

SIMULATION D'UN PLANCHER CHAUFFANT SOLAIRE DANS UN HABITAT

Djaffar SEMMAR¹, Fatiha MOKHTARI², Abdelkader HAMID¹, Djamel LAFRI¹

¹ LApEH, Université Saad Dahleb-Blida, Route de Soumâa, BP 270, 09000 Blida-Algerie

² Centre de développement des Energies Renouvelables, CDER, Route de l'Observatoire, Bouzeréah, Alger
djaffarsemmar@yahoo.fr, mokhtari.fatiha@gmail.com, aekham2@yahoo.fr, dlafri@caramail.com

Résumé : L'utilisation de l'énergie solaire dans les bâtiments est l'une des contributions les plus importantes pour la réduction de la consommation de combustibles fossiles et les émissions nocives dans l'environnement. L'objet de ce travail est d'étudier les différents paramètres qui influent sur le confort d'une maison munie d'un système de chauffage solaire (plancher solaire). Ce travail représente une modélisation numérique de la propagation de la chaleur dans l'habitat à travers un système de chauffage solaire. Cela nous donne une distribution homogène de la chaleur au niveau du plancher et aussi dans l'air des locaux à chauffer. Ce qui rend ce système un meilleur moyen de chauffage existant à nos jours. La simulation numérique de la maison étudiée est réalisée par le logiciel **comsol multiphysics®**. L'étude paramétrique de 12 modèles pour chaque coupe, nous a permis de connaître l'influence de la variation de la température moyenne du fluide caloporteur sur le chauffage du local et l'importance de l'emplacement du serpentin dans la dalle en béton. Cette étude peut prédire la réglementation à respecter pour avoir un climat confortable dans l'habitat en ALGERIE.

Mots clés : capteur solaire à eau, Plancher solaire chauffant, conduction, convection, Comsol Multiphysics, Thermique du Bâtiment, simulation numérique.

1. Introduction :

La première bâtisse d'efficacité énergétique en Algérie est un chalet (Figure 1) réalisé à Souidania (Alger). Le contrôle de performance qui a démarré juste après l'achèvement de la bâtisse, en été 2009, a montré qu'il est possible d'arriver à une économie d'énergie de 60%. Le projet qui s'inscrit dans le cadre du programme MEDENEC (Energy Efficiency in the construction Sector of the Mediterranean) de l'Union européenne, a été réalisé en partenariat avec le CNERIB (Centre national d'études et de recherches intégrées du bâtiment) et le CDER (Centre de Développement des Energies Renouvelables). Le programme a pour objectif de relancer les mesures relatives à l'efficacité énergétique et à l'utilisation de l'énergie solaire dans le secteur de la construction, en vue de réduire la consommation énergétique dans les pays du bassin méditerranéen.

Plusieurs travaux ont fait l'objet d'étude sur le plancher solaire [1], [2], [3] et [4]. Dans bien des cas, il y a adéquation entre la demande en rafraîchissement et l'ensoleillement disponible. Le recours à des systèmes énergétiques solaires comme alternative aux systèmes de climatisation classiques est ainsi justifié. Notre étude vient compléter ces travaux dans le but de fournir les informations thermiques nécessaires pour l'aboutissement du projet pilote.

2. Présentation de la maison :

Le modèle étudié est classé comme un projet pilote de construction d'une maison à haute efficacité énergétique « *Souidania- Alger* ». La maison est une habitation rurale de type **F3 de 70m²** de surface construite (Figure 2) au **CNERIB**.



Figure 1 : photo de la maison d'étude

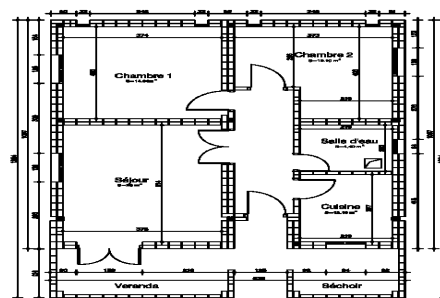


Figure 2 : Plan de la maison

2.1 Description du dispositif de chauffage :

Plusieurs éléments composent notre installation de chauffage. Ces éléments sont résumés dans la figure 3.

