

Contribution à l'étude de réhabilitation thermique de l'enveloppe du bâtiment

Nassima Kadri¹ et Abderrahmane Mokhtari²

¹ Département d'Architecture, Faculté des Sciences et de la Technologie,
Université Abdelhamid Ibn Badis, Mostaganem

² Département de Génie Civil, Faculté d'Architecture et de Génie Civil,
Université de la Science et de la Technologie Mohamed Boudiaf, 'USTO-MB'

(reçu le 17 Avril 2011 – accepté le 21 Juin 2011)

Résumé - Dans ce travail, on présente les résultats d'une étude de réhabilitation thermique de l'enveloppe du bâti afin d'améliorer ses performances. Cette étude s'inscrit dans le cadre du développement durable et repose sur la conciliation de deux éléments distincts et contradictoires, celui de l'amélioration du confort thermique d'une part et le souci d'économie d'énergie d'autre part afin de sensibiliser les hommes de l'art sur la manière d'améliorer thermiquement le bâti existant. Il remet en question l'enveloppe architecturale et sa dépendance des agents climatiques, de même son incidence sur le confort thermique. Un calcul du bilan des déperditions calorifiques et des simulations à l'aide d'un code de calcul ont été effectués sur l'habitat collectif afin de définir son identité thermique et mesurer l'impact de cette réhabilitation sur la température intérieure et les besoins énergétiques.

Abstract - In this work, we present the results of study of the thermal rehabilitation of building envelope in order to improve its performances. This study is part of the sustainable development and is based on the reconciliation of two distinct and contradictory elements for the improvement of thermal comfort on the one hand and the preoccupation with an energy saving on the other hand in order to sensitize the experts on the manner to improve existing buildings thermally. It calls in question the architectural envelope and its dependence of the climatic, of the same agents its incidence about thermal comfort. A calculation of the assessment of the calorific losses and simulations using a computer code were carried out on the collective habitat in order to define its thermal identity and to measure the impact of this rehabilitation on the interior temperature and the energy needs.

Mot clés: Réhabilitation thermique - Enveloppe du bâtiment - Comportement thermique - Confort thermique - Consommation d'énergie - Simulation.

1. INTRODUCTION

Le mode de développement de nos villes produisait massivement des gaz à effet de serre (GES), dus principalement à la concentration massive des activités d'une part, et le rejet de gaz polluants (CO₂) par l'industrie et les équipements domestiques (le chauffage) d'autre part. Ainsi, l'acte d'aménager et de construire est un acte ayant un fort impact sur l'environnement, gourmand en énergie fossile et grand émetteur de CO₂, et ce de l'extraction des matériaux jusqu'à leurs utilisations dans le bâtiment. A titre

¹ kadrinassima@yahoo.fr

² am_mokhtari@yahoo.fr

indicatif, le secteur résidentiel et tertiaire en Algérie se trouve parmi les plus énergivores avec une consommation de 41 % de l'énergie finale [1].

Aussi, avec le boom colossal qu'a connu l'Algérie ces dernières années en matière de constructions résidentielles notamment le programme quinquennal 2005-2009 qui prévoit un million de logements et dont la quantité a failli à la qualité [2]. Le développement de ces logements s'est nécessairement accompagné d'un accroissement important des besoins énergétiques en matière de chauffage, de climatisation et d'électricité; car la généralisation d'un nouveau confort moderne repose sur une grande consommation d'électricité, ce qui engendre souvent des coupures d'électricité dans les heures de pointe dues à la consommation maximale.

De ce type d'habitat, découle les problèmes d'inconfort des ambiances intérieures dus à la précarité énergétique de l'enveloppe de la bâtisse: ils sont hyper consommateurs en énergie, très froids en hiver et très chauds en été.

En conséquence, l'objectif de cet article consiste à chercher les procédés pour améliorer le confort thermique et réduire la consommation d'énergie d'une manière passive dans le bâti existant et ce à travers une contribution à l'étude de réhabilitation thermique de l'enveloppe de la bâtisse, car elle constitue un échangeur thermique entre l'intérieur et l'extérieur.

2. LE CONFORT THERMIQUE ET LE BATIMENT

D'après Vitruve, toute construction doit être confortable et saine. C'est en fait sa raison d'être. Elle doit protéger les occupants de l'environnement extérieur, de même assurer un équilibre et une qualité agréable à l'intérieur qui dépend peu des conditions extérieures.

