

Performances énergétiques de capteurs solaires hybrides PV-T pour la production d'eau chaude sanitaire.

Patrick DUPEYRAT^{1,2*}, Yu BAI^{3,4}, Gérald KWIATKOWSKI⁵, Gilles FRAISSE³ et Christophe MENEZO^{2,3}

¹Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, Freiburg, Germany

²CETHIL UMR 5008, CNRS/INSA/UCB Lyon1, France

³LOCIE FRE CNRS 3220, CNRS/Université de Savoie, Savoie Technolac, France

⁴Department of Building science and technology, City University of Hong Kong, Hong Kong, China

⁵EDF R&D - EnerBAT, France

* (auteur correspondant : patrick.dupeyrat@ise.fraunhofer.de)

Résumé - Dans cet article, une étude des performances énergétiques de capteurs solaires hybrides Photovoltaïque-Thermiques couplés à un système de production d'eau chaude sanitaire est présentée. Pour cela, un modèle numérique de capteur PV-T a été mis au point sous l'environnement TRNSYS. Les paramètres de ce modèle ont été adaptés en tenant compte des récents résultats expérimentaux obtenus au Fraunhofer ISE sur plusieurs types de capteurs PV-T. Des simulations ont ensuite été réalisées en utilisant le modèle afin d'évaluer la productivité du composant intégré dans un système de chauffe-eau solaire individuelle (CESI). Les résultats montrent qu'une installation intégrant un capteur PV-T pourrait être compétitive face à des installations solaires standards.

Nomenclature

T_m	Température moyenne du fluide (°C)	Q_{aux}	Consommation énergétique liés au chauffage auxiliaire (kWh)
T_{amb}	Température ambiante (°C)	Q_{DHW}	Consommation énergétique annuelle du chauffe eau (kWh)
G	Rayonnement incident (W/m^2)	$Q_{e.p.e}$	Energie primaire économisée (kWh)
$F_{solaire}$	Fraction solaire du système (-)	Ex	Exergie du capteur (kWh)
Q_{th}	Production thermique (kWh)		
Q_{elec}	Production électrique (kWh/m^2)		

1. Introduction

Un capteur photovoltaïque thermique (PV-T) est un capteur solaire hybride permettant de convertir une partie de l'énergie solaire captée en électricité et de valoriser l'autre, habituellement perdue sous forme de chaleur. Le concept consiste à superposer les deux fonctions énergétiques électrique et thermique. Dans ce type de composant hybride, les cellules PV sont connectées à un échangeur de chaleur dans lequel circule un fluide caloporteur. Plusieurs configurations de capteur existent et diffèrent selon la nature du fluide utilisé (eau ou air), le type d'absorbeur (concentrateur, plan,...) et selon le type de systèmes auxquels il est raccordé (préchauffage eau chaude, eau chaude sanitaire, chauffage domestique, ...). Au Fraunhofer ISE et en collaboration avec EDF R&D, un capteur PV-T plan vitré a été développé pour une application de type chauffe eau solaire. Etant donné le niveau de température de fonctionnement visé pour un tel capteur, sa mise au point à nécessité une remise à plat des matériaux, des procédés de fabrication classique de la fonction photovoltaïque ainsi que l'amélioration des transferts de chaleur entre cette fonction et le fluide caloporteur. Les résultats obtenus sur les performances du composant (présentés dans

contrôlées en régime quasi-permanent (insolateur solaire artificiel, ambiance thermique). La très bonne correspondance entre les résultats expérimentaux et les courbes de rendement obtenus en utilisant le modèle nous permettent de le valider.

