

Estimation de la Production de l'Hydrogène Solaire au Sud Algérien

R. Boudries-Khellaf et A. Khellaf

Centre de Développement des Energies Renouvelables, B.P 62, Route de l'Observatoire, Bouzareah, 16340 Alger.
E-mail: r_zaka@yahoo.fr

Résumé – Ce travail traite du potentiel hydrogène solaire au sud algérien. Cette région représente un des plus importants gisements solaires au monde. La mise en valeur d'une manière effective et viable de cet immense potentiel passe par la conversion de l'énergie solaire en un vecteur énergétique versatile, stockable, transportable et écologiquement acceptable. L'hydrogène solaire apparaît aujourd'hui comme le meilleur candidat. Dans la présente étude, les données météorologiques et radiométriques sont revues. Un système de production d'hydrogène solaire, PV - électrolyse, est proposé. Une estimation du potentiel hydrogène solaire est menée et les sites les plus prometteurs identifiés.

Abstract – This work deals with solar hydrogen potential in southern Algeria. This region encloses the most important solar potential in the world. The exploitation of this important potential comes through the conversion of the solar energy to an energy vector that is versatile, storable, transportable and ecologically acceptable. Today, hydrogen seems to be the best candidate. In the present study, the radiation and the meteorological data are reviewed. A system PV-electrolyse for the production of hydrogen is proposed. An estimation of the solar hydrogen potential is carried out and the most promising sites identified.

Mots-clés : Hydrogène solaire – Sahara – PV module – Electrolyse.

1. INTRODUCTION

Si les énergies conventionnelles ont permis la révolution industrielle, elles n'en demeurent pas moins qu'elles sont aussi source de préoccupation. Ces énergies sont polluantes et leur utilisation engendre le dégagement de gaz à effet de serre. A cette préoccupation environnementale s'ajoute le souci des réserves. Ces ressources énergétiques sont limitées et avec l'explosion de la demande énergétique, le risque de pénurie et d'épuisement est bien réel. Il est donc nécessaire de trouver d'autres sources d'énergie.

De ce point de vue, les énergies renouvelables se présentent comme le meilleur candidat. Elles sont propres et inépuisables. Toutefois, comme elles sont à caractère diffus et intermittent, le besoin de leur conversion en un vecteur énergétique versatile dans son utilisation, stockable, transportable et écologiquement acceptable s'impose. De tous les candidats répondant à ces critères l'hydrogène solaire présente les meilleurs atouts [1]. L'intense insolation, la quantité suffisante d'eau et de gaz naturel, les vastes espaces pour l'installation des systèmes de collecte et de conversion de l'énergie solaire et même l'existence de pipelines pour l'évacuation de l'hydrogène solaire vers les utilisateurs potentiels font du Sahara algérien une place de choix pour la production de l'hydrogène solaire. Pour l'Algérie, cela représente une grande opportunité et ouvre une perspective indéniable [2]. L'exploitation de ce vecteur énergétique permet non seulement d'augmenter et de diversifier ses réserves et ses exportations énergétiques mais aussi et surtout de subvenir à ses besoins énergétiques qui deviennent de plus en plus importants.

Dans le présent travail, les données radiométriques et météorologiques sont utilisées pour déterminer le potentiel hydrogène solaire dans le sud algérien. Les différentes ressources nécessaires à une exploitation viable de l'hydrogène solaire sont revues. Un système PV – électrolyse de l'eau est présenté. Une estimation du potentiel de production annuel, mensuel et saisonnier est menée. Les sites les plus prometteurs sont identifiés et la viabilité des systèmes discutée.

2. POTENTIALITES DU SAHARA ALGERIEN

Le sud algérien englobe les régions désertiques et arides du Sahara algérien. Ce Sahara occupe plus de 85% du territoire national mais abrite moins de 10 % de la population algérienne [3]. La région est toutefois très peu développée. Ceci revient peut être aux conditions climatiques des plus extrêmes. Ce milieu est soumis à des alternances de chaleur et de froid : aux journées caniculaires succèdent les nuits glaciales et aux hivers rigoureux les étés torrides. Les terres sont peu arable et les pluies sont rares et ne dépassent que rarement les 200mm par an.

C'est aussi une région très faiblement peuplée avec une densité de l'ordre de 1,3 habitants /Km². Les villages, concentrés dans les oasis éparées, sont caractérisés par leur isolement et leur éloignement de tout réseau de communication. Toutefois le Sahara algérien recèle d'énormes richesses qui sont autres que les hydrocarbures.

