

ETUDE DE SENSIBILITE D'UN CAPTEUR SOLAIRE EVACUE A ECHANGEUR BAIONNETTE EN REGIME TRANSITOIRE

M. Merzouk^{1*}, **N. Kasbadji-Merzouk**² et **M. Feidt**³

1 Centre de Développement des Energies Renouvelable,
Route de l'Observatoire, BP.62, 16340 Bouzareah, Alger, Algérie
Email: m_merzouk@cder.dz

2 Centre de Développement des Energies Renouvelable,
Route de l'Observatoire, BP.62, 16340 Bouzareah, Alger, Algérie
Email: nkmerzouk@cder.dz

3 Laboratoire d'Energétique et de Mécanique Théorique et Appliquée
2, Avenue de la forêt de Haye, 54516 Nancy cedex, France
Email: Michel.Feidt@ensem.inpl-nancy.fr

RESUME

Divers prototypes de capteurs solaires évacués à échangeur baïonnette ont été testés en indoor à l'aide d'un banc d'essais à boucle semi fermée. Le système tube-ailettes est revêtu d'une surface sélective à base de chrome noir. Les effets respectifs des principaux paramètres sur la constante de temps et l'amplitude maximale de l'écart de la température entrée-sortie ont été mis en évidence.

Les résultats obtenus montrent que la sensibilité du capteur varie linéairement avec l'éclairement solaire. Par contre, elle varie de façon exponentielle avec le débit de fluide caloporteur et la pression de l'air résiduel dans les tubes. Par ailleurs, les résultats montrent que la constante de temps et de l'amplitude maximale de l'écart de la température entrée-sortie varient inversement en fonction des mêmes sollicitations.

NOMENCLATURE

I_g : Irradiation solaire

P : Pression de l'air résiduel

S : Sensibilité

T : Température

V : Vitesse du vent

k : Constante de temps

\dot{m} : Débit massique du fluide caloporteur

t : Temps

a, o, i : indices pour respectivement, ambiante, entrée et sortie.

1. INTRODUCTION

Compte tenu des contraintes liées à la régulation des systèmes, toutes les normes, relatives aux tests expérimentaux des capteurs solaires, accordent une grande importance à la détermination de la constante de temps du capteur, [3 à 5]. De même, nombre d'études ont été consacrées à l'étude de la réponse des capteurs solaires soumis à différentes sollicitations, [5 à 8]. Si l'expression analytique de la constante de temps du capteur plan est établie, [1, 2] il n'en est pas de même pour les capteurs à tubes sous vides. Pour les capteurs solaires évacués, à échangeur baïonnette, seuls des résultats numériques ou expérimentaux ont été publiés, [7, 8].

L'irradiation solaire, le vide d'air et le débit du fluide caloporteur sont les paramètres susceptibles d'avoir une influence significative sur la réponse d'un capteur solaire évacué soumis à une excitation, [8]. Les réponses du capteur, à un échelon de flux radiatif, ont été relevées expérimentalement en faisant varier alternativement l'un des 3 paramètres.

Après traitement des données, les variations, respectives, de la constante d'un temps et de la valeur asymptotique associée ont été établies. La sensibilité du capteur à la variation de l'un des 3 paramètres a ainsi été déduite.

2. DESCRIPTION DU CAPTEUR

Une vue schématique du capteur solaire évacué à échangeur baïonnette, considéré, est représentée en figure1. L'absorbeur du type tube-àilettes est revêtu d'une couche sélective en chrome noir. L'admission du fluide caloporteur peut être annulaire ou centrale. Compte tenu des nécessités de variation des montages en laboratoire, le capteur travaille sous vide dynamique. Le vide modéré est obtenu à l'aide d'une pompe à palettes. Une pompe à diffusion d'huile est utilisée pour obtenir un vide poussé.

