

## Procédure de Qualification des Capteurs Plans sous Ensoleillement Naturel au Maroc

A. Guedira<sup>1</sup> et A. Benallou<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire d'Energie Solaire, Faculté des Sciences de Rabat, B.P. 1014, Rabat, Maroc

<sup>2</sup> Laboratoire d'Energie Solaire et de Thermique Industrielle, Ecole Nationale de l'Industrie Minérale, B.P. 753, Rabat Agdal, Maroc

**Résumé** - Une revue analytique des principales normes internationales de qualification des capteurs solaires plans (AFNOR, BSI, CEC, ASHRAE) nous a permis d'extraire l'équipement nécessaire pour constituer un banc d'essai. A partir de l'étude des conditions climatologiques comparée de Rabat et de Marrakech, nous avons pu définir les conditions de tests sous un ensoleillement naturel relatives au Maroc.

Nous avons également proposé une méthode d'essai pour l'évaluation des performances thermiques des capteurs. Par ailleurs, nous avons analysé les travaux préparatoires menés actuellement dans différents départements marocains pour aboutir à une normalisation nationale.

Après la mise en place à l'Ecole Nationale de l'Industrie Minérale d'un banc d'essai et son pilotage par une chaîne d'acquisition des données, nous avons procédé aux tests de qualification d'une série de capteurs commerciaux, d'importation et de conception locale, selon la méthode d'essais que nous avons proposée. Nous avons pu ainsi déterminer et comparer leur rendement instantané respectifs.

Nous avons également étudié l'influence de différents paramètres sur le rendement, tels que l'inclinaison et le débit et comparé nos résultats à ceux de nombreux auteurs.

**Mots clés:** Capteur solaire plan - Norme - Test - Performance - Rendement.

### 1. INTRODUCTION

Le processus de Kyoto, conjugué à l'augmentation des prix du pétrole, ont induit une nouvelle dynamique sur le marché du solaire thermique. Ainsi, des efforts importants de promotion des systèmes de chauffage ont conduit à l'introduction sur le marché d'une multitude de capteurs d'origines diverses dont les performances sont difficilement contrôlables ou vérifiables. Il s'avère par conséquent nécessaire, pour des pays en développement tels que le Maroc, de définir une norme nationale de qualification des capteurs, seule garante de la qualité des produits.

L'objet de cette communication est de présenter la méthode d'analyse ayant conduit à l'élaboration d'un projet de norme, par la définition des conditions de test sous ensoleillement naturel et la mise en oeuvre d'une procédure de qualification des capteurs solaires plans au Maroc. Ainsi que l'étude de l'influence de différents paramètres sur les performances thermiques de ces capteurs.

### 2. CONTRIBUTION A L'ELABORATION D'UNE NORME MAROCAINE

#### 2.1 Revue bibliographique

Nous avons procédé à une étude détaillée des principales normes internationales les plus répandues notamment : AFNOR [1], C.E.C [2], B.S.I [3] et ASHRAE [4], afin de définir l'équipement essentiel pour constituer un banc d'essai performant. Cette analyse a nécessité de comparer entre elles les conditions de test fixées par chaque norme et les limites tolérées pour les valeurs des différentes variables, ces limites varient parfois sur une large gamme comme par exemple pour l'éclairement énergétique fixé à 800 W/m<sup>2</sup> par l'AFNOR et l'ASHRAE, 600 pour la C.E.C et allant jusqu'à 300 pour la B.S.I; elle est aux alentours d'une certaine valeur pour le débit 0.017 kg/s/m<sup>2</sup> pour la B.S.I et 0.02 pour les autres.

#### 2.2 Conditions de test au Maroc

Les conditions de tests des capteurs solaires plans requises pour le Maroc après l'étude des conditions climatologiques de Rabat et après comparaison avec les résultats de Marrakech [5] sont les suivantes :

- Pour accroître l'énergie reçue par le capteur, ce dernier doit être orienté au sud et incliné de 28° par rapport à l'horizontale. Deux inclinaisons par an, améliorent le temps de fonctionnement du banc d'essai et permettent d'effectuer les tests durant toute l'année. (10° du 1er avril au 13 septembre et 50° en dehors de cette période [6]).