2.1. Potentiel Solaire

Le Sahara algérien constitue un des plus importants gisements solaires au monde. Avec un ciel clair, quasiment sans nébulosité, le Sahara est le domaine du soleil. La durée d'insolation, de l'ordre de 3 500 heures/an est la plus importante au monde. Elle est toujours supérieure à 8 heures/jours à l'exception de l'extrême sud où elle descend jusqu'à 6 heures/jour durant l'été. Pendant l'été, elle peut atteindre jusqu'à plus de 12 heures/jour au centre du Sahara. De par sa position géographique, la durée d'insolation journalière ne présente pas d'importants écarts entre les différents mois de l'année, comme c'est le cas des villes du nord du pays. Ceci permet une disponibilité égale durant toute l'année. L'irradiation solaire reçue par an est de l'ordre de 2650 kWh/m² [4]. La puissance reçue par jour est toujours supérieure à 5 kWh/m² et peut atteindre facilement les 7 kWh/m². La région d'Adrar est particulièrement ensoleillée et présente le plus grand potentiel de tout le pays. Si toute cette énergie est mise en valeur, cela constituerait une source d'énergie très importante et un revenu inestimable.

2.2. Potentiel éolien

En plus du gisement solaire, le Sahara algérien et plus particulièrement la région centre et ouest constitue un important gisement éolien. Avec une vitesse annuelle moyenne de 6 m/s à 10 m du sol, la région d'Adrar représente le potentiel énergie éolienne le plus important de tout le pays. [5, 6]

2.3. Potentiel hydrique

Au Sahara, les besoins en eau sont satisfaits par les eaux souterraines. Les ressources superficielles, d'un potentiel de l'ordre de 600 millions m³/an, se trouvent surtout au nord du Sahara [7]. Toutes ces ressources, peu renouvelables et surexploitées peuvent s'avérer insuffisantes. Néanmoins, l'existence d'une nappe aquifère attribuée à l'Albien peut jouer un rôle majeur dans le développement de la région. S'étendant de l'ouest de la Libye et de la Tunisie à la région d'Adrar et de Biskra et de Laghouat jusqu'à Illizi, cette nappe couvre une superficie de 800 000 Km². Les réserves sont estimées à 6 10¹⁰ m³. Sa profondeur varie d'est en ouest ; elle est de quelques dizaines de mètres à Adrar, de quelques centaines de mètres à Ghardaia et Ouargla et plus de 1700 m à Touggourt [7].

2.4. Gaz naturel

Le gaz naturel n'est pas une ressource renouvelable mais un important vecteur énergétique. En plus du pétrole, le Sahara renferme de très importants gisements gaziers [8]. Ces gisements, dont les réserves sont de l'ordre de 3 10¹² m³, sont situés principalement à Hassi Messaoud, Gassi Touil, Rhourd Nous, Haoud Berkaoui, Alrar et Tin Fouye Berkaoui. La production du gaz naturel est de l'ordre de 60 milliards de m³ avec autour de 10 milliards pour la consommation nationale.

Un vaste réseau, long d'un peu plus de 15 000 Km, achemine le gaz naturel vers les consommateurs nationaux et les complexes de liquéfaction. Des méthaniers assurent sa livraison aux clients étrangers. Deux gazoducs, à travers la mer, délivrent du gaz naturel à l'Europe.

3. ESTIMATION DE LA PRODUCTION D'HYDROGENE

Plusieurs techniques existent pour la production de l'hydrogène [9]. La décomposition catalytique du gaz naturel, l'oxydation partielle des huiles lourdes, la gazéification du charbon, l'électrolyse de l'eau, les cycles thermochimiques purs et hydrides de dissociation de l'eau ainsi que les procédés photochimiques et photobiologiques sont parmi les techniques les plus utilisées.