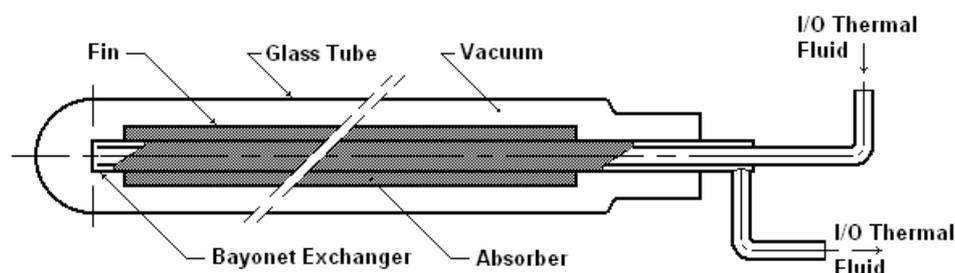


Fig.1. Coupe longitudinale d'un capteur solaire évacué à échangeur baïonnette.

3. MODELISATION

Les tests expérimentaux, [8] montrent que la courbe représentative de la réponse d'un capteur solaire à tube sous vide et échangeur baïonnette, à une variation en échelon de l'irradiation solaire, a une forme exponentielle du second ordre. Modèles donnés par les relations classiques, [10] suivantes selon le mode :

$$T_o - T_i = A \left(1 - \frac{k_1 e^{-t/k_1} - k_2 e^{-t/k_2}}{k_1 - k_2} \right) \quad \text{en mode excitation} \quad (1)$$

et

$$T_o - T_i = A \frac{k_1 e^{-t/k_1} - k_2 e^{-t/k_2}}{k_1 - k_2} \quad \text{en mode relaxation} \quad (2)$$

Avec : k_1, k_2 : constantes de temps

A : différence de température maximale (valeur asymptotique).

Les mêmes résultats montrent que, pour une admission annulaire, [8] la seconde constante de temps (constante de retard k_2) est inférieure à 10% de la constante principale. Pour une admission centrale, la constante de retard k_2 est parfaitement négligeable; ce qui ramène la variation de température à une réponse du premier ordre.

Partant de ces observations, l'étude de sensibilité sera faite en considérant la première constante de temps (à savoir k_1) ainsi que l'amplitude maximale de la différence de température du fluide entre l'entrée et la sortie (soit la valeur asymptotique A).

Les constantes de temps et la valeur asymptotique A de la différence de température du fluide sont fonction des paramètres intrinsèques et extrinsèques du système, [1, 2 et 5], tel que :

$$k = f(C_i, T_a, V, I_g, \dot{m}, P) \quad (3)$$

$$A = g(C_i, T_a, V, I_g, \dot{m}, P) \quad (4)$$

4. METHODOLOGIE

Les tests expérimentaux a été réalisés en "indoor" à l'aide d'une boucle semi fermée (voir schéma en figure 2), suivant les recommandations du standard Ashrae, [3]. Le rayonnement solaire a été simulé à l'aide d'une rampe de 18 projecteurs utilisant des lampes halogènes de 500 W de puissance unitaire.

La régulation de la température du fluide caloporteur à l'admission est réalisée à l'aide de deux échangeurs de chaleur (chaux et froid). Le débit du fluide de refroidissement étant maintenu constant, la régulation de la température du bain alimentant le système se fait par ajout de chaleur à l'aide d'une résistance électrique variable, [8].

Toutes les températures sont mesurées à l'aide de sondes Pt100. L'éclairement solaire est mesuré à l'aide d'un fluxmètre (à 3% d'incertitude), alors que le débit du fluide caloporteur est mesuré à l'aide d'un débitmètre à roues d'ovale (à 1% d'incertitude). La pression de l'air dans le tube (niveau de vide) est mesurée à l'aide de deux capteurs de pression (le second étant pour la mesure du vide poussé) et d'un convertisseur - enregistreur à sortie analogique.

