



Modélisation des transferts thermiques dans un local construit en matériaux locaux en climat tropical sec

Auteurs : Abdoulaye COMPAORE, D. Joseph BATHIEBO, Belkacem ZEGHMATI, Xavier CHESNEAU

Laboratoire des Energies Thermiques Renouvelables (LETRE), Université de Ouagadougou, BP 7021
Burkina Faso

Laboratoire de Mathématiques et Physique (L.A.M.P.S), Université de Perpignan, 66860 Perpignan
France

compadoul2003@yahoo.fr, jbathiebo@univ-ouaga.bf, zeghmati@univ-perp.fr, chesneau@univ-perp.fr

Résumé : (Abstract)

Résumé : Une modélisation numérique des transferts de chaleur dans un habitat dont les parois sont en blocs de terre compressés (BTC) est présentée. Les équations de transferts basées, sur la méthode nodale, sont résolues par une méthode implicite aux différences finies et l'algorithme de Gauss couplé à une procédure itérative. Nous analysons l'influence du taux de renouvellement d'air, de l'épaisseur des parois et de la nature des matériaux dont elles sont composées sur les distributions spatio-temporelles de la température de l'air à l'intérieur de l'habitat et de celles de ses parois. Les résultats montrent que, la température à l'intérieur des habitats dont les parois sont en matériaux locaux (matériaux en terre) est inférieure à celle des habitats modernes (parpaings de ciment). L'augmentation de l'épaisseur des murs contribue à une meilleure inertie thermique de l'habitat par l'amélioration du facteur d'amortissement et du déphasage thermique entre l'intérieur et l'extérieur. Aussi, la sur-ventilation d'un habitat à forte inertie a un impact négatif sur sa performance pendant les périodes les plus chaudes.

Mots clés :

Inertie thermique, taux de renouvellement d'air, déphasage thermique, facteur d'amortissement, matériaux locaux.

1. Introduction

Le secteur du bâtiment est l'un des trois gros consommateurs d'énergie dans le monde avec le secteur du transport et celui de l'industrie [1]. La part de consommation de l'énergie dans le bâtiment s'élève à 40% de l'énergie mondiale [2] et 50% de cette consommation est consacrée généralement aux systèmes de chauffage, de ventilation et de conditionnement d'air [3]. La conception thermique d'un bâtiment influence la performance thermique de ce dernier, ce qui affecte également consommation en énergie [4]. La réduction de la consommation de l'énergie dans les bâtiments passe impérativement par une bonne conception de son enveloppe. Les performances thermiques d'un bâtiment peuvent être améliorées en agissant soit sur sa forme physique, ses protections solaires [5] et son orientation, soit sur la composition des matériaux de son enveloppe (amélioration de l'inertie thermique). Kabore M. [6] a étudié l'influence du type de toiture des bâtiments sur leurs performances thermiques en climat tropical et a montré que l'utilisation d'un isolant ayant un bon coefficient de réflexion lutte efficacement contre gains thermiques au niveau de la toiture. Ouedraogo I. [7] a fait une étude numérique d'une toiture bioclimatique favorisant la ventilation pour réduire les charges thermiques dans un habitat en climat tropical sec au Burkina Faso, il en ressort de cette étude qu'une orientation de suivant la direction nord-sud et une inclinaison de 50° de la toiture améliorent la ventilation de celle-ci. Une étude numérique des caractéristiques de l'enveloppe d'un bâtiment type malaisien a montré que la consommation énergétique d'un bâtiment orienté nord-sud est réduite de 10% par rapport à celle du même bâtiment orienté Est-Ouest [5]. Il a été montré, lors d'une étude numérique effectuée par Bojic, qu'une isolation thermique externe des murs d'un bâtiment contribuait à une réduction de l'ordre de 20% de la consommation annuelle de l'énergie du bâtiment [8]. E. Stéphan a mis en évidence l'impact de l'inertie thermique des bâtiments traditionnels en été, et a conclu que cette inertie était variable en fonction de lieu ou est implanté le bâtiment et de son isolation thermique. A. Gagliano and al. [9] ont montré qu'une inertie thermique élevée dans le bâtiment en combinaison avec une ventilation naturelle peut réduire les phénomènes de surchauffe dans le bâtiment. En outre, le déphasage thermique entre la température de la face externe et celle de la face interne du mur peut être augmenté de 5 heures lorsque l'orientation du bâtiment passe de l'Ouest à l'Est. En Afrique sub-saharienne, la conception des bâtiments modernes n'est pas toujours adaptée au contexte climatique de la région [10]. Il en résulte une consommation excessive d'énergie dans le secteur du bâtiment. La modélisation et la simulation des performances thermique d'un modèle d'habitat bioclimatique en climat tropical humide, a montré notamment que la température à l'intérieur atteint 28,3°C. [11].