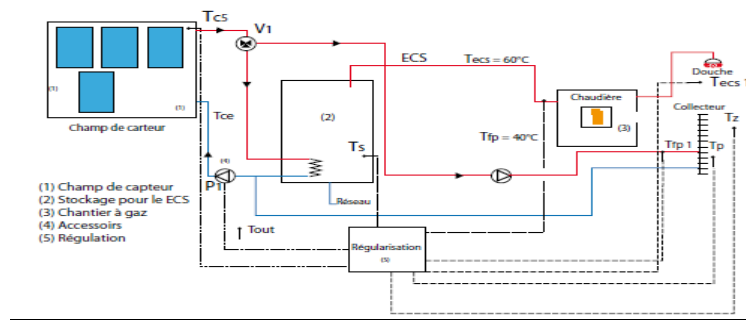


Figure 3 : schéma descriptif de l'installation

Du point de vue écologique, ensuite, l'éco-construction se concentre sur le bilan énergétique global du matériau (le BTS dans notre cas) et donc tant sur l'énergie utilisée lors de sa production que celle qu'il permettra d'économiser une fois intégré dans le bâtiment. Parmi les mesures d'efficacité énergétiques utilisées dans ce projet pilote, on cite:

- Utilisation des matériaux locaux, BTS (Béton de Terre Stabilisé) : c'est un système intéressant de par sa consommation énergétique, ses propriétés sismiques, ainsi que la disponibilité locale de la matière première ;
- Climatisation passive ;
- Grande inertie thermique : Plancher bas : 15 cm béton lourd (chauffage par plancher hiver). Plancher haut : 20 cm béton (climatisation été) ;
- Isolation horizontale et verticale (16 cm EPS en plancher haut, 9 cm EPS murs extérieurs et 6 cm PSX plancher bas) ;
- Orientation adéquate de l'ouvrage : gains solaires en hiver ; L'orientation du logement est un facteur très important à considérer, surtout pour la distribution des ouvertures :
 - l'exposition nord ne peut être retenue,
 - les expositions est et ouest sont à éviter en raison des surchauffes d'été
 - l'exposition sud est intéressante car elle permet de profiter pleinement des apports solaires en hiver et moyennant des protections solaires adéquates évitent les surchauffes d'été

L'idéal est donc une maison dont la façade principale, la plus vitrée, regarde vers le sud.

- Double vitrage : isolation aussi bien thermique que phonique Le double vitrage permet d'utiliser la faible conductivité thermique de l'air. L'insertion d'une lame d'air de quelques millimètres entre 2 feuilles de verre réduit le coefficient de transmission, global Ug du vitrage de 5,8 W/m²K à 2,9 W/m²K ;
- Traitement des ponts thermiques qui représentent jusqu'à 20% des déperditions ;
- Ventilation hygiénique par un système statique de type Astato ;
- Eau chaude solaire pour les besoins domestiques à appoint gaz séparé ;
- Plancher solaire direct (PSD) : 8 m² de capteurs solaires plans ;
- Rafraîchissement par ventilation nocturne ;
- Brasseurs d'air ;
- Végétation façade ouest : protection contre les vents froids hivernaux ;
- Ombrage (diminution de la charge de climatisation) : protections solaires horizontales et verticales ;
- Optimisation de l'éclairage naturel et utilisation d'appareils électriques à basse consommation.

2.2. Principe de fonctionnement de l'installation :

Le système est composé de quatre capteurs solaires, du plancher chauffant, d'un ballon d'eau chaude solaire et d'un fluide caloporteur (*eau*). Grâce à une forte inertie de la dalle, le fluide peut stocker et restituer la chaleur produite. Dans notre modèle, les locaux chauffés sont le séjour et les chambres (chambre1, chambre2), pour la salle d'eau et le couloire, leur chauffage est assuré par le passage de la tuyauterie d'eau chaude au-dessous du plancher bas.

La distribution des tuyauteries est faite d'une manière pour assurer une répartition homogène de la température à l'intérieur du local à chauffer (Figures 4 et 5).

Les caractéristiques des matériaux des différentes parois de la maison sont présentées dans le tableau 1.

