



**HAL**  
open science

## **Evaluation de l'amélioration de la photoconversion par refroidissement actif en utilisant une approche Matlab/Simulink**

Simon Boddaert, Rodolphe Morlot, Christophe Menezo, Philippe Poggi, Christian  
Null Cristofari

### ► **To cite this version:**

Simon Boddaert, Rodolphe Morlot, Christophe Menezo, Philippe Poggi, Christian Null Cristofari. Evaluation de l'amélioration de la photoconversion par refroidissement actif en utilisant une approche Matlab/Simulink. JITH 2007, Aug 2007, Albi, France. 5p. <hal-00167530>

**HAL Id: hal-00167530**

**<https://hal.science/hal-00167530v1>**

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.



HAL Authorization

# EVALUATION DE L'AMELIORATION DE LA PHOTOCONVERSION PAR REFROIDISSEMENT ACTIF EN UTILISANT UNE APPROCHE MATLAB/SIMULINK.

Simon BODDAERT<sup>1</sup>, Rodolphe MORLOT<sup>1</sup>, Christophe MENEZO<sup>2</sup>, Phillippe POGGI<sup>3</sup> et Christian CRISTOFARI<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, Pôle ENR, 06904, Sophia-Antipolis

<sup>2</sup>Centre de Thermique de Lyon, UMR 5008/UCB Lyon 1/INSA de Lyon, 69100, Villeurbanne

<sup>3</sup> Systèmes physiques de l'environnement, UMR 6134/Université de Corse, 20000 Ajaccio

*[simon.boddaert@cstb.fr](mailto:simon.boddaert@cstb.fr); [rodolphe.morlot@cstb.fr](mailto:rodolphe.morlot@cstb.fr); [christophe.menezo@insa-lyon.fr](mailto:christophe.menezo@insa-lyon.fr);  
[philippe.poggi@univ-corse.fr](mailto:philippe.poggi@univ-corse.fr); [christian.cristofari@iut-corse.fr](mailto:christian.cristofari@iut-corse.fr)*

**Résumé :** Les photopiles, ou cellules photovoltaïques ont atteint leur capacité maximale de production dans l'état actuel des moyens de fabrication. L'augmentation des seuils de photo-conversion passe principalement par l'adoption de nouvelles méthodes de fabrication ou par l'emploi de nouveaux matériaux. Il est également possible de jouer sur le matériau lui-même, en maintenant par un système tiers sa température de fonctionnement. L'objectif de ce travail est d'évaluer l'influence de la température interne sur la conversion photovoltaïque. Réalisé sous Matlab/Simulink ce modèle numérique comparatif permet de traiter les données récoltées sur des panneaux photovoltaïques en conditions d'ensoleillement naturel, et de quantifier l'effet du refroidissement sur le rendement de photo-conversion.

**Mots clés :** Photo-conversion ; température, modèle numérique, refroidissement.

## 1. CONTEXTE ENERGETIQUE

La prédiction énergétique est un facteur décisionnel fort dans un contexte énergétique en plein bouleversement. Arrivées à maturité les énergies renouvelables jouissent actuellement d'une aura favorable et affichent des performances plus qu'honorables leur permettant de s'introduire massivement dans le bâtiment. Percevoir les composants énergétiques comme des éléments d'enveloppe du bâtiment laisse entrevoir d'important développement tant au niveau architectural qu'énergétique, cependant cela représente certaines complications.

La température interne d'un panneau PV augmente sous l'action du rayonnement solaire, il stabilise sa température de fonctionnement grâce principalement à la convection naturelle, brassant les faces inférieure et supérieure du panneau [1]. Les nouveaux impératifs d'intégration architecturaux, nés du nouveau taux de rachat du kilowattheure photovoltaïque hypothèque au minimum 50% du refroidissement naturel. Due à la présence d'isolant, la stabilisation thermique proche des 60°C, dégrade fortement la photo-conversion [2-3].

