

Confort thermique d'un local d'habitation: Simulation thermoaéraulique pour différents systèmes de chauffage

Farid Boudali Errebai ^{1*}, Lotfi Derradji ¹, Yassine Maoudj ¹,
Mohamed Amara ¹ et Abderrahmane Mokhtari ²

¹ Centre National d'Etudes et de Recherches Intégrées du Bâtiment, 'CNERIB'
Cité Nouvelle El Mokrani, Soudania, Alger, Algérie

² Faculté d'Architecture et de Génie Civil, 'USTO'
B.P. 1505, El M'Naouar, Oran, Algérie

(reçu le 21 Novembre 2011 – accepté le 26 Mars 2012)

Résumé - *Le choix du mode de chauffage dans une habitation est un facteur important pour assurer le confort des habitants, ainsi que la réduction des besoins en chauffage, qui elle-même participe à la réduction des gaz à effet de serre. Nous présentons dans ce cadre, une étude qui consiste à faire des simulations numériques du comportement thermo-aéraulique des ambiances intérieures des locaux d'habitation, en utilisant un logiciel de mécanique des fluides. L'objectif principal de ce travail est l'évaluation du confort thermique dans le local en comparant les résultats numériques obtenus pour un local d'habitation chauffé par différents systèmes. Les résultats obtenus montrent que l'utilisation d'un système de chauffage par plancher chauffant dans un local d'habitation permet d'assurer un meilleur confort thermique.*

Abstract - *The choice of the method for heating a home is an important factor to ensure the comfort of the inhabitants as well as reducing heating needs, which in turn helps reduce greenhouse gas emissions. We present in this context, a study on numerical simulations of thermal environments airflow inside residential premises, using a fluid mechanics software. The main objective of this work is the evaluation of thermal comfort in the room by comparing the numerical results obtained for a dwelling heated by different systems. The results obtained show that the use of an under floor heating system in a dwelling provides a better thermal comfort.*

Mots clés: Indices de confort thermique - CFD - Ventilation - Chauffage.

1. INTRODUCTION

La fonction essentielle d'une habitation est d'assurer une ambiance intérieure bien adaptée à nos besoins et à notre confort. L'habitant place souvent son confort avant les économies d'énergie. Dans le but d'utiliser au mieux l'énergie à disposition dans les bâtiments, il convient donc de planifier la construction et les installations de façon à consommer moins d'énergie tout en assurant un confort convenable.

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 C 3-2 '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', [1, 2].

* Farid-B16@hotmail.com

Dans cette étude, on s'intéresse à visualiser, en utilisant le logiciel de simulation numérique Fluent™, le profil de la température en régime permanent d'un local d'habitation chauffé différemment en utilisant les systèmes de chauffage suivants:

- chauffage par radiateur (Cas 1),
- chauffage par plancher bas (Cas 2),
- chauffage par pompe à chaleur 'Soufflage de l'air chaud' (Cas 3).

On s'intéresse aussi à étudier l'influence du type de chauffage sur le confort thermique, qui est caractérisé par les deux indices, PMV (Pourcentage de Vote Moyen) et PPD (Pourcentage de Personnes Insatisfaites) [3, 4].

Des travaux de recherche ont été effectués dans ce contexte:

- F.Z. Chafi *et al.* [5] ont étudié la distribution de température et le mouvement de l'air dans une pièce modèle avec un modèle numérique basé sur les équations d'Euler. Les résultats numériques obtenus pour deux scénarii de ventilation et de chauffage sont comparés avec les prédictions d'un modèle Navier-Stokes, ainsi que des résultats expérimentaux. Ils ont aussi fait une comparaison des indices de confort thermique local PMV et PPD obtenue expérimentalement et numériquement et ils ont démontré que le modèle d'Euler est capable d'estimer correctement la distribution de température, le mouvement de l'air et les indices de confort dans la salle.

- J.A. Myhren *et al.* [6] ont étudié la performance des émetteurs de chaleur dans un local et son interaction avec le système de ventilation. L'étude est faite en utilisant la simulation numérique. L'exploitation a permis la visualisation des profils de vitesse, l'optimisation du confort thermique ainsi que la comparaison entre les différents systèmes de chauffage par radiateurs intégrés. Les résultats obtenus ont montré que le chauffage par radiateur ventilé offre un climat thermique plus stable que celui par radiateur classique dans d'un local.

