

Réalisation d'une installation de production d'hydrogène photovoltaïque par électrolyse d'eau

Khaidja BOUZIANE, Nasreddine CHENNOUF, Belkhir NEGROU, Noureddine SETTOU, Boubekour DOKKAR

Résumé:

L'ensemble des problèmes écologiques et environnementaux actuels oblige l'industrie de trouver des sources et des procédés plus propre et durable. L'hydrogène comme un vecteur énergétique propre et l'électrolyse d'eau comme la plus propre méthode de production, 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 alcalint avec NaOH comme électrolyte dans le site d'Ouargla.

Mots clés: PV- Solaire- Electrolyse-Hydrogène- Ouargla

a- INTRODUCTION:

Il y a, hormis les énergies nucléaire et géothermique, le soleil est à l'origine de la quasi-totalité des sources d'énergies utilisées par l'humanité pour ses besoins alimentaires, domestiques et industriels : biomasse, vent, hydraulique, combustibles fossiles. 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 [1].

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 [2].

Khaidja BOUZIANE, Laboratoire de Valorisation et de Promotion des Ressources Sahariennes (VPRS), Université Kasdi Merbah, 30 000 Ouargla, Algérie,
E-mail : khaidja.c@gmail.com

Nasreddine CHENNOUF, Laboratoire de Valorisation et de Promotion des Ressources Sahariennes (VPRS), Université Kasdi Merbah, 30 000 Ouargla, Algérie,
E-mail : Chennouf.nasreddine@gmail.com

Noureddine SETTOU, Laboratoire de Valorisation et de Promotion des Ressources Sahariennes (VPRS), Université Kasdi Merbah, 30 000 Ouargla, Algérie,

Belkhir NEGROU, Laboratoire de Valorisation et de Promotion des Ressources Sahariennes (VPRS), Université Kasdi Merbah, 30 000 Ouargla, Algérie,

Boubekour DOKKAR, Belkhir NEGROU, Laboratoire de Valorisation et de Promotion des Ressources Sahariennes (VPRS), Université Kasdi Merbah, 30 000 Ouargla, Algérie,

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 [3].

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 [4].

Compte tenu des perspectives prometteuses des piles à combustibles et des moteurs thermiques à hydrogène, un système d'énergie à hydrogène peut alors être proposé comme solution de remplacement ou tout au moins complémentaire, du système d'énergie actuel [4].

L'hydrogène est produit, par voie solaire, principalement à l'aide de procédés : thermo-chimique, photo électrochimique et électrolytique [5]. Nous optons pour le troisième procédé qui consiste à dissocier l'eau en hydrogène et en oxygène au moyen d'un courant électrique continu traversant un électrolyte disposé entre deux électrodes.

b- DONNEES METEOROLOGIQUE ET ENERGETIQUE :

Ouargla (amazigh Zenete : Warjelen) 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, Saïd 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



