

## **INFLUENCE DE L'ISOLATION THERMIQUE INTERIEURE ET EXTERIEURE D'UN BATIMENT EN PIERRE SITUEE A GHARDAÏA**

S.M.A Bekkouche<sup>1</sup>, T. Benouaz<sup>2</sup> et A Cheknane<sup>3</sup>

T.6.pour Sustainable practices/standards/specifications

### **RESUME**

Cet article présente une étude théorique visant à démontrer le précieux rôle de l'isolation thermique intérieure et extérieure de deux habitats situés à Ghardaïa.

A ce propos, le modèle de Capderou est choisi pour calculer l'éclairement reçu sur un plan vertical. Ce modèle utilise le facteur de trouble atmosphérique pour déterminer les composantes directe et diffuse.

Nous avons ensuite proposé des modèles mathématiques permettant d'évaluer les performances énergétiques de ce bâtiment sans et avec isolation thermique. Ces modèles ne concernent que les échanges thermiques. On ne peut donc 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,... 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.

### **MOT CLES**

Température – Isolation thermique – Pierre – Polystyrène – lame d'air.

<sup>1</sup> Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables, URAER, Ghardaïa, Algérie,

<sup>2</sup> Laboratoire de Physique Electronique et Modélisation Université Abou Bakr Belkaïd, Tlemcen, Algérie

<sup>3</sup> Laboratoire d'Etude & Développement des Matériaux Semi-conducteurs et Diélectriques, Université Amar Telidji, Laghouat, Algérie

BP 88 Gare etaam Ghardaia. [smabekkouche@yahoo.fr](mailto:smabekkouche@yahoo.fr), [smabekkouche@gmail.com](mailto:smabekkouche@gmail.com)

## 1. INTRODUCTION

Dans le domaine de l'énergétique des bâtiments, le modèle numérique prédictif est devenu en quelques années un outil très utilisé. Ainsi, des modèles de simulation ont été, durant les années 80, développés essentiellement pour répondre à des besoins de dimensionnement de l'enveloppe en terme d'isolation et pour estimer le coût d'exploitation du système de chauffage et de climatisation. [C. Inard et al 1997]. L'analyse du fonctionnement des systèmes d'équations décrivant un tel modèle montre que l'établissement de ces dernières est possible pour toutes les techniques envisagées. (Avec et sans isolation). [R. Belarbi et al 1997].

Une comparaison entre les champs de température calculés et mesurés montre que le modèle reproduit de manière très satisfaisante à la réalité physique des phénomènes. Cela nous permet d'envisager d'intégrer ce type de modèle à un code général dont le but d'appréhender des problèmes de confort thermique et de traiter aussi les techniques de l'isolation thermique intérieure et extérieure.

## 2. PLAN DESCRIPTIF ET ESTIMATION DES ECLAIREMENTS INCIDENTS

Afin de déterminer les différentes températures, il est utile d'établir les bilans énergétiques où nous nous intéressons essentiellement aux températures intérieures. Dans ce cadre, nous avons jugé indispensable d'utiliser le plan de la maison pour le dimensionnement et le calcul du facteur de forme. Les murs sont en pierre, recouverts par deux couches fines du ciment mortier et une couche du plâtre.