2. FORMULATION DES DEPERDITIONS THERMIQUES

Avant de procéder à la simulation numérique, il est nécessaire de faire un bilan thermique du local d'habitation, 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:

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

2.1.1 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:

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

2.1.2 Déperditions par renouvellement d'air

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

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

avec

$$Q_v = \text{Max}[0.6 \times V_h, Q_{v\text{ref}}] \quad (4)$$

$$Q_{v\text{ref}} = \frac{5 Q_{v\text{min}} + Q_{v\text{max}}}{6} \quad (5)$$

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.

2.2 Formulation de la puissance de chauffage

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:

$$Q = (T_{bi} - T_{be}) \times (((1 + \text{Max}(C_r, C_{in})) \times D_T) + ((1 + C_r) \times D_R)) \quad (6)$$

- Pour un système de chauffage par pompe à chaleur, elle est donnée par:

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

avec:

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

Note: Dans cette démarche, on ne prend pas en compte:

- Les pertes calorifiques dues au réseau de tuyauteries éventuelles,
- le rendement de l'appareil de chauffage.

3. DESCRIPTION DU LOCAL ET DES SYSTEMES DE CHAUFFAGE INTEGRES

3.1 Le local

On considère un local mono zone d'habitation de dimensions intérieures: '3,40 × 3,00 × 2,60' m³, avec un plancher bas en contact avec un local non chauffé. Il dispose d'une fenêtre de 1,20 m × 1,00 m à une distance de 1,00 m au-dessus du niveau du plancher bas et d'une porte de 0,80 m × 2,10 m (Fig. 1). La porte et la fenêtre sont supposées hermétiques.

Trois types de chauffage ont été choisis pour le local:

- Cas 1 : chauffage par radiateur (Fig. 2),
- Cas 2 : chauffage par plancher chauffant (Fig. 3),
- Cas 3 : chauffage par pompe à chaleur (Fig. 4).

Pour assurer un renouvellement d'air dans le local, deux bouches d'entrée et de sortie d'air de même dimension (0,4 m × 0,025 m) ont été considérées. Elles sont situées à une distance de 2,30 m au-dessus du plancher bas, avec la bouche d'entrée placée au-dessus de la fenêtre et la bouche d'extraction au-dessus de la porte (Fig. 1).

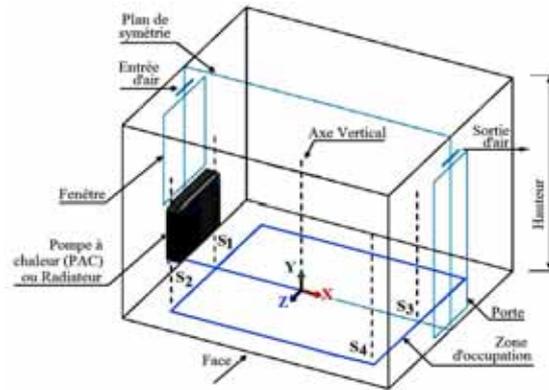


Fig. 1: Description du local et des équipements

Note:

1. La zone d'occupation du local est définie sur le plan horizontal avec un retrait de 0,4 m de tous les murs et d'une hauteur de 1,7 m au-dessus du plancher bas.

2. Les répartitions de température sont représentés sur le plan de symétrie ainsi que sur des points représentés dans les différentes situations (S_1, \dots, S_4) de $Y = 0.1$ m à $Y = 1.7$ m montrées sur la figure 1.

3.2 Systèmes de chauffage

a- Cas 1: Chauffage par radiateur

Système de chauffage classique couramment utilisé en Algérie. Il s'agit d'un émetteur de chaleur de type plan ou colonnes (Fig. 2) dans lequel circule un fluide caloporteur pouvant atteindre des températures de l'ordre de 80 °C, permettant des échanges de chaleur avec l'ambiance intérieure du local.

