



Le 2<sup>ème</sup> Séminaire International sur les Energies Nouvelles et  
Renouvelables  
The 2<sup>nd</sup> International Seminar on New and Renewable  
Energies

Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables,  
Ghardaïa – Algérie 15, 16 et 17 Octobre 2012



# Influence de la température sur la productivité des cellules photovoltaïques en couches minces

#H. Haloui, K. Touafek

Unité de recherche appliquée en énergies renouvelables, BP 88 garat Ettaam, Ghardaïa

haloui@uraer.dz

khaledtouafek@uraer.dz

**Abstract**— Les cellules solaires en couches minces deviennent de plus en plus utilisées dans différentes applications. Ceci est du surtout pour le coût toujours élevé du silicium mono ou poly cristallin. En plus, la technologie des couches minces offre des applications plus diversifiées notamment dans les utilisations en faible éclairage solaire. Dans cet article, une étude sur l'influence de la température sur les cellules à couches minces est détaillée. Les résultats trouvés montrent qu'on peut utiliser ce type de cellules dans des applications de cogénération.

**Keywords**— Couches minces, Température, Rendement, silicium

## I. INTRODUCTION

La technologie à couche mince désigne un type de cellule obtenu par diffusion d'une couche mince de semi-conducteur sur un substrat de verre. Dans cette technologie, le principe est d'appliquer le semi-conducteur sous forme de "spray" sur un support. Le semi-conducteur est ainsi économisé car il n'est pas comme pour les cellules au silicium cristallin, scié dans la masse. Cette méthode de fabrication devrait permettre dans l'avenir de réduire significativement les coûts de production des cellules PV en raison d'un besoin réduit en matériaux et en énergie.

Les couches minces constituent la seconde génération de la technologie photovoltaïque. Dans cette génération, il existe trois principales filières:

### A. filière du silicium amorphe (a-Si):

Ces cellules sont composées d'un support en verre ou en matière synthétique sur lequel est déposée une fine couche de silicium [3], processus ne nécessitant que très peu d'énergie. Bien que le rendement de telles cellules soit plus bas que celui des cellules cristallines (5-9%), ce qui est dû à la faible mobilité des porteurs de charge au sein de ces matériaux [5]. Ce type de cellules trouve ses applications principales dans les petits appareils tels les calculettes, les montres, etc.

### B. La filière de tellure de cadmium (CdTe):

Il s'agit d'une technologie extrêmement prometteuse, permettant d'obtenir des rendements tout à fait convenables (16,5%) en laboratoire. De part une bande interdite de 1,5eV parfaitement adaptée au spectre solaire [4] et un très fort

coefficient d'absorption, seule une couche de 2  $\mu\text{m}$  est nécessaire pour obtenir un matériau très opaque et absorbant une grande partie du spectre solaire. Le développement des panneaux CdTe est néanmoins largement freiné par l'utilisation de cadmium, qui pose problème au niveau environnemental (cf. l'interdiction des piles utilisant ce métal).

### C. La filière chalcopyrite (matériau CIS et CIGS):

Le Diséléniure de cuivre et d'indium (CIS) est un matériau ternaire possédant une structure chalcopyrite. Il possède un coefficient d'absorption entre 100 et 1000 fois supérieur à celui du silicium amorphe.

Les cellules à base de matériau chalcopyrite quaternaire comme le CIGS (pour  $\text{Cu}(\text{Ga},\text{In})(\text{Se},\text{S})_2$ ) possède également de performances extrêmement intéressantes.

La production de ce type de cellules (cellules en couches minces) est moins coûteuses que la première génération (silicium cristallin) puisqu'elle consomme moins de matériau semi-conducteur et ne nécessite pas de passer par l'étape de transformation du silicium en « wafers ». Le problème des cellules de seconde génération est le rendement moindre de ce type de cellules (6-7% et 14% en labo) et la toxicité de certains éléments (cadmium) pour leur fabrication. Cependant, cette génération a beaucoup d'avantages pour des marchés de niche comme les applications en modules flexibles, avec de faibles illuminations ou avec des températures élevées.

Le diséléniure de cuivre indium (CIS) qui est au stade de la production industrielle et offre un rendement de 10 à 12% [6] pour ses modules commerciaux ne présente pas les problèmes de toxicité du cadmium.

