

## Etude expérimentale d'un système solaire combiné pour le chauffage par plancher

Khaled Imessad \*, Razika Kharchi, Salaheddine Bensalem,  
Abdelkrim Chenak et Abderrahmane Hamidat

Centre de Développement des Energies Renouvelables, CDER  
B.P. 62, Route de l'observatoire, 16340, Bouzareah, Algiers, Algeria

(reçu le 15 Avril 2015 – accepté le 30 Septembre 2015)

**Résumé** - Dans beaucoup de pays développés et en voie de développement, le secteur du bâtiment représente 25% à 40% de la consommation énergétique. Cet article présente les résultats d'une étude expérimentale faite sur une habitation prototype, efficace énergétiquement, et munie d'un dispositif de chauffage innovant. Le dispositif est un système solaire combiné qui permet, grâce à des capteurs solaires, de chauffer l'habitation et de produire de l'eau chaude sanitaire.

**Abstract** - In many developed and developing countries, the building sector accounts for 25% to 40% of energy consumption. The aim of this article is to present the results of an experimental study on a prototype dwelling fitted with an innovative heating system. The device is a combined solar system which, through solar collectors is capable of providing space heating as well as domestic hot water.

**Mots clés:** Bâtiment - Efficacité énergétique - Système combiné - Plancher chauffant.

### 1. INTRODUCTION

L'efficacité énergétique est au cœur de la stratégie énergétique de l'Algérie pour une croissance intelligente et durable. Une analyse du bilan énergétique fait ressortir que les exportations énergétiques du pays ont chuté de 120 Millions Tonne Equivalent Pétrole (MTep) en 2010 à 101.5 MTep en 2013, alors que la consommation finale intérieure ne cesse d'augmenter puisqu'elle est passée de 31.7 MTep en 2010 à 38.5 MTep en 2013 [1], reflétant une croissance annuelle de +7 % depuis l'année 2010.

Selon la répartition actuelle des consommations d'énergie par secteur d'activité, il apparaît que 41 % de la consommation énergétique de l'Algérie est destinée au secteur du bâtiment [2]. Cela est d'autant plus inquiétant au regard de la croissance du parc immobilier qui augmente d'année en année. Conscient de ces enjeux, le gouvernement algérien mène, depuis quelques années, une politique d'amélioration de la gestion des ressources énergétiques.

Cette politique se décline à travers le programme national sur l'efficacité énergétique (2015-2030) qui se fixe comme objectif d'économiser 30 Millions de TEP d'ici 2030. Construire en adoptant les mesures d'efficacité énergétique consiste à prendre en considération le contexte climatique afin de réduire la demande énergétique pour le chauffage, la climatisation, et l'éclairage.

Ceci peut se faire grâce à l'adoption des solutions passives, telles que, l'orientation adéquate, l'isolation thermique, le vitrage performant, mais aussi par l'intégration de dispositifs solaires pour le chauffage et la production de l'eau chaude sanitaire. Le chauffage utilisant l'énergie solaire est l'une des technologies les plus performantes de réduction de la consommation énergétique dans un bâtiment [3, 4]. L'efficacité de ces dispositifs a été traitée dans quelques études.

---

\* k.imessad@cder.dz

Mehdaoui *et al.* [5] ont mené une étude expérimentale et numérique d'optimisation d'un dispositif de chauffage solaire par le plancher pour chauffer une cellule test de 12 m<sup>2</sup> de surface. Ils ont conclu qu'une optimisation des performances conduit à une surface de captation de 6 m<sup>2</sup> et un débit du fluide caloporteur de 100 kg/h.

Dans une étude expérimentale menée sur un bâtiment de l'Institut de Recherche de Shanghai par Zha *et al.* [6], une surface de captation de 150 m<sup>2</sup> a été installée afin de chauffer une surface de 460 m<sup>2</sup>. Il a été démontré que le système pouvait produire une puissance de chauffage de l'ordre de 25 kW durant les heures de travail avec une fraction solaire de l'ordre de 56 %. Bales *et al.* [7] considèrent que les systèmes combinés sont rentables à condition qu'ils soient correctement dimensionnés.