La plupart de l'hydrogène produit, particulièrement pour l'industrie pétrochimique, est obtenu à partir du gaz naturel, particulièrement par le vaporeformage [10]. Les ressources gazières peuvent être valorisées par la production de l'hydrogène - solaire. De tous les systèmes de production d'hydrogène par décomposition de l'eau en utilisant les énergies renouvelables, la combinaison du module photovoltaïque pour la captage de l'énergie solaire et les cellules électrolytiques pour la décomposition de l'eau est de loin le système le plus attrayant et le plus simple. Ce système comprend :

1. Le module photovoltaïque qui est constitué de panneaux de matériaux photovoltaïques pour la conversion de l'énergie solaire en énergie électrique. L'efficacité du module dépend de la nature des cellules photovoltaïques et des conditions météorologiques. Jusqu'à présent le rendement du meilleur module photovoltaïque est en pratique de l'ordre de 12 % [11]
2. Le système de mise en forme et de conditionnement du signal issu du module photovoltaïque. Dans ce système, des unités de stockage sont aussi à prévoir pour les périodes hors peak. Des études sur ces systèmes [12, 13] ont montré que leur rendement ne dépasse pas les 97 %. Une valeur très conservatrice de ce rendement serait de l'ordre de 85 %.
3. Le système électrolytique qui comprend l'ensemble de cellules consistant chacune de deux électrodes immergées dans une solution électrolytique et connectées à une alimentation DC. La solution électrolytique est principalement de l'eau à laquelle un produit chimique conducteur est ajouté. Le rendement du système électrolytique dépend aussi bien de la nature de la cellule et de sa température

que des conditions météorologiques et des caractéristiques du module photovoltaïque. Ce rendement est en général compris entre 65 % et 85 % [14]

En plus de ces systèmes, on doit prendre en compte les systèmes auxiliaires tels que les systèmes de contrôle et de séparation des gaz produits et le système d'alimentation et de traitement de l'eau. L'eau utilisée dans l'électrolyse peut provenir de différentes sources. Elle peut être prise de l'importante nappe phréatique qui, dans certain cas, n'est qu'à quelques mètres de la surface. Ceci est plus particulièrement vrai dans la région d'El Oued et d'Adrar. L'estimation de la production d'hydrogène a été obtenue en utilisant les rendements des différents composants du système d'électrolyse et les moyennes annuelles ou les moyennes mensuelles de l'irradiation globale journalière pour les dix dernières années.

4. RESULTATS

Au Tableau 1, nous avons reporté l'estimation du potentiel de production en se basant sur le rendement des différents systèmes et sur les moyennes annuelles sur les dix dernières années de l'irradiation globale journalière sur plan horizontal. C'est une estimation de production par mètre carré et par jour de panneau photovoltaïque. Ces résultats montrent que le potentiel de production est très important à travers le sud algérien.

Tableau 1 : Potentiel de Production annuelle d'hydrogène (l/m²/j)

sites	Latitude (Nord)	Longitude	Insolation (kWh/m ² /jour)	Potentiel hydrogène (l/m ² /jour)
Adrar	27° 49'	00° 11' w	6,04	120,3772
Tam	22° 48'	05° 27' e	6,3	125,559
I-guezzem	19° 34'	05° 46' e	6,45	128,5485
Hassi-Mess	31° 40'	06° 8' e	5,71	113,8003
Biskra	34° 48'	05° 44' e	4,96	98,8528
I-Sefra	32° 45'	00° 36' w	5,35	106,6255
Timimoun	29° 15'	00° 17' e	5,84	116,3912
Laghouat	33° 48'	02° 53' e	5,23	104,2339
Illizzi	26° 30'	08° 28' e	6,04	120,3772
El Goléa	30° 34'	02° 52' e	5,78	115,1954
B.BMokhtar	21° 12'	00° 34' e	6,27	124,9611
Djanet	24° 16'	09° 28' e	6,25	124,5625
Tindouf	27° 40'	08° 09'	5,77	114,9961
Naama	33° 16'	00° 18' w	5,13	102,2409
In Amenas	28° 03'	09° 38' e	5,99	119,3807
El oued	33° 30'	06° 47' e	5,29	105,4297
Béchar	31° 38'	02° 15' w	5,48	109,2164
Touggourt	33° 07'	06° 08' e	5,29	105,4297
Ouargla	31° 55'	05° 24' e	5,7	113,601
In Salah	27° 12'	02° 28' e	5,98	119,1814
Ghardaia	32° 24'	03° 48' e	5,48	109,2164
Beni Abès	30° 08'	02° 10' w	5,65	112,6045
Assekrem	23° 16'	05° 34' e	6,21	123,7653

Afin de déterminer les effets saisonniers et les effets régionaux, on a comparé le taux de production aussi bien mensuel que saisonnier de douze sites répartis à travers le territoire national. Les résultats ont été obtenus dans ce cas là en prenant les moyennes mensuelles de l'irradiation globale journalière.

