

---

---

Soumis le : 15 Mars 2015

Forme révisée acceptée le : 14 Mai 2015

Email de l'auteur correspondant

belkacem.nafissa@gmail.com

---

---

---

---

**Nature & Technologie**

---

---

## Simulation des charges thermiques dans une habitation pilote à plancher réversible

<sup>a</sup> N. BELKACEM, <sup>a</sup> L. LOUKARFI, <sup>a</sup> A. KHELIL, <sup>b</sup> H. NAJI, <sup>a</sup> M. BRAIKIA, <sup>c</sup> M. MISSOUM

<sup>a</sup> *laboratoire de Contrôle, Essai, Mesure et Simulation Mécaniques, Université Hassiba Benbouali, Chlef, Algérie*

<sup>b</sup> *laboratoire de Génie civil et géo-Environnement, Université d'Artois, Béthune, France*

<sup>c</sup> *Centre de développement des énergies renouvelables, Route de l'observatoire, BP 62, Bouzaréah, Alger, Algérie*

---

### Abstract

The aim of this paper is to study a bioclimatic house using solar energy which must guarantee the feeling of comfort for its occupants. It is located at Souidani west of Algiers (Algeria). This prototype is tested in order to obtain good energy efficiency to enable energy savings.

The work presented in the Algerian climatic conditions, is a heating and cooling system of a house by reversible underfloor. The technique is used in order to ensure a comfortable climate throughout the year. We proceed to the numerical simulation of the thermal behavior of the indoor environments of the house considered, using the Fluent software. The results show that the reversible underfloor heaters all the rooms of the habitat, homogeneously, and also contributes to its cooling in summer. This system provides thermal comfort superior to other conventional systems.

*Keywords:* energy efficiency; thermal comfort; reversible underfloor; numerical simulation.

---

### Résumé

Cette contribution a pour objet d'étudier une habitation bioclimatique utilisant l'énergie solaire qui doit garantir la sensation de confort pour ses occupants. Elle est située à Souidani à l'ouest d'Alger (Algérie). Ce prototype est testé en vue d'obtenir une bonne efficacité énergétique pour permettre des économies d'énergie.

Le travail présenté, dans les conditions climatiques algériennes, consiste en un système de chauffage et de rafraîchissement d'une maison par plancher réversible. La technique est utilisée dans le souci d'assurer un confort climatique pendant toute l'année. On procède à la simulation numérique du comportement thermique des ambiances intérieures de la maison considérée, en utilisant le logiciel Fluent. Les résultats montrent que le plancher réversible chauffe l'intégralité des pièces de l'habitat, de manière homogène, et contribue également à son rafraîchissement en été. Ce système procure un confort thermique supérieur aux autres systèmes conventionnels.

*Mots Clés :* efficacité énergétique; confort thermique; plancher réversible; simulation numérique.

---

### 1. Introduction

L'amélioration des conditions de confort et la réduction des charges liées au rafraîchissement et au chauffage par des moyens écologiques à faible coût énergétique sont considérées aujourd'hui comme une priorité absolue dans le monde entier. En Algérie le secteur résidentiel représente à lui seul 40% de la consommation énergétique [1], presque exclusivement

dépendant des énergies fossiles. La construction de nouveaux bâtiments progresse rapidement et l'impact sur la demande de l'énergie et sur l'environnement sera énorme. Dans le cadre des efforts fournis par le gouvernement algérien pour l'application de l'efficacité énergétique dans les nouvelles constructions, une maison pilote a été construite à l'ouest d'Alger. Grâce à son architecture bioclimatique, à son enveloppe performante et à son excellente étanchéité à l'air [2], cette habitation donne une sensation de confort thermique à ses occupants. Dans ce contexte, des travaux de recherche, menés au CNERIB 'Centre National d'Etudes et de Recherches Intégrées du Bâtiment', ont permis

l'élaboration et l'adoption de deux Documents Techniques Réglementaires, DTR C3-2 'Réglementation Thermique des Bâtiments d'Habitation - Règles de Calcul des Déperditions Calorifiques, 'Fascicule 1' et DTR C 3-4, 'Règles de Calcul des Apports Calorifiques des Bâtiments (Climatisation), 'Fascicule 2'. [3,4].