5. RESULTATS ET DISCUSSION

5.1. Constante de temps

Les réponses du capteur sous vide à échangeur baïonnette, à une brusque exposition au rayonnement solaire, ont été relevées expérimentalement, en fonction du temps, pour différentes valeurs de l'éclairement solaire, de la pression à l'intérieur du tube et du débit du fluide. Les résultats sont, respectivement, représentés en figures 3, 4 et 5,.

Sur les figures 3 et 4 on peut voir que les familles de courbes diffèrent uniquement par leurs respectives valeurs asymptotiques.

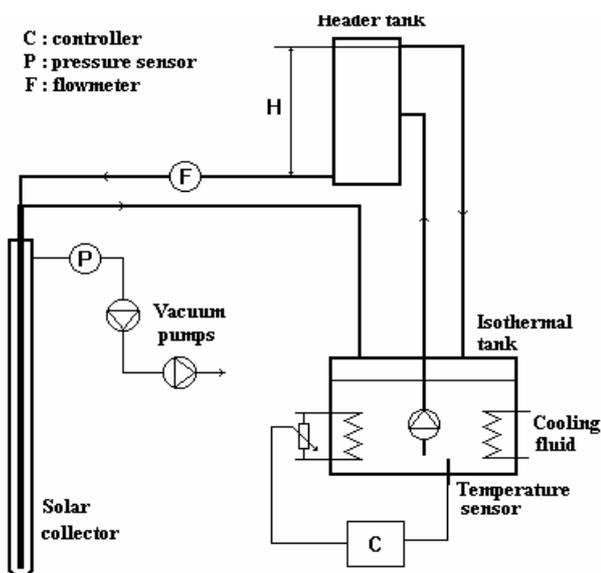


Figure 2 Vue schématique de la boucle d'essais.

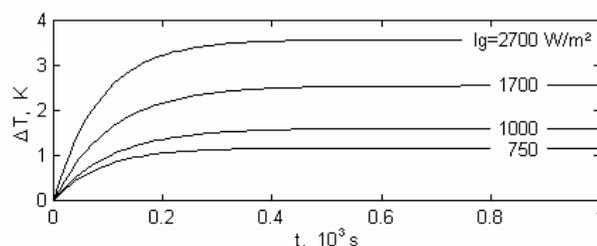


Fig.3. Effet de l'éclairement solaire sur la réponse du capteur à un échelon de flux.

Ceci, signifie que les variations du vide d'air et de l'éclaircement solaire ont peu d'effet sur la constante de temps. De même, la figure 4 montre que l'isolation par le vide d'air n'est significative que pour des pressions inférieures à 10^{-3} mbar.

En figure 5, on peut voir que l'effet du débit du fluide caloporteur est aussi évident sur la constante de temps que la valeur asymptotique de la différence de la température. Néanmoins, la même figure montre que cet effet s'estompe à mesure que le débit temps vers l'infini.

Les constantes de temps ainsi que les valeurs asymptotiques de la différence de température, associées, ont été estimées après corrélation des données, au sens des moindres carrés, selon le modèle donné par l'équation 1.

5.2. Etude de Sensibilité

Les variations de la constante de temps et de la valeur asymptotique de la différence de température entre l'entrée et la sortie du capteur avec le débit liquide et l'éclaircement solaire sont représentées en figures 6 et 7. Ainsi, on peut confirmer que l'effet de l'éclaircement solaire, sur la constante de temps, est négligeable alors qu'il est proportionnel sur la valeur asymptotique de différence de température. Les mêmes figures montrent que les courbes représentatives de l'effet du débit du fluide caloporteur ont une forme exponentielle aussi bien pour la constante de temps que pour la valeur asymptotique de différence de température.

