

UDC 624

**BÉTON À BASE DE PAILLE POUR L'ISOLATION THERMIQUE:
ETUDE EXPÉRIMENTALE DES PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES ET
THERMIQUES**

Naima BELAYACHI, Marwen BOUASKER, Dashnor HOXHA, Muzahim AL-MUKHTAR**

*Laboratoire PRISME, Polytech'Orléans, 8 rue Léonard de Vinci, 45072 Orléans
Cedex 2, France*

** Centre de recherche de la matière divisée – CRMD, FRE CNRS 3520, 1b rue de
la Férellerie, 45100 Orléans, France*

1. Introduction:

La combinaison judicieuse de deux ou plusieurs matériaux continus et discontinus (fibres) afin de produire un composite avec des performances exceptionnelles et des propriétés différentes de celles des constituants suscite depuis longtemps un intérêt important notamment dans le domaine du bâtiment. En effet, ce domaine est responsable d'une grande partie de pollution, d'émission de CO₂, et d'une consommation d'énergie importante. Même si la tendance actuelle de ce qu'on appelle le bâtiment vert 'green Building' est liée à la réduction de la consommation d'énergie, le cout de cette performance énergétique reste très élevé avec des problèmes de recyclage. Cependant, le développement de nouveaux matériaux de construction à base de fibres naturelles présente un intérêt grandissant et continu de nos jours grâce à leurs nombreux avantages [1, 2]. Les fibres végétales semblent les meilleurs candidats pour un renfort, renouvelable, biodégradable, de faible densité et coût qui s'inscrivent dans une démarche de respect de l'environnement en limitant également la production des déchets. Ces matériaux naturels ont fait l'objet de nombreuses contributions scientifiques pour des applications différentes pour des fibres de lin [3], de chanvre [4], de sisal [5]. D'autres

travaux très récents ont étudié la paille céréalière mais dans le contexte de construction en botte de paille [6] comme remplissage des ossatures bois.

Nous présentons donc dans ce papier une nouvelle contribution scientifique en proposant un nouveau matériau d'isolation thermique, composé de paille céréalière, de chaux hydraulique et aérienne. Ce travail s'inscrit dans le cadre d'un programme de recherche « PROMETHE » financé par la région centre (France). Une investigation sur l'élaboration, les propriétés hydriques des fibres, mécaniques et thermiques du matériau sera présentée dans les différentes sections ci-dessous.

2. Matériaux utilisés:

Un des objectifs les plus importants de ce travail était de trouver une formulation optimale fibre-liant pour un meilleur compromis entre performance thermique et mécanique. Par conséquent, 25 mélanges ont été préparés en variant le rapport massique fibre-liant et eau liant.

Présentation des fibres de paille : des fibres de paille céréalière ont été utilisées comme renfort dans ce travail. Ce choix découle de sa large disponibilité

dans la région centre (premier producteur d'Europe) et de sa microstructure poreuse offrant une bonne propriété thermique. Ce choix permet aussi de valoriser une ressource renouvelable produite en surplus, brûlé ou utilisé pour l'élevage jusqu'à maintenant. Ceci s'inscrit parfaitement dans la démarche de développement durable. Le programme de recherche propose un usage différent d'un matériau perdu pour un nouveau matériau de construction à faible coût.

Avant de passer à l'élaboration du béton paille, il est apparu primordial d'investiguer les propriétés physiques et hydriques des fibres. Quatre types de paille ont été étudiés selon la variété (blé, orge), l'année (2010, 2011) et le lieu de production. La paille de blé notée P1 et P2 cultivée en 2011 mais sur deux parcelles différentes. La troisième notée P3 est cultivée en 2010. La quatrième paille P4 (de variété orge) est cultivée en 2010 sur la même parcelle que P3. Afin de faciliter le mélange et le moulage du béton paille (BP), la paille a été broyée en utilisant un broyeur à végétaux (Bocsh AXT 23 TC). Une technique d'analyse d'image a été utilisée pour étudier la granulométrie des fibres utilisées pour la confection des mélanges. 95% de fibres ont une longueur de 30 mm. Des observations de la microstructure en utilisant un microscope électronique (PHILIPS XL 40 ESEM) ont été réalisées afin d'examiner la microstructure poreuse de la paille (Fig. 1), qui peut influencer fortement le comportement de la fibre et du composite. Les deux sections montrent une structure poreuse avec des vaisseaux (tubes) de forme hexagonale avec une distribution aléatoire. Le diamètre de ces pores varie entre 7 et 20 μm . La paille d'orge montre des agglomérats de pores de petite taille en surface plus importante que la paille de blé. Par conséquent, la paille d'orge a un comportement hydrique différent de la paille de blé.

