

VALORISATION DE BOUES D'EXPLOITATION DE GRANITE

Kamal Al-Rim, Ahmed Bouguerra, Marie-Joseph Le Garrec, Amaury t'Kint de Roodenbeke, Michèle Quéneudec*
Groupe Physique-Environnement Bâti, Équipe gestion technique du bâti, Département génie civil, IUT de Rennes

L'exploitation de granites génère de grandes quantités de déchets parmi lesquels les fines résultant de travaux de sciage et de finitions de surface.

Dans ce travail, des déchets de granite de plusieurs provenances ont été étudiés. Le choix a été fait de les transformer en matériaux de haute qualité environnementale. Les auteurs donnent ici les caractéristiques mécaniques des bétons légers isolants élaborés.

Waste resulting from sawing and burnishing operations on granites is not used at the present time and is a nuisance for environment.

In this paper, waste resulting from granites from the whole world have been studied. The choice has been made to transform them into materials with low environmental impact. The authors give the mechanical characteristics of the elaborated bearing and insulating materials.

L'exploitation des granites génère de grandes quantités de déchets parmi lesquels les fines résultant de travaux de sciage et de finitions de surfaces. Ces déchets sont composés essentiellement de feldspaths, de micas et de quartz mais contiennent également des corps étrangers : poussières diamantées, abrasifs divers, huiles, floculants... qui diffèrent suivant les techniques d'exploitation. Ils sont souvent issus d'origines géographiques diverses.

Dans l'optique d'une valorisation, l'accent a été mis sur la nécessité d'une technologie simplifiée, permettant la transformation sur le site d'exploitation, et la qualité environnementale du produit fini. Cette deuxième contrainte signifie des techniques non polluantes, le respect des ressources énergétiques, des produits finis facilement recyclables et possédant de bonnes qualités thermiques.

Par ailleurs, des travaux antérieurs concernant la valorisation de fines argileuses^[1 à 13] ont montré la possibilité de les utiliser dans la mise au point d'éléments isolants porteurs, la transformation en béton argileux légers se faisant suivant deux techniques : allègement par création d'une structure cellulaire ou par granulats légers. L'idée directrice du présent travail était donc l'extension, à des déchets de granite,

des méthodes déjà mises au point pour les fines argileuses. Les contraintes citées précédemment nous ont conduits à une mise en moule par coulage et des quantités de stabilisant inférieures à 300 kg/m³. Tout traitement thermique susceptible d'augmenter les caractéristiques mécaniques du produit fini a été écarté. Enfin, l'allègement a été réalisé grâce à des déchets de la filière bois.

Toutefois, on ne peut envisager une valorisation de ce type, que si, malgré la diversité des déchets de granite, on peut dégager des lois générales notamment en ce qui concerne les caractéristiques mécaniques. C'est pourquoi, nous étudierons des granites de plusieurs provenances

MATÉRIAUX UTILISÉS ET TECHNIQUES OPÉRATOIRES

Les fines de granites utilisées sont regroupées en quatre séries :

- la série M est constituée de boues sèches résultant principalement de sciage (sans huile) ;
- la série N est un mélange de boues humides de sciage au disque (avec huile) et de polissage ;
- la série O est un mélange de boues de sciages sans huile et de boues de polissage avec floculant ;
- la série P est un mélange de boues de polissage et de châssis.

Le ciment utilisé est un CPA 55 (NF P 15301-1981).

Tous les paramètres influant sur les caractéristiques physiques et mécaniques du béton ont été fixés, à savoir : le mode de fabrication, la nature des granulats, le mode de conservation, la proportion pondérale massique de constituants...

La quantité d'eau nécessaire à l'obtention d'un mélange d'ouvrabilité satisfaisante a été calculée suivant l'expression empirique établie par certains des auteurs^[4, 12] : $W = 0,35 C + W_f F + 1,5 \text{ Cop}$, où C, F, Cop sont respectivement les pourcentages massiques de ciment, fines, copeaux. W est le pourcentage massique d'eau par rapport à la totalité de la matière sèche. W_f dépend de la granulométrie et correspond au rapport massique eau/fines nécessaire à l'obtention d'un seuil de cisaillement $f = 1850 \text{ Pa}$ pour la pâte fines/eau. Les fines utilisées dans cette étude sont de granulométrie quasi-