En figure 8 sont tracées, en échelle semi-logarithmique, les courbes représentatives de la variation de la constante de temps et de la valeur asymptotique de la différence de température entrée-sortie du capteur, en fonction de la pression de l'air dans le tube. L'allure des tracés montre que, comme pour le débit de fluide, la constante de temps et

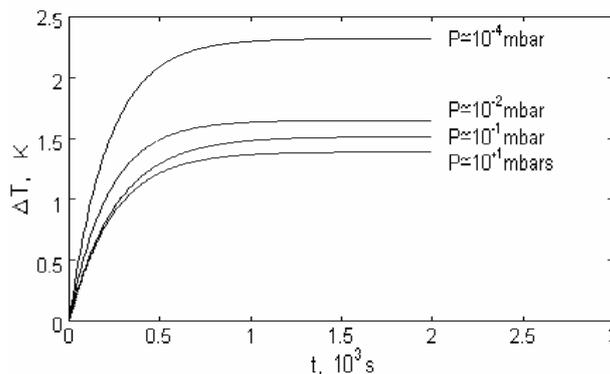


Figure 4. Effet du vide d'air sur la réponse du capteur à un échelon de flux.

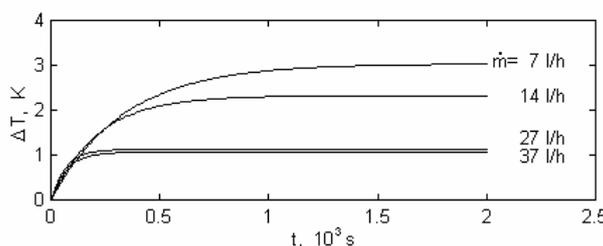


Fig. 5 Effet du débit du fluide sur la réponse du capteur à un échelon de flux.

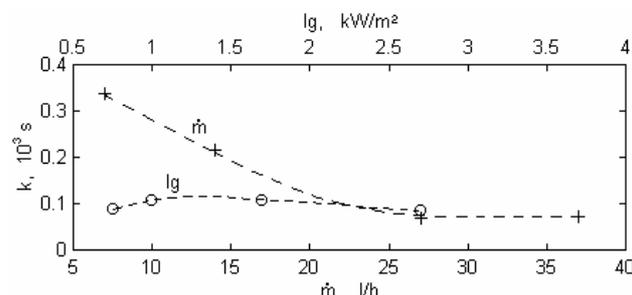


Fig.6 Variation de la constante de temps du capteur avec le débit du fluide caloporteur et l'éclaircement solaire.

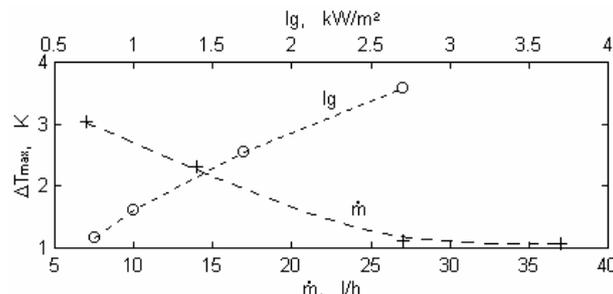


Fig.7. Variation de la valeur asymptotique de la différence de température du fluide, entre l'entrée et la sortie du capteur, avec le débit et l'éclaircement solaire.

et

la valeur asymptotique de la différence de température, varie de façon exponentielle avec le vide d'air dans le tube.

En observant les allures des différentes courbes obtenues, on peut considérer que la sensibilité du capteur solaire, à un paramètre p , peut être exprimée par une forme non linéaire, fonction du rapport entre la variation algébrique de la grandeur considérée ΔG à l'accroissement respectif $\Delta(P^n)$, du paramètre considéré, tel que :

$$\frac{\Delta G_i}{\Delta(p_j^n)} = a_{i,j} \quad (5)$$

Avec G_i : constante de temps ou valeur asymptotique de la différence température.

p_j : paramètre (Eclairement solaire, Débit du fluide ou Pression d'air).

