HAL
open science

Etude et caractérisation des transferts thermiques dans des matériaux de construction locaux

Azedine Belhamri, Karima Rebahi, Ali Chikhi, Lyes Bennamoun

To cite this version:

Azedine Belhamri, Karima Rebahi, Ali Chikhi, Lyes Bennamoun. Etude et caractérisation des transferts thermiques dans des matériaux de construction locaux. JITH 2007, Aug 2007, Albi, France. 5p. hal-00166806

HAL Id: hal-00166806

https://hal.science/hal-00166806

Submitted on 29 Aug 2007

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

ETUDE ET CARACTERISATION DES TRANSFERTS THERMIQUES DANS DES MATERIAUX DE CONSTRUCTION LOCAUX

Azeddine BELHAMRI[1], Karima REBAHI[1], Ali CHIKHI[2], Lyes BENNAMOUN[2]

[1]Département de Génie Climatique, Faculté des Sciences de l'Ingénieur, Université Mentouri Constantine, 25000 Algérie
[2]C.U. Ben M'hidi Oum El Bouaghi, 04000 Algérie
belhamri_a@yahoo.fr

Résumé : Il s'agit d'une étude expérimentale pour caractériser le comportement thermique de matériaux de construction. Les résultats seront appliqués dans l'établissement des bilans énergétiques des bâtiments. Ces matériaux sont des bétons renforcés de fibre de polystyrène, de copeaux à bois et de copeaux d'acier. Les méthodes expérimentales utilisées sont celles dites des boîtes et la méthode flash. Les résultats montrent et confirment la forte dépendance de la conductivité et de la diffusivité thermiques avec la teneur en eau.

Mots clés : conductivité thermique – diffusivité – saturation - béton

1. INTRODUCTION

La question de l'utilisation rationnelle de l'énergie s'est imposée ces dernières années, pour faire face à l'accroissement de son coût et aux conséquences catastrophiques sur l'environnement, d'une utilisation abusive. Tous les secteurs sont concernés et doivent être impliqués. Les installations de chauffage ou de climatisation dévorent d'importantes quantités d'énergie pour assurer des conditions de confort thermique à l'intérieur des bâtiments. Le calcul des besoins énergétiques dépend fortement des propriétés thermiques de l'enveloppe du bâtiment, qui sont souvent supposées constantes. Les parois sont constituées de matériaux de construction, qui sont généralement, des milieux poreux capables d'absorber, de contenir et d'échanger de l'humidité, en plus de la chaleur. Une interaction se développe entre le transfert de chaleur et d'humidité et les différentes propriétés de transport. L'absence de données détaillées sur les propriétés thermo-physiques, peut impliquer des anomalies d'exploitation.
De nombreux travaux ([1], [2],…) montrent que les caractéristiques thermo-physiques des matériaux de construction sont liées aux conditions d'utilisation, notamment, à la température et à la teneur en eau. Dans ce travail, des mesures sont effectuées sur des bétons particuliers, produits localement. Les corrélations des différentes propriétés thermiques sont établies et appliquées sur des exemples de calcul.

2. ETUDE EXPERIMENTALE

2.1. Matériaux étudiés

Les expériences sont effectuées sur des types de béton produits localement renforcés de fibre de polystyrène, copeaux de bois et de copeaux d'acier. Il s'agit de matériaux composites, qui sont développés afin d'améliorer le comportement mécanique des bétons classiques. D'après les essais de laboratoires de « Génie civil », les bétons à fibre offrent une meilleure résistance au cisaillement, les risques de fissuration et de rupture peuvent être mieux maîtrisés,…

Pour cette étude, les compositions suivantes ont été retenues:

	Ciment (*g*)	Sable (*g*)	Eau (*g*)	Fibres (*g*)
Béton à coupeaux d'acier	450	1350	225	4,5
Béton à coupeaux de bois	450	1350	225	4,5
Béton à billes de polystyrène	450	1350	225	18