Les réductions de coût attendues à moyen terme pour cette technologie sont donc très prometteuses.

## II. MODÉLISATION

### Le modèle « standard » à une diode :

Le fonctionnement d'une cellule photovoltaïque est décrit par le modèle « standard » à une diode, établie par Shockley pour une seule cellule PV [1,2].

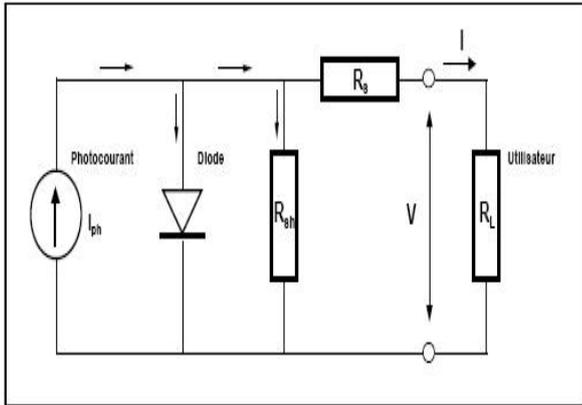


Figure1: Schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque

Le courant fourni par la cellule est donné par la relation suivante:

$$I = I_{ph} - I_0 \left[ \exp\left(\frac{q(V + IR_s)}{\gamma k T_C}\right) - 1 \right] - (V + IR_s) / R_{sh} \quad (1)$$

Avec:

V: Tension aux bornes de la cellule [V].

I<sub>ph</sub>: Photo courant [A], proportionnel à l'irradiance Φ, avec correction selon TC.

I<sub>0</sub>: Courant dans diode, désigne le terme I<sub>0</sub>[exp(...)-1].

I<sub>0</sub>: courant inverse de saturation diode, dépendant de la température [A].

R<sub>s</sub>: Résistance série [Ω].

R<sub>sh</sub>: Résistance shunt (ou parallèle) [Ω].

q: Charge de l'électron = 1.602.10<sup>-19</sup> Coulomb.

K: Constante de Boltzmann = 1.381.10<sup>-23</sup> J/K.

γ: Facteur de qualité de la diode, normalement compris entre 1 et 2.

T<sub>C</sub>: Température effective de la cellule [Kelvin].

Le photo courant I<sub>ph</sub> varie avec l'irradiance et la température: on le déterminera par rapport à des valeurs données aux conditions de référence :

$$I_{ph} = (\Phi / \Phi_{ref}) \cdot [I_{phref} + \mu_{ISC} \cdot (T_C - T_{Cref})] \quad (2)$$

Où:

Φ et Φ<sub>ref</sub>: Irradiance effective et de référence [W/m<sup>2</sup>].

T<sub>C</sub> et T<sub>Cref</sub>: Température des cellule, effective et de référence [°K].

μ<sub>ISC</sub>: Coefficient de température du photo courant (ou de court-circuit).

Le courant inverse de saturation de la diode I<sub>0</sub> est supposé varier avec la température selon l'expression :

$$I_0 = I_{0ref} (T_C / T_{Cref})^3 \cdot \exp\left[\frac{q \cdot \epsilon_G}{\gamma \cdot k} \left( \frac{1}{T_{Cref}} - \frac{1}{T_C} \right)\right] \quad (3)$$

Où ε<sub>G</sub>: énergie de gap du matériau de la cellule (Si cristallin: 1.12eV, Silicium amorphe: 1.7eV, CIS: 1.03eV, CdTe=1.5eV).

Les conditions de référence Φ<sub>ref</sub> et T<sub>Cref</sub> sont les conditions extérieures pour lesquelles sont spécifiées les données de base utilisées pour établissement du modèle. Ce sont soit les spécifications du fabricant, toujours données aux STC ("Standard Test Conditions", 1000W/m<sup>2</sup>, 25°C, spectre AM1.5), soit des valeurs issues d'une mesure in situ du module.

Le modèle fait donc intervenir les 6 paramètres inconnus suivants: (I<sub>phref</sub>, I<sub>0ref</sub>, γ, R<sub>s</sub>, R<sub>sh</sub> et μ<sub>ISC</sub>).

