

## **Étude numérique du confort thermique dans un habitat bioclimatique en brique de terre stabilisée pour un climat type de la Guinée**

**Yacouba CAMARA<sup>1,2</sup>, Xavier CHESNEAU<sup>1\*</sup> et Cellou KANTE<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Université de Perpignan Via Domitia, Laboratoire de Mathématiques et Physique, 66860, Perpignan, France*

<sup>2</sup> *Université Gamal Abdel Nasser, Laboratoire d'Enseignement et de Recherche en Energétique Appliquée, BP 1147, Conakry, Guinée*

---

\* Correspondance, courriel : [chesneau@univ-perp.fr](mailto:chesneau@univ-perp.fr)

### **Résumé**

L'objectif de cette recherche est de contribuer à l'amélioration des performances énergétiques des habitats bioclimatiques en zone tropicale chaude et humide. Une modélisation numérique des phénomènes de transfert de chaleur dans un habitat en brique de terre stabilisée (BTS) est présentée. Cet habitat comporte également une toiture en feuilles de tôles d'aluminium, un faux plafond en panneau de laine de bois et un plancher en béton. Une étude sur l'épaisseur des murs et de leurs compositions sur les distributions de la température de l'air de l'habitat et celles de ses parois est présentée. Les résultats montrent que pour des habitats de même type, les constructions en matériaux locaux (matériaux en terre) offrent une meilleure ambiance thermique intérieure par rapport aux constructions modernes (parpaings de ciment). Nous avons également effectué une étude de l'influence de l'épaisseur des murs sur la température à l'intérieur de l'habitat. Cette étude montre qu'une augmentation de l'épaisseur apporte une baisse significative de la température de l'habitat mais au delà de 25 cm, cette baisse n'est plus aussi importante. Les influences des conditions climatiques (flux solaire maximum et les températures ambiantes minimum et maximum) ont été étudiées pour mettre en évidence leurs impacts sur la température à l'intérieur de l'habitat. Enfin, nous avons montré que le taux de renouvellement d'air ne doit pas être élevé si l'on veut conserver une température modérée à l'intérieur de l'habitat.

**Mots-clés :** *inertie thermique, taux de renouvellement d'air, habitat bioclimatique.*

### **Abstract**

**Numerical study of thermal comfort in a bioclimatic habitat in stabilized clay brick for a typical climate of Guinea**

The objective of this research is to contribute to improving the energy performance of bioclimatic habitats in hot and humid tropical zones. Numerical modeling of heat transfer phenomena in stabilized clay brick habitat (BTS) is presented. This habitat also includes aluminum sheet roofing, a false wood wool panel ceiling and a concrete floor. A study of the walls thickness and their compositions on the distributions of the air temperature of the habitat and those of its walls is presented. The results show that for the same type habitats, constructions made of local materials (clay brick) offer a better indoor thermal environment compared to modern constructions (cement blocks). We also conducted a study of the influence of wall thickness on the temperature inside the habitat. This study shows that an increase in the thickness brings a significant decrease

in the habitat temperature but beyond 25 cm, this decrease is not so important anyone. The influences of climatic conditions (maximum solar flux and minimum and maximum ambient temperatures) have been studied to highlight their impacts on temperature inside the habitat. Finally, we have shown that the air exchange rate should not be high if we want to maintain a moderate temperature inside the habitat.

**Keywords :** *thermal inertia, air renewal rate, bioclimatic habitat.*

### Nomenclature

$h_{r_{sol}}$	<i>Coefficient de transfert par rayonnement paroi-sol [<math>W.m^{-2}.K^{-1}</math>]</i>
$h_{r_{vc}}$	<i>Coefficient de transfert par rayonnement paroi-voûte céleste [<math>W.m^{-2}.K^{-1}</math>]</i>
$T_{vc}$	<i>Température de la voûte céleste [K]</i>
$h_c$	<i>Coefficient de transfert par convection [<math>W.m^{-2}.K^{-1}</math>]</i>
$h_r$	<i>Coefficient de transfert par rayonnement [<math>W.m^{-2}.K^{-1}</math>]</i>
$h_d$	<i>Coefficient de transfert par conduction [<math>W.m^{-2}.K^{-1}</math>]</i>
$K$	<i>Conductivité thermique [<math>W.m^{-1}.K^{-1}</math>]</i>
$h_{cex}$	<i>Coefficient de transfert par convection paroi extérieure [<math>W.m^{-2}.K^{-1}</math>]</i>
$h_{r_{i \rightarrow pi}}$	<i>Coefficient de transfert par rayonnement entre les autres parois [<math>W.m^{-2}.K^{-1}</math>]</i>
$\alpha_{tex}$	<i>Coefficient d'absorption de la couverture extérieure [constant]</i>
$\varphi_{tex}$	<i>Densité de flux de chaleur à la paroi extérieure [<math>W.m^{-2}</math>]</i>
$T_{amb}$	<i>Température ambiante [K]</i>
$T_{air}$	<i>Température de l'air [K]</i>
$T_{sol}$	<i>Température du sol [K]</i>
$E_p$	<i>Épaisseur de la paroi [m]</i>
$\Phi_{ra}$	<i>Flux d'échange par renouvellement d'air [<math>J.h^{-1}</math>]</i>
$T_{pni}$	<i>Température mur nord intérieur [K]</i>
$T_{pse}$	<i>Température mur sud extérieur [K]</i>
$T_{tex}$	<i>Température toiture extérieure [K]</i>
$T_{ti}$	<i>Température toiture intérieure [K]</i>
$T_{pi}$	<i>Température paroi planché [K]</i>
$T_{AITFLU7}$	<i>Température de l'air à l'intérieur de la toiture pour un flux solaire maximale de 700 <math>W/m^2</math> [<math>^{\circ}C</math>]</i>
$T_{AITFLU16}$	<i>Température de l'air à l'intérieur de la toiture pour un flux solaire maximale de 1600 <math>W/m^2</math> [<math>^{\circ}C</math>]</i>
$T_{AIHFLU10}$	<i>Température de l'air à l'intérieur de l'habitat pour un flux solaire maximal de 1000 <math>W/m^2</math> [<math>^{\circ}C</math>]</i>
$T_{AIHMAX30}$	<i>Température de l'air à l'intérieur de l'habitat pour une température maximale de 30 <math>^{\circ}C</math> [<math>^{\circ}C</math>]</i>
$T_{AIHMIN15}$	<i>Température de l'air à l'intérieur de l'habitat pour une température minimale de 15 <math>^{\circ}C</math> [<math>^{\circ}C</math>]</i>

## 1. Introduction

Le secteur du bâtiment se classe aujourd'hui parmi les trois gros consommateurs d'énergie dans le monde avec le secteur du transport et celui de l'industrie [1]. La part de la consommation de l'énergie dans le secteur du bâtiment s'élève à 40 % de l'énergie mondiale [2, 3] et 50 % de cette consommation annuelle est causé généralement par les systèmes de chauffage, de ventilation et de conditionnement d'air [4]. La réduction de la consommation de l'énergie dans le secteur des 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 et son orientation, soit sur la composition des matériaux de son enveloppe (murs et toiture, etc.) ou sur les protections solaires [5] ou encore sur l'amélioration de son inertie thermique. Une étude sur l'influence du modèle de toiture des bâtiments sur la performance thermique du bâtiment en climat tropical a été effectuée par [6]. De ce fait, la promotion de nouvelles techniques de climatisation à faible consommation d'énergie et l'amélioration de l'efficacité énergétique des habitats s'avèrent indispensables. La climatisation passive qui consiste à minimiser l'action du rayonnement solaire sur l'ambiance interne par diverses techniques et à exploiter les caractéristiques architecturales des bâtiments devient très prometteuse [7]. I. Ouedraogo a fait une étude numérique d'une toiture bioclimatique favorisant la ventilation pour réduire les charges thermiques dans un habitat en climat tropical sec [8]. [9] ont étudié expérimentalement le comportement thermique des constructions massives en exploitant simultanément l'inertie thermique et la ventilation naturelle pour réduire les phénomènes de surchauffe dans le bâtiment. En Afrique sub-saharienne, la conception des bâtiments modernes n'est pas toujours adaptée au contexte climatique de la région [10]. Ceci a pour conséquence une consommation excessive d'énergie dans le secteur du bâtiment dans ces régions. Certains chercheurs se sont penchés sur cette problématique. [11] ont élaboré un modèle d'habitat bioclimatique en climat tropical humide dans la ville de Douala.