- Le choix de la valeur maximale de l'angle d'incidence de l'éclairement énergétique ( $i \leq 40^\circ$ ) est basé sur l'étude de l'influence des variations de celui-ci sur les performances des constituants du capteur, tels que la transmittance, l'absorbance et le rendement optique.

- Le seuil du rayonnement  $G \geq 500 \text{ W/m}^2$  est fixé après la validation du modèle isotrope d'estimation de l'irradiation sur plan incliné à partir des valeurs du rayonnement sur plan horizontal, avec un écart relatif de 1,4 %.

- Les limites tolérées de variation de la température ambiante  $10^\circ\text{C} \leq T_a \leq 40^\circ\text{C}$ , et de la vitesse du vent  $V \leq 5 \text{ m/s}$  ont été fixées après un dépouillement de cinq années de mesures de ces grandeurs à Rabat, comparés à ceux de Marrakech.

Le tableau suivant regroupe ces conditions de tests.

**Tableau 1:** Conditions requises des tests au Maroc

Grandeur	Symbole	Conditions de test	Limite tolérée	Incertitude
Orientation ( $^\circ$ )	$\gamma$	$\gamma_{\text{opt}} = 0$	$\pm 2$	$\pm 1$
Inclinaison ( $^\circ$ )	S	$S_{\text{opt}} = 28$ ou $10/50$ 25 si lat. < lat. Agadir, 32 si non	- 2	$\pm 2$
Angle d'incidence ( $^\circ$ )	i	$i \leq 40$	+ 5	$\pm 0,1$
Eclairement ( $\text{W/m}^2$ )	G	$\geq 500$	- 50	$\pm 2$
Débit massique ( $\text{kg/s/m}^2$ )	$\dot{m}$	0,017	$\pm 0,003$	$\pm 0,0003$
Vitesse du vent (m/s)	V	$\leq 5$	+ 0,5	$\pm 0,1$
Température ambiante ( $^\circ\text{C}$ )	$T_a$	$10 \leq T_a \leq 40$	$\pm 2$	$\pm 0,5$

### 2.3 Procédure d'essai proposée

Nous avons remarqué que toutes les normes internationales étudiées suggèrent une température d'entrée du fluide fixe à une valeur donnée pendant toute la période d'essai, qui comprend un fonctionnement préalable d'environ 30 mn plus la durée de prise des mesures; alors qu'en réalité, dans les systèmes solaires en exploitation, la température d'entrée du fluide est assujettie à croître au fur et à mesure que celui-ci traverse le capteur. Les composants de ce dernier s'échauffent progressivement et son énergie emmagasinée croît. Nous avons proposé dans ce sens une méthode de test où l'on permet un léger accroissement de la température d'entrée au cours du temps ( $\Delta T_e \leq 0,2^\circ\text{C}$  par mn), de façon que les essais se fassent dans des conditions réelles de fonctionnement qui peuvent être considérées comme une succession d'états d'équilibres. Le comportement du capteur est alors assimilable à un fonctionnement en régime quasi-stationnaire. Cette analyse nous a permis de définir une procédure d'essais détaillée qui pourra être utilisée, dans des conditions réalistes, pour ce type d'équipement au Maroc.

## 3. BANC D'ESSAI

Nous avons construit au laboratoire d'énergie solaire de l'Ecole Nationale de l'Industrie Minérale, un banc d'essai informatisé qui permet de réaliser l'ensemble des mesures requises par la procédure de qualification que nous avons proposée [7]. Les différents appareils de mesures météorologiques et thermiques pré-étalonnés qui constituent le banc d'essai ont été reliés à une chaîne d'acquisition de données pilotée par un PC munie d'une carte Digital/Analogic (DAS 1602 Keithley Metrabyte).

## 4 PERFORMANCES THERMIQUES DES CAPTEURS PLANS

La norme C.E.C stipule que l'étude la plus significative des performances thermiques d'un capteur solaire consiste à déterminer son rendement instantané [2].