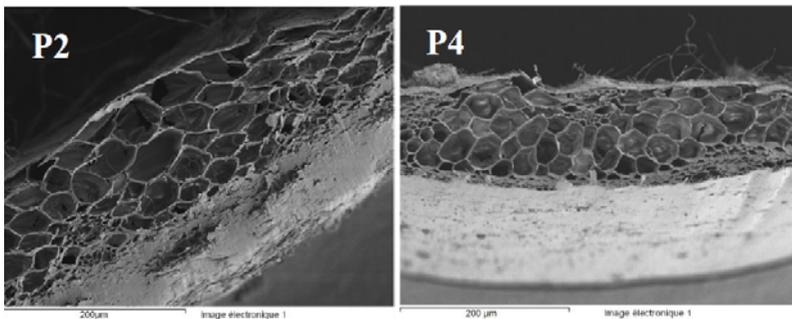


Figure 1 : Exemple de microstructure poreuse de la paille de blé (P2) et la paille d'orge (P4)

La Fig.2.a montre la courbe sorption-desorption de la paille d'orge et la paille de blé montre une hysteresis importante pour l'orge que pour les trois pailles de blé. Un autre paramètre très important dans le cadre de la formulation des bétons en général et des bétons à base de fibres végétales en particulier est le coefficient d'absorption d'eau des fibres. Sur la Fig.2.b est représentée l'évolution du

coefficient d'absorption d'eau des quatre pailles etudiees. Les fibres ont la capacite d'absorber l'eau plus que leur propre poids allant jusqu'a environ 4 fois pour la paille d'orge. Pendant les 10 premieres minutes, l'absorption est plus importante et atteint 70 % a cause d'une action capillaire.

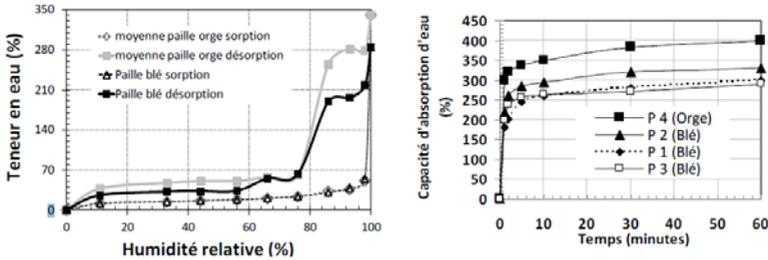


Figure 2 : Comparaison des proprietes hydriques des differentes pailles : (a) courbe de sorption-desorption, (b) coefficient d'absorption d'eau

Finalement, La variete (Blé ou orge) semble montrer une difference importante du comportement hydrique d'ou le choix de realiser le composite en utilisant seulement la paille de blé et d'orge d'une meme annee de production et d'une meme parcelle (P3 et P4).

Liant hydraulique:

Le choix du type de liant pour cette application est d'une grande importance et complexite. Le liant doit repondre a la fois aux exigences d'un melange facile fibre-liant, d'un moulage correct et aussi une bonne resistance mecanique du composite. Ce point a ete largement aborde dans la litterature, certains [7] trouvent qu'un rapport important de ciment ameliore la resistance mecanique du composite alors que d'autres [8] indiquent des resultats mediocres. Face a ces differences, et dans le but d'etudier l'effet du type de liant sur les proprietes mecaniques du composite deux types de liants ont ete utilises dans le cadre de ce travail obtenus par un melange de chaux hydraulique et aerienne avec un pourcentage de ciment ou de pouzzolane.

Le premier est un melange pre-formule de chaux Tradical PF70 compose de (75% de chaux aerienne ; 15% de chaux Hydraulique et 10% de pouzzolane). Le deuxieme liant est fabrique au laboratoire en remplaçant la pouzzolane par du ciment (CEM I 52.5 N).

