

Caractérisation mécanique et physique d'un béton léger à base de sable calcaire et des granulats de liège

[Mechanical and physical characterization of lightweight concrete based on limestone sand and cork granules]

Brahim LAOUD

Department of civil engineering,
University of Amar Telidji,
Laghouat, Algeria

Copyright © 2013 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: Faced with the growing needs of resource materials and the requirements of environmental protection in a vision of sustainable development, it became necessary to study all the possibilities of reuse and recycling of industrial wastes and by-product especially in the field of civil engineering. There is an increasing interest in limestone fines from limestone quarries in concrete construction to overcome inherent deficiencies in river sand in particular regions of North Africa. Limestone sand is a by-product of the quarry process and typically does not have a significant demand due to its high content of small particles whose diameters are less than 80 μm . This work is part of the promotion of local products such as waste from the quarry crushing (limestone sand) in the region of Laghouat (Algeria) and waste from the manufacture of agglomerated expanded cork, using them in the making of cement materials for construction primarily for thermal insulation. To study the influence of the size of the aggregates on the physico-mechanical and thermal properties of concrete, two classes of granular aggregates are used 3 / 8 and 8 / 15. The results obtained showed that the reduction weight of concrete containing crushed sand with expanded cork significantly reduces its thermal conductivity which improves their thermal insulation, but causes a drop in the strength of concrete produced. Lightweight concrete with expanded cork granules 3/8 are the lightest and most isolated, and they have low mechanical strength compared to concrete with lightweight aggregates 8/15.

KEYWORDS: Sustainable development, valorization of wastes, byproducts, limestone sand, expanded cork, insulation.

RESUME: Devant les besoins croissant des ressources en matériaux, aussi que les exigences de préservation de l'environnement dans une vision de développement durable, il est devenu nécessaire d'étudier toutes les possibilités de réutilisation et de valorisation des déchets et sous-produits industriels notamment dans le domaine de génie civil. Il ya un intérêt croissant pour les fines calcaire à partir de carrières de concassage, dans la construction en béton pour surmonter les déficiences inhérentes à sable de rivière dans certaines régions d'Afrique du Nord. Le sable calcaire est un sous-produit du processus de carrière et typiquement ne pas avoir une demande importante en raison de sa teneur élevée en petites particules dont le diamètre est inférieur à 80 μm . Ce travail s'inscrit dans le cadre de la valorisation des produits locaux tels que les déchets de la carrière de concassage (sable calcaire) de la région de Laghouat(Algérie) et les déchets issues de la fabrication des agglomérées de liège expansé, en les utilisant dans la confection des matériaux cimentaires de construction destinés en premier lieu à l'isolation thermique. Pour étudier l'influence de la grosseur des granulats sur les caractéristiques physico-mécaniques et thermiques des bétons, deux classes granulaires sont employées granulats 3/8 et 8/15. Les résultats obtenus ont montré que l'allégement du béton à base de sable de concassage avec le liège expansé diminue considérablement sa conductivité thermique ce qui améliore leur isolation thermique, mais entraîne une chute de la résistance mécanique des bétons élaborés. Les bétons allégés avec les granulats de liège expansé 3/8 sont les plus légers et les plus isolants et possèdent des résistances mécaniques faibles par rapport aux bétons allégés avec les granulats 8/15.

MOTS-CLEFS: Développement durable, valorisation des déchets, sous-produits, sable calcaire, liège expansé, isolation.

1 INTRODUCTION

Les déchets sont de plus en plus variés et leurs quantités ne cessent d'augmenter, ce qui influe négativement sur l'environnement. La valorisation et le traitement de ces déchets favoriseront la protection et la préservation de l'environnement, ce qui nous permettra de s'inscrire dans une politique de développement durable.

Dans le secteur de la construction, Les matières végétales, renouvelables et respectueuses de l'environnement, sont appréciées pour leur légèreté, qui leur confère des propriétés d'isolation thermique importantes.

Plusieurs travaux ont été faits sur l'incorporation des granulats de liège au ciment et au plâtre pour obtenir un matériau composite thermiquement isolant [1], [2], [3], [4], [5].

Le sable concassé est très abondant dans les carrières de gravier calcaire et son utilisation pourrait réduire considérablement les coûts des matériaux de béton, minimiser le coût d'élimination de la poussière, réduit les pollutions environnementales et dilapidation des ressources naturelles [6], [7].

Les études sur l'utilisation du sable de concassage dans le béton ont montré qu'il est possible d'utiliser le sable de concassage contenant jusqu'à 15% de fines pour la fabrication du béton sans affecter ses performances mécaniques[8], [9].

Ce travail s'inscrit dans le cadre de la valorisation des produits locaux tel que les déchets de la carrière de concassage, et les déchets issues de la fabrication des agglomérées de liège expansé en deux fraction 3/8 et 8/15, en les utilisant dans la confection des matériaux cimentaires de construction destinés en premier lieu à l'isolation thermique, et assurer des caractéristiques physiques et mécaniques convenables.

2 MATÉRIAUX

2.1 SABLE

Le sable calcaire est de granulométrie 0/3 provenant de la carrière de Laghouat (Algérie). Sa répartition granulaire, établie selon la norme NF P18-560 [10], et ses différentes propriétés physiques sont regroupées dans le tableau 1.

Table 1. Propriétés physiques du sable calcaire

Propriété	MF	ρ_{app} (kg/m ³)	ρ_{abs} (kg/m ³)	Porosité n (%)	Absorption (%)	Es visuel (%)	Es piston (%)
Valeur	2.66	1530	2670	0.43	7.78	75	70.5

Le sable utilisé est un sable propre, de bonne qualité pour le béton.

2.2 CIMENT

Le ciment utilisé est un ciment CEM II/A 42.5 R répondant à une nouvelle normalisation algérienne NA 442 [11].