Il ressort des quelques travaux reportés ci-dessus que l'inertie thermique et la ventilation contribuent à la réduction des charges de climatisation dans les bâtiments pour des climats où les variations journalières de températures sont élevées [12], [13] comme celles de Ouagadougou (*figure 1*).

L'objectif de ce travail est de contribuer à l'amélioration de la performance thermique d'un habitat en matériaux de construction locaux situé en climat tropical chaud et sec.

Nous présentons d'abord une modélisation numérique des transferts thermiques dans un habitat construit en blocs de terre compressée situé dans la ville de Ouagadougou. Ensuite, nous analysons l'influence de trois types de matériaux et différentes épaisseurs de ces matériaux sur les distributions spatio-temporelles des températures dans l'habitat. Enfin nous évaluons l'influence de l'inertie thermique de l'enveloppe de l'habitat sur l'évolution des températures en fonction du taux de renouvellement d'air dans l'habitat.

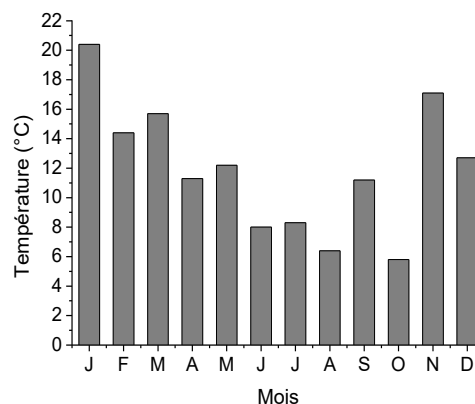


Figure 1: Variations moyennes de la température ambiante (Ouagadougou)

2. Modélisation de l'habitat

2.1. Description de l'habitat

Le modèle d'habitat considéré est composé d'une pièce avec un comble. C'est un local de dimension au plancher 5x4m et de hauteur 3m dont la façade principale est orientée nord (*figure 2*). Il comporte une fenêtre de dimension (1x1m), une porte rectangulaire dimension (2x1m) et un faux plafond surmonté d'une toiture inclinée d'un angle de cinq degrés par rapport à l'horizontale. Le modèle d'habitat est assimilé à une enceinte parallélépipédique surmontée d'une enceinte trapézoïdale qui représente le comble. Les murs sont construits en agglomérés de Blocs de Terre Comprimée (BTC) de 18cm d'épaisseur ou en parpaing de ciment avec un enduit sur la face interne et externe de 2cm d'épaisseur. La face intérieure du mur est recouverte d'une peinture blanche. La toiture est un complexe constitué d'un faux plafond en contre-plaqué de 2cm d'épaisseur et d'un toit en tôle acier galvanisé d'épaisseur 1mm. Les propriétés thermo-physiques de l'enveloppe du bâtiment sont données dans le tableau 1.

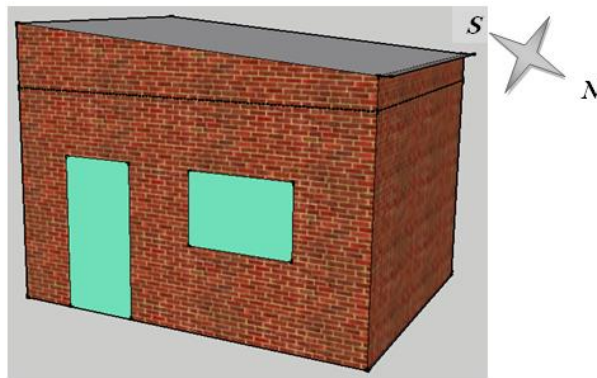


Figure 2: Perspective du local utilisé

Tableau 1: Propriétés thermo-physique des matériaux [6], [14]

Matériaux	Conductivité thermique ($W/m.K$)	Chaleur spécifique ($J/kg.K$)	Masse volumique (kg/m^3)
Aggloméré de ciment	0.833	1000	1000
Tôle en acier galvanisé	50	480	7800
Mortier-enduit	1.15	1000	1700
Béton	1.4	840	2240
BTC	0.671	1492	1960
Terre crue	0.556	1417	1835

2.2. Formulation mathématique

2.2.1. Hypothèses simplificatrices

Posons les hypothèses simplificatrices suivantes :

- Les transferts de chaleur par conduction sont unidirectionnels ;
- L'air est assimilé à un gaz parfait parfaitement transparent au rayonnement ;
- Les matériaux sont assimilés à des corps gris ;

- Les sources internes de chaleur sont nulles ;
- Les propriétés thermo-physiques des matériaux utilisés sont constantes.