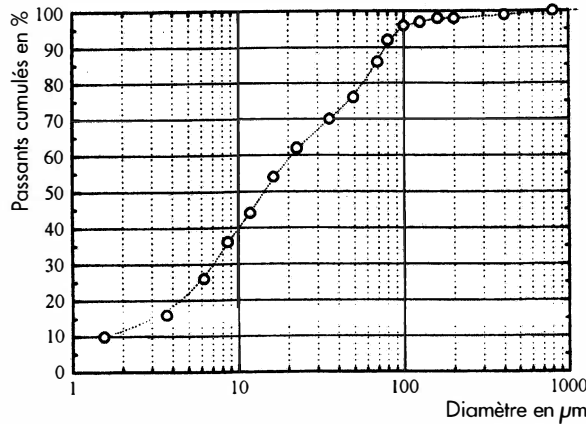


Figure 1 : Analyse granulométrique

identiques et W_F a été mesuré : $W_F = 40\%$. À titre d'exemple on donne dans la figure 1 la courbe granulométrique de la série M.

La masse de matière sèche est prise égale à 100 % et répartie de la façon suivante : $C = 20\%$; $(F + Cop) = 80\%$. Pour chacune des séries, l'influence de la densité a été effectuée en faisant varier le % de copeaux comme l'indique le tableau I. Les copeaux de bois utilisés dans ce travail sont des déchets de menuiseries, d'essences et de dimensions diverses, correspondant à des essences habituellement utilisées dans la construction. On peut toutefois apprécier la répartition comme suit : 60 % de sapin du Nord, 40 % d'autres essences parmi lesquelles surtout des bois exotiques et du hêtre. La densité réelle d'un tel mélange dont l'humidité naturelle est voisine de 10 % est de l'ordre de 0,55.

Le malaxage se fait dans un malaxeur à mortier normalisé (EN 196-1). Les fines et le ciment sont d'abord introduits et mélangés à vitesse lente. L'ajout de copeaux se fait après homogénéisation. L'eau est introduite après une bonne répartition des copeaux dans le mélange minéral. Le matériau obtenu est introduit dans des moules $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$ et mis en place par coulage en se préservant d'un quelconque compactage. Les moules sont ensuite conservés avant et après démoulage dans une salle à température et hygrométrie contrôlée ($\Theta = 20^\circ\text{C}$; $\text{HR} = 90\%$)

Les essais mécaniques sont effectués grâce à une presse 20 kN dont la large gamme de forces permet une grande précision.

Tableau I : Composition massique des mélanges étudiés				
Mélange	% ciment	% fines	% copeaux	% eau
1	20	80	0	39,0
2	20	75	5	44,5
3	20	70	10	50,0
4	20	65	15	55,5
5	20	60	20	61,0
6	20	55	25	66,5

RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX

Influence de la composition en copeaux sur la densité sèche

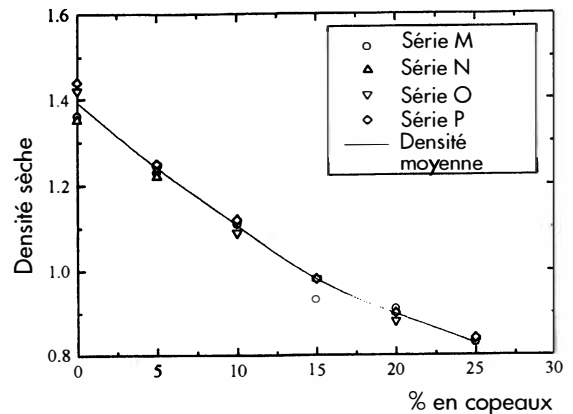


Figure 2 : Variations de la densité sèche en fonction du pourcentage massique en copeaux de bois

La figure 2 donne les courbes obtenues pour les différentes séries de granite. Les variations de la densité sèche en fonction du pourcentage massique de copeaux sont contenues dans un fuseau très serré. La densité sèche moyenne varie de 1,4 à 0,8 pour des pourcentages massiques de copeaux variant de 0 à 25 %. Dans tous les cas, une densité inférieure à 1 est atteinte avec un ajout de 15 % de copeaux.