Asaee *et al.* [8] ont étudié les performances énergétiques d'un dispositif combiné de chauffage, rafraîchissement et production d'eau chaude sanitaire dans les conditions climatiques du Canada. Il résulte de cette étude que les conditions climatiques et la surface de captation sont les principaux paramètres intervenant sur les performances du système.

Kacan *et al.* [9] ont conduit une série de tests expérimentaux pour évaluer les performances des systèmes combinés en Turquie. L'étude a montré que le dispositif permet une économie d'énergie pour le chauffage variant entre 59 % et 89% mensuellement.

Lund [10] a étudié l'effet de l'augmentation de la surface de captation sur les performances des systèmes combinés. Il en ressort de leur étude que l'augmentation de la surface peut être économiquement justifiée pour des habitations non performantes énergétiquement, mais pas pour les habitations efficaces énergétiquement.

Ce travail présente les résultats d'une étude expérimentale menée sur une habitation prototype munie d'un système solaire combiné. Le but est d'évaluer l'impact d'un tel dispositif sur l'ambiance intérieure.

## 2. DESCRIPTION DE L'HABITATION PROTOTYPE

Suite à un concours international pour des initiatives de projets pilotes dans le secteur de la construction Med-Enec (MEDditerranean ENergy Efficiency in the Construction Sector) lancé en 2006, le Centre de Développement des Energies Renouvelables, CDER, en consortium avec le Centre National d'Etudes et de Recherches Intégrées du Bâtiment, CNERIB, ont présenté une proposition de projet pour la construction d'une habitation de type rural à haute efficacité énergétique. La maison, de type F3 et d'une surface habitable de 65 m<sup>2</sup>, est implantée dans la région d'Alger (Latitude, 36°7N, Longitude, 03°2E).

### 2.1 Mesures d'efficacité énergétique

La maison expérimentale est construite selon une démarche de développement durable et d'efficacité énergétique. La maison a une forme compacte. Les chambres principales ont des fenêtres orientées plein Sud, afin de profiter des apports solaires en hiver. Un débord de toit de 75 cm a été réalisé sur la façade Sud afin d'occulter les rayons solaires pendant l'été. Les fenêtres sont en PVC double vitrage avec un coefficient de conductivité thermique  $U = 2.6 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ . Les murs extérieurs sont construits avec des briques de béton de terre stabilisé (BTS) de dimensions 29 × 14 × 9 cm. La technique consiste à comprimer de la terre crue mélangée avec un agent chimique stabilisateur (5 % de ciment). Afin de réduire les déperditions thermiques en hiver et les apports de chaleur en été, les parois et les planchers sont isolés par une

couche de polystyrène expansé (EPS). Le **Tableau 1** donne les détails de composition et les caractéristiques thermiques des différents matériaux utilisés dans la maison prototype [11].

**Tableau 1:** Propriétés des parois

	Composition	Epaisseur (m)	Conductivité Thermique (W/m.K)	U (W/m <sup>2</sup> .K)
<b>Murs Extérieurs</b>	BTS	0.14	1.3	0.36
	EPS	0.09	0.046	
	BTS	0.29	1.3	
<b>Plancher</b>	Béton	0.05	1.75	0.54
	EPS	0.06	0.046	
	Béton	0.15	1.75	
	Mortier+ Sable	0.03	1.15	
	Carrelage	0.02	1.7	
<b>Toit</b>	Mortier	0.03	1.60	0.23
	EPS	0.16	0.046	
	Béton	0.08	1.75	
	Plâtre	0.03	0.35	

L'habitation est munie d'un système solaire combiné qui utilise des capteurs solaires pour l'alimentation en eau chaude sanitaire et le chauffage par plancher radiant (figure 1).