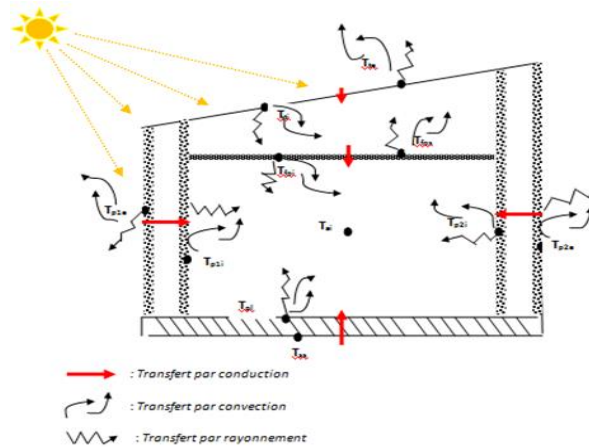


Figure 3: Schéma des transferts de chaleur dans le local

La méthode adoptée pour la description du comportement thermique du modèle d'habitat repose sur l'analyse nodale [15], [11]. De façon générale, si l'on considère un nœud (i) donné d'un composant de l'habitat, la variation instantanée de l'énergie au sein de ce composant est égale à la somme algébrique des densités de flux de chaleur échangées à travers ce milieu. Elle s'écrit :

$$\frac{m_i \cdot C_{p_i}}{A} \cdot \frac{dT_i}{dt} = DFS_i + \Phi_i + \sum_i \sum_j \Phi x_{ij} \quad (1)$$

Avec :

T_i : Température ou potentiel du matériau (i)

DFS_i : Densité du flux solaire absorbé par le composant (i) ($W.m^{-2}$)

$$DFS_i = \alpha_i \cdot \varphi_i \quad (2)$$

α_i : Coefficient d'absorptivité du composant (i)

φ_i : Densité de flux incident sur le composant (i) ($W.m^{-2}$)

Φ_i : Densité de flux de la source de chaleur du composant (i) ($W.m^{-2}$)

Φx_{ij} : Densité de flux échangée selon le mode de transfert entre les nœuds (i) et (j) ($W.m^{-2}$)

$$\Phi x_{ij} = h_{x_{ij}} (T_j - T_i) \quad (3)$$

$h_{x_{ij}}$: Coefficient d'échange entre les nœuds (i) et (j) du composant ($W.m^{-2}.K$)

2.2.2. Equations de transfert

En tenant compte des hypothèses simplificatrices formulées ci-dessus, l'application de l'équation (1) aux différents milieux du modèle d'habitat conduit à :

- air

$$\rho_a \cdot C_p \cdot \frac{\partial T_{a_i}}{\partial t} = \sum_j A_j h_{c_j} (T_j - T_{a_i}) + n \cdot V \cdot \rho \cdot C_p (T_o - T_{a_i}) \quad (4)$$

- Parois

- Face externe

$$\frac{\rho_{se} \cdot C_{p_{se}}}{S_e} \cdot \frac{\partial T_{se}}{\partial t} = h_{ce} (T_{ae} - T_{se}) + h_{r_{ciel}} (T_{ciel} - T_{se}) + h_{r_{sol}} (T_{sol} - T_{se}) + K (T_{si} - T_{se}) + DFS_{se} \quad (5)$$

• Face interne

$$\frac{\rho_{si} \cdot C_{p_{si}}}{S_i} \cdot \frac{\partial T_{si}}{\partial t} = h_{ci} (T_{ai} - T_{si}) + \sum_n h_{r_{se,n}} (T_n - T_{se}) + K (T_{se} - T_{si}) \quad (6)$$

Afin de comparer les performances thermiques de l'enveloppe du bâtiment selon le matériau utilisé, nous considérons certains paramètres dynamiques tels que le facteur d'amortissement et le déphasage thermique [16], [17]. Ces deux paramètres permettent de mieux caractériser l'inertie des bâtiments [9] tout en tenant compte des échanges convectifs aux parois. Les expressions de ces paramètres sont :

- Déphasage thermique (heures)

$$\phi = t_{T_{i,max}} - t_{T_{e,max}} \quad (7)$$

Avec : $t_{T_{i,max}}$, $t_{T_{e,max}}$ respectivement les heures auxquelles les amplitudes maximales intérieure et extérieure en température sont atteintes.

