

# Modélisation d'un capteur solaire thermique plan à eau doté d'un système d'ombrage automatique

A. AMICHE<sup>1</sup>, A. LARABI<sup>2</sup>, S. M. K. EL HASSAR<sup>3</sup>, M. AHMED DAHMANE<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Doctorant, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene (USTHB), Faculté de Génie Civil.

Email : aamiche@usthb.dz. Adresse : USTHB, FGC, BP 32 EL ALIA 16111 BAB EZZOUAR ALGER, ALGERIE.

<sup>2</sup> Professeur, USTHB, Laboratoire des Systèmes Électrique et Industriels (LSEI). Email : larabiabdelkader@yahoo.fr

<sup>3</sup> Maître de Conférences, USTHB, Faculté de Génie Civil. Email : elhassar2@yahoo.fr

## Résumé :

Le problème de surchauffe des capteurs solaires pour la production d'eau chaude est un phénomène bien connu pendant les périodes de stagnation. Il est fréquent dans les pays à fort ensoleillement solaire comme l'Algérie. Pour lutter contre ce problème, plusieurs approches existent, et peuvent être appliquées aux différents niveaux du système de production d'eau chaude solaire. Dans le présent travail, un système d'ombrage automatique appliqué au niveau du capteur solaire a été testé. Des équations modélisant les différents transferts d'énergie sont proposées. Le langage de programmation graphique SIMULINK a été utilisé pour les simulations. Les résultats des calculs montrent qu'il est préférable d'ombrer partiellement les capteurs solaires.

**Mots clés :** *capteur solaire thermique, surchauffe, système d'ombrage, simulation.*

## Nomenclature :

### Majuscules

Cp	Chaleur massique	.....	(J/kgK)
D	Diamètre de tube	.....	(m)
G	Rayonnement solaire reçu	.....	(W/m <sup>2</sup> )
L	Longueur du tube	.....	(m)
M	Masse	.....	(kg)
S	Surface	.....	(m <sup>2</sup> )
T	Température	.....	(K)
V	Vitesse	.....	(m/s)

### Minuscules

e	Épaisseur	.....	(m)
g	Gravité	.....	(m/s <sup>2</sup> )
h	Coefficient d'échange	.....	(W/m <sup>2</sup> K)
r	Rayon de tube	.....	(-)
t	Temps	.....	(s)
x	Distance entre deux nœuds	.....	(m)

### symboles grecs

$\alpha$	Coefficient d'absorption	.....	(-)
$\varepsilon$	Emissivité	.....	(-)

$\lambda$	Conductivité thermique	.....	(W/m <sup>2</sup> K)
$\rho$	Masse volumique	.....	(kg/m <sup>3</sup> )
$\tau$	Coefficient de transmission	.....	(-)
$\nu$	Viscosité cinématique	.....	(m <sup>2</sup> /s)
$\psi$	Coefficient d'échange avec isolant	.....	(W/K)

### indices

abs	.....	Absorbeur
amb	.....	Extérieur
arr	.....	Arrière
cv	.....	Convection
ech	.....	Echange
f	.....	Fluide
int	.....	Intérieur
iso	.....	Isolation
lat	.....	Latérale
op	.....	Ombrage partiel
r	.....	Rayonnement
v	.....	Vitrage

## 1 Introduction

De par sa situation géographique, l'Algérie dispose d'un gisement solaire parmi les plus élevés au monde. La durée d'insolation dépasse les 2000 heures annuellement au nord du pays et peut atteindre les 3900 heures au niveau des hauts plateaux et du Sahara. A titre de comparaison, la durée d'insolation est de 1 600 h par an à Londres. Dans ce contexte, une des priorités de l'État consiste à intégrer les énergies renouvelables dans la politique énergétique du pays [1]. Parmi les axes de développement sur lesquels mise l'État algérien, celui de la production d'eau chaude solaire individuel constitue une priorité.

Un problème rencontré est celui de la surchauffe. Elle se produit lorsque l'énergie solaire absorbée par le capteur solaire thermique (CST) dépasse la capacité thermique de son circuit primaire de fluide caloporteur. Cela entraîne des températures excessives au niveau de l'absorbeur. Cette situation peut se produire lorsque il y a

une coupure de courant, une panne de la pompe primaire ou pendant les périodes de faibles consommations d'eau chaude. Sans protection contre la surchauffe la température de stagnation produit des dégradations au niveau de l'absorbeur (déflexion permanente de l'absorbeur, pliage de ses bords). D'autres composants du système comme la pompe primaire, l'échangeur de chaleur et la cuve d'expansion peuvent être endommagés. Le fluide caloporteur (eau + antigel) peut être dégradé et la pression dans la boucle primaire peut dépasser la limite de la libération de la soupape de sécurité.

Le travail de recherche mené par la faculté de génie civil de l'université des sciences et de la technologie Houari Boumediene (USTHB, Algérie) vise à modéliser le comportement thermique d'un CST plan à eau doté d'un système d'ombrage automatique afin de limiter (voir supprimer) les surchauffes. Cet article présente quelques résultats relatifs à cette modélisation.

