

Etude Expérimentale du Comportement Thermique d'un Plancher Solaire Direct

R. Kharchi ¹, N. Aït Messaoudène ², M. Belhamel ¹ et A. Hamid ²

¹ Centre de Développement des Energies Renouvelables, B.P. 62, Route de l'observatoire, Bouzaréah, Alger, Algérie

² Institut de Mécanique, Université de Blida, Algérie

Résumé - *Le rayonnement solaire constitue une source d'énergie gratuite et non polluante, que nous proposons de valoriser au niveau local grâce à diverses technologies.*

Le secteur du bâtiment est propice à ce type de démarche pour plusieurs raisons. Techniquement, des surfaces importantes (toitures, murs) peuvent être utilisées pour le captage solaire. Economiquement, les surcoûts peuvent être réduits grâce à une intégration architecturale appropriée. Socialement, la réduction des charges de chauffage est un atout supplémentaire.

Le but de nos recherches est :

- *L'amélioration des matériaux et composants, par exemple la recherche de matériaux isolants et transparents qui permettent de capter le rayonnement avec un minimum de pertes thermiques;*
- *L'intégration appropriée de ces technologies dans une enveloppe architecturale, afin d'obtenir une bonne performance et de minimiser les coûts;*
- *La réalisation d'opérations expérimentales (un plancher solaire direct) et proposition d'un projet national sur la réalisation d'une maison solaire.*

Notre étude consiste donc à développer cette technique, qui est celle du chauffage de l'habitat par l'énergie solaire en général et du plancher solaire direct en particulier, en étudiant le comportement thermique du système dans le site de Bouzaréah (Alger).

Mots clés: Energie solaire - Capteur plan - Stockage thermique - Plancher chauffant - Chauffage des bâtiments.

1. INTRODUCTION

Le solaire thermique actif permet de récupérer la chaleur du rayonnement solaire au sein d'un fluide, parfois de l'air, le plus souvent de l'eau, par la mise en oeuvre de capteurs solaires.

La technique du Plancher Solaire Direct (PSD), résulte d'une simplification très importante des techniques de chauffage solaire actif utilisé jusqu'alors.

En effet, le fluide chauffé par les capteurs solaires circule directement dans un plancher sans passer par un réservoir de stockage. La masse de béton de sol assure les fonctions de stockage de l'énergie et de déphasage de sa restitution dans le volume chauffé.

Raccordés à une distribution basse température, les capteurs travaillent avec un meilleur rendement, étant donné que toutes les pertes intermédiaires (échangeurs, stock) sont éliminées.

L'utilisation thermique de l'énergie solaire présente des avantages telles que :

- Les technologies à mettre en oeuvre pour utiliser l'énergie solaire thermique sont aisément maîtrisables et adaptables aux situations de toutes les régions. Les techniques et les matériaux utilisés sont similaires à ceux employés dans le secteur traditionnel du chauffage, du sanitaire et des verrières. La main d'oeuvre ne nécessite qu'une formation complémentaire aisément maîtrisable.

- Il s'agit d'une forme modulable de production d'énergie que l'on peut adapter en fonction de ses besoins.

- Les frais de maintenance sont réduits. Si l'entretien des installations ne doit pas être négligé, les frais de maintenance et donc de fonctionnement sont cependant relativement faibles.

L'énergie solaire thermique active a toutefois certaines limites :

- Elle est variable dans le temps. Sous les climats tempérés, cette variation est surtout importante en fonction des saisons. Ceci entraîne une nécessité de stocker cette énergie, ce qui augmente considérablement le coût des installations.

- C'est une énergie diffuse. La puissance disponible par unité de surface est relativement limitée; ceci rend difficile une réponse à des besoins importants (grands ensembles d'appartements, par exemple).

2. DESCRIPTION DU SYSTEME

Le banc d'essai a été réalisé au sein du Centre de Développement des Energies Renouvelables.

Il est composé d'une dalle en béton de 3,2 m² de surface et de 17 cm d'épaisseur, parcouru par un serpentin en cuivre de 16/18 mm de diamètre et de 13 m de longueur. D'un capteur solaire plan à eau de 1,8 m² de surface dont l'absorbeur est en forme de radiateur.

La circulation de l'eau est assurée par le groupe GT1 (comporte une pompe à 3 vitesses, une soupape de sécurité, un vase d'expansion et un clapet anti-retour).

