



Research Paper

Analysis numerical of one-dimensional heat transfer for desert house

Analyse numérique de transfert thermique unidimensionnel d'une enceinte habitable désertique

Abdellatif OUDRANE^{1,2}, Benaoumeur AOUR¹, Belkacem ZEGHMATT³, Xavier CHESNEAU³, Messaoud HAMOUDA⁴

¹Laboratoire de Biomécanique Appliquée et Biomatériaux (LABAB), BP 1523 El Mnaour, ENP, Oran31000 (Algérie).

²Centre universitaire de Tissemsilt, Ben Hamouda 38004, (Tissemsilt), (Algérie).

³Laboratoire de Mathématiques et de Physique Groupe de Mécanique Énergétique (LAMPS), Université de Perpignan Via Domitia, 52, Avenue Paul Alduy, 66860 Perpignan cedex (France).

⁴Unité de Recherche en Energies Renouvelables en Milieu Saharien (URER'MS), Adrar, (Algérie).

ARTICLE INFO

Article history :

Received 14 July 17

Received in revised form 19 August 17

Accepted 06 September 17

Keywords:

Radiation; Habitable enclosure; Nodal method; Thermal exchange; Finite Difference method; ADRAR.

Mots clés:

Rayonnement; Enceinte habitable; Méthode nodale; Echange thermique; Différences finies; ADRAR.

ABSTRACT

The main objective of this work is to study the thermal exchanges in order to optimize the solar contributions in a habitable enclosure located in a desert region of Algeria (ADRAR). The enclosure walls are the only capacitive elements of the enclosure. They are thermally coupled by conduction, convection and radiation. The external facades of the enclosure are the seat of a convective flux with the external air and radiative exchanges with the environment (ground and sky). The thermal exchanges are studied using the balance equations established at each wall of the enclosure. These equations are discretized by an implicit finite difference method. The system of algebraic equations thus obtained is solved by the Gauss algorithm using the nodal method. The effects of the outdoor ambient temperature, the density of the incident solar flux and the orientation of the habitable enclosure on the temperatures distributions throughout of the internal walls and the filled air in the enclosure are analyzed. The evolution of the internal ambient temperature as a function of the wind exposure factor and the degree of leak tightness of the doors and windows is also highlighted at the end of this work.

RÉSUMÉ

L'objectif principal du présent travail consiste à étudier les échanges thermiques dans une enceinte habitable située dans une région désertique de l'Algérie (Adrar). Les parois de l'enceinte sont les seuls éléments capacitifs. Elles sont thermiquement couplées par convection et rayonnement et sont le siège de flux conductifs. Les façades externes de l'enceinte sont le siège d'un flux convectif avec l'air extérieur et d'échanges radiatifs avec l'environnement (sol et ciel). Les échanges thermiques sont étudiés en utilisant les équations des bilans établis au niveau de chaque paroi de l'enceinte. Ces équations ont été discrétisées par une méthode implicite aux différences finies. Les systèmes d'équations algébriques ainsi obtenus ont été résolus par l'algorithme de Gauss à l'aide de la méthode nodale monodimensionnelle. Nous avons analysé les effets de la température ambiante extérieure, de la densité du flux solaire incident sur les façades et de l'orientation de l'enceinte habitable dans le plan méridien sur les distributions de la température des parois interne et de l'air comble dans l'enceinte. Une analyse de l'évolution de la température de l'ambiance interne en fonction du facteur d'exposition au vent de l'espace chauffé et du degré d'étanchéité des portes et fenêtres a été également menée à la fin de ce travail.

* Corresponding author. Tel.: +213662830459.

E-mail address: abdellatif.habadat@gmail.com

1 Introduction

Au cours des dix dernières années, nous avons assisté à un véritable engouement autour des actions en faveur de la haute qualité environnementale. En effet, le secteur du bâtiment résidentiel et tertiaire est l'un des secteurs le plus consommateur d'énergie [1]. Cependant, les bâtiments sont conçus pour jouer un rôle de filtre thermique permettant de recréer un microclimat intérieur indépendant des fluctuations météorologiques extérieures. La forme, l'orientation, l'agencement et la composition des éléments constitutifs déterminent les caractéristiques de ce filtre. Les ambiances intérieures ne répondant pas toujours aux exigences du confort des occupants, la réponse du bâtiment est corrigée par des appareils de climatisation agissant comme des sources contrôlées de chaleur ou de froid, et ayant parfois un effet sur les taux d'humidité [2]. Les normes de confort sont encore relativement frustrées : une consigne de température résultante moyenne à respecter pendant la période de chauffage, une température qu'il est recommandé de ne pas dépasser trop souvent pendant la saison chaude. Ces contraintes sont quelquefois affinées dans des cahiers des charges particuliers, notamment lorsqu'il s'agit de bâtiments à usage individuel [2].

De plus, les modèles décrivant le comportement thermodynamique des bâtiments permettent de mieux comprendre et concevoir l'enveloppe passive en vue d'obtenir de moindres consommations énergétiques et un plus grand confort, de prédire la réponse du bâtiment à des situations extrêmes afin de dimensionner les installations et, enfin, d'aider à mettre au point de nouveaux systèmes ou stratégies de contrôle [2].

Le souci de rationaliser le recours à des énergies coûteuses et de concevoir des bâtiments plus confortables a amené les différents acteurs du processus de conception et de gestion des bâtiments à chercher de mieux connaître et de bien maîtriser le comportement en se basant sur l'optimisation énergétique des paramètres géométriques et thermiques [2]. Ceci représente la finalité de ce présent travail. Pour atteindre cet objectif, nous nous intéresserons ici aux méthodes de calcul qui permettent de modéliser les bâtiments afin d'analyser l'évolution de son comportement thermique et de prévoir les conséquences qui en découlent en réponse aux excitations que lui appliquent son environnement climatique naturel et les exigences thermiques que nous devons tenir en considérations [2].

Autrement dit, la détermination des consommations énergétiques dans un bâtiment peut se limiter à des bilans de masse et d'énergie, des connaissances sur le champ de température et l'allure des mouvements d'air sont nécessaires pour effectuer une étude plus poussée [3]. D'ailleurs ces données permettent d'évaluer le confort des occupants (problèmes de renouvellement d'air, forts gradients de température, courants d'air, stratification) [3].

D'un autre côté, le bâtiment est un système complexe où de nombreux phénomènes physiques interviennent. Ils sont généralement traduits par des équations résolues à l'aide des méthodes numériques. Cette démarche consiste à élaborer des modèles qui contribuent étroitement au développement de la connaissance et de la quantification des phénomènes. Le modèle le plus connu, trouvant notamment son application dans le domaine du bâtiment, est certainement celui de Joseph Fourier [4]. Il caractérise les transferts de chaleur par conduction dans un milieu solide. La première proposition de résolution, suggérée par Joseph Fourier lui-même, est basée sur une méthode de séparation des variables. Depuis ce premier modèle de paroi, les expériences de Joseph Fourier sur la conduction des anneaux en fers ont été remplacées par des suivis du comportement thermique de bâtiments entiers [4].

