

INCORPORATION DE DÉCHETS ARGILEUX DANS LES BÉTONS DE BOIS PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES ET THERMIQUES

Ahmed Bouguerra*, Ali Ledhem*, Amaury t'Kint de Roodenbeke*, Michèle Quéneudec**
Équipe gestion technique du bâti, Université de Rennes, Laboratoire de bâtiment : matériaux, structures, thermique-IUT d'Amiens

Les auteurs étudient la possibilité d'introduire des déchets argileux dans les bétons de bois au lieu du sable siliceux généralement utilisé. Ils montrent qu'avec une quantité de ciment relativement faible par rapport à celle qui est généralement utilisée dans les bétons de bois, on atteint des résistances mécaniques équivalentes sinon supérieures et que les performances thermiques ne sont pas altérées par le caractère hygroscopique de l'argile.

The authors have developed technologies to recycle clay waste by making insulating materials. In this paper they give mechanical and thermal performances. The influence of thermohygrometric conditions has also been studied and it showed that in normal conditions of working, the thermal conductivity is not considerably moved by the thermohygrometric conditions. The experimental results compared to those obtained for aerated autoclaved concrete and plaster show the possibility to design technically good materials from clay waste.

On désigne par le terme bétons de bois, des matériaux composites généralement constitués par une matrice minérale éventuellement adjuvantée et des granulats végétaux. Ces granulats végétaux ont des granulométries comparables à celles des granulats minéraux traditionnels avec toutefois des limites granulaires inférieures en ce qui concerne les plus gros (en général, granulométrie maximale de 20 mm). Les matrices les plus courantes sont des mortiers de ciment Portland, mais aussi de ciments magnésiens, de plâtre, de chaux, de laitier¹. Les matrices argileuses n'ont été étudiées que depuis ces dernières années^{2 à 14}. Les déchets argileux provenant du lavage des granulats constituent pourtant un gisement important. Dans certaines régions, il existe peu de gisements de sable « propre ». C'est le cas de l'ouest de la France. Jusqu'à la dernière décennie, les gisements de sable marin fossile de la fin de l'ère tertiaire ont été très sollicités et ainsi, les « bons » gisements, c'est à dire sans quantité importante d'argile, sont maintenant sur le point d'être épuisés. Ceci conduit à utiliser des sables de plus en plus argileux. Par conséquent, les déchets d'exploitation constituent des quantités de plus en plus importantes qu'il faut valoriser.

La proposition faite dans ce travail est de les incorporer à des bétons de bois. Il faut alors déterminer les propriétés mécaniques et thermiques dans le but de les utiliser dans des éléments isolants ou isolants porteurs.

MATÉRIAUX ÉTUDIÉS

L'argile utilisée est un déchet d'exploitation de carrières de granulats alluvionnaires. Le matériau exploité en carrière, est un paléosol ferrallitique de l'ère tertiaire, remanié. Il s'agit d'un sol sablogranuleux contenant des blocs de quartz et de grès ferrugineux. Le paléosol tout venant est tamisé par voie humide. Les graviers et les sables sont commercialisés tandis que la fraction fine, constituée presque exclusivement de kaolinite^{15,16} est jusqu'à présent inutilisée et rejetée au fond d'anciens lieux d'extraction bien que sa couleur beige rosé en fasse un matériau esthétiquement intéressant.

La répartition granulométrique est donnée dans la figure 1. La fraction d'argile « fine » (grains de diamètre inférieur à 2 μm) représente 55 % des passants cumulés. La fraction d'argile limon (diamètre compris entre 2 et 70 μm) représente 45 %. Notons que la partie limoneuse est certainement sur-estimée. La séparation se fait en effet par lavage en présence d'un flocculant. Il faut toutefois se souvenir que le but de ce travail, est la valorisation du déchet en son état. La den-

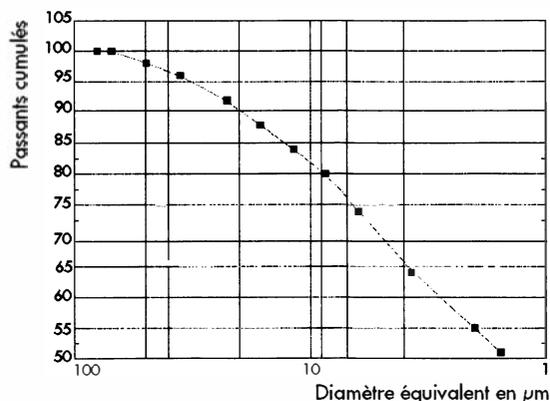


Figure 1 : Analyse granulométrique

sité absolue est 2.65 et les limites d'Atterberg sont $W_L = 48\%$, $W_P = 36\%$, $I_P = 12\%$.