Cependant pour D. Proctor, les performances globales des capteurs ne peuvent être déterminées avec certitude qu'à partir des tests expérimentaux du rendement thermique [8].

#### 4.1 Influence de différents paramètres sur le rendement

##### 4.1.1 Variation du rendement en fonction de l'inclinaison

Les tests réalisés au laboratoire en prenant trois débits différents  $\dot{m} = 110, 80$  et  $60 \text{ l/h/2m}^2$ , et les inclinaisons  $S = 10, 30$  et  $50^\circ$ , montrent que le rendement instantané du capteur augmente lorsque l'inclinaison croît (voir courbes, capteur utilisé Chaffoteaux&Maury).

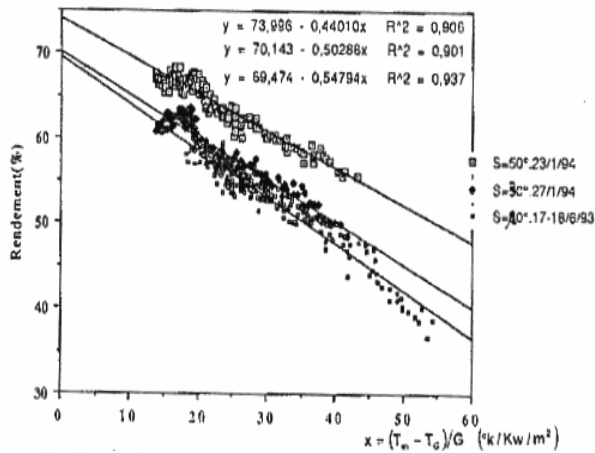


Fig. 1: Inclinaison optimale pour un débit donné ( $S_{\text{opt}} = 50^\circ$ ,  $\dot{m} = 110 \text{ l/h}$ )

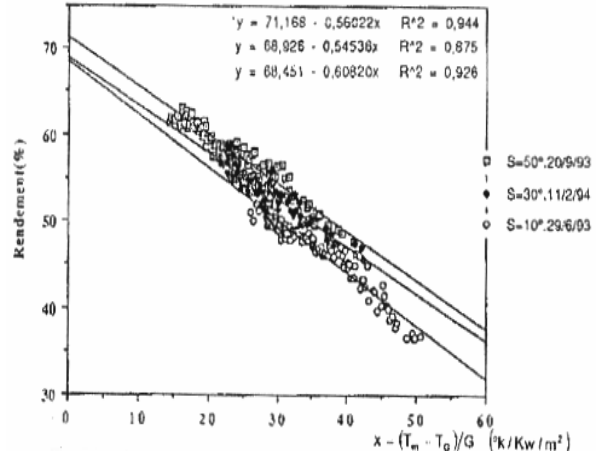


Fig. 2: Inclinaison optimale pour un débit donné ( $S_{\text{opt}} = 50^\circ$ ,  $\dot{m} = 80 \text{ l/h}$ )

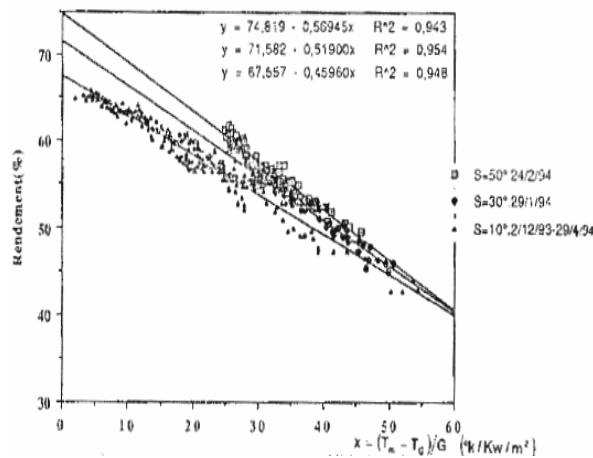


Fig. 3: Inclinaison optimale pour un débit donné ( $S_{\text{opt}} = 50^\circ$ ,  $\dot{m} = 60 \text{ l/h}$ )