Le choix de la région d'Adrar est basé sur le fait que l'Algérie en particulier et les pays de l'Afrique du Nord en général ont un grand potentiel solaire [5]. Les taux d'irradiation solaire effectués par satellites de l'Agence Spatiale Allemande, montrent des niveaux d'ensoleillement exceptionnels de l'ordre de 1200 kWh/m²/an dans le Nord du Grand Sahara. Par contre, les meilleurs taux d'irradiation solaire en Europe sont de l'ordre de 800 kWh/m²/an limités à la partie sud de l'Europe [5]. Suite à une évaluation par satellites, l'Agence Spatiale Allemande a conclu que l'Algérie représente le potentiel solaire le plus important de tout le bassin méditerranéen, soit : 169.000 TWh/an pour le solaire thermique, 13,9 TWh/an pour le solaire photovoltaïque et 35 TWh/an pour l'éolien. Cette énergie renouvelable présente à l'heure actuelle une réponse aux problèmes environnementaux et aux émissions de gaz à effet de serre qui menace la planète entière. En effet, c'est une solution durable à la crise actuelle de l'énergie, avec la hausse du prix du baril de pétrole. Ceci place les énergies renouvelables, (hydraulique, éolien, photovoltaïque, solaire thermique, géothermie, biomasse, biogaz et pile à combustible), au centre des débats portant sur l'environnement, et plus généralement le développement durable [5].

2 Méthodologie

2.1 Données de traitement

Pour l'évaluation des performances énergétiques du bâtiment, on utilise généralement des données météorologiques correspondant à une année typique. Ces données ont été utilisées comme référence pour comparer le comportement d'un bâtiment à un autre. Ces données sont le plus souvent d'un pas horaire, mais il est possible de disposer des données météorologiques plus fines, jusqu'à l'ordre de la minute [6].

La ville d'Adrar se trouve au Sud-Est de l'Algérie, à environ 1036 km d'Alger. La région est caractérisée par sa topographie relativement plate, ainsi que par une géomorphologie désertique [7]. De plus elle est caractérisée par de faibles températures hivernales, des températures estivales élevées, des vents de sable violents et une faible humidité atmosphérique [7]. La station de mesure des données climatiques (table 2) est placée à L'Unité de Recherche en Energies Renouvelables en Milieu Saharien d'ADRAR (URERMS), ses coordonnées géographiques sont 27°,88'N et -0,27'E; avec une altitude: 263m [8].

Les mesures disponibles sont des mesures horaires effectuées sur l'année 2014 pour chaque 24heures. Elles ont permis de tracer les variations journalières de la température moyenne interne et externe et le flux solaire incident sur les parois de l'enceinte habitable.

Table 1- Jour type

Mois	Jour type	Jours dans l'année
Juin	12	163
Juillet	17	198
Aout	16	228

Table 2 - Les données climatiques de la région d'ADRAR [8].

Année 2014	Juin	Juillet	Aout
Flux_Max (W/m ²)	1052	1051	1040
TMax (°C)	42.2	47.8	47.7
TMin (°C)	25.6	32.5	39.0
Durée du jour (h)	14	14	13
Lever du soleil (h)	≅ 5	≅ 5	≅ 6
Coucher du soleil (h)	≅ 19	≅ 19	≅ 19
Vitesse du vent (m/s)	6.8	5.8	6.0

2.2 Plans descriptifs de la chambre étudiée

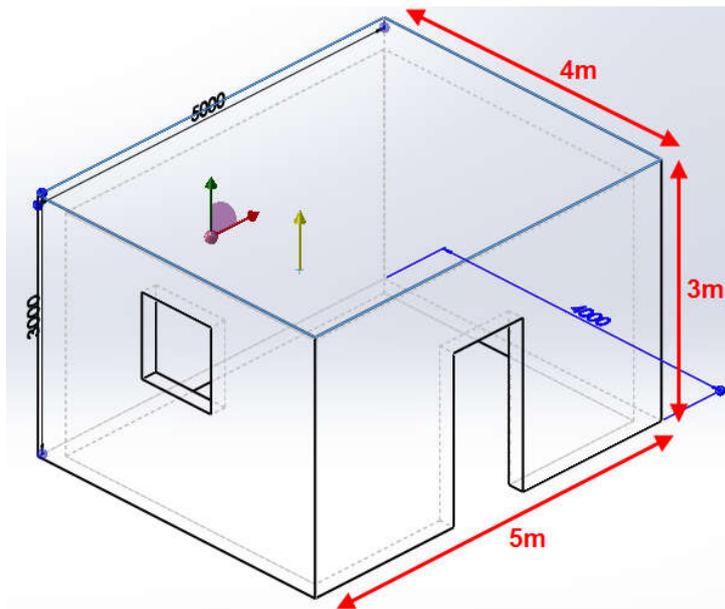
Dans la région d'ADRAR, le béton armé est le matériau de construction le plus utilisé dernièrement en raison de la civilisation et à cause de sa rigidité et de sa longue durée de vie. La fig.1 est une schématisation d'une enceinte habitable réelle. Elle a été construite par les éléments suivants:

- L'enveloppe du bâtiment ou les parois extérieures sont constituées d'une structure légère généralement de 15 cm de bloc creux en béton, en deux couches de 2.5 cm de ciment.
- Les parois du bâtiment dont les faces intérieures sont en contact avec l'air interne et les faces extérieures sont en contact avec l'air externe.
 - Le plancher est posé sur une terre pleine et plate. Il est situé et coulé directement sur le sol, et il n'occasionne que peu de déperditions. La forme est constituée de sable, de béton et du carrelage.
 - Le toit est composé d'hourdis ciment, d'une dalle de béton, du sable et du ciment mortier de telle façon que les fondations tiennent le coup et acceptent la charge.