3. Elaboration du beton-paille:

Les melanges de beton paille ont ete fabriques en utilisant un malaxeur de laboratoire d'une capacite de 35 litres. Le rapport fibres/liants (F/L) varie entre 10% et 80% alors que le rapport eau/liant (E/L) est egal a (0.5 ; 0.8 ; 1.1 ; 1.6). Les fibres de Blé et d'orge ont ete utilise pour chaque type de melange avec pouzzolane (PM), et ciment (CM). La procedure de preparation des echantillons (Fig.3) passe par les

pesées des différentes phases poudre de liant, fibres et eau selon le rapport de F/L et E/L. Ensuite le malaxage des différents matériaux en respectant le temps de malaxage pour les mortiers traditionnels. Finalement, l'introduction du mélange dans les moules en bois de (30 cm x 30 cm et une épaisseur de 10 cm) sans compactage ni vibration.



Figure 3 : Procédure de confection des échantillons de Béton-Paille

Les éprouvettes confectionnées sont testées après une conservation pendant 28 jours dans une chambre climatisée à 20°C. La densité apparente a été mesurée en fonction du temps sur les blocs de béton de paille. Des mesures de conductivité thermique ont été réalisées selon la norme ISO 8301 et ASTM C518 en utilisant un fluxmètre (HFM 436 Lambda). Une presse Instron d'une capacité de 250 KN a été utilisée pour les tests de compression uniaxiale avec une vitesse de chargement de 1mm/minute.

4. Resultats et discussions :

Les courbes contraintes-déformations de la Fig.4 montrent un comportement fortement non linéaire du béton paille pour différents rapport fibre/liant (F/L) pour deux rapports eau/liant. Trois zones importantes caractérisant le comportement en compression du composite, une première zone (I) où le comportement est élastique linéaire, suivie d'une seconde zone de comportement élastoplastique avec une rupture du liant et la troisième qui consiste en un comportement compactant le matériau. Il est également observé sur cette figure que l'augmentation de la fraction des fibres diminue la résistance en compression du béton de paille. De même, la résistance est faible pour un rapport eau/liant plus important.

Les résultats de la Fig. 5 (à gauche) montrent une résistance plus importante pour le béton à base de fibre de ble de l'ordre de 0.115 MPa que le béton avec des fibres d'orge (0.052 MPa). Il semble que la résistance faible pour l'orge est due à sa capacité d'absorption d'eau très importante qui diminue l'hydratation du liant hydraulique. Dans l'absence des résultats mécaniques sur la fibre seule, il nous est difficile de confirmer que cette différence est due à la résistance des fibres de ble.

La conductivité du béton illustrée sur la Fig.5 à droite augmente avec l'augmentation de la quantité du liant et la diminution du volume des fibres. Comme il est facile de le remarquer, plus la densité du béton est faible, plus faible sera sa conductivité thermique (d'environ 0.08 W/mK) avec une augmentation du

rapport des vides (augmentation du volume des fibres). Ces resultats montrent le potentiel d'isolation thermique du materiau.

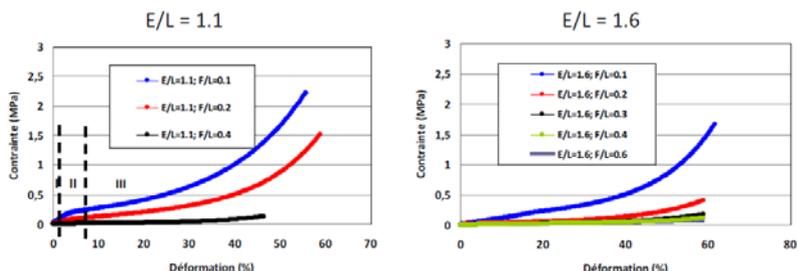


Figure 4 : Contrainte en fonction de la deformation du beton paille pour differents rapport Fibre/liant pour deux rapports Eau/liant.

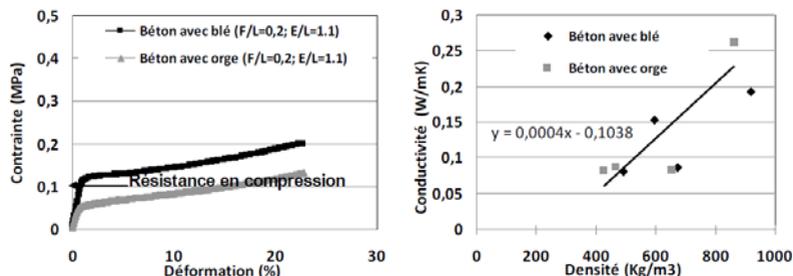


Figure 5 : Comparaison du comportement en compression du beton a base de paille d'orge et de ble (a gauche), conductivite thermique du beton de paille a base des deux fibres (a droite).