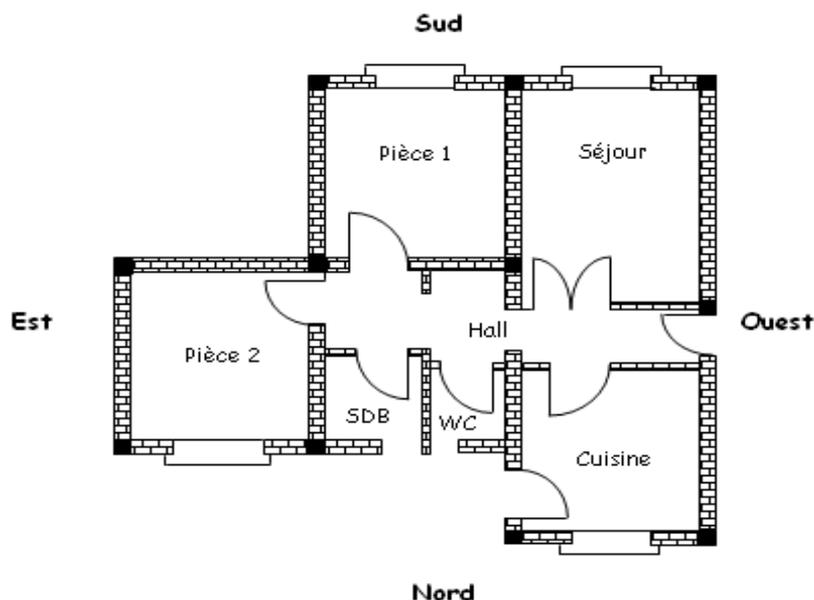


Figure 1. Plan descriptif de l'habitat.

Nous procéderons ensuite, à l'utilisation d'un modèle efficace pour l'estimation des éclairements reçus sur les différentes surfaces des murs. Dans ce sens, nous avons choisi d'utiliser le modèle de Capderou. Ce dernier utilise le trouble atmosphérique pour calculer les composants de l'éclairement global reçu sur un plan quelconque. L'absorption et la diffusion causées par les constituants de l'atmosphère peuvent être exprimées par des facteurs des troubles. A partir de ces facteurs, on peut exprimer les éclairements directs et diffus par ciel totalement clair. [Kasten F 1996].

Les figures tracées ci-dessous (les figures 2, 3, 4 et 5) représentent les variations instantanées des éclairements solaires incidents pour différentes orientations et inclinaisons.

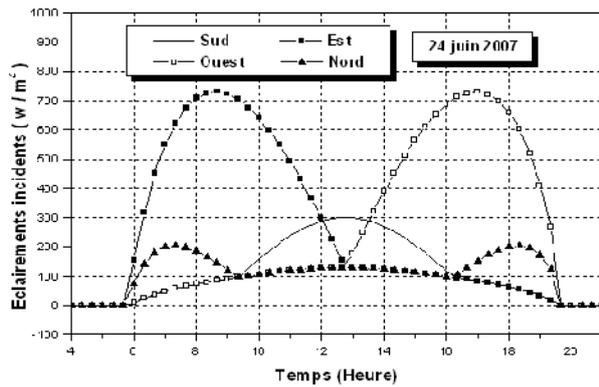


Figure 2. Eclaircements incidents verticaux. 24 juin.

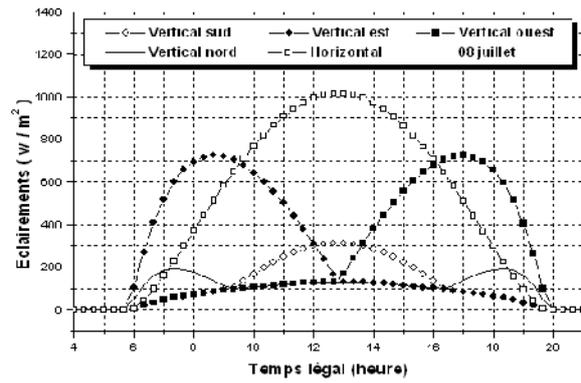


Figure 3. Eclaircements incidents. 08 juillet.

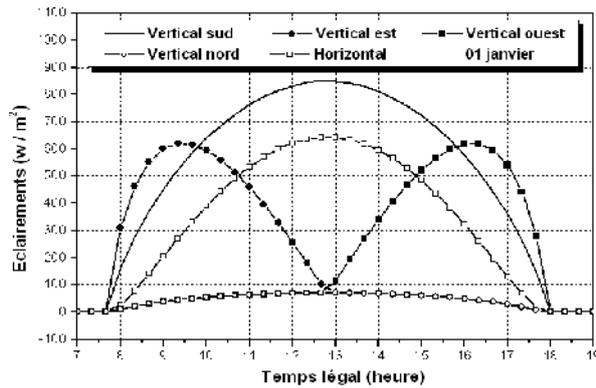


Figure 4. Eclaircements incidents. 01 janvier.

