

Modélisation du panneau solaire hybride « solaire2G »

Lucien BLANC¹

¹Institut Universitaire des Systèmes Thermiques Industriels, CNRS/université de Provence
Technopôle de Château-Gombert, Marseille

Résumé - L'entreprise Solaire 2G développe un nouveau capteur solaire hybride, photovoltaïque et thermique. Un échangeur à eau plan est accolé sous le module photovoltaïque et permet le refroidissement actif du capteur, améliorant ainsi sa productivité électrique. Les calories récupérées par le fluide peuvent être utilisées pour diverses applications. On présente ici la modélisation physique du capteur, en évaluant la répartition des différents flux (fluide, thermiques, électriques). La modélisation permet ainsi d'aboutir au rendement théorique thermique, en fonction des paramètres d'entrée du modèle : température extérieure, rayonnement reçu, débit et température du fluide caloporteur. Cette modélisation aboutit aussi à l'intégration du capteur dans l'environnement de TRNSys, logiciel permettant de tester les performances du capteur dans son intégration au bâtiment.

Nomenclature

C_p	capacité calorifique, $J^{-1}.kg^{-1}.K^{-1}$	<i>Indices et exposants</i>	
h	coef. de transfert thermique, $W.m^{-2}.K^{-1}$	b	du fluide à la face arrière
G	rayonnement solaire incident, $W.m^{-2}$	c	capteur
R	résistance thermique, $m^2.K.W^{-1}$	él	électrique
S	rayonnement solaire absorbé, $W.m^{-2}$	f	fluide
T	température, K	p	des cellules au fluide
\dot{q}	débit linéique, $kg.s^{-1}.m^{-1}$	s	des cellules PV à la face avant
<i>Symboles grecs</i>		a	ambient
η	rendement	th	thermique

1. Introduction

Différents types de capteurs hybrides à eau ont déjà été développés, la plupart ayant pour principe de récupérer l'énergie thermique captée par les cellules photovoltaïques en faisant circuler, dans des tubes conducteurs placés sur leur face arrière, un fluide caloporteur. [1, 2, 3]

Cet article présente un nouveau type de géométrie d'absorbeur pour les capteurs hybrides, développé par l'entreprise Solaire 2G. Le fluide caloporteur circule ici sous forme d'une « nappe » entre deux plaques d'aluminium, la plaque supérieure étant accolée directement sous le module photovoltaïque. L'échangeur récupère ainsi l'énergie thermique sur toute la face arrière du module, ce qui permet d'espérer un refroidissement plus homogène que pour un système tubulaire.

On présente sur les Figures 1 et 2 la géométrie du capteur, en coupe et en perspective.

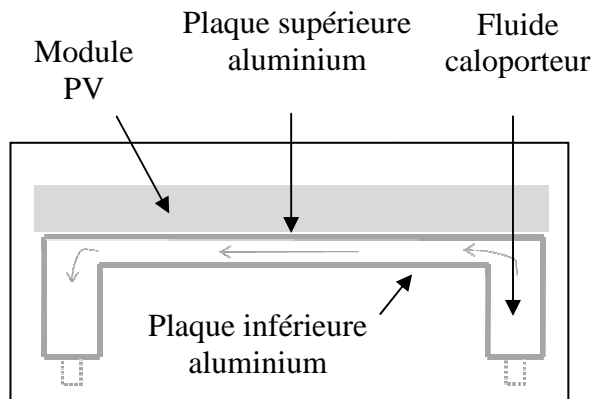


Figure 1 : Vue en coupe du capteur S2G

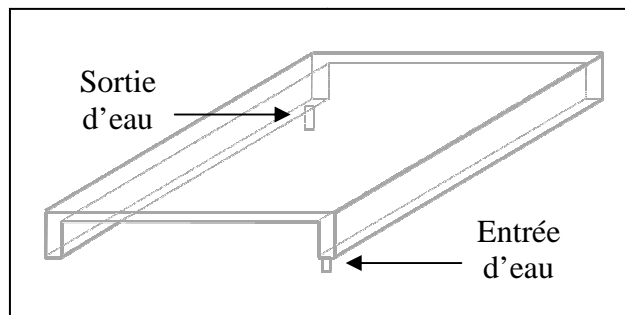


Figure 2 : schéma en perspective de l'échangeur thermique

Une première approche pour le dimensionnement du prototype de ce capteur a été d'étudier ses performances à travers le logiciel de calcul de dynamique des fluides STARCCM+, et de modéliser physiquement le capteur. Une fois le capteur modélisé, on peut étudier sur le logiciel de simulation système TRNSys son interaction avec les systèmes de chauffage du bâtiment.