Dans cette étude, l'utilisation du logiciel de simulation numérique Fluent<sup>TM</sup> permet de visualiser le profil de température en régime permanent d'un local, d'une habitation chauffée et rafraîchie par un plancher réversible. Des travaux de recherche ont été réalisés dans l'élaboration de programmes généraux d'écoulement de fluides et de transfert de chaleur pour résoudre le flux d'air dans une pièce.

Ainsi, Stamou & Katsiris [5] ont appliqué le modèle basé SST k- $\omega$  pour calculer les vitesses d'écoulement d'air et les températures dans une salle de bureau modèle. Les calculs sont comparés avec les résultats expérimentaux et les résultats du k- $\varepsilon$  standard, le RNG k- $\varepsilon$  modèle et le modèle laminaire. Les résultats montrent que les trois modèles turbulents testés prédisent de manière satisfaisante les principales caractéristiques qualitatives du flux thermique et du champ de température. Le modèle basé SST k- $\omega$  a montré le meilleur accord avec les données mesurées.

Sevilgen & Kilic [6] ont étudié une pièce chauffée par des radiateurs à deux panneaux. Un mannequin en position assise simulant un occupant a été pris en compte dans le modèle de la chambre. Les surfaces du mannequin ont été supposées à température constante. Les interactions thermiques entre la surface du corps humain et l'environnement de la chambre, le flux d'air, la température, l'humidité et les caractéristiques locales de transfert de chaleur du mannequin et les surfaces de la pièce ont été calculées numériquement par le modèle turbulent k- $\omega$  dans différentes conditions environnementales. Les résultats montrent que la consommation d'énergie peut être considérablement réduite tout en augmentant le confort thermique en utilisant des matériaux isolants pour la paroi extérieure et des fenêtres performantes énergétiquement.

## 2. Formulation des déperditions thermiques

Avant de procéder à la simulation numérique, il est nécessaire de faire un bilan thermique du local considéré, en se basant sur les équations contenues dans le document technique réglementaire, 'DTR C 3-2.

### 2.1. Déperditions totales d'un volume

Les déperditions totales  $D_i$  d'un volume  $i$  sont données par:

$$D_i = (D_T)_i + (D_R)_i \quad (1)$$

\*CNERIB : Centre National d'Etudes et de Recherches Intégrées du Bâtiment, Cité Nouvelle El Mokrani – Soudania, Alger, Algérie

Où  $D_i$  sont les déperditions totales du volume  $i$  considéré,  $D_T$  sont les déperditions thermiques par transmission et  $D_R$  sont les déperditions thermiques par renouvellement d'air.

### 2.2. Déperditions par transmission d'un volume ( $i$ )

Les déperditions par transmission  $(D_T)_i$  d'un volume  $i$  à travers son enveloppe sont données par:

$$(D_T)_i = (D_s)_i + (D_{li})_i + (D_{sol})_i + (D_{inc})_i \quad (2)$$

Où  $(D_T)_i$  sont les déperditions thermiques par transmission d'un volume  $i$ ,  $D_s$  les déperditions surfaciques à travers les parties courantes des parois en contact avec l'extérieur,  $D_{li}$  sont les déperditions à travers les liaisons,  $D_{sol}$  sont les déperditions à travers les parois en contact avec le sol, et  $D_{inc}$  sont les déperditions à travers les parois en contact avec les locaux non chauffés.

### 2.3. Déperditions par renouvellement d'air

Les déperditions par renouvellement d'air  $D_R$  d'un local ont pour expression:

$$D_R = 0.34 \times (Q_v + Q_s) \quad (3)$$

Où  $D_R$  sont les déperditions thermiques par renouvellement d'air, 0,34 (en Wh/m<sup>3</sup>.°C) est la chaleur volumique de l'air (ce qui équivaut à 1.224 KJ/m<sup>3</sup>.K),  $Q_v$  est le débit spécifique de ventilation et  $Q_s$  est le débit supplémentaire par infiltration dû au vent.

$$Q_v = \text{Max}[0.6 \times V_h; Q_{vref}] \quad (4)$$

Où  $Q_v$  est le débit spécifique de ventilation,  $V_h$  est le volume habitable du local et  $Q_{vref}$  est le débit de ventilation extrait de référence.