- Facteur d'amortissement

$$f = \frac{\Delta T_i}{\Delta T_e} = \frac{T_{i,max} - T_{i,min}}{T_{e,max} - T_{e,min}} \quad (8)$$

Avec: ΔT_i , ΔT_e respectivement les amplitudes maximales de la température intérieure et extérieure.

L'équation (8) montre que l'habitat amortit mieux les valeurs maximales des températures quand le facteur d'amortissement est faible.

2.3. Méthode de résolution

Les équations (4), (5) et (6) sont discrétisées par une méthode implicite aux différences finies. Les expressions ainsi obtenues se mettent sous la forme suivante :

$$C \frac{T(t + \Delta t) - T(t)}{\Delta t} = AT(t + \Delta t) + BU(t + \Delta t) \quad (9)$$

Les systèmes d'équations algébriques obtenus sont résolus par l'algorithme de Gauss couplée à une procédure itérative parce que les coefficients de chaleur par rayonnement et par convection dépendent des températures des différents milieux qui sont des inconnus du problème.

2.4. Données climatiques

Afin d'avoir des données climatiques qui sont représentatives du climat moyen de la ville de Ouagadougou, nous utilisons la notion d'année type élaborée par Ouedraogo et al. [18] par la méthode du laboratoire Sandia à partir de données météorologiques de la ville de Ouagadougou sur une période de 15 ans.

La **figure 4** présente l'évolution de la densité du flux solaire global horizontal et celle de la température de l'air ambiant pour la journée type du mois d'avril. En effet, le mois d'avril est la période la plus chaude de l'année pour la ville de Ouagadougou. La densité du flux atteint une valeur maximale de 974W/m² à 12h et valeur maximale de la température ambiante est de 40,6°C à 15h. Nous choisissons donc les données climatiques de la journée type du mois d'avril pour analyser le comportement thermique de l'habitat pour des conditions climatiques extrêmes.

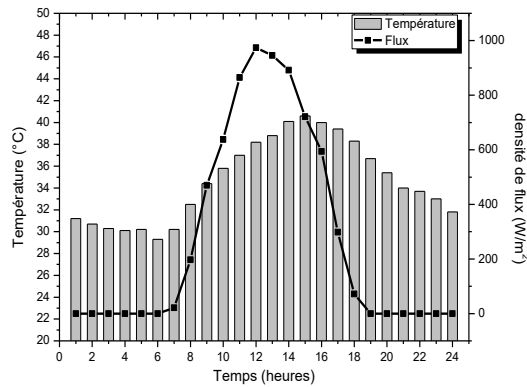


Figure 4: densité de flux global et température ambiante de la journée type du mois d'avril

3. Validation du modèle

Afin de valider notre code numérique, nous avons appliqué notre modèle à celui de Nganya and al. [11] pour la ville de Douala au Cameroun situé dans le climat tropical chaud. Une comparaison entre les distributions des températures données par notre modèle et celles de Nganya montre un bon accord qualitatif et quantitatif (*figure 5*). En effet l'écart relatif maximal n'excède pas 3,5%. Cette écart peut résulter des corrélations que nous avons utilisées pour le calcul des coefficients de transfert de chaleur par convection.

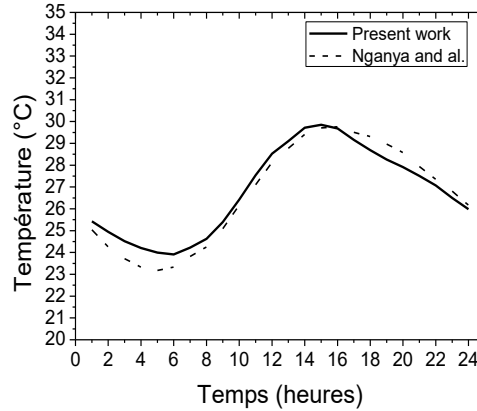


Figure 5: Comparaison des profils de températures

4. Résultats

4.1. Profils de températures des différents composants de l'habitat

La *figure 6* montre l'évolution au cours d'une journée de la température de l'air intérieur (Tai), de la face interne de la paroi nord (Tmni), du faux-plafond (Tfp) et du toit (Ttoit) de l'habitat. Comme il a été démontré par beaucoup d'auteurs [6], [19], [7], en Afrique sub-saharienne, la toiture est le composant de l'habitat dont les pertes et les apports de chaleur sont les plus élevées. En effet la température maximale de l'habitat est observée au niveau de la toiture qui atteint 58°C à 12h (*figure 4*).