2.3 GRANULATS

Deux classes granulaires légères de liège expansé sont employées, granulats 3/8 et 8/15.

Les propriétés physiques des granulats sont regroupées dans le tableau 2.

Table 2. Caractéristiques physiques des granulats de liège expansé

Classe granulaire	ρ_{app} (kg/m ³)	ρ_{abs} (kg/m ³)	Porosité n(%)	Absorption (g/g)
Granulat 8/15	65	145	55	1.4
Granulat 3/8	71	145	51	2.3

D'après les résultats du tableau 2. On remarque que les granulats 3/8 en raison de leurs compacité importants sont moins poreux, plus lourds et possèdent un degré d'absorption d'eau plus élevé par rapport aux granulats 8/15.

2.4 EAU DE GÂCHAGE

L'eau utilisée est une eau potable du robinet. Elle remplit les prescriptions de EN 1008 [12].

2.5 ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE

Les courbes granulométriques des constituants du béton sont présentés dans la figure 1.

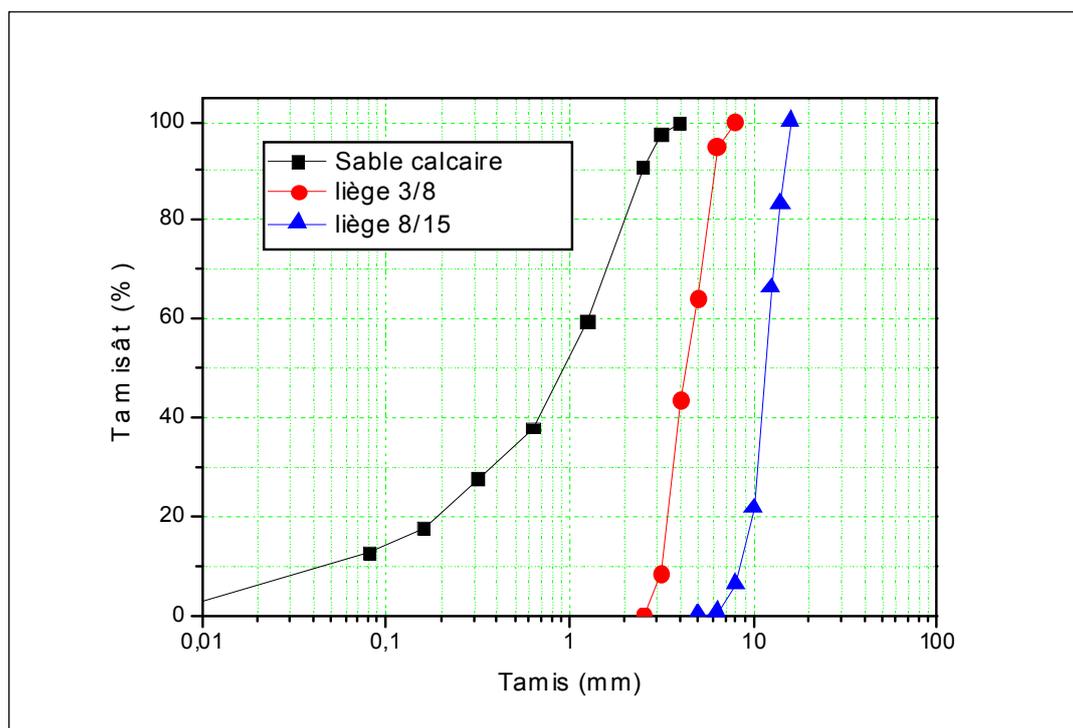


Fig. 1. Courbes granulométriques du sable calcaire et des granulats de liège

La courbe granulométrique du sable calcaire est étalée, elle est bien graduée et sa continuité bien répartie. Le pourcentage de fines du sable utilisé est 12.18 %. Les courbes granulométriques des granulats de liège expansé 3/8 et 8/15 présentent une granulométrie continue et serrée.

3 FORMULATION ET ELABORATION DES BÉTONS CALCAIRES LÉGERS

3.1 FORMULATION DU BÉTON TÉMOIN

D'après les résultats des essais préliminaires, nous avons choisi des rapports $C/S=1/3$, et $E/C = 0.60$, pour la formulation des bétons calcaires légers.

3.2 FORMULATION DES BÉTONS ELABORES

Trois pourcentages en volume du liège expansé ont été utilisés 2, 1.5 et 1 en fonction du volume du sable calcaire (Liège/Sable calcaire) c'est-à-dire $V_L/V_S = 2$; $V_L/V_S = 1.5$ et $V_L/V_S = 1$.

Les moules utilisés pour la confection des éprouvettes sont $(7 \times 7 \times 28)$ cm³. La mise en moule est faite en trois couches damées à 25 coups de chacune, sans vibration pour éviter le problème de ségrégation affectant l'homogénéisation des échantillons [13].

Les éprouvettes ainsi élaborées sont conservées dans deux environnements :

- Les conditions ambiantes du laboratoire (Air libre).
- Une cure par immersion dans l'eau.

4 RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

4.1 MASSE VOLUMIQUE APPARENTE

La figure 2 présente la variation de la masse volumique apparente à l'état durci à 28 jours en fonction du dosage en liège expansé.