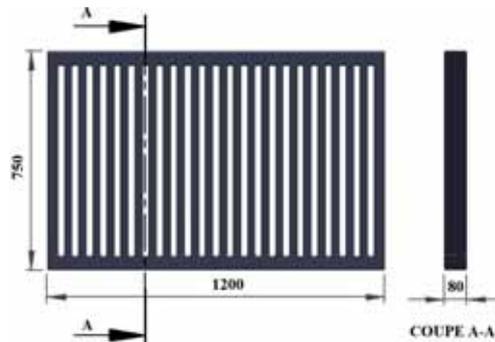


Fig. 2: Radiateur du local

b- Cas 2: Chauffage par plancher chauffant

Le chauffage est assuré par un plancher chauffant à basse température (température de surface de l'ordre de 26 °C), où un circuit hydraulique (Fig. 3) est noyé dans une dalle en béton et dans laquelle circule un fluide caloporteur (température de l'ordre de 50 °C). Le système est moins répandu en Algérie, vu le manque d'informations sur ses avantages et ses inconvénients, ainsi que sa mise en œuvre.

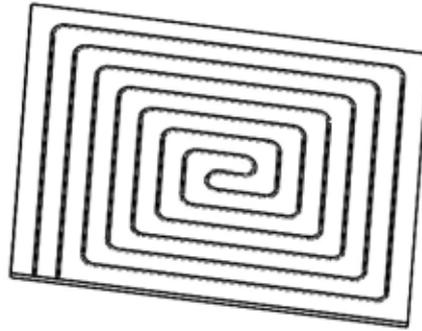


Fig. 3: Système de chauffage par plancher

Remarque:

Pour simplifier les calculs, nous avons supposé que la puissance de chauffe est répartie uniformément sur la surface de plancher.

c- Cas 3: Chauffage par pompe à chaleur (PAC)

Le chauffage est assuré par une pompe à chaleur (PAC) de type air/air (Fig. 4), ou l'air chaud est soufflé à l'intérieur du local, puis repris pour être recyclé. Ce système de chauffage est devenu de plus en plus utilisé en Algérie, vu qu'il est utilisé aussi pour le rafraîchissement (système réversible chaud et froid).

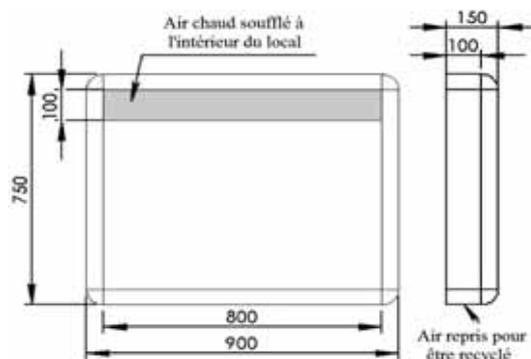


Fig. 4: Pompe à chaleur

4. PROCÉDES DE SIMULATION THERMIQUE

De nos jours, les codes de simulation des mouvements de fluide CFD (Computational Fluid Dynamics) sont de plus en plus utilisés dans l'étude de la maîtrise de l'énergie et des phénomènes thermo-aérauliques dans le bâtiment. Ces derniers sont basés sur l'approche numérique plus générale de la mécanique des fluides.

Les équations utilisées sont les équations régissant le mouvement des fluides, appelées équations de Navier-Stokes. La résolution permet de déterminer les champs de mesure de température, de vitesse et de pression en régime transitoire ou stationnaire.

Pour notre cas d'étude, la résolution numérique des équations établies a été effectuée sur une configuration tridimensionnelle par la méthode des volumes finis [7]. Les différentes simulations ont été réalisées en régime permanent, obtenues pour des

conditions aux limites constantes. Le modèle de turbulence utilisé dans cette étude est de type modèle k-epsilon standard[†] à deux équations de transport, s'appuyant sur le fait qu'il donne, en général de bons résultats dans les configurations simples.

Trois types de maillage ont été générés dans le local par utilisation du logiciel Gambit 2.1[‡]:

- Maillage surfacique de type quadrilatéral pour la porte, la fenêtre, le plancher haut, le plancher bas et les bouches d'aérations,
- Maillage surfacique de type triangulaire pour les murs,
- Maillage volumique tétraédrique pour le volume du local.

4.1 Conditions aux limites

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

- Bouche d'entrée d'air à vitesse uniforme égale à 0,58 m/s, à température égale à 6 °C (température extérieure de base pour la zone climatique A [1]) et à jet de direction parallèle à l'horizontale,
- Température du local non chauffé en dessous du plancher bas prise égale à 12 °C,
- Bouche de sortie d'air, une condition de type 'Out flow' est considérée,
- Domaine géométrique de simulation sur la moitié du local en prenant le plan XY à Z=0 comme un plan de symétrie.

4.2 Coefficients d'échanges thermiques globaux

Les coefficient s a , b , c , d et e , en (W/m².K) pour un logement individuel sont donnés dans le **Tableau 1**.

