HAL
open science

Installation solaire de production hydrogène par l'électrolyse de vapeur d'eau

Rachid Miri, Abdelhamid Mraoui

To cite this version:

Rachid Miri, Abdelhamid Mraoui. Installation solaire de production hydrogène par l'électrolyse de vapeur d'eau. JITH 2007, Aug 2007, Albi, France. 5p. hal-00164687

HAL Id: hal-00164687

https://hal.science/hal-00164687v1

Submitted on 29 Aug 2007

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

INSTALLATION SOLAIRE DE PRODUCTION D'HYDROGENE PAR L'ELECTROLYSE DE VAPEUR D'EAU.

Rachid MIRI [1], Abdelhamid MRAOUI [2]
[(1)]*Lab. de Mécanique Avancée, Fac. G M et G P, U.S.T.H.B., B.E.Z. El Alia, BP32, Alger,*
[(2)]*Lab. de bioénergie et environnement, C.D.E.R. BP62, Bouzaréah 16006 Alger.*
mirirachid@yahoo.fr et mraoui@altern.org

Résumé : Cette étude porte sur la conception d'une installation de production d'hydrogène par électrolyse de vapeur d'eau à hautes températures (700-1000°C) dont les ressources énergétiques sont solaires: l'alimentation en vapeur d'eau est assurée par une centrale solaire à concentration et le courant électrique est fourni par des cellules Photovoltaïques. La simulation numérique de la production d'hydrogène, pour l'installation proposée, est faite en se basant sur les équations caractéristiques régissant l'électrolyse de l'eau, les panneaux photovoltaïques et la centrale solaire à concentration. Les taux de production d'hydrogène obtenus sont déterminés pour des valeurs différentes du rayonnement solaire et pour quelques sites caractéristiques d'Algérie.

Mots clés : Hydrogène; Electrolyse; panneaux Photovoltaïques; Concentrateurs solaires.

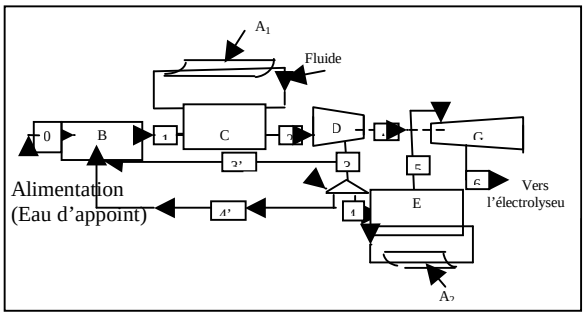
1. INTRODUCTION

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[1]. L'hydrogène est produit, par voie solaire, principalement à l'aide de procédés : thermochimique, photo électrochimique et électrolytique [2]. 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. L'installation de production d'hydrogène est composée principalement de trois parties :

- l'électrolyseur à vapeur d'eau à très haute température.
- une batterie de modules photovoltaïques alimentant l'électrolyseur en électricité.
- une centrale solaire à concentration fournissant la vapeur d'eau à l'électrolyseur.

2. SIMULATION DE L'UNITE DE PRODUCTION DE VAPEUR

Le Schéma de l'installation de production de vapeur est représentée par la fig. 1.



Légende :
A_i : concentrateur solaire E : réchauffeur solaire
B : réservoir d'eau F : séparateur
C : chaudière solaire G : compresseur
D : Turbine W : alternateur

Figure 1: Schéma de principe de l'installation de production de vapeur

Le principe de fonctionnement est le suivant: L'eau entre dans la chaudière solaire à l'état 1 et un débit (m_1), elle en sort à haute pression et à haute température (état 2) où elle est reçue et détendue par la turbine qui va produire le travail *W* nécessaire au compresseur. A la sortie de la turbine, est récupéré un mélange (liquide + vapeur): Le liquide, à l'état 3' et avec un débit ($m_{3'}$) est recyclé vers le réservoir d'eau. La vapeur à l'état 3 avec un débit (m_3) est devisée grâce à un séparateur en deux quantités : La première (état 4) avec un débit (m_4) sert, une fois traitée (réchauffée et comprimée) aux conditions désirées (état 5), à alimenter les cellules d'électrolyse. La seconde (état 4') avec un débit ($m_{4'}$) est recyclée vers le réservoir d'eau. L'installation de production de vapeur possède deux générateurs de chaleur :

- Le premier alimente la chaudière solaire de puissance Q_{12} ;
- Le second alimente le réchauffeur solaire de puissance Q_{45}.