L'intérêt de ce travail est donc de définir un modèle numérique qui tient compte de la température réelle des cellules et d'en évaluer l'influence sur la production photoélectrique. Le but étant de démontrer les bénéfices apportés par un modèle dit « réel » ainsi que d'un refroidissement actif sur les potentiels de production. Les données expérimentales utilisées, proviennent de panneaux photovoltaïques polycristallins classiques (60W) installés dans les laboratoires du SPE (Corse).

## 2. PROBLEMATIQUE

Déterminer précisément le potentiel réel d'une source énergétique est un élément décisionnel prépondérant. Dotés de performances encore jugées trop faibles, et dépendant de la température, les panneaux photovoltaïques peinent à s'imposer. Pourtant l'approche hybride (superposant solaire thermique et solaire photovoltaïque) à plus que démontrer son potentiel. Un outil prédictif précis doit être mis au point, en tenant compte de la spécificité de l'intégration au bâtiment des composants PV, ainsi qu'une modification des paramètres nominaux liée à celle-ci. La majorité des modèles tiennent compte de la température des cellules, celle-ci étant déterminée par corrélation empirique [4-5], vérifiant l'hypothèse d'une dépendance linéaire à la température ambiante et l'ensoleillement.

$$T^c = T_a + C_2 G_a \quad (1)$$

avec la constante  $C_2$  calculée comme :

$$C_2 = \frac{T_{ref}^c - T_{a,ref}}{G_{a,ref}} \quad (2)$$

et avec  $T_{a,ref}$  (20°C) et  $G_{a,ref}$  (800W/m<sup>2</sup>) valeurs connues dans les conditions nominales de fonctionnement.

Cependant  $T_{ref}^c$  reste une inconnue des modèles numérique, ce qui conduit à une approximation de la constante  $C_2$  à une valeur de 0.03°Cm<sup>2</sup>/W [6]. La température réelle de fonctionnement des cellules  $T^c$  n'est donc qu'une approximation qui entraîne des variations de production notables de la tension de circuit ouvert des cellules  $V_{oc}^c$  puisque :

$$V_{oc}^c = V_{oc,0}^c + C_3(T^c - T_0^c) \quad (3)$$

$V_{oc,0}^c$  et  $T_0^c$  sont des données constructeurs et  $C_3$ , constante estimée à -2,3mV/°C.

L'approximation thermique se répercute directement sur le calcul de la puissance produite par le panneau photovoltaïque. Les Figures 1 et 1' mettent en évidence la différence de production entre un modèle utilisant une température  $T^c$  approximé (les modèles C2 et C2 PUR), et le modèle développé en tenant compte de la température mesurée des cellules.

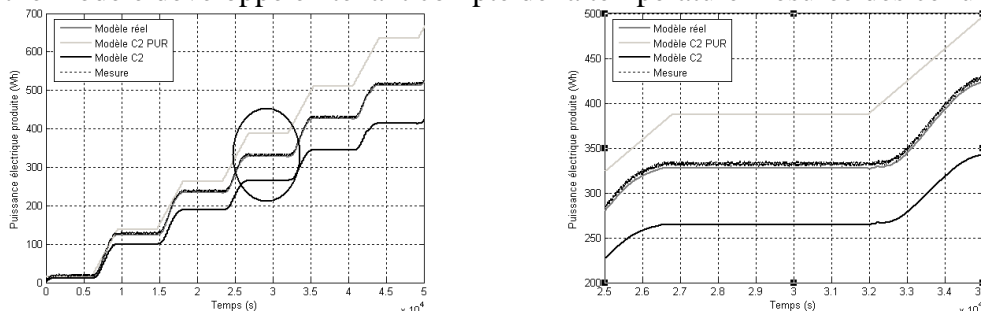


Figure 1 et 1' : Comparaison Modèles C2, Modèle Réel et Mesures

L'approximation de C2 induit dans ce cas une surestimation de la production de près de 16% par rapport à la production réelle, soit un peu moins de 0,1 kWh sur la durée de l'essai. Cependant, cela représente une différence annuelle par panneau proche de 5 kWh. L'utilisation des données réelle (température - tension) s'avère donc être importante quant à la justesse de la prédiction de production électrique, et concorde avec la valeur mesurée.