2. Modélisation

Pour pouvoir modéliser les échanges thermiques au sein du capteur, il est nécessaire d'avoir des informations sur le profil de température du fluide caloporteur au sein de l'échangeur. Pour cela, des simulations numériques sur STARCCM+ ont été réalisées et l'on présente sur la Figure 3 le profil de température obtenu. On impose un débit d'entrée de l'échangeur de 500 L.h^{-1} (débit de fonctionnement). Un flux solaire incident de 1000 W.m^{-2} est imposé sur la face avant de l'échangeur. La température d'entrée du fluide est fixée à 293 K . Les pertes thermiques ne sont pas prises en compte.

On remarque que le profil est quasiment monodimensionnel avec des iso températures suivant l'axe y.

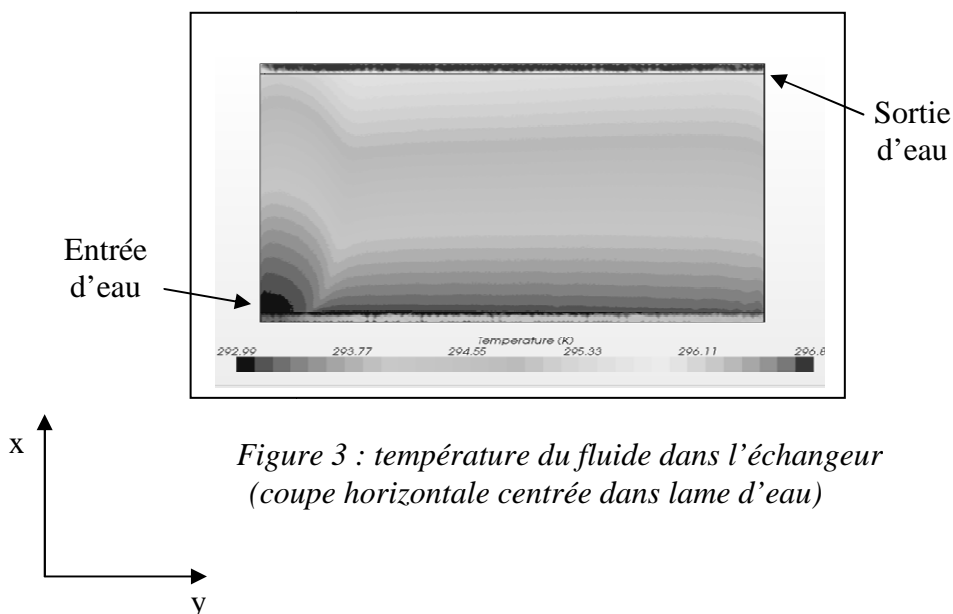


Figure 3 : température du fluide dans l'échangeur (coupe horizontale centrée dans lame d'eau)

Cette simulation numérique sert de base à la modélisation physique du capteur que nous présentons maintenant car elle justifie l'hypothèse d'un profil de température monodimensionnel et nous permet d'aboutir à un modèle dans lequel les bilans se font sur une tranche de fluide dx . La Figure 4 présente la répartition des flux qui traversent le capteur, utilisée pour la modélisation.

