

# Choix des Matériaux de Construction d'un Habitat, Considérations Thermiques et Environnementales.

S.M.A. Bekkouche, T. Benouaz, M.K. Cherier, M. Hamdani et M.R. Yaïche.

**Abstract** - L'utilisation et le choix d'un matériau local adapté au climat de la région sont à l'origine de la réalisation du confort hygrothermique et la consommation réduite de l'énergie. Une investigation a été menée sur une construction typique afin de prédire l'influence de la pierre, le parpaing et la brique creuse sur sa température intérieure. Des programmes de calcul conçus permettent de déduire que:

- Le concept majeur de la réhabilitation thermique est basé sur la manière dont est constituée la paroi et plus particulièrement sur le calcul des résistances thermiques des murs.
- Concernant les relevés des températures, la brique creuse donne les meilleurs résultats. L'isolation est bénéfique pour l'environnement.
- Le modèle numérique prédictif est devenu en quelques années un outil performant et très utilisé.

**Mots clés** - Température – Eclairage Solaire – Pierre Lourde – Parpaing – Brique Creuse.

## I. INTRODUCTION

La nouvelle étape de la réglementation thermique pour la construction neuve est significative et va constituer une incitation forte à l'innovation des matériaux, produits et systèmes d'enveloppe. Il apparaît donc aujourd'hui indispensable d'examiner quelles sont les évolutions possibles ou probables en termes d'exigences à prendre en compte afin d'identifier pour les différents matériaux d'enveloppe comment il sera possible de progresser en matière de performances énergétiques. Par ailleurs, la meilleure façon de diminuer les besoins énergétiques d'un bâtiment est de réduire les pertes et

S.M.A Bekkouche, Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables, URAER, B.P. 88, ZI, Gare Taam Ghardaïa, 47000 – Algérie.  
E-mail: smabekkouche@yahoo.fr

T. Benouaz, Laboratoire de Physique Electronique et Modélisation, Université Abou Bekr Belkaïd, Tlemcen. BP. 119, Tlemcen R.P. 13000 – Algérie.

E-mail: t\_benouaz@mail.univ-tlemcen.dz.

M.K. Cherier, Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables, URAER, B.P. 88, ZI, Gare Taam Ghardaïa, 47000 – Algérie.  
E-mail: cmohamedkamel@yahoo.fr

M. Hamdani, Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables, URAER, B.P. 88, ZI, Gare Taam Ghardaïa, 47000 – Algérie.  
E-mail: hamdaniamaamar@yahoo.fr

M.R. Yaïche, Centre de Développement des Energies Renouvelables, B.P. 62, Route de l'Observatoire, Bouzaréah, Alger – Algérie.  
E-mail: r\_yaiche@cder.dz

par conséquent d'améliorer l'isolation thermique des parois.

Un bâtiment conçu, réalisé et géré selon une démarche de qualité environnementale possède donc toutes les qualités habituelles d'architecture, de fonctionnalité, d'usage, de performance technique et autres que l'on est en droit d'attendre. Mais en plus, ses impacts sur l'environnement ont été durablement minimisés. Cela, aussi bien par le choix des matériaux de construction, que par la prise en compte de la maintenance du bâtiment, éventuellement même de sa déconstruction et, surtout, par les économies d'énergie qu'il permet et qui limiteront l'accroissement de l'effet de serre dont est menacée la planète [1].

L'objectif fixé est d'évaluer aussi finement que possible les températures de ce bâtiment. C'est un exercice très complexe qui prend de temps et représente l'une des étapes les plus importantes dans la conception bioclimatique. Donc, le calcul des températures ainsi que la perception de l'aspect dynamique des transferts thermiques tiennent une place très importante dans ces genres de problèmes. Il est par conséquent plus judicieux d'opter pour des matériaux locaux, on cite à titre d'exemple: la pierre lourde, le parpaing et la brique creuse.