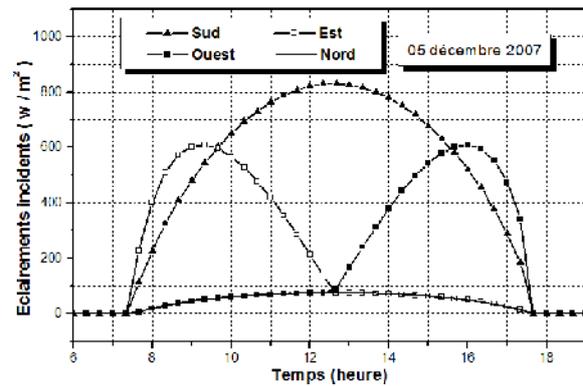


Figure 5. Eclaircements incidents verticaux. 05 décembre.

### 3. MODELE MATHEMATIQUE

En appliquant la loi générale de la conservation de l'énergie d'un bâtiment, on abouti à un système non autonome de cent douze équations différentielles ordinaires non linéaires. La solution est effectuée en utilisant la méthode numérique de Runge-Kutta d'ordre 4. Cette méthode assure, en général, une meilleure stabilité de la solution que la méthode d'Euler. Ces modèles conçus régissant le comportement thermique d'un bâtiment en pierre situé à Ghardaïa. Pour ce faire, on suppose que:

- Les transferts thermiques à travers les parois sont supposés unidirectionnels, perpendiculairement à ces parois.
- La distribution de la température sur les surfaces extérieures et intérieures des murs est uniforme. Donc Les modèles vont délivrer que les températures moyennes.
- Le régime est permanent lorsque le flux passe d'une couche vers l'autre.
- La convection est naturelle (libre), l'écoulement est laminaire.

[S.M.A. Bekkouche et al 2007 et M.M. Hadjiat et al 2008].

#### 3.1. Transfert de chaleur par rayonnement

Le flux de rayonnement à grande longueur d'onde entre deux surfaces i et j est donné par la relation:

$$Q_{rij} = F_{ij} S_i \sigma (T_i^4 - T_j^4) = F_{ji} S_j \sigma (T_j^4 - T_i^4) \quad (1)$$

$$F_{ij} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_i} - 1 + \frac{1}{F_{ij}} + \frac{S_i}{S_j} \left( \frac{1}{\varepsilon_i} \right) - 1} \quad \text{avec } \varepsilon_i \neq F_{ij} \quad (2)$$

$F_{ij}$ : facteur de forme entre les surfaces i et j. S: superficie (m<sup>2</sup>).  $\varepsilon$ : coefficient d'émission du corps

T: température moyenne de la surface du mur considéré. (°K).

$\sigma$  : constante de Stéphane Boltzmann.  $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ w / m}^2 \text{ }^\circ\text{K}^4$ .

$$Q_{rij} = hr_{ij} S_i (T_i - T_j) \quad (3)$$

$$h_{riciel} = \frac{\sigma (T_{ciel} + T_i) (T_i^2 + T_{ciel}^2)}{\frac{1 - \epsilon_{ciel}}{\epsilon_{ciel}} + \frac{1}{F_{i\ ciel}}} \quad T_c = 0.0552 T_{am}^{1.5} \quad (4)$$

$$h_{ri\ solect} = \frac{\sigma (T_{solect} + T_i) (T_i^2 + T_{solect}^2)}{\frac{1 - \epsilon_{solect}}{\epsilon_{solect}} + \frac{1}{F_{i\ solect}}} \quad (5)$$

### 3.2 Transfert de chaleur par convection

On exprime le flux thermique échangé par convection par:

$$Q_{cviam} = h_{cviam} S_i (T_i - T_f) \quad (6)$$

$h_{cviam}$  est appelé coefficient d'échange par convection. (w / m<sup>2</sup> °C).

(T<sub>i</sub>-T<sub>f</sub>) différence de température entre la paroi et le fluide.