3. Modélisation :

L'objectif de ce travail est d'établir un modèle thermique représentant une maison rural chauffée à l'aide d'un plancher chauffant solaire. Notre choix s'est porté sur le logiciel **Comsol Multiphysics®** pour l'un de ses

points forts : le couplage multi physique. En effet, cet outil de simulation numérique, basé sur la méthode des « *éléments finis* » permet de traiter de nombreux problèmes couplés grâce à sa bibliothèque intégrée d'équations physiques très variées. Il possède de plus un environnement graphique (interface CAO) permettant de réaliser rapidement des figures relativement complexes (en 1D, 1D-axisymétrique, 2D, 2D-axisymétrique ou 3D). Par défaut le maillage est automatique et se compose de triangles en 2D et de tétraèdres en 3D. le module transfert de chaleur général est choisi ainsi que l'analyse temporelle. Pour chaque sous domaine considéré, il faut fixer les valeurs des constantes ou variables qui interviennent dans les équations.



Figure 4 : Pose du serpentin (chambre 1)



Figure 5 : Pose du serpentin sur l'ensemble de la maison

Tableau 1 : Caractéristiques thermo-physiques des composants des parois

Représentation	Composition	Epaisseur e [cm]	λ [W/ (m.°k)]	$R=e/\lambda$ [m².K/W]
Mur extérieur	BTS	14	1.15	0.12
	Polystyrène	10	0.05	2.13
	BTS	29	1.15	0.25
Mur intérieur	BTS	30	1.15	0.26
Plancher Bas	Béton lourd	2	1.75	0.01
	Polystyrène expansé	6	0.046	1.54
	Béton lourd	1.5	1.75	0.09
	Mortier + Sable	3	1.15	0.03
	Carrelage	2	1.7	0.01
Plancher haut	Polystyrène expansé	16	0.046	3.47
	Béton lourd	20	1.75	0.11
	Plâtre	5	0.35	0.14

On définit les conditions aux limites sur chaque frontière du domaine dessiné. Les conditions aux limites sont prises en charge par **Comsol Multiphysics®**, elles sont différentes selon le modèle choisi. Pour l'équation de diffusion-convection, on peut fixer la valeur de flux en entrée, le coefficient d'échange convectif et aussi les parois isolées.

Dans le but de valider notre étude, nous avons choisis le modèle [2] pour comparer nos résultats en tenant compte des caractéristiques suivantes :

L'espacement entre les nœuds ; La température moyenne du fluide caloporteur et L'emplacement du serpentin dans la dalle du béton.

Après la résolution du problème, nous allons comparer les résultats obtenus avec ceux du modèle référentiel [2]. Pour bien décortiquer notre problème, on a préféré de faire deux coupes suivant des axes différents (*axe Nord-Sud* et *axe Est-Ouest*). La première coupe **Nord-Sud** (Figure 6) regroupe les deux chambres à chauffer (*chambre1 et 2*), elle présente le plancher qui a un pas constant le long de la dalle. Pour la deuxième coupe (Figure 7), la chambre 1 avec le séjour sont présentés de la même façon que la coupe 1.

3.1. Le Maillage :

Le maillage (Figure 8) comporte **60911** éléments pour la coupe1, et 75974 éléments pour la coupe 2. Le nombre de degrés de liberté résolus est de **104310**. La figure 9 représente la discrétisation de la géométrie au niveau des tubes du serpentin.

4. Résultats et interprétation :

La comparaison se fait entre l'allure qui représente la couche superficielle du béton figure **10** avec celle de **Tp** (température du plancher) théorique de la figure **11**.

La figure 10 montre l'évolution de la température du plancher sur une période de 160 h. Elle a une allure exponentielle. Vu le régime établi, on remarque qu'au bout de 50 h la température se stabilise et atteint une valeur de 29.5°C. En la comparant avec la température de plancher de l'étude [2], On constate un écart de $\Delta T=0.5^{\circ}\text{C}$ environ. Donc, on a un bon accord de température entre les deux modèles.

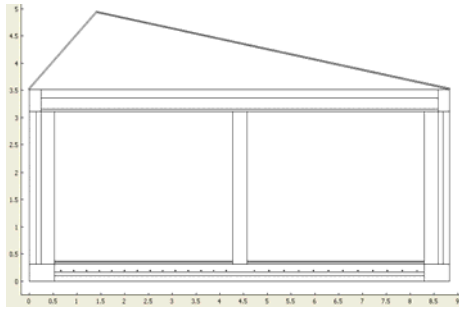


Figure 6 : Coupe 1 suivant l'axe Nord-Sud.