Le ciment utilisé est un CPA55 (clinker > 97 %) conforme à la normalisation en vigueur lors de cette étude (NFP 15 301-1981). Il présente l'avantage de ne pas contenir de constituants secondaires pouvant intervenir dans les phénomènes de prise (laitier, pouzzolanes, cendres volantes). Il assure donc une meilleure maîtrise des phénomènes de stabilisation.

Les granulats de bois utilisés dans ce travail sont des granulats commercialisés (Agreslith C) obtenus à partir de bois d'épicéa ayant subi des traitements mécaniques et physico-chimiques. Les caractéristiques thermophysiques sont : densité apparente = 255 kg/m^3 ; humidité = 9 %; absorption d'eau massique = 120 %; conductivité thermique = $0,07 \text{ W/m.K}$. Le principe de fabrication du béton de bois à matrice argileuse a déjà été décrit. Rappelons que le critère choisi pour le calcul de l'eau ajoutée est celui d'ouvrabilité⁵. Le béton est ensuite mis en place par coulage, dans des moules cubiques de 10 cm d'arête, en se préservant d'un quelconque compactage mais en prenant soin de ne pas occlure d'air dans la pâte fraîche. Les moules sont conservés dans une salle à température et humidité contrôlée ($\Theta = 20^\circ\text{C}$, HR = 90 %) conformément à la norme NFP 15 401. Le démoulage se fait à un jour et les éprouvettes sont maintenues dans la même salle. Avant les essais, elles sont soumises à un séchage en étuve à circulation d'air, à 70°C jusqu'à masse constante.

La figure 2 donne l'influence du pourcentage de granulats de bois sur la densité sèche. Tout au long de cette étude, la quantité de ciment a été fixée à 20 % de la masse sèche, l'argile + les granulats de bois représentent 80 % du mélange sec.

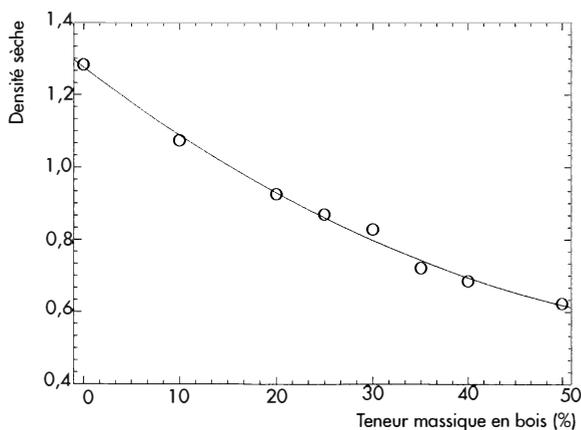


Figure 2 : Variation de la densité sèche en fonction de la teneur massique en bois

MÉTHODES DE MESURES

Lors de l'étude des matériaux humides, il est important de modifier le moins possible les distributions de teneur en eau. Nous avons donc utilisé une méthode transitoire. La détermination de la conductivité thermique a été réalisée à l'aide d'une sonde monotige à faible inertie¹⁷ sur les échan-

tilons décrits précédemment dans un domaine de température de 0 à 60°C représentant le domaine de fonctionnement usuel²¹.

Les échantillons sont saturés en eau suivant les recommandations de la Rilem puis introduits dans une enveloppe plastique scellée et maintenue dans une enceinte climatique jusqu'à l'équilibre des températures. Les états d'humidité intermédiaires entre les états secs et saturés ont été réalisés par séchage progressif dans un four à micro-ondes. Cette technique assure une distribution homogène de l'eau dans le matériau¹⁸. Les résistances mécaniques ont également été déterminées sur des cubes de 10 cm de côté grâce à une presse Walter-Baibag de capacité de 200 KN.

RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX

Résistances en compression

La figure 3 montre l'évolution dans le temps des résistances en compression du matériau sec, pour différentes compositions rassemblées dans le tableau 1. On peut voir que la stabilisation est rapide et que, quelle que soit la composition, elle est atteinte à 28 jours. La figure 4 donne la variation de la résistance en compression à 28 jours en fonction de la densité sèche. Elle varie de 3,0 à 9,5 MPa pour des densités variant de 0,6 à 1,3 environ.