En convection naturelle, le mouvement du fluide est dû aux variations de la masse volumique du fluide provenant des échanges de chaleur entre le fluide et la paroi. Le fluide est mis en mouvement sous l'effet des forces d'Archimède car sa masse volumique est fonction de sa température. La convection forcée est négligeable si: (Gr / Pr) > 100

$$\text{Nombre de Nusselt} \quad Nu = \frac{h D}{\lambda} = C (Gr Pr)^n \quad (7)$$

Si la convection est laminaire, Gr Pr < 10<sup>9</sup> et donc n = 1/4

Si la convection est turbulente, Gr Pr > 10<sup>9</sup> et donc n = 1/3

Exemple: parois plane verticale ou horizontale de longueur L et de température uniforme.

Si la convection est laminaire  $Nu = 0.53 (Gr Pr)^{1/4}$  (8)

Si la convection est turbulente  $Nu = 0.104 (Gr Pr)^{1/3}$  (9)

[J.F. Sacadura 1978, J.A. Duffie 1974 and W.A. Beckman et Y. Jannot 2003]

### 3.3 Idée générale suivie pour concevoir le modèle mathématique

Une comparaison adéquate sur les températures de l'air intérieur ambiant et sur les surfaces des murs permet d'identifier convenablement les directions des transferts de chaleur. Les remarques préliminaires durant une période chaude nous conduis à décider et de juger que:

$$T_{mur\ sud} > T_{mur\ est} > T_{toit} > T_{air} > T_{mur\ ouest} > T_{sol} > T_{mur\ nord} \quad \text{Pour la chambre}$$

$$T_{mur\ sud} > T_{mur\ ouest} > T_{toit} > T_{air} > T_{mur\ est} > T_{sol} > T_{mur\ nord} \quad \text{Pour le séjour}$$

Les bilans énergétiques des surfaces intérieure et extérieure du mur est et de l'air intérieur ambiant de la pièce 1 par exemple, sont donnés par les équations 11, 12 et 13.

Mur est

$$m C_p \frac{dT}{dt} = \sum Q_{absorbé} - \sum Q_{émis} \quad (10)$$

$$\rho_a v_2 C_a \frac{dT_2}{dt} = \frac{(T_9 - T_2) S_{est}}{(2e_a/\lambda_a) + (e_c/\lambda_c) + (e_b/\lambda_b)} + Q_{r12} - Q_{r23} - Q_{r24} - Q_{r25} - Q_{r26} - Q_{r27} - Q_{r2p} - Q_{r2f} \quad (11)$$

Surface extérieure du mur est

$$\rho_c v_9 C_c \frac{dT_9}{dt} = \alpha_c S_{est} E_{est} + h_{rciel9} S_{est} (T_{ciel} - T_9) + h_{rsolex9} S_{est} (T_{solext} - T_9) - \frac{(T_9 - T_2) S_{est}}{(2e_a/\lambda_a) + (e_c/\lambda_c) + (e_b/\lambda_b)} \quad (12)$$

Air intérieur ambiant

$$\rho_{air} v_4 C_{air} \frac{dT_4}{dt} = Q_{cv14} + Q_{cvf4} + Q_{cv24} + Q_{cv34} - Q_{cv45} - Q_{cv46} - Q_{cv47} - Q_{cv4p} \quad (13)$$

S: surface (m<sup>2</sup>). ρ: masse volumique (kg / m<sup>3</sup>). C: chaleur spécifique (J / kg °K). v: volume (m<sup>3</sup>).  
 T: température (°K). e: épaisseur de la couche du mur (m). λ: conductivité thermique (w/°Km).  
 α: coefficient d'absorption.

h<sub>rciel9</sub>: coefficient d'échange par rayonnement entre le ciel et la surface extérieure du mur est.  
 h<sub>rsolex9</sub>: coefficient d'échange par rayonnement entre le sol extérieur et la surface extérieure du mur.  
 a: ciment mortier. b: pierre. c: plâtre. p: porte. f: fenêtre. 1: mur sud. 2: mur est. 3: toit. 4: air intérieur ambiant. 5: mur ouest. 6: sol. 7: mur nord. 8: surface extérieure du mur sud. 9: surface extérieure du mur est

L'isolation thermique intérieure du mur est par une lame d'air de 2 cm et une couche de 6 cm du polystyrène et une autre couche (4 cm) du plâtre par exemple, nécessite l'introduction des modifications aux niveaux des équations des bilans thermiques du mur est et aux niveaux de sa surface extérieure.