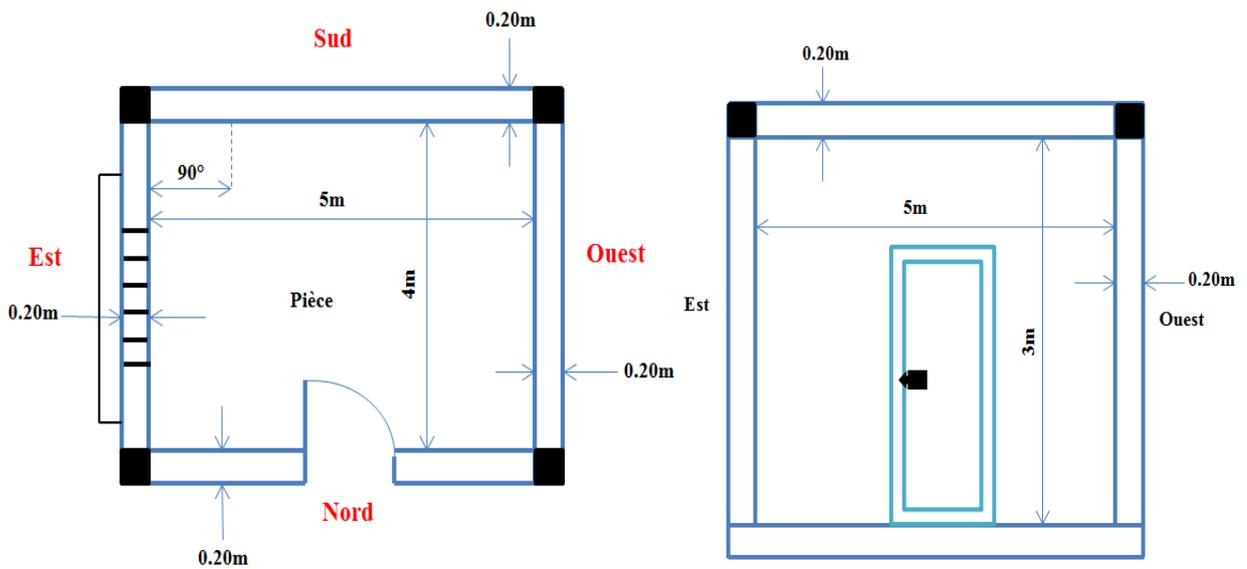
2.3 Modélisation Physique des Phénomènes de Transferts Thermiques

Dans le domaine de l'énergétique des bâtiments, le modèle numérique prédictif est devenu en quelques années un outil très utilisé [9]. Ainsi, des modèles de simulation ont été développés essentiellement pour répondre à des besoins de

dimensionnement de l'enveloppe du bâtiment. Ces modèles ne concernent que les échanges thermiques entre l'ambient et les façades externe, et l'ambient interne avec les façades internes des parois du bâtiment. De plus, on ne peut pas étudier la stratification de l'air d'une zone, l'influence du vent sur les infiltrations d'air, la diffusion d'eau dans les parois...etc. Les changements d'état ne sont pas non plus pris en compte, donc le stockage par chaleur latente n'est pas traité, ni l'effet des variations d'humidité. C'est donc exclusivement l'enveloppe qui est étudiée. La méthode suivit vise à assurer la maîtrise des hypothèses et équations de base et à développer les aspects modélisation associés (rayonnement, convection et conduction) [9]. On utilise la discrétisation par la méthode nodale monodimensionnelle pour les équations des bilans énergétiques qui régissent ces échanges thermiques dans le bâtiment. Les systèmes d'équations algébriques ainsi obtenus ont été résolus par les algorithmes de Gauss.



(a). Les façades Nord, Est et le plafond externe.



(e). Vu de dessus de l'enceinte habitable

(f). Vu latérale de la façade Nord

Fig. 1- Plan descriptif d'élément de la modélisation (Enceinte habitable dans la région d'Adrar).

Le modèle mathématique proposé est basée sur certaines hypothèses qui peuvent se résumer comme suit:

- Les transferts thermiques à travers les parois sont supposés unidirectionnels et perpendiculaires à ces parois.
- La distribution de la température sur les surfaces extérieures et intérieures des murs est uniforme. Donc, les modèles mathématiques vont délivrer uniquement les températures moyennes de l'air et des parois.
- Dans la modélisation, on se base sur la notion de la journée type.
- La convection est naturelle (libre), l'écoulement est laminaire.
- La porte et la fenêtre sont supposées parfaitement fermées.
- La température du plancher chauffant est variée entre 18 à 28°C.
- On a choisi le dix-septième jour du mois de juillet comme une journée type pour l'année 2014.
- On suppose que la température ambiante extérieure est égale à la température du sol $T_{amb} = T_{sol}$.
- On suppose que la brique est pleine.

Le coefficient de transfert par rayonnement d'une surface (i) avec le ciel est [10] :

$$h_{rciel} = \frac{\sigma \times (T_{ciel} + T_i) \times (T_{ciel}^2 + T_i^2)}{\frac{1 - \varepsilon_{ciel}}{\varepsilon_{ciel}} + \frac{1}{F_{iciel}}} \quad \text{et} \quad T_{ciel} = 0.0552 \times T_{amb}^{1.5} \quad (1)$$

La quantité du flux thermique absorbé par le matériau est:

$$Q_{absorbées} = S_i \times \alpha_i \times Q_{flux\ solaire} \quad (2)$$

On exprime le flux thermique échangé par convection avec l'ambiance par:

$$Q_{cviam} = h_{cviam} \times S_i \times (T_i - T_f) \quad (3)$$

Le coefficient d'échange convectif externe est donné par l'expression suivante [11] :

$$h_{cv_ext} = 5.67 + 3.86 \times V_{vent} \quad (4)$$

Le bilan énergétique des surfaces intérieures et extérieures est déterminé par l'équation gouvernante suivante [10,12]:

$$m \times C_p \times \frac{dT}{dt} = \sum Q_{absorbées} - \sum Q_{émises} \quad (5)$$

La fig.2 montre les différents modes de transfert de chaleur au niveau de chaque paroi de l'enceinte habitable assimilée à une cavité parallélépipédique.

En appliquant l'équation (5) pour chaque surface de l'enceinte habitable, on trouve les bilans énergétiques ci-après où toutes les variables utilisées sont définies dans la nomenclature:

- Bilan de la façade Sud externe

$$m_{PS} \times C_{pPS} \times \frac{dT_{PSE}}{dt} = \sum Q_{absorbées(PSE)} - \sum Q_{émises(PSE)} \quad (6)$$

$$\frac{m_{PS} \times C_{Pb}}{S_{PS}} \times \frac{T_{PSE}^{t+\Delta t} - T_{PSE}^t}{\Delta t} = h_{Conv} \times (T_{A1}^t - T_{PSE}^{t+\Delta t}) + \frac{\lambda_b}{e_{PS}} \times (T_{PSI}^{t+\Delta t} - T_{PSE}^{t+\Delta t}) + h_{r-VC.PSE} \times (T_{VC}^t - T_{PSE}^{t+\Delta t}) + h_{r-sol.PSE} \times (T_{sol}^t - T_{PSE}^{t+\Delta t}) + \alpha_b \times RGPS \quad (7)$$

- Bilan de la façade Nord interne

$$m_{PN} \times C_{pPN} \times \frac{dT_{PNI}}{dt} = \sum Q_{absorbées(PNI)} - \sum Q_{émises(PNI)} \quad (8)$$