Il est à noter également que l'évolution au cours de la journée de la température de l'air à l'intérieur de l'habitat est similaire à celle de l'air extérieur. Une atténuation entre les températures maximales entre l'air extérieur et

l'air intérieur de l'habitat au cours de la journée avec une différence maximale de 6°C à 15h00 (*figure 6*) peut être observée. Une analyse de l'évolution des températures au niveau du faux-plafond et du toit montre que la toiture engendre une atténuation de l'impact du flux solaire sur la température de l'air intérieur de l'habitat. En effet, la température du faux-plafond est nettement inférieure à celle du toit.

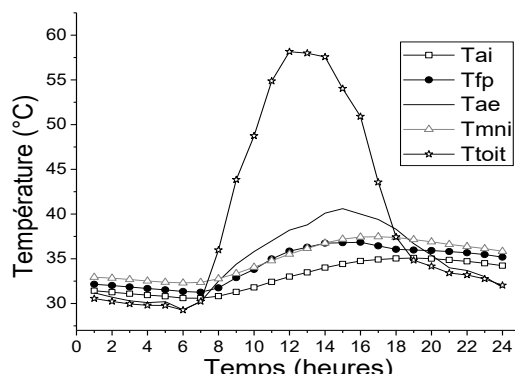


Figure 6: Evolution des profils températures sur certains composants de l'habitat

L'évolution temporelle de la température de la face externe de la paroi de l'habitat est similaire à celle de la face interne (*figure 7*). Cependant, l'inertie thermique du matériau (BTC) dont est la paroi est constituée provoque un déphasage temporel d'autant plus élevé que le flux de chaleur capté par cette paroi est important. Aussi, la valeur maximale de ce déphasage est de 5h (14h-19h).

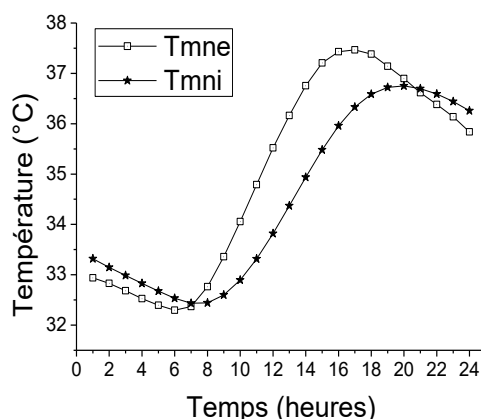


Figure 7: Evolution des profils de températures sur les faces externe et interne du mur nord

4.2. Caractérisation de la performance thermique du bâtiment

Nous analysons l'influence de la nature des matériaux des parois de l'habitat sur l'évolution, au cours de la journée type du mois d'avril, de la température de l'air intérieur (la *figure 8*). Ces habitats sont construits d'une part, en matériaux modernes de construction (parpaings creux de ciment) et d'autre part, en matériaux locaux de construction (BTC et terre crue). Il est à noter qu'entre 9h-24h, les températures de l'air à l'intérieur des habitats dont les parois sont en matériaux locaux sont inférieures à celles dans l'habitat en parpaing creux de ciment. De plus, la valeur maximale de la température atteinte dans le local en parpaing de ciment est de 38,5°C. Elles sont respectivement de 35,5°C et de 35°C, dans les locaux dont les parois sont en terre crue et en BTC. Ce résultat s'explique par les propriétés thermiques (masse volumique, chaleur massique, conductivité...). En effet, les blocs de terre comprimée et la terre crue ont une forte inertie thermique comparée à celle du parpaing creux. Il s'ensuit que l'amortissement des gains thermiques des constructions en terre est supérieur à celui des constructions en parpaings de ciment.

Nous pouvons donc conclure que les matériaux de constructions locaux tels que la terre crue ou le BTC ont une inertie thermique supérieure à celle au parpaing de ciment.