## II. PROPRIETES ET THERMIQUE DE L'ENVELOPPE

Le paramètre significatif pour la contribution d'une paroi est la masse thermique de la partie située du côté intérieur du local. Les parois qui composent l'enveloppe des bâtiments, doivent donc posséder les qualités thermiques qui les feront réagir d'une façon satisfaisante à différentes sollicitations. Ces sollicitations varient constamment en intensité et en durée, elles entraînent des échanges d'énergie entre l'extérieur et l'intérieur des bâtiments. L'inertie d'un bâtiment correspond à l'aptitude de celui-ci à accumuler la chaleur pour la restituer ensuite. L'inertie permet de réguler naturellement l'ambiance intérieure. Les maçonneries, par la capacité calorifique des matériaux, jouent un rôle primordial dans cette inertie [2].

La figure 1 est une schématisation d'une habitation réelle située au rez-de-chaussée ou au premier étage, comprenant les éléments suivants:

– Parois extérieures constituées d'une structure lourde en 40 cm de pierre, en deux couches de 1.5 cm du ciment mortier et en couche supplémentaire de 1 cm de plâtre.

– Les parois intérieures (murs de refend) dont les faces sont seulement en contact avec l'ambiance intérieure sont

composées d'une structure lourde de 15 cm de pierre, de deux couches de 1.5 cm du ciment mortier et de deux couches de 1 cm de plâtre.

– Le plancher est posé sur une terre pleine et plate pour le logement du rez-de-chaussée. Il est situé et coulé directement sur le sol, n'occasionne que peu de déperditions. La forme est constituée de sable, du béton et du carrelage. C'est un revêtement de finition, permet un traitement surfacique, antidérapant, résistant à l'usure, aux produits chimique...

– Le toit est composé d'hourdis ciment, d'une dalle de béton, du sable et du ciment mortier de telle façon que les fondations tiennent le coup et acceptent la charge. Pour permettre l'écoulement des eaux, on aura une petite pente (moins de 5%) et plusieurs trous d'évacuation. Jusqu'à présent, les toits plats étaient plus perçus comme des nids à infiltration que comme une solution architecturale [3, 4].

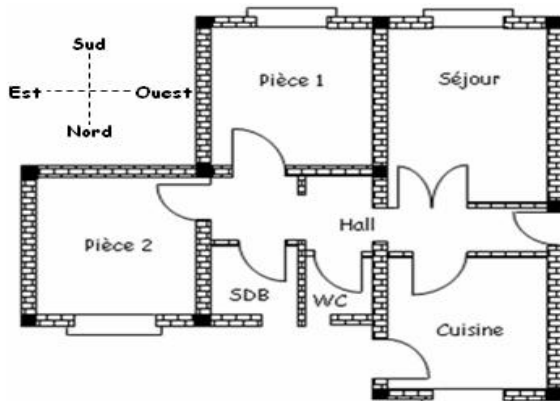


Fig. 1. Plan descriptif de l'habitat.

L'inertie thermique devra ralentir l'entrée de flux de chaleur. L'ambiance intérieure doit rester fraîche en été grâce à leurs murs en pierre à forte inertie thermique. Ces murs épais permettant de faire entrer la fraîcheur la nuit puis de la restituer la journée. Pour cela, la pierre deviendra le matériau idéal: dense, apte à favoriser le stockage à condition qu'il existe des nuit fraîches. Effectivement, c'est ça le problème dans certaines régions. Si on prend à titre indicatif la ville de Ghardaïa, en été, les températures ambiantes extérieures restent presque tout le temps élevée même durant la nuit. L'inertie thermique consiste alors en une accumulation que de la chaleur dans l'enveloppe pour une restitution intérieure par radiation. La complexité de ce phénomène réside en ce que le flux de chaleur à travers l'enveloppe augmente successivement la température des matériaux ce qui permet d'augmenter en même temps la température de l'air de l'habitat.

L'utilisation de la pierre donne au bâtiment une forte inertie. Une série de mesures permet d'avoir la figure 2 qui donne une idée sur l'évolution journalière des températures intérieures et extérieures. En conséquences, une forte inertie thermique de la pierre favorise une plus grande stabilité des températures. Donc, elle offre aux maîtres d'œuvre une réponse constructive pour réaliser des habitations bien

conçues. En plus, plus le matériau est isolant plus il déphase. C'est logique la chaleur se déplace lentement dans celui-ci.