Kemajou quant à lui a étudié l'impact de l'inertie thermique du bâtiment sur la température de l'ambiance intérieure dans les bâtiments toujours en climat tropical humide. [12] Ont fait une étude sur les économies d'énergie par les techniques de contrôle solaire et l'orientation optimale du bâtiment pour le placement stratégique des systèmes d'ombrage de façade. Dans cette étude, ils ont démontré que les modèles urbains sans bâtiments hautement conçus augmentent la demande de chaleur et d'énergie urbaine. [13] ont effectué une étude paramétrique des stratégies de conception passive pour les immeubles résidentiels de grande hauteur pour les climats chauds et humides. Dans cette étude, ils se sont intéressés à la disposition du bâtiment, aux propriétés thermophysiques de l'enveloppe, à la géométrie du bâtiment, à l'infiltration et l'étanchéité de l'air pour améliorer la durabilité et les conditions de confort thermique des bâtiments. Ces mêmes auteurs dans une autre étude, ont développé un méta-modèle pour les analyses de sensibilités et la prédiction de la performance des bâtiments écologiques pour les immeubles résidentiels de grande hauteur passivement conçus à Hong Kong [14]. L'architecture bioclimatique est une technique dont le coût est moins élevé. Elle permet de faire des économies considérables. Par ailleurs, un grand nombre de demeures construites par nos ancêtres utilisaient déjà cette technologie : spacieuses, constituées de matériaux de qualité et d'une bonne finition.

Aujourd'hui, le souci du rendement et du profit a entraîné la perte de qualité et l'utilisation de matériaux inadéquats dans les constructions [15]. La maison solaire passive comme décrite par [16] est une technique de conception d'un bâtiment en tenant compte du site, du climat, des matériaux locaux de construction. La conception des bâtiments repose essentiellement sur des critères d'économie d'énergie en associant l'isolation, contribution solaire et l'inertie avec le confort thermique. Elle est définie comme étant la satisfaction exprimée par un individu par rapport à l'environnement thermique du milieu dans lequel elle évolue. Ainsi, cette sensation thermique du confort ne doit avoir ni trop de chaleur, ni trop de froid pour une personne [17, 18]. La sensation de confort est une notion difficile à quantifier. Elle dépend d'un grand nombre de critères ayant pour but la réalisation d'un équilibre thermique adéquat entre le corps humain et son environnement [19]. Le confort thermique est un besoin humain évident. Les installations modernes des structures bâties (secteur habitable) ou construites (secteur de transports) sont équipées de systèmes permettant de réchauffer ou de refroidir l'intérieur [20, 21]. De nombreuses études physiques ou psychophysiques ont montré des relations entre l'intensité de la sensation et celle du stimulus. Cette sensation augmente en fonction de l'intensité du stimulus, ou l'écart entre le stimulus et un seuil. J. Weawsak a montré, à l'aide d'une étude numérique basée sur les analogies électriques et d'une étude expérimentale

que, la toiture décrite par [22, 23] joue pendant la nuit le rôle d'un échangeur thermique avec l'environnement et provoque une déperdition thermique par rayonnement avec la voûte céleste [24]. Les performances de la toiture bioclimatique ont été analysées expérimentalement et comparées à celle d'une toiture assimilée à un capteur solaire plan. Des travaux expérimentaux effectués pendant l'hiver (décembre) et l'été (mars-avril) montrent que la température à l'intérieur de l'habitat, équipé d'une toiture bioclimatique, est inférieure à celle d'un l'habitat avec une toiture de type capteur solaire plan et à celle de l'ambiance. Les matériaux de construction en terre (brique d'argile cuite, tuiles, bloc de terre comprimée) sont reconnus pour leur grande inertie thermique. Dans les zones tropicales, ces matériaux sont utilisés en partie pour le confort thermique qu'ils produisent dans les bâtiments. Si des données importantes sont disponibles, au niveau de leurs propriétés mécaniques, ce n'est pas le cas pour les propriétés thermiques (conductivité thermique, diffusivité thermique, etc.) où les données sont soit mal connues soit inexistantes [25]. Le bloc d'argile stabilisée est destiné à la réalisation des murs des maisons, pour inciter à son utilisation, une bonne connaissance de ses propriétés telles que sa conductivité thermique, sa résistance à la compression, peuvent être des facteurs importants [7, 26]. L'objectif de cette recherche est de contribuer à l'amélioration du confort thermique d'un habitat en matériaux de construction locaux pour un climat tropical sec et humide. Nous présentons en premier lieu, une modélisation numérique des transferts thermiques dans un habitat en briques de terre stabilisées pour un climat type de la Guinée et la méthode de résolution de ces équations. Ensuite nous faisons une étude comparative entre les profils de températures des différents composants de l'habitat et entre les performances de trois matériaux de construction. Enfin nous évaluons l'influence de certains paramètres sur la distribution de la température dans l'enceinte de l'habitat, tels que : le taux de renouvellement d'air, la variation de l'épaisseur, la variation du flux solaire, de la température maximale et de la température minimale.

## 2. Méthodologie

### 2-1. Présentation de la zone d'étude

La Guinée est un pays de l'Afrique de l'Ouest, elle est limitée au nord par le Sénégal, au Nord-est par le Mali, au Nord-Ouest par la Guinée Bissau, à l'Ouest par l'Océan Atlantique, au sud par la Sierra Leone et le Libéria, à l'Est par la Côte d'Ivoire et une partie du Mali (*Figure 1*). Elle a une superficie de 245 857 Km<sup>2</sup> [27].

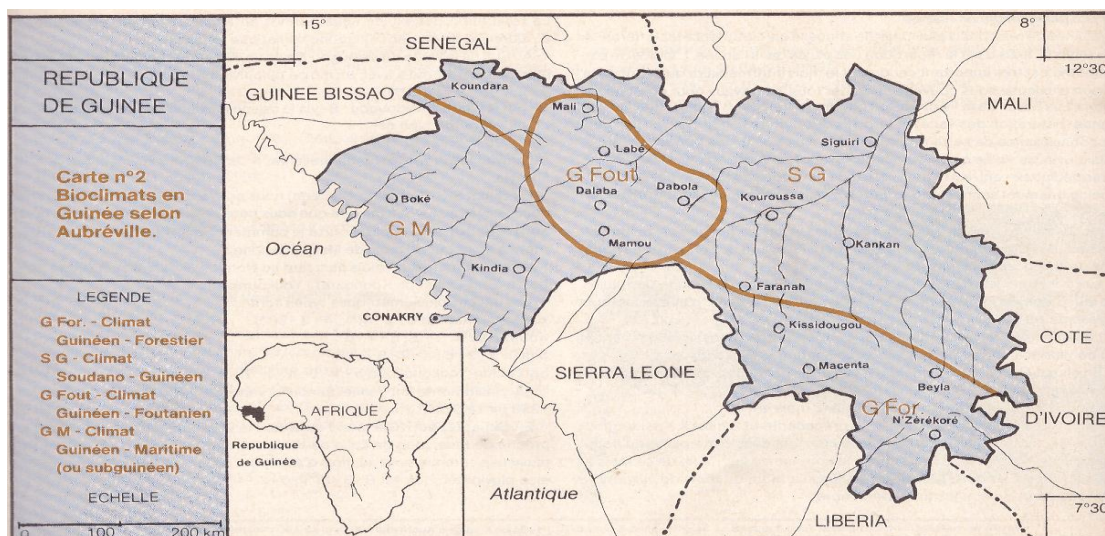


Figure 1 : Carte climatique de la République de Guinée [28]

Le climat est partagé en deux zones : tropical et subéquatorial. Les quatre régions ont leurs propres particularités météorologiques en raison de la diversité du relief. Le climat tropical est lui-même divisé en :

- *Climat tropical maritime en Basse Guinée*

La plaine côtière connaît les précipitations les plus fortes et les températures les plus constantes. La seule saison des pluies dure six mois avec des précipitations abondantes (5000 mm en moyenne) avec un pic au mois d'Août. Les températures oscillent entre 23°C et 35°C. Conakry, la capitale reçoit 4267 mm de pluie par an, la moyenne des températures est de 27°C.