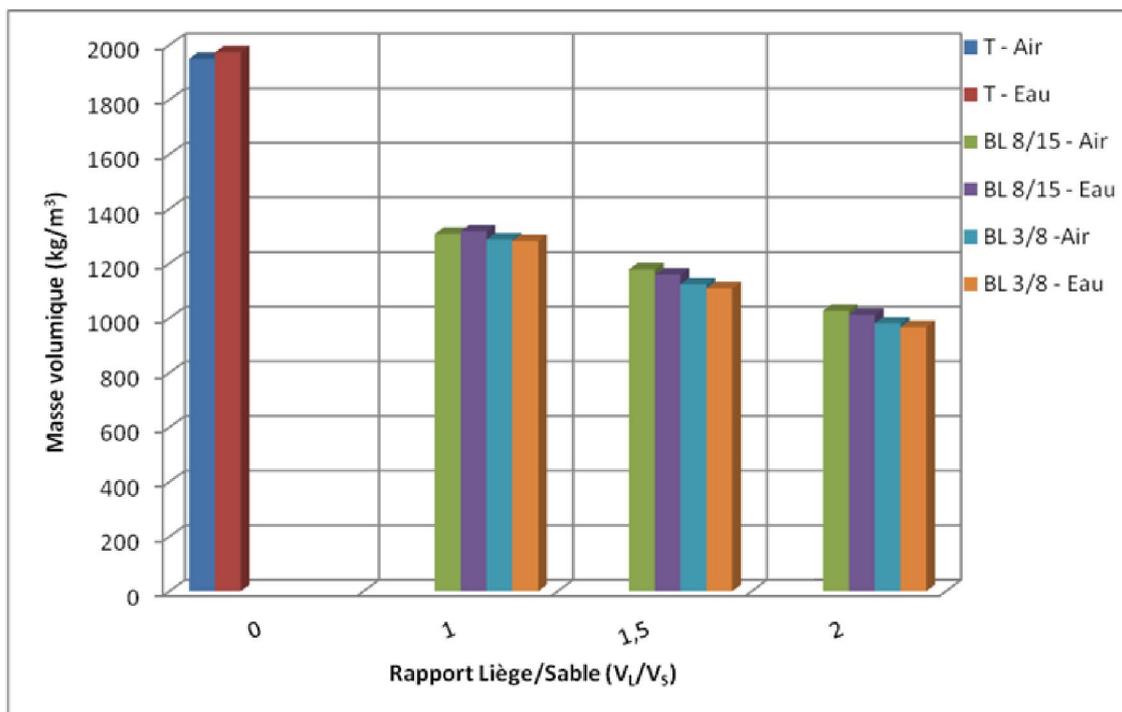


Fig. 2. Evolution de la masse volumique en fonction de dosage en liège

D'après ces résultats, on constate que :

- La masse volumique apparente des compositions diminue lorsque le pourcentage des granulats de liège expansé augmente. On trouve que :

$$1308 > \rho_{app} (\text{béton léger de granulats 8/15 (BL 8/15)}) > 1027 \text{ kg/m}^3$$

$$1287 > \rho_{app} (\text{béton léger de granulats 3/8 (BL3/8)}) > 980 \text{ kg/m}^3$$
- Les bétons légers à base de granulats de liège expansé 3/8 ont des masses volumiques moins que ceux de granulats 8/15, dans les deux environnements, Ceci est lié directement par les caractéristiques physiques des granulats de liège, car la porosité des granulats 8/15 est de l'ordre de 55 %. Cette valeur est supérieure à celle des granulats 3/8 qui est de l'ordre 51%. Cela permet d'augmenter le volume de la matrice du ciment qui susceptible d'augmenter la masse du béton.

4.2 RÉSISTANCE À LA FLEXION

La résistance à la flexion à trois points a été mesurée sur les éprouvettes prismatiques (7x7x28) cm³ pour chaque composition [14].

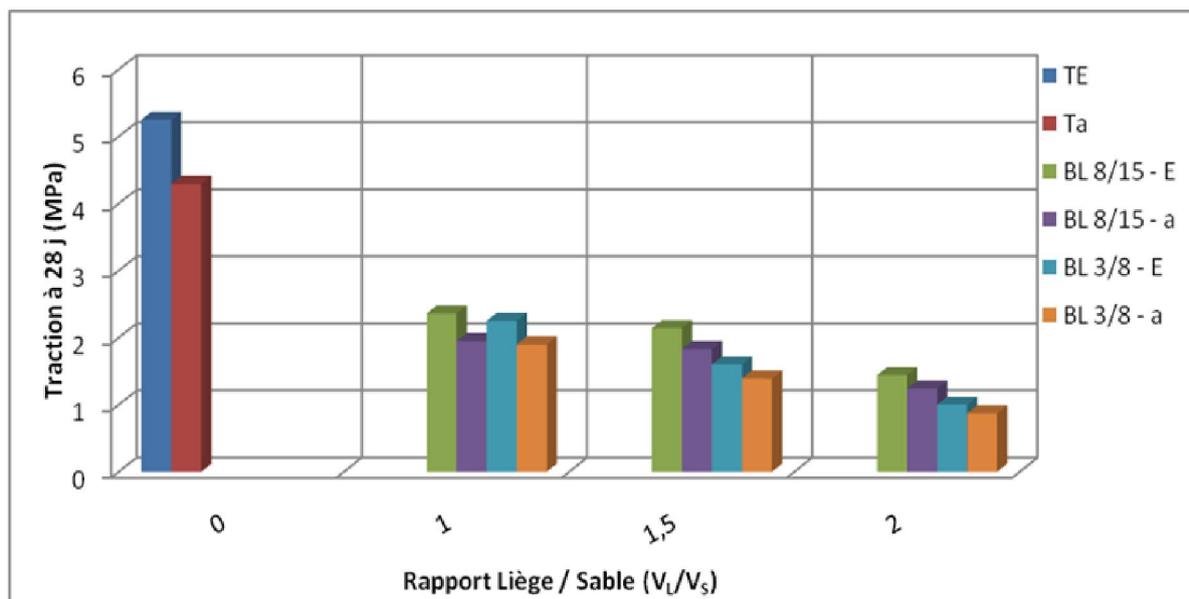


Fig. 3. Evolution de la résistance à la traction à 28 jours en fonction de rapport V_1/V_s

On remarque, avec l'ajout de liège, une chute très rapide de résistance en traction du béton témoin (T) présente 57 % pour le BL 3/8-1 et 55 % pour BL 8/15-1, dans l'environnement de l'eau.