Tableau 1. Dosages des bétons étudiés

2.2. Dispositif de mesures

Le dispositif expérimental est identique à celui utilisé par Meukam et al [3]. La méthode de mesure de la conductivité thermique est celle dite des « boîtes ». Le principe consiste à créer deux enceintes isothermes à différentes températures. Les parois latérales de l'enceinte chaude sont bien isolées. Il s'établi un écoulement de chaleur supposé monodimensionnel, à travers l'échantillon à tester. Des thermo-sondes sont fixées sur chacune des faces de l'échantillon (face chaude et face froide). Une fois le régime est établi, un logiciel d'acquisition de données intégré permet de déterminer la conductivité thermique, à partir des données du flux de chaleur traversant l'échantillon et des différentes températures mesurées.
La diffusivité thermique est mesurée directement en régime instationnaire. La méthode « Flash » est utilisée. Son principe consiste à appliquer un flux lumineux de 1000W pendant quelques secondes sur l'une des faces de l'échantillon. La température de la face froide est enregistrée à partir de l'application du flash. La valeur de la diffusivité est obtenue après lecture du thermographe obtenu.

2.3. Résultats et discussions

La figure (1) montre l'évolution de la conductivité thermique en fonction de la température pour les trois types de béton étudiés. Dans la gamme des températures étudiée, la conductivité thermique reste pratiquement constante et dépend peu de la température, pour les trois types de matériaux. Le béton renforcé par les copeaux d'acier possède la plus haute valeur de la conductivité thermique, comparé aux autres types de béton. Celle du béton renforcé au polystyrène est de loin la plus basse, du fait du dosage et de la nature de ces fibres.

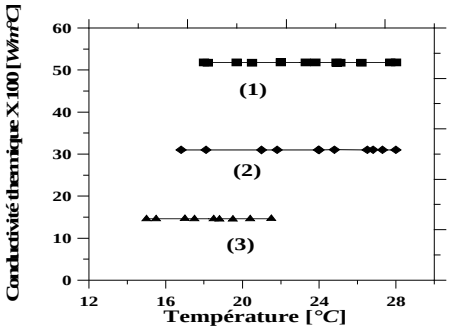

Figure 1: Influence de la température sur la conductivité thermique
((1): Béton renforcé en copeaux d'acier, (2) en copeaux de bois, (3) en polystyrène)

Cependant, la teneur en eau influe considérablement sur la conductivité thermique (figure 2). Cette influence est beaucoup plus visible pour le type renforcé par les copeaux d'acier, mais elle est aussi importante pour les deux autres types de béton.

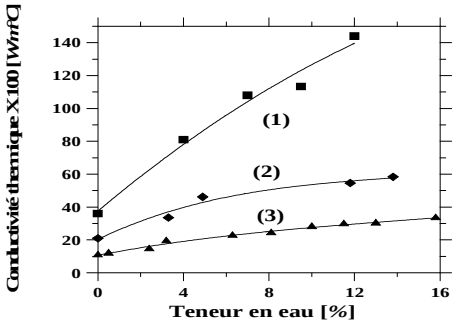

Figure 2: Influence de la teneur en eau sur la conductivité thermique
((1): Béton renforcé en copeaux d'acier, (2) en copeaux de bois, (3) en polystyrène)

Au cours des essais, les échantillons étaient à température ambiante (voisine de 20°C) donc très inférieure à 59°C. Notons ici, qu'un changement de comportement de la conductivité thermique au delà de cette température critique, a été signalé et interprété par Krischer [1].

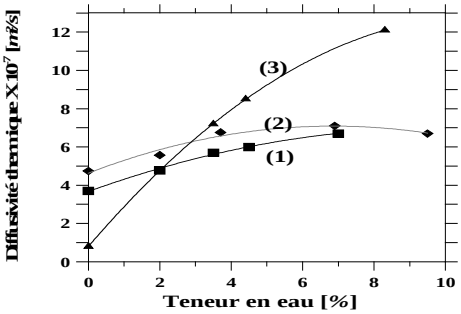

Figure 3: Influence de la teneur en eau sur la diffusivité thermique
((1): Béton renforcé en copeaux d'acier, (2) en copeaux de bois, (3) en polystyrène)

L'évolution de la diffusivité thermique est représentée sur la figure (3). Pour le béton renforcé par les copeaux de bois, la courbe présente un maximum pour une teneur en eau autour de 7%. Il est probablement, dû aux effets opposés de la teneur en eau sur la conductivité thermique d'une part et sur la chaleur volumique de l'autre part. Cet effet n'est pas visible pour les deux autres types de béton, cependant, il est fort probable que ce maximum existe et soit au-delà des teneurs en eau atteinte dans les présentes expérimentations. Des résultats similaires ont été reportés par Meukam et al [3].