- *Climat tropical de montagne en Moyenne Guinée*

Cette zone a une saison des pluies qui dure cinq mois. Les précipitations sont moins importantes et oscillent entre 1600 mm et 2000 mm avec des températures adoucies qui varient de 20°C à 25°C le jour et de 5°C à 10°C la nuit en hiver.

- *Climat tropical sec ou Subsoudanien en Haute Guinée*

Cette zone a un climat sec et la saison des pluies varie entre trois et quatre mois avec une moyenne annuelle de 1500 mm qui est plus faible sur le plateau mandingue. Les températures sont élevées, presque toute l'année, excepté les mois de décembre et février (15°C au lieu de 40°C) à cause de "l'harmattan".

- *Climat subéquatorial en Guinée Forestière*

Il se caractérise par deux périodes pluvieuses, séparées par une petite saison sèche (de 2 à 3 mois) qui tend à disparaître. Pendant la saison des pluies, il tombe entre 1500 et 2600 mm d'eau. La température (de 24°C à 28°C) et l'humidité sont constantes tout au long de l'année.

## 2-2. Description du modèle d'habitat bioclimatique

Le modèle de toiture bioclimatique que nous utilisons est de type capteur solaire plan dont la couverture est constituée de feuilles de tôles en aluminium. Considérons, comme le montre **les Figures 2 et 3**, un habitat que l'on peut décomposer en une toiture et une enceinte de section parallélépipédique séparées par un panneau rectangulaire en laine de bois comme faux plafond. La toiture est assimilée à une paroi plane de section rectangulaire, inclinée d'un angle de 30° par rapport à l'horizontale constituée de feuilles de tôles en aluminium et les parois verticales en briques de terre stabilisée dans laquelle circule de l'air par convection. Les propriétés thermophysiques des matériaux constituant la toiture, le faux plafond et l'enceinte parallélépipédique, supposées constantes sont reportées dans le **Tableau 1** à la page suivante.

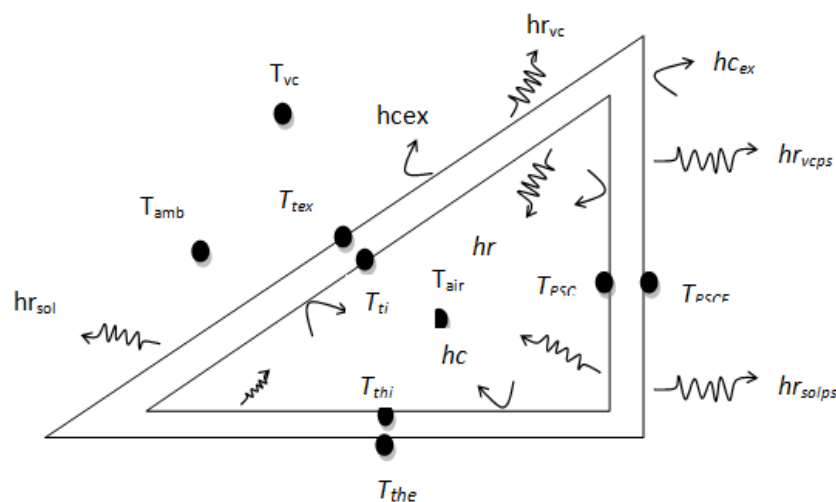
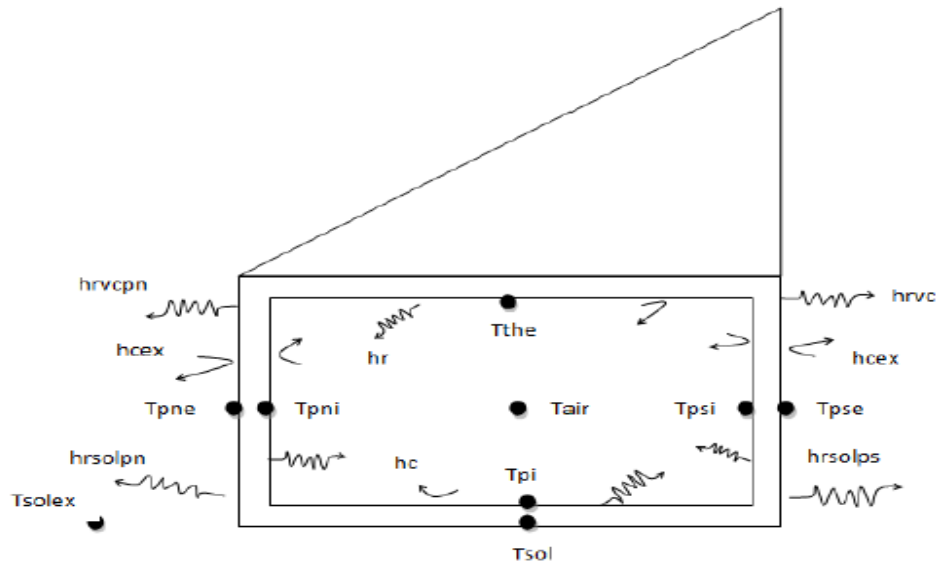


Figure 2 : Schéma de la toiture du modèle d'habitat



**Figure 3 :** Schéma de l'enceinte parallélépipédique de l'habitat bioclimatique

**Tableau 1 :** Propriétés thermophysiques des matériaux constituant l'habitat [29, 30]

Matériaux	Masse volumique $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Capacité calorifique $C_p$ (J/Kg/K)	Conductivité thermique $K$ (W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> )
Aluminium	2707	896	204
BTS	2000	1500	1.1
Laine de bois	150	2100	0.065
Béton	2300	1000	1.75
Parpaing	1000	1000	0.833

### 2-2-1. Formulation mathématique du modèle

#### 2-2-1-1. Hypothèses simplificatrices

La méthodologie adoptée pour la description du comportement thermique de notre modèle d'habitat repose sur l'analyse nodale [11, 31]. L'étude détaillée des phénomènes de transmission de la chaleur mis en jeu dans le fonctionnement de l'habitat (**Figures 2 et 3**) nous amène à émettre un certain nombre d'hypothèses dont les principales sont :

- 1- Les transferts de chaleur sont unidirectionnels ;
- 2- L'inertie thermique de l'air est négligeable ;
- 3- Les matériaux sont assimilés à des corps gris ;
- 4- Le taux de renouvellement d'air est variable dans l'enceinte de l'habitat.

#### 2-2-1-2. Équations de base

L'établissement des équations de transfert est basé sur l'analogie entre les transferts thermique et électrique. D'une façon générale, la variation instantanée de l'énergie au sein d'un composant de l'habitat est égale à la somme algébrique des densités de flux échangés au sein de ce composant. Elle s'écrit :

$$\frac{M_i C p_i}{s} \frac{\partial T_i}{\partial t} = D F S A_i + \sum_{i=1}^n \sum_x \varphi_{xij} \tag{1}$$

$\varphi_{xij}$ : Densité de flux solaire échangé par le mode de transfert  $x$  (Conduction, Convection et rayonnement) entre les milieux  $(i)$  et  $(j)$ ,  $(W.m^{-2})$ ;  $S$ : surface de la paroi  $(m^2)$ ;  $D F S A_i$ : densité de flux solaire absorbé par la composante  $(i)$  de l'habitat  $(W.m^2)$

$$D F S A_i = \alpha_i \varphi_i \tag{2}$$

$\alpha_i$ : Coefficient d'absorption thermique du matériau  $(i)$ ;  $\varphi_i$ : Densité de flux solaire capté par la surface du milieu  $(i)$   $(W.m^2)$ .