Caractérisation en fonction de la densité des résistances mécaniques à 28 jours

Pour établir une corrélation entre la densité et les résistances mécaniques nous utiliserons une fonction puissance $R = ad^m$ qui semble la plus probable au vu des points expérimentaux, d , étant la densité sèche, R , la caractéristique mécanique étudiée, a et m des constantes

Les figures 3 et 4 donnent les variations de R_c et R_c/R_f . Les résistances en compression varient de 2 à 12,5 MPa pour des densités variant de 0,8 à 1,4 et les résistances en flexion de 0,9 à 3,1 MPa pour une même fourchette de densité. Remarquons toutefois qu'il faut tenir compte des condi-

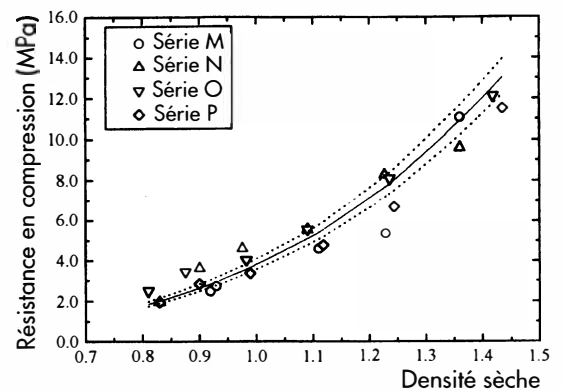


Figure 3 Résistance en compression en fonction de la densité sèche

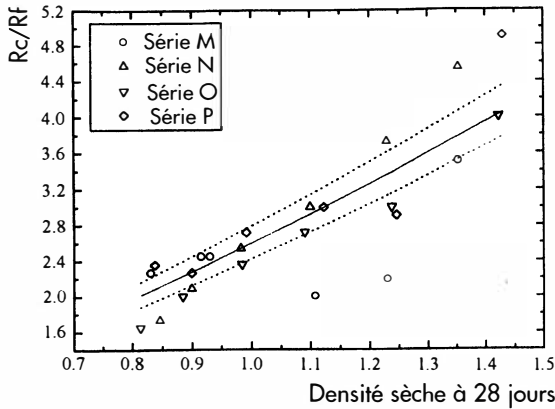


Figure 4 : Rapport des résistances (compression/flexion) en fonction de la densité

tions de fonctionnement. L'humidité résiduelle du matériau à l'équilibre hydrique est fonction de la quantité de copeaux ajoutée et varie de 2 à 5 % pour des teneurs en copeaux de 0 à 25 %. De plus, l'étude de la variation de la résistance en compression à l'état d'équilibre hydrique en fonction de la résistance à l'état sec a montré que le rapport $R_{ceq}/R_{csèche}$ est quasiment constant et voisin de 90 % quelle que soit la série étudiée.

Évolution des résistances mécaniques en fonction de l'âge

L'étude de la variation des résistances mécaniques en fonction de l'âge a été effectuée pour trois teneurs en copeaux. Les courbes des figures 5 et 6 donnent les valeurs expérimentales obtenues pour la série M ainsi que les courbes de régression respectivement pour les résistances en compression et en flexion. Les courbes de régression ont été obtenues en supposant une relation de la forme : $R(j) = A [j/(B + j)]^n$ [14], où j représente l'âge, A, B et n sont des constantes. Le nombre de points expérimentaux étant en général faible, nous avons pris $n = 1$ puisque quelle que soit la valeur de n, quand j tend vers l'infini, la résistance tend vers une constante $R(\infty) = A$. D'autre part, dans la pratique il faut se référer à une résistance déterminable à un âge assez petit et logique (entre 7 et 90 jours). Nous avons donc considéré un âge égal à 28

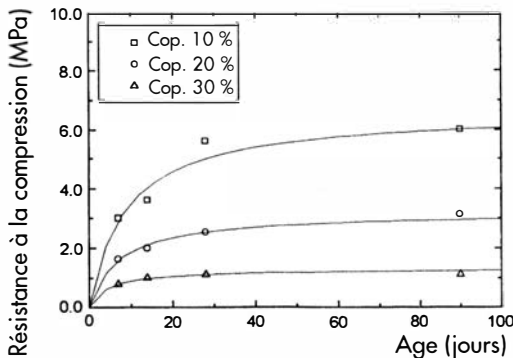


Figure 5 : Influence de la teneur en copeaux de bois sur la résistance à la compression

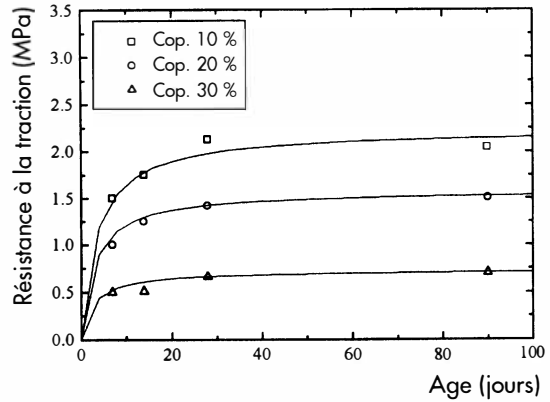


Figure 6 : Influence de la teneur en copeaux de bois sur la résistance à la traction par flexion.

jours pour la résistance de référence. Ceci nous permet d'écrire : $R(j) = a j/(b + cj)$, où $c = (R_{28}/R_{\infty})$; $a = cA$; $b = cb$ et a est alors la résistance de référence à 28 jours. L'âge j est exprimé en jours de même que b et c. B, R(j), A et a sont en MPa, c est sans unité. Les résultats obtenus de la régression pour les mélanges étudiés sont donnés dans le tableau 2.