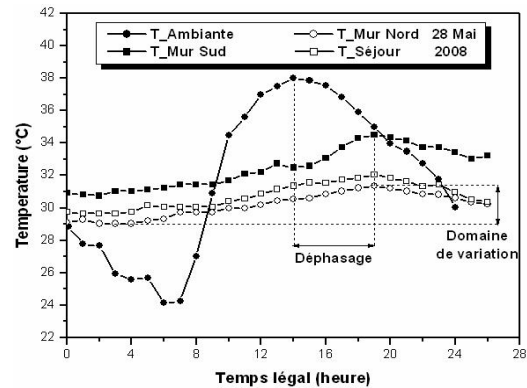


Fig. 2. Températures mesurées intérieures et extérieures, Ghardaïa le 28 Mai 2008.

L'inertie thermique, l'optimisation de la forme et la structure fonctionnelle de la construction en vue de faire des économies d'énergie doivent aussi constituer un autre travail pertinent. Les matériaux lourds permettent donc d'améliorer l'inertie des parois légères et de maintenir une température plus stable à l'intérieur du bâtiment. Dans certaines régions, ils pourraient permettre de supprimer le besoin de systèmes d'air conditionné si les nuits sont suffisamment fraîches. La température intérieure varie en fonction de l'inertie et des caractéristiques thermiques et énergétiques des parois opaques et transparentes.

Selon les travaux de [3, 4], le modèle de base est acceptable vu que l'expérience s'accorde généralement avec la théorie. Il n'est pas question dans cet article si court de présenter la méthodologie applicable à toutes les situations. Cependant, ces travaux de modélisation menés au sein de notre équipe ont donc pour objet de proposer des alternatives, aussi bien au niveau des modèles physiques (études asymptotiques, méthodes fluides, etc.) que des méthodes numériques (implicites, pas de temps, etc.), afin de rendre ces simulations utilisables dans un contexte. La théorie, les équations et les relations mathématiques ont été issues des références [5 - 13].

### III. RESISTANCES THERMIQUES DES MURS

Vous voulez faire construire, en conciliant écologie et performances thermiques. Mais voilà, quel matériau choisir ? Le bon vieux parpaing ? Cependant, comme beaucoup, vous doutez de ses qualités écologiques et thermiques. Pourquoi pas les écomatériaux, alors... Mais comment connaître leurs vraies performances ? Il est en effet grand temps de s'interroger sur les qualités des divers systèmes de construction. Brique, pierre ou parpaing, que valent-ils par rapport aux enjeux environnementaux et plus particulièrement aux réglementations thermiques à venir ? Quel matériau sera réellement capable de tenir l'exigence thermique pour les habitats de Ghardaïa par exemple ?

Généralement, les parois ne sont pas isotropes, c'est le cas le plus couramment rencontré dans la réalité. En supposant donc que le transfert est perpendiculaire et unidirectionnel et en tenant compte des axes de symétrie, on peut se ramener au calcul du flux et de la résistance thermique R équivalente à travers les éléments du mur. Comme en électricité, si les résistances thermiques sont en série, la résistance équivalente est égale à la somme des résistances et si les résistances thermiques sont en parallèle, l'inverse de la résistance équivalente est égal à la somme des inverses des résistances.

Sachant que la conductivité thermique  $\lambda$  est le flux de chaleur qui traverse un matériau d'un mètre d'épaisseur par unité de surface et par un degré de différence de température. Nous retenons les valeurs de conductivité thermique suivantes:

$$\lambda_{\text{pierre}} = 2.8 \text{ W/Km},$$

$$\lambda_{\text{air}} = 0.026 \text{ W/Km},$$

$$\lambda_{\text{parpaing}} = 1.1 \text{ W/Km} \text{ et}$$

$$\lambda_{\text{brique}} = 0.5 \text{ W/Km}.$$

La température apparaît ainsi comme un potentiel thermique et les termes  $e/\lambda S$  et  $1/hS$  apparaissent respectivement comme des résistances thermiques d'une lame d'air et d'une paroi plane d'épaisseur  $e$ , de conductivité thermique  $\lambda$  et de surface latérale  $S$ .