Le bâtiment bien conçu fournit un confort nettement supérieur. Il ne surchauffe pas en été et profite des gains solaires pendant l'hiver. Tandis que le bâtiment inadapté à son climat comme le montre la courbe en pointillé rouge dans la figure 1, a tendance de surchauffer en saison chaude et être glacial en saison froide.

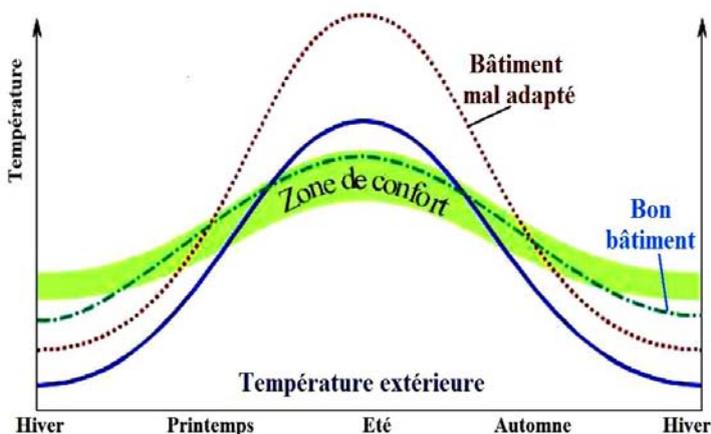


Fig. 1: Evolution des températures dans des bâtiments au cours de l'année [3]

Le confort thermique est un état de bien-être général et stable. Il est mesuré à contrario par le taux d'insatisfaction des occupants. Il est subjectif et se diffère d'une personne à une autre selon le métabolisme, le sexe, l'âge, l'habillement, l'activité produite ..., ainsi que la zone climatique.

3. QU'EST CE QUE LA REHABILITATION THERMIQUE ?

D'après Joffroy [4], la réhabilitation est définie comme étant l'action d'améliorer un édifice en conservant sa fonction principale et en prolongeant sa durée de vie. En fait, elle ne concerne pas seulement le patrimoine historique connu, mais aussi le patrimoine immobilier ordinaire méconnu, c'est-à-dire les bâtiments sans qualités auxquels il faudra en donner.

Dans cette définition, la réhabilitation thermique du bâtiment correspond donc à l'amélioration thermique de l'édifice notamment son enveloppe, car elle constitue un échangeur thermique entre l'intérieur et l'extérieur [5]. Elle consiste en de légères modifications, comme l'ajout par exemple de l'isolation par l'extérieur, le changement des fenêtres... etc, ou lourdes telles que l'isolation par l'intérieur, le réaménagement du plan du logement, selon la trajectoire du soleil,... etc, ainsi que l'ajout d'une partie neuve comme une serre ou une véranda.

La réhabilitation thermique de l'enveloppe du bâti concerne:

Les parois opaques verticales et ce en renforçant l'isolation thermique, soit de l'intérieur ou de l'extérieur, selon les composants de la paroi et le style architectural de l'édifice pour ne pas défigurer la façade.

Les planchers: Il s'agit d'isoler les planchers bas, donnant sur l'extérieur ou sur les locaux non chauffés, ainsi que le plancher terrasse.

Les fenêtres: Elles sont les plus vulnérables aux déperditions calorifiques. Leurs améliorations thermiques permettent des économies d'énergie de l'ordre de 10 à 15 % [6]. Et cela par le remplacement des vitrages simples en vitrages isolants, et le redimensionnements des surfaces vitrées selon l'orientation et la zone climatique.

4. METHODOLOGIE DU TRAVAIL

La démarche analytique que nous proposons dans cet article s'articule autour de deux étapes successives et complémentaires:

La première étape concerne le calcul des déperditions thermiques du bâtiment de référence, afin de vérifier s'il est conforme aux normes de la réglementation thermique algérienne d'une part, et de définir son identité thermique d'autre part. Ainsi, elle nous permet de proposer diverses solutions relatives à l'enveloppe du bâtiment pour réduire les déperditions thermiques.

La deuxième étape, et sur la base des résultats obtenus, nous allons tester l'effet des éléments constituant l'enveloppe avant et après la réhabilitation sur la température de l'ambiance intérieure d'une côté, et les besoins énergétiques de chauffage et de climatisation d'un autre côté, à l'aide d'un code de calcul. Il s'agit en effet d'une analyse thermique par simulation.