Les erreurs sont principalement induites par les données ignorées des modèles. La nature et les spécificités technologiques de la composition du panneau ne doivent être sous estimées. En effet, si la Figure 2 semble valider l'équation (1) en illustrant l'incidence linéaire du rayonnement solaire sur la température des cellules, la modification de l'échelle temporelle (Figure 3) fait apparaître un biais de près de 240 secondes pour le panneau

atteigne son l'équilibre thermique (inertie) ainsi que des variations thermiques indépendantes du rayonnement. Notre modèle met en évidence les limites de l'emploi de l'équation (1).

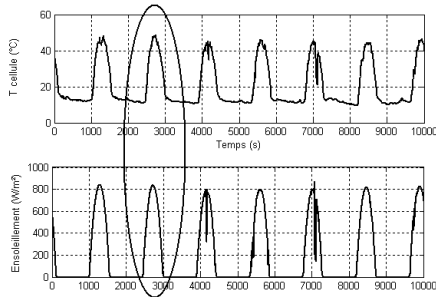


Figure 2 : Biases ensoleillement/température

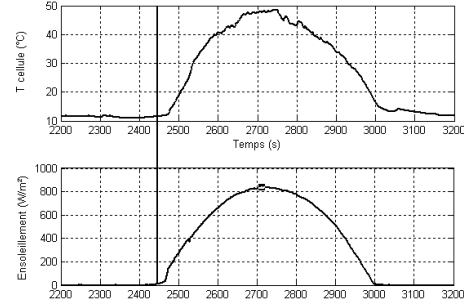


Figure 3 : Inertie Thermique du panneau

Cette remarque est d'autant plus vraie lorsque des éléments constitutifs agissent activement sur le comportement thermique des cellules. C'est le cas avec les panneaux solaires hybrides, qui modifient artificiellement par un refroidissement la répartition thermique au sein du panneau, modifiant grandement l'expression de  $T^c$ .

### 3. MODELES NUMERIQUES

#### 3.1. MODELE DE CELLULE

Les modèles numériques de cellule photovoltaïque sont basés dans leur ensemble sur le fonctionnement analogique d'une diode décrite par le schéma de la Figure 4. Ils modélisent une source de courant parfaite, deux diodes, l'une représentant le courant de recombinaison dans la région quasi-neutre, la seconde représentant le courant de recombinaison dans la région de déplétion [1], et des effets parasites représentés par des résistances.

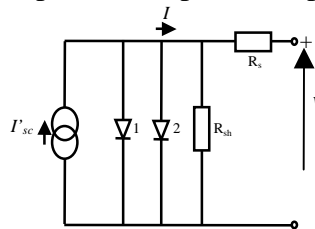


Figure 4 : Schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque.

Cette représentation conduit à l'expression du photo-courant [7]:

$$I = I'_{sc} - I_{s1} \left( e^{q(V+IR_s)/m_1kT} - 1 \right) - I_{s2} \left( e^{q(V+IR_s)/m_2kT} - 1 \right) - (V + IR_s) / R_{sh} \quad (4)$$

où l'influence de la température sur le comportement de production de photo-courant est non négligeable.