Figure 1 : Localisation de la Wilaya d'Ouargla

• *Données climatiques:*

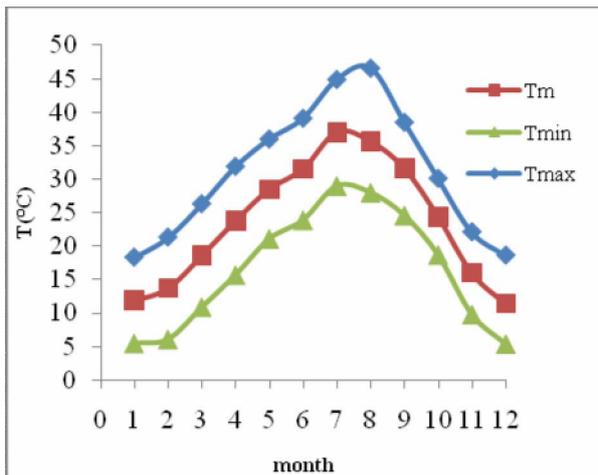


Figure 2: Evolution annuelle de la température moyenne

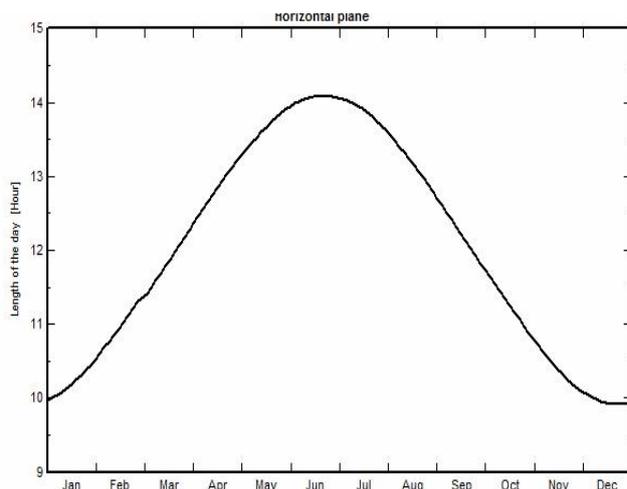


Figure 3: Evolution annuelle de la durée d'insolation [7]

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]

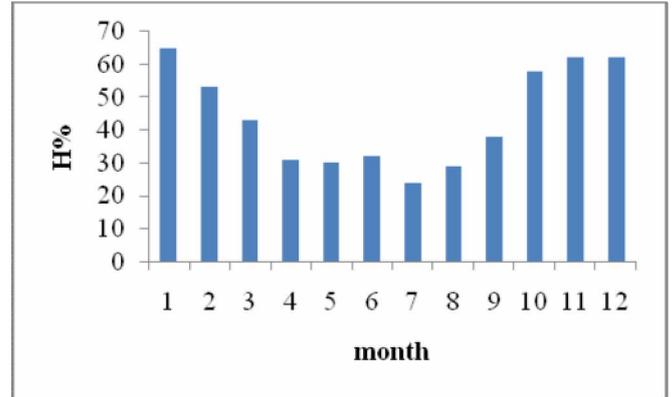


Figure 4 : Evolution annuelle de l'humidité relative

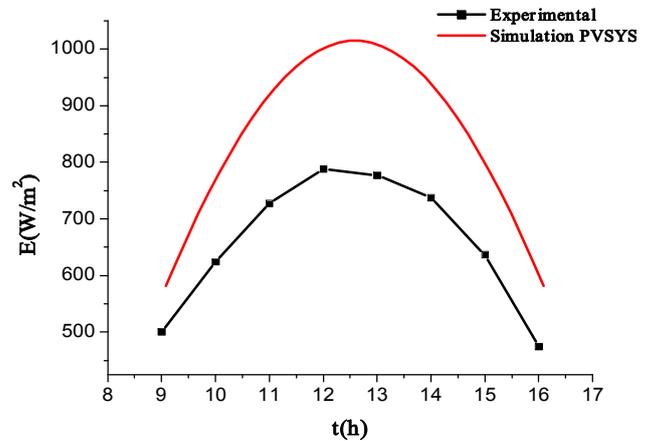


Figure 5: Evolution journalière du rayonnement solaire sur un plan incliné de 30°, journée du : 24/05/2010

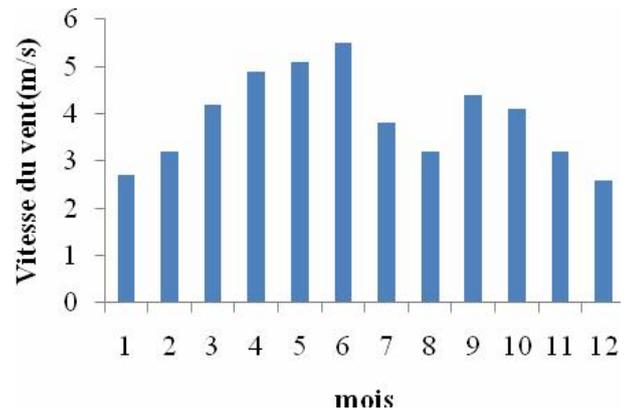


Figure 6 : Evolution annuelle de la vitesse du vent

c- SYSTEME PV-ELECTROLYSE

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 le tableau 1. La figure 7 présente le montage du procédé utilisé.