4.1 Présentation du cas d'étude

Le choix est porté sur un bâtiment d'habitat collectif construit cette dernière décennie et qui fait partie de la cité 1377 logements AADL, situé à l'USTO - Oran.

Comme son nom l'indique, c'est l'Agence de l'Amélioration et le Développement de Logements, et dans ce travail, on s'interroge sur la qualité thermique de ce type d'habitat afin de mesurer le confort thermique et la consommation d'énergie avant et après la réhabilitation thermique.

L'étude est faite sur le logement du dernier étage encadré en pointillé rouge dans la figure 2, car il est le plus défavorable, exposé sur ces trois façades, plus la terrasse aux conditions climatiques.

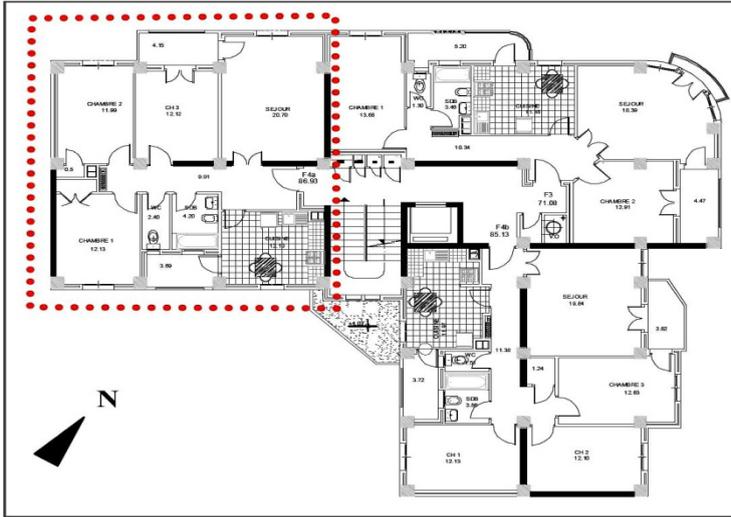


Fig. 2: Plan d'étage courant {source: AADL}

Les matériaux de constructions constituant l'enveloppe du bâtiment sont:

- Mur en double paroi de brique creuse enfermant une lame d'air de 5 cm d'épaisseur revêtu d'un enduit en plâtre de 1.5 cm d'épaisseur coté intérieur et un enduit en ciment coté extérieur.
- Vitrage simple de 4 cm d'épaisseur et des persiennes en bois.
- Plancher en corps creux de 20 cm d'épaisseur.
- Murs de refonds en béton armé de 20 cm d'épaisseur

1^{er} étape: Calcul des déperditions thermiques

Le calcul des déperditions thermiques du logement est effectué suivant le DTR [7]. Les résultats obtenus [8] ont montré que les déperditions par transmission calculées sont supérieures aux déperditions de référence, cela signifie que la consommation d'énergie est maximale et le confort thermique n'est pas assuré. Donc, le bâtiment n'est pas conforme aux normes et il nécessite une réhabilitation.

$$D_T = \sum D_i = D_s + D_{li} + D_{sol} + D_{inc} \quad (1)$$

$$D_{ref} = a \times S_1 + b \times S_2 + c \times S_3 + d \times S_4 + e \times S_5 \quad (2)$$

$$D_T = 524.05 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

$$D_{ref} = 445.64 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

La vérification de la réglementation est la suivante:

$$D_T \leq 1.05 \times D_{ref} \quad (3)$$

$$D_T = 524.05 \text{ W/}^\circ\text{C} \quad \left. \vphantom{D_T} \right\} D_T > 1.05 \times D_{ref}$$

$$1.05 \times D_{ref} = 467.92 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

Pour réduire ces déperditions, nous allons agir sur:

- Type de vitrage: Le remplacement des fenêtres en simples vitrages par des fenêtres en doubles vitrages.
- Parois verticales de l'enveloppe: L'isolation des parois de l'enveloppe par l'extérieur supprime les déperditions à travers les ponts thermiques.
- Terrasse inaccessible: L'augmentation de l'isolation du plancher terrasse.