Tableau 1: Coefficients de référence [1]

Plancher haut (a)	Plancher bas (b)	Mur (c)	Porte (d)	Fenêtre (e)
1.1	2.4	1.4	3.5	4.5

Pour le deuxième cas d'étude du chauffage, la valeur minimale de résistances thermique de la couche d'isolation continue sous le plancher chauffant en contact avec un local non chauffé est égale à 1.25 m².K/W [8].

4.3 Puissance de chauffage

La puissance de chauffage à considérer pour chaque système de chauffage du local d'habitation, est calculée en utilisant l'équation (6) avec une majoration de 10 % sur des pertes surfaciques par transmission à travers les parois et cela pour prendre en considération les déperditions par ponts thermiques dans le local.

Les valeurs de puissance de chauffage de chaque cas d'étude ainsi que la température de soufflage d'air et sa vitesse (Cas 3) sont regroupées dans le **Tableau 2**.

[†] Le modèle k-epsilon standard est le modèle de la turbulence, qui permet la résolution des équations régissant les mouvements d'un fluide.

[‡] Le logiciel Gambit est un mailleur 2D/3D, pré processeur qui permet de mailler des domaines de géométrie d'un problème de CFD.

Tableau 2: Puissance de chauffe

Cas de chauffage	Q (W)	T _R (°C)	V (m/s)
1	1250	-	-
2	1250	-	-
3	1250	28	1.8

4.4 Effet du maillage

Le maillage est un élément clé de la modélisation numérique. Toutes les matrices de calcul sont dimensionnées en fonction du nombre de mailles. Le temps de calcul en est donc fonction.

D'autre part, le nombre de mailles utilisées pour discrétiser l'espace déterminera la finesse des résultats.

Pour le 2^{ème} cas de chauffage, des propositions de taille de maillage sont présentées dans le **Tableau 3**.

Tableau 3: Nombre de mailles proposées

Proposition	1	2	3	4	5
Nb Cellules	302 900	648 843	1 072 537	1 503 724	2 376 406

La figure 5, illustre la variation de la température moyenne portée sur l'axe central en fonction des différentes propositions de maillage citées dans le **Tableau 3**.

Si nous prenons comme référence la valeur de la température moyenne de la proposition de maillage N°5, nous remarquons sur la figure 5 qu'une erreur absolue moyenne entre les propositions N°1 et 5 est de 1°C, elle est de 0,25°C entre les propositions N°2 et 5, de 0,14°C entre les propositions N°3 et 5, et finalement, elle est de 0,04°C entre les propositions N°4 et 5.

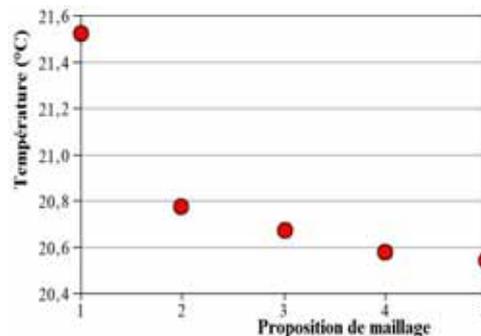


Fig. 5: Effet du maillage sur la température moyenne de l'ambiance intérieure

La précision de calcul dépend de la finesse du maillage. En effet, plus le maillage est fin, plus les erreurs sur les calculs diminuent.

Donc pour cette étude, les propositions qui conviennent le plus sont les propositions du maillage N°3 et 4. Pour faire une bonne comparaison entre différents systèmes de chauffages (Cas 1, 2 et 3), une précision dans les calculs est nécessaire, et donc le choix se portera sur la proposition du maillage N°4.

5. RESULTATS

5.1 Illustration des isothermes des températures

Les répartitions des isothermes des températures sur le plan de symétrie du local pour les 3 types de chauffage utilisés dans cette étude sont illustrées sur la figure 6.