On admet, qu'en hiver, les dispositifs de ventilation calculés pour permettre un taux de ventilation de l'ordre de 0,6 fois le volume habitable par heure répondent aux exigences de confort thermique et d'hygiène.

$$Q_{vref} = (5 Q_{vmin} + Q_{vmax}) / 6 \quad (5)$$

Où  $Q_{vref}$  est le débit de ventilation extrait de référence,  $Q_{vmax}$  est le débit de ventilation extrait maximal de référence et  $Q_{vmin}$  est le débit de ventilation extrait minimal de référence.

Notons que le débit extrait de référence est égal à la valeur pondérée par rapport au temps d'un débit extrait maximum de référence établi pour une durée de 4 h par jour et d'un débit extrait minimal de référence établi le reste du temps (le rapport 4h/24h donne un poids de

pondération égale à 6 qui apparaît dans l'équation (5)). Signalons que les températures extérieures et intérieures prises pour le calcul sont la température extérieure de base et la température intérieure de base pour la zone climatique A (hiver frais et été chaud et humide).

#### 2.4. Formulation de la puissance de chauffe

La puissance  $Q$  nécessaire pour établir le confort dans le local dépend du type de système de chauffage utilisé. Pour un système de chauffage par radiateur ou par plancher chauffant, elle est donnée par:

$$Q = (T_{bi} - T_{be}) \times ((1 + \text{Max}(C_r; C_{in})) \times DT) + ((1 + C_r) \times DR) \quad (6)$$

Où  $Q$  est la puissance de chauffe,  $T_{be}$  est la température extérieure de base,  $T_{bi}$  est la température intérieure de base,  $C_r$  est le ratio estimé des pertes calorifiques dues au réseau de tuyauteries éventuel,  $C_{in}$  est le coefficient de surpuissance,  $D_T$  sont les déperditions thermiques par transmission et  $D_R$  sont les déperditions thermiques par renouvellement d'air.

Pour un système de chauffage par pompe à chaleur, la puissance de chauffe est donnée par :

$$Q = \dot{m} \times C_p \times (T_R - T_{bi}) \quad (7)$$

Où  $Q$  est la puissance de chauffe,  $\dot{m}$  est le débit massique,  $C_p$  est la chaleur spécifique de l'air,  $T_R$  est la température de l'air sortant de la pompe à chaleur et  $T_{bi}$  est la température intérieure de base.

$$\dot{m} = \rho \times v \times s \quad (8)$$

Où  $\dot{m}$  est le débit massique,  $\rho$  est la masse volumique de l'air  $v$  est la vitesse d'entrée de l'air de la pompe à chaleur, et  $s$  est la surface de la grille de ventilation. Dans cette étude, la surface de la grille de ventilation est supposée avoir les dimensions '0.1x1' m<sup>2</sup>. Notons que dans cette étude, on ne prend pas en compte ni les pertes calorifiques dues au réseau de tuyauteries éventuelles ( $C_r = 0$ ), ni le rendement de la PAC

### 3. Description du local et des Systèmes de chauffage intégrés

#### 3.1. Le local

Une habitation bioclimatique pilote a été construite à Souidania, commune située à 21 km au sud-ouest de la wilaya d'Alger. Réalisée par le Centre National d'Etudes et de Recherches Intégrées du Bâtiment (CNERIB) en collaboration avec le Centre de Développement des Energies Renouvelables (CDER) dans le cadre du projet *Revue « Nature & Technologie ». C- Sciences de l'Environnement, n° 13/ Juin 2015. Pages 17 à 22*

MED-ENEC (Energy Efficiency in Buildings for Mediterranean Countries), cette première maison à haute efficacité énergétique en Algérie est construite en Bloc de Terre Stabilisé (BTS). Cette maison de type F3 se trouve dans une région qui fait partie de la zone climatique A.

