

Etude expérimentale d'un système solaire actif-PSD

Sayeh Menhoudj*, Djamel Sifodil et Abderrahmane Mokhtari

Faculté d'Architecture et de Génie Civil, Département de Génie Civil
Université des Sciences et de La Technologie d'Oran, Mohamed Boudiaf

(reçu le 29 Décembre 2011 - accepté le 29 Septembre 2012)

Résumé - *Le chauffage par le plancher est une technique qui procure de bonnes conditions de confort tout en minimisant les consommations énergétiques. La possibilité d'utilisation de cette technique en Algérie s'inscrit dans le contexte actuel de maîtrise de l'énergie, d'utilisation des énergies renouvelables et de développement durable. Ce travail a porté sur l'étude expérimentale d'un système solaire actif - PSD, technique qui a été utilisé pour le chauffage du local d'une cellule solaire implantée à Oran. Un système de mesure (métrologie) a été mis en place pour étudier les performances énergétiques du plancher solaire direct (PSD) pendant une période où les besoins en chauffage sont exprimés (du mois de novembre 2007 au mois de mars 2008). Les résultats expérimentaux obtenus ont permis d'évaluer l'économie apportée par le PSD en matière de besoins de chauffage (taux de couverture solaire) et d'énergie d'appoint nécessaire. Une étude comparative a été faite en utilisant les résultats de simulation numérique.*

Abstract - *Floor heating is a technique which provides conditions of a modern convenience, thus minimizing to some extent the consumptions of energy. The opportunity to exploit this technique in Algeria lies within the given current context of control over energy, the use of renewable energies and sustainable development. This research concerns an experimental study of an active solar system (PSD), it's a technique which was used for the heating a unit of a solar cell located in Oran city. Measuring system (metrology) was introduced to study energetic accomplishments of the direct solar floor during a period when the needs are required (from November 2007 to March 2008). The experimental results acquired, allowed to assess the economy brought by the (PSD) for heating needs (solar cover rate) and necessary backup energy. A comparative study was made, using numeric simulation results.*

Mots clés: Cellule - Métrologie - Plancher solaire direct - Capteur thermique solaire - Température - Flux de chaleur - Performances thermiques.

1. INTRODUCTION

L'épuisement des ressources d'énergie d'origine fossile et la préoccupation sur le réchauffement climatique de la planète du aux émissions des gaz à effet de serre ont conduit les pouvoirs publics à promouvoir des politiques de développement durable.

L'énergie solaire constitue une source d'énergie renouvelable, non polluante et économique. La technique du plancher solaire direct (PSD) constitue actuellement l'une des applications les plus intéressantes de l'énergie solaire à basse température au chauffage des locaux.

Ce travail s'intéresse à l'étude expérimentale d'un système solaire actif - PSD qui a déjà fait l'objet d'étude théorique où la faisabilité du plancher solaire direct en Algérie et les paramètres influençant ses performances ont été analysés.

* smenhouj@yahoo.fr

Un modèle de comportement du PSD a été développé, puis intégré au logiciel de simulation TRNSYS [1, 2].

L'objectif principal de cette étude est d'analyser expérimentalement la performance énergétique du plancher solaire direct, plus particulièrement la répartition de la température dans la dalle (plancher bas) et l'économie d'énergie apportée en matière de besoins en chauffage durant la période étudiée (taux de couverture).

Les mesures in situ réalisées de notre système (capteur, PSD) ont été effectuées du 12 Novembre 2007 au 31 Mars 2008. Des simulations ont permis d'évaluer mensuellement les performances thermiques du plancher du local PSD étudié, en termes d'économie de consommation en besoins de chauffage.

2. DESCRIPTION DE LA CELLULE

La cellule étudiée est située au niveau du site IGCMO de l'université des sciences et de la technologie, Mohamed Boudiaf, dans la localité de la commune de Es-Senia de la wilaya d'Oran, composée de deux locaux semblables: un équipé de PSD, l'autre est utilisé comme local technique (témoin) abritant tous les équipements nécessaires pour le système de mesure (module de transfert hydraulique, pompes, vase d'expansion, compteur d'énergie, ballon d'eau chaude, échangeur).

Le dimensionnement du local - PSD a été fait en se basant sur les simulations avec le logiciel TRNSYS, notamment l'épaisseur de la dalle du plancher chauffant et les caractéristiques de l'enveloppe choisi dans le sens d'augmenter l'isolation des parois (inertie thermique) et d'améliorer le rendement du plancher.