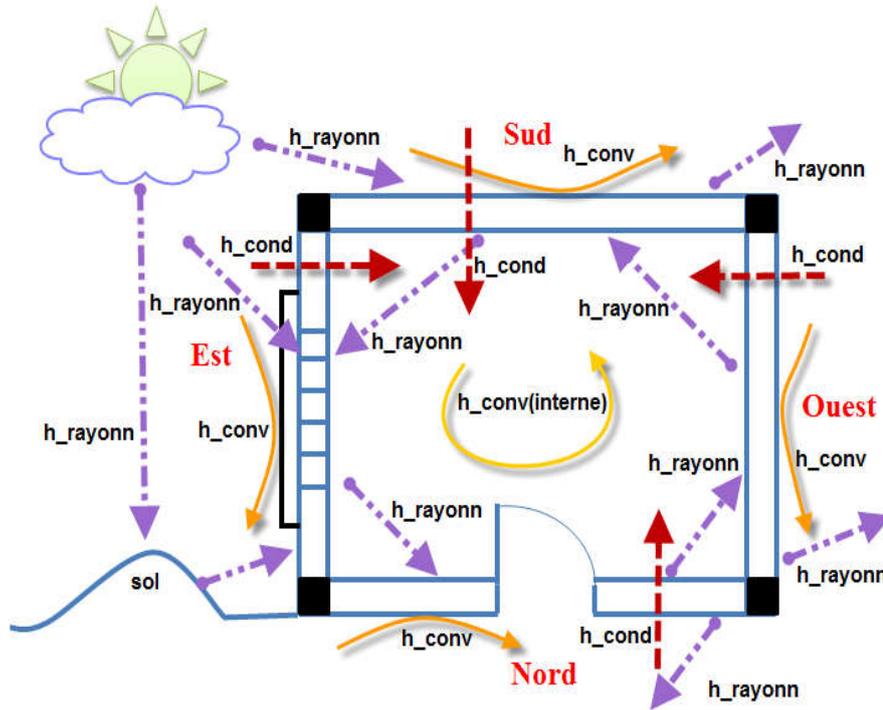


Fig. 2 - Schéma descriptif des différents modes d'échanges thermiques dans l'enceinte habitable.

$$\frac{m_{PN} \times C_{Pb}}{S_{PN}} \times \frac{T_{PNI}^{t+\Delta t} - T_{PNI}^t}{\Delta t} = h_{Conv} \times (T_{A2}^t - T_{PNI}^{t+\Delta t}) + \frac{\lambda_b}{e_{PN}} \times (T_{PNE}^{t+\Delta t} - T_{PNI}^{t+\Delta t}) + h_{r-PNI.PSI} \times (T_{PSI}^{t+\Delta t} - T_{PNI}^{t+\Delta t}) + h_{r-PNI.PEI} \times (T_{PEI}^{t+\Delta t} - T_{PNI}^{t+\Delta t}) + h_{r-PNI.POI} \times (T_{POI}^{t+\Delta t} - T_{PNI}^{t+\Delta t}) + h_{r-PNI.PFPI} \times (T_{PFPI}^{t+\Delta t} - T_{PNI}^{t+\Delta t}) + h_{r-PNI.PIP} \times (T_B^t - T_{PNI}^{t+\Delta t}) \quad (9)$$

- Bilan de la façade Ouest externe

$$m_{PO} \times C_{pPO} \times \frac{dT_{POE}}{dt} = \sum Q_{absorbées(POE)} - \sum Q_{émises(POE)} \quad (10)$$

$$\frac{m_{PO} \times C_{Pb}}{S_{PO}} \times \frac{T_{POE}^{t+\Delta t} - T_{POE}^t}{\Delta t} = h_{Conv} \times (T_{A1}^t - T_{POE}^{t+\Delta t}) + \frac{\lambda_b}{e_{PO}} \times (T_{POI}^{t+\Delta t} - T_{POE}^{t+\Delta t}) + h_{r-VC.POE} \times (T_{VC}^t - T_{POE}^{t+\Delta t}) + h_{r-sol.POE} \times (T_{sol}^t - T_{POE}^{t+\Delta t}) + \alpha_b \times RGPO \quad (11)$$

- Bilan de l’ambient interne de la pièce

$$m_{air} \times C_{p_{air}} \times \frac{dT_{air}}{dt} = \sum Q_{absorbées(air)} - \sum Q_{émises(air)} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} \frac{m_{air} \times C_{p_{air}}}{S_{air}} \times \frac{T_{A2}^{t+\Delta t} - T_{A2}^t}{\Delta t} = & h_{C1} \times \frac{S_{PS}}{S_{air}} (T_{PSI}^{t+\Delta t} - T_{A2}^{t+\Delta t}) + h_{C2} \times \frac{S_{PN}}{S_{air}} (T_{PNI}^{t+\Delta t} - T_{A2}^{t+\Delta t}) + h_{C3} \times \frac{S_{PO}}{S_{air}} (T_{POI}^{t+\Delta t} - T_{A2}^{t+\Delta t}) + \\ & h_{C4} \times \frac{S_{PE}}{S_{air}} (T_{PEI}^{t+\Delta t} - T_{A2}^{t+\Delta t}) + h_{C5} \times \frac{S_{PFP}}{S_{air}} (T_{PFPi}^{t+\Delta t} - T_{A2}^{t+\Delta t}) + h_{C6} \times \frac{S_{PIP}}{S_{air}} (T_B^{t+\Delta t} - T_{A2}^{t+\Delta t}) + \frac{S_{petite}}{S_{air}} \times V_{vent} \times 0.34 \times \\ & (T_{A1}^t - T_{A2}^{t+\Delta t}) + \frac{V_{total}}{S_{air} \times 3600} \times 2 \times n_{50} \times \zeta \times \varepsilon \times (T_{A1}^t - T_{A2}^{t+\Delta t}) \times \rho_{air} \times C_{p_{air}} \end{aligned} \quad (13)$$

- Inerties

La capacité d’inertie d’un matériau mesure son aptitude à stocker la chaleur et à en différer la restitution [14].