$h$  : coefficient d'échange entre l'air et la paroi verticale du mur.

$$h = \frac{\lambda \text{ Nu}}{b}$$

(1)

$$\text{Si } Gr < 1700 + 47.8 i \quad Nu = 1.013 \quad (2)$$

$$\text{Si } Gr > 80000 \quad Nu = 2.5 + 0.0133(90 - i) \quad (3)$$

$$\text{Autrement } Nu = (0.06 + 3 \cdot 10^{-4} (90 - i)) Gr^{0.33} \quad (4)$$

$i$  : l'angle (en degrés) entre la paroi et l'horizontal.

#### A. Schémas Descriptif et Electrique Equivalents à un Parpaing

Le parpaing est un élément de maçonnerie taillé ou moulé qui présente un parement sur chacune des deux faces opposées d'un mur. C'est le cas d'un matériau réel constitué de plusieurs couches. La figure 3 donne un dimensionnement détaillé pour le calcul de la résistance thermique équivalente à

un parpaing. On a donc le schéma électrique équivalent sur la figure 4.

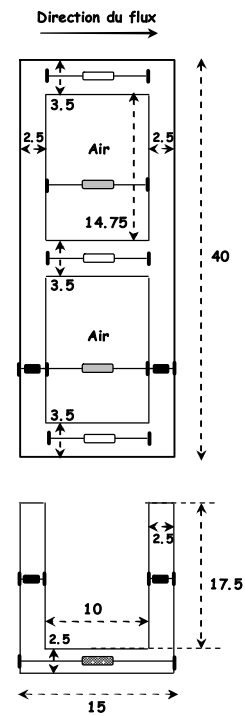


Fig. 3. Dimensions d'un parpaing (en cm).

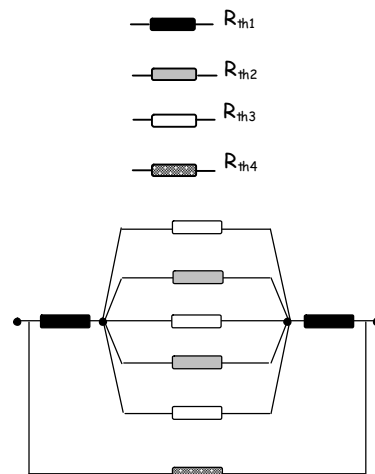


Fig. 4. Schéma électrique équivalent relative à un parpaing.

$$R_{th1} = 0.3246 \text{ K m}^2 \text{ W}^{-1}$$

$$R_{th2} = \begin{cases} 147.09 \text{ K m}^2 \text{ W}^{-1} & \text{si } Gr < 6002 \\ 59.6 \text{ K m}^2 \text{ W}^{-1} & \text{si } Gr > 80000 \\ 85.14 \text{ K m}^2 \text{ W}^{-1} & \text{si } Gr = 76374 \end{cases}$$

$$R_{th3} = 14.8423 \text{ K m}^2 \text{ W}^{-1}$$

$$R_{th4} = 13.6364 \text{ K m}^2 \text{ W}^{-1}$$

$$R_{\text{parpaing}} =$$

$$\begin{cases} 3.8 \text{ Km}^2 \text{ W}^{-1} & \text{si } Gr < 6002 \\ 3.6 \text{ Km}^2 \text{ W}^{-1} & \text{si } Gr > 80000 \\ 3.7 \text{ Km}^2 \text{ W}^{-1} & \text{si } Gr = 76374 \end{cases}$$

### B. Schémas Descriptif et Electrique Equivalents à une Brique Creuse

La brique est un parallélépipède rectangle, de terre argileuse crue et séchée au soleil ou cuite au four, utilisé comme matériau de construction. L'argile est souvent mêlée de sable. Les dimensions (figure 5) et le schéma électrique équivalent (figure 6) sont donnés ci dessous:

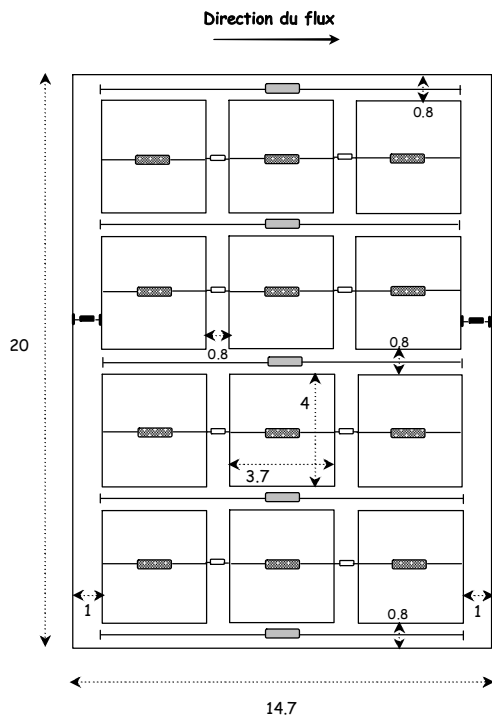


Fig. 5. Dimensions d'une brique creuse (en cm).

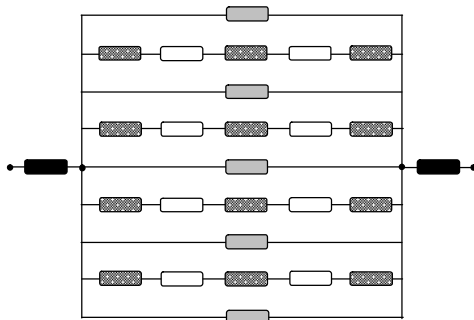
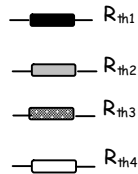


Fig. 6. Schéma électrique équivalent relative à une brique creuse

$$R_{th1} = 0.333 \text{ Km}^2 \text{ W}^{-1}$$

$$R_{th2} = 105.833 \text{ Km}^2 \text{ W}^{-1}$$

$$R_{th3} = \begin{cases} 316.37 \text{ Km}^2 \text{ W}^{-1} & \text{si } Gr < 6002 \\ 128.20 \text{ Km}^2 \text{ W}^{-1} & \text{si } Gr > 80000 \\ 183.15 \text{ Km}^2 \text{ W}^{-1} & \text{si } Gr = 76374 \end{cases}$$

$$R_{th4} = 1.333 \text{ Km}^2 \text{ W}^{-1}$$

$$R_{\text{brique}} = \begin{cases} 20.1213 \text{ Km}^2 \text{ W}^{-1} & \text{si } Gr < 6002 \\ 18.027 \text{ Km}^2 \text{ W}^{-1} & \text{si } Gr > 80000 \\ 19.0146 \text{ Km}^2 \text{ W}^{-1} & \text{si } Gr = 76374 \end{cases}$$

### C. Résistances Thermiques des Murs

Le calcul des résistances thermiques équivalentes  $R_{\text{brique}}$  et  $R_{\text{parpaing}}$  nous amène à déduire les valeurs des résistances thermiques des murs. On sera obligé de respecter la loi d'Ohm mais avec une analogie thermique. Les circuits correspondants ont été conçus sur ce principe; la tension remplacée par la température, le courant remplacé par la puissance thermique (flux de chaleur) et la résistance électrique remplacée par la résistance thermique. L'application de ces concepts repose sur la disposition des couches et du matériau par rapport à la direction du flux de chaleur.

Ces valeurs ont été calculées conformément à cette méthode et elles sont rassemblées dans le tableau 1 pour différentes sollicitations. D'après ces relevés, on peut garantir qu'une habitation en brique creuse est mieux isolée par rapport à une autre en pierre lourde ou en parpaing. C'est tout à fait logique puisque les résistances thermiques d'un bâtiment en brique creuse sont plus élevées par rapport à celles d'un bâtiment en pierre lourde ou en parpaing.

Nous savons d'après la littérature que les pertes calorifiques par les murs exposés représentent généralement près de la moitié de la consommation énergétique. La section ci après a eu pour but de calculer les différentes températures selon les valeurs des résistances thermiques enregistrées dans le tableau 1 et par le modèle mathématique proposé et validé auparavant. Les composants des planchers (sol intérieur) et des toits ne subissent aucune modification.