3. DEFINITION DU SYSTEME EXPERIMENTAL

Il s'agit d'un capteur solaire plan relié à un plancher hydraulique par un module de transfert. Le chauffage du plancher se fait grâce à la circulation du fluide caloporteur dans le plancher chauffant à basse température. Le système ne fonctionne que pour le chauffage. L'échangeur et le ballon d'eau chaude sont mis hors circuit.

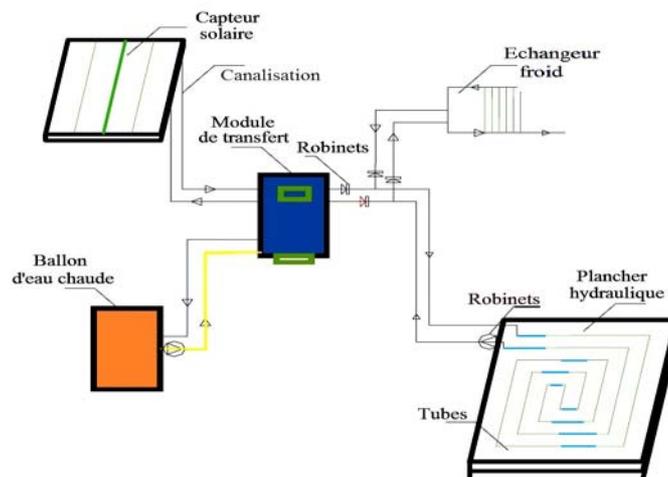


Fig. 1: Schéma de description du dispositif

L'installation est composée:

- d'un capteur plan de $4,60 \text{ m}^2$ ($2 \times 2,3$) de surface orientée vers le sud avec une inclinaison de 45° . L'énergie captée est transportée par un fluide caloporteur antigel;
- d'un ballon d'eau chaude sanitaire de 300 litres avec échangeur;
- d'un plancher solaire de 17 m^2 ($4,70 \times 3,70$) de surface;
- la régulation se fait à l'aide d'un module de transfert hydraulique, type Clipsol T2I.
- onze (11) thermocouples installées en différents points pour la mesure de température (plancher bas, paroi, capteur, ballon d'eau chaude) reliés à une chaîne d'acquisition de température;
- d'un compteur d'énergie permettant de mesurer la quantité d'énergie injectée, cédée par le capteur plan au plancher chauffant;

Les mesures de températures (température intérieure de l'air, température extérieure, humidité relative intérieure et extérieure) sont effectuées à l'aide d'une mini station météorologique.

Le plancher bas du local - PSD étudié est du type chauffant/rafraîchissant (dit aussi réversible) d'une surface de 17 m^2 , dans lequel circule le fluide caloporteur. Le rôle du plancher est de stocker l'énergie injectée, chaleur apportée par le capteur et de la restituer à l'ambiance interne avec un déphasage qui est fonction de l'épaisseur de la dalle. Le plancher solaire est constitué:

- de deux couches de béton de 10cm chacune séparées par 4cm de polystyrène où le réseau de tubes est posé;
- les tubes sont en PER (polyéthylène réticulé) de diamètre égal à 18 mm;
- l'espacement entre tubes au niveau du plancher est égal à 20 cm;
- les tubes sont posés sur un treillis soudé, posé sur l'isolant, noyés dans une dalle de 10 cm d'épaisseur.

Dans le local technique, il est mis en place un module hydraulique de transfert de modèle 'Blocsol' de marque Clipsol T2I (Fig. 2) qui permet de gérer la distribution d'énergie thermique.

L'acquisition des données météorologiques (température intérieure de l'air, température extérieure, humidité relative extérieure et intérieure) a été effectuée à l'aide d'une mini station météorologique (Fig. 3) reliée à un ordinateur installé à l'intérieur du local - PSD.

Les capteurs de température (thermocouples) ont été placés en différents points de la dalle, du capteur solaire, ainsi qu'à l'entrée et la sortie du PSD reliés à une chaîne d'acquisition (Fig. 3).

4. RESULTATS ET INTERPRETATION (PARTIE EXPERIMENTALE)

Nous suivons l'évolution des températures (intérieure et extérieure) du local - PSD, des températures au niveau de la dalle et des températures d'entrée et de sortie du fluide caloporteur au plancher chauffant.