Dans notre étude, on ne prendra en charge que la pièce de référence qui est le salon (la pièce de référence qui a la charge calorifique la plus élevée par rapport à la totalité des pièces de la maison) comme le montre la figure 1. Le local d'habitation est de dimensions intérieures 5,14 × 3,74 × 2,75 m<sup>3</sup>, avec un plancher sur terre plein. Il dispose d'une fenêtre de 1,70 × 1,40 m<sup>2</sup> à une distance de 1m au-dessus du niveau du plancher bas orientée vers le sud et une porte fenêtre de 1,41 × 2,20 m<sup>2</sup> orientée vers l'est. La fenêtre et la porte fenêtre sont supposées hermétiques et en double vitrage. La porte du salon intégrée au mur intérieur n'influe pas beaucoup sur les résultats de la simulation, car elle sépare le local du couloir qui est supposé chauffé aussi, comme le montre la figure 2.

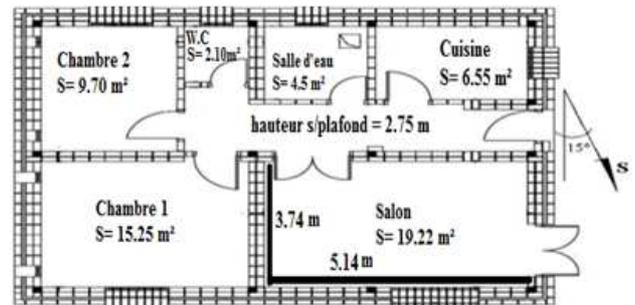


Fig. 1. Plan de la maison prototype.

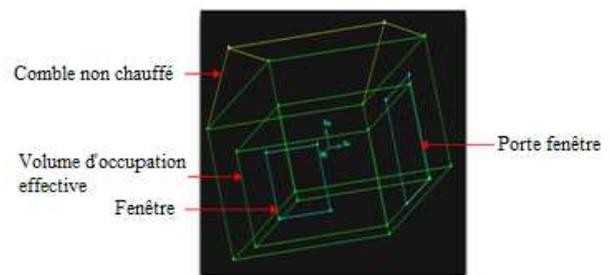


Fig. 2. Description du local étudié (Gambit).

La zone d'occupation du local est définie avec un retrait de 0.4 m de tous les murs et d'une hauteur de 2 m au-dessus du plancher bas.

#### 3.2. Description des systèmes de chauffage

Afin de rester dans le contexte de la rationalisation de l'énergie et de la protection de l'environnement, la maison modèle a été équipée d'un plancher solaire direct (PSD). Dans ce système, le fluide caloporteur, chauffé par les capteurs solaires, circule directement dans un plancher via un serpentín sans passer par un réservoir de stockage. L'inertie du plancher permet le stockage thermique et sa restitution dans le volume chauffé après un certain temps.

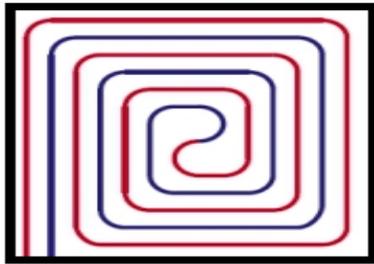


Fig. 3. Circuit hydraulique d'un plancher chauffant

Afin d'évaluer le confort thermique du local, on comparera les résultats numériques obtenus pour ce même local chauffé avec ceux obtenus en utilisant une pompe à chaleur (PAC) air/air.

#### 4. Procédés de simulation thermique

Pour le cas étudié, la résolution numérique des équations a été effectuée pour une configuration tridimensionnelle via la méthode des volumes finis [7]. Les différentes simulations ont été réalisées en régime permanent avec des conditions aux limites constantes. Le modèle de turbulence utilisé dans cette étude est le modèle  $k-\epsilon$  standard. Ce choix a été guidé par le fait qu'il donne, en général, de bons résultats dans les configurations simples.