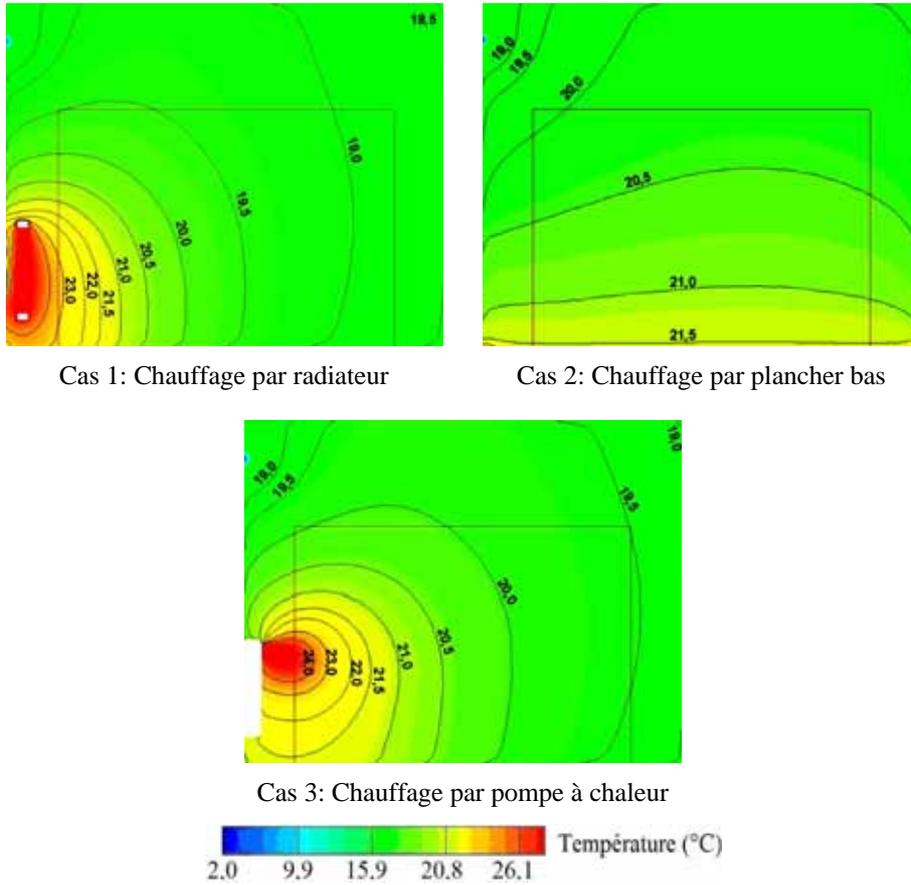


Fig. 6: Simulation de confort thermique au plan de symétrie $Z = 0$

Nous remarquons que pour le chauffage par plancher bas (Cas 2), la température de l'air dans la zone d'occupation représentée sur la figure 6 varie entre 20 °C et 21,5 °C, soit une variation de 1,5°C entre le plancher bas et une hauteur de 1,7 m.

Par contre, pour les deux autres types de chauffages, nous remarquons qu'une variation de température de l'air compris entre 19 °C et 23 °C pour le Cas 1 (chauffage par radiateur), la température de l'air est plus élevée au voisinage du radiateur et moins importante au côté opposé de celui-ci.

De même pour le Cas 3 (chauffage par pompe à chaleur), la température varie entre 19,5 °C et 24 °C, cette température est plus élevée au voisinage de la pompe à chaleur et moins importante au côté opposé de celle-ci.

5.2 Evolution de la température dans le local

Nous présentons sur la figure 7, les profils des températures obtenues pour les quatre situations dans le local citées sur la figure 1, selon les trois modes de chauffage et en prenant la même puissance de chauffage.

Dix-huit points de température ont été choisis suivant le plan vertical ($0.1 \text{ m} \leq y \leq 1.7 \text{ m}$) pour présenter le profil de température.