$$C_{inertie(i)} = \rho_i \times e_i \times S_i \times C_{p_i} \quad (14)$$

Table 3- Données numériques utilisées pour la simulation

Grandeurs	Valeurs
Coefficient de réflexion du sol	$Albedo = 0.25$
Masse volumique du béton	$\rho_b = 1400 Kg.m^{-3}$
Chaleur spécifique du béton	$C_{p_b} = 1000 J.Kg^{-1}.K^{-1}$
Conductivité thermique du béton	$\lambda_b = 0.51 W.m^{-1}.K^{-1}$
Emissivité du béton	$\varepsilon = 0.91$
Coefficient d’absorption du béton	$\alpha_b = 0.55$
Masse volumique de l’air à 25°C	$\rho_{air} = 1.177 Kg.m^{-3}$
Chaleur spécifique de l’air à 25°C	$C_{p_{air}} = 1006 J.Kg^{-1}.K^{-1}$
Conductivité thermique de l’air à 25°C	$\lambda_{air} = 0.0262 W.m^{-1}.K^{-1}$
Viscosité dynamique de l’air à 25°C	$\mu_{air} = 1.57.10^{-5} Kg.m^{-1}.S^{-1}$
Surface de la petite ouverture d’introduction de l’air dans l’espace chauffé	$S_{petit} = 2.10^{-2} m^2$
Taux de renouvellement de l’air pour un bâtiment avec fenêtre a simple vitrage et son joint	$\eta_{50} = 13 h^{-1}$
Coefficient d’exposition au vent du local chauffé à simple exposition pour un bâtiment située dans une zone non abrité	$\zeta = 3.10^{-2}$
Facteur correctif de la hauteur du volume chauffé	$\varepsilon_i = 1$

3 Organigramme de la modélisation numérique

La procédure adoptée pour le calcul des différentes températures des parois de l’enceinte habitable extérieure et intérieure est illustrée par l’organigramme de la fig.3.

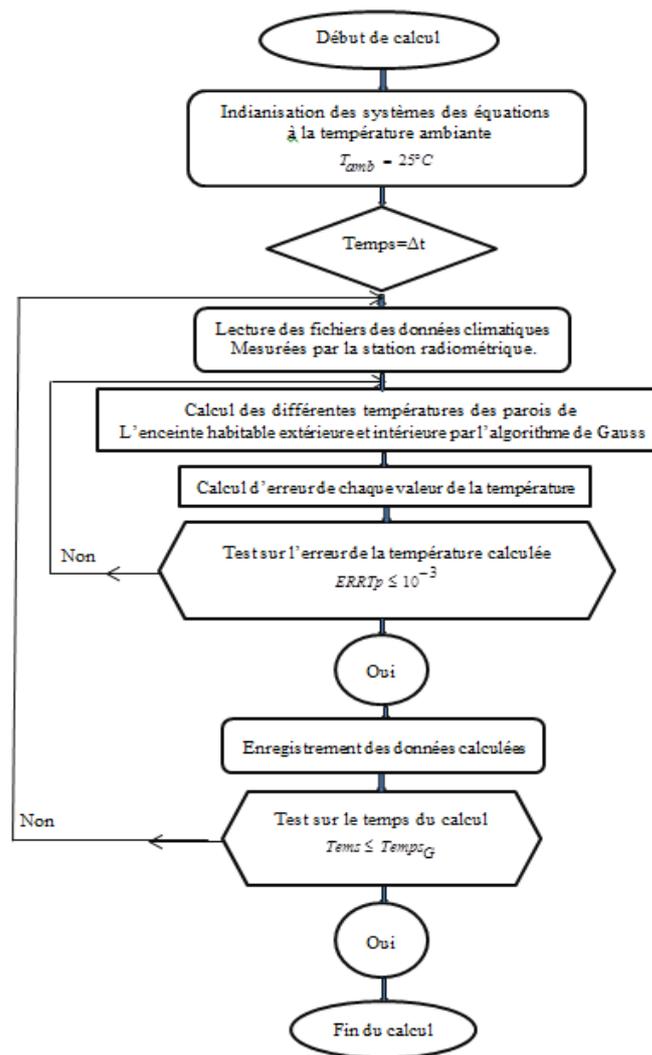


Fig. 3- Organigramme de la modélisation numérique.

4 Résultats et discussion

4.1 Evolution des températures ambiantes interne et externe

Dans la figure 4, nous avons représenté les évolutions des températures journalières des différentes façades externes de l'enceinte habitable, dans la journée type pour le mois de juillet. On peut constater qu'il y a un déphasage remarquable entre la température ambiante externe et les autres températures des façades externes de l'enceinte. Le déphasage peut être attribué à un phénomène physique qui est en jeu. Ce phénomène est l'inertie thermique et ses effets qui sont cruelles sur le comportement thermique des parois de l'enceinte habitable. Ces effets sont plus visibles surtout en période diurne où la température de la face horizontale est plus grande par rapport aux autres températures de Sud, Est, Ouest et Nord. De plus, elle fait un déphasage d'une heure 30minutes en comparaison à la température ambiante externe.

La fig.5 présente la variation de la température de différentes faces internes de l'enceinte habitable durant une journée type. On peut constater que l'inertie thermique du béton joue un rôle important dans le transfert thermique conducteur des parois. En effet, la température du fond plafond est plus grande par rapport aux températures des autres faces internes Sud, Ouest, Nord et Est. Ceci est dû à deux facteurs essentiels qui sont réunis pour engendrer cette augmentation de la température : En premier lieu, l'épaisseur des parois de l'habitat qui implique l'élévation de l'inertie thermique et en deuxième lieu, l'angle d'incidence des rayons solaires qui est égale à 0° .

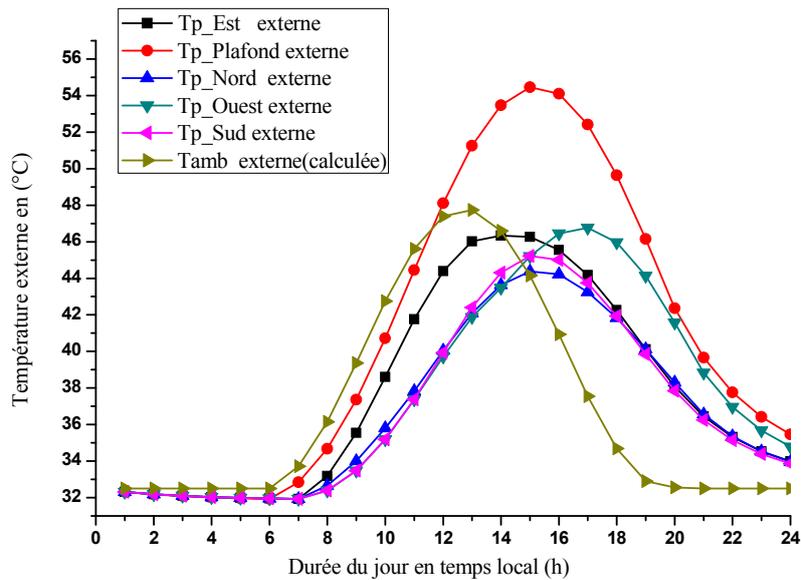


Fig. 4- Variation de la température des façades externes de l'enceinte en fonction du temps local.