La Fig. 6 montre la contrainte de compression en fonction de la deformation des deux melanges utilisant les deux liants differents le Tradical avec une addition de pouzzolane (PM), et le melange de chaux avec l'addition en ciment (CM). Nous constatons que le composite CM presente une resistance plus importante mais seulement a faible rapport E/L (1.1). Ceci peut s'expliquer par la reaction lente de la chaux aerienne avec une quantite d'eau importante d'une part, et d'autre part de l'activation du durcissement par la pouzzolane. Des investigations complementaires sont necessaires pour etayer ces constatations.

5. Conclusion :

Ce travail propose un nouveau materiau d'isolation thermique du batiment qui s'inscrit dans une nouvelle demarche environnementale a faible cout de l'elaboration jusqu'a la fin de vie du beton. Le composite baptise Beton Paille dans cette etude montre une performance thermique avec une faible conductivite qui le place dans des applications de renovation ou de constructions neuves. Neanmoins,

cette application se restreigne a une utilisation en plus d'un element resistant (mur en brique ou voile en beton) a cause de sa faible resistance mecanique. L'influence du ciment ou la pouzzolane sur le comportement mecanique a ete mise en evidence par contre, la question merite une etude plus exhaustive. Les resultats mecaniques et thermiques laissent une ouverture vers des perspectives interessantes quand a l'utilisation de la paille comme renfort structurel.

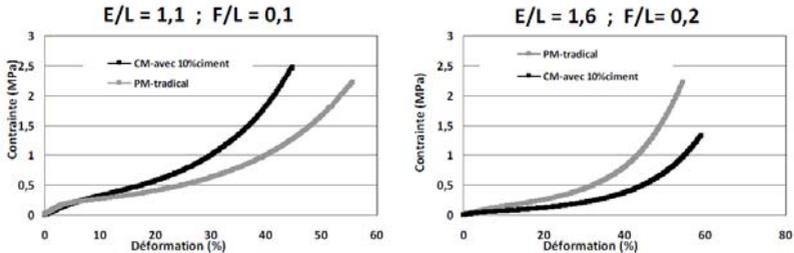


Figure 6 : Courbes contrainte deformation pour les melanges utilisant les deux liants pour differents rapport E/L et F/L.

6. References :

1. J. Khedari, P. Watsanasathaporn, J. Hirunlabh. Development of fibre-based soil-cement block with low thermal conductivity. *Cement & concrete composites* 27, p. 111-116 (2005).
2. H. N. Dhakal, Z. Y. Zhang, M. O. Richardson. Effect of water absorption on the mechanical properties of hemp fibre reinforced unsaturated polyester composites. *Composites Science and technology* 67, p. 1674-1683 (2007).
3. X. Huang, A. Netravali. Characterization of flax yarn and flax fabric reinforced nanoclay modified soy protein resin green composites. *Composites Science and technology* 67, p. 2005-2014 (2007).
4. D. Asprone, M. Durante, A. Prota, G. Manfredi. Potential of structural pozzolanic matrix-hemp fiber grid composites. *Construction and building materials* 25, p. 2867-2874 (2011).
5. F. D. A. Silva, R. D. Toledo Filho, J. D. A. Melo Filho, E. D. M. Rego Fairbairn. Physical and mechanical properties of durable sisal fiber-cement composites. *Construction and building materials* 24, p. 777-785 (2010).
6. Ashour T., Goerg H., Wu W., 2011. An experimental investigation on equilibrium moisture content of earth plaster with natural reinforcement fibres for straw bale buildings. *Applied thermal engineering* 31, p. 293-303 (2011).
7. P. B. Bruijn, K. H. Jeppson, K. Saudin, C. Nilsson. Mechanical properties of lime hemp concrete containing shives and fibres. *Biosystems Engineering* 103, p. 474-479 (2009).
8. R. Bevan, T. Woolley. Hemp lime construction- A guide to building with hemp lime composites. Building research Establishment. p. 110 (2008).