Tableau 2 : Lois de variation des résistances mécaniques en fonction de l'âge pour différentes teneurs en copeaux						
Copeaux	$R_c j = a [j/(b + cj)]$			$R_f j = a [j/(b + cj)]$		
	a (MPa)	b (jours)	c	a (MPa)	b (jours)	c
10	5.01	6.70	0.76	1.98	3.12	0.89
20	2.55	5.64	0.80	1.42	2.70	0.90
30	1.11	3.75	0.86	0.66	2.39	0.91

Le coefficient d'âge K défini comme le rapport de la résistance f_j à j jours à celle de référence f_{28} (28 jours) permet de visualiser le durcissement dans le temps par rapport à la référence (classique) de 28 jours. Le tracé du coefficient d'âge des résistances en compression ($K_c = f_c/f_{c28}$) et en flexion ($K_f = f_f/f_{f28}$) pour un pourcentage en copeaux égal à 10 % (figure 7) montre que la courbe de variation de K_f est sensiblement au-dessus de celle de la variation de K_c pour un âge inférieur à 28 jours. Au-delà de cette date, le phénomène s'inverse. La montée de la résistance en flexion est

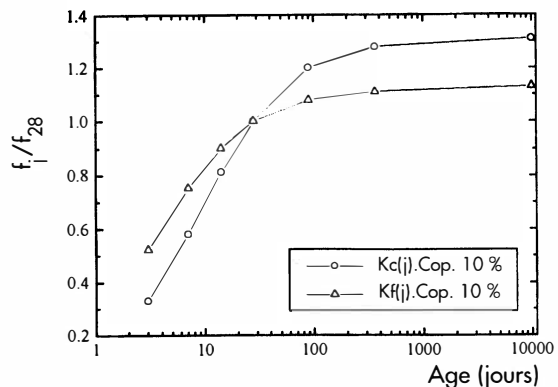


Figure 7 : Évolution des résistances mécaniques dans le temps

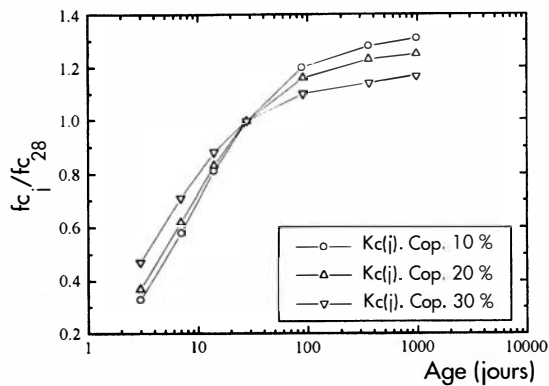


Figure 8 : Influence de la teneur en copeaux de bois sur le durcissement

donc plus rapide dans les premiers jours de la vie du composite de granite que celle de la résistance en compression. Ceci doit être relié aux phénomènes d'adhérence matrice-copeaux qui interviennent dans la mécanique de rupture. Les rapports $f_c/f_{c,28}$ pour différentes teneurs en copeaux sont reportés dans la figure 8. Les différences sont faibles mais on peut quand même constater que, dans les premiers jours, le coefficient d'âge augmente avec l'accroissement de la teneur en copeaux. Ceci signifie que plus le pourcentage en copeaux est important, plus le durcissement est rapide. Par ailleurs, plus la proportion de granulats est importante, plus la résistance en compression est faible à 28 jours. Par contre, le palier de résistance est atteint d'autant plus rapidement que la quantité de copeaux est plus importante. La prise de la matrice serait plus rapide en raison de l'opposition aux transferts thermiques liée à la quantité de copeaux, même si la proportion de copeaux limite la résistance finale du composite.