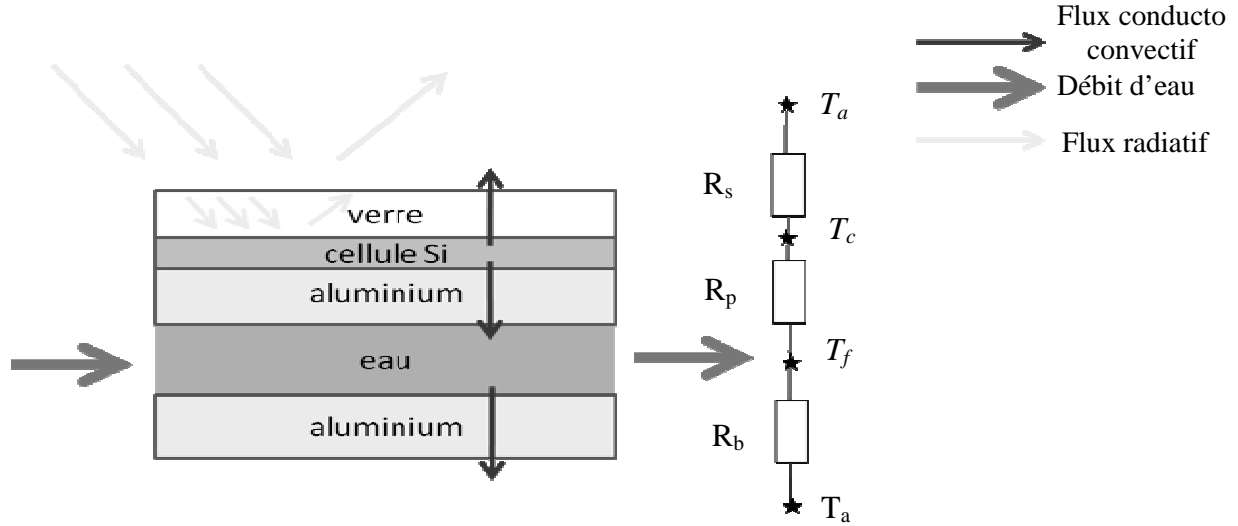


Figure 4 : Flux et résistances thermiques à travers les différentes couches du capteur

Dans notre modèle, on néglige les flux de chaleur transverses. Les effets de bords sont négligés, la surface du panneau ($\sim 1\text{m}^2$) étant grande devant son épaisseur ($\sim 1\text{cm}$). On se place en régime stationnaire.

On présente ici les deux bilans énergétiques à la base de la modélisation.

Bilan énergétique sur les cellules photovoltaïques [4]:

$$S = S * \eta_{el} + h_{rad}(T_c(x) - T_{sky}) + \frac{(T_c(x) - T_a)}{R_s} + \frac{(T_c(x) - T_f(x))}{R_p} \quad (1)$$

Ce bilan sur une tranche dx exprime que l'énergie incidente sur le capteur est soit convertie en énergie électrique, soit perdue par la face supérieure du capteur sous forme convective ou radiative, soit transférée vers le fluide caloporteur.

Bilan sur le fluide caloporteur :

$$\frac{(T_c(x) - T_f(x))}{R_p} = \frac{(T_f(x) - T_a)}{R_B} + \dot{q} \cdot C_p \cdot \frac{dT_f}{dx} \quad (2)$$

Ce bilan sur une tranche dx de fluide exprime que l'énergie thermique provenant des cellules photovoltaïques est soit récupérée par le fluide, soit perdue en face arrière du capteur.

La résolution des équations du modèle s'effectue par itération sur la température du capteur T_c . Les résultats de ses performances thermiques sont présentés dans la partie suivante.

3. Comparaison des performances du modèle du capteur S2G avec les performances d'autres capteurs solaires thermiques

Pour décrire les performances d'un capteur thermique, on donne l'évolution de son rendement thermique - ratio de l'énergie thermique récupérée sur l'énergie de rayonnement incidente - en fonction de la différence entre la température d'entrée du fluide et de l'air extérieur ambiant. On compare ici trois différents types de capteurs solaires thermiques : le capteur hybride Solaire 2G, les capteurs plans vitrés (ici type Wagner-euro C20), qui sont les plus répandus sur le marché, et les capteurs « moquette » (ici type heliopac[®]), constitués d'une nappe de tube en EPDM noir et utilisés pour des applications à des températures moins élevées.

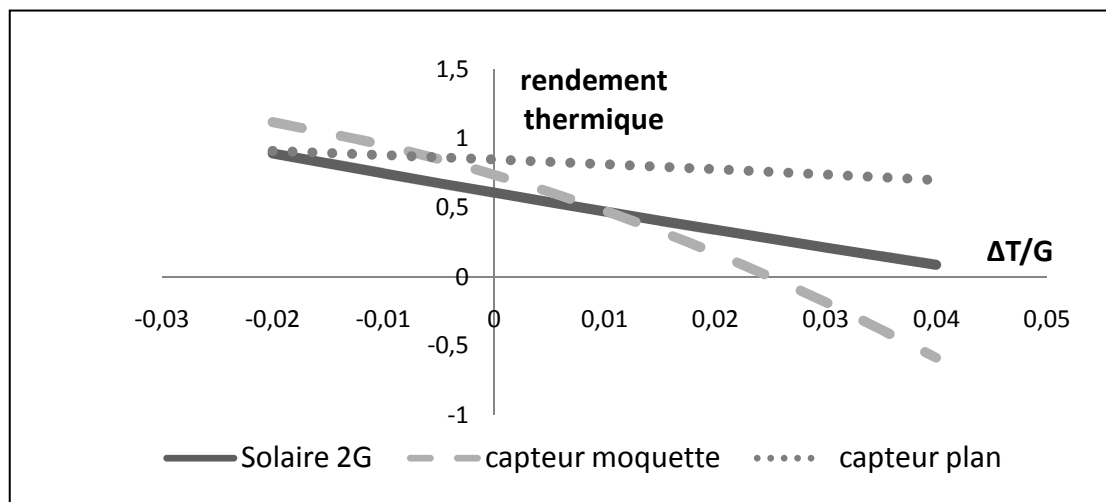


Figure 5 : rendement thermique de trois types de capteurs

On exprime le rendement thermique en fonction des trois coefficients solaires a_0 , a_1 , a_2 donnés par l'équation :

$$\eta_{th} = a_0 - a_1 \frac{(T_{in} - T_a)}{G} - a_2 \frac{(T_{in} - T_a)^2}{G} \quad (3)$$