En effet, les droites de régression sont juxtaposées les unes sur les autres, c'est-à-dire que le rendement optique croît avec  $S$ . Les allures des pentes des courbes qui expriment les pertes thermiques globales ( $U$ ) quant à elles ne gardent pas une même monotonie croissante lorsque  $S$  augmente, ceci est dû à l'interdépendance de plusieurs paramètres tel que l'inclinaison, le débit et la vitesse du vent; aussi l'influence sur  $U$  devient accrue pour les  $x$  grands pour les quels la température moyenne du fluide et celle de l'absorbeur sont très élevées par rapport à l'ambiante.

Ce résultat a été vérifié en examinant les travaux de plus d'une dizaine d'auteurs, en effet :

- D. Proctor [8] a trouvé en utilisant les meilleurs instruments existant, et en intégrant leurs incertitudes respectives qu'il y avait effectivement une élévation du rendement lorsque l'inclinaison augmente.

- En calculant le nombre de Nusselt  $Nu$ , pour une cavité inclinée, en utilisant l'expression de Duffie & Beckmann [9], on a trouvé que le flux convectif à la surface de l'absorbeur diminue de 14,9 % lorsque l'inclinaison augmente de 0 à 50 °.

- Le coefficient de pertes avant ( $U_t$ ) qui englobe les processus radiatif et convectif est plus faible pour les  $S$  plus fortes. Ceci a été prouvé par plusieurs investigateurs, en effet, Hottel et Woertz [10] furent les premiers à proposer une équation empirique pour le coefficient global de pertes avant. Depuis, plusieurs modifications sont apparues dans la littérature, notamment celles suggérées par Klein [9, 11], d'autres sont dues à Agarwal & Larson [12] ou encore à Malhotra [13]. De leur côté Gray & Datta [14] ont groupé ces corrélations, en plus de leur résolution itérative propre, et ont prouvé qu'il y avait une variation de  $U_t$  inversement proportionnelle à  $S$ .

Par ailleurs les travaux expérimentaux de Holland et al. [15] et Randall et al. [16] sur les pertes thermiques par convection libre, ainsi que ceux entrepris par Francy [47] pour une convection forcée, confirment la diminution de  $U_t$  avec l'élévation de  $S$ .

- Pour le coefficient global des pertes thermiques, Klein [18] a montré qu'il était d'autant plus petit que  $S$  est grande et ceci est plus prononcé pour les surfaces sélectives à faible émissivité.

On peut donc conclure que l'ensemble de ces facteurs contribuent à l'élévation du rendement lorsque  $S$  augmente.

#### 4.1.2 Influence du débit sur le rendement

Pour l'inclinaison optimale qu'on a trouvée ( $S = 50^\circ$ ), nous avons tracé la caractéristique du rendement pour les trois valeurs de débits suscitées, on a constaté une amélioration du rendement avec l'augmentation du débit.

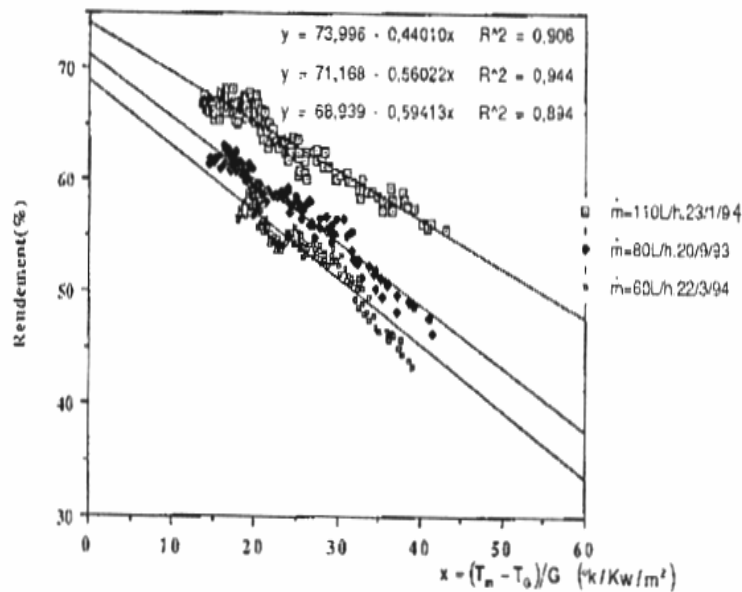


Fig. 4: Variation du rendement en fonction du débit pour une inclinaison donnée ( $S_{opt} = 50^\circ$ )