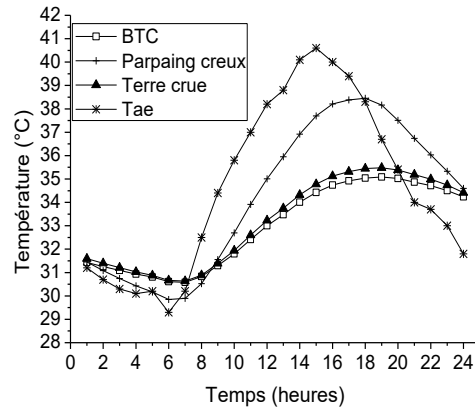


Figure 8: Evolution des températures de l'air à l'intérieur de l'habitat : influence de la composition des parois

L'influence de l'épaisseur du mur sur les températures maximales atteintes à l'intérieur de l'habitat est illustrée sur la **figure 9**. L'analyse de cette figure montre que la valeur maximale de la température à l'intérieur de l'habitat dont l'épaisseur de mur est égale à 10cm, peut être réduite de 5°C lorsque l'épaisseur du mur est égale à 50cm. Ainsi, la température à l'intérieur de l'habitat est d'autant plus amortie dans le temps par rapport à celle de l'extérieur, que l'épaisseur du mur est importante. Cette figure montre également que l'augmentation de l'épaisseur du mur jusqu'à 25cm engendre une décroissance des valeurs maximales des températures à l'intérieur de l'habitat (environ 1°C pour 5cm d'épaisseur additionnelle). L'influence de l'épaisseur sur les valeurs maximales de la température est moins important lorsque l'épaisseur du mur est supérieure à 25cm (environ 0.5°C tous les 5cm d'épaisseur).

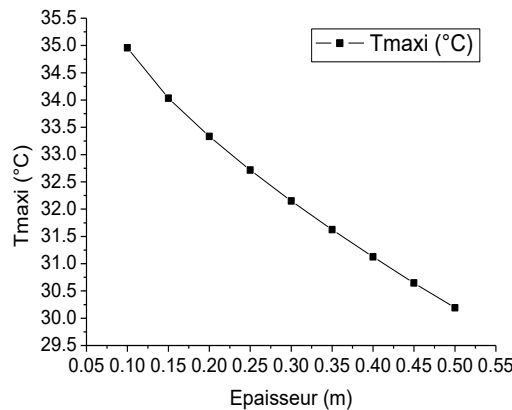


Figure 9: Températures maximales atteintes par l'air intérieur du local en fonction de l'épaisseur du mur

L'épaisseur du mur amortit les valeurs maximales de la température de l'air intérieur (facteur d'amortissement de plus en plus faible) pour un taux de renouvellement d'air donné (**figure 10**). Il est à noter qu'une sur-ventilation de l'habitat provoque un accroissement du facteur d'amortissement. Aussi, est-il nécessaire de trouver un compromis entre l'épaisseur du mur et le taux de renouvellement d'air du local pour l'obtention d'une température de l'air à l'intérieur de l'habitat conforme à la notion de confort thermique. Par exemple, pour un local dont le taux de renouvellement d'air est d'environ 2,5vol/h, la réduction des apports thermique d'un mur d'épaisseur égale à 30cm est sensiblement égale à celle d'un mur d'épaisseur égale à 50cm.

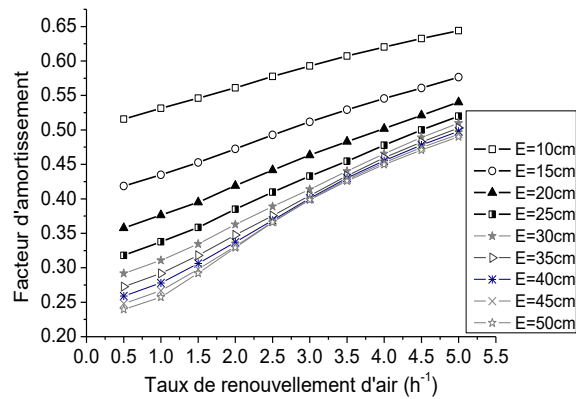


Figure 10: Facteur d'amortissement en fonction du taux de renouvellement d'air : Influence de l'épaisseur du mur

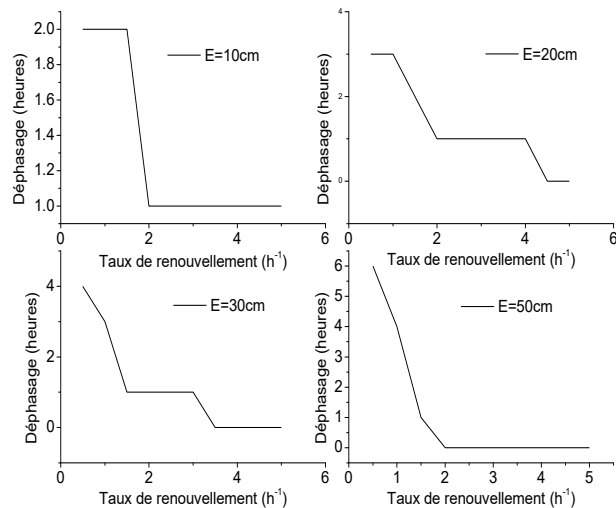


Figure 11: Déphasage thermique en fonction du taux de renouvellement d'air: influence de l'épaisseur