Pour le même rapport (Liège/sable) les valeurs de la résistance en traction des BL 3/8 sont inférieures à celles des BL 8/15.

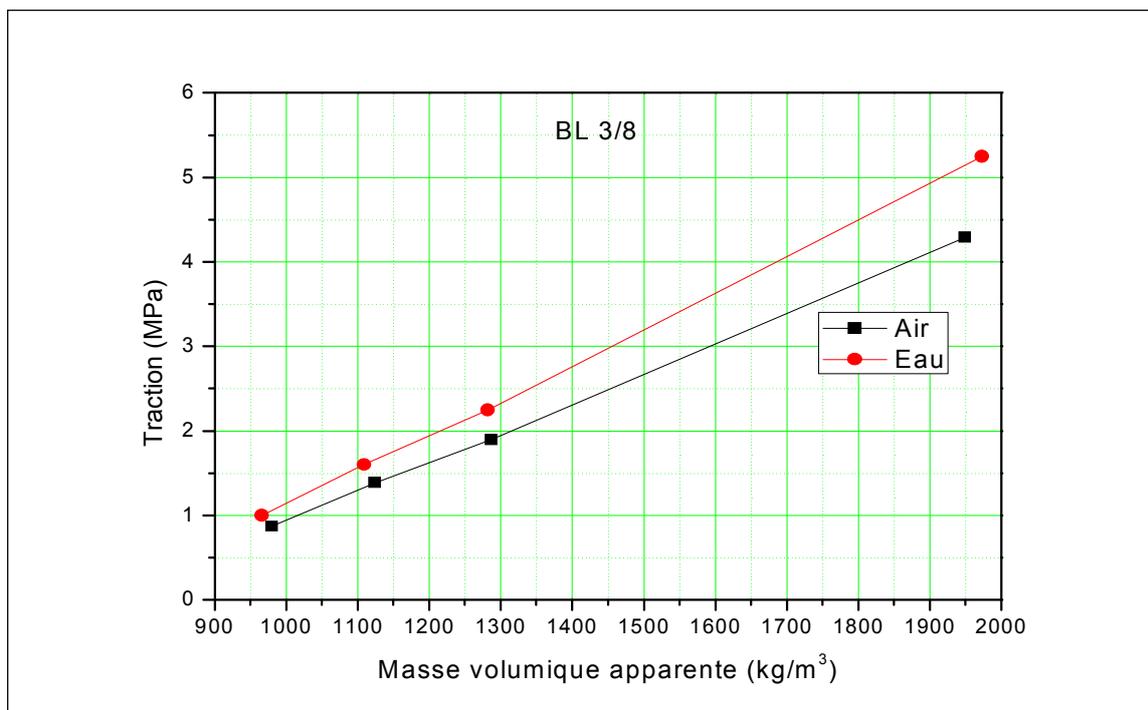


Fig. 4. Variation de la résistance en traction des BL 3/8 et Témoin en fonction de la masse volumique apparente.

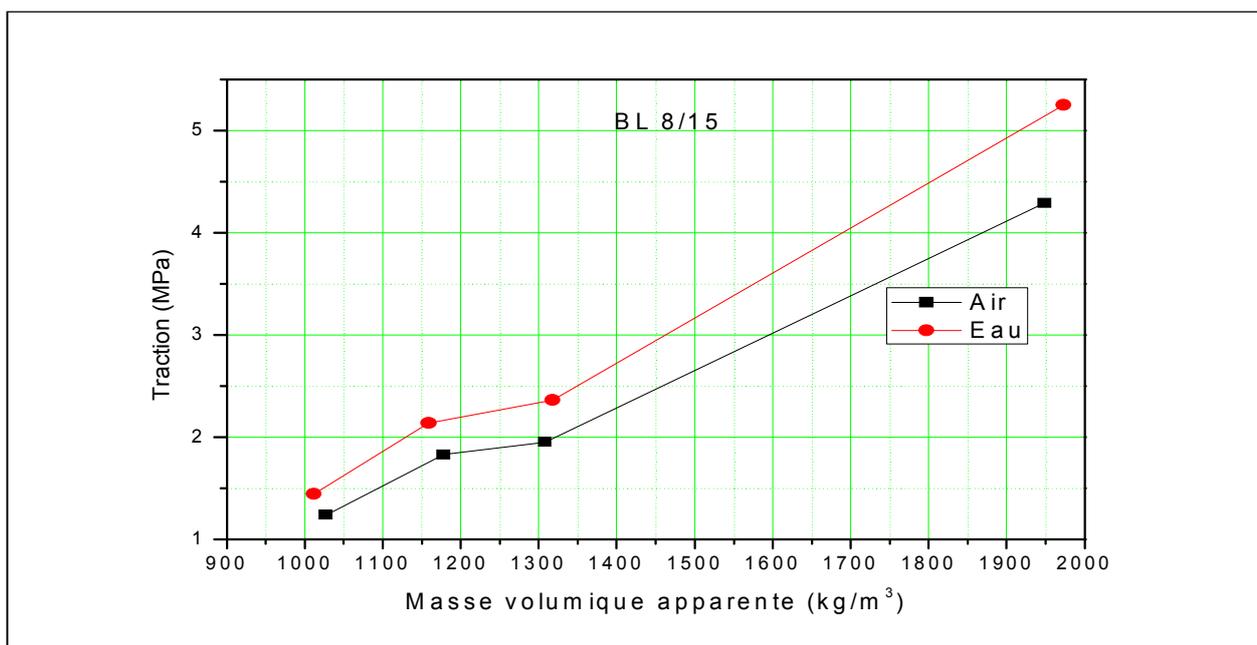


Fig. 5. Variation de la résistance en traction des BL 8/15 et Témoins en fonction de la masse volumique apparente.