Le même phénomène a été observé par Auger et al. [19], ainsi que par Fanney et Klein [20]. Le résultat est donc classique, il y a croissance du rendement en fonction du débit pour une raison physique bien connue : quand le débit augmente, la température de l'absorbeur diminue et par conséquent les pertes radiatives et convectives diminuent.

#### 4.2 Résultats de test de capteurs du commerce

En utilisant la méthode d'essai que nous avons préconisé, nous avons procédé aux tests d'une série de capteurs du commerce d'importation et de conception locale, pour les quels nous avons déterminé et comparé leur rendements thermiques respectifs. Un exemple de résultats est illustré sur la figure suivante :

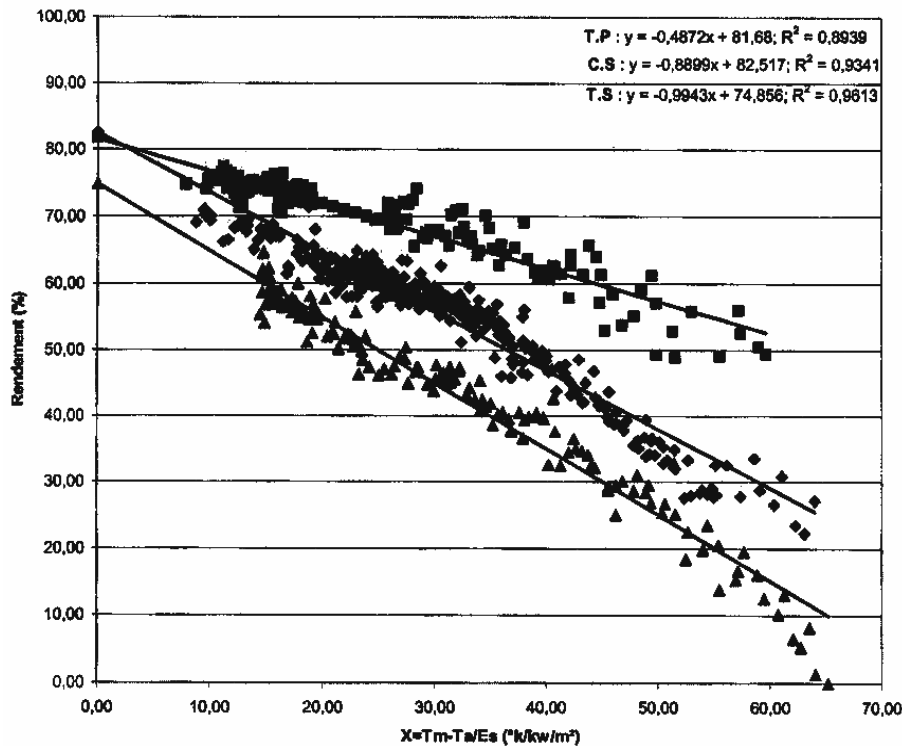


Fig. 4: Comparaison des rendements { Tropical Power - Cap Solaire & Sigma T4 (Taqa Shams) }

## 5. CONCLUSION

Nous espérons que les conditions d'essai et la procédure de test que nous avons proposé, s'ajouteront aux travaux préparatoires menés par les différents départements ministériels concernés et qui ont soumis un projet de charte nationale de qualité dans le domaine du solaire thermique, et contribueront à l'élaboration d'une norme marocaine fiable, rigoureuse et crédible.