TABLEAU 1 : RESISTANCES THERMIQUES EQUIVALENTES DE CHAQUE MUR DE L'HABITAT

Murs	Matériaux Pierre	Parpaing			Brique creuse		
		Gr < 6002	Gr=76374	Gr > 80000	Gr < 6002	Gr=76374	Gr > 80000
Est et Ouest du Salon	0.0104	0.0221	0.0216	0.0210	0.0880	0.0832	0.0789
Est et Ouest de la Pièce 1 + Ouest de la Cuisine	0.0142	0.0302	0.0294	0.0286	0.1198	0.1132	0.1073
Sud de la Pièce 2	0.0198	0.0362	0.0352	0.0343	0.1437	0.1358	0.1288
Est de la Pièce 2	0.0128	0.0271	0.0264	0.0257	0.1078	0.1019	0.0966
Est et Nord du SDB	0.0269	0.0571	0.0556	0.0541	0.2271	0.2146	0.2034
Ouest du SDB	0.0067	0.0571	0.0556	0.0541	0.2271	0.2146	0.2034
Est du WC	0.0091	0.0776	0.0755	0.0735	0.3080	0.2910	0.2759
Ouest du WC	0.0364	0.0776	0.0755	0.0735	0.3080	0.2910	0.2759
Nord du WC	0.051	0.1086	0.1057	0.1029	0.4312	0.4075	0.3863
Ouest de la Pièce 2	0.0156	0.0333	0.0324	0.0315	0.1322	0.1249	0.1184
Nord du Salon	0.0258	0.0549	0.0534	0.0250	0.2179	0.2059	0.1952
Sud de la Pièce 1 et du Salon et le Nord de la Pièce 2 et de la Cuisine	0.0213	0.0454	0.0442	0.0430	0.1797	0.1698	0.1610
Nord de la Pièce 1	0.0226	0.0480	0.0467	0.0455	0.1907	0.1802	0.1708
Sud du SDB	0.0103	0.0876	0.0853	0.0829	0.3477	0.3286	0.3115
Sud du WC	0.0375	0.3193	0.3109	0.3025	1.2681	1.1984	1.1362
Sud de la Cuisine	0.0055	0.0464	0.0452	0.0440	0.1843	0.1741	0.1659
Est de la Cuisine	0.0178	0.0379	0.0369	0.0359	0.1507	0.1424	0.1350

#### IV. SIMULATION DES TEMPERATURES INTERIEURES

Le bon choix du matériau assure un confort plus acceptable et avec une consommation énergétique réduite. Un matériau bien adapté offre une température intérieure agréable et stable, située entre 20 et 26°C, que ce soit au cours d'hivers froids ou d'étés chauds. D'après les figures 7 - 10, la brique creuse apportent le meilleur compromis de confort. Le tracé des courbes représentant les profils des températures de la Pièce 1 et du Séjour parait une voie intéressante pour juger le degré de confort de point de vue température.

Les figures 7 et 8 représentent respectivement le comportement des températures calculées de la Pièce 1 au rez-de-chaussée et au premier étage pour les trois matériaux durant les journées du 02 - 03 Juin 2008. Nous avons effectué en même temps une étude comparative entre une habitation située au rez-de-chaussée et une autre située au premier étage. Les résultats trouvés sont en bon accord avec les résistances thermiques calculées enregistrées dans le tableau 1. A cet égard, nous avons montré que la température de l'ambiance

intérieure est plus faible si le bâtiment est en brique creuse. On remarque encore que la différence des températures par rapport à la température de l'air d'un habitat en brique est

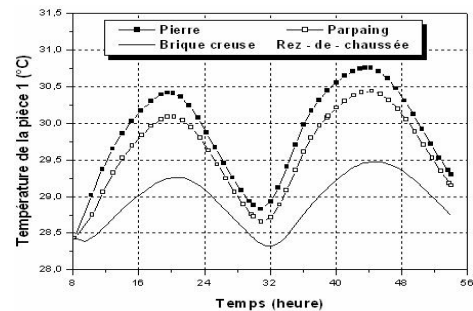


Fig. 7. Température de la Pièce 1, 02 - 03 Juin 2008. Rez-de-chaussée.