La chaleur nécessaire Q_{12} pour passer l'eau de l'état 1 à l'état 2 est :

$$Q_{12} = \dot{m}_1 \ (h_2 - h_1) \text{ [kW]} \qquad (1)$$

Cette chaleur correspond à la puissance utile qui doit être délivrée par la chaudière solaire alimentée en énergie par un ensemble de concentrateurs cylindro-paraboliques dont l'expression est donnée par la relation suivante [3,4]:

$$Qu = \eta_0 \, Ic \, A_C - U_c \, (T_c - T_a) \, a. \qquad (2)$$

Le terme ($Uc.(T_c - T_a) \, a$) représente les pertes thermiques de l'absorbeur par conduction, convection et rayonnement que nous pouvons négliger dans notre cas [5]. Ce qui donne:

$$Q_{12} = \eta_0 \, I_c \, A_{C12} \qquad (3)$$

Par le même raisonnement : La chaleur nécessaire au réchauffage est égale :

$$Q_{45} = m_4(h_5 - h_4) \text{ [kW]} = \eta_0 \, I_c \, A_{C12} \qquad (4)$$

La surface totale des concentrateurs cylindro paraboliques nécessaire est :

$$A_c = Q_{12} / \eta_0 \, I_c \ + Q_{45} / \eta_0 \, I_c \qquad (5)$$

Selon la surface unitaire A_U choisie, est déterminé le nombre de concentrateurs approprié N :

$$N = A_C / A_U \qquad (6)$$

La surface de chaque absorbeur (*a*) est donnée par la relation suivante :

$$a = A_U / C \qquad (7)$$

Le travail nécessaire pour assurer la compression est :

$$W_{56} = \dot{m}_4 \ (h_6 - h_5) \text{ [kW]} \qquad (8)$$

3. SIMULATION DE L'ELECTROLYSE DE LA VAPEUR D'EAU

La figure 2 illustre le schéma de principe de l'électrolyseur[6]: Une paroi étanche d'oxyde électrolyte solide (OES) sépare deux atmosphères en circulation contenant un mélange H_2-H_2O d'une part et de l'oxygène pur d'autre part. Sous la tension appliquée *U*, les molécules de vapeur d'eau sont dissociées à la cathode en ions 0^{-2} et en hydrogène. Les ions 0^{-2} migrent ensuite au travers de la paroi d' OES vers l'anode.

La réaction globale de cette décomposition est:

$$H_2O \text{ (g)} \rightarrow H_2 \text{ (g)} + ½ \text{ O} \qquad (9)$$

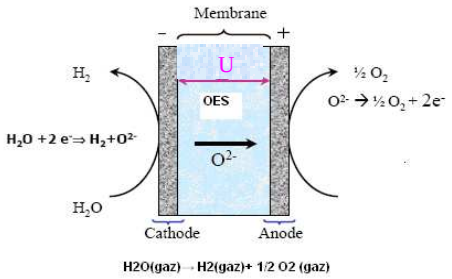


Figure 2 : Principe de fonctionnement de l'électrolyseur à vapeur d'eau .