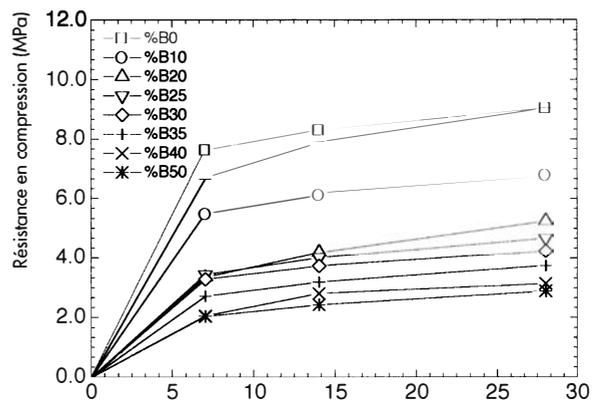


Figure 3 : Évolution de la résistance en compression en fonction de l'âge pour différentes teneurs massiques en granulats de bois

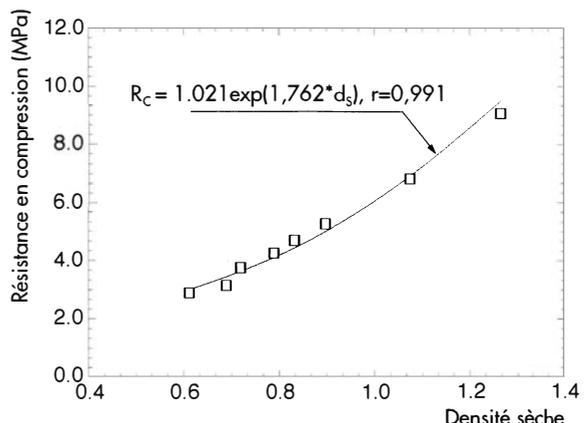


Figure 4 : Évolution de la résistance en compression en fonction de la densité sèche

Tableau 1 : Pourcentages massiques et volumiques des constituants initiaux

Teneurs relatives en Bois B/B + A	Constituants (A = Argile, B = Bois, C = Ciment)					
	En % massique			En % volumique		
	A	C	B	A	C	B
0	75.0	25.0	0.0	78.2	21.8 %	0.0
10	67.5	25.0	7.5	50.0	15.6 %	34.4
20	60.1	25.0	14.9	34.7	12.1 %	53.2
25	56.2	25.0	18.8	29.0	10.9 %	60.1
30	52.4	25.0	22.5	24.3	9.8	65.9
35	48.5	25.0	26.5	20.6	8.8	70.6
40	45.0	25.0	30.0	17.9	8.3 %	73.8
50	37.5	25.0	37.5	12.9	7.2 %	79.9

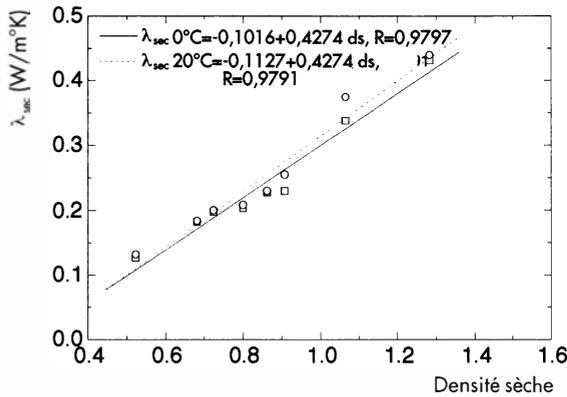


Figure 5 : Évolution de la conductivité thermique en fonction de la densité sèche

Conductivité thermique

La figure 5 montre l'évolution de la conductivité thermique en fonction de la densité sèche. Elle varie de 0,45 à 0,13 quand la densité décroît de 1,3 à 0,5.

La figure 6 montre l'influence de la température sur la conductivité thermique à sec pour les différentes compositions étudiées. Dans tous les cas, cette influence est quasiment négligeable. L'influence de l'humidité a également été effectuée pour les différentes compositions.