Le coefficient a ainsi que l'exposant n sont déterminés par corrélation des données, au sens des moindres carrés, pour les modèles non linéaires. Les résultats obtenus sont portés dans le tableau 1.

Table 1. Coefficients de l'équation de sensibilité selon le paramètre.

Paramètre	Eclairement (W/m ²)		Débit de fluide (kg/h)		Pression d'air (mbars)	
	a	n	a	n	a	n
Coefficient						
Constante de temps (k_1)	0	1	1.34	-0.4	$3.5 \cdot 10^{-3}$	0.4
Amplitude $A=\Delta T_{Max}$	1.2	1	9.88	-0.4	$2.4 \cdot 10^{-2}$	-0.4

6. CONCLUSION

L'étude de sensibilité portant sur un capteur solaire à tube sous vide et échangeur baïonnette a montré l'isolation par le vide d'air n'est significative que pour des pressions inférieures à 10^{-3} mbar. De même, les résultats ont montré que la constante de temps est peu sensible à la variation de l'éclairement solaire alors qu'elle varie de façon exponentielle avec le débit du fluide caloporteur ainsi que la pression de l'air dans le tube. Enfin, les courbes obtenues attestent que la valeur asymptotique de la différence de température du fluide, entre l'entrée et la sortie du capteur, varie linéairement avec l'éclairement solaire et de façon exponentielle avec le débit du fluide caloporteur ainsi que la pression de l'air dans le tube.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Duffie J.A. et W.A. Beckman, Solar Engineering of Thermal Processes, Ed. J. Willey & sons, USA 1980.
2. Kreith and all, Hand Book of Solar Energy Engineering, Ed. Mc Graw Hill Book Co., USA 1980.
3. ASHRAE Standard 93-77 - Method of Testing to Determinate the Thermal Performance of Solar Collectors, 1977.

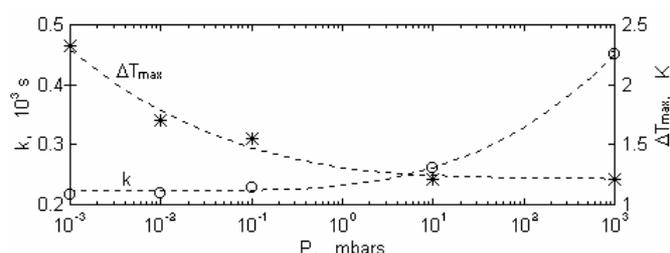


Fig. 8 Variation de la constante de temps et de la valeur asymptotique de la différence de température, avec la pression de l'air dans le tube.

4. Recommendations for European Solar Collectors - Tests Methods - Liquid Heating Collectors, janv. 1980.
5. Proctor D., A Generalized Method for Testing All Classes of Solar Collectors - Attainable Accuracy - Evaluating of Collector Thermal Constants - Linearized Efficiency Equations, Solar Energy Vol. 32, pp. 377-395, 1984.
6. Lazzarin R. et E. Grinzato, Collettori Solari a Tubi Evacuati - Metodi di Prova, Energie Alternative hte N° 34, 35 et 36, 1985
7. Meskine A., Contribution à l'Etude Thermo-Optique des Capteurs Evacues à structure Cylindrique, Thèse de Docteur Ingénieur, Nancy 1982.
8. Merzouk M., Contribution à la Détermination des Performances Théoriques et Expérimentales des Capteurs Solaires à Tubes Sous Vide en Régime Transitoire, Thèse de Doctorat d'Etat, Tlemcen 2004.
9. Holman J.P., Experimental Methods for Engineers, Ed. Mc Graw Hill Book Co., USA 1984.
10. Aubrun M. et C. Humber, Bases de l'Automatique des Systèmes Continus, CRAN, Université de Nancy I – INPL, 1988.
11. Boumahrat M. et J. Gourdin, Méthodes Numériques Appliquées, Ed. O.P.U., Alger 1983.