Le coefficient de température du photo courant μ<sub>ISC</sub> est souvent donnée par le fabricant. Il est en général positif, mais très faible (inférieur au 0/00 par degré).

La valeur de la résistance shunt R<sub>sh</sub>, représente l'inverse de la pente du plateau I(V) pour V faible. Elle peut être aisément déterminée à partir des données mesurées.

Il nous reste donc 4 paramètres (I<sub>phref</sub>, I<sub>0ref</sub>, γ, R<sub>s</sub>) à partir de la mesure de la caractéristique I/V pour un couple donné (Φ<sub>ref</sub>, T<sub>Cref</sub>) de conditions de référence.

### III. SIMULATION

Dans la section précédente, nous avons présenté la base de la modélisation mathématique des cellules photovoltaïques en couches minces. Ce modèle a été développé sous l'environnement matlab, puis nous avons simulé les caractéristiques I(V) et P(V) pour une large plage de variation de température de cellule (de 25°C à 70°C) pour un éclairage fixe (1000W/m<sup>2</sup>).

Nous avons appliqué le modèle standard à une diode aux différentes cellules photovoltaïques en couches minces (a-Si:H single, a-Si:H tripple, a-Si:H tandem, CdTe et CIS).

L'évolution de les caractéristiques I(V) et P(V) en fonction de la température de la cellule montre que le courant augmente très rapidement lorsque la température s'élève ceci



est du principalement à la diminution de la largeur de la bande interdite du matériau. Le courant direct de la jonction augmente aussi mais beaucoup plus vite entraînant une diminution de la tension de circuit ouvert et aussi une diminution de la puissance crête (figures : 2, 3, 4, 5,6).

Les résultats obtenus (les figures: 2,3,4,5,6) montrent que dans les conditions standards (un éclairage de 1000W/m<sup>2</sup> et une température de cellule de 25°C) le courant de court circuit atteint sa valeur maximale (2,96A) pour le CdTe et (2,36A) pour le (a-Si:H tripple), par contre, il atteint des valeurs minimales pour le a-Si:H single (0,94A) et pour le CIS (0,61A) et pour le a-Si:H tandem (1,28A). De même chose pour la puissance, on voit que le a-Si:H tripple a une valeur maximale de puissance crête (3,3 W) et le CdTe (1,63W), par contre le (a-Si:H single) a une valeur minimale de puissance crête (0,47W), de même chose pour le CIS (0,23W) et le a-Si:H tandem (1,39W).

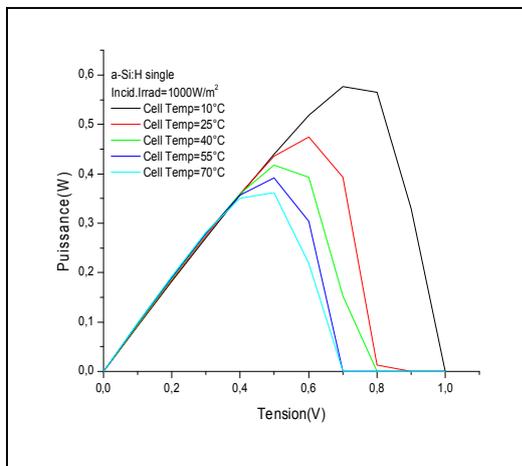
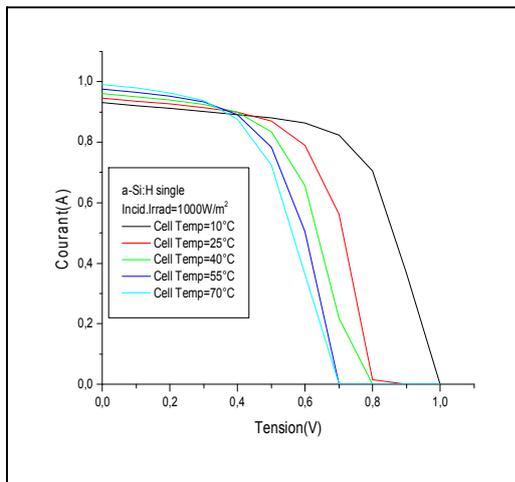


Figure 2: Caractéristiques I(V) et P(V) d'une cellule photovoltaïque de a-Si:H single.