En introduisant un coefficient d'échange de chaleur  $h_{xij}$  et en linéarisant les transferts, nous pouvons écrire :

$$\varphi_{xij} = h_{xij} (T_j - T_i) \tag{3}$$

Ainsi, l'Équation 1 s'écrit :

$$\frac{M_i C p_i}{s} \frac{\partial T_i}{\partial t} = D F S A_i + \sum_{i=1}^n \sum_x h_{xij} (T_j - T_i) \tag{4}$$

Nous allons, par la suite, appliquer l'Équation 3 aux divers milieux de notre système.

#### Paroi externe de l'habitat

$$\frac{M_{tex} C p_{tex}}{s} \frac{\partial T_{tex}}{\partial t} = \alpha_{tex} \varphi_{tex} + \frac{K_{tex}}{E p_{tex}} (T_{ti} - T_{tex}) + h c_{ex} (T_{amb} - T_{tex}) + h r_{vc,pex} (T_{vc} - T_{tex}) + h r_{sol,pex} F_{sol} (T_{sol} - T_{tex}) \tag{5}$$

#### Zone d'air de l'habitat

$$\frac{M_{air} C p_{air}}{s} \frac{\partial T_{airh}}{\partial t} = \sum_{i=1}^n h_{ci,pi} (T_{pi} - T_{airh}) + \phi_{ra} \tag{6}$$

Si l'on considère un volume d'air  $V$  échangé entre l'extérieur et l'intérieur de l'habitat, correspond à une quantité de chaleur  $Q$  en joules et en supposant que ce volume soit échangé toutes les heures, nous avons un flux d'échange par renouvellement d'air  $\phi_{ra}$   $(J.h^{-1})$ :

$$\phi_{ra} = c \dot{Q} (T_{airex} - T_{airint}) \tag{7}$$

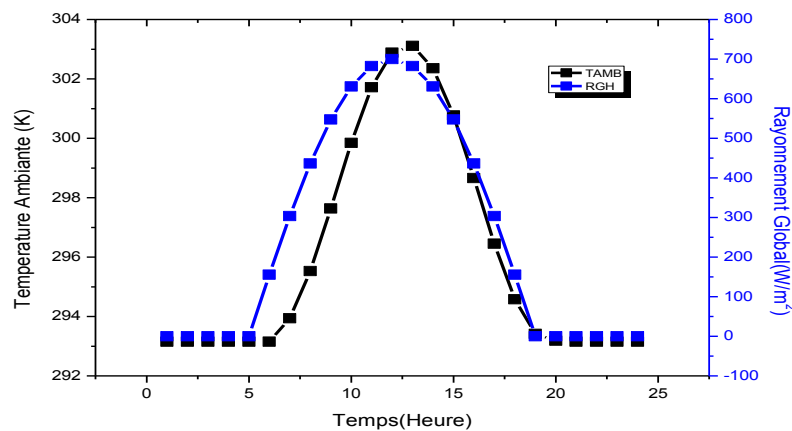
avec,  $\dot{Q}$  le débit volumique en  $m^3.h^{-1}$ ;  $c$ : la chaleur volumique de l'air  $(c = 1225 J.m^{-3}.K^{-1})$ ;  $T_{airex}$ : température ambiante variable de l'air à l'extérieur de l'habitat;  $T_{airint}$ : température de l'air à l'intérieur de l'enceinte de l'habitat

#### Paroi interne de l'habitat

$$\frac{M_{pi} C p_{pi}}{s} \frac{\partial T_{pi}}{\partial t} = \frac{K_{pi}}{E p_{pi}} (T_{pe} - T_{pi}) + h c_i (T_{airh} - T_{pi}) + \sum_{i=1}^n h r_{i \rightarrow pi} F_i (T_i - T_{pi}) \tag{8}$$

### 2-3. Outils

Les outils que nous avons utilisés pour cette recherche, sont les données climatiques de la journée type du mois de mars avec un rayonnement global de  $700 \text{ W/m}^2$ , une température maximale et minimale respectivement de  $30^\circ\text{C}$  et  $20^\circ\text{C}$ . Ces données nous permettent de trouver les variations horaires de la température ambiante et du flux solaire en considérant une variation sinusoïdale (**Figure 4**), le langage de programmation est le Fortran et le logiciel Origin pour tracer les courbes. La **Figure 4** représente l'évolution du rayonnement solaire global sur un plan horizontal (RGH) et de la température de l'air ambiant (TAMB) pour une journée type du mois de mars. En effet, le mois de mars est une période extrême de l'année pour la Guinée. Nous choisissons donc les données climatiques de cette journée type comme données d'entrée de notre programme car elles permettent d'analyser le comportement thermique de l'habitat pour des conditions climatiques extrêmes.



**Figure 4 :** Ensoleillement global et température ambiante de la journée type du mois de Mars

### 2-4. Étude numérique

Les systèmes d'équations algébriques obtenues par l'établissement des bilans d'énergie sur les différents composants du modèle d'habitat sont de la forme [32] :

$$C \frac{dT(t)}{dt} = -K.T(t) + B.\Phi(t) \quad (9)$$

avec,  $T(t)$  : Vecteur d'état des températures aux différents nœuds dépendant du temps  $t$  ;  $C$  : Vecteur colonne composé des capacités thermiques aux différents nœuds ;  $K$  : Matrice carrée composée des conductances thermiques ;  $B$  : Coefficient de matrice pour les différents nœuds ;  $\Phi(t)$  : Vecteur colonne représentant les entrées du système (excitations thermiques).

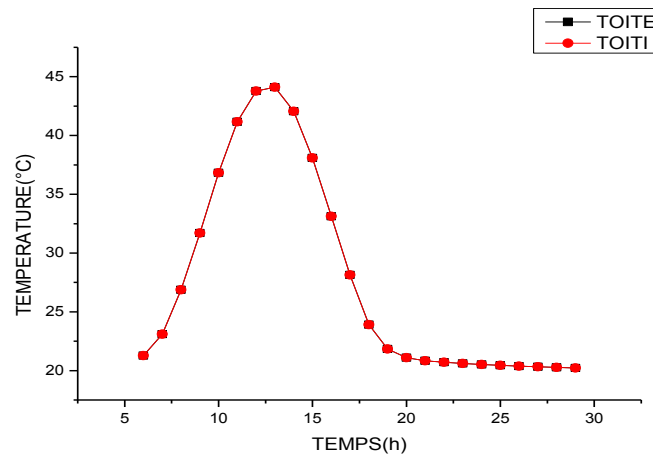
Les **Équations (5 à 7)** sont discrétisées par une méthode implicite aux différences finies, dont la résolution nécessite un calcul itératif. Le système est résolu par l'algorithme de Gauss couplé à une méthode itérative du fait que les coefficients de transfert dépendent des températures des différents composants de l'habitat.