## 2 CST hors stagnation

Pour estimer la quantité du rayonnement solaire reçu par le collecteur, nous avons choisi de travailler avec la méthode utilisée par l'ASHRAE [2]. Afin de modéliser le comportement thermique des composants du CST plan à eau en régime transitoire nous avons adopté les hypothèses suivantes :

- la voûte céleste est assimilée à un corps noir ;
- les caractéristiques physiques du vitrage, l'absorbeur et l'isolant sont constantes et indépendantes des conditions météorologiques ;
- la vitesse du fluide est supposée uniforme ;
- la vitesse du vent est constante égale à 3.2 m/s, d'après l'Atlas éolien de l'Algérie, pour la wilaya d'Alger ;
- les caractéristiques physiques du fluide et de l'air confiné entre le vitrage et l'absorbeur dépendent de la température ;
- l'air confiné entre l'absorbeur et le vitrage est supposé stagné et transparent ;

- l'équation d'équilibre thermique de la couverture en verre est écrite comme suit [3] :

$$M_v C p_v \frac{dT_v}{dt} = \alpha_v S_v G - h_{r,v-ciel} S_v (T_v - T_{ciel}) - h_{cv;v-amb} S_v (T_v - T_{amb}) + h_{r,v-abs} S_v (T_{abs} - T_v) + h_{cv;v-abs} S_v (T_{abs} - T_v). \quad (\text{Eq.1})$$

- Pour l'absorbeur l'équation du bilan thermique est donnée par [3] :

$$M_{abs} C p_{abs} \frac{dT_{abs}}{dt} = \alpha_{abs} S_{abs} \tau_v G - h_{r,v-abs} S_v (T_{abs} - T_v) - h_{cv;abs-v} S_v (T_{abs} - T_v) - h_{cv;abs-f} S_{ech;abs-f} (T_{abs} - T_f) - (\psi_{lat} + \psi_{arr}) (T_{abs} - T_{isol}). \quad (\text{Eq.2})$$

- Pour l'eau qui circule à l'intérieur des tubes, on utilise l'équation d'équilibre thermique donnée par [4] :

$$\rho_f C p_f \frac{D_{int-Tube}}{4} \left( \frac{\partial T_{f,i}}{\partial t} + v \left( \frac{T_{f,i+1} + T_{f,i-1}}{2dx} \right) \right) = h_{cv;abs-f} (T_{abs} - T_f). \quad (\text{Eq.3})$$

Nb : le coefficient  $h_{cv;v-amb}$  est calculé par la formule de Watmuff et al :  $h_{cv;v-amb} = 2.8 + 3 V_{vent}$  (Eq.4).

La résolution du système d'équation différentielles obtenu est faite par la méthode de Rang Kutta. Les propriétés physiques du capteur solaire utilisé dans le cadre de ce travail sont présentées dans le tableau 1.

Les températures des composants du CST plan à eau calculées à l'aide des équations citées plus haut pour le 21 juin et pour un débit de fluide égale à 0.008 Kg/s sont présentés dans la (Fig. 1.)

Dimensions	1941 × 1072 × 88 (mm)
Couverture en verre	épaisseur 3.2 mm coefficient de transmission $\tau=0.9$ coefficient d'absorption $\alpha=0.02$
Absorbeur en cuivre	surface = 1.87m <sup>2</sup> coefficient d'absorption $\alpha=0.9$ coefficient d'émission $\varepsilon=0.05$
Isolation	50 mm de fibre de verre

Tableau 1. propriétés physiques des composants du CST.

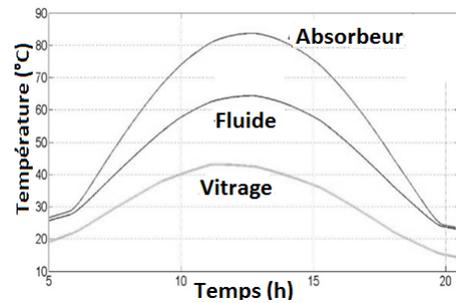


Fig. 1. Température CTS- conditions normales.

Hors stagnation, on observe que le risque de surchauffe au niveau du CST est inexistant, la température de l'absorbeur reste en dessous de 85°C.

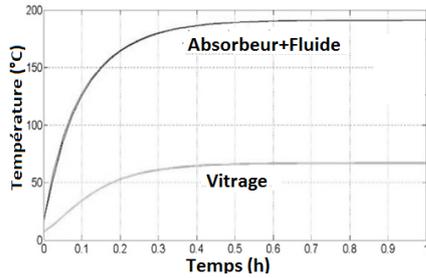
## 3 CST dans les conditions de stagnation

Dans les conditions de stagnation le débit du fluide traversant l'absorbeur est nul. Les équations (1) et (2) restent inchangées, pour le calcul de la température du fluide on utilise la formule suivante :

$$M_f C p_f \frac{dT_f}{dt} = \{ (\lambda_{abs} * L_{tubes} * \pi * ((r_1 + r_2)/2)) / e_{abs} \} \times (T_{abs} - T_f) \quad (\text{Eq.5})$$

Les conditions de stagnation choisis  $T_{amb} = 30^\circ C$ , et  $G = 1000 W/m^2$  correspondent à des valeurs standards

prises entre 12h et 16h le 21 juin. Les résultats obtenus sont présentés dans la **Fig. 2**.