La figure 7 montre le comportement d'une composition

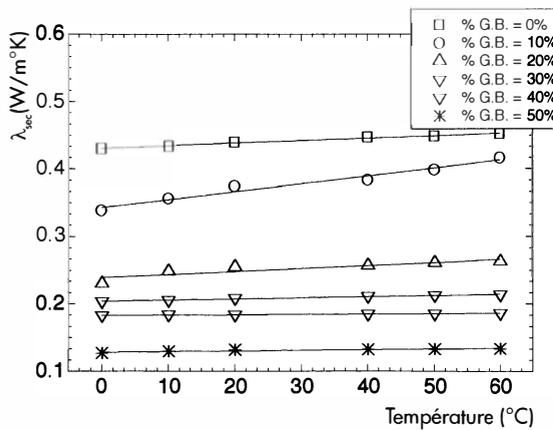


Figure 6 : Évolution de la conductivité thermique en fonction de la température pour différents teneurs massiques en bois

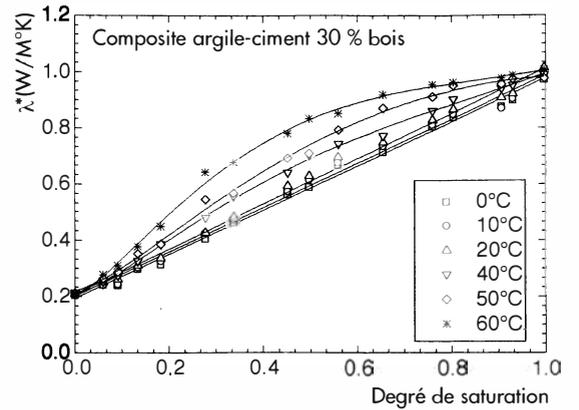


Figure 7 : Influence du degré de saturation sur la conductivité thermique pour différentes températures

moyenne (30 % de granulats de bois) correspondant à une densité $d \sim 0,8$. La conductivité thermique a été étudiée en fonction du taux de saturation S représentant le rapport du volume d'eau à la porosité totale. La conductivité thermique augmente de façon significative avec le taux de saturation. Lorsque la température reste inférieure à 20°C, les courbes sont très resserrées. Ce phénomène apparaît quel que soit le pourcentage de granulats. Les phénomènes d'évaporation-condensation n'apparaissent donc pas dans ce domaine^{19,20}. Au dessous de 20°C, ils peuvent être négligés.

CONCLUSION ET SYNTHÈSE

Le but de ce travail était de montrer que l'incorporation de déchets argileux dans les bétons de bois permettait de respecter les exigences mécaniques et thermiques des bétons de bois¹ malgré le caractère hygroscopique bien connu de l'argile et ses faibles résistances mécaniques.

Le tableau 2 rassemble les performances de quelques bétons de bois de différentes natures¹ et de matériaux usuels comme le plâtre et le béton cellulaire autoclavé (BCA). Rappelons que l'Agreslith est le granulat qui a aussi été utilisé dans ce travail. Le Granuland est fabriqué à partir de sciure traitée,

Tableau 2 : Propriétés physico-mécaniques et thermiques des matériaux usuels

Matériaux	Granulats	Matrice	ρ (kg/m ³)	R_{c28} (MPa)	λ (W/m ² K)
Bétons de Bois usuels	Agreslith ¹	Ciment	500-700	2,4 - 4	0,11 - 0,16
	Granuland ¹	Ciment + Sable	1400	7,8	
Bétons de Bois usuels	Litophore ¹	Ciment	800	3,3	0,22
		Ciment + Sable	700	-	0,15
Bétons de bois à matrice argileuse	Isochanvre ²²	Ciment	950		0,27
		Chaux	800		
Plâtre			1060	6,4	0,36
Béton cellulaire autoclavé			500	2,8	0,18

le Litophore est un granulats de liège torréfié¹. L'isochanvre est constitué de déchets de papeterie minéralisés²².

On peut constater que les qualités intrinsèques des bétons de bois à matrice argileuse sont très compétitives. De plus, les isothermes de sorption/désorption²¹ montrent que, dans les conditions d'utilisation, la quantité d'eau présente dans le matériau reste faible et donc, dans ce domaine, la conductivité thermique n'est pas très influencée par les conditions hygrothermiques, les capacités d'isolation sont préservées.

*** Ahmed Bouguerra, Ali Ledhem, Amaury t'Kint de Roodenbeke**

Équipe gestion technique du bâti- Groupe physique environnement bâti- Université de Rennes I

**** Michèle Quéneudec**

Laboratoire de bâtiment : matériaux, structures, thermique - Département génie civil-IUT- Avenue des Facultés-80025 Amiens cedex I