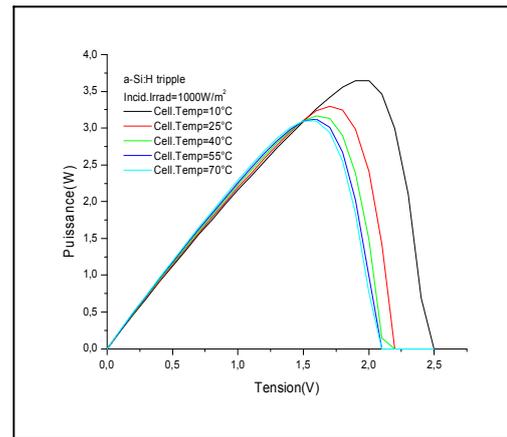
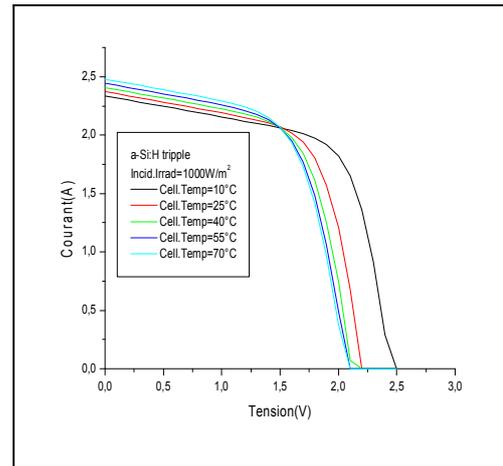
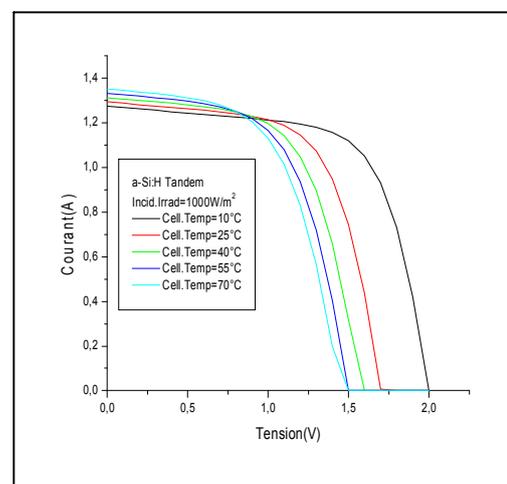


Figure 3: Caractéristiques I(V) et P(V) d'une cellule photovoltaïque de a-Si:H tripple.



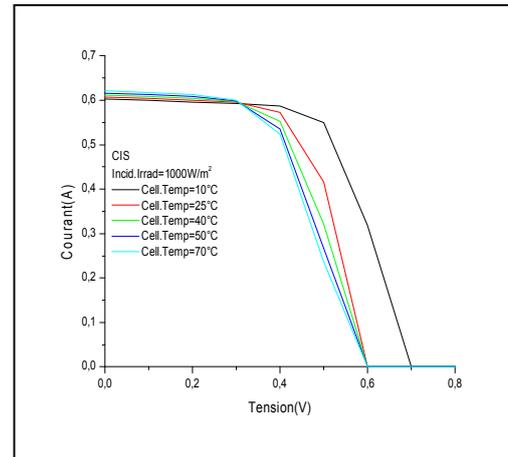
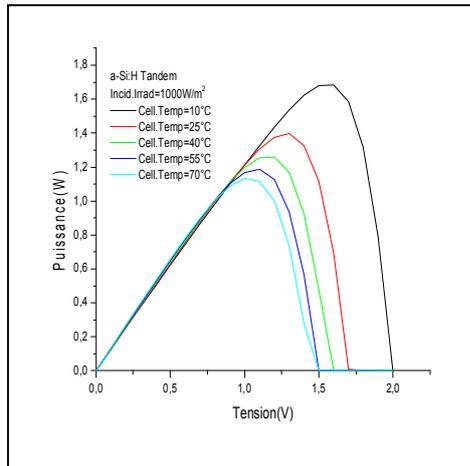


Figure 4: Caractéristiques I(V) et P(V) d'une cellule photovoltaïque de a-Si:H tandem.