### 3. Résultats et discussion

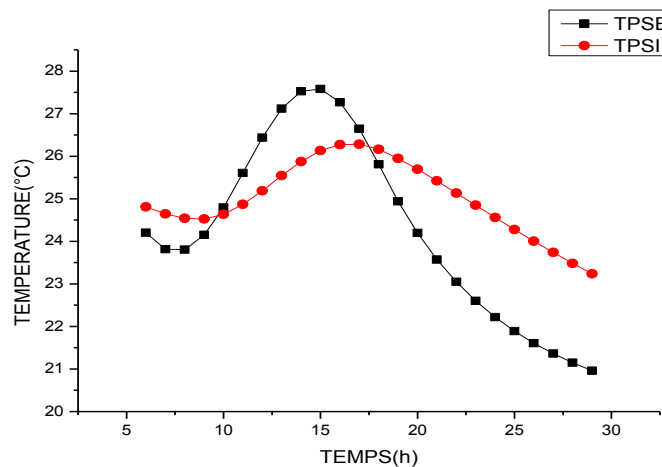
#### 3-1. Distribution des températures

La **Figure 5** représente l'évolution du profil de températures de la paroi extérieure (TOITE) et intérieure (TOITI) de la toiture. Sur cette figure, nous constatons qu'il y a une légère différence entre les deux profils de températures du fait de l'épaisseur qui est de 8 mm. En plus de cela, les deux profils de températures augmentent considérablement du fait que la toiture représente la composante de l'habitat qui est la plus exposée au flux solaire et donc qui engendre le plus de pertes thermiques.



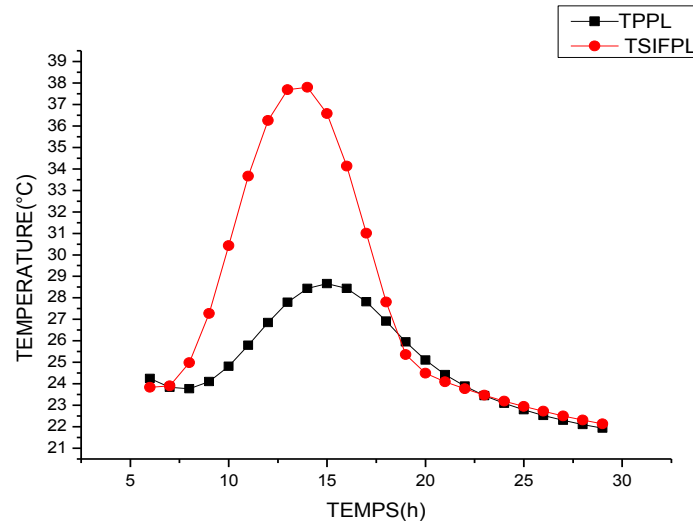
**Figure 5 :** Profil de températures pour les parois extérieure et intérieure de la toiture

La **Figure 6** représente l'évolution du profil de températures du mur sud extérieur (TPSE) et intérieur (TPSI). Sur cette figure, nous constatons que la température extérieure est supérieure à celle de l'intérieure de 6 h à 18 h et de 19 h à 5 h c'est celle de l'intérieure qui est supérieure à celle de l'extérieure, avec un déphasage observé à 12 h. Cependant l'inertie thermique du matériau constitutif du mur (BTS) provoque un déphasage temporel d'ordre plus élevé avec un flux de chaleur capté par ce mur est important. Aussi la valeur maximale de déphasage est de 5 h (12 h-17 h). Cette baisse de température pour la paroi sud extérieure par rapport à celle de l'intérieure de l'habitat pendant la période nocturne est due à l'effet de la voûte céleste.



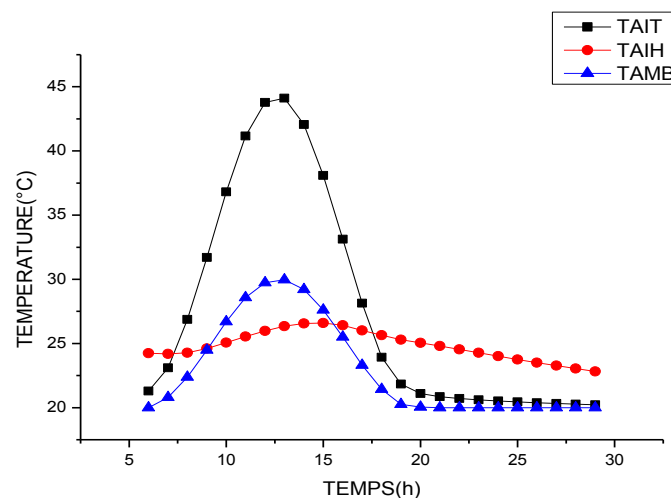
**Figure 6 :** Profil de températures des parois extérieure et intérieure du mur sud

La **Figure 7** représente l'évolution du profil de températures de la surface inférieure du faux plafond (TSIFPL) et de la paroi du plancher (TPPL). Nous constatons que la température au niveau de la surface inférieure du faux plafond augmente considérablement par rapport à la paroi du plancher de 6h à 18h et celle du plancher domine le faux plafond de 19h à 5h. Ce ci est dû à l'influence de la toiture en aluminium et du sol.



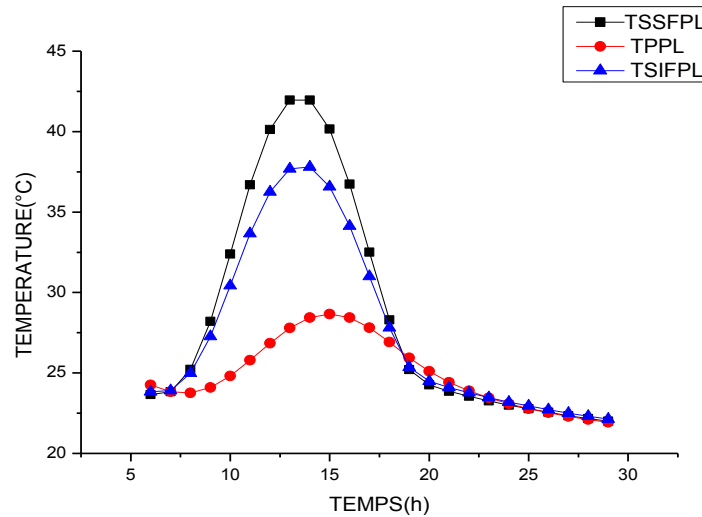
**Figure 7 :** Profil de températures pour le faux plafond et le plancher

La **Figure 8** représente l'évolution au cours du temps de la température de l'air intérieur de la toiture (TAIT), de l'habitat (TAIH) et de l'air ambiant (TAMB). Nous constatons que la température de l'air intérieur de la toiture augmente considérablement et atteint  $44^{\circ}\text{C}$  à 13h, par rapport à celle de l'habitat qui est nettement inférieure à celle de l'air ambiant de 16h à 19h. Cela démontre qu'en Afrique sub-saharienne, la toiture est le composant du bâtiment dont les pertes thermiques sont les plus élevées [6, 8, 32]. Pour notre recherche, la température maximale de l'air dans l'enceinte de l'habitat est observée à partir de 14h et sa valeur est de  $27^{\circ}\text{C}$  qui correspond à la zone de confort permise proposé par [33, 34]. En plus du diagramme de confort de Givoni, nous avons fait référence à la valeur de la température minimale de climatisation ( $26^{\circ}\text{C}$ ) imposé par la loi [35]. Cela démontre que notre valeur est acceptable pour une zone tropicale sèche et humide comme la Guinée en terme de confort.



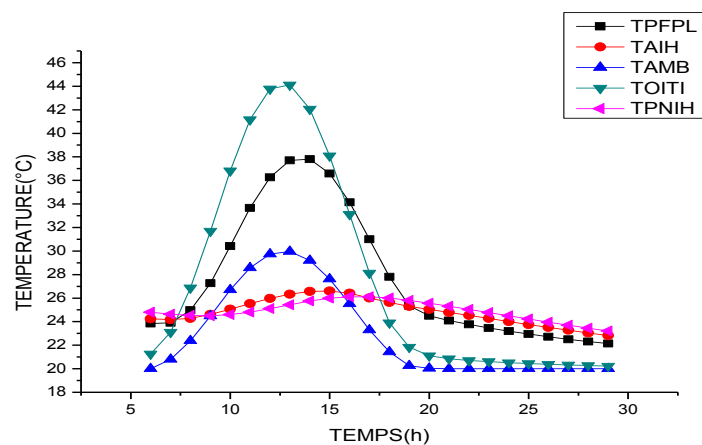
**Figure 8 :** Profil de températures pour l'air intérieur du toit, pour l'habitat et l'air ambiant

La **Figure 9** représente l'évolution du profil de températures de la surface inférieure du faux plafond (TSIFPL), de la surface supérieure du faux plafond (TSSFPL) et de la paroi du plancher (TPPL). Nous constatons que la température de la surface supérieure du faux plafond augmente considérablement par rapport à celle de la surface inférieure du faux plafond et de la paroi du plancher. Cela est dû au confinement de l'air dans la toiture et des pertes thermiques engendrées par la toiture.