Nous étudions l'influence de la température d'entrée du fluide caloporteur au plancher chauffant - PSD sur la température superficielle de la dalle. L'évolution de l'énergie injectée du capteur solaire au plancher chauffant est aussi étudiée.



Fig. 2: Module hydraulique de transfert



Fig. 3: Chaîne d'acquisition de température et la mini station météorologique reliées à l'ordinateur

4.1 Evolution de la température du capteur

Avant de commencer la campagne de mesures, on s'est intéressé à suivre l'évolution libre de la température du fluide caloporteur au niveau du capteur solaire. Seul le capteur de température (Thermocouple de type K) installé au niveau du capteur solaire thermique est branché au niveau du système de commande et de régulation du module de transfert hydraulique.

Nous avons débranché les autres capteurs de température du système de commande et de régulation du module de transfert, ainsi que les pompes accélératrices pour empêcher la circulation du fluide caloporteur entre le capteur solaire et le plancher chauffant.

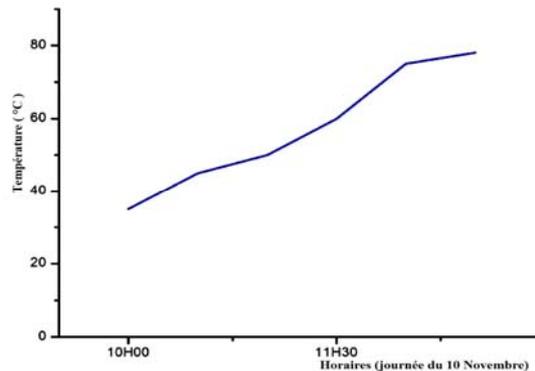


Fig. 4: Evolution de la température du fluide caloporteur au niveau du capteur solaire

La température du fluide caloporteur au niveau du capteur solaire qui atteint un maximum de 78 °C à 13h de l'après midi pendant la journée ensoleillée du 10 Novembre 2007, (Fig. 4).

Nous constatons que le capteur solaire thermique peut chauffer le fluide caloporteur à une température élevée et par conséquent, peut répondre aux besoins du système solaire actif de notre étude.

4.2 Evolution de la température de l'air intérieur du local - PSD

Nous constatons, à partir de la figure 5 qui montre l'évolution de la température de l'air intérieur du local PSD et de la température extérieure que:

- La température de l'air intérieur du local varie entre 14,6 °C et 22 °C (mois de Novembre).
- La température de l'air intérieur du local reste maintenue entre 16 °C et 18 °C (température de confort), même pour une température extérieure atteignant 2 °C (mois de Décembre).
- La température de l'air intérieur du local reste maintenue entre 16°C et 18°C, même pour des températures extérieures atteignant 4 °C (mois de Janvier).
- La température de l'air intérieur du local est maintenue au-dessus de 18 °C (température de confort) presque pendant tout le mois de février atteignant un maximum de 23,3 °C.
- Dès que la température de l'air intérieur n'est pas maintenue à un niveau de confort, l'appoint de chauffage s'avère nécessaire.

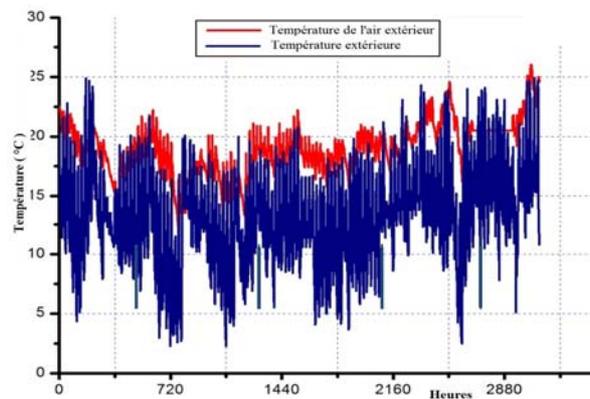


Fig. 5: Evolution de la température de l'air intérieur de la cellule étudiée et de la température extérieure

4.3 Evolution de la température à l'entrée et à la sortie du plancher bas

Nous suivons l'évolution de la température à l'entrée et à la sortie du plancher chauffant respectivement au niveau des deux conduites (aller et retour) du fluide caloporteur pendant toute la période de mesure.