Nous allons donc recalculer de nouveau les déperditions par transmission pour voir l'effet des améliorations proposées sur celle ci

$$D_T = \sum D_i = D_s + D_{li} + D_{sol} + D_{inc} \quad (4)$$

$$D_{ref} = a \times S_1 + b \times S_2 + c \times S_3 + d \times S_4 + e \times S_5 \quad (5)$$

$$D_T = 269.22 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

$$D_{ref} = 445.64 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

La vérification de la réglementation est la suivante:

$$D_T \leq 1.05 \times D_{ref} \quad (6)$$

$$D_T = 269.22 \text{ W/}^\circ\text{C} \quad \left. \vphantom{D_T} \right\} D_T < 1.05 \times D_{ref}$$

$$1.05 \times D_{ref} = 467.92 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

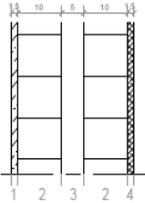
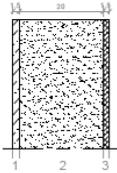
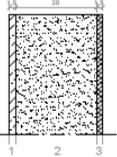
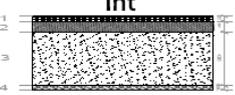
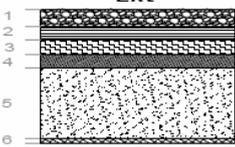
$D_T \leq 1.05 \times D_{ref} \rightarrow$ le logement est conforme au D.T.R. C3-2, après l'amélioration de l'enveloppe du bâti.

Les améliorations apportées à l'enveloppe du logement ont permis d'augmenter la résistance thermique (**Tableau 1**), cela signifie une réduction des déperditions thermiques par transmission, une diminution de la consommation d'énergie vis-à-vis des besoins de chauffage et de climatisation.

Et donc, les déperditions de référence seront supérieures aux déperditions de transmission, cela indique que le logement est conforme aux normes de la réglementation thermique.

Les éléments de l'enveloppe améliorés sont regroupés dans le tableau ci après avec le calcul de la résistance thermique R.

Tableau 1: Les éléments améliorés de l'enveloppe [8]

| Situations existantes | | Solutions proposées | Résistance R ($m^2 \cdot ^\circ C / W$) |
|-----------------------|---|---|---|
| Ext |  In | Isolation extérieure par collage de panneaux de polystyrène extrudé de 8 cm revêtus d'un enduit extérieur de 1 cm. | 1'-enduit extérieur $Re = 0.02$ 2'-polystyrène $Rpe = 2$ 1 – enduit ciment 2 – brique creuse 3 – lamed'air 2 – brique creuse 4 – enduit plâtre |
| | | | $Rbc = 0.61$ $Rbc' = 2.63$ |
| Ext |  In | Isolation extérieure par collage de panneaux de polystyrène extrudé de 8 cm revêtus d'un enduit extérieur de 1 cm. | 1'-enduit extérieur $Re = 0.02$ 2'-polystyrène $Rpe = 2$ 1 – enduit ciment 2 – voile béton 3 – enduit plâtre |
| Paroi béton | | | $Rba = 0.16$ $Rbc' = 2.18$ |
| Int Non chauffé |  Int chauffé | L'isolation de la face de la paroi donnant sur le local non chauffé par des panneaux en plâtre. | 1 – enduit ciment 2 – voile béton 3 – enduit plâtre 4 – Plaque plâtre |
| Paroi intérieure | | | $Rbai = 0.16$ $Rpp = 0.16$ $Rbai' = 0.32$ |
| Paroi vitrée | Fenêtre Simple Vitrage | Les fenêtres de simple vitrage sont remplacées par des fenêtres doubles vitrages de 2×4 avec lame d'air de 6 mm. | $Kv' = 2.9 W / m^2 \cdot ^\circ C$ |
| | porte | | $Kp = 4.5 W / m^2 \cdot ^\circ C$ |
| Int |  Int | ----- | 1 – revêtement sol 2 – mortier ciment 3 – plancher corps creux 4 – enduit plâtre |
| Plancher bas | | | $Rpb = 0.22$ $Rpb = 0.22$ |
| Ext |  Int | L'isolation du plancher terrasse par l'ajout d'un isolant polystyrène extrudé de 8 cm + voile synthétique + gravillon de protection au dessus de l'étanchéité | 1 – gravillons 2'-voilesynth étique 3'-polystyrène e 2 – é tan chéité multicouch e 3 – formedepen te 4 – liège aggloméré 5 – pmancherco rps creux + dalledecom pression 6 – enduit plâtre |
| Terrasse inaccessible | | | $Rpe = 2$ $Rtr = 1.36$ $Rtr' = 3.36$ |

2^{ème} étape: Analyse thermique par simulation

Ces simulations ont été effectuées dans le but d'évaluer jusqu'à quel point on peut optimiser les performances thermiques de l'enceinte habitable.