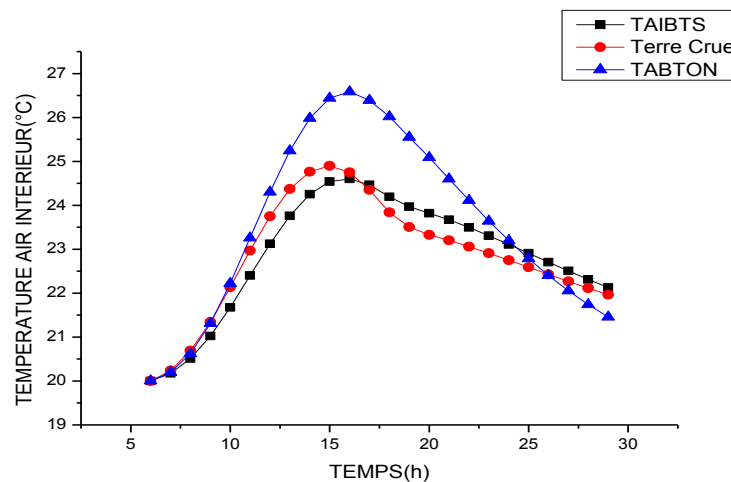
**Figure 9 :** Profil de températures pour le faux plafond, le plancher et la paroi intérieure horizontale de la toiture

La **Figure 10** représente l'évolution au cours d'une journée de la température de l'air intérieur (TAIH), de la face interne du mur nord (TPNIH), du faux-plafond (TPFPL) et du toit (TOITI) de l'habitat par rapport à l'air ambiant (TAMB). On remarque comme l'ont fait d'autres auteurs, qu'en Afrique sub-saharienne, la toiture est le composant du bâtiment dont les pertes thermiques sont les plus élevées [6, 8, 32]. La température au niveau du toit atteint 45°C à 13 h et constitue le composant le plus chaud de l'habitat (**Figure 5**). Nous observons que l'évolution pendant la journée de la température de l'air à l'intérieur de l'habitat est similaire à celle de l'air extérieure. Une analyse de l'évolution des températures au niveau du faux-plafond et du toit montre que la toiture engendre une atténuation de l'influence 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 10 :** Évolution des profils de températures sur certains composants de l'habitat

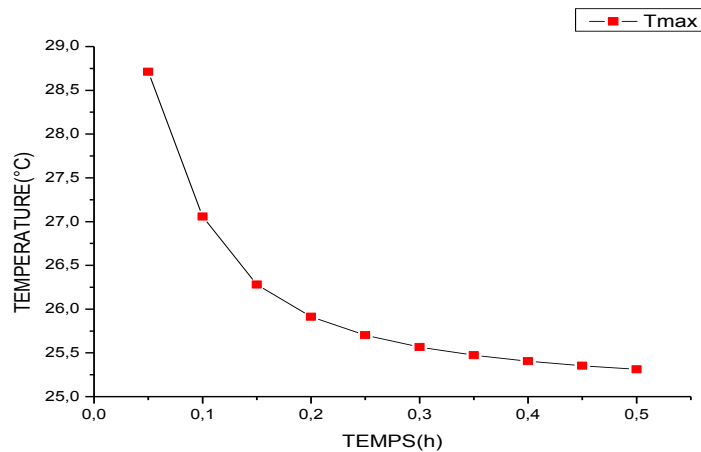
Nous présentons sur la **Figure 11** l'évolution au cours de la journée type du mois de mars des températures de l'air intérieur pour le même type d'habitats avec différents matériaux. Ces habitats sont construits d'une part en matériaux de construction modernes (parpaings de ciment) et d'autre part en matériaux locaux de construction (BTS et terre crue). On constate nettement que les températures obtenues dans les habitats en matériaux locaux sont inférieures à celles dans l'habitat en parpaing de ciment entre 9h et 24h. De plus, la valeur maximale de température atteinte dans le local en parpaing de ciment est de  $26,65^{\circ}\text{C}$ . Pour les habitats en BTS et en terre crue, elles sont respectivement de  $24,50^{\circ}\text{C}$  et de  $24,93^{\circ}\text{C}$ . Cela s'explique par l'influence des propriétés thermophysiques des matériaux (masse volumique, chaleur massique, conductivité, etc.). A cet effet, les briques de terre stabilisée et la terre crue ont une meilleure performance thermique en zone tropicale par rapport à celle du parpaing en ciment. En conclusion, nous pouvons dire que les matériaux locaux tels que le BTS et la terre crue sont meilleurs sur le plan du confort par rapport au parpaing de ciment.



**Figure 11 :** *Température de l'air à l'intérieur de habitat avec différents matériaux*

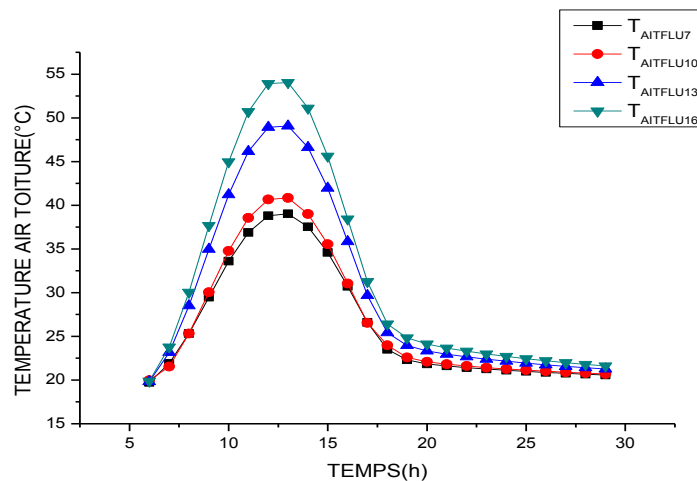
### 3-2. Influence de certains paramètres sur la distribution des températures

La **Figure 12** présente l'influence de l'épaisseur du mur sur les températures maximales atteintes à l'intérieur de l'habitat. L'analyse de cette **Figure** montre que la valeur maximale de la température à l'intérieur de l'habitat pour une épaisseur de mur égale à 10 cm, peut être réduite de  $5^{\circ}\text{C}$  avec une épaisseur du mur 5 fois plus grande. La température à l'intérieur de l'habitat est plus amortie par rapport à celle de l'extérieur avec une augmentation de l'épaisseur du mur. Cette figure montre également que l'augmentation de l'épaisseur du mur jusqu'à 25 cm environ fait décroître rapidement les valeurs maximales des températures à l'intérieur de l'habitat (environ  $1^{\circ}\text{C}$  pour 5 cm d'épaisseur additionnelle). L'influence de l'épaisseur sur les valeurs maximales de la température est moins importante après 25 cm d'épaisseur (environ  $0,5^{\circ}\text{C}$  tous les 5 cm d'épaisseur).