##### 4.1. Conditions aux limites

Pour permettre la simulation du modèle, nous avons pris en considération les conditions aux limites suivantes:

Tableau 1

Coefficient d'échange thermique ( $W/m^2.K$ )

	Plancher bas	Plancher haut	Murs	Vitrage
U	0.51	0.23	0.39	1.26

Les valeurs du coefficient d'échange montrent la performance, l'isolation renforcée et l'inertie thermique importante des parois de la maison considérée.

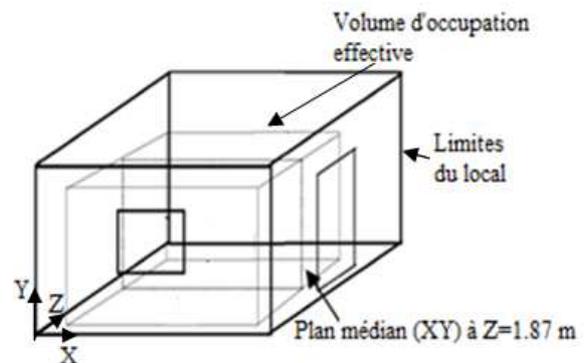
##### 4.3. Puissance de chauffe

Pour le système de chauffage (voir Eq. (6)), la puissance de chauffe nécessaire calculée est égale à 850W.

Pour le cas 1 (plancher chauffant) avec un fluide caloporteur circulant dans les conduites, chauffé à une température de  $40^{\circ}C$  ( $313.15 K$ ), nous obtiendrons une température superficielle du plancher bas égale à  $26^{\circ}C$ , ce qui permet de satisfaire, sans difficulté, la température maximale de sol réglementaire ( $28^{\circ}C$ ), et un flux de

\*CNERIB : Centre National d'Etudes et de Recherches Intégrées du Bâtiment, Cité Nouvelle El Mokrani – Soudania, Alger, Algérie

La température du comble non chauffé au dessus du local est égale à  $12^{\circ}C$ . La puissance de chauffe pour le plancher chauffant est supposée répartie uniformément sur la surface du plancher plan médian.

Fig. 4. Plan (X,Y) à  $Z=1.87 m$ 

Le plan XY, à  $Z=1.87 m$  (milieu du local) est supposé isotherme. La bouche d'entrée d'air chaud de la pompe à chaleur est considérée de type «vitesse d'entrée» selon Fluent. Il est à noter que cette condition aux limites est utilisée dans le cas d'un écoulement incompressible, afin de définir la vitesse d'écoulement ainsi que toutes les propriétés caractéristiques de cet écoulement.

##### 4.2. Coefficients d'échanges thermiques globaux

Les coefficients de transmission thermique de chaque paroi du local considéré (salon) sont donnés dans le tableau suivant :

chaleur suffisant pour satisfaire les besoins en chauffage du local.

Pour le cas 2 (PAC), le chauffage est assuré par une pompe à chaleur air/air où l'air chaud est soufflé à l'intérieur du local. Pour subvenir aux besoins énergétiques de chauffage du local considéré, l'air est soufflé à l'intérieur du local avec une température égale à  $27^{\circ}C$  et une vitesse de soufflage égale à  $1.3 m/s$ .

#### 4.4. Maillage

Notre choix s'est porté sur un maillage avec des éléments tétraédriques et le maillage du volume complet avec Gambit a donné lieu à 1 493 568 cellules.

### 5. Résultats

#### 5.1. Isothermes des températures

La figure 5 ci-après montre les isothermes des températures dans le plan (XY) au milieu du local à  $Z=1.87$  m pour les deux types de chauffage utilisés.