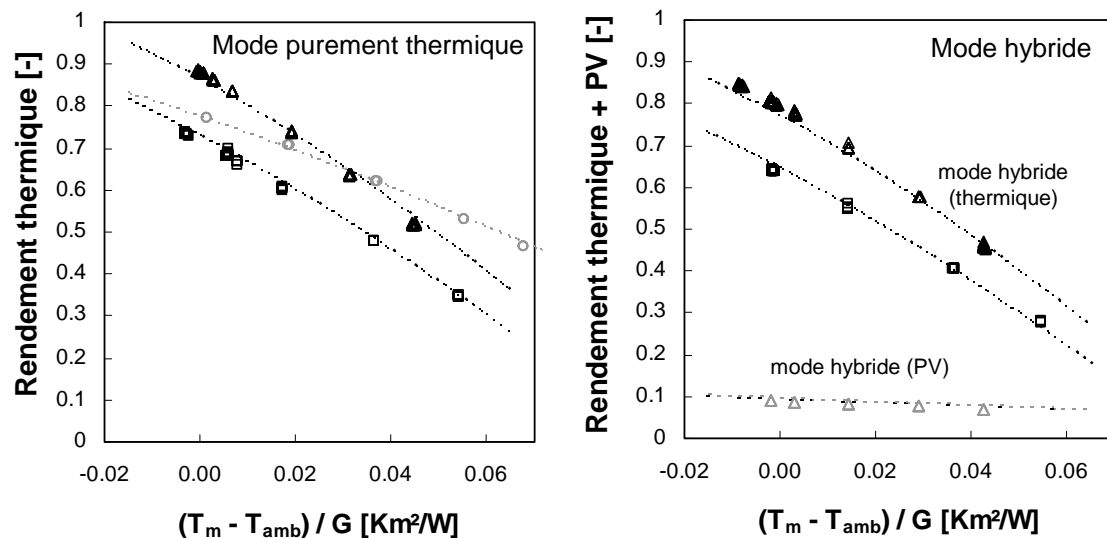


Figure 2 : Comparaison simulations / mesures expérimentales en conditions contrôlées pour plusieurs types de capteurs : capteurs PV-T plans vitrés standards (carrés), PV-T plans vitrés optimisés (triangles) et thermique standard (cercles).

3. Performances énergétiques de capteurs PV-T (simulations TRNSYS)

3.1. Description du système CESI

Un système de chauffe-eau solaire individuelle (CESI) a ensuite été établi en utilisant le modèle du capteur PV-T mentionné dans la partie précédente afin d'en évaluer les performances énergétiques annuelles. La configuration choisie est basée sur une installation réelle située à Chambéry (latitude : 45,50°, longitude : 6,05°). Les caractéristiques du système sont données ci-dessous.

- Surface du capteur PV/T : 4,62 m²
- Mode de fonctionnement : On-Off
- Débit dans la boucle solaire : 50 l/h.m²
- Ballon de stockage : 400 L vertical à l'échangeur serpentin interne
- Puissance d'appoint : 3 kW
- Puisage : 200 l/jour
- Température de l'eau froide : valeurs mensuelles utilisées dans la RT2005

3.2. Simulation pour la production d'eau chaude sanitaire (PVT)

En utilisant les paramètres du type PV-T sur les performances du prototype optimisé qui a été développé au Fraunhofer ISE en collaboration avec EDF R&D, des simulations ont été réalisées pour la configuration de boucle d'eau chaude solaire présentée. Les résultats obtenus pour Chambéry sont présentés dans la figure 3.