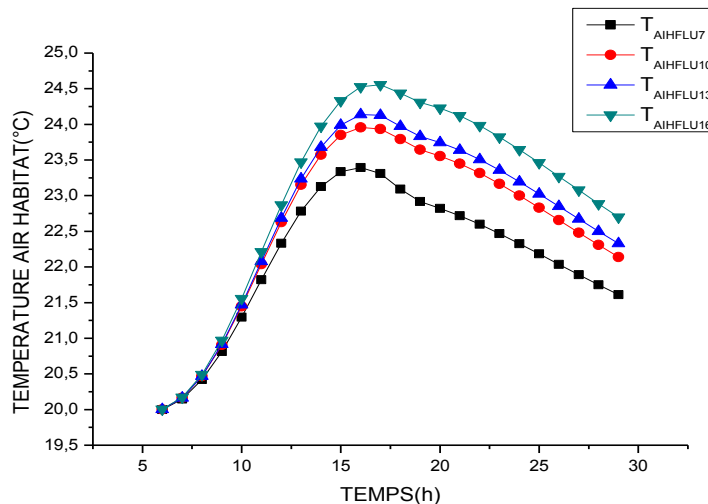
**Figure 12 :** *Évolution de la température maximale pour la paroi sud intérieure de l'habitat en fonction de l'épaisseur*

La **Figure 13** représente l'influence du flux solaire sur la température de l'air à l'intérieur de la toiture de l'habitat avec une épaisseur du mur fixé à 15 cm. Nous constatons que plus le flux est important et plus la température à l'intérieur de la toiture de l'habitat augmente. Pour un flux solaire maximal de  $1600 \text{ W.m}^{-2}$ , la température maximale de l'air à l'intérieur de la toiture de l'habitat est d'environ  $54^\circ\text{C}$  et par contre, pour un flux solaire de  $700 \text{ W/m}^2$ , la température maximale observée est de  $39^\circ\text{C}$  à partir de 13 h. De plus, avec un flux solaire plus important, la température dans la toiture pour la période nocturne est également plus importante du fait de l'inertie thermique des matériaux.



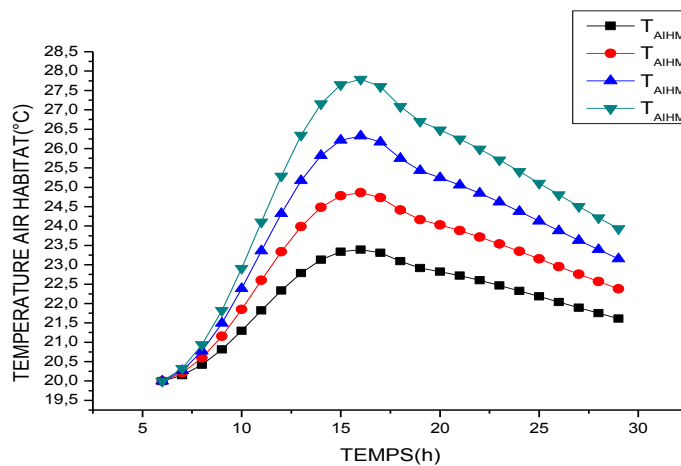
**Figure 13 :** *Influence du flux solaire sur la température de l'air à l'intérieur de la toiture*

Nous présentons sur la **Figure 14** l'influence du flux solaire sur la température de l'air à l'intérieur de l'habitat avec une épaisseur du mur fixé à 15 cm. Nous constatons que plus flux est important et plus la température de l'air à l'intérieur de l'habitat augmente du fait de l'échange convectif qui se passe entre l'air chaud et les parois intérieures de l'habitat. Pour un flux solaire maximal de  $1300 \text{ W.m}^{-2}$ , la température maximale de l'air à l'intérieur de l'habitat atteint environ  $24^\circ\text{C}$  à partir de 16 h.



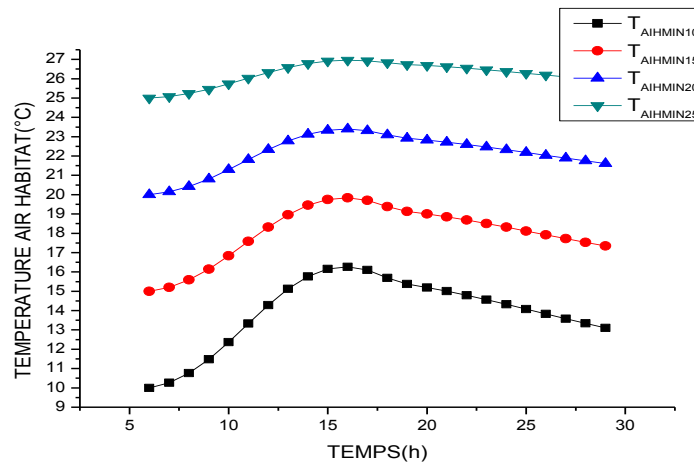
**Figure 14 :** Influence du flux solaire sur la température de l'air à l'intérieur de l'habitat

La **Figure 15** représente l'influence de la température maximale sur la température de l'air à l'intérieur de l'habitat, pour une épaisseur du mur fixé à 15 cm. Nous constatons que ces courbes ont une allure similaire, par contre, nous remarquons que plus la température maximale est importante, plus la température de l'air à l'intérieur de l'habitat s'élève. Pour une température maximale de 45 °C, la température maximale de l'air à l'intérieur de l'habitat est d'environ 28 °C observé à 16 h. De plus même pendant la période nocturne la température à l'intérieur de l'habitat reste élevée.



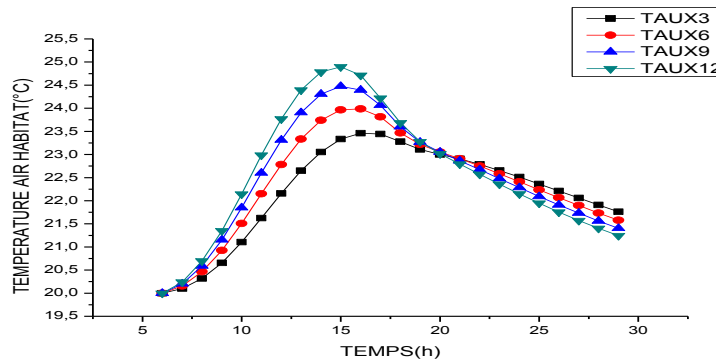
**Figure 15 :** Influence de la température maximale sur la température de l'air à l'intérieur de l'habitat

Nous présentons sur la **Figure 16** l'influence de la température minimale sur la température de l'air à l'intérieur de l'habitat, pour une épaisseur du mur fixé à 15 cm. La variation de la température minimale influence la distribution de la température à l'intérieur de l'habitat. Pour une température minimale de 25 °C, la température maximale de l'air à l'intérieur de l'habitat est observée à 15 h et elle est égale à environ 27 °C. En fait si l'on augmente la température minimale (c'est à dire la température de la période nocturne), de part les échanges convectifs avec les parois la température à l'intérieur de l'habitat est élevée pendant une période plus importante.



**Figure 16 :** Influence de la température minimale sur la température de l'air de l'habitat

La **Figure 17** représente l'influence du taux de renouvellement sur la température de l'air dans l'enceinte de l'habitat. Sur cette **Figure**, nous constatons que plus la valeur du taux de renouvellement d'air est importante plus la température de l'air augmente progressivement pendant la journée et baisse pendant la période nocturne. Cette élévation de la température est due à l'échange qui s'effectue avec l'air chaud provenant de l'extérieur de l'habitat pendant la journée. L'impact de l'échange convectif entre les parois et l'air et du rayonnement solaire entre les parois et la voûte céleste font que la température de l'air à l'intérieur de l'habitat baisse pendant la période nocturne.