Les modifications sont effectuées aux niveaux des équations de la conduction et aux niveaux des paramètres qui caractérisent les propriétés physiques des matériaux, en particulier, la chaleur spécifique, la densité volumique et la conductivité thermique. Les équations 11 et 12 deviennent:

Mur est

$$\rho_{plâtre} v_2 C_{plâtre} \frac{dT_2}{dt} = \frac{(T_9 - T_2) S_{est}}{(2e_a/\lambda_a) + (e_c/\lambda_c) + (e_b/\lambda_b) + (e_{isol}/\lambda_{isol}) + (e_{air}/\lambda_{air}) + (e_{plâtre}/\lambda_{plâtre})} + Q_{r12} - Q_{r23} - Q_{r24} - Q_{r25} - Q_{r26} - Q_{r27} - Q_{r2p} - Q_{r2f} \quad (14)$$

Surface extérieure du mur est

$$\rho_c v_9 C_c \frac{dT_9}{dt} = \alpha_c S_{est} E_{est} + h_{rciel9} S_{est} (T_{ciel} - T_9) + h_{rsolex9} S_{est} (T_{solext} - T_9) - \frac{(T_9 - T_2) S_{est}}{(2e_a/\lambda_a) + (e_c/\lambda_c) + (e_b/\lambda_b) + (e_{isol}/\lambda_{isol}) + (e_{air}/\lambda_{air}) + (e_{plâtre}/\lambda_{plâtre})} \quad (15)$$

#### 4. INFLUENCE DE L'ETAT ENERGETIQUE DES MURS EN PIERRE SUR L'ISOLATION THERMIQUE INTERIEURE

Le calcul des températures ainsi que la perception de l'aspect dynamique des transferts thermiques tiennent une place très importante. Subséquemment, il est intéressant de disposer d'outils numériques permettant de calculer très rapidement ces températures. Conçu pour répondre à ces besoins, le Matlab 6.5 est un logiciel qui permet d'appréhender le comportement thermique des murs et de l'air soumis à des sollicitations variées. Les programmes réalisés permettent par ses interactivités une bonne compréhension des phénomènes de transferts de chaleur à travers les parois en régime variable. Dans la section suivante, l'isolation thermique intérieure est effectuée en considérant que les murs exposés sont recouverts par une lame d'air de 2 cm, 6 cm du polystyrène et 4 cm du plâtre.

#### 4.1 Résultats et commentaires. Journées chaudes.

La figure 6 représente la température de l'air intérieur de la pièce pour différents cas. Le programme utilisé permet de réaliser des simulations dès les premières esquisses du projet. Les résultats acquis montrent que cette température est entre 31.5 et 38.5 °C si les murs en pierre ont stocké suffisamment de chaleur. C'est une température très élevée par rapport à la température désirée. (27 °C). Or, l'isolation thermique intérieure dans ce contexte, permet de maintenir la température et non pas de la baisser. C'est pour cette raison que la température résultante de l'isolation thermique intérieure sera couverte par un intervalle compris entre 32.75 et 34 °C. Il se peut même qu'on trouve des fois des températures d'isolation supérieures par rapport aux celles sans isolation. D'un point de vue plus physique, les murs épais et massifs en présence de l'isolation, permettent de régler la température sur un cycle assez court. On a confirmé que les couches isolantes vont gêner la fraîcheur de pénétrer et de traverser les murs exposés au soleil parce que la température intérieure à ce moment, est plus grande par rapport à la température ambiante extérieure. Ce phénomène physique est observé dans le cas où les différents murs ont stocké suffisamment de chaleur. Ces aspects trouvent aussi ses origines pour le séjour. (Figure 7). Il s'en suit qu'on peut dire que si les murs n'ont pas encore emmagasiné de l'énergie, l'isolation thermique intérieure dans ces situations, retienne ses engagements. La température résultante pour les deux chambres ne dépasse pas 27.1 °C.