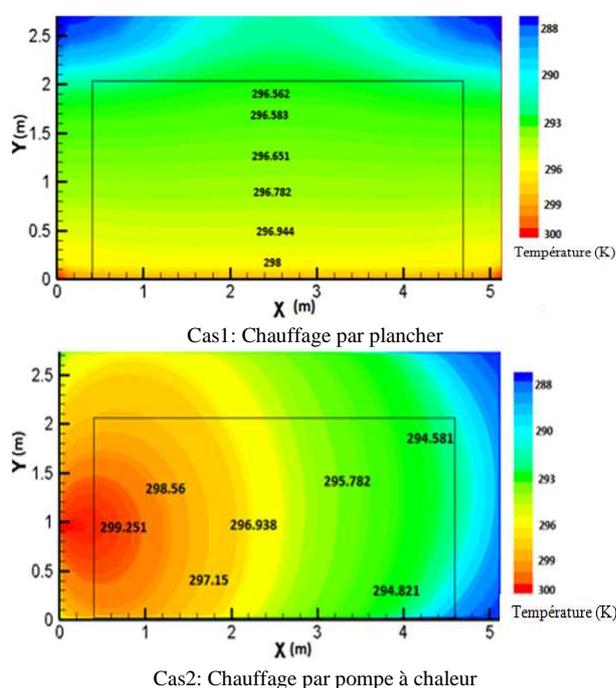


Fig. 5. Simulation des températures intérieures du local au plan  $Z=1.87$  m

Nous remarquons que pour le chauffage par plancher bas (cas 1), la température de l'air dans la zone d'occupation représentée sur la figure 5 varie entre 298 K et 296.5 K, soit 24 et 22.3 °C, ce qui donne une variation d'environ 1.7 °C entre le plancher bas et une hauteur de 2 m. Par contre pour le cas 2 (chauffage par pompe à chaleur), nous remarquons une variation de l'air comprise entre 299.15 et 294.58 K, soit 26 et 21.43 °C, cette température est plus élevée au voisinage de la pompe à chaleur et moins importante au côté opposé de celle-ci.

Avec la pompe à chaleur, l'écart de température atteint 4.57°C. Mais avec le plancher bas, cet écart ne dépasse pas 2°C. Ceci montre l'intérêt du plancher chauffant vu qu'il donne une sensation de confort aux occupants et ce grâce à une homogénéisation des températures dans le local étudié, tout en permettant d'avoir un système de production d'énergie alternative par captage solaire thermique respectueux de l'environnement.

*Revue « Nature & Technologie ». C- Sciences de l'Environnement, n° 13/ Juin 2015. Pages 17 à 22*

#### 5.2. Période estivale

Améliorer le confort, en été, des occupants d'une maison sans être obligé de réaliser une véritable installation de climatisation est devenu un objectif crédible dès lors que l'on dispose d'une pompe à chaleur ou d'un plancher chauffant.

Dans le cas 1 (Plancher réversible), on fait circuler de l'eau froide dans les grilles pour rafraîchir l'ambiance intérieure pendant la période estivale. Pour cette étude, on suppose que le fluide caloporteur qui circule dans la grille du plancher est refroidi à une température égale à 19°C, afin d'éviter le risque de condensation, dans le local. Ainsi le calcul de la température du plancher donne alors une valeur égale à 22 °C (295.15 K). Les résultats des températures intérieures selon le plan (XY) défini précédemment, sont présentés sur la figure 6 suivante.

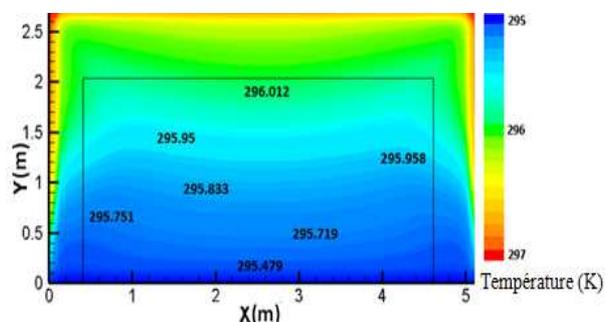


Fig. 6. Simulation des températures intérieures du local au plan  $Z=1.87$  m, rafraîchi par plancher réversible

Le cas 2 (Pompe à chaleur réversible) peut très bien être utilisé pour le chauffage en période hivernale et comme moyen de rafraîchissement en période estivale. En effet pour diminuer la température intérieure d'un local, on peut considérer une pompe à chaleur comme source d'air frais. Dans le cas étudié on estime la température de l'air diffusé par la pompe, égale à 20°C.