3. INFLUENCE DE L'HUMIDITE SUR LES BILANS THERMIQUES

3.1. Transfert de chaleur dans les matériaux poreux humides

A cause de leurs structures poreuses, les matériaux de construction humides se caractérisent par un comportement complexe. Ils sont généralement constitués de trois phases:
- une phase solide, qui constitue la structure du matériau, une phase liquide, qui représente l'eau libre ou absorbée par le matériau et une phase gazeuse, qui est l'air humide contenu dans les pores. Considérées individuellement, chacune de ces phases présentent des caractéristiques thermiques qui lui sont propres; des interactions thermiques se manifestent aussi entre les différentes phases. Une évaluation rigoureuse d'un comportement global du matériau doit tenir compte de l'ensemble de ces réalités.

La notion de conductivité effective λ_e est alors, souvent utilisée. Dans la littérature de nombreux modèles de calcul sont proposés.

Les modèles empériques s'expriment par des corrélations basées sur les résultats de mesures directes. Les modèles théoriques sont construits en tenant compte de la structure du milieu poreux et dépendent généralement, de la porosité, de la saturation, des conductivités respectives des phases en présence et de la fraction de chaque phase ([1], [5]).

Si on s'intéresse au transfert de chaleur monodimensionnel dans une paroi poreuse humide, l'équation de la chaleur simplifiée s'écrit:

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}\left(\lambda_e \frac{\partial T}{\partial x}\right) \tag{1}$$

λ_e est dépendante de la saturation il est donc, nécessaire de déterminer le profil de saturation à chaque instant. De nombreux modèles théoriques ([6], [7]) basés sur différentes approches, sont actuellement utilisés, pour l'étude des transferts de chaleur et de masse dans les milieux poreux. Le modèle de diffusion est, peut être le moins compliqué et s'adapte plutôt bien à ce genre de problème. L'équation de diffusion pour la saturation, s'écrit:

$$\frac{\partial S}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}\left(D(S)\frac{\partial S}{\partial x}\right) \tag{2}$$

Le coefficient de diffusion $D(S)$ est mesuré directement [8] ou construit, en utilisant les autres paramètres thermo-physiques du milieu (perméabilité, pression capillaire,…) [9]. Ces paramètres dépendent aussi de la saturation et de la température. La solution des équations couplées (1) et (2), peut être obtenue suivant les conditions de chaque problème. Des processus itératifs peuvent être utilisés pour s'affranchir de la non-linéarité des équations.

3.2. Influence de l'état de saturation sur le calcul des déperditions calorifiques

A titre indicatif et afin d'évaluer l'influence de la saturation sur le transfert de chaleur dans une paroi en béton renforcé en copeaux d'acier, un cas simple a été considéré. Deux conditions de flux de masse sur chacune des surfaces de la paroi, sont prises en compte. Ce qui a permis de construire le profil de saturation dans la paroi, à chaque instant. La conductivité thermique est alors déterminée suivant la corrélation établie expérimentalement:

$$\lambda_e(S) = -0{,}33138S^2 + 0{,}97124S + 0{,}34686 \tag{3}$$

La saturation moyenne est utilisée pour le calcul de $\lambda_e(\overline{S})$, elle est calculée suivant:

$$\overline{S} = \frac{1}{e}\int_0^e S(x)dx \tag{4}$$

La densité du flux de chaleur traversant la paroi, est alors, calculée à chaque instant, suivant :

$$q = \frac{\Delta T}{\frac{1}{h_e} + \frac{e}{\lambda_e} + \frac{1}{h_i}} \tag{5}$$