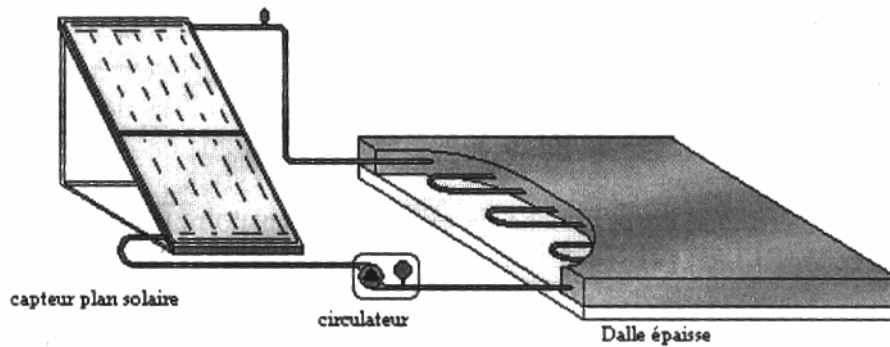


Fig. 1: Circuit dalle - capteur

3. PARTIE DE MESURES

Pour étudier le comportement thermique de la dalle, nous avons mesuré les paramètres suivants :

- Eclairage solaire global à l'aide d'un pyranomètre,
- Température ambiante,
- Températures de plancher,
- Températures d'entrée - sortie du capteur.

Pour la mesure des températures, une vingtaine de thermocouples ont été placés en différents points de la dalle, ainsi qu'à l'entrée et la sortie de la dalle (Fig. 2).

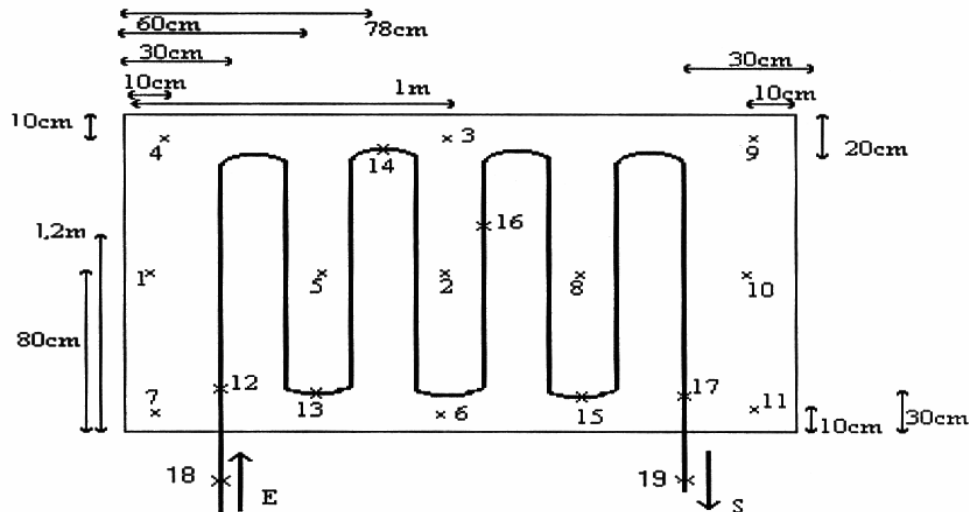


Fig. 2: Position des thermocouples dans la dalle (dimensions)

4. FORMULATION MATHÉMATIQUE

Le modèle utilisé pour le capteur plan solaire est un modèle à une température. On considère, qu'à un instant donné et dans une tranche infinitésimale dx , il n'y a qu'une température très proche de celle du fluide (l'absorbeur et le fluide ont la même température).

Le bilan thermique de la tranche dx en régime transitoire est donné par les équations de Hottel - Whiller [4].

$$dQ_c \cdot dt = [I - UL(T - T_{am})] \frac{A_c}{L} \cdot dx \cdot dt \quad (1)$$

En général, on utilise l'équation suivante [5]:

$$Q_c = m \cdot C_p (T_s - T_e) \quad (2)$$

En supposant les pertes thermiques entre le capteur et la dalle négligeables, la chaleur cédée à la dalle est égale à l'énergie captée par le capteur (la puissance utile), on peut donc écrire :

$$Q_{céd} = Q_c \quad (3)$$

L'énergie stockée par la dalle s'écrit :

$$E_s = \int_{t_i}^{t_f} Q_{céd} \cdot dt \quad (4)$$

On a utilisé la méthode des trapèzes pour le calcul de l'intégrale, qui est donnée par la relation suivante :

$$\int_{x_{j-1}}^{x_{j+1}} f(x) dx = \frac{\Delta X}{2} [f_{j-1} + 2f_j + f_{j+1}] \quad (5)$$

On trouve une énergie de 10624,5 kJ stockée pendant la journée du 05 mars 2000 de 6 h à 18 h.

5. RESULTATS EXPERIMENTAUX

Les différentes températures de la dalle relevées dans la journée du 05 mars 2000 sont représentées dans la figure 5. Nous avons comparé la température d'entrée et sortie de la dalle à la celle de l'ambiance (Fig. 4).