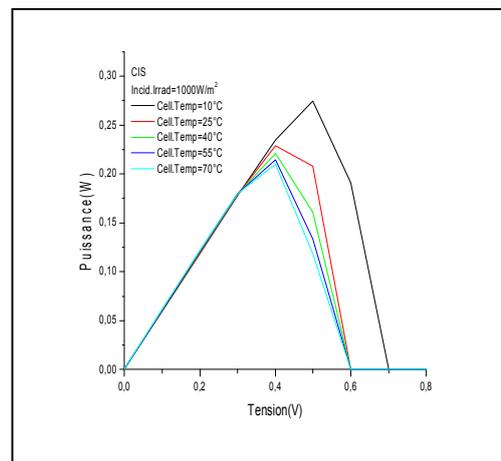
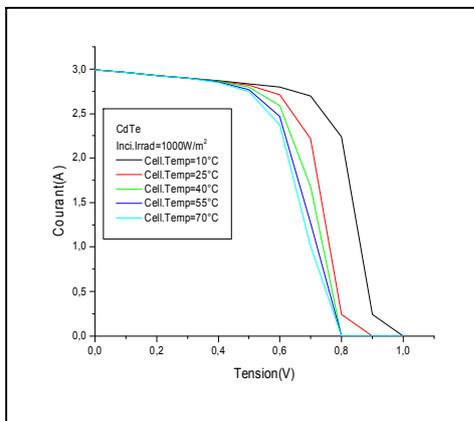


Figure 6: Caractéristiques I(V) et P(V) d'une cellule photovoltaïque de CIS

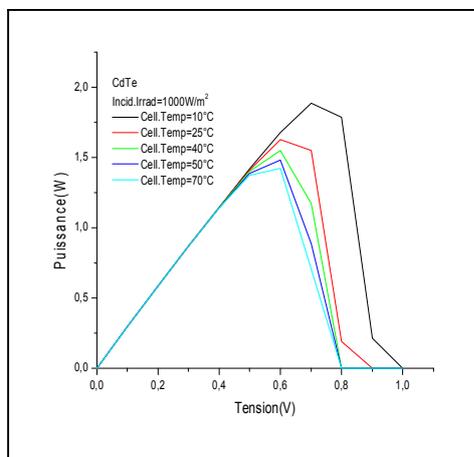


Figure 5: Caractéristiques I(V) et P(V) d'une cellule photovoltaïque de CdTe.

#### IV. CONCLUSION

Dans ce travail, nous avons étudié l'influence de la température sur la productivité des cellules photovoltaïques à couches minces (a-Si:H single, a-Si:H tripple, a-Si:H tandem, CdTe et CIS). Dans les conditions standard, on voie que le CdTe et le a-Si:H tripple ont des valeurs maximales de courant de court circuit et de puissance crête.



## Le 2<sup>ème</sup> Séminaire International sur les Energies Nouvelles et Renouvelables

### The 2<sup>nd</sup> International Seminar on New and Renewable Energies

Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables,  
Ghardaïa - Algérie 15, 16 et 17 Octobre 2012



#### V. RÉFÉRENCES

- [1] André Mermoud, Conception et dimensionnement de systèmes photovoltaïques : introduction des modules PV en couches minces dans le logiciel PVsyst. Projet CUEPE- Fonds SIG-NER, rapport final, Mai 2005, [www.cuepe.ch](http://www.cuepe.ch).
- [2] A.Mermoud. PVsyst : software for the study and simulation of photovoltaic systems. [www.pvsyst.com](http://www.pvsyst.com), 1993-2005.
- [3] P.Pernet, Thèse de doctorat, Ecole polytechniques fédérale de Lausanne (2000).
- [4] J-C. Muller, Technique de l'ingénieur, dossier BE 8579.
- [5] B.V.Roedern, Proc of the NCPV and solar program Review Meeting (2003)552.
- [6] Teodor. K. Todorov, Kathleen. B. Reuter, David. B. Mitzi, <http://dx.doi.org/101002/adma>, 200904155(2010).