Bibliographie

1. P.Pimienta, J.Chandellier, M.Rubaud, F.Dutruel, H. Nicole, Cahiers du CSTB, 346, 2703, Janv-Fev 1994
2. K.Al-Rim, M.Quéneudec, A. t'Kint de Roodenbeke E.A Decamps. *Valorisation de déchets argileux de carrières dans la perspective des constructions en terre du futur.* CIB92-Congrès Mondial du Bâtiment -Montréal 18,22, Mai 1992
3. K.Al-Rim, M.A Morteveille et M.Quéneudec. *Influence de l'addition d'un entraîneur d'air protéinique sur un mélange d'argile-ciment.* Revue Internationale d'Héliotechnique, 1994, n°9, nouvelle série, 26-36.
4. K.Al-Rim, B.L'Haridon et M.Quéneudec. *Application des différentes méthodes d'allègement des argiles à la préfabrication d'éléments de construction.* Revue Internationale d'Héliotechnique, 1994 n°10, nouvelle série, 33-47.
5. K.Al-Rim, *Étude de l'influence de différents facteurs d'allègement des matériaux argileux : le Béton Argileux Léger. Généralisation à d'autres fines de roches et application à la conception d'éléments de construction.*, thèse de doctorat de l'Université de Rennes I, 28 Février 1995, Rennes.
6. K.Al-Rim, A. t'Kint de Roodenbeke et M.Quéneudec. *Utilization of clayey coproducts in the insulating building unit design.* 13th international World Building Congress, Amsterdam, 8-9May 1995
7. A.Bouguerra, A.Ledhem et M.Quéneudec. *Lightweight clayey concretes with stabilized wood granules.* 13th international World Building Congress, Amsterdam, 8-9May 1995
8. L.Marmoret, A.Bouguerra, K.Al-Rim, M.Quéneudec. *Caractéristiques thermiques d'un béton argileux cellulaire : cas d'un allègement par réaction avec l'aluminium pulvérulent.* Revue Générale de Thermique-Tome 34, n°402, Juin 1995, 393 - 400.
9. A.Ledhem, A.Bouguerra et M.Quéneudec *Étude de l'influence du traitement des granulats et d'ajouts matriciels sur la stabilisation dimensionnelle d'un composite argile-ciment-bois.* 2^{ème} Séminaire International de la Recherche sur les Matériaux Locaux, Marrakech, 26-27 septembre 1995
10. *Lightweight insulating concrete from clay and wood waste.* A.Bouguerra, A.Ledhem, M.Quéneudec, Conchem International Conference, Bruxelles 28-30 novembre 1995.
11. *The effect of a biological air entraining agent on clay cement mixture.* K.Al-Rim, M.Ruzicka, M.Quéneudec, Conchem International Conference, Bruxelles 28-30 novembre 1995.
12. *Valorisation de fines minérales industrielles.* K.Al-Rim, M.Ruzicka, M.J.le Garrec, M.Quéneudec. *Déchets, Sciences et techniques*, N° 1,Janv. Fev.1996 p37-40.
13. *Étude des paramètres de fabrication d'un béton de bois à matrice argileuse.* K.Al-Rim, A.Ledhem, M.Quéneudec, *Materials and Structures*, N° 192, Vol.29, 1996, pp. 514-518.
14. M.Ruzicka, D.Lorin, M.Quéneudec. *Some aspects of fresh clay cement mixes foamed by a biological agent*, International Conference on Production Methods and Workability of Fresh Concrete. Glasgow 3-5juin 1996.
15. J.Estéoule-Choux. *Contribution à l'étude des argiles du massif Armorican.* Thèse de Doctorat,1970 Rennes, France.
16. A.Jigorel. *Connaissance et restauration de l'Habitat en terre.* Comptes rendus du colloque, 10 et 11 Avril 1990, Montfort sur Meu, France.
17. Laurent, J.P., *Sonde à choc Thermique Monotige*, communication privée LTHE, 1992
18. Horton R., Wierenge P.J., Nielsen D.R. *A rapid technique for obtaining uniform water content distributions in unsaturated soil columns*, Soil Science 133 (6) 1982,397-399.
19. Philip, J.R. and De Vries *Moisture movement in porous material under temperature gradients.* Transactions of the american Geophysical Union., D.A, 1957, pp. 222-232.
20. Azizi S., Moyne, C, Degiovanni, A. *Approche expérimentale et théorique de la conductivité thermique des milieux poreux humides-I.* expérimentation. *Internation Journal of heat and mass transfer.* 1988, pp.2305-2317.
21. Bouguerra, A. Thèse de Doctorat, INSA de Lyon, 1996, à paraître.
22. P.Sionneau ; F.Périer ; M.Quéneudec ; A. t'Kint de Roodenbeke ; *Revue Internationale d'Héliotechnique ; Nouvelle série ; n°9 ; Avril 1994.*