L'appartement choisi pour la simulation est considéré comme une mono zone. Puisque le flux de chaleur traversant les parois de séparations intérieures est nul (la température est la même dans les différentes pièces).

La façade principale du local est celle qui comporte la plus grande surface vitrée, est orientée coté Nord Ouest. Les matériaux constituant l'enveloppe de l'appartement sont regroupés dans le tableau ainsi que leurs caractéristiques thermiques (voir annexe).

Ces caractéristiques sont nécessaires comme données dans le code de calcul relatif à la description de l'enveloppe. Les surfaces vitrées sont en verre simple de 4mm d'épaisseur, d'une surface de 9.4 m² et son coefficient de transmission thermique K égal à 5 W/m².°C, le facteur solaire est de 85 %.

Les simulations sont effectuées sans systèmes de chauffage et de climatisation, avec les données météorologiques du climat méditerranéen de l'Algérie, et ce afin de tester le comportement de l'enveloppe de l'appartement lui-même. Pour les bonnes conditions de simulation, le renouvellement d'air hors infiltration est de 0.6 volume/heure de 0 à 24h, supposé comme invariable.

4.2 Avant la réhabilitation

Les résultats de la figure 3 montrent que la température intérieure en hiver est presque constante, varie entre 15.2 °C et 13.7 °C. Cela se justifie par la masse thermique des matériaux constituant l'enveloppe de l'appartement et la diffusion de la fraîcheur stockée pendant la nuit.

Mais cette température est inférieure à la température de la zone de confort du littoral marin, qui varie entre 21 °C et 25 °C. Par conséquent, le confort thermique n'est pas assuré.

Cependant en été, le confort thermique est assuré, car la température intérieure varie entre 20.1 °C et 21.7 °C sans les apports internes (elle est dans la plage de la zone du confort).

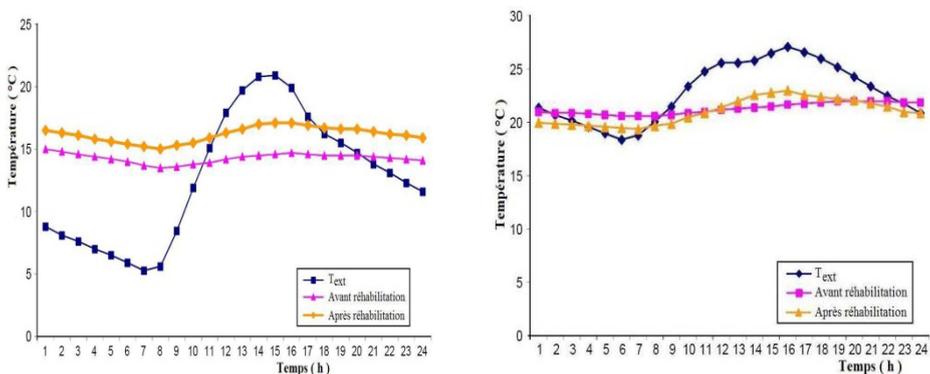


Fig. 3: Evolution de la température de l'ambiance intérieure avant et après la réhabilitation pour le 1^{er} Janvier et le 1^{er} juillet

4.3 Après la réhabilitation

Pour ce cas, nous avons intégré dans le code de calcul les mêmes données des éléments améliorés de l’enveloppe, présentées précédemment.

Les résultats montrent que les déperditions après réhabilitation de l’enveloppe sont moindres que celles du cas normal, c’est-à-dire avant réhabilitation, et la température intérieure s’est améliorée en hiver.

L’amplitude de température entre les deux cas est de 2.5 °C, un gain de chaleur très utile et qui contribue à améliorer le confort thermique tout en diminuant la consommation d’énergie. Cependant en été, la forte isolation peut causer des surchauffes importantes, si la ventilation n’est pas bonne.

Dans notre cas, on remarque une élévation de la température de l’ordre de 1.3 °C de 11 h à 20 h due à l’augmentation de l’inertie thermique de l’enveloppe à cause de l’isolation par l’extérieur.

