] H. Tributsch ; Photovoltaic hydrogen generation. International Journal of Hydrogen Energy, **33**, pp 5911-5930 (2008).
- [9] Zeng Kai, Dongke Zhang ; 'Recent progress in alkaline water electrolysis for hydrogen production and applications' ; Progress in Energy and Combustion Science, **36**, pp 307–326 (2010).