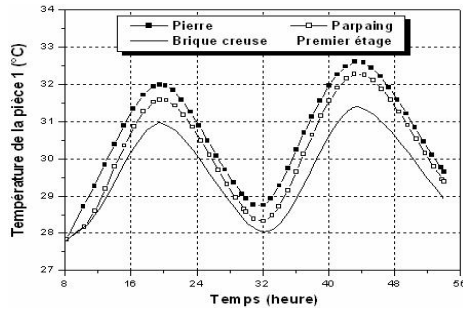


Fig. 8. Température de la Pièce 1, 02 - 03 Juin 2008. Premier étage.

moins importante pour une pièce située au premier étage. La forte raison, est que le toit exposé au soleil représente environ 30 % des échanges thermiques dans une maison selon le bulletin d'informations des artisans professionnels [14]. On rappelle encore une fois que nous n'avons pas substitué les couches des sols et des toits de tout le bâtiment, c'est pourquoi les résistances thermiques de ces derniers n'apparaissent pas sur le tableau 1.

Il s'ensuit que les mêmes appréciations ont été certifiées concernant la température du Séjour tracée sur la figure 9. Par ailleurs, la figure 10 offre les mêmes possibilités mais qui ont été testées pour tirer la température résultante du Séjour durant une période froide (05 - 06 Janvier).

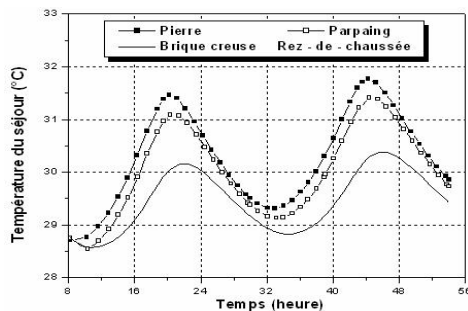


Fig. 9. Température du séjour, 02 - 03 Juin 2008. Rez-de-chaussée.

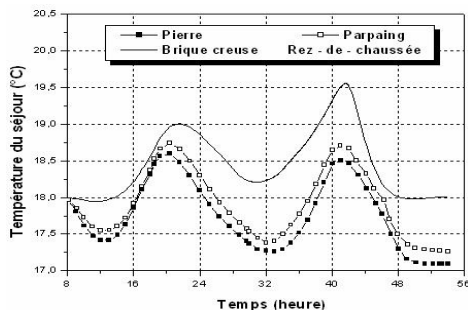


Fig. 10. Température du Séjour, 05 - 06 Janvier 2008. Premier étage.

On peut déduire toujours qu'un mur en brique creuse est plus avantageux puisqu'il empêche la chaleur de s'échapper vers l'extérieur.

## V. CONCLUSION

L'enveloppe de l'habitation doit séparer l'environnement intérieur confortable du climat extérieur. Pour protéger notre environnement intérieur, l'enveloppe doit être contrôlée par le

flux de chaleur par exemple. C'est pourquoi, l'utilisation et le choix d'un matériau local adapté au climat de la région sont à l'origine de la réalisation du confort hygrothermique et la consommation réduite de l'énergie. Une investigation a été menée sur une construction typique la plus commune dans la région afin de prédire l'influence de la pierre, le parpaing et la brique creuse sur sa température intérieure. Nous arrivons donc à la conclusion selon laquelle:

- Un mur en pierre ou en parpaing, même plus de 40 cm d'épaisseur, n'empêche nullement la chaleur de s'échapper vers l'extérieur (hiver) ou vers l'intérieur (été).