En effet, la description des comportements des températures de l'air intérieur de la cuisine, du séjour et des deux autres pièces est donnée par les figures 8, 9, 10 et 11. Ces valeurs sont fournies par le code de calcul qui délivre des résultats relatifs à une habitation sans et avec isolation (extérieure). Le programme de calcul est effectivement valable pour un logement située soit au rez-de chaussée ou au premier étage.

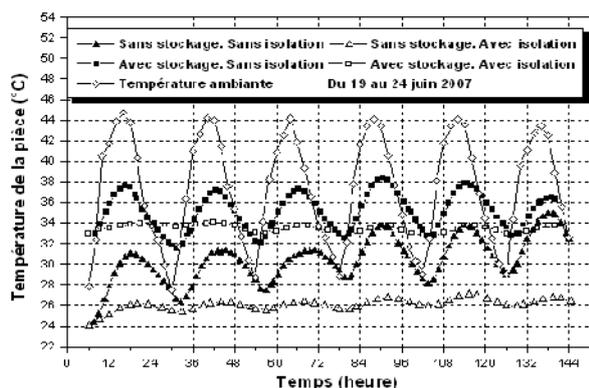


Figure. 6 Températures de l'air intérieur de la pièce. Du 19 au 24 juin 2007.

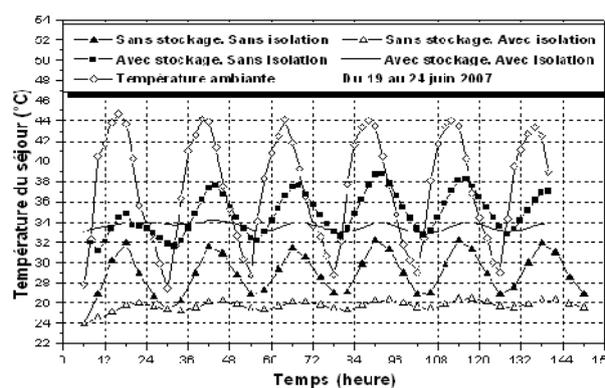


Figure. 7 Températures de l'air intérieur du séjour. Du 19 au 24 juin 2007

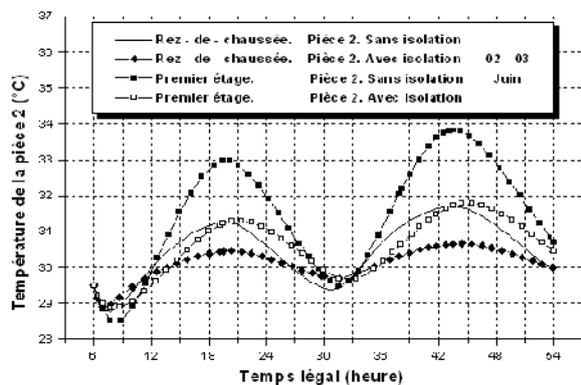


Figure. 8 Températures de l'air intérieur de la pièce 2. 02 03 juin.

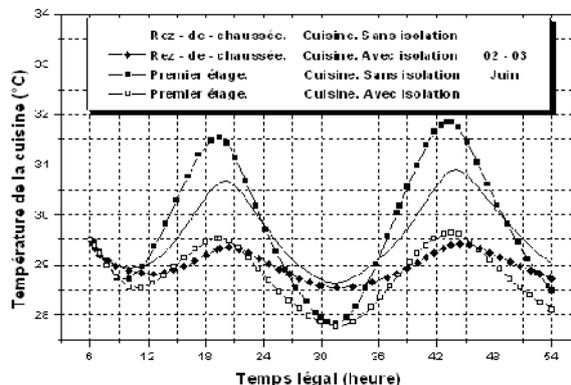


Figure. 9 Températures de l'air intérieur de la cuisine. 02 03 juin.