L'expression du débit d'hydrogène produit est donné par la relation [7] :

$$\dot{m}_{H_2} = 1/F.\ M/n\ .I.\eta_f \qquad (10)$$

En posant: $K = F.n/M = 96487000$, pour un débit d'hydrogène donné, l'intensité du courant nécessaire à sa production devient :

$$I = 96487000.m_{H2} / \eta_f \qquad (11)$$

La surface des électrodes A_E sera calculée comme suit[8]:

$$A_E = I / J \qquad (12)$$

L'énergie globale d'électrolyse W (en W) s'exprime en fonction de la tension réelle U (en V) et de l'intensité I (en A) par l'expression suivante:

$$W = U.I. \qquad (13)$$

La puissance nécessaire (en W) pour l'électrolyse d'un débit de vapeur d'eau $\dot{m}_e$ est donc :

$$W = 10720778\ U_{thermoneutre}\ .\ \dot{m}_{H_2O}\ / \eta_f \qquad (14)$$

4. PRODUCTION D'ELECTRICITE PAR LES CELLULES P.V.

Le schéma électrique équivalent à une cellule P.V. est représenté par la figure 3. Ce circuit est constitué d'une source de courant et d'une diode montée en parallèle. 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 [3].

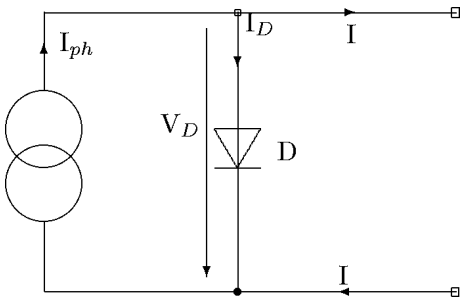


Figure 3 : Schéma électrique équivalent d'un panneau P.V.

Le courant I fourni par la cellule photovoltaïque s'écrit comme suit:

$$I = I_{ph} - I_0 \left(e^{\frac{eV}{mkT}} - 1 \right) \qquad (15)$$

L'expression de la puissance électrique est donc:

$$P = V.[\ I_{ph} - I_0\left(e^{\frac{V}{Vt\ .m}} - 1\right)\ ] \qquad (16)$$

Où $Vt = \frac{kT}{e}$ est appelé tension thermodynamique.

Pour trouver la tension optimale, qui donne la puissance maximale, il faut résoudre l'équation suivante :

$$\frac{\partial P}{\partial V} = 0 \qquad (17)$$

Le dimensionnement de l'unité de production d'électricité, dans notre cas, réside en la détermination du nombre des cellules photovoltaïques $N_{cellules}$ donné par la relation suivante:

$$N_{cellules} = \frac{W}{P_{max}.0.96} \qquad (18)$$

5. RESULTATS :

Les puissances trouvées par calculs sont :

Q_{12} = 3.8617MW; W_{56} = 1.3116 MW ; Q_{45} = 0.3982 MW.

-La surface totale des concentrateurs nécessaire pour produire une puissance de Q_{12} est :

$A_{C12} = Q_{12} / \eta_0 I_c$

En prenant η_0 = 85% et I_c =500 W/m² [9], nous obtenons : A_{C12} = 9086.35 m² et N= 182

-Le concentrateur à une surface unitaire A_U de 50m² celle de l' absorbeur (a) est: a = 0.5m².

Pour le réchauffeur, la surface des concentrateurs nécessaire pour produire une puissance de Q_{45} est :A_{C45} =1031.86m² et le nombre de concentrateur est : N = 21

Les taux de production annuels de l'hydrogène solaire, obtenus numériquement, compte tenu des valeurs de l'énergie solaire reçue sur le plan horizontal Q_s, de la puissance électrique produite par les cellules photovoltaïques Q_{pv}, du rendement annuel des panneaux PV [%] η_{PVa} et de la puissance thermique délivrée par les concentrateurs *Qcpc*, pour différents sites d'Algérie sont regroupées dans le tableau 2 :

Paramètres	Q_s *(kWh/m²/an)*	Q_{pv} *(kW/an)*	Q_{cpc} *(kW/an)*	η_{PVa} *(%)*	$\dot{m}_{H_2}$ *(kg/an)*
Annaba	1738,54	7 994,82	1 946,34	10,41	213 394,03
Biskra	1715,10	7 415,05	1 935,15	9,73	197 919,08
Alger	1660,19	7 711,20	1 863,38	10,39	205 823,69
Janet	2416,82	11 009,81	3 181,72	9,82	293 868,72
Djelfa	1464,16	6 041,33	1 270,21	10,48	161 252,25
Illizi	2408,06	11 114,74	3 298,83	9,70	296 669,28
Oran	1677,24	7 702,18	1 872,79	10,37	205 582,83
Tam	2411,23	11 238,06	3 128,18	10,08	299 960,84