CONCLUSION

Nous avons montré précédemment la possibilité d'atteindre des résistances en compression à 28 jours $R_{c,28}$ comprise entre 2 et 12,5 MPa pour des densités sèches comprises entre 0,8 et 1,4 et pour une densité voisine de 1, soit 10 à 15 % de copeaux, une résistance en compression à 28 jours de l'ordre de 4 MPa. L'étude de la conductivité thermique pour un matériau de cette densité conduit à $\lambda = 0,24$ W/mK (pour $d = 1,03$). On voit donc la possibilité de transformer sans consommation importante d'énergie et sans addition prohibitive de stabilisant (≈ 210 kg de ciment par m^3 de béton) des déchets d'exploitation de granite en béton léger isolant porteur selon la définition de la RILEM (classe II, $\sigma_c = 3,5$ MPa, $\lambda = 0,75$ W/mK) [16].

* Kamal Al-Rim, Ahmed Bouguerra, Marie-Joseph Le Garrec, Amaury t'Kint de Roodenbeke, Michèle Quéneudec
Groupe Physique-Environnement Bâti, Équipe gestion technique du bâti, Département génie civil, IUT, Rue du clos Courtel, BPI 144, 35014 Rennes cedex.

Bibliographie

- [1] Valorisation de déchets argileux de carrières dans la perspective des constructions en terre du futur. K. Al-Rim, M. Queneudec, A. t'Kint de Roodenbeke E.A Decamps-CIB92- Congrès Mondial du Bâtiment - Montréal 18, 22 mai 1992
- [2] Influence de l'addition d'un entraîneur d'air protéinique sur un mélange d'argile-ciment. K. Al-Rim, M.A Morteveille, M. Queneudec. Revue Internationale d'Héliotechnique, 1994, n° 9, nouvelle série, 26-36.
- [3] Application des différentes méthodes d'allégement des argiles à la préfabrication d'éléments de construction. K. Al-Rim, B. l'Haridon, M. Queneudec, Revue Internationale d'Héliotechnique, 1994 n° 10, nouvelle série, 33-47.
- [4] Étude de l'influence de différents facteurs d'allégement des matériaux argileux : le Béton Argileux Léger. Généralisation à d'autres fines de roches et application à la conception d'éléments de construction. K. Al-Rim, thèse de doctorat de l'Université de Rennes 1, 28 février 1995, Rennes.
- [5] Utilization of clayey coproducts in the insulating building unit design. K. Al-Rim, A. t'Kint de Roodenbeke, M. Queneudec, 13th international World Building Congress, Amsterdam, 8-9 may 1995
- [6] Lightweight clayey concretes with stabilized wood granules. A. Bouguerra, A. Ledhem, M. Queneudec, 13th international World Building Congress, Amsterdam, 8-9 may 1995
- [7] Caractéristiques thermiques d'un béton argileux cellulaire : cas d'un allégement par réaction avec l'aluminium pulvérulent. L. Marmoret, A. Bouguerra, K. Al-Rim, M. Queneudec. Revue Générale de Thermique-Tome 34, n° 402, juin 1995, 393A-400A.
- [8] Étude de l'influence du traitement des granulats et d'ajouts matriciels sur la stabilisation dimensionnelle d'un composite argile-ciment-bois. A. Ledhem, A. Bouguerra, M. Queneudec, 2^{ème} Séminaire International de la Recherche sur les Matériaux Locaux, Marrakech, 26-27 septembre 1995
- [9] Lightweight insulating concrete from clay and wood waste. A. Bouguerra, A. Ledhem, M. Queneudec, Conchem International Conference, Bruxelles 28-30 novembre 1995
- [10] The effect of a biological air entraining agent on clay cement mixture. K. Al-Rim, M. Ruzicka, M. Queneudec, Conchem International Conference, Bruxelles 28-30 novembre 1995
- [11] Valorisation de fines minérales industrielles. K. Al-Rim, M. Ruzicka, M.-J. le Garrec, M. Queneudec. Dechets, Sciences et techniques, N° 1 janv. fev. 1996 p 37-40
- [12] Étude des paramètres de fabrication d'un béton de bois à matrice argileuse. K. Al-Rim, A. Ledhem, M. Queneudec, Materials and Structures-à paraître 1996
- [13] Some aspects of fresh clay cement mixes foamed by a biological agent. M. Ruzicka, D. Lorin, M. Queneudec, International Conference on Production Methods and Workability of Fresh Concrete. Glasgow 3-5 juin 1996, à paraître
- [14] Guide pratique du béton. G. Dreux, SDTBTP, Paris 1970
- [15] Le béton léger, M. Arnoud, M. Virlogeux. Presses de l'École Nationale des Ponts et Chaussées, Paris 1986, p 153 à 162
- [16] RILEM. CPC LC2, Materials and Structures, 1978, 11, p 61