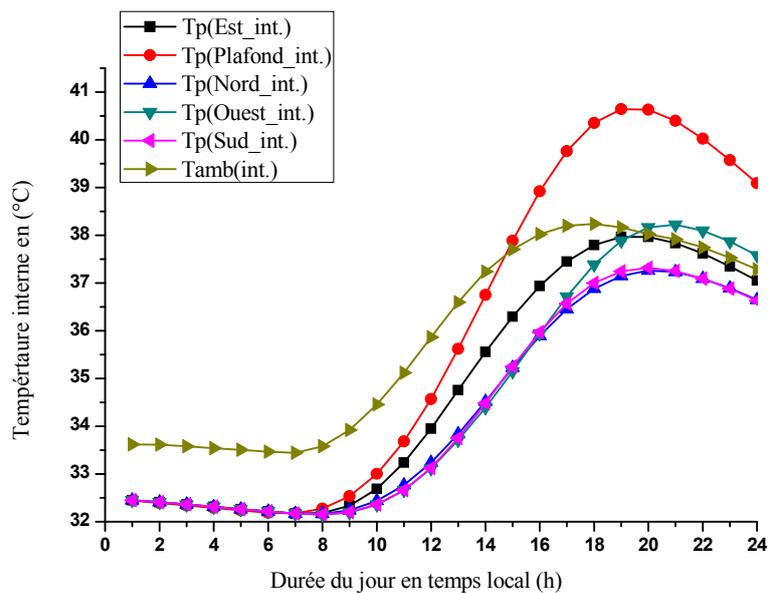


Fig. 5- Variation de la température des parois internes de l'enceinte en fonction du temps.

4.2 Evolution de la température interne de l'enceinte

La figure 6 montre l'évolution journalière de la température ambiante interne de l'enceinte habitable en fonction du temps local pour différentes températures de la dalle chauffante. On peut remarquer que lorsque la température de la dalle chauffante augmente, la température interne de l'enceinte augmente d'une manière systématique pendant la période diurne. D'un point de vue physique, on remarque un déphasage de 5 heures entre la température d'ambiante externe et la température d'ambiante interne.

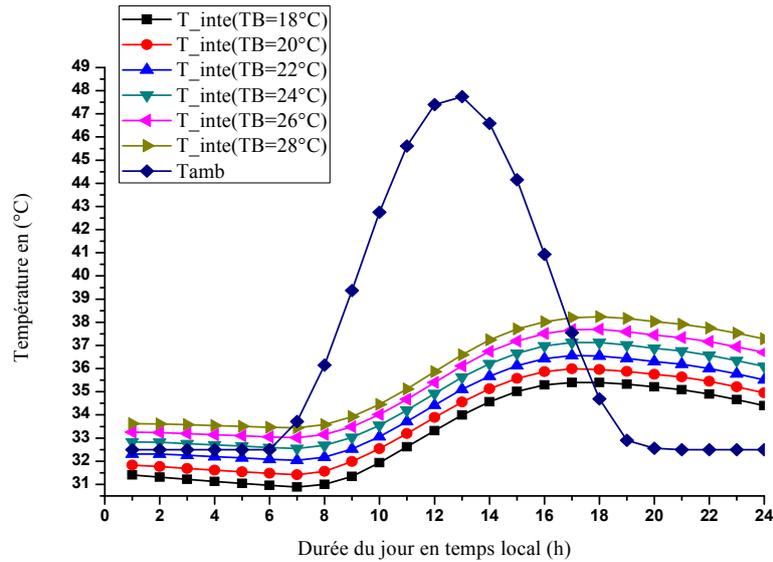


Fig. 6- Evolution de la température de l'ambient interne en fonction de la température de la dalle chauffante durant une journée.

Dans la fig.7, nous avons représenté l'évolution journalière de la température ambiante interne en fonction du temps local pour différentes épaisseurs des parois et au contraire, quand on réduit l'épaisseur, la température augmente. Cette variation de la température interne est due de l'enceinte habitable. On constate que si on augmente l'épaisseur du béton, la température interne de l'enceinte diminue, au fait que l'inertie thermique du béton joue un rôle très important dans les échanges thermiques qui se déroulent au sein de l'enceinte habitable.

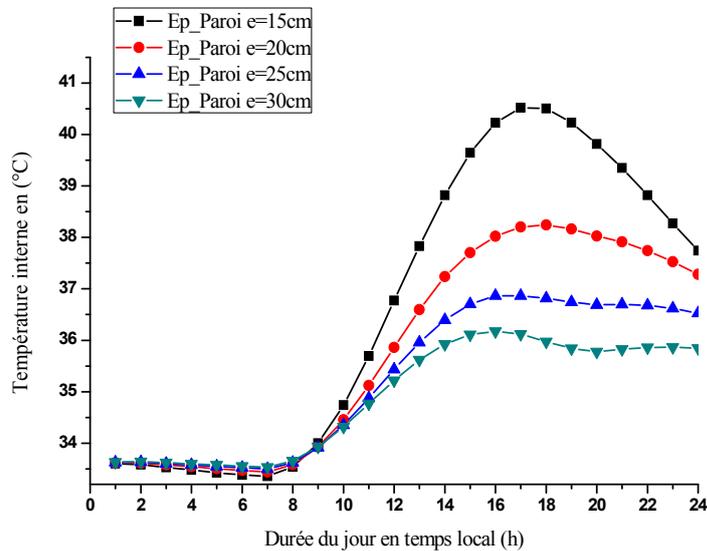


Fig. 7- Evolution de la température de l'ambient interne en fonction de l'épaisseur des parois durant une journée.

Le vent contribue au renouvellement d'air dans l'enceinte habitable par ventilation naturelle qui se traduit par le degré d'étanchéité de l'enveloppe de l'enceinte (qualité des joints des fenêtres et des portes). Sur la fig.8a présentant l'effet de degré d'étanchéité des fenêtres et des portes de cette enceinte, on peut constater qu'avant 18 heures, c'est-à-dire dans la période diurne, l'enceinte habitable avec une qualité normale et même dans le cas où il n'y a pas de joints, la température ambiante atteint une valeur maximale de 38°C. Par contre, pour la même enceinte avec des joints de haute qualité, la température ambiante interne maximale est 37°C. Ce phénomène est dû à la fois de la perméabilité des fenêtres et des

portes et de la température de l'ambiante externe qui est très élevée au mois de juillet. Alors que, dans le cas de la période nocturne (après 18heures du soir), nous avons constaté l'inverse.

D'une autre manière, pour augmenter la température de l'espace chauffé, il faut augmenter le degré d'étanchéités des fenêtres et des portes, par ce que la température de l'ambiante externe est très faible comme l'illustre la fig.8a. Il est à noter que la pression exercée par le vent sur le bâtiment constitue la condition aux limites prépondérante dans l'évaluation des débits d'air. Pour étudier son effet sur le confort thermique, il est important d'adapter les données disponibles (vitesse et orientation du vent mesurées au niveau d'une station météorologique) aux caractéristiques du site (présence d'obstacles comme les arbres, les bâtiments voisins, etc.). La fig.8b montre l'effet du coefficient du vent sur l'enceinte habitable pour différentes possibilités, telles que, bâtiment sans façade d'exposition au vent, bâtiment à une façade exposée au vent et bâtiment à multiple façades exposées au vent. Nous avons obtenu les mêmes résultats que ceux de l'effet de degré d'étanchéité des fenêtres et des portes.