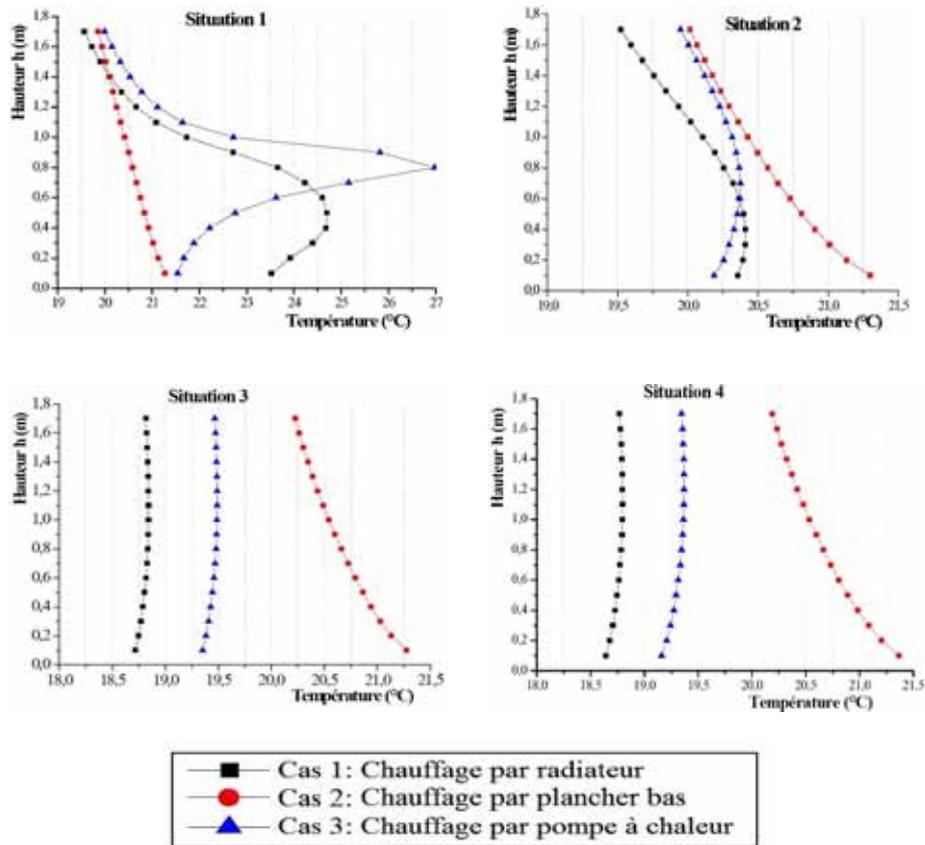


Fig. 7: Profils de température du local pour les différents cas de chauffage

La situation N°1 nous permet de constater que:

- Pour le chauffage par radiateur, la température intérieure du local varie entre 19,5 et 24,7 °C, soit un écart de température qui dépasse 5 °C pour une hauteur comprise entre $y = 0.5 \text{ m}$ et $y = 1.7 \text{ m}$.

- Pour le chauffage par pompe à chaleur, la température atteint un maximum de 27 °C à $y = 0.8 \text{ m}$ et un minimum de 20 °C à $y = 1.7 \text{ m}$, soit un écart de 7 °C.

Ces deux cas de chauffage engendrent une sensation d'inconfort vu que la situation 1 se trouve au voisinage de l'appareil de chauffe.

- Par contre, dans le cas du chauffage par plancher bas, la température est comprise entre 19,8 et 21,3 °C, soit un écart de température qui ne dépasse pas 1,5 °C.

Dans la situation N°2, nous remarquons que pour une même puissance de chauffage, les températures entre la hauteur $y = 0.1$ m et $y = 1.7$ m ne dépassent pas $20,5$ °C pour les systèmes de chauffage par radiateur et par pompe à chaleur, par contre avec le chauffage par plancher bas la température peut atteindre $21,5$ °C.

De même, dans les situations N°3 et 4, nous remarquons que dans les cas de chauffage par radiateur et par pompe à chaleur, la température peut atteindre respectivement $18,8$ °C et $19,5$ °C. Tandis que la température pour le cas de chauffage par plancher bas varie entre 20 et $21,5$ °C entre $y = 0.1$ m et $y = 0.7$ m.

5.3 Evolution des indices du confort thermique PMV et PPD

La façon la plus courante pour évaluer le confort thermique dans une ambiance intérieure d'un local d'habitation, est d'utiliser les équations de confort établies par Fanger [9] en s'appuyant sur les indices PMV (Vote moyen prévisible) et PPD (Pourcentage prévisible d'insatisfait).

Le PMV est un indicateur de la qualité de l'ambiance qui prend en compte différents paramètres (métabolisme, vêtements, vitesse d'air, humidité, température radiante moyenne, température de l'air). En effet, la norme ISO 7730, intitulée 'Ambiances thermiques modérées - Détermination des indices PMV et PPD et spécification des conditions de confort thermique' décrit la méthode détaillée pour la détermination de ces deux indices [3].

Dans cette étude, les représentations des indices de confort thermiques sont données sur les figures 8 et 9. Ces indices sont comparés pour les trois cas de chauffage à deux différentes hauteurs, à $y = 0.9$ m et à $y = 1.7$ m.