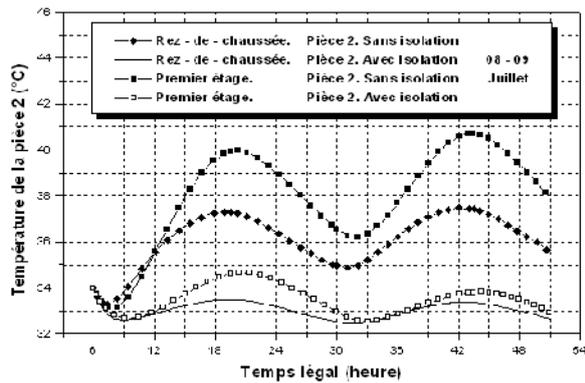


Figure. 10 Températures de l'air intérieur de la pièce 2. 08 09 juillet.

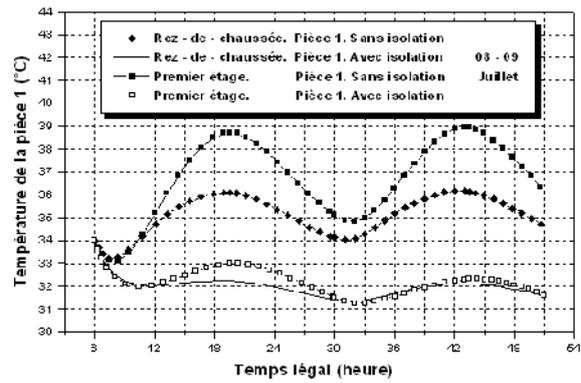


Figure. 11 Températures de l'air intérieur de la pièce. 08 09 juillet.

#### 4.2 Résultats et commentaires. Journées froides

Les études sont effectuées la première semaine du mois de décembre de l'année 2007, et la première semaine du moi du janvier de l'année 2008. Nous proviendrons ce choix précisément en raison de l'état énergétique des murs. Les conditions climatiques et météorologiques durant cette période engendrent et procréent des journées froides notamment à la nuit et sous l'ombre. Mais la différence, c'est que; durant la première semaine du décembre, les murs et les parois n'ont pas encore stocké suffisamment du froid. Ce qui explique que le froid n'a pas encore pénétré les murs et les surfaces mises en jeux, en l'occurrence l'air intérieur. Au contraire, ce phénomène et cet engagement du froid étaient terminés pendant les premières journées de l'année 2008. Les mêmes hypothèses et mesures sont maintenues.

Les dynamismes établis de ces taches, et les modèles régissant le comportement thermique, comprennent des calculs qui permettent de faire une comparaison quantitative entre les différentes températures sans et avec isolation et dans les mêmes conditions climatiques. Ces précieux résultats tracés sur les figures 12 et 13 prouvent que l'isolation thermique atténue la sensation du froid qui peut exister en hiver.

Nous sommes certain de dire que c'est l'isolation qui fait la différence, pas l'inertie thermique. Ceci peut être justifié par le fait que la chambre naturellement perte son inertie thermique. Cela n'est pas uniquement le cas des bâtiments, mais aussi celui de nombreuses situations de la vie de tous les jours. Si nous voulons garder le thé ou le café au chaud, nous utilisons une couvre théière ou une thermos. Par temps froid, nous mettons des pullover, collants, chapeaux,...Nos lits, nous les protégeons par des couvertures épaisses ou mieux des édredons en plume d'eider. Bien sur que l'édredon n'est pas chaud par lui-même, mais il est surtout très isolant, ce qui fait que le corps humain ne perd que très peu de chaleur.

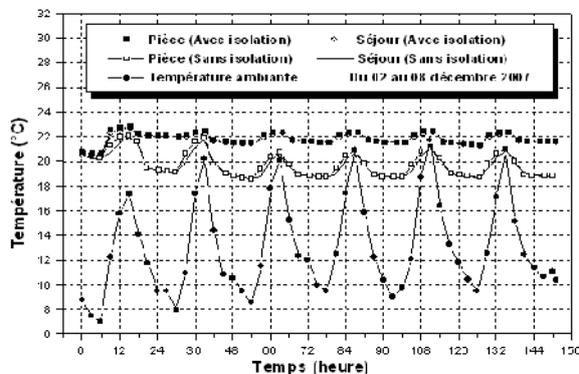


Figure. 12 Températures de l'air intérieur du séjour et de la pièce 1. 02-08/12/2007.