**Figure 17 :** Influence du taux de renouvellement sur la température de l'air de l'habitat

#### 4. Conclusion

Nous avons présenté une modélisation numérique des transferts thermiques au sein d'un habitat en climat tropical sec et humide (Guinée) et la résolution des équations par une méthode implicite aux différences finies. Cela nous a permis d'analyser l'influence de certains paramètres sur le comportement thermique de l'habitat. Ainsi, nous avons analysé l'influence de l'épaisseur des murs, l'influence de la variation du flux solaire, du taux de renouvellement d'air, de la température maximale, de la température minimale et de la composition des matériaux de construction sur la distribution de la température dans l'habitat. Il en ressort que contrairement aux matériaux de construction moderne (parpaing de ciment) utilisé de plus en plus dans la construction en Guinée, les habitats en terre crue ou en BTS offrent une meilleure ambiance thermique, la

température maximale de l'air à l'intérieur de l'habitat est maintenue à 27 °C et il y a un déphasage de 5h entre le mur sud extérieur et intérieur. La variation de l'épaisseur du mur joue un rôle important sur l'évolution des températures à l'intérieur de l'habitat. En effet, l'augmentation de l'épaisseur des murs contribue à une meilleure inertie thermique dans l'enceinte de l'habitat et améliore le facteur d'amortissement et le déphasage thermique entre l'intérieur et l'extérieur. Par contre, pour profiter de l'inertie du bâtiment, le taux de renouvellement d'air doit être maîtrisé car l'effet de la ventilation a un impact négatif sur les capacités du bâtiment à amortir les valeurs maximales des températures, ce qui engendre une réduction considérable du déphasage thermique de l'habitat.

### Références

- [1] - C. K. CHEUNG, R. J. FULLER and M. B. LUTHER, "Energy-efficient envelope design for high-rise apartments", *Energy and Buildings*, 37 (2005) 37 - 48
- [2] - L. PEREZ-LOMBARD, J. ORTIZ and C. POUT, "A review on buildings energy consumption information", *Energy and Buildings*, 40 (2008) 394 - 398
- [3] - L. YANG, H. YAN and J.C. LAM, "Thermal comfort and building energy consumption implications — A review", *Applied Energy*, 115 (2014) 164 - 173
- [4] - A. BASTIDE, P. LAURET, F. GARDE and H. BOYER., "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 and Buildings*, 38 (2006) 1093 - 1103
- [5] - M. SEYEDHZAHERA, M. MOHD FARID, C. H. LIM, N. L. N. IBRAHIM, M. Y. F. WARDAH and A. ARDALAN, "The effect of building envelope on the thermal comfort and energy saving for high-rise buildings in hot-humid climate"., *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 53 (2016) 1508 - 1519
- [6] - M. KABORE, E. WURTZ, Y. COULIBALY, A. MESSAN and P. MOREAUX, "Assessment on passive cooling techniques to improve steel roof thermal performance in hot tropical climate"., *International Journal of Energy and Power Engineering*, 3 (2014) 287 - 295
- [7] - A. A. ZUHAIRY and A. A. M. SAYIGH, The " development of the bioclimatic concept in building design", *Renewable Presse*, New Jersey, (1987)
- [8] - I. OUEDRAOGO, A. OUEDRAOGO, K. PALM and B. ZEGHMATI, "Modeling of a bioclimatic roof using natural ventilation", *International Scientific Journal for Alternative Energy and ecology*, Vol. 62, (2008)
- [9] - A. GAGLIANO, F. PATANIA, F. NOCERA and C. SIGNORELLO, "Assessment of the dynamic thermal performance of massive buildings"., *Energy and Buildings*, 72 (2014) 361 - 370
- [10] - I. E. E. FRANCOFONIE, "Efficacité Energétique de la climatisation en région tropicale. Tome 1 : Conception des nouveaux bâtiments", Ministère de la région Wallonne, (2001)
- [11] - T. NGANYA, B. LADEVIE, A. KEMAJOU and L. MBA, "Elaboration of bioclimatic house in the humid tropical region : Case of the town of Douala-Cameroon", *Energy and Buildings*, 54 (2012) 105 - 110
- [12] - L. G. VALLADARES-RENDON, C. SCHMID and S. LO, "Review on energy savings by solar control techniques and optimal building orientation for the strategic placement of façade shading systems"., *Energy and Buildings*, 140 (2017) 458 - 479
- [13] - X. CHEN, H. YANG and Y. WANG, "Parametric study of passive design strategies for high-rise residential buildings in hot and humid climates : miscellaneous impact factors"., *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 69 (2017) 442 - 460
- [14] - X. CHEN, H. YANG and K. SUN, "Developing a meta-model for sensitivity analyses and prediction of building performance for passively designed high-rise residential buildings"., *Applied Energy*, 194 (2017) 422 - 439



- [15] - M. E. A. BOUKLI HACENE, "Aspects Energétiques, Economiques et Environnementaux d'une Habitation Ecologique", Thèse de Doctorat en Physique, Université Abou Bekr Belkaid-Tlemcen, (2013)
- [16] - A. CHEL and G. N. TIWARI, "Thermal performance and embodied energy analysis of a passive house- Case study of vault roof mud-house in India", *Applied Energy*, Vol. 86, (2009) 1956 - 1969
- [17] - X. BERGER, "Ambiances radiatives et confort thermique, comportement thermique des bâtiments", (1984)
- [18] - M. A. BOUKLI HACENE, S. AMARA and N. E. CHABANE SARI, "Thermal requirements and temperatures evolution in an ecological house", *Energy Procedia*, (2011) 110 - 121
- [19] - A. BRUN, "Amélioration du confort d'été dans les bâtiments à ossature par ventilation de l'enveloppe et stockage thermique", Université Grenoble Alpes, (2011)
- [20] - M. AHMAD, "Nouveaux composants actifs pour la gestion Energétique de l'enveloppe légère des bâtiments, Couplage matériaux a changement de phase, super isolation, apports solaires", Thèse de Doctorat à l'Université Joseph Fourier en Mécanique et Energétique, (2004)
- [21] - V. CANDAS, "*Confort Thermique*", Technique de l'ingénieur, traité Génie Energétique, N°. BE 9085
- [22] - S. WACHIRAPUWADON, J. HIRUNLABH, N. PRATINTHONG and J. KHEDARI, "A New Design of Roof Solar Collector", *International Thermal Energy and Environment Congress*, Marrakech, Morocco, (1997) 861 - 866
- [23] - S. CHAIMA, "Investigation of Performance of Roof Solar Collector", Master of Engineering Thesis, Thermal Technology Program, King Mongkut's University of Technology Thonburi, (1997) 48 - 51
- [24] - J. WEAWSAK, "Designing of an Original Thai Bio-Climatic Roof", Thesis Doctor of philosophy, *Energy Technology Program*, King Mongkut's University of Technology Thonburi, (2001)
- [25] - P. C. AGRAWAL, "A review of passive system for natural heating and cooling of buildings", *Solar and wind technology*, Vol. 6, (1989) 557 - 567
- [26] - V. OLGAY, "Design with climate: Bioclimatic approach to architectural regionalism", Princeton University Press, New Jersey, (1987)
- [27] - <http://diakadi.comafrique.de.l'ouest.pays.guinée.infos>
- [28] - A. KAWALEC, "*Climatologie de la Guinée*", Edition révisée, Conakry, (1977)
- [29] - P. DEBABRATA and K. J. YOGENDRA, "Melting in a side heated tall enclosure by a uniformly dissipating heat source", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 44, (2001) 375 - 387
- [30] - P. MEUKAM, "Caractérisation de matériaux locaux en vue de l'isolation thermique de batiments", Doctorat/Ph.D, Université de Yaoundé I, (2004)
- [31] - H. BOYER, J. P. CHABRIANT, B. GRONDIN-PEREZ, C. TOURRAND and J. BRAU, "Thermal building simulation and computer generation of nodal models", *Building Similation and Computer*, Vol. 31 (1996) 207 - 214
- [32] - A. KEMAJOU and 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, (2012) 358 - 367
- [33] - F. MANZANO-AGUGLIARO, F. G. MONTOYA and A. SABIO-ORTEGA, "Review of bioclimatic architecture strategies for achieving thermal comfort", *Renewable and Sustenable Energy Reviews*, Vol. 49, (2015) 736 - 755
- [34] - B. GIVONI, "Comfort, Climate analysis and building design guidelines", *Energy Build*, Vol. 18, (1992) 11 - 23
- [35] - B. PEUPORTIER, "Energétique des bâtiments et simulation thermique", *Collection EYROLLES*, (2016)