Nous remarquons que:

- La température d'entrée du fluide au plancher chauffant atteint son maximum, soit 44 °C entre 10h du matin et 14h de l'après midi pendant les journées ensoleillées, ciel dégagé, cela s'explique par le rayonnement solaire qui est maximum pendant cet intervalle de temps (mois de Mars).
- La différence de température entre l'entrée et la sortie du fluide au plancher chauffant varie entre 6 °C et 10 °C.

- Cette différence de température est due à l'énergie cédée par le fluide caloporteur au plancher, cela prouve que le plancher chauffant est en activité thermique (échange de chaleur avec l'ambiance du local).
- La température d'entrée PSD chute à partir de 16h de l'après midi et pendant la nuit (pas d'échange entre le capteur solaire et le plancher).

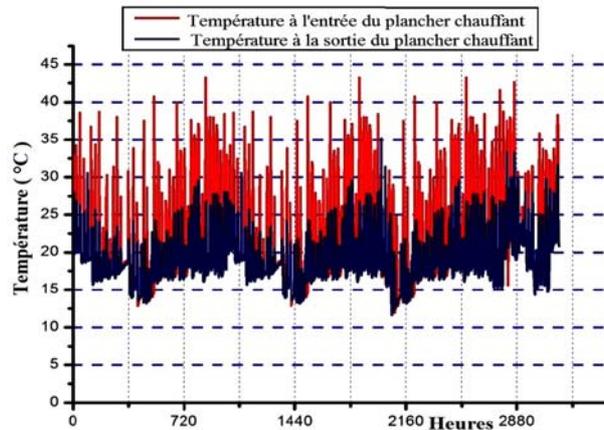


Fig. 6: Evolution de la température à l'entrée et à la sortie du plancher chauffant

4.4 Evolution de la température superficielle du plancher bas

L'évolution de la température superficielle du plancher chauffant (Fig. 7) montre que:

- La température superficielle du plancher bas enregistrée varie entre 19 °C et 28 °C pendant toute la période de mesure.
- Pendant le mois de Janvier, la température superficielle n'a pas dépassé 25 °C.
- La température superficielle augmente entre 10h du matin et 16h de l'après midi, cela s'explique par l'énergie injectée du capteur solaire à la dalle pendant cet intervalle de temps.
- La température superficielle dépasse parfois 28 °C (température limite selon réglementation thermique française) [8], atteignant un maximum de 29,6 °C cas de la journée du 31/03/2008) pour cela un système de régulation est nécessaire.

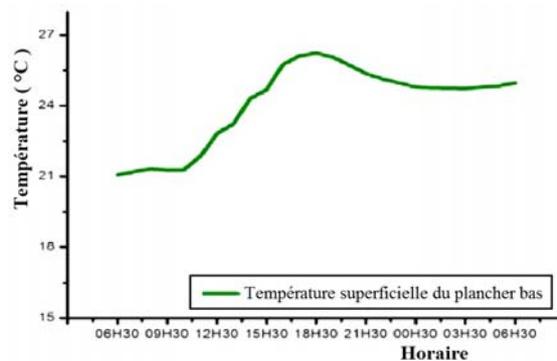


Fig. 7: Evolution de la température superficielle du plancher bas

L'évolution de la température superficielle de la dalle pendant 24 heures, soit du 12/12/2007 à partir de 06h 30mn du matin au 13/12/2007 à la même heure (Fig. 8) montre que:

- La température superficielle du plancher atteint son maximum entre 10h du matin et 16h de l'après-midi tout en diminuant la nuit et restant presque constante, ceci s'explique par l'énergie cédée par le capteur pendant le jour et le pouvoir de stockage et de restitution de la dalle du à son inertie.
- Il est à noter que la journée du 12/12/2007 a été marquée par un ciel dégagé, ensoleillé.
- L'énergie injectée par le capteur entre 10h du matin et 16h de l'après-midi est restituée à l'ambiance pendant la nuit, la température commence à baisser.