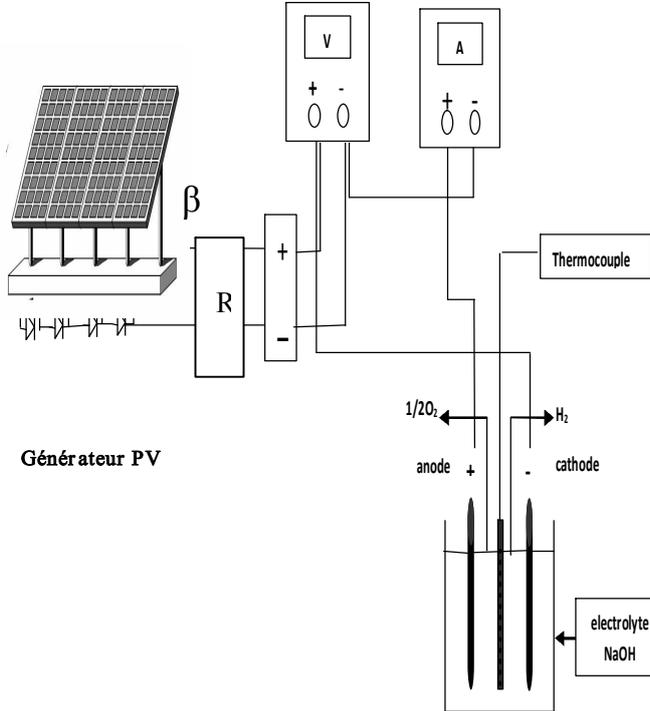


Figure 7: Montage du procédé

a- 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 8. 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 [8].

Figure 8: Schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque [9].

électrolyseur d'eau de type alcaline (l'électrolyte utilisé est NaOH). Les caractéristiques du panneau solaire utilisé sont présentées dans

Paramètres électriques		Module solaire
Puissance crête P_c	[W]	50
Tension minimale	[V]	12
Courant crête	[A]	2.87
Tension crête	[V]	17.39
Courant de court circuit I_{cc}	[A]	3.15
Tension de circuit ouvert V_{oc}	[V]	21.35
NOCT	[°C]	45.3
Coefficient de température à I_{cc}	[A/°C]	1.48
Coefficient de température à V_{oc}	[V/°C]	-2.3
Longueur	[mm]	1075
Largeur	[mm]	418

Tableau 1:Caractéristiques du panneau solaire

L'équation I-V du schéma 8 déduite directement à partir de la loi de Kirchhoff est [9] :

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

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, représente 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:

$$P_{el} = I V$$

- puissance maximale est: [10]

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

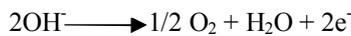
$$P_{\max} = V_{mp} * I_{mp}$$
, correspondant au point de puissance maximal.
- Le rendement du système PV, η : [10]

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

a- 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.[11]

A l'anode :



A la cathode :



La figure ci-après illustre de manière schématique l'électrolyse alcaline.

Figure 9: Principe de l'électrolyse alcaline

b- Paramètres de calcul

- Débit volumique d'hydrogène : $Q = V_H / t$
- Puissance absorbée par l'électrolyse : $P_a = V * I$
- Puissance utile par l'électrolyse : $P_u = PCI * Q * \rho$
- L'énergie électrique consommée : $W = P_a * t$
- Rendement utile : $R_u = PCI * \frac{V_H}{P_a * t} * \rho$

- Rendement solaire : $R_s = PCI * \frac{V_H}{P_g * t} * \rho$

c- Résultats et discussions

d-1- Les caractéristiques I-V des panneaux

La figure 10 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.

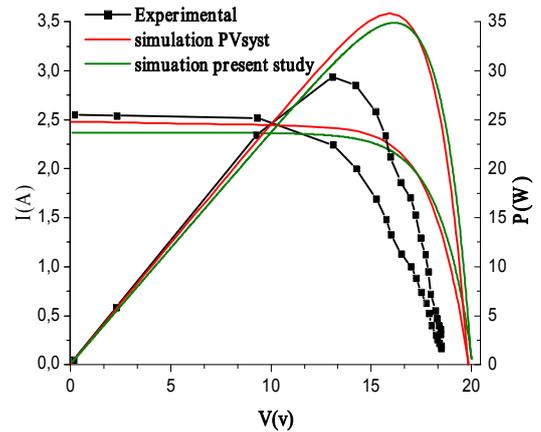


Figure 10: Comparaison des caractéristiques du panneau par différentes méthodes

D'après la figure 10, 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.