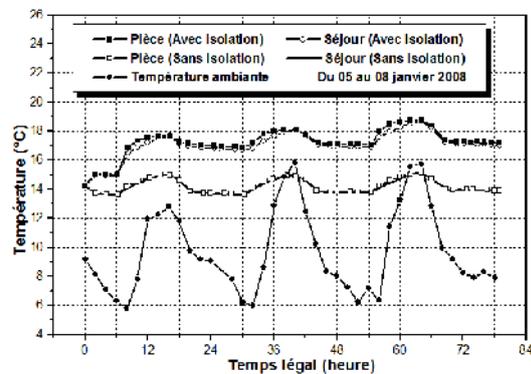


Figure. 13 Températures de l'air intérieur du séjour et de la pièce 1. 05-08/01/2008.

## 5. CONCLUSION

Dans ce papier, nous avons présenté l'influence et l'impact de l'inertie thermique de la pierre sur l'efficacité de l'isolation thermique intérieure et extérieure. Ces travaux et activités de recherche permettent de tirer quelques normes et critères qui sont très intéressantes pour agir et acquérir une isolation parfaite et admirable. En résumé, nous arrivons donc à la conclusion selon laquelle:

- L'isolant joue le rôle d'une barrière thermique.
- Durant une période froide, les pertes thermiques sont freinées par l'isolation. Elle valorise efficacement les apports du confort thermique.
- En hiver, malgré la présence du soleil, les températures des surfaces intérieures des murs exposés restent les plus froides. Ceci implique sans aucun doute, le précieux rôle de l'inertie thermique de la pierre. Nous savons que la durée de la nuit durant l'hiver est d'environ 13 heures, elle est plus importante par rapport à la durée d'insolation. Ces conditions sont favorables pour absorber le froid la nuit.

En terme pratique, l'isolation thermique retienne ses engagements si elle est effectuée avant l'entrée de la période chaude ou froide. Cela consiste à dire que pour accéder et achever une isolation thermique adéquate et conforme, il faut l'effectuer avant l'entrée de l'été ou de l'hiver.

- Une importante inertie associe trois caractères:
  - ✓ une forte capacité thermique (murs et planchers lourds en contact avec l'air intérieur).
  - ✓ une conductivité thermique élevée (murs en matériau absorbant).
  - ✓ une grande surface d'échange
- D'après ces résultats, on peut procéder aussi à des décisions très importantes au niveau de Ghardaïa. On cite à titre d'exemple:
  - ✓ Il faut respecter soigneusement les normes et les principes de la conception bioclimatique dans la construction des bâtiments au niveau du site.
  - ✓ Il ne faut pas surtout bâtir des logements avec la pierre à Ghardaïa. La forte raison c'est que les murs en pierres possèdent une grande capacité d'absorption, d'emmagasiner ou de stockage calorifique. On propose par exemple la brique creuse.

## REFERENCES

- C. Inard, P. Depecker, J. Roux, Un modèle simplifié pour la prédiction du champ de température dans les bâtiments. Rev Gen Therm (1997) 36, 113-123 Elsevier, Paris
- R. Belarbi, M. Spérandio, F. Allard, Evaluation des bâtiments munis de systèmes de rafraîchissement passif. Application au cas de l'évaporation adiabatique. Rev Gen Therm (1997) 36, 547-561 Elsevier, Paris
- S.M.A. Bekkouche, T. Benouaz et A. Cheknane, Etude par simulation de l'effet d'isolation thermique d'une pièce d'un habitat dans la région de Ghardaïa. Revue des Energies Renouvelables. Vol. 10 N°2 (2007) 281 – 292.
- S.M.A. Bekkouche, T. Benouaz, Etude thermique d'un habitat pour l'adaptation au climat local. Effet de l'isolation thermique. Revue internationale d'héliotechnique Energie - Environnement - N° 36b (2007) 8-13.
- J.F. Sacadura, Initiation aux transferts thermiques. Technique et documentation, Paris 1978. Chapitre 4. Transfert de chaleur par convection.
- J.A. Duffie and W.A. Beckman, Solar energy thermal processes. Second edition. Wiley interscience, New York, 1974.