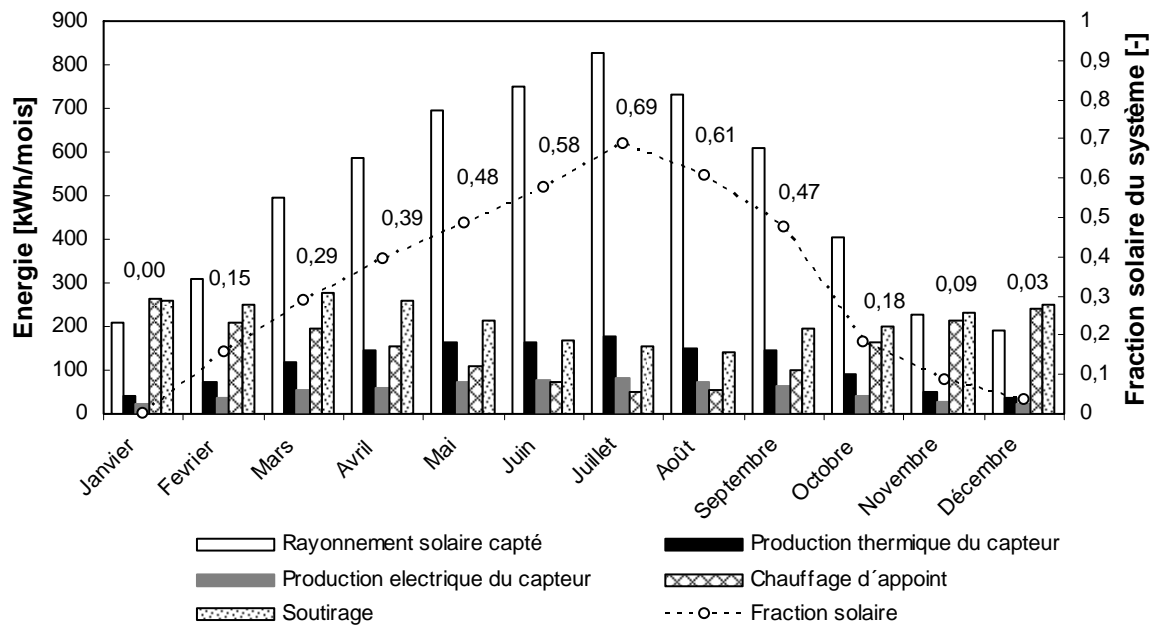


Figure 3 : Production et demande énergétique mensuelle d'un système de type CESI avec 4,62 m² de capteurs PV-T (Chambéry).

En plus du rayonnement incident, de la production thermique et électrique du capteur, les besoins énergétiques liés au chauffage d'appoint et au soutirage sont aussi présentés. La production annuelle électrique des cellules PV Q_{elec} est de 624 kWh ce qui correspond à un rendement annuel de 10,4%. La production thermique annuelle Q_{th} est de 1662 kWh (359 kWh/m²). Dans le cas du solaire thermique, la notion de rendement n'a pas vraiment de sens dans la mesure où la production est directement liée au besoin du système. C'est pourquoi un autre critère est généralement utilisé : la fraction solaire du système ou $F_{solaire}$. Cette fraction solaire correspond à la part des besoins énergétiques du système qui a été fourni par le capteur thermique. Dans le cas du système étudié, la fraction solaire annuelle est de 0.42 (voir équation (1)).

$$F_{solaire} = \frac{Q_{th}}{Q_{th} + Q_{aux}} \quad (1)$$

3.3. Comparaison avec des systèmes standards

Afin de faire ressortir l'intérêt de ces composants hybrides, une comparaison entre les performances de l'installation PV-T étudiée et d'installations purement solaire thermique et purement solaire PV de même surface est présentée (voir figure 4).

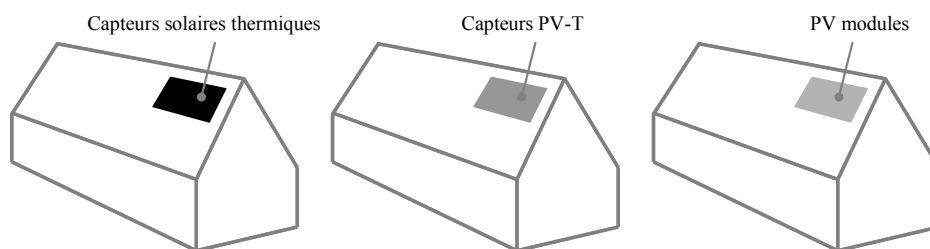


Figure 4 : Présentation des trois configurations étudiées (surface des capteurs : 4,62 m²).

Pour le capteur thermique et le module PV, des valeurs de référence ont été utilisées. Les résultats de ces simulations pour une installation située à Chambéry sont présentés dans la figure 5. La production annuelle électrique Q_{elec} de l'installation purement solaire PV est de 769 kWh ce qui correspond à un rendement annuel de 13,4%. La production thermique Q_{th} de l'installation purement solaire thermique est de 2605 kWh (564 kWh/m^2) et la fraction solaire correspondante était de 0,62.

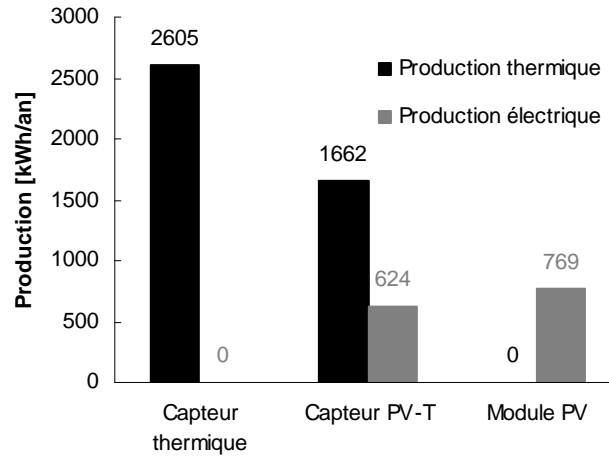


Figure 5 : Production thermiques et électriques annuelles des trois configurations étudiées. .