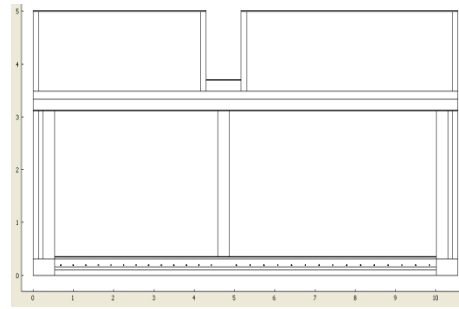


Figure 7 : coupe 2 suivant l'axe Est-Ouest.

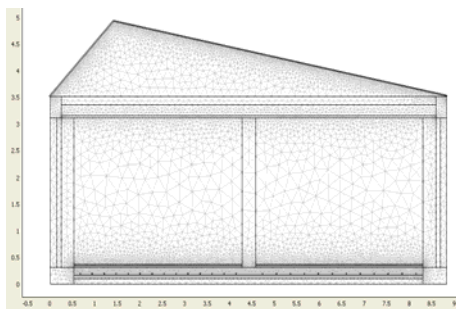


Figure 8 : maillage du domaine d'étude.

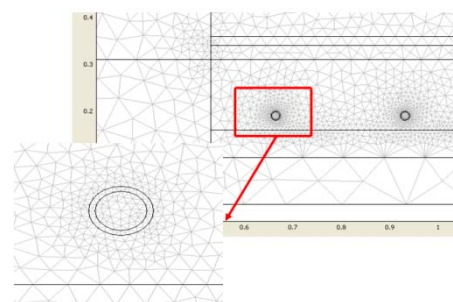


Figure 9 : Maillage au niveau des tubes

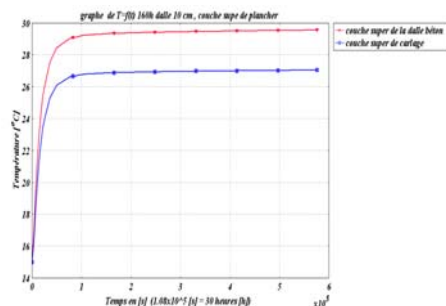


Figure 10 : Évolution de température au niveau du plancher coupe1

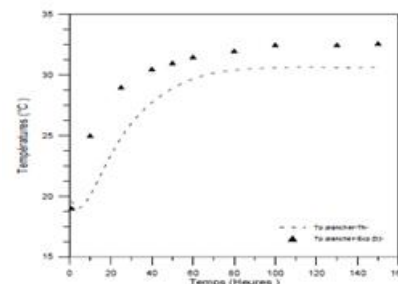


Figure 11 : Évolution de température au niveau du plancher du modèle de comparaison.

Aussi, une comparaison des températures de l'air au niveau des locaux chauffés a été effectuée. On a obtenu les mêmes températures à la même hauteur que l'étude de référence.

Les figures 12 et 13 représentent les isothermes des coupes 1 et 2 respectivement. On remarque la répartition des températures au niveau de chaque local chauffé pendant 160 h de Fonctionnement.

La figure 14 montre l'évolution de température en fonction du temps pour l'air des locaux chauffés dans plusieurs niveaux (Y variable) sur une période de 160 h. la température du fluide caloporteur est de 50°C. On remarque qu'au bout de 90 h la température se stabilise et atteint les valeurs suivantes :

Pour $Y=0\text{m}$ qui représente la surface de contact plancher-air de la chambre, la température est de 29.5°C.

Pour $Y=0.55\text{ m}$, qui représente un point dans l'air du local chauffé, la température est de l'ordre de 25°C.

Pour $Y=0.55\text{ m}$, qui représente un point dans l'air du local chauffé, a une température égale à 21.5°C.

Pour $Y=1.65\text{ m}$, la température de l'air en ce point est de 19°C environ.

Pour l'étude paramétrique, nous avons pris en considération la température moyenne du fluide caloporteur et l'emplacement du serpentin ; qui sont deux paramètres essentiels dans le chauffage des maisons par plancher chauffant. La variation de ses paramètres a pour but d'estimer leur influence sur le chauffage de l'habitat et de connaître les meilleures conditions qui donnent de bons résultats.