La puissance utile du capteur ou la chaleur fournie au plancher nous permet de calculer la chaleur stockée par celui-ci pendant le temps de chauffage.

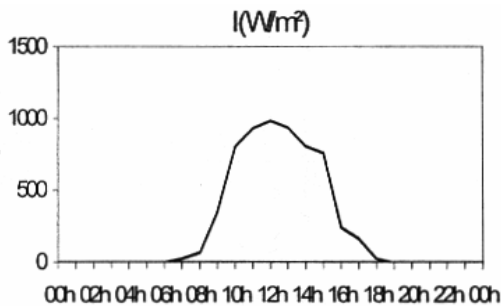


Fig. 3: Evolution de l'éclairage global sur la surface du capteur

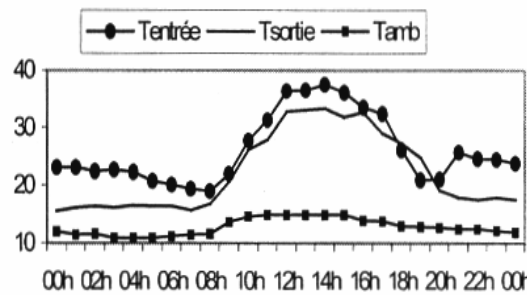


Fig. 4: Evolution des températures entrée - sortie de la dalle

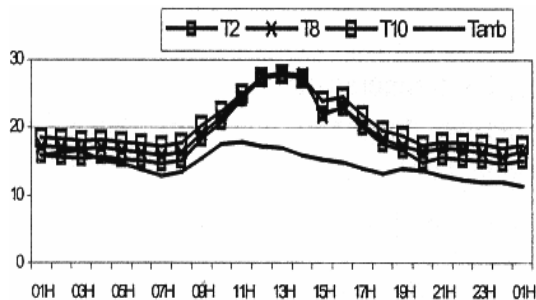


Fig. 5: Evolution des températures du PSD après une semaine de chauffe

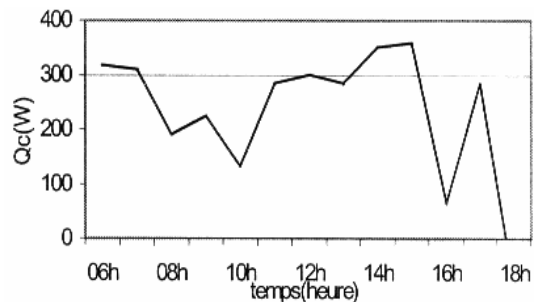


Fig. 6: Evolution de la puissance utile du capteur

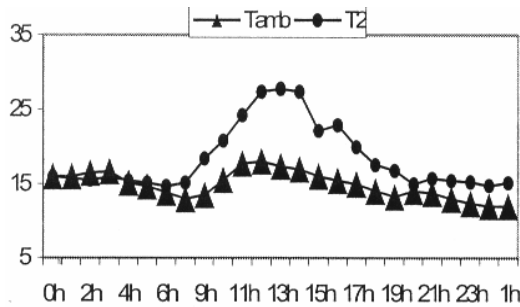


Fig. 7: Evolution de la température de la dalle et de la température ambiante

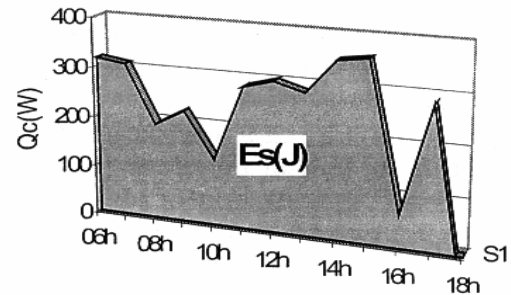


Fig. 8: Evolution de l'énergie stockée par la dalle

6. INTERPRETATION DES RESULTATS

Nous avons testé le prototype réalisé au Centre de Développement des Energies Renouvelables, c'est-à-dire un système dalle - capteur plan, tel que les dimensions de la dalle ont été choisies pour un rendement maximum (faible épaisseur du plancher et ratio de captation important).

L'éclairement solaire global représenté sur la figure 3 dans la journée du 05 mars 2000 varie selon la forme de cloche, qui atteint son maximum (la valeur est de $984,14 \text{ W/m}^2$) à 12 h 45 mn.

La température d'entrée de la dalle (Fig. 4) qui est celle de sortie du capteur plan atteint son pic (maximum) à partir de 12 h 30.