4.4 Les besoins énergétiques de chauffage et de climatisation

Ensuite, nous avons essayé de voir l’impact de ces améliorations sur les besoins de chauffage et de climatisation.

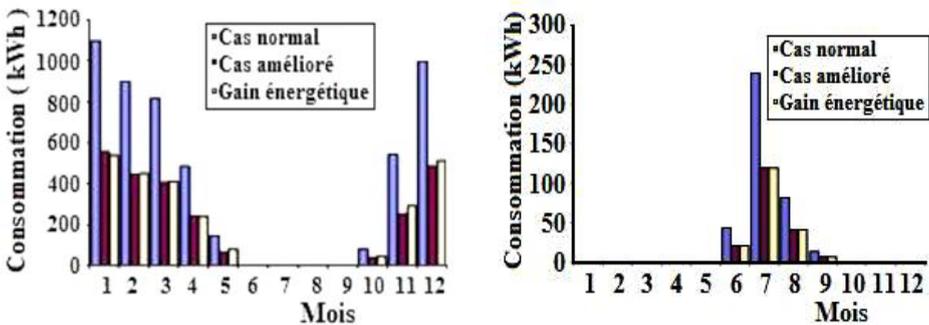


Fig. 4: Comparaison des besoins mensuels en chauffage et en climatisation avant et après réhabilitation

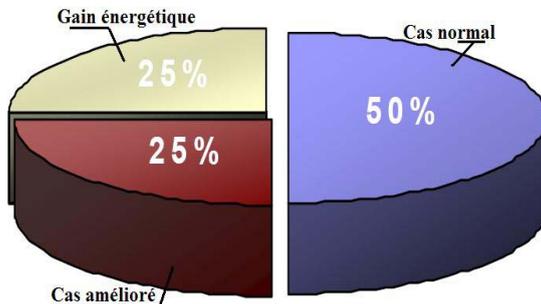


Fig. 5: Comparaison des besoins annuels en chauffage et en climatisation avant et après réhabilitation

De ces deux figures (Fig. 4 et Fig. 5), on remarque que la consommation mensuelle de chauffage et de climatisation, après réhabilitation constitue la moitié des besoins du cas normal (avant réhabilitation). Donc, 50 % de gains de calories et une optimisation de la consommation d'énergie seront réalisés après amélioration.

Cela se traduit par des économies de dépenses d'électricité ou de gaz selon le procédé du conditionnement d'air utilisé. Et par conséquent, cette amélioration permet aussi d'agir sur l'environnement par la réduction des émissions de gaz à effet de serre, et aussi sur la consommation des énergies fossiles.

5. CONCLUSION

Nous avons développé dans cet article, le concept de la réhabilitation thermique de l'enveloppe du bâtiment, afin de sensibiliser les hommes de l'art sur la manière d'améliorer thermiquement l'enceinte architecturale, de réduire la consommation d'énergie et d'améliorer le confort thermique dans les logements.

Le calcul du bilan de déperditions thermiques a permis de déterminer l'identité thermique du logement, et également de vérifier les effets sur l'impact de la réglementation thermique.

Les simulations élaborées à l'aide du code de calcul est une approche très importante car elle nous permet de constater l'influence des éléments réhabilités sur la température de l'ambiance intérieure d'un coté et sur les besoins énergétiques d'un autre coté; de même de pouvoir décider sur les meilleures solutions qui permettront l'amélioration des performances thermiques de l'enveloppe.

Les résultats obtenus des deux étapes ont montré que l'isolation thermique de l'enveloppe et le type de vitrage sont parmi les solutions les plus efficaces qui permettent une réduction notable des besoins énergétiques. Ils constitueront en effet une barrière aux échanges thermiques.

REMERCIEMENTS

Nous remercions le Laboratoire Thermique du Département du Génie Civil – Université d'Oran d'avoir mis à notre disposition le code de calcul.

NOMENCLATURE

D_T : Déperditions par transmission du logement, $W/^\circ C$.

D_{ref} : Déperditions de référence, $W/^\circ C$.

D_s : Déperditions surfaciques à travers les parois en contact avec l'extérieur, $W/^\circ C$.

D_{li} : Déperditions à travers les liaisons, $W/^\circ C$.

D_{sol} : Déperditions à travers les parois en contact avec le sol, $W/^\circ C$.