On obtient à partir des courbes de rendement les coefficients de chaque technologie :

Tableau 1 : rendement thermique des capteurs

	a_0	a_1	a_2
	-	$\text{W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$	$\text{W.m}^{-2}.\text{K}^{-2}$
Capteur Solaire 2G	0,61	13,8	0,018
Capteur plan	0,85	3,3	0,010
Capteur moquette	0,74	23,7	0,235

Le rendement pour $\Delta T=0$, exprimé par le coefficient a_0 , du capteur S2G est moins bon car environ 15% du flux solaire absorbé par les cellules est converti en électricité. Le coefficient a_0 du capteur plan est très bon car il utilise un verre très transparent, des matériaux absorbant, et un effet de serre en face avant. Pour des températures de fluide élevées ($\Delta T=30^\circ\text{C}$, 40°C),

les pertes de rendement, exprimées par le coefficient a_1 , sont très fortes pour les capteurs « moquette » car ils ne sont pas isolés, et la géométrie non plane de leur surface augmente le coefficient d'échange thermique avec l'air ambiant. Les capteurs vitrés conservent des rendements corrects à ces températures car ils sont isolés en face avant par une lame d'air située sous la plaque de verre, et en face arrière par un isolant thermique.

4. Evaluation des performances du capteur dans un système d'eau chaude sanitaire

Pour évaluer les performances du capteur au sein d'un système de chauffage d'eau chaude sanitaire solaire, on utilise le logiciel de simulation dynamique TRNSys [5]. Le modèle de capteur présenté précédemment a été intégré dans le cœur de calcul de ce logiciel. L'utilisation de ce modèle, développé un régime stationnaire, dans un système dynamique est justifiée car les temps caractéristiques de variation des paramètres de TRNSys (température de l'eau, de l'air, flux solaire) sont supérieurs à ceux du capteur (temps de diffusion et de convection). Le but du système présenté ci-dessous est l'alimentation en eau chaude sanitaire d'une maison pour particulier. La référence donnée par l'ADEME est une consommation de 50L d'eau chaude à 45°C par jour et par personne, soit 200L par jour pour un habitat de quatre personnes.

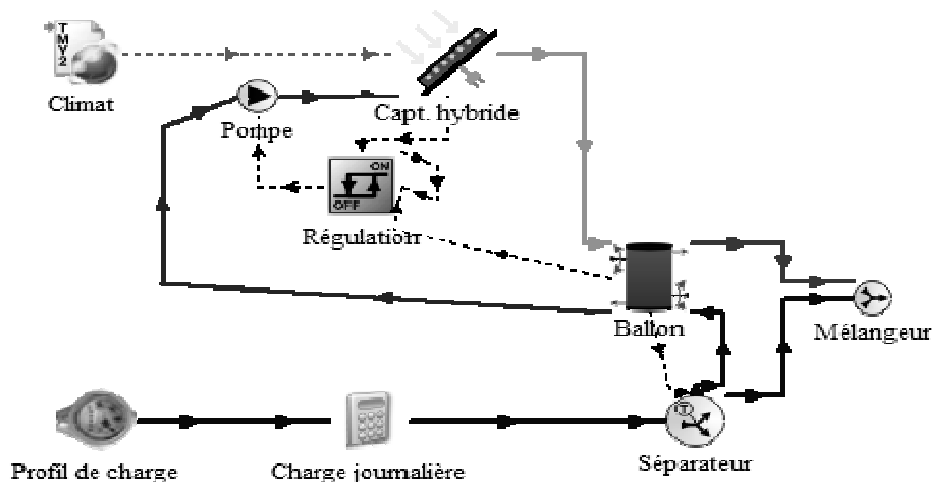


Figure 7 : système d'eau chaude sanitaire sous TRNSys

L'eau froide de distribution est répartit entre le ballon de stockage ECS et le mélangeur. Le ballon solaire comporte un échangeur en partie basse relié aux capteurs solaires. Le haut du ballon comporte un appoint électrique. Un dispositif de régulation permet de faire circuler l'eau dans les capteurs solaires seulement lorsque cela permet le réchauffage de l'eau froide située au bas du ballon.