Pour une hauteur de $y = 0.9$ m, les résultats des différents cas de chauffages et pour différentes situations proposées montrent que le PMV est compris entre -0.54 et 0.4 pour le chauffage par radiateur, entre -0.1 et 0.15 pour le chauffage par plancher bas et de -0.72 et 0.68 pour le chauffage par pompe à chaleur.

L'indice PPD est compris entre 5.9 et 11.1 % pour le chauffage par radiateur, entre 5.2 et 5.5 % pour le chauffage par plancher bas et 6.2 et 15.9 % pour le chauffage par pompe à chaleur. Nous constatons d'après ces valeurs que le cas de chauffage par plancher bas donne une meilleure sensation du confort thermique comparé avec les deux autres procédés de chauffage.

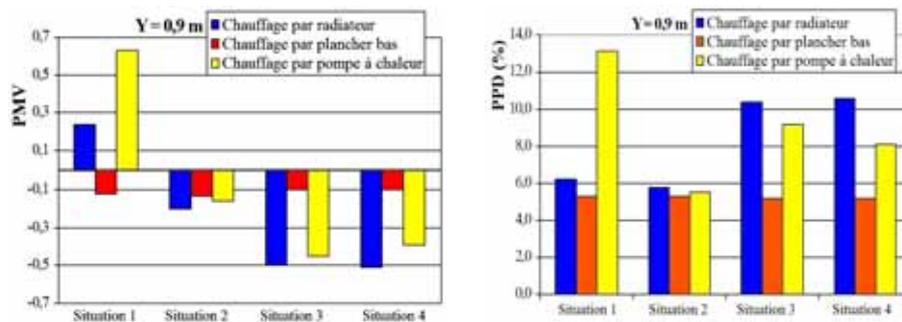


Fig. 8: Variation des indices de confort thermique PMV et PPD à $Y = 0.9$ m

De même, nous présentons les indices PMV et PPD pour une hauteur $y = 1.7$ m et en comparant les résultats entre les différents cas de chauffage et pour différentes situations proposées, nous constatons que le PMV est compris entre -0.36 et -0.54 pour le cas de chauffage par radiateur, entre -0.3 et -0.19 pour le cas de chauffage par plancher bas et -0.34 et -0.52 pour le cas de chauffage par pompe à chaleur.

L'indice PPD est compris entre 7.8 et 11.2 % pour le chauffage par radiateur, entre 6.0 et 6.9 % pour le chauffage par plancher bas et 7.4 et 10.8 % pour le chauffage par pompe à chaleur.

Les indices PMV et PPD obtenus nous permettent de constater que le chauffage par plancher bas (Cas 2) assure une meilleure sensation de confort thermique, comparativement aux deux autres procédés de chauffage (Cas 1 et 3).

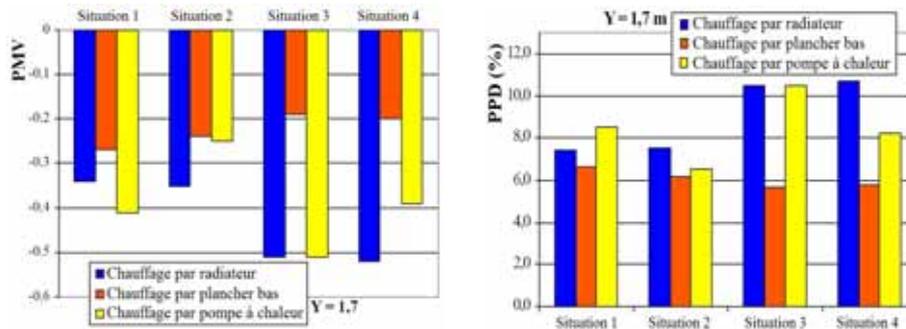


Fig. 9: Variation des indices de confort thermique PMV et PPD à $Y=1.7$ m

6. CONCLUSION

Dans cette étude, nous avons étudié le confort thermique d'un local d'habitation chauffé par trois différents types de chauffage: le chauffage par radiateur, par plancher bas et par pompe à chaleur.

La simulation thermo-aéraulique (étude du profil de température de l'air ambiant du local) a été réalisée en utilisant le logiciel Fluent, de mécanique des fluides. Les résultats numériques ont pu prédire le confort thermique global dans le local d'habitation modèle et ce pour les trois cas de chauffage étudiés. Ils ont montré aussi que dans le local d'habitation équipé d'un plancher chauffant basse température génère un meilleur confort thermique par rapport aux deux autres types de chauffage.