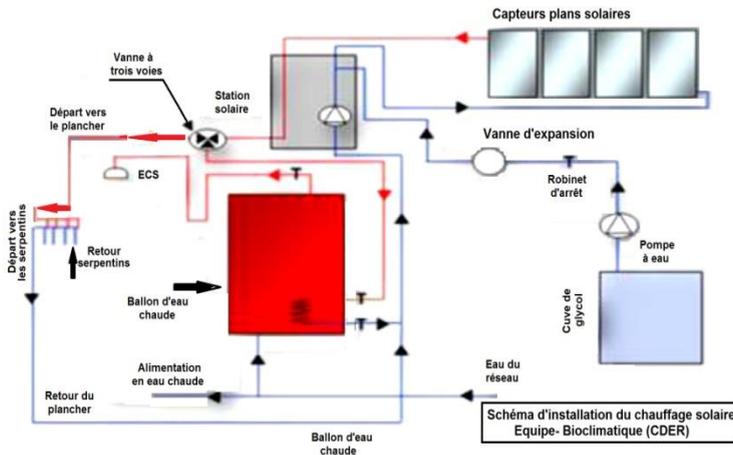


Fig. 1: Schéma du système solaire combiné

## 2.2 Système de chauffage solaire par le plancher

Le système solaire est composé de 4 capteurs thermiques à absorbeurs sélectifs disposés au niveau de la toiture. Ces capteurs, d'une surface totale de 8 m<sup>2</sup>, sont orientés vers le Sud avec une inclinaison optimisée pour une meilleure captation hivernale de 45°. Ils sont connectés à une cuve de stockage de 300 litres.

Le plancher est composé d'une couche de 22cm de béton où est noyé un serpentin composé d'une tuyauterie de 16mm de diamètre. La tuyauterie est en tubes multicouches isolée par de l'armaflex.

La circulation de l'eau chaude est assurée par une pompe solaire à trois vitesses, d'une vanne à trois voies et d'un collecteur à 4 départs (figure 2).



Fig. 2: Eléments du plancher chauffant  
a-Capteurs solaires, b-Serpentin, c-Collecteur, d- Local technique

### 3. ETUDE EXPERIMENTALE

Une série de mesures a été faite sur l'habitation afin d'évaluer les performances énergétiques du plancher chauffant.

Dix-sept (17) thermocouples de type K ont été disposés à l'intérieur et à l'extérieur de l'habitation pour mesurer les températures de surface des parois.

Trois (3) thermo-hygromètres digitaux sont utilisés pour mesurer l'humidité et la température ambiante au niveau des chambres principales. Le rayonnement solaire est mesuré sur un plan à la même inclinaison que les capteurs, grâce à un pyranomètre CM3 Kipp & Zonen. L'expérimentation a été menée selon deux scénarii,

**Scénario 1** (du 11/02/2014 au 16/02/2014): Chauffage d'une seule chambre seulement.

Ce scénario permettra d'évaluer l'apport du dispositif en comparant les conditions thermiques de la chambre chauffée avec une autre qui n'est pas chauffée.

**Scénario 2** (du 07/03/2014 au 17/03/2014): Chauffage de toutes les chambres de l'habitation.

## 4. RESULTATS ET DISCUSSION

### 4.1 Scénario 1

La figure 3 illustre la température au niveau de la surface intérieure du plancher recueillie dans le cadre du monitoring sur la base du scénario 1. Durant les deux premières journées, les températures du plancher au niveau des deux chambres (chauffée et non chauffée) sont similaires. Ceci est lié au fait que ces journées étaient nuageuses, ce qui a conduit à l'arrêt de la pompe solaire.

A partir de la troisième journée, il apparaît une évolution régulière de la température du plancher de la chambre chauffée, alors celle du plancher de la chambre non chauffée reste stable autour de 15°C. Lors de la dernière journée la différence entre les deux températures atteint 8°C en moyenne.

La figure 4 représente l'évolution de la température ambiante au niveau des trois pièces principales de l'habitation. On remarque une même allure de variation de la température ambiante et du plancher.

Durant les deux premières journées, la température est de l'ordre de 15°C. A partir de la troisième journée, et sous l'effet de l'augmentation de la température du plancher, la température ambiante commence à s'élever graduellement. Durant la sixième journée, cette température dépasse les 20°C pour une température extérieure qui varie entre 13°C et 22°C.

Durant cette même journée, la température ambiante au niveau du séjour et de la chambre 2 varie entre 16°C à 17°C. Une légère différence de température entre les deux chambres non chauffées est à noter, ceci est lié au fait que le séjour possède une façade principale orientée vers le Sud alors que la chambre 2 est orientée vers le Nord.