En figure 1 et figure 2, nous avons reporté la variation du taux de production en fonction du mois. On voit que pour les sites du centre du Sahara ont un potentiel de production uniforme durant toute l'année (Adrar et Tamanrasset par exemple). Ceci n'est malheureusement pas le cas pour les autres sites : la production de Juillet est deux fois plus importante que celle de décembre ou de Janvier. Toutefois, ce potentiel reste plus important que ceux des régions du Tell algérien où le potentiel de Décembre ne représente qu'un tiers celui de Juin. [15]

Afin de mieux cerner les potentiels de production des différents sites, on a comparé le potentiel de production mensuelle pour les différents sites. On voit en figure 1 et figure 2 que si la production est pratiquement la même pour le mois de juillet pour l'ensemble des sites considérés à travers le territoire national, ceci n'est pas le cas pour les autres mois où elle est nettement supérieure au centre du Sahara qu'ailleurs.

Finalement on a comparé les productions saisonnières. La figure 3 montre la production saisonnière pour chaque site et pour l'ensemble des sites.

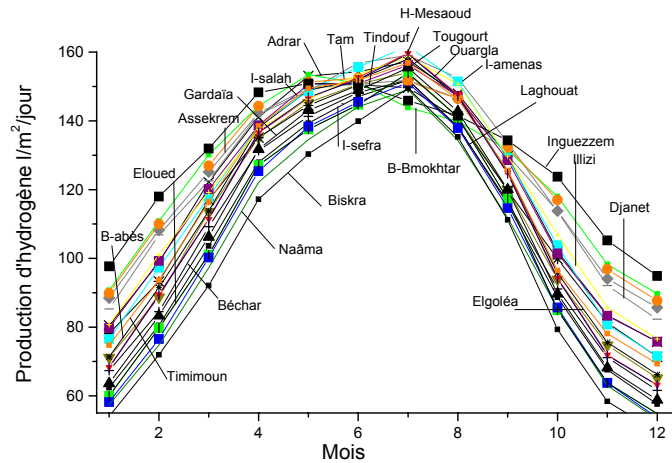


Fig. 1: Evolution du potentiel de production d'hydrogène durant l'année pour différents sites

On voit l'écart entre les productions des différentes saisons pour chaque site. Cet écart est relativement peu important par comparaison aux régions du Tell algérien [15]. Le printemps et l'été sont les saisons avec les potentiels les plus grands.

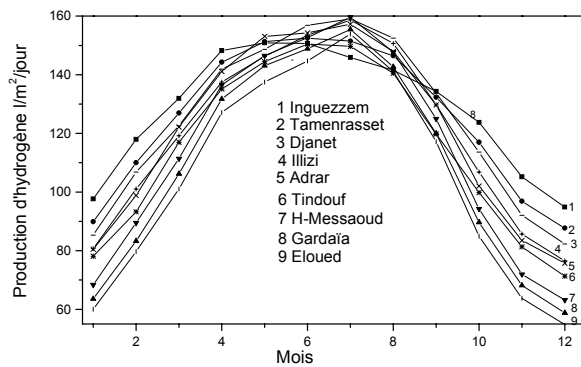


Fig. 2: Evolution du potentiel de production d'hydrogène durant l'année pour des sites représentatifs

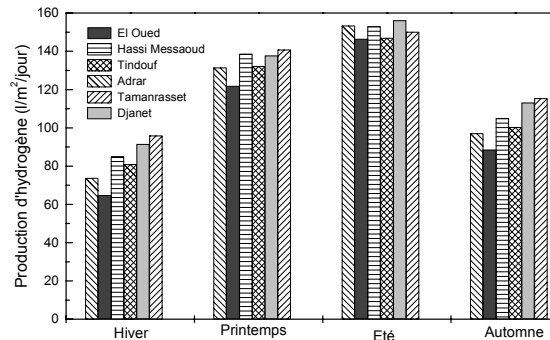


Fig. 3: Evolution du potentiel de production d'hydrogène pour différentes régions du Sahara algérien et pour différentes saisons de l'année.

De la même figure, on voit qu'en hiver, il y a un écart peu important entre les productions des différents sites. Les régions du centre du Sahara ont un potentiel de production légèrement plus grand. Toute fois cet écart est moins important pour les autres saisons, particulièrement en été où il a tendance à complètement disparaître.