La température d'entrée et de sortie de la dalle diffère de 3 à 8 °C, ce qui reflète l'effet de stockage de la dalle (Fig. 4).

Nous avons représenté l'évolution de la température dans différents points de la dalle dans deux directions différentes (Fig. 5).

Nous constatons qu'elles ont la même allure. Les températures dans différents noeuds de la dalle tendent à s'uniformiser au bout d'une semaine de chauffage (inertie thermique de la dalle).

La température de la dalle est de l'ordre de 22 - 24 °C donc on peut dire qu'on atteint un certain confort thermique.

Par contre, nous avons constaté que pendant la nuit, les températures relevées aux extrémités baissent légèrement, ce qui est dû à la mauvaise isolation latérale de la dalle (effets de bord).

La puissance utile Q_c (énergie captée) est comprise entre 100 et 400 Watts (entre 6 h et 16 h), après 18 h elle s'annule (ce qui correspond à l'évolution du rayonnement solaire) (Fig. 6 et 8).

L'énergie stockée par la dalle E_{sa} a été calculée par la méthode des trapèzes, en négligeant les pertes thermiques dans les connections capteur - dalle (chaleur captée = chaleur cédée).

Dans la journée du 05 mars, la dalle a stocké plus de 10000 kilojoules (de 6 h à 18 h).

7. CONCLUSION

Au bout d'une semaine de chauffage, les températures dans les différents points de la dalle tendent à s'uniformiser (ce système permet de garder une température homogène), quoique les températures aux extrémités sont plus faibles, ce qui est dû aux pertes thermiques causées par la mauvaise isolation latérale du plancher (effet de bords), mais cet inconvénient peut être corrigé par la suite, en renforçant l'isolation.

Nos tests nous permettent de constater les avantages d'un tel système, à savoir :

- *Economie d'énergie* : (le PSD baisse de 1 à 2° C, la température nécessaire pour un confort supérieur aux autres modes de chauffage).

- *Confort thermique* : le PSD évite le phénomène de zone froide, la chaleur est bien répartie. Proche de la courbe physiologique de l'être humain, il permet d'éviter l'écart thermique entre le haut et le bas du corps.

- *Stockage de la chaleur*;

et d'essayer de diminuer ses inconvénients (inertie de la dalle, pertes thermiques, ...) en de prochaines études.

Le but à atteindre est de concevoir des bâtiments qui soient à la fois économes en énergie (en captant et en accumulant au maximum le rayonnement solaire direct pendant la période de chauffage) et confortables en été (en évitant d'avoir des surchauffes et sans recourir à des appareils de climatisation chers à l'achat, à l'entretien et polluants).

Ce but peut être atteint en respectant des règles de conceptions architecturales (position des ouvertures, matériaux isolants, matériaux accumulateurs, espaces tampons, protection des vents dominants...).

NOMENCLATURE

M	: débit massique de l'eau circulant dans le capteur (kg/s)
C_p	: capacité calorifique de l'eau (J/kg.°C)
Q_c	: puissance utile du capteur (W)
I	: l'éclairement solaire global (W/m ²)
U_L	: pertes thermiques (W/m ² °C)
A_c	: surface du capteur(m ²)
L	: longueur du capteur (m)
$Q_{céd}$: Chaleur cédée par le capteur (W)
E_s	: Chaleur stockée par la dalle (J)
T_e, T_s	: température d'entrée - sortie du capteur (°C)
t_i, t_f	: temps initial et final pris pour le calcul de la chaleur stockée (heures).

REFERENCES

- [1] R. Kharchi, '*Etude et Réalisation d'un Plancher Solaire Direct*', Rapport Interne 1998-1999.
- [2] R. Kharchi et A. Hamid, '*Contribution de l'Energie Solaire dans le Chauffage de l'Habitat par le Plancher*', Journées Nationales sur la Valorisation des Energies Renouvelables, Tlemcen, 23-24 novembre 1999.
- [3] R. Kharchi, M. Belhamel, Aït Messaoudène et A. Hamid, '*Etude Expérimentale des Performances Thermiques d'un Plancher Solaire Direct*', Séminaire International sur la Physique Energétique, SIPE5, Béchar, Novembre 2000.
- [4] J.P. Holman, '*Heat Transfer*', 4^{ème} Edition, McGraw-Hill Book Company.
- [5] J.A. Duffie and W.A. Beckman, '*Solar Engineering of Thermal Processes*', John & Wiley Sons, U.S.A., 1991.
- [6] D. Roux, D. Mandineau et M. Chateauminois, '*Calcul des Planchers Solaires Directs*', Tech-Doc., Lavoisier.
- [7] Guide des Installations Solaires dans l'Habitat (Editions Européennes Thermiques et Industries 'EETI').