Le déphasage thermique entre les valeurs maximales des températures extérieure et intérieure peut croître d'une valeur de 2h jusqu'à 6h lorsque l'épaisseur du mur augmente de 10cm à 50cm (*figure 11*). L'augmentation du taux de renouvellement d'air horaire fait chuter ce déphasage thermique à partir d'une certaine valeur qui dépend de l'épaisseur du mur. Par exemple, pour un mur d'épaisseur faible (10cm), le local peut être ventilé avec un taux de renouvellement d'air de 1,5vol/h pour un déphasage thermique de 2 heures. Pour un mur d'épaisseur plus importante (50cm) le déphasage thermique entre l'intérieur et l'extérieur est de 1 heure. Ces résultats montrent que plus l'habitat est massif moins il a besoin d'être ventilé.

5. Conclusion

Nous avons présenté une modélisation numérique des transferts de chaleur dans un habitat en climat tropical sec (ville de Ouagadougou). Les équations de transferts basées, sur la méthode nodale, sont résolues par une méthode implicite aux différences finies et l'algorithme de Gauss. Nous avons analysé l'influence du taux de renouvellement d'air, de l'épaisseur des murs et de leurs compositions sur les distributions spatio-temporelles de la température de l'air intérieur de l'habitat et celles de ses parois. Les principaux résultats montrent que les habitats en terre crue ou en BTC offrent une ambiance thermique intérieure meilleure que ceux en matériaux de construction moderne (parpaing de ciment) utilisés de plus en plus dans les constructions d'habitats au Burkina

Faso. L'épaisseur du mur joue un rôle important sur l'évolution des températures maximales à l'intérieur de l'habitat. En effet, l'augmentation de l'épaisseur des murs contribue à une meilleure inertie thermique de l'enveloppe de l'habitat, améliore le facteur d'amortissement et le déphasage thermique entre l'intérieur et l'extérieur. Dans les constructions à forte inertie, le taux de renouvellement d'air doit être maîtrisé car l'effet de la sur-ventilation a un impact négatif sur les capacités de l'habitat à amortir les valeurs maximales des températures. Il en résulte une réduction considérable du déphasage thermique des températures à l'intérieur de l'habitat.

Nomenclature

DFS	Densité du flux solaire absorbé par le matériau, $W.m^{-2}$
T_a	Température de l'air, $^{\circ}C$
T_s	Température de surface des parois, $^{\circ}C$
V	Volume, m^3
h_c	Coefficient de transfert de chaleur par convection, $W.m^{-2}.K$
h_r	Coefficient de transfert de chaleur par rayonnement, $W.m^{-2}.K$
A	Aire, m^2
f	Facteur d'amortissement
ϕ	Déphasage thermique, h
ρ	Masse volumique, $kg.m^3$
C_p	Capacité thermique massique, $J.kg^{-1}.K^{-1}$
α	Coefficient d'absorptivité
max	maximal
min	minimal
e	externe
i	interne

REFERENCES :

- [1] F. R. L. M. Cheung C, «Energy-efficient envelope design for high-rise apartments.,» *Energy Build*, vol. 37, n° %11, pp. 37-48, 2005.
- [2] O. J. ., P. C. Perez-Lombard L., «A review on energy consumption information.,» *Energy Build*, vol. 40, n° %13, pp. 394-8, 2008.
- [3] e. a. Bastide A, «Building energy efficiency and thermal comfort in tropical climates: presentation of a numerical approach for predicting the percentage of well-ventilated living spaces in buildings using natural ventilation.,» *Energy Build*, vol. 38, n° %19, pp. 1093-103, 2006.
- [4] B. I. Al-Saadi S., «Performance based envelope design for residential building in hot climates.,» *Proceedings of building simulation*, 2007.
- [5] S. M. a. al, «The effect of building envelope on thermal comfort and energy saving for high-rise building in hot humid climate.,» *Renewable and sustainable Energy Reviews*, vol. 53, pp. 1508-1519, 2016.
- [6] E. W. Y. C. A. M. P. M. Madi Kabore, «Assesment on passive cooling techniques to improve steel roof performance in hot tropical climate.,» *International Journal of Energy and Power Engineering*, vol. 3, n° %16, pp. 287-295, 2014.
- [7] A. O. K. P. B. Z. I. Ouédraogo, «Modeling of a bioclimatic roof using natural ventilation.,» *International Scientific Journal for Alternative Energy and ecology*, vol. 62, n° %16, 2008.
- [8] Y. F. S. P. Bojic M., «Energy performance of windows in high-rise residential buildings in Hong Kong.,» *Energy and Buildings*, vol. 34, n° %11, pp. 71-82, 2002.