5. CONCLUSION

Le potentiel de production de l'hydrogène utilisant un système photovoltaïque de captage de l'énergie solaire a été évalué. Cette estimation est basée sur le cas le plus défavorable. On a donc une estimation du minimum théorique que l'on peut obtenir. Toutefois les résultats montrent que ce potentiel est important.

Le but de cette phase de l'étude est d'identifier les sites les plus prometteurs. Adrar et Tamanrasset sont certainement les sites les plus en vue, tenant compte de l'intensité de l'insolation et des ressources en eau. Il est à noter que les besoins en eau pour un système PV - électrolyseur n'est pas très importante [16]. L'énergie solaire, étant une énergie diffuse, l'hydrogène solaire représente la méthode de conversion et le vecteur d'énergie ayant les meilleures qualités aussi bien énergétiques qu'environnementales. On a aussi utilisé des données moyennes pour mettre en évidence avec précision les variations saisonnières.

L'utilisation de l'énergie éolienne soit comme énergie d'appoint soit pour le pompage de l'eau augmentera la production d'au moins 30 %. L'utilisation de l'eau chaude de la nappe Albienne aussi bien comme source de matière première (eau) que comme source d'énergie augmentera aussi le rendement.

Le reformage du gaz naturel, une technique bien établie, doit permettre au sud algérien de valoriser les ressources gaz naturel, d'exploiter les énergies renouvelables et se conformer avec les exigences environnementales. Hassi Messaoud, avec ses ressources gazières, son insolation et surtout les gazoducs pour évacuer l'hydrogène solaire produit, représente le site tout indiqué pour le reformage du gaz naturel

REFERENCES

- [1] C. Devillers, K. Pehr, J. S. Duffield, D. Weinmann, H. Vandenborre, A. Gonzales, R. Wurster, M. Kester, F. Heurtaux et P. Ekdunge, “*European Integrated Hydrogen*” Project, 12th World Hydrogen Energy Conference, Buenos Aires, Argentina, 1998.
- [2] A. Khellaf, R. Khellaf et M. Belhamel, “*L’Hydrogène Solaire : une Énergie pour le Développement National*”, Proceedings of 2^{ème} symposium du Comité Algérien pour l’Énergie, Alger 22 et 23 novembre 2000, S2.7
- [3] ONS, “*Rapport synthétique 1960-1990*”, 1990
- [4] A. Mefti et M. Bouroubi, “*Estimation et cartographie du Rayonnement solaire*”, Rapport technique (1992) CDER, Bouzareah, Alger
- [5] L. Hamane and A. Khellaf, “*Wind energy resource in Algeria*”, Proceedings of the World Energy Congress VI, 1-7 juillet 2000 (United Kingdom)p.2352
- [6] L. Hamane et A. Khellaf “*Cartographie des ressources éoliennes de l’Algérie*”, Bulletin des Sciences Géographiques 11(2003)23
- [7] EDIL, “*Carte nationale d’identité (eau) de l’Algérie*”, 1993
- [8] Direction générale de l’environnement, “*Elaboration de la stratégie et du plan d’action national des changements climatiques*”, 2001
- [9] R. Momirlan et T. Veziroglu, “*Recent directions of world hydrogen production*”, Ren. Sust. Energy Rev. 3 (1999) 219
- [10] M. A. Pena, J. P. Gomez et J. L. G. Fiero, “*New Catalytic routes for syngas and hydrogen production*”, Applied Catalysis A : General 144(1996)7
- [11] M. A. Elhadidy, “*Performance evaluation of hybrid (wind/solar/diesel) power systems*”, Renewable Energy 26(2002)401-413.
- [12] J. H. R. Enslin and D. B. Snyman, “*Combined low-cost, high efficiency inverter, peak power tracker and regulator for PV applications*”, IEEE Trans. Power Electron 6, 2(1991)73-82
- [13] ETSU Report number ETSU/FCR/005, “*Solid polymer fuel cell systems applications study to identify and prioritise*”, R&D issues, Issue (1993)ETSU/DTI. U.K.
- [14] W. Zittel et R. Wurster, “*Hydrogen in the Energy Sector*”, Ludwig-Bölkow Systemtechnik GmbH (1996)
- [15] R. Boudries-Khellaf, “*Evaluation du potentiel hydrogène solaire en Algérie*”, Rapport RK-01-CDER-2000, CDER, Algérie
- [16] J. Paladin, T. N. Veziroglu et A. Shahin, “*Hybrid solar high-temperature hydrogen production system*”, Int. J. Hydro. Energy 25 (2000) 295.]