- La mesure d'amélioration la plus justifiée économiquement est l'isolation thermique. En hiver, l'isolation des murs exposés et du toit atténue la sensation du froid et freine les pertes thermiques, elle valorise efficacement les apports du confort thermique. De plus, les murs n'amortissent souvent pas les variations de température. Autant de caractéristiques qui provoquent un réchauffement rapide et important quand il fait chaud. La façon la plus simple d'avoir une maison fraîche en été, c'est d'empêcher la chaleur d'y entrer. L'isolation de la toiture est primordiale. Après les ouvertures, c'est le toit qui apporte le plus de chaleur en été. En résumé, il faut empêcher la chaleur d'y entrer (sortir) en isolant le toit et les murs exposés au soleil du bâtiment. Mais ce n'est pas tout: l'isolation est également bénéfique pour l'environnement car, en réduisant les consommations, elle permet de préserver les ressources énergétiques et de limiter les émissions de gaz à effet de serre. Ainsi, l'isolation thermique est intéressante en termes de protection de l'environnement, de confort et d'économies financières.

- En ce qui concerne les régions arides et semi-arides, la brique creuse apporte le meilleur compromis de confort par rapport à la pierre lourde et le parpaing.

## REFERENCES

- [1] Y. Moch, W. Persello, " Bâtiment et Démarche HQE ", Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie ADEME, Conception & Réalisation: Graphie 4, Papier écologique, Novembre 2005.
- [2] ADEME, Guide technique, " Isolation Thermique ", Performances énergétiques des éléments opaques et transparents.
- [3] S.M.A. Bekkouche, T. Benouaz T, A. Cheknane, "A Modelling Approach of Thermal Insulation Applied to a Saharan Building ", Thermal Science, Vol 13 (2009), No. 4, pp. 233 - 244.
- [4] S.M.A. Bekkouche, T. Benouaz T, A. Cheknane, " Simulation and Experimental Studies of an Internal Thermal Insulation of tow Pieces of Rooms Located in Ghardaïa (Algeria) ", International Journal of Advanced Computer Engineering, June 2009, Vol 2 N° 1 p 1 - 9.
- [5] J. M. Chasseriaux, " Convection Thermique et Rayonnement Solaire ", Ed. Dunod, 1984.
- [6] J. A. Duffie, W. A. Beckman, " Solar Energy Thermal Processes ", 2<sup>nd</sup> ed, Wiley Interscience, New York, USA, 1974.
- [7] J. F. Sacadura, " Initiation aux Transferts Thermiques ", Technical and Documentation, Chapter 4, Convection Heat Transfer, Paris, 1978.
- [8] M. Amir, M. Lacroix, Ns. Galanis, " Comportement Thermique de Dalles Chauffantes Electriques Pour le Stockage Quotidien ", International Journal of Thermal Sciences 1999, Elsevier, Paris, Vol 38 p 121 - 131.
- [9] R. Belarbi, M. Spérandio, F. Allard, " Evaluation des Bâtiments Munis de Systèmes de Rafraîchissement Passif. Application au Cas de l'Evaporation Adiabatique ". Revue Générale de Thermique 1997, Elsevier, Paris, Vol 36 p 547 - 561.
- [10] J.P. Eggimann, J.L. Badoux, D. Chuard, J.P. Eggimann, C. Scaler, "Architecture Climatique Equilibrée, Conception, Démarche et Dimensionnement", Programme d'Action PACER, Energies Renouvelables, Office Fédéral des Questions Conjoncturelles 1996.

- [11]D. Khaine., J.Y. Desmons, A. Khaine, R. Benyounes, M. Ray, "Simulation du Comportement Thermique d'un Local par la Méthode des Fonctions de Green", International Journal of Thermal Sciences 1999 Elsevier, Paris, Vol 38 p 340 – 347.
- [12]C. Lnard, P. Depecker, J.J. Roux, " Un modèle Simplifié Pour la Prédiction du Champ de Température Dans les Bâtiments ", Revue Générale de Thermique 1997, Elsevier, Paris. Vol 36 p 113-123.
- [13]H. Oiry, J. P. Bardon, "Comportement Thermique de Différents Types d'Habitation Soumis à un Ensoleillement et à une Température Extérieure Périodiques", International Journal of Heat and Mass Transfer, 1985, Vol. 28 N° 11 p 1991 – 2004.
- [14]Monier, " Des Toits à Vivre ", Le Bulletin d'Informations des Artisans Professionnels, Novembre 2009.