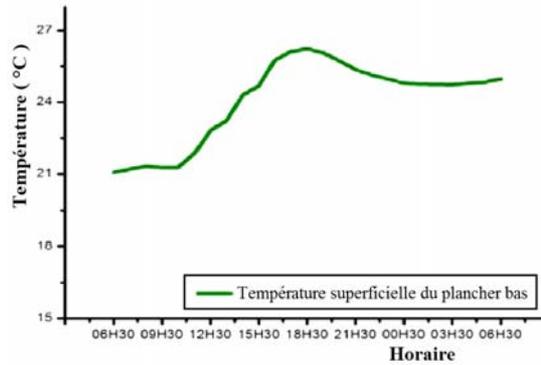


Fig. 8: Evolution de la température superficielle de la dalle (pendant 24h, décembre)

4.5 Bilan de l'énergie cédée par le capteur au plancher chauffant

L'énergie injectée au plancher est définie comme énergie captée par le capteur solaire et cédée au plancher chauffant - PSD par le fluide caloporteur, mesurée par le compteur d'énergie pendant toute la période de chauffage.

Tableau 1: Energie de chauffage Q_e et énergie cédée par le capteur au plancher

Mois	Energie de chauffage nécessaire Q_e (kWh)	Energie injectée au plancher (kWh)	Taux de couverture (%)
Novembre	191	124	64.92
Décembre	332.26	155	46.65
Janvier	320.32	152	47.45
Février	196.97	156	79.20
Mars	117.38	241	100
Total	1157.93	828	-

L'énergie de chauffage nécessaire notée Q_e pour maintenir la température intérieure du local PSD à 18 °C est calculée par la formule suivante [4]:

$$Q_e = 0.024 \times GV \times ndj$$

Où, ndj , représente le nombre de degrés jours pour chaque mois de la période de chauffage; et avec, $GV = 82,90 \text{ W/K}$.

La notion de ‘couverture solaire’ est définie, comme étant la part relative des besoins de chauffage couverts par l’énergie solaire.

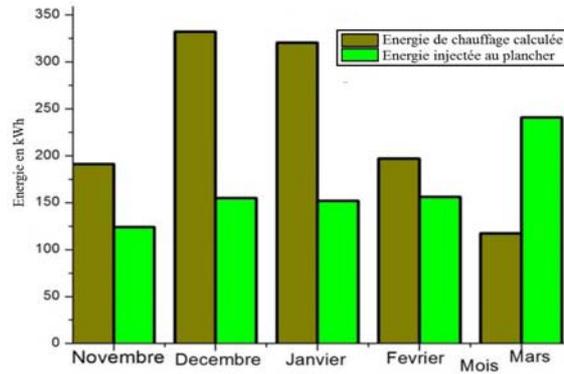


Fig. 9: Bilan de l'énergie (calculée et cédée)

5. RESULTATS DE SIMULATION AVEC LOGICIEL PSD

Le logiciel PSD [5] Permet de déterminer les performances mensuelles, en termes d'économie de consommation (chauffage et eau chaude sanitaire), pour des locaux équipés de planchers solaires directs.

La simulation, pour le cas de notre étude, a été faite en utilisant les températures extérieures enregistrées par la mini station météorologique.

Nous comparons les résultats obtenus par simulation avec le logiciel PSD avec les résultats expérimentaux obtenus réellement, cas de notre étude.

On notera:

- FCH_{sim} : Taux de couverture solaire mensuel calculé par le logiciel PSD.
- FCH_{exp} : Taux de couverture solaire mensuel (étude expérimentale).

Nous remarquons d'après le **Tableau 2** que:

- Les performances énergétiques du système PSD étudié calculés par simulation et celles trouvées expérimentalement sont presque similaires.
- Concernant le taux de couverture solaire en besoins de chauffage, les résultats théoriques et expérimentaux obtenus pour le mois de novembre et mars sont presque identiques.
- Le système PSD étudié a apporté des économies importantes d'énergie dépassant 73%. L'énergie d'appoint à fournir n'est que 27 % des besoins.

Tableau 2: Taux de couverture solaire mensuel

Mois	Taux de couverture solaire calculée par le logiciel PSD (%)	Taux de couverture solaire mensuel (expérimentale) (%)
Novembre	72	64.92
Décembre	58	46.65
Janvier	59	47.45
Février	70	79.20
Mars	100	100

6. EVOLUTION DE L'HUMIDITE RELATIVE INTERIEURE ET EXTERIEURE

L'évolution de l'humidité relative à l'intérieur du local PSD (HR_{int}) et celle de l'environnement extérieur (HR_{ext}) pendant la période de chauffage montre bien que le local est bien isolé (isolation, inertie des parois).

L'humidité relative intérieure de la cellule étudiée a varié entre 50% (mois de Mars) et 68% (mois de Janvier). Nous pouvons dire que le local reste dans une zone de confort hygrométrique acceptable.