#### 3.2. MODELE DE PANNEAU

Basé sur l'équation (4) ils tient compte du nombre de cellule disposés en parallèle  $N_p$  et en série  $N_s$ , mais dépendant surtout de la tension thermique dans le semi conducteur, qui pour une cellule s'exprime :

$$V_t^c = \frac{mkT^c}{e} \quad (5)$$

La tension  $V_t^c$ , dépendante de  $T^c$ , joue un rôle important dans l'équation (6), dénominateur de l'exponentielle, car il peut faire tendre  $I^M$  vers zéro lorsque  $T^c$  augmente :

$$I^M = N_p I_{sc}^c \left[ 1 - \exp\left(\frac{V_M - N_s V_{oc}^0 + I^M R_s^c N_s / N_p}{N_s V_t^c}\right)\right] \quad (6)$$

L'approximation de  $T^c$  se répercute donc directement sur la production énergétique. Nous proposons donc un modèle tenant compte de la température réelle du panneau. Cette approche permet d'appréhender le comportement dynamique du panneau.

### 3.3. MODELE DEVELOPPE

Le modèle intègre implicitement l'ensemble paramètres agissant sur le panneau, tels que la disposition du panneau, sa constitution ainsi que le mode de refroidissement conduisant à une nouvelle expression de  $T^c$  :

$$T^{c*} = T_a + C_d G_a + C_i \quad (7)$$

L'identification paramétrique permettra par la suite de déterminer les constantes  $C_d$ , dépendantes de l'ensoleillement et  $C_i$ , indépendante de celui-ci.

Cette approche permet d'estimer la production non seulement en fonction de données météorologiques réelles ou provenant de bases de données, mais également du comportement thermique du panneau étudié, ce qui permet une estimation plus précise et plus cohérente comme le démontre la Figure 1 avec moins de 1% d'erreurs par rapport aux mesures. Au delà, c'est un modèle qui permet de tenir compte des modifications technologiques éventuelles, notamment en ce qui concerne les associations de composant pour les panneaux hybrides.

## 4. REFROIDISSEMENT ACTIF DANS LE MODELE

Comme démontré précédemment, la variation de température engendre de fortes modifications de production énergétique (Figure 5) [7-8]. Maintenir au plus bas  $T^c$  assure un gain de performance indéniable: Maintenu à 10°C (Figure 6), la production électrique augmente de 3% en 5 jours par rapport au même panneau non refroidit, soit une augmentation de la production annuelle proche de 1.3 kWh pour un panneau ; A 60°C (cas de l'intégration au bâti) la perte annuelle est proche des 0.7 kWh. En somme, le refroidissement actif assure en cas d'intégration une surproduction d'environ 2 kWh.

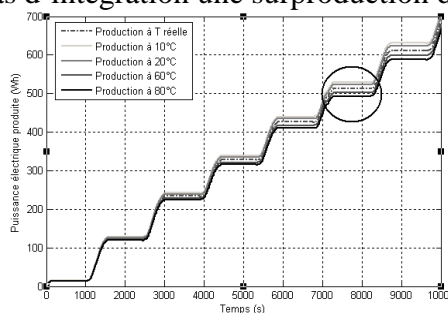


Figure 5 : Production en fonction de T

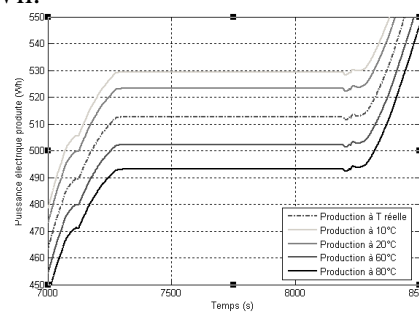


Figure 6 : Ecart de production Jour 5

Le modèle développé permet de tenir compte de l'emploi de systèmes tiers agissant sur les performances du panneau photovoltaïque. En outre il permet une prédiction de performances claire en fonction de la température du fluide caloporteur.

## 5. RESULTATS ET PERSPECTIVES

L'utilisation de données réelles améliore nettement la quantification de production électrique. Même si les différences entre le modèle C2 et le modèle développé ici reste minime, le développement de « centrales » photovoltaïques ne rend pas si anecdotiques ces