Le résultat de ces simulations montre qu'une installation intégrant un capteur PV-T voit sa production thermique diminuer d'environ 36% par rapport à un capteur thermique pure et sa production électrique diminuer d'environ 19% par rapport à un capteur PV pur. Néanmoins, une installation intégrant un capteur PV-T produit simultanément et pour la même surface.

3.4. Analyse des résultats

D'un point de vue purement énergétique la production totale (électrique et thermique) annuelle du capteur PV-T (2286 kWh) est supérieure à celle d'une installation purement électrique (769 kWh) et presque aussi élevée qu'une installation purement thermique (2605 kWh).

Comme le mentionnaient Fraisse et al. [4] et Coventry et al. [5], la production énergétique totale ne tient pas compte du type d'énergie produite. Le rendement exergetique est donc aussi pris en compte pour l'ensemble du système. Il considère non seulement les quantités d'énergie utilisées, mais aussi leur qualité (température) en considérant comme référence l'environnement extérieur du capteur à l'instant considéré. L'exergie annuelle du capteur PV-T peut être calculée selon l'équation (2).

$$(\dot{E}x_{PVT})_{yearly} = \sum_{i=1}^{8760} \left[\left(1 - \frac{T_{amb} + 273,15}{T_m + 273,15} \right) \cdot (\dot{Q}_{th})_{hourly}^i + (\dot{Q}_{elec})_{hourly}^i \right] \quad (2)$$

Basé sur cette équation, des exergies de 290 kWh, 752 kWh et 769 kWh ont respectivement été obtenues pour le capteur thermique pur, le capteur PV-T et le module PV. Le système avec un capteur PVT présente donc une exergie un peu moins élevée que le module PV mais permet d'avoir production simultanée d'énergie thermique et d'énergie électrique.

L'énergie primaire économisée $Q_{e.p.e}$ par ces systèmes a également été calculée (équation (3)).

$$Q_{e.p.e} = \frac{Q_{elec}}{\eta_{power}} + (Q_{DHWS} - Q_{Aux}) \quad (3)$$

En utilisant un rendement de 40% pour η_{power} , l'énergie primaire économisée est de 1317 kWh pour le capteur thermique, de 2330 kWh pour le capteur PV-T et de 1922 kWh pour le module PV.

4. Conclusion

Un modèle numérique de capteur hybride PV-T que nous avons développé sous l'environnement TRNSYS a été amélioré puis renseigné et validé expérimentalement. Les performances d'un système CESI intégrant des capteurs PV-T ont été simulées. Les caractéristiques de ces capteurs correspondent au capteur mis au point au Fraunhofer ISE.

Les résultats montrent que d'un point de vue énergétique, exergétique et énergie primaire, les installations intégrant des capteurs PV-T (encore techniquement optimisable) sont très prometteuse et pourraient se montrer compétitives face à des installations solaires standards. Les critères d'évaluation des performances doivent cependant être encore élargis aux aspects environnementaux (CO₂, durée de vie, fiabilité, ...) et économiques.

Les perspectives de ce travail porte sur l'étude et l'optimisation des performances de différents systèmes de chauffe-eau individuels mais aussi collectifs, intégrant des capteurs PV-T. Des tests à l'échelle 1 et en conditions réelles grandeur nature sont également prévus pour confronter nos simulations.

Références

- [1] P. Dupeyrat, H. Pabiou, G. Kwiatkowski, C. Ménézo. Optimisation de la conversion solaire grâce au concept de capteur hybride photovoltaïque-thermique. Conférence SFT 2011.
- [2] S.A. Klein. TRNSYS. 16 – A Transient System Simulation Program, University of Wisconsin, USA.
- [3] G. Fraisse, C. Ménézo, K. Johannes. Energy performance of water hybrid PV/T collectors applied to combisystems of Direct Solar Floor type. Solar Energy, Volume 81, Issue 11, November 2007, Pages 1426-1438.
- [4] G. Fraisse, Y. Bai, N. Le Pierrès, T. Letz. Comparative study of various optimization criteria for SDHWS and a suggestion for a new global evaluation. Solar Energy, Volume 83, Issue 2, February 2009, Pages 232-245
- [5] J. S. Coventry, K. Lovegrove. Development of an approach to compare the 'value' of electrical and thermal output from a domestic PV/thermal system. Solar Energy, Volume 75, Issue 1, July 2003, Pages 63-72.