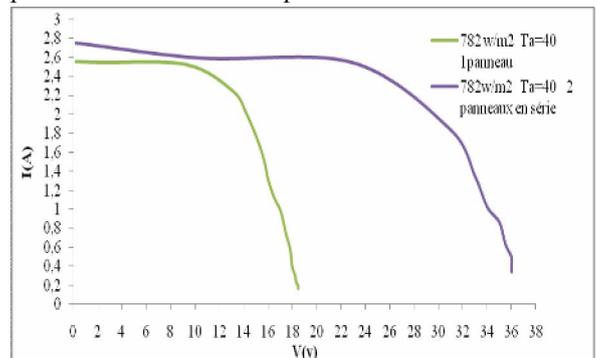


Figure 11: Comparaison des caractéristiques I-V pour deux configurations (panneau seul et deux panneaux en série).

La figure 11 représente une comparaison entre l'utilisation d'un panneau seul et deux panneaux en

série. Cette figure montre que l'utilisation de deux panneaux permet de doubler la tension et élargir la zone fonctionnement. Ceci a pour conséquence l'augmentation de la puissance maximale et de la tension maximale.

d-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 :

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

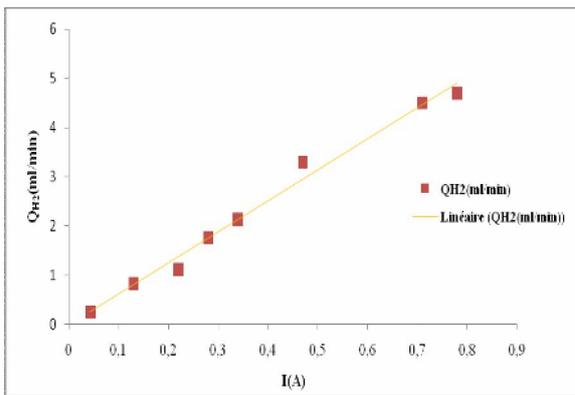


Figure 12: Evolution de production d'hydrogène en fonction du courant

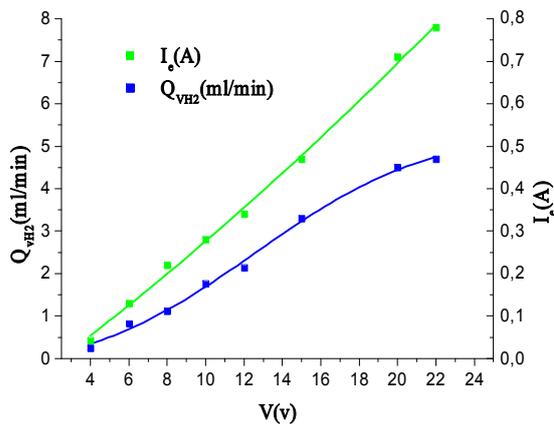


Figure 13: Evolution de production d'hydrogène et de courant en fonction de tension

Ce qui intéressante de dire que l'évolution de débit d'hydrogène en fonction de courant est une évolution linéaire comme montre la figure 12.

La figure 13 montre que le courant et débit d'hydrogène augmentent avec la tension ce qu'il est expliqué par le phénomène d'effet de Joule.

Et la figure qui suit 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

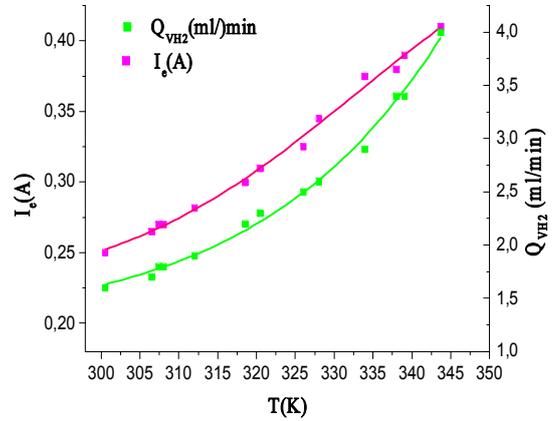


Figure 14: Evolution de production d'hydrogène et de courant en fonction de la température

d-3- Les caractéristiques du système PV-électrolyse

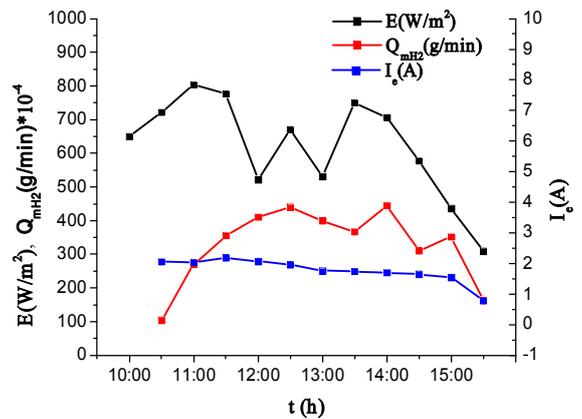


Figure 15: Evolution de l'éclairement E, du production d'hydrogène Q_{mH_2} , et le courant d'électrolyseur en fonction du temps