On constate que la résistance à la traction diminue lorsque la masse volumique du béton diminue, ceci est tout à fait logique car la résistance à la traction est, comme pour les bétons classiques, une fonction croissante de la masse volumique.

4.3 RÉSISTANCE A LA COMPRESSION

Les figures (6,7 et 8) présentent les résultats des essais de compression du matériau composite effectué sur les demi-éprouvettes prismatiques (7x7x28) cm³ [15], issues de l'essai de flexion.

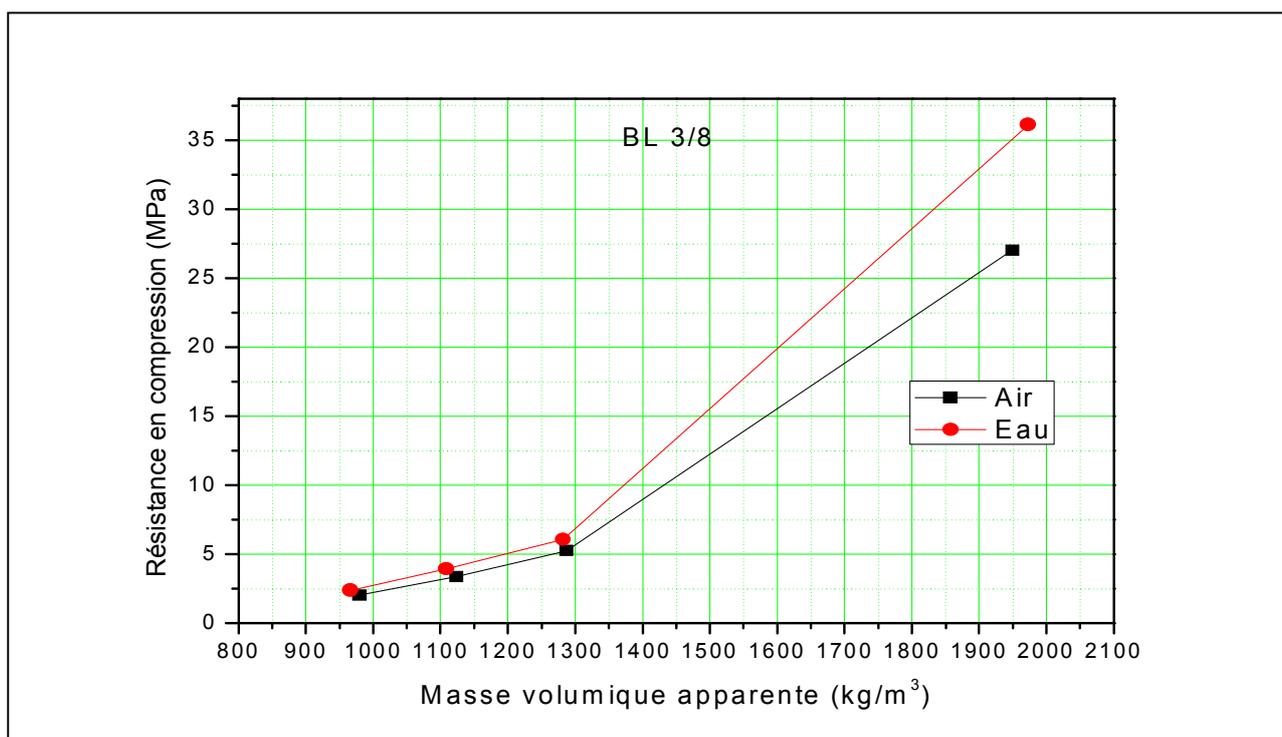


Fig. 6. Variation de la résistance en compression des BL 3/8 et Témoins en fonction de la masse volumique apparente