Tableau 2 : Les paramètres annuels pour différents sites d'Algérie

CONCLUSION

L'installation présentée et décrite ci-dessus assure, d'après les prédictions de notre simulation numérique, une production massive d'hydrogène gazeux (au maximum 400kg/h) par électrolyse de l'eau à haute température (900°C, 30bars). L'alimentation énergétique des cellules d'électrolyses est assurée par conversions de l'énergie solaire hybride : thermique et

photovoltaïque. La puissance que délivre la centrale solaire thermique, est de l'ordre de 5MW. Les concentrateurs cylindro-paraboliques nécessaires sont au nombre de 203 et ils occupent une superficie de 1.011 Ha. La conversion photovoltaïque est utilisée pour alimenter les cellules d'électrolyses par la puissance électrique de l'ordre de 15MW. Le champ des cellules solaires nécessite une superficie égale à 12,62 Ha. Les valeurs maximales de production annuelle d'hydrogène ont été détectées au sud Algérien (299960,84 kg à Tamanrasset). Les quantités annuelles d'hydrogène produites dans les wilayas du nord, de l'est et de l'ouest ont des valeurs qui se rapprochent sensiblement. L'installation doit être placée dans une localité à forte insolation de sorte à extraire le maximum de puissance, tout en tenant compte que l'augmentation de la température ambiante diminue le rendement des panneaux photovoltaïques qui sont sensibles aux températures élevées.

Nomenclature

C facteur géométrique de concentration
Cp chaleurs massique, *kJ / kg°C*
T température, *K*
h enthalpie, *kJ/kg*
I_b rayonnement solaire direct, W/m^2
I_0 Courant d'obscurité, *amp*
I_{ph} Courant photonique, *amp*
J densité de courant, *A/cm²*
M Masse atomique
$\dot{m}_1$ débit de fluide, *kg/s*
n valence
N nombre de concentrateurs
t temps, *s*
U_c conductance therm. globale, $W/m^2°C$

Symboles grecs
α_c facteur d'absorption de l'absorbeur
α diffusivité thermique, $m^2.s^{-1}$
η_0 rendement optique de conversion
η_f rendement faradique
ρ_c réflectivité du capteur
τ_c facteur de transmission
χ_c fraction de la surface réfléchissante inutilisable à cause de l'effet d'ombre

Exposant, Indices
i interne
1 entrée chaudière
2 sortie chaudière

References

[1] F. Barber and T. N. Vezirog Environmental benefits of the solar hydrogen energy system. Clean Energy. Research Institute University of Miami, Coral Gables, FL 33124, USA. 2000.
[2] T. N. Veziroglu, S. Karac. Solar production of hydrogen. Solar Energy Engineering. Edited by A. A. M. Sayigh. Academic press, 388, 1985.
[3] D. Yogi Goswami, F. Kreith, J. F. Kreider. Principles of solar engineering. Edition 2nd: Taylor & Francis 138-429, 1985.
[4] J. Desautel. Les capteurs héliothermiques. Ed. EDISUD & Pyc- Editions, 26-27, 1979.
[5] P. Gallet, F. Papini, G. Péri : Physique des convertisseurs héliothermiques. Editions Edisud 141-145, 1980.
[6] E. Schouler and all. *Electrolyseur de la vapeur d'eau à haute température, principe et état de développement. Revue générale de l'électricité*, N°3, Mars 1982.
[7] A. Damien. Hydrogène par électrolyse de l'eau. Techniques de l'ingénieur : Vol. J6, N° J 6366, 12-1992.
[8] P. Aujollet. Couplage d'un réacteur nucléaire avec un électrolyseur à vapeur à très haute température DER/SERI, 10- 2003.
[9] Michel Capderou. Atlas solaire de l'Algérie et du pourtour méditerranéen. Tome 2 : Aspect énergétique. Office des publications universitaires, 1985.