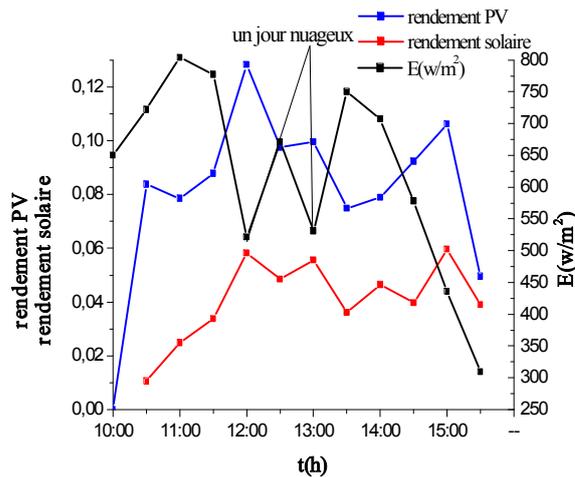


Figure 16: Evolution de l'éclairement E, du rendement photovoltaïque R_{PV} et rendement R_S du système en fonction du temps

La figure 15 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.

La figure 16 représente l'évolution du rendement solaire du système, du rendement du panneau solaire et l'éclairement en fonction du temps. L'éclairement solaire influe de manière directe sur le rendement photovoltaïque du panneau. Le rendement solaire du système est en parfaite corrélation avec le rendement PV et le rendement solaire du système.

4. CONCLUSION

Le procédé présenté dans ce travail présente trois avantages :

- Utilisation d'une source renouvelable, en l'occurrence l'énergie solaire représentant un gisement énergétique illimité, et de grande importance pour les régions du sud algérien.
- Le procédé utilisé dans le présent travail se base sur un le principe d'électrolyse: absence d'émissions de dioxyde de carbone (contrairement aux procédés thermochimiques qui utilisent les énergies fossiles).
- L'hydrogène représente la forme énergétique la moins nocive pour l'environnement. Muni d'un cycle énergétique fermé, il rentre dans divers applications, tels que la production

d'électricité, le chauffage des habitats et la fourniture de carburant pour le transport.

• Nomenclature

- E : éclairement 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] Ludovic PROTIN, Stéphan ASTIER, Convertisseurs photovoltaïques, Techniques de l'Ingénieur, 1995.
- [2] Yves JANNOT, Thermique solaire, Université de Lubumbashi, octobre 2003.
- [3] Jimmy Royer, Thomas Djiako, Eric Schiller, Bocar Sada Syn, Le pompage photovoltaïque, IEPF /Université d'Ottawa /EIER/CREPA, 1998.
- [4] F. Barber and T. N. Veziroglu, Environmental benefits of the solar hydrogen energy system. Clean Energy. Research Institute University of Miami, Coral Gables, FL 33124, USA. 2000.
- [5] T. N. Veziroglu, S. Karac. Solar production of hydrogen, Solar Energy Engineering. Edited by A. A. M. Sayigh. Academic Press , p.388, 1985.
- [6] M. Gapterou, « Atlas Solaire de L'Algérie », Tomes 1,2, OPU 1983.
- [7] PVSYST, logiciel pour système photovoltaïque, version 4.37, A. Mermoud, GAP, Université de Genève, 2009.
- [4] P.S. Kauranen and P.D. Lund Hydrogen Energy Storage for Photovoltaic Power Systems Tenth E. C. Photovoltaic Solar Energy Conference, pp. 476-479, (1991).
- [9] R.P. Mukund, « Wind and solar Power Systems », Ph.D,P.e U.S merchant Marine Academy Kings Point, New York, CRC Press LLC1999.
- [10] Hemat Tributsch, Photovoltaic hydrogen generation. International Journal of Hydrogen Energy, 33, 2008, p. 5911-5930.
- [11] Kai Zeng, Dongke Zhang, Recent progress in alkaline water electrolysis for hydrogen production and applications. Progress in Energy and Combustion Science 36, (2010), p. 307-326.