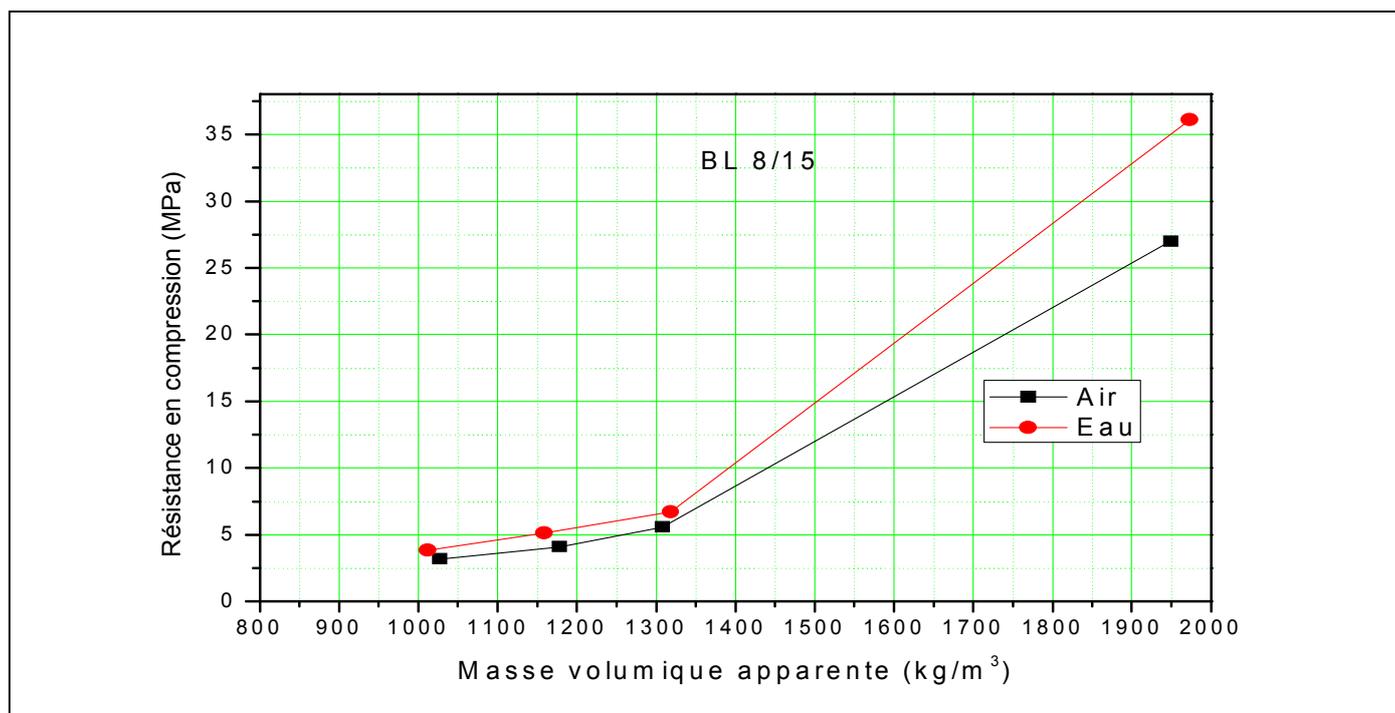


Fig. 7. Variation de la résistance en compression des BL 8/15 et Témoïn en fonction de la masse volumique apparente

Les figures 6 et 7 montrent que la résistance à la compression des BL 3/8 et des BL 8/15 diminue lorsque la masse volumique diminue. Une chute très rapide est constatée en passant du béton témoin au béton le moins allégé. Cela est dû à l'augmentation des vides et par conséquent la porosité du matériau augmente. Le taux de décroissance est de l'ordre de 79 % et 81 % pour BL 8/15-1 et BL 3/8-1 respectivement dans l'environnement de l'air libre et de 81 % et 83 % dans l'environnement de l'eau. Cette décroissance est de plus en plus faible en augmentant le dosage en granulats. Une amélioration de la résistance est obtenue pour le mode de conservation dans l'eau et ceci pour les deux types de bétons.

La figure 8 résume les résultats obtenus de la résistance à la compression à 28 jours en fonction de rapport liège /sable. On remarque d'après cette figure que l'ajout de liège allant du dosage 1 à 1.5 diminue la résistance des bétons conservés dans l'eau de l'ordre de 24 % pour BL 8/15 et 35 % pour BL 3/8. La décroissance pour BL 8/15-2 est 43 % et de 61 % pour BL 3/8-2.

Donc les granulats de liège expansé 3/8 rendent le béton de sable calcaire moins résistant que les granulats de liège 8/15.

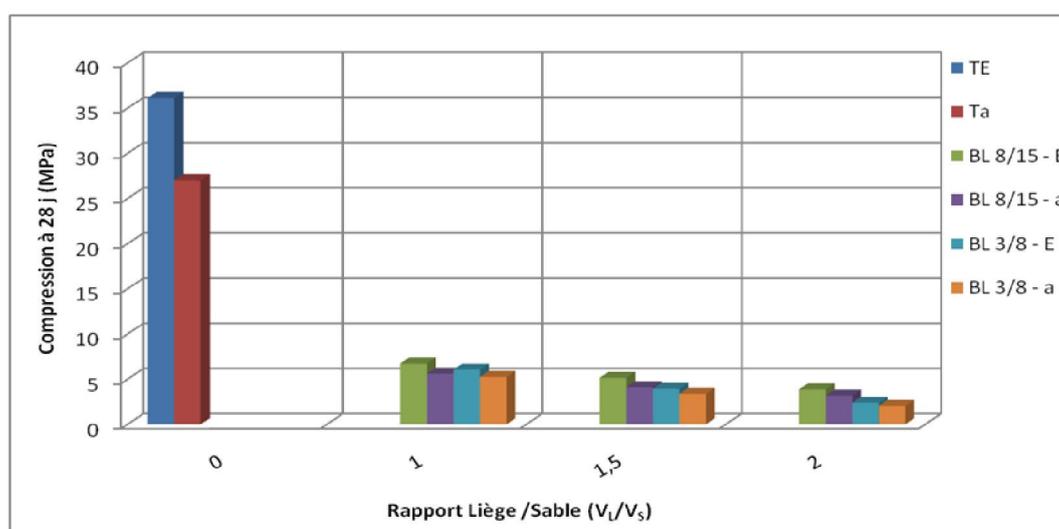


Fig. 8. Evolution de la résistance à la compression à 28 jours en fonction de rapport Liège/sable

4.4 CONDUCTIVITÉ THERMIQUE

L'essai thermique a été réalisé sur des éprouvettes (4x4x10) cm³ qui sont les résultats de sciage des éprouvettes (10x10x10) cm³ pour les différents bétons étudiés dans l'état sec et l'état saturé [16], [17].

Les résultats de la mesure de la conductivité thermique (λ) des bétons calcaires légers BL 3/8 et BL 8/15 sont présentés dans les figures (fig. 9 et fig. 10).