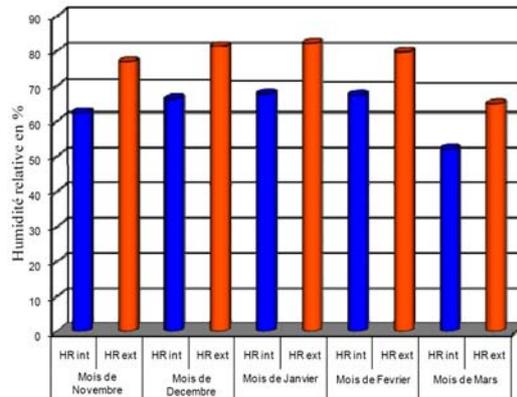


Fig. 10: Evolution de l'humidité relative intérieure (HR_{int}) et celle de l'environnement extérieur (HR_{ext})

7. CONCLUSION

Cette étude expérimentale a permis de tirer des résultats satisfaisants et appréciables sur l'utilisation de la technique du plancher solaire direct dans un climat algérien, particulièrement celui de la ville d'Oran.

Les résultats expérimentaux obtenus montrent bien l'efficacité du système PSD en matière de couverture en besoins de chauffage. La couverture solaire s'élève à plus de 67 % pour un ratio de captation de 0.2, ce qui reflète bien l'économie d'énergie apportée par le système (capteur, PSD).

La température de l'air intérieur du local PSD enregistrée pendant toute la période de chauffage, même pour des conditions de températures extérieures défavorables montre bien que le local en question dispose d'une isolation et d'une inertie thermique considérables. Les parois (forte inertie) de la cellule étudiée ont permis de réduire les déperditions vers l'extérieur et de jouer un rôle important dans le stockage de l'énergie émise par le plancher chauffant.

Toutefois l'introduction d'un système de contrôle anti-surchauffe est nécessaire pour améliorer le confort intérieur.

La simulation avec le logiciel PSD a permis de valider les résultats expérimentaux en matière de couverture solaire et d'appoint de chauffage nécessaire pour maintenir le local à une température intérieure de confort.

L'appoint reste faible ne représentant que presque 27% des besoins en chauffage.

REFERENCES

- [1] H. Kazeoui, '*Influence du Système Plancher Solaire Direct sur le Conditionnement Climatique des Locaux dans le Contexte Maghrébin*', Thèse de Magister, USTO, Algérie, 1997.
- [2] H. Kazeoui, A. Mokhtari, G. Achard et Y. Boukezzi, '*Etude du Conditionnement Climatique des Locaux dans le Contexte Maghrébin: Chauffage par PSD -Rafrâchissement par Circuit Hydraulique*', 8^{èmes} Journées Internationales de Thermiques, Marseille, 7-10 Juillet 1997.
- [3] S. Menhoudj, '*Etude de la Métrologie d'une Cellule Solaire Implantée à Oran*', Mémoire de Magister, USTO – M.B., Algérie, 2008.
- [4] J. Bernard, '*Energie Solaire, Calculs et Optimisation*', Edition Ellipses, 2004.
- [5] PSD V1.0, '*Logiciel de Calcul, PSD - Maison Individuelle*', Manuel Technique, CSTB, France, 2007.
- [6] P. Papillon, '*Contribution à l'Amélioration de la Technique du Plancher Solaire Direct, Analyse de la Solution Dalles Minces et Gestion Optimisée du Chauffage d'Appoint*', Thèse de Doctorat, Université de Savoie, 1992.
- [7] F. Mokhtari, N. Aït Messaoudène, A. Hamid et M. Belhamel, '*Etude Du Comportement Thermique d'une Maison Munie d'un Système de Chauffage Solaire*', 12^{èmes} Journées Internationales de Thermique, Tanger, Maroc, du 15 au 17 Novembre 2005.
- [8] DTU N°65.8, '*Exécution des Planchers Chauffants utilisant des Tubes en Matériaux de Synthèse à Eau Chaude*', Documents Techniques Unifiés, Février 1990.
- [9] J. Llovera, X. Potau, M. Medrano and L.F. Cabeza, '*Design and Performance of Energy-Efficient Solar Residential House in Andorra*', Applied Energy, Vol. 88, N°4, pp. 1343 – 1353, 2011.