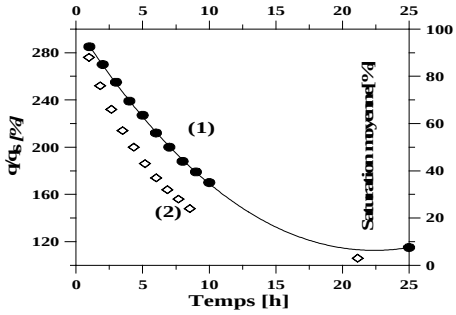

Figure 4: Influence de la teneur en eau sur la densité du flux de chaleur au cours du temps ((1) q/q_s, (2) Saturation moyenne)

La figure (4) montre le rapport des densités du flux de chaleur, calculées respectivement, à l'état humide et à l'état sec et pour une même différence de température de l'air extérieur et intérieur (ΔT). Ce rapport atteint des valeurs très importantes, lorsque la saturation moyenne est élevée et décroît au cours du séchage du matériau. Même si ce cas de figure ne reflète pas la réalité de tous les jours, car il considère des valeurs de teneur en eau très élevées notamment à l'état initial, il met en évidence l'effet de l'humidité sur les déperditions calorifiques des parois des bâtiments.

Fauconnier [4] présente une étude très détaillée, sur l'influence de l'humidité sur la consommation énergétique des bâtiments, où il analyse l'ensemble des facteurs, qui influent sur le comportement hygrothermique des bâtiments.

4. CONCLUSION

L'étude de caractérisation thermique de bétons produits localement, montre et confirme que la teneur en eau est un paramètre essentiel pour l'évaluation des paramètres thermiques.

Les écarts observés, notamment pour la conductivité thermique d'un matériau sec et celle d'un matériau humide, impliquent des conséquences qui pourront être très significatives lors de l'établissement des bilans thermiques des bâtiments.

Nomenclature

e	épaisseur, *m*	q	densité du flux de chaleur, W/m^2
D	coef. de diffusion massique, m^2/s	S	saturation
C_p	chaleur massique, *J/kg °*	T	température, *K* ou *°C*
h	coef. de convection, W/m^2°	t	temps, *s*

Symboles grecs

ρ	masse volumique, kg/m^3	λ	conductivité thermique, *W/m°*

Références

[1] O. Krischer, K. Kroll, Technique du séchage, traduction CETIAT, 1978

[2] M.I. Khan, Factors affecting the thermal properties of concrete and applicability of its prediction models, *Building and Environment*, Vol.37, pp607-614, 2002

[3] P. Meukam, Y. Jannot, A. Noumowe, T.C. Kofane, Thermo physical characteristics of economical building materials, *Construction & building materials*, Vol.18, pp437-443, 2004

[4] R. Fauconnier, Influence de l'humidité sur la consommation énergétique d'un bâtiment en chauffage discontinu (modélisation et couplage des phénomènes), *L'humidité dans le bâtiment*, UNESCO, pp147-186, 1982

[5] C. Gruescu, A. Giraud, F. Homand, D. Kondo, D.P. Do, Effective thermal conductivity of partially saturated porous rocks, *Int. J. of Solids and Structures*, Vol.44, pp811–833, 2007

[6] S. Whitaker, Simultaneous heat, mass and momentum transfer in porous media – A theory of drying in porous media, *Advances in heat transfer*, Vol.13, pp119-200, 1977

[7] Z.Q. Chen, M. H. Shi, Study of heat and moisture migration properties in porous building materials, *Applied Thermal Engineering*, Vol.25, pp61–71, 2005

[8] P. Crausse, G. Bacon., S. Bories, Etude fondamentale des transferts couplés de chaleur et d'humidité en milieu poreux, *Int. J. of heat and mass transfer*, Vol.24 (6), pp991-1004, 1981

[9] A. Belhamri, Characterization of the first falling rate period during drying of a porous materiel, *Drying Technology - An International Journal*, Vol.21 (7), pp1235–1252, 2003