Les températures intérieures du local considéré selon le plan (XY) et défini précédemment, sont présentées sur la figure 7 suivante.

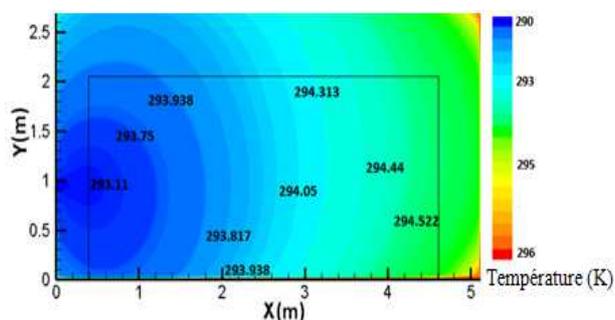


Fig. 7. Simulation des températures intérieures du local au plan  $Z=1.87$  m, rafraîchi par pompe à chaleur

D'après les résultats obtenus, on remarque que les températures intérieures du local sont légèrement basses pour le cas 2 que pour le cas 1. En effet l'utilisation de la pompe à chaleur réversible (cas 2) comme moyen de climatisation du local a donné des températures intérieures qui varient entre 20 et 21.3°C, vu que le local est supposé vide sans aucune activité humaine ou mécanique donc sans aucun apport thermique susceptible d'augmenter la température intérieure du local.

Par contre pour le cas 1, on remarque des températures intérieures un peu plus élevées qui varient entre 22,3 et 23 °C. Ceci explique que le plancher réversible est utilisé comme moyen de rafraîchissement pour éviter le risque de condensation au niveau du plancher. Cela dit, un plancher réversible utilisé avec une ventilation nocturne, peut donner un niveau de confort thermique plus amélioré, et des économies d'énergie appréciables [8].

## 6. Conclusion

La simulation thermo-aéraulique de l'air ambiant dans une habitation bioclimatique a été réalisée en utilisant le logiciel Fluent. Les résultats numériques obtenus ont pu prédire les conditions thermiques globales dans le local d'habitation et ce pour deux cas de chauffage et rafraîchissement considérés. A travers ces résultats, on peut avancer avec prudence que le local d'habitation équipé d'un plancher réversible génère un meilleur confort thermique par rapport au système conventionnel pendant les périodes hivernale et estivale et ce, dans l'attente de valider le modèle proposé.

Il ressort de cette étude que la performance énergétique du système de plancher réversible en chauffage et en rafraîchissement est particulièrement adapté aux projets basse consommation. Il est parfaitement sain et est surtout indiqué pour les projets de haute qualité environnementale.

## Références

- [1] Consommation Énergétique Finale de l'Algérie, Données & Indicateurs APRUE, Algérie, 2014.
- [2] F. MOKHTARI, L. LOUKARFI, K. IMESSAD, L. DERRADJI, R. KHARCHI, Experimental study of building envelope insulation performance, International Renewable and Sustainable Energy Conference, Ouarzazet-Morocco, 2013.
- [3] Document Technique Réglementaire "Règlement thermique des bâtiments d'habitation – Règles de calcul des déperditions calorifiques", DTR C3-2 fascicule 1, CNERIB, Alger, Algérie, 2005.
- [4] Document Technique Réglementaire, Règlement thermique des bâtiments d'habitation – Règles de calcul des apports calorifiques des bâtiments, DTR C3-4 fascicule 2, CNERIB, Alger, Algérie, 2005.
- [5] A. STAMOU, I. KATSIRIS, Verification of a CFD model for indoor air flow and heat transfer, Building and Environment, vol. 41, pp.1171-1181, 2006.
- [6] G. SEVILGEN, M. KILIC, Numerical analysis of air flow, heat transfer, moisture transport and thermal comfort in a room heated by two-panel radiators, Energy and buildings, Vol 43, pp.137-146, 2011.
- [7] Technical report, Fluent 6.3, Getting started guide, Fluent Inc. , Lebanon, NH, USA , 2006.
- [8] K. IMESSAD, L. DERRADJI, N.A. MESSAOUDENE, F. MOKHTARI, A. CHENAK, 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.