D_{Inc} : Déperditions à travers les parois en contact avec les locaux non chauffés, $W/^\circ C$.

S_1 : Surface de la toiture en m^2 ; S_2 : Surface du plancher bas; S_3 : Surface des parois en contact avec l'extérieur; S_4 : Surface des portes; S_5 : Surface fenêtres et portes fenêtres.

Les coefficients a , b , c , d , e sont donnés par le DTR C3-2.

REFERENCES

- [1] Ministère de l'Energie et des Mines, 'Consommation Energétique Finale de l'Algérie, Chiffre Clé -Année 2005-', in APRUE 'Données et Indicateurs', [en ligne], 2007, <http://www.aprue.org.dz/documents/consommation-energetique.pdf>, 17/05/2009.
- [2] N. Meghraoui, 'Quel Habitat pour l'Algérie', Edition Média-Plus, Constantine 2006.
- [3] N. Morel et E. Gnansounou, 'Energétique du Bâtiment', Cours 4/5^{ème} année, Génie Civil, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, EPFL, Septembre 2008.
- [4] P. Joffroy, 'La Réhabilitation des Bâtiments: Conserver, Améliorer, Restructurer les Logements et les Equipements', Edition Le Moniteur, Paris, 1999.
- [5] G. Alexandroff et J.M. Alexandroff, 'Architectures et climats: Soleil et Energies Naturelles dans l'Habitat', Edition Berger-Levrault, 1982.
- [6] P. Chauvigny, 'L'isolation Thermique de la Maison', Edition Eyrolles, France, 96 p., 1980.
- [7] CNERIB, 'Document Technique Réglementaire, D.T.R C3-2, 'Réglementation Thermique des Bâtiments d'Habitation', Fascicule 1, 1998.
- [8] N. Kadri, 'La Réhabilitation Thermique du Bâti Existant- Cas de l'Habitat Collectif à Oran', Mémoire de Magister, USTO, 2010.

ANNEXE

Tableau: Matériaux constituant l'enveloppe et leurs caractéristiques thermiques

| Paroi | Matériaux | Conductivité thermique λ (W/m.°C) | Epaisseur E_p (m) | Chaleur spécifique c (J/kg.°C) | Masse volumique m (kg/m ³) | Surface S (m ²) |
|-----------------------------------|------------------|---|---------------------|----------------------------------|--|-------------------------------|
| Paroi Extérieure En brique creuse | Enduit En ciment | 1.4 | 0.015 | 1080 | 1800 | 77.42 |
| | Brique creuse | 0.5 | 0.10 | 900 | 1900 | |
| | Lame d'air | 0.31 | 0.05 | 1005 | 1.29 | |
| | Brique creuse | 0.5 | 0.015 | 936 | 1900 | |
| | Enduit en plâtre | 0.35 | 0.015 | 936 | 1000 | |
| Paroi extérieure En béton | Enduit En ciment | 1.4 | 0.015 | 1080 | 1800 | 17.25 |
| | Béton armé | 1.75 | 0.2 | 1080 | 2500 | |
| | Enduit en plâtre | 0.35 | 0.015 | 936 | 1000 | |
| Paroi intérieure En béton | Enduit en plâtre | 0.35 | 0.015 | 936 | 1000 | 10.80 |
| | Béton armé | 1.75 | 0.2 | 1080 | 2500 | |
| | Enduit en plâtre | 0.35 | 0.015 | 936 | 1000 | |

| | | | | | | |
|--------------------------|------------------------------------|------|-------|------|------|----|
| Plancher bas* | Enduit en plâtre | 0.35 | 0.015 | 936 | 1000 | 87 |
| | Corps creux + dalle de compression | 1.45 | 0.2 | 1080 | 1450 | |
| | Mortier | 1.4 | 0.04 | 1080 | 1800 | |
| | Dallage en granito | 2.1 | 0.02 | 336 | 2200 | |
| Plancher terrasse | Enduit en plâtre | 0.35 | 0.015 | 936 | 1000 | 87 |
| | Corps creux + dalle de compression | 1.45 | 0.2 | 1080 | 1450 | |
| | Isolation en liège | 0.1 | 0.04 | 1512 | 500 | |
| | Forme de pente | 1.15 | 0.04 | 1080 | 1800 | |
| | Etanchéité | 0.04 | 0.03 | 670 | 200 | |

* Le plancher bas est un plancher intermédiaire.