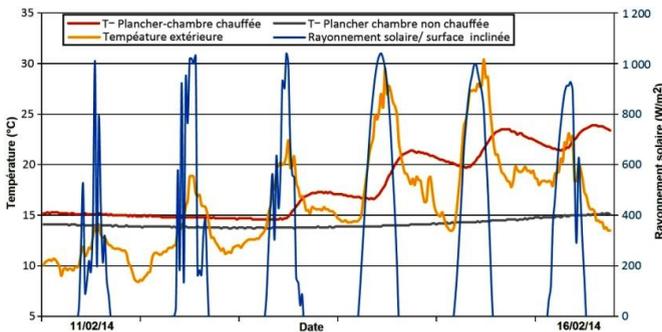


Fig. 3: Température du plancher selon le scénario 1

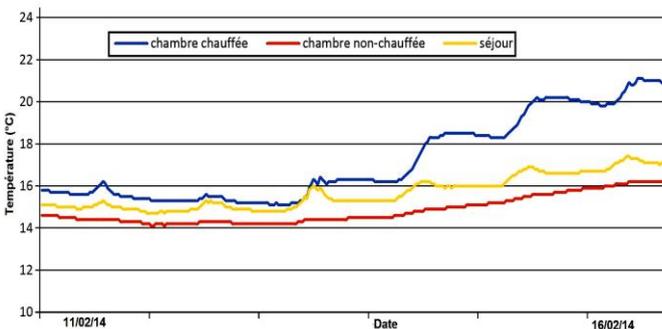


Fig. 4: Température ambiante à l'intérieur des chambres principales

## 4.2 Scénario 2

La figure 5 représente la température de l'eau au niveau du collecteur avant sa distribution vers les quatre serpentin. Il est à noter que cette température atteint des pics à 40°C. L'analyse de la variation de la température de l'eau a permis de noter la forte dépendance de cette dernière vis-à-vis du rayonnement solaire incident sur les capteurs.

La figure 6 représente la température ambiante au niveau des chambres principales pendant 8 journées durant lesquelles le système fait chauffer toute l'habitation. Il est à noter que d'une manière générale la température dans les 3 pièces varie entre 18 °C et 20 °C, pour une température extérieure minimale moyenne de 11 °C et un écart diurne moyen de 10.5 °C.

Une comparaison entre l'ambiance de la chambre 1 et celle de la chambre 2 fait ressortir une différence de 1°C en faveur de la première. Ceci est lié au fait que la chambre 1 est orientée plein sud alors que la chambre 2 a une façade orientée vers le nord. Les températures enregistrées sont légèrement inférieures à la température de confort recommandée par la réglementation thermique algérienne qui est de 21°C [12].

Sachant que l'habitation est inoccupée et que durant l'expérimentation les volets des fenêtres étaient constamment fermée, ceci permet de dire que le système de chauffage expérimenté dans notre étude arrive seule à subvenir aux besoins de chauffage de l'habitation durant les journées ensoleillées.

En absence de soleil, la forte inertie des parois constituant l'habitation et leurs isolations permet de garder pendant quelques journées une ambiance confortable sans avoir recours à un chauffage d'appoint. Néanmoins un chauffage d'appoint paraît indispensable en cas d'absence de soleil pendant plusieurs journées.