- [9] F. P. F. N. C. S. A. Gagliano, «Assessment of the dynamic thermal performance of massive buildings,» *Energy and Buildings*, vol. 72, pp. 361-370, 2014.
- [10] I. d. l. e. d. l. d. l. Francophonie., «Efficacité énergétique de la climatisation en région tropicale. Tome1: Conception des nouveaux bâtiments.,» PRISME, 2001.
- [11] B. L. A. K. L. M. Thomas Nganya, «Elaboration of a bioclimatic house in humid tropical region: Case of the town of Douala-Cameroon,» *Energy and building*, vol. 54, pp. 105-110, 2012.
- [12] L. M. F. V. T. G. Evola, «Combining thermal inertia, insulation and ventilation for improving indoor summer thermal comfort.,» chez *34th AIVC Conference*, Athens, 2013.
- [13] Institut de la Francophonie pour le Developpemnt durable (IFDD), Organisation Internationale de la francophonie (OIF), «Guide du bâtiment durable en régions tropicales. Tome 1: Stratégies de conception des nouveaux bâtiments en régions tropicales,» 2015.
- [14] O. C. A. O. A. M. Emmanuel Ouedraogo, «Caractérisation mécanique et thermophysique des blocs de terre comprimée stabilisée au papier (cellulose) et/ou au ciment,» *Journal of Materials and Engineering Structures*, vol. 2, pp. 68-76, 2015.
- [15] J. C. B. G.-P. C. T. H. BOYER, «Thermal building simulation and computer generation of nodal models».
- [16] K. Ulgen, «Experimental and theoretical investigation of effects of wall's thermophysical properties on time lag and decrement factor.,» *Energy and buildings*, vol. 34, pp. 273-278, 2002.
- [17] L. M. G. Evola, «A dynamic parameter to describe the thermal response of building to radiant heat gains.,» *Energy and Buildings*, vol. 65, pp. 448-457, 2013.
- [18] O. C. e. A. O. E. Ouedraogo, «Elaboration d'une année météorologique type de la ville de Ouagadougou pour l'étude des performances énergétiques des bâtiments,» *Revue des Energies renouvelables*, vol. 15, n° %11, pp. 77-90, 2012.
- [19] A. Kemajou et L. Mba, «Real impact of the thermal inertia on the internal ambient temperature of the building in the hot humid climate: simulation and experimental study in the city of Douala in Cameroon,» *International Journal of Research and Reviews in Aplied Sciences*, vol. 11, n° %13, pp. 358-367, 2012.
- [20] U. R. CEDEAO, «Rapport d'étape sur les énergies renouvelables et l'efficacité enrgétique de la CEDEAO,» 2014.
- [21] I. d. l. e. d. l. d. l. Francophonie, «Les systèmes de ventilation et de climatisation. Fiche technique PRISME 2,» IEPF, 2001.
- [22] M. Ozel, «Effect of wall orientation on the optimum insulation thickness,» *Applied Energy*, vol. 88, p. 2429–2435, 2011.
- [23] «Institut de l'Energie et de l'Environnement de la Francophonie (IEPF), « Les systèmes de ventilation et climatisation,» Fiche technique PRISME 2, <http://www.iepf.org/ressources/ressources-pub.php?id = 2 & année = 2001, 2001>.
- [24] X. W. H. D. F. J. Y. Z. R. Zeng, « New concepts and approach for developing energy efficient buildings: Ideal specific heat for building internal thermal mass.,» *Energy and Buildings*, vol. 43, n° %15, pp. 1081-1090, 2011.
- [25] A. P. F. F. Laura Bellia, «The role of weather data files in climate-based daylight modeling,» *Solar Energy*, vol. 112, pp. 169-182, 2015.
- [26] G. H. O. N. M. Roberto Z. Freire, «Development of regression equations for predicting energy and hygrothermal performance of buildings.,» *Energy and Buildings*, vol. 40, pp. 810-820, 2008.