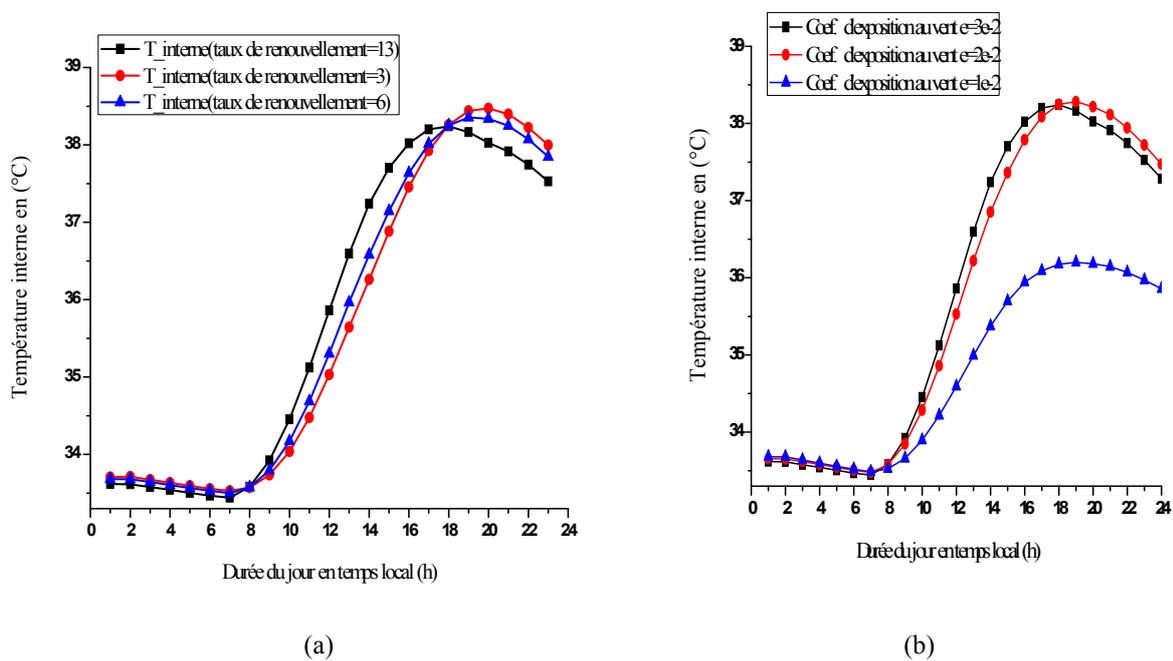


Fig. 8- Variation de la température interne en fonction de la qualité de l'étanchéité et le coefficient d'exposition au vent pour l'enceinte habitable.

5 Conclusion

L'utilisation de l'énergie solaire dans le bâtiment est un sujet promoteur de recherche en Algérie qui présente un potentiel d'énergie solaire assez considérable et surtout dans la région d'ADRAR. L'étude présentée dans cet article montre que le modèle développé peut être utilisé pour la prévision du comportement thermique à l'extérieur et à l'intérieur d'une enceinte habitable située dans une région désertique. En effet, nous avons analysé les effets de plusieurs paramètres sur le confort thermique, tels que, les conditions météorologiques en flux et en température extérieures, l'épaisseur des parois, le coefficient d'exposition au vent et la qualité d'étanchéité des portes et des fenêtres.

Les résultats ont montré que, dans la période diurne, la température intérieure de l'enceinte habitable de multiples façades d'exposition au vent, avec étanchéité de haute qualité est moyennement moins élevée que celle d'une enceinte avec une simple exposition au vent et un degré d'étanchéité faible. Par suite, pour améliorer le degré du confort à l'intérieur de l'enceinte habitable, il faut augmenter la qualité des joints et minimiser le maximum possible le coefficient d'exposition au vent vu que la température d'ambiante externe dans cette région est très élevée au cours de ce mois de juillet.

La forte inertie thermique de la matière de construction de l'enveloppe a un effet considérable sur la stabilisation du confort thermique. En effet, il faut envisager d'autres matériaux à faible inertie thermique dans la construction, comme par

exemple les matériaux à base d'argile. De plus, l'augmentation de la température de la dalle chauffante conduit à une augmentation de la température interne et par suite à un surchauffé indésirable dans l'enveloppe, pour cette raison il faut respecter les normes ISO qui gouverne les limites admissibles de la température du plancher chauffant.

NOMENCLATURE

α_i	Coefficient d'absorption de la matière	-	PNI	Paroi Nord interne	-
α_b	Coefficient d'absorption du béton	-	PSE	Paroi Sud externe	-
Δt	Ecart de temps	s	PS	Paroi Sud	-
ε_{ciel}	Coefficient d'émissivité du ciel	-	$Q_{absorbées}$	Quantités de la chaleur absorbées	W
ζ	Coefficient d'exposition au vent du local chauffé.	-	Q_{cvam}	Quantité de la chaleur échangée par convection avec l'ambiance	W
η_{50}	Taux horaire de renouvellement d'air.	h^{-1}	$Q_{émises}$	Quantité de chaleur émise par un surface	W
λ_b	Conductivité thermique	$W.m^{-1}.K^{-1}$	$Q_{flux\ solaire}$	Densité du flux solaire	$W.m^{-2}$
μ_{air}	Viscosité dynamique de l'air.	$kg.m^{-1}.s^{-1}$	RGPO	Densité du flux solaire globale incident sur la paroi Sud	$W.m^{-2}$
ρ_i	Masse volumique (i)	$Kg.m^{-3}$	RGPS	Densité du flux solaire globale incident sur la paroi Sud	$W.m^{-2}$
Cp_{air}	Chaleur spécifique de l'air	$J.Kg^{-1}.K^{-1}$	S_i	Surface du plan (i)	m^2
Cp_i	Chaleur spécifique (i)	$J.Kg^{-1}.K^{-1}$	S_{PFP}	Surface de la paroi fond plancher	m^2
$C_{inertie(i)}$	Capacité d'inertie (i)	$J.K^{-1}$	S_{Petite}	Surface de la petite ouverture d'introduction de l'air dans l'espace chauffé	m^2
Cp_{PS}	Chaleur spécifique de la paroi Sud	$J.Kg^{-1}.K^{-1}$	S_{PIP}	Surface de le plancher chauffant	m^2
e_i	Epaisseur de la matière (i)	m	T_{Max}	Température maximale d'ambiance	$^{\circ}C$
e_{PS}	Epaisseur de la paroi du béton	m	t	Temps	s
F_{iciel}	Facteur de la forme entre une surface et le ciel	-	T_{A1}	Température de l'air extérieure de l'habitat	$^{\circ}C$
g	Constante de la gravitation	$m.s^{-2}$	T_{A2}	Température du l'air intérieure de l'habitat	$^{\circ}C$
h_{rciel}	Coefficient d'échange par rayonnement du ciel	$W.m^{-2}.k^{-1}$	T_B	Température de la dalle chauffante	$^{\circ}C$
h_{cviam}	Coefficient d'échange convectif	$W.m^{-2}.k^{-1}$	T_{amb}	Température ambiante	$^{\circ}C$
h_{cv-ext}	Coefficient d'échange convectif avec l'air externe de l'habitat	$W.m^{-2}.k^{-1}$	$T_{amb(int.)}$	Température de l'ambiance interne de l'habitat	$^{\circ}C$
h_{conv}	Coefficient d'échange convectif	$W.m^{-2}.k^{-1}$	T_f	Température du fluide	$^{\circ}C$
$h_{r-vc.PSE}$	Coefficient d'échange par rayonnement entre la voute céleste et la paroi Sud externe	$W.m^{-2}.k^{-1}$	T_i	Température d'une surface (i)	$^{\circ}C$