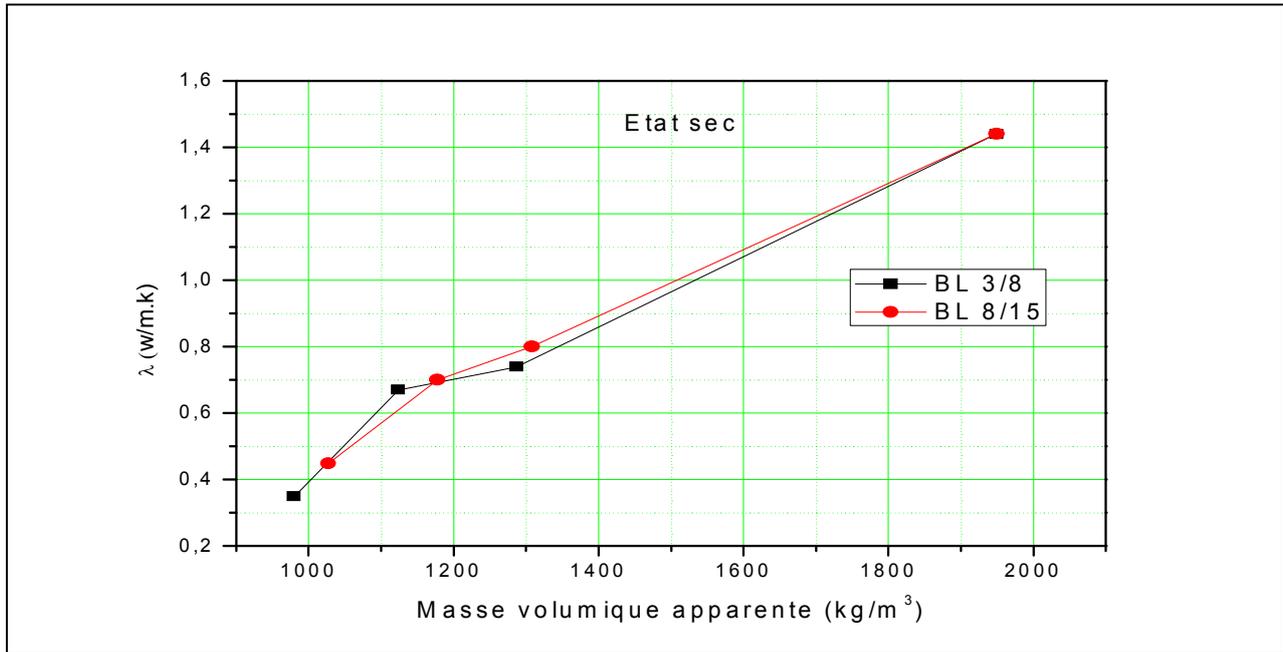


Fig. 9. Variation de la conductivité thermique en fonction de la masse volumique apparente à l'état sec

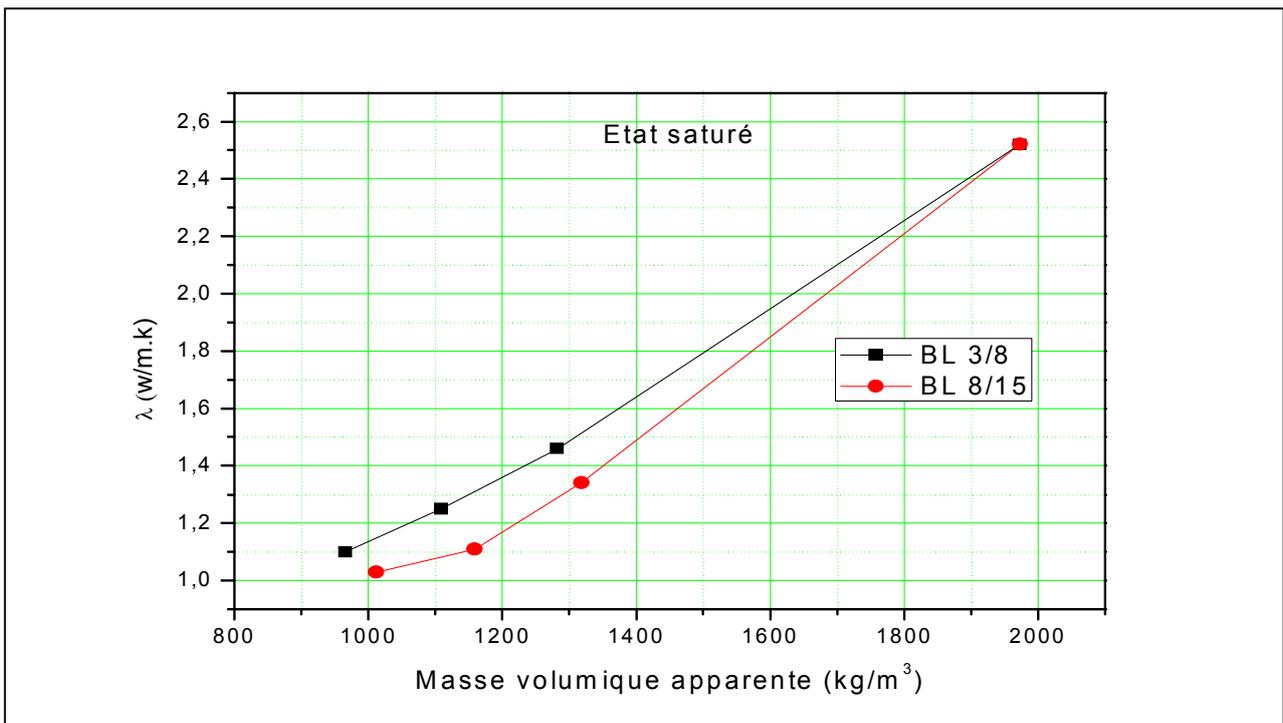


Fig. 10. Variation de la conductivité thermique en fonction de la masse volumique apparente à l'état saturé

D'après les résultats obtenus on remarque que :

- La conductivité thermique du béton élaboré est proportionnelle avec la masse volumique apparente.
- L'humidité a un effet important sur le transfert de la chaleur dans les matériaux étudiés, elle augmente la conductivité thermique.
- Les bétons BL 3/8 ont des conductivités thermiques faible que les bétons BL 8/15 et cela dans l'état sec c'est-à-dire sont les plus isolants. Au contraire, dans l'état saturé, les bétons BL 8/15 sont les plus isolants.
- La conductivité thermique la plus faible est de $0,35 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ pour le dosage maximum en liège, a été obtenu avec le BL 3/8. Pour le BL 8/15, elle est de $0,45 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$. Celle d'un béton témoin est d'environ 1.44 W/m.k , donc l'allègement du liège permet d'améliorer de 69 % et 75 % le pouvoir isolant par rapport un béton normal.