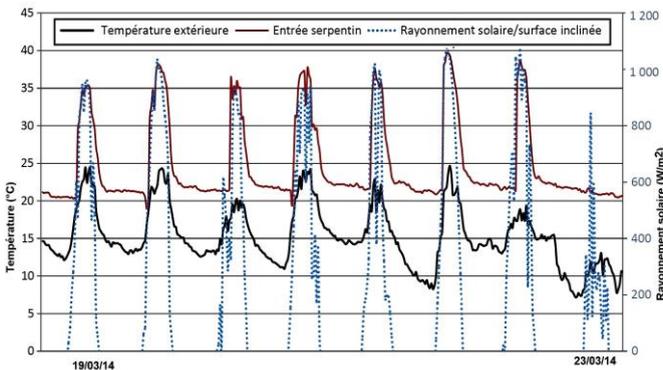


Fig. 5: Température de l'eau à l'entrée du collecteur

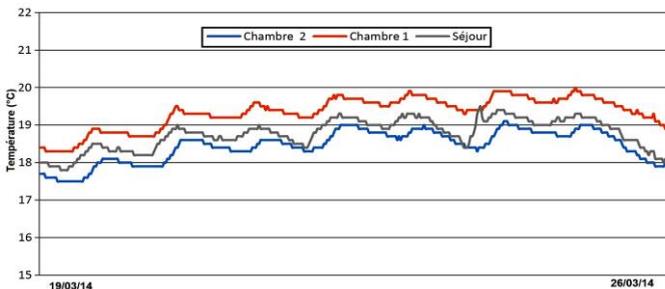


Fig. 6: Température ambiante à l'intérieur de l'habitation

## 5. CONCLUSION

L'énergie solaire peut être un facteur essentiel d'approvisionnement en énergie durable pour le chauffage et la production d'eau chaude sanitaire. Cet article présente les résultats d'une étude expérimentale faite sur une habitation prototype, efficace énergétiquement, et munie d'un dispositif de chauffage innovant.

Le dispositif est un système solaire combiné qui permet, grâce à des capteurs solaires, de chauffer une habitation et de produire de l'eau chaude sanitaire. L'étude fait ressortir que les performances du dispositif sont dépendantes des conditions climatiques externes, néanmoins l'intégration de parois à forte inertie thermique a pour effet d'alléger l'impact des variations de la température extérieure et du rayonnement solaire sur la température intérieure.

## REFERENCES

- [1] Ministère de l'Énergie, '*Bilan Énergétique National*', Editions 2014-2011.
- [2] Agence de Promotion et de Rationalisation de l'utilisation de l'Énergie, APRUE, '*Consommation Énergétique Finale de l'Algérie*', Edition 2009.
- [3] A.A. Badran and M.A. Hamdan, '*Comparative Study for Under-Floor Heating Using Solar Collectors or Solar Ponds*', Applied Energy, Vol. 77, N°1, pp. 107 - 117, 2004.
- [4] M. Leckner and R. Zmeureanu, '*Life Cycle Cost and Energy Analysis of a Net Zero Energy House with Solar Combisystem*', Applied Energy, Vol. 88, N°1, pp. 232 - 241, 2011.
- [5] F. Mehdaoui, M. Hazami, N. Naili, and A. Farhat, '*Energetic Performances of an Optimized Passive Solar Heating Prototype used for Tunisian Buildings Air-Heating Application*', Energy Conversion and Management, Vol. 87, pp. 285 - 296, 2014.
- [6] X.Q. Zhai, J.R. Yang, and R.Z. Wang, '*Design and Performance of the Solar-Powered Floor Heating System in a Green Building*', Renewable Energy, Vol. 34, N°7, pp. 1700 - 1708, 2009.
- [7] C Bales and T. Persson, '*External DHW Units for Solar Combisystems*', Solar Energy, Vol. 74, N°3, pp. 193 - 204, 2003.
- [8] S.R. Asaee, V.I. Ugursal, I. Beausoleil-Morrison and N. Ben-Abdallah, '*Preliminary Study for Solar Combisystem Potential in Canadian Houses*', Applied Energy, Vol. 130, pp. 510-518, 2014.
- [9] E. Kacan and K. Ulgen, '*Energy Analysis of Solar Combisystems in Turkey*', Energy Conversion and Management, Vol. 64, pp. 378-386, 2012.
- [10] P.D. Lund, '*Sizing and Applicability Considerations of Solar Combisystems*', Solar Energy, Vol. 78, N°1, pp. 59-71, 2005.
- [11] K. Imessad, L. Derradji, N.A. Messaoudene, F. Mokhtari, A. Chenak and R. Kharchi, '*Impact of Passive Cooling Techniques on Energy Demand for Residential Buildings in a Mediterranean Climate*', Renewable Energy, Vol. 71, pp. 589 - 597, 2014.
- [12] DTR C3-2, '*Réglementation Thermique des Bâtiments d'Habitation – Règle de Calcul des Déperditions Calorifiques*', CNERIB, Alger, Déc-1997.