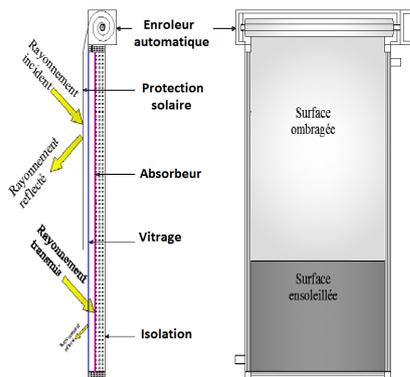


**Fig. 2.** Température CST - conditions de stagnation.

On observe que, en théorie la température de l'absorbeur et du fluide dépasse les  $120^{\circ}\text{C}$ . Le risque de détérioration du système (capteur en particulier) est important.

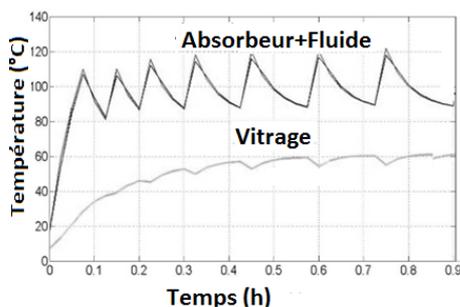
#### 4 CST avec système d'ombrage

Nous avons opté pour un système de protection solaire mécanique. Ce système, constitué de lamelles en aluminium, est monté sur le CST et permet de le couvrir quand la température de l'absorbeur dépasse la température de consigne fixée, soit  $95^{\circ}\text{C}$  dans notre cas voir (**Fig. 3**).



**Fig. 3.** schéma du CST avec système d'ombrage.

Nous avons estimé les échanges entre la protection solaire et le CST en introduisant la notion du facteur solaire [5]. Dans notre cas, le facteur solaire est de l'ordre de 10 pour cent (protection opaque). Les résultats des simulations sont donnés dans la **Fig. 4**.



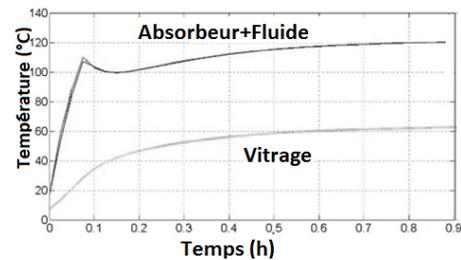
**Fig. 4.** Température CST- Ombrage total.

On remarque que la température de l'absorbeur s'éloigne de manière excessive de la température de consigne. Cela

s'explique par l'inertie importante du système et son manque de réactivité. La conséquence est l'activation répétitive du volet roulant qui peut être exposé à un dommage prématuré. Nous avons jugé qu'un ombrage partiel du CST permettrait d'éviter ce problème. Des simulations préliminaires ont montré que la quantité du rayonnement reçu pour laquelle la température de l'absorbeur se stabilise est de 623 W. La surface ombragée correspondante est égal à un tiers de la surface totale du vitrage. Dans ce cas, le rayonnement reçu est donné par :

$$G_{op} = 0.623 G = 1/3 S_c G. \quad (\text{Eq.6})$$

On obtient les résultats donnés dans la **Fig. 5**.



**Fig. 5.** Température CST - Ombrage partiel.

#### 5 Conclusion

Ce travail, nous a permis de modéliser le comportement thermique d'un capteur solaire plan à eau doté d'un système d'ombrage automatique pour la lutte contre la surchauffe. Les résultats obtenus nous ont permis de proposer une limitation du pourcentage de la surface ombragée afin d'éviter une usure prématurée du moteur d'entraînement. Il reste à modéliser plus finement les échanges thermiques entre le système d'ombrage et le capteur solaire. Il s'agira ensuite de confronter les résultats théoriques avec des résultats des essais expérimentaux.

#### Références

- [1] Journal Officiel de la République Algérienne, *Loi n°99-09 du 28 juillet 1999 relative à la maîtrise de l'Energie, n°51*, Alger, Algérie, 2 août 1999.
- [2] ASHRAE Handbook, *Fenestration – Fundamentals*, chap. 30, USA, 2001.
- [3] S.M.A. Bekkouche, *Modélisation du Comportement Thermique de Quelques Dispositifs Solaires*, Thèse de Doctorat, Université de Tlemcen, Algérie, 2008.
- [4] Mouna Hamed et al, *Parametric sensitivity studies on the performance of a flat plate solar collector in transient behavior*, University of Gabes, Engineers National School, Tunisia, Energy Conversion and Management 78,938–947, 2014.
- [5] G. Porcher, Cours de climatisation; *Bases du calcul des installations de climatisation* – Editions Parisiennes CFP, France, 1993.