5 CONCLUSION

La production du béton léger à base de déchets de la carrière des granulats concassés et les déchets issus de la fabrication des panneaux de liège expansé joue un rôle très important dans la protection de l'environnement, et permet aussi de réaliser des gains d'énergie considérables à cause de faible conductivité thermique de liège expansé.

L'objectif de ce travail consiste à étudier le comportement mécanique et physique des bétons légers confectionnés à partir de sable de concassage et allégés avec les deux fractions de liège expansé granulats 3/8 et 8/15.

L'examen des différents résultats obtenus lors de la réalisation de ce travail a permis de tirer les conclusions suivantes :

- La masse volumique apparente des compositions diminue avec l'augmentation de la quantité des granulats de liège expansé.
- Les gammes de masse volumique dans lesquelles varient ces bétons de liège sont : 1027 à 1308 kg/m^3 pour le BL 8/15 et de 980 à 1287 kg/m^3 pour le BL 3/8.
- Par sa compacité importante le béton allégé avec les granulats de liège expansé 3/8 est le plus léger.
- L'augmentation du pourcentage de liège est inversement proportionnelle aux résistances mécaniques (compression et traction).
- Le béton léger à base de granulats de liège expansé 8/15 est plus résistant que ce à base de granulats 3/8.
- L'allègement du béton calcaire par l'ajout de liège expansé diminue considérablement la conductivité thermique c'est-à-dire améliore l'isolation thermique
- Pour le béton BL 8/15 et BL 3/8, la conductivité thermique pour le dosage maximum en granulats est 0.45 et 0.35 W/m.k respectivement qui représente le $1/3$ et $1/4$ de celle du béton témoin. Donc l'allègement du liège permet de diminuer de presque 69 % et 75 % la conductivité thermique par rapport un béton normal.
- La conductivité thermique du béton élaboré est proportionnelle avec la masse volumique apparente.

REFERENCES

- [1] M. A. AZIZ, C. K. MURPHY and S. D. RAMASWAMY, "Lightweight concrete using cork granules," *International Journal of Lightweight Concrete*, 1(1), pp. 29-33, 1979.
- [2] F. HERNANDEZ-OLIVARES, M. R. BOLLATI, M. DEL RIO, and B. PARGA-LANDA, "Development of cork-gypsum composites for building applications," *Construction & Building Materials*, volume 13, issue 4, pp. 179-186, 1999.
- [3] S. R. Karade, F. Caldiera, M. Irlle, K. Maher, "Cork granules as lightweight aggregate," *Sustainable concrete construction: proceedings of the international conference*, University of Dundee, Scotland, UK, pp. 253-262, September 2002.
- [4] A. EL BAKKOURI, H. EZBAKHE, T. AJZOUL, A. EL BOUARDI, "Etude thermomécanique du béton allégé avec du liège et du béton allégé avec des grignons d'olive," *12èmes Journées Internationales de Thermique*, pp. 307-310, Tanger, Maroc, 15-17 Novembre 2005.
- [5] F. G. Branco, A. Tadeu, M. B. C. Reis, "Can cork be used as a concrete aggregate?," *International Journal for Housing Sciences*, Vol. 31, N. 1, pp. 1-11, 2007.
- [6] B. Menadi, S. Kenai, J. M. Khatib, A. Ait-Mokhtar, "Strength development and prediction of mortars containing limestone fines," *1st International Conference on Sustainable Built Environment Infrastructures in Developing Countries*, ENSET, Oran (Algeria), October 12-14, 2009.
- [7] S. Kenai, A. Attar, B. Menadi, "Cement Industry and Concrete Technology in Algeria: Current Practices and Future Challenges," *International Conference on Durability of Building Materials and Components*, ISTANBUL – TURKEY, May 11-14th, 2008.

- [8] B. Li, J. Wang, M. Zhou, "Effect of limestone fines content in manufactured sand on durability of low- and high-strength concretes," *Construction and Building Materials*, Volume 23, Issue 8, pp. 2846–2850, August 2009.
- [9] B. Menadi, S. Kenai, J. M. Khatib, A. Ait-Mokhtar, "Strength and durability of concrete incorporating crushed limestone sand," *Construction and Building Materials*, Volume 23, Issue 2, pp. 625–633, February 2009.
- [10] Norme française NF P 18-560 : Granulats - Analyse granulométrique par tamisage, AFNOR Paris (1990).
- [11] NA 442 : Norme Algérienne, CIMENT, Composition, spécifications et critères de conformité des ciments courants (2000).
- [12] EN 1008 : Norme européenne de l'eau de gâchage pour bétons Spécifications d'échantillonnage, d'essais et d'évaluation de l'aptitude à l'emploi (juillet 2003).
- [13] Norme française NF P.18-400 : Moules pour éprouvettes cylindriques et prismatiques, Décembre 1981.
- [14] NF EN 12390-5, Essai pour béton durci Partie 5: Résistance à la flexion sur éprouvettes, Octobre 2001.
- [15] NF EN 12390-3, Essai pour béton durci Partie 3: Résistance à la compression des éprouvettes, Février 2003.
- [16] Yves JANNOT, "Métrologie thermique," *Séminaire PER AUF*, LEA Dakar, pp. 31-34, 12-18/11/08.
- [17] Pierre MEUKAM, "Valorisation des briques de terre stabilisées en vue de l'isolation thermique de bâtiments," Thèse de Doctorat, Université de Yaoundé I, pp. 32-33-34, 2004.