$h_{r-sol.PSE}$	Coefficient d'échange par rayonnement entre le sol et la paroi Sud externe	$W.m^{-2}.k^{-1}$	T_{Min}	Température maximale d'ambiance	$^{\circ}C$
$h_{r-PNI.PSI}$	Coefficient d'échange par rayonnement entre la paroi Nord interne et la paroi Sud interne	$W.m^{-2}.k^{-1}$	T_{sol}	Température du sol	$^{\circ}C$
$h_{r-PNI.POI}$	Coefficient d'échange par rayonnement entre la paroi Nord interne et la paroi Ouest interne	$W.m^{-2}.k^{-1}$	$T - \text{inte}(TB = 18^{\circ}C)$	Température de l'ambiance interne pour une température de la dalle chauffante de $18^{\circ}C$	$^{\circ}C$
$h_{r-vc.POE}$	Coefficient d'échange par rayonnement entre la voute céleste et la paroi Ouest externe	$W.m^{-2}.k^{-1}$	$Tp_{(Est - int)}$	Température de la façade interne de la paroi Est	$^{\circ}C$
$h_{r-sol.POE}$	Coefficient d'échange par rayonnement entre le sol et la paroi Ouest externe	$W.m^{-2}.k^{-1}$	$Tp_{Est \text{ externe}}$	Température de la façade externe de la paroi Est	$^{\circ}C$
h_{c1}	Coefficient d'échange convectif entre la paroi (1) et l'air ambiant interne	$W.m^{-2}.k^{-1}$	T_{PNI}	Température de la paroi Nord interne	$^{\circ}C$
h_{c2}	Coefficient d'échange convectif entre la paroi (2) et l'air ambiant interne	$W.m^{-2}.k^{-1}$	T_{POE}	Température de la paroi Ouest externe	$^{\circ}C$
h_{c3}	Coefficient d'échange convectif entre la paroi (3) et l'air ambiant interne	$W.m^{-2}.k^{-1}$	T_{PSE}	Température de la paroi Sud externe	$^{\circ}C$
m_{PS}	Masse de la paroi Sud	Kg	$Tp_{Ouest \text{ externe}}$	Température de la façade externe de la paroi Ouest	$^{\circ}C$
m	Masse de la matière	Kg	$Tp_{(Sud - int)}$	Température de la façade interne de la paroi Sud	$^{\circ}C$
m_{air}	Masse de l'air	Kg	T_{vc}	Température de la voute céleste	$^{\circ}C$
m_{PN}	Masse de la paroi Nord	Kg	V_{tota}	Volume totale de l'espace chauffé	m^3
m_{PS}	Masse de la paroi Sud	Kg	V_{vent}	Vitesse moyenne du vent	$m.s^{-1}$
PNE	Paroi Nord externe	-			

REFERENCES

- [1] I. Traore, Transferts de chaleur et de masse dans les parois des bâtiments à ossature bois, thèse de doctorat de l'Université Henri Poincaré – Nancy Université en Mécanique et Energétique, 2011.
- [2] G. Lefebvre, Comportement thermique dynamique des bâtiments : simulation et analyse, Techniques de l'Ingénieur, traité Génie énergétique, B 2 041 – 1.
- [3] E. Wurtz, Modélisation tridimensionnelle des transferts thermiques et aérauliques dans le bâtiment en environnement orienté objet, thèse de doctorat, école nationale des Ponts et Chaussées, 2010.
- [4] J. Berger, Contribution à la modélisation hygrothermique des bâtiments : Application des méthodes de réduction de modèle, thèse de docteur de l'université de Grenoble, 2014.
- [5] S. Ben Touba, L'énergie renouvelable en Algérie et l'impact sur l'environnement. Journal of Scientific Research (Université de Bechar) N°1 vol.1 (2010).
- [6] S. Thiers, AMMIS : Analyses multicritères et méthode inverse en simulation énergétique du bâtiment, Rapport technique final n° ANR-08-HABISOL-001, Avril 2012.
- [7] F. Sebaa-Ben Miloud, Étude du potentiel éolien d'Adrar Sélection de sites pour la ferme éolienne de 10 MW. Revue des Energies Renouvelables (SMEE'10) (2010) pp.295 – 300,.

- [8] EnerMENA High Precision Meteorological Station of Research Unit for Renewable Energies in the Saharan Environment in ADRAR, Algeria, 2014.
- [9] S.M.A. Bekkouche, T. Benouaz and A. Cheknane, A modelling Approach of Thermal Insulation Applied to a Saharan Building. *Thermal Science* Vol.13 N°4 (2009) pp.233-244,.
- [10] M. Gacem, Comparaison entre l'isolation thermique extérieure et intérieure d'une pièce d'un habitat situé dans le site de Ghardaïa, thèse de magister, université Abou-BekrBelkaid, Tlemcen, 2011.
- [11] S. Oudjedi, Étude paramétrique d'un capteur solaire plan à air destiné au séchage (Partie: 2), *Revue des Energies Renouvelables (SMSTS'08)* (2008) pp.255 – 266.
- [12] M. A. Boukli Hacene, Thermal requirements and temperatures evolution in an ecological house. *Energy Procedia* vol.06 (2011) pp.110–121.
- [13] K. Mansatiansin, Modélisation et simulation des transferts et de l'éclairage dans un habitat bioclimatique, thèse de doctorat en sciences de l'ingénieur, université de Perpignan, 2005.
- [14] S. Robelison, Influence thermique de l'emplacement du toit en chaume sous le toit en tôle d'un habitat à Antananarivo-Madagascar. *Afrique SCIENCE* 04 (3) (2008) pp.318 – 338.