On présente sur la Figure 8 la couverture solaire - ratio de l'énergie thermique produite par les capteurs solaires sur l'énergie totale nécessaire pour l'eau chaude sanitaire - obtenue en fonction du nombre de m^2 de capteurs solaires installés et ceci pour deux villes différentes : Nice et Zurich.

On prévoit une couverture solaire allant jusqu'à 75% dans le sud de la France, valeur proche des systèmes de chauffe-eau solaire classique qui annoncent des couvertures solaires de 80%. On remarque que cela est très dépendant du climat puisque la couverture prévue à Zurich est presque deux fois moindre. Cela s'explique par la sensibilité importante du capteur

(non isolé) à la température ambiante (coefficient a_1). On remarque que la couverture solaire augmente fortement pour des surfaces faibles de capteurs (entre 3 et 6 m²). Le rajout de capteurs au-delà de 6 m² augmente la couverture solaire, mais plus faiblement. A partir d'un certain nombre de capteur, on est limité par la capacité de stockage d'eau chaude sanitaire : les « périodes ensoleillées » ne sont pas exploitées au mieux par les capteurs qui remplissent rapidement les ballons. Il reste à confronter cette amélioration de production au coût d'installation au m² de la structure pour pouvoir trouver l'optimal économique et énergétique du système.

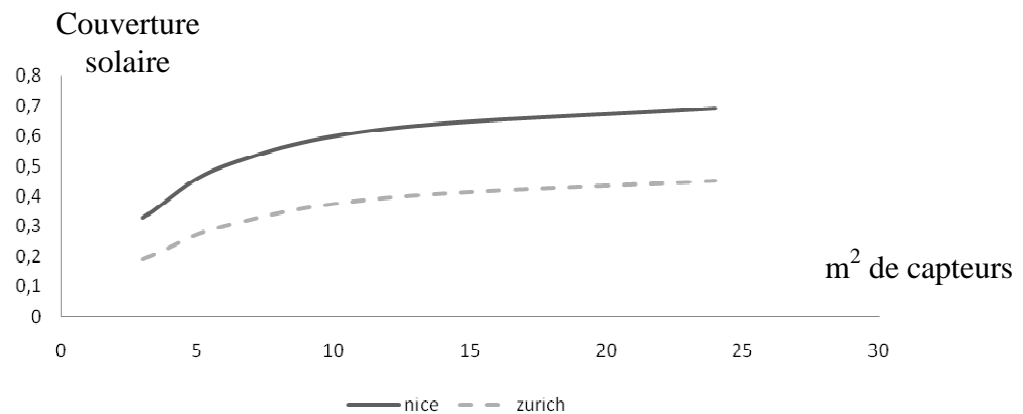


Figure 8 : couverture solaire du système à Nice et à Zurich

5. Conclusion

Le capteur hybride Solaire 2G a été modélisé pour évaluer ses performances énergétiques. La modélisation a permis son intégration dans le cœur de calcul du logiciel TRNSys, et ainsi la prévision de ses performances au sein d'un système d'eau chaude sanitaire pour particulier. Le système étant non isolé, la production photovoltaïque (non présentée ici) ne peut qu'être améliorée lors de la circulation du fluide caloporteur sous les cellules PV. Les simulations pour les prévisions de production thermique aboutissent à une couverture solaire intéressante puisque proche des systèmes de panneaux solaires thermiques.

Le modèle présenté ici est la première étape d'une étude plus complète du capteur. La modélisation devra en effet interagir avec l'étude expérimentale du capteur Solaire2G qui est en cours, et intégrer une analyse plus précise de sa géométrie, notamment grâce à l'étude locale des flux de chaleur par simulation numérique.

Références

- [1] H. A. Zondag et al., The yield of different combined PV-thermal collector designs, *Solar Energy*, Vol. 74 (2003)
- [2] D. De Vries, Design of a photovoltaic/thermal combi-panel, PhD Thesis (1998), *Eindhoven University of Technology, Netherlands*
- [3] ASSOA Y.B., 2008, Performances de capteurs solaires PV/T hybrides bi-fluides intégrables à l'enveloppe des bâtiments. Etude expérimentale et modélisation adaptée. *Thèse de l'INSA Lyon*
- [4] S.A. Klein et al., TRNSYS. 16 – A Transient System Simulation Program, *University of Wisconsin, USA*
- [5] Duffie J. A. et Beckmann W. A., 1991, Solar engineering of thermal processes, *Wiley*, 2nd édition