La figure 15 représente la variation de la température dans le local chauffé obtenue pour une température moyenne du fluide de 50°C. En analysant ces allures nous avons constaté que les températures du plancher, sont limitées par l'intervalle [31, 36 °C]. Les températures de l'air prennent des valeurs plus de 25 °C comme une

valeur moyenne pour tous les emplacements étudiés. Pour les dimensions du modèle choisit, à une température moyenne du fluide caloporteur égale à 50°C avec différents emplacements du serpentín dans la dalle du béton, nous avons obtenu des résultats défavorables, alors il faut diminuer la température du fluide caloporteur pour avoir la température voulue répartie d'une manière homogène dans tout le local chauffé.

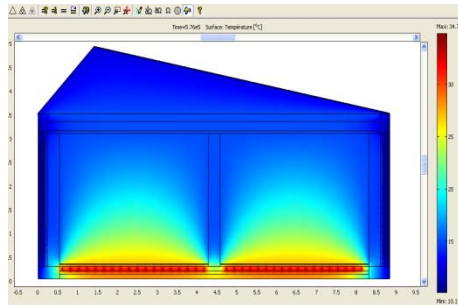


Figure 12 : Isothermes pour 160 h (coupe1)

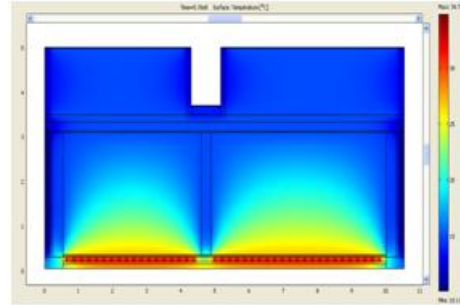


Figure 13 : Isothermes pour 160 h (coupe2)

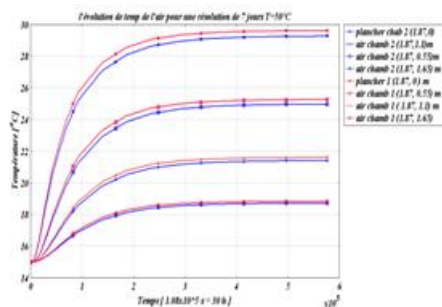


Figure 14 : Evolution des températures pour 160 h

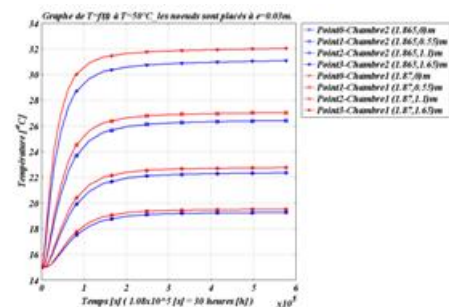


Figure 15 : L'évolution de température pour l'épaisseur de 3cm avec $T_{\text{moy}}=50^\circ\text{C}$ (coupe1)

Conclusion

Le travail que nous avons entrepris a porté sur l'étude numérique de propagation de la chaleur d'un système de chauffage d'habitat par plancher chauffant solaire. Pour atteindre la température de confort avec la diversité des paramètres constituant le modèle étudié, nous avons constaté que la température moyenne du fluide caloporteur est le paramètre le plus important dans le chauffage des habitats. Il suffit juste de jouer sur sa valeur initiale jusqu'à l'obtention du résultat souhaité.

Références

- [1] S. TALAL, « Intégration des composons solaires thermique actifs dans la structure bâtie », Thèse de doctorat, institue national des sciences appliquées de Lyon (2007).
- [2] F. MOKHTARI, « Etude d'une boucle régulée capteur-plancher solaire », Thèse magister, université SAAD DAHLEB Blida (2005).
- [3] J. NOEL, S. LEPERS, J. VIRGONE, Amélioration du confort d'été sur des bâtiments à ossature légère par des matériaux à changement de phase, Journée thématique SFT-IBPSA, Froid solaire et confort d'été, 25 avril 2007, Aix-les-Bains.
- [4] R.KHARCHI, « Etude expérimentale du comportement thermique d'un plancher solaire direct », Thèse de Magister, Université de Blida 2002.
- [5] A. Laouadi, Development of a radiant heating and cooling model for building energy simulation software, Building and Environment 39 (2004) 421 – 431.
- [6] D. Zhang, N. Cai, Z. Wang, Experimental and numerical analysis of lightweight radiant floor heating system, Energy and Buildings 61 (2013) 260–266