Globalement, les écarts entre les indices de confort observés entre ces trois modes de chauffage sont négligeables, néanmoins, le chauffage par plancher bas donne de meilleurs indices de confort PMV et PPD. En terme de consommation d'énergie, le chauffage par plancher (par sa grande inertie thermique) permet des intermittences de marche / arrêt du système plus importantes, comparativement aux deux autres systèmes de chauffage étudiés.

NOMENCLATURE

C_p : Chaleur spécifique de l'air, J/kg.K

\dot{m} : Débit massique, kg/s

C_{in} : Coefficient de surpuissance

Q_{vref} : Débit extrait de référence, m^3/h

$Q_{v\max}$: Débit extrait max. référence, m ³ /h	$Q_{v\min}$: Débit extrait min. référence, m ³ /h
Q_v : Débit spécifique de ventilation, m ³ /h	$(D_{li})_i$: Déperditions dans les liaisons, W/K
Q_s : Débit supplémentaire par infiltrations dues au vent, m ³ /h	$(D_{sol})_i$: Déperditions à travers les parois en contact avec le sol, W/K
$(D_{inc})_i$: Déperditions à travers les parois contact avec locaux non chauffés, W/K	$(D_R)_i$: Déperditions par renouvellement d'air du volume i , W/K
D_R : Déperditions renouvel. d'air, W/K	D_T : Déperditions par transmission, W/K
$(D_T)_i$: Déperditions par transmission du volume i , W/K	$(D_s)_i$: Déperditions surfaciques par les parties des parois contact avec l'ext., W/K
$(D)_i$: Déperditions totales d'un volume, W/K	PPD : Pourcentage de personne non satisfaite, %
Q : Puissance de chauffage, W	ρ : Masse volumique de l'air, kg/m ³
Q_p : Puissance de chauffage par renouvellement d'air, W	C_r : Ratio estimé des pertes calorifiques dues au réseau de tuyauteries
S : Surface de la grille de ventilation, m ²	T_R : Température de l'air de la PAC, °C
v : Vitesse d'entrée de l'air de la PAC, m/s	T_{be} : Température extérieure de base, °C
V_h : Volume habitable, m ³	T_{bi} : Température intérieure de confort, °C
PMV : Vote moyen prévisible	

REFERENCES

- [1] Rapport Technique, 'Document Technique Règlementaire, "Règlement Thermique des Bâtiments d'Habitation - Règles de Calcul des Déperditions Calorifiques"', DTR C3-2', Fascicule 1, CNERIB, Alger, 1998.
- [2] Rapport Technique, 'Document Technique Règlementaire, "Règlement Thermique des Bâtiments d'Habitation - Règles de Calcul des Apports Calorifiques des Bâtiments"', DTR C3-4', Fascicule 2, CNERIB, Alger, 1998.
- [3] Technical Report, 'EN ISO 7730, Moderate Thermal Environments - Determination of the PMV and PPD Indices and Specification of the Conditions for Thermal Comfort', Revised Version, Geneva, International Organization for Standardization, 1994.
- [4] Technical Report, 'ANSI/ASHRAE Standard 55, Thermal Environment Conditions for Human Occupancy', Atlanta, 2004.
- [5] F.Z. Chafi and S. Hallé, 'Evaluating Air Flow Movements and Thermal Comfort in a Model Room with Euler Equation: Two-dimensional Study', Building and Environment, Vol. 46, pp. 448 – 456, 2011.
- [6] J.A Myhren and S. Holmberg, 'Design Considerations with Ventilation-Radiators: Comparisons to Traditional Two-Panel Radiators', Energy and Buildings, Vol. 41, pp. 92 – 100, 2009.
- [7] Technical Report, 'Fluent 6, User's Guide', Fluent Inc. Lebanon, NH, USA 2006.
- [8] Rapport Technique, 'NF DTU 65.14 P1, Travaux de Bâtiment - Exécution de Planchers Chauffants à Eau Chaude - Partie 1: Cahier des Clauses Techniques - Dalles Désolidarisées Isolées', 2006.
- [9] P.O. Fanger, 'Thermal Comfort, Analysis and Applications in Environmental Engineering', McGraw-Hill, Ed. New York, 1972.