## REFERENCES

- [1] Norme "AFNOR" N.F. P50- 501.  
Capteurs solaires à circulation de liquide, Mesure des performances thermiques, 1980.  
Installations solaires thermiques et leurs composants capteur, Partie I : Exigences générales, 1998.
- [2] Norme "C.E.C", Commission of the European Communities, Recommendations for European Solar collector. Test Methods Liquid Heating Collectors, A. Derrick and W.B. Gillet, U.K., 1980.
- [3] Norme "B.S.I", British Standard Institut, Method of Test for the Thermal Performances of Solar Collectors, 1987.
- [4] Norme "ASHRAE", 93-77 et ASHRAE 93-77R, Method of Testing to Determine the Thermal Performance of Solar Collectors, 1984.
- [5] M. Taoumi, 'Installation d'un Banc d'Essai des Capteurs Plans à Circulation d'Eau', J.I.T.H., Lyon France, pp. 777-784, 1987.
- [6] R. Tadili, 'Modélisation et Optimisation du Rayonnement Solaire Reçu par un Plan Incliné', D.E.S., Fac. Sci. Rabat, Juil. 1987.
- [7] A. Guedira, A. Fassi-Fihri et A. Bennani, 'Détermination des Performances Thermiques de Capteurs Plans à Circulation Liquide au Maroc', J.I.T.H., Lyon France, 1987.
- [8] D. Proctor, 'A Generalized Method for Testing all Classes of Solar Collectors',  
I. Attainable accuracy, pp. 377-386  
II. Evaluation of Collector Thermal Constants, pp. 387-394  
III. Linearised Efficiency Equations, pp. 395-401  
Solar Energy, Vol. 32, N°3, pp. 377-401, 1984
- [9] J.A. Duffie and W.A. Beckman, '*Solar Engineering of Thermal Processes*', Wiley-Interscience Publication, New York, 1980.
- [10] H.C. Hottel and B.B. Woertz, '*The Performance of Flate - Plate Solar - Heat - Collectors*', Transaction of the American Society of Mechanical Engineers, Vol. 64, 1942.
- [11] S. A. Klein, '*Calculation of Flate Plate Collector Loss Coefficients*', Solar Energy, Vol. 17, N°1, p. 79, 1975.
- [12] V.K. Agarwal and D.C. Larsen, '*Calculation of the Top Loss Coefficient of Flate - Plate Collector*', Solar Energy, Vol. 27, N°1, pp. 69-71, 1981.
- [13] A. Malhotra, H. P. Garg and A. Palit, '*Heat Loss Calculation of Flate - Plate Solar Collectors*', J. Thermal Energy, Vol. 2, p. 2, 1981.
- [14] H.R. Gray and G. Datta, '*The Top Loss Calculation for Flat - Plate Solar Collectors*', Solar Energy, Vol. 32, N° 1, pp. 141-143, 1984.
- [15] K.G.T. Holland, T.E. Unny, G.D. Raithby and L. Konicek, '*Free Convective Heat Transfer Across Inclined Air Layers*', J. Heat Transfer, Trans., ASME, Vol. 98, p. 189, 1976.

- [16] K.R. Randall, J.W. Mitchell and M.M. El Wakil, '*Natural Convection Characteristics of Flat - Plate Collectors*', Heat Transfer in Solar Energy System, Edited by J.R. Howell et T. Min, pp. 9-16, ASME, New-York, 1977.
- [17] J.L.A. Francey and J. Papaisannou, '*Wind Related Heat Losses of a Flat - Plate Collector*', Solar Energy, Vol. 35, N°1, pp. 15-19, 1985.
- [18] S.A. Klein, '*The Effects of Thermal Capacitance of Flat - Plate Solar Collectors*', Thesis University of Wisconsin, 1973.
- [19] J.L. Auger, A. Alexandre et J. Martinet, '*Fonctionnement de Capteurs Solaires Plans en Régime Variable*', Revue Générale de Thermique, N°239, pp. 811-823, 1981.
- [20] A.H. Fanney and S.A. Klein, '*Thermal Performance Comparisons for Solar Hot Water Systems : Subjected to Various Collector and Heat Exchange Flow Rates*', Solar Energy, Vol. 40, N°1, pp. 1-11, 1988.