

# BÉTON LÉGER À BASE DE GRANULATS COMPOSITES ARTIFICIELS

**S. BOUAZIZ, K. AIT TAHAR**

Laboratoire LaMoMS – Génie civil, Université de Tizi – Ouzou, BP 17, 1500, Algérie

## 1. INTRODUCTION

La variété des bétons légers permet un éventail de densités et de résistances très ouvert. Les masses volumiques s'échelonnent de  $250 \text{ kg/m}^3$  pour les bétons de polystyrène à faible dosage en ciment jusqu'à  $1\,800 \text{ kg/m}^3$  pour certains bétons d'argile expansée.

Corrélativement, on constate une évolution des résistances à la compression de 1 jusqu'à 30, voire 40 MPa. La résistance à la traction, 9 à 10 fois plus faible que celle à la compression pour un béton classique, peut atteindre un pourcentage plus élevé pour les bétons légers : de l'ordre de 20 % et même 35 à 40 % pour les bétons de bois, dont les granulats jouent le rôle de fibres qui « arment » le béton.

Le module d'élasticité, qui caractérise la loi de comportement déformation charge du matériau, est plus faible que celui des bétons à base de granulats ordinaires, ce qui conduit à des flèches plus fortes des pièces fléchies.

Cette déformabilité supérieure a pour contrepartie une résistance améliorée aux chocs et aux vibrations. Cependant, les bétons légers à base de granulats de bois présentent des inconvénients tels que le risque de ségréga-

tion, la sensibilité à l'eau, la faible résistance au feu et une mauvaise durabilité.

Une des propriétés intéressantes des bétons de granulats légers est leur pouvoir d'isolation thermique dû aux nombreuses bulles d'air interposées dans l'épaisseur du matériau, cependant la présence d'humidité peut réduire la capacité isolante du béton.

Ces bétons légers constituent aussi de bons isolants phoniques.

Le gain de poids, qui peut être plus ou moins important selon le type de béton, entraîne une diminution des sections des éléments structurels assurant la transmission des charges. La diminution de poids conduit à des économies de transport des éléments manufacturés et à des gains de productivité à la mise en œuvre [1], [2], [3], [8].

Les résultats expérimentaux ont montré la possibilité technique de concevoir des bétons de bois légers possédant des performances mécaniques intéressantes sans consommation importante d'énergie, qui peuvent être utilisés pour la fabrication de couvertures en voile mince ainsi que d'éléments préfabriqués.

Actuellement, des granulats de bois stabilisés par traitement thermique et minéralisation en remplacement du gravier ou du sable dans la confection des mortiers et bétons légers et très légers sont proposés. Ils offrent un faible coefficient de conductivité thermique, une forte absorption phonique et des performances mécaniques élevées.

Notre étude consiste à élaborer un nouveau type de granulats artificiels à base d'un mélange copeaux - sciure de bois et polypropylène, destinés à la confection d'un béton léger, matériau relativement faible en résistance mécanique mais économiquement très intéressant.

Une étude expérimentale a été menée dans le but de comparer le comportement mécanique et physique de deux types de béton composites obtenu par la substitution en volume apparent équivalent, de la fraction granulaire 3-8 pour le béton de type BCI et par la substitution des deux fractions 3-8 et 8-15 pour le béton de type BCII, avec un béton léger témoin à base de granulats ordinaires.

## 2. ÉLABORATION DES GRANULATS COMPOSITES ARTIFICIELS

### 2.1. Mélange copeaux - sciure de bois

Les copeaux et la sciure de bois que nous avons récupéré (déchets de menuiseries) proviennent du sciage, rabotage et usinage de troncs de bois de différentes essences (pin, épicéa, sapin....) provenant de pays ayant d'importantes richesses forestières. Les mélanges copeaux - sciure de bois présentent des dimensions variées.

Les granulats composites produits à base de mélange copeaux - sciure de bois et d polypropylène sont assimilables à des granulats spéciaux de bonne résistance à la traction. D'une manière générale, l'incorporation de ce genre de granulat composite dans une matrice cimentaire transforme totalement le comportement mécanique, créant ainsi un nouveau matériau dont la rupture peut être qualifiée de ductile. Le mélange copeaux – sciure de bois est présenté figure 3.

### 2.2. Polypropylène « pp »

Le polypropylène appartient à la famille des matériaux thermoplastiques.

Parmi les caractéristiques et les propriétés, on peut citer :  
- rigidité et dureté élevée (conserve sa rigidité jusqu'à plus de 100°C), poids spécifique faible, résistance à l'abrasion et aux agents chimiques élevée.

Nous avons utilisé du polypropylène qui nous a été livré par l'entreprise de production d'emballages souples « Tizi Plast » de Thala Athmane (Tizi-Ouzou) en sac de 25 kg sous forme granulée (couleur transparente) de marque Basel Polyolefines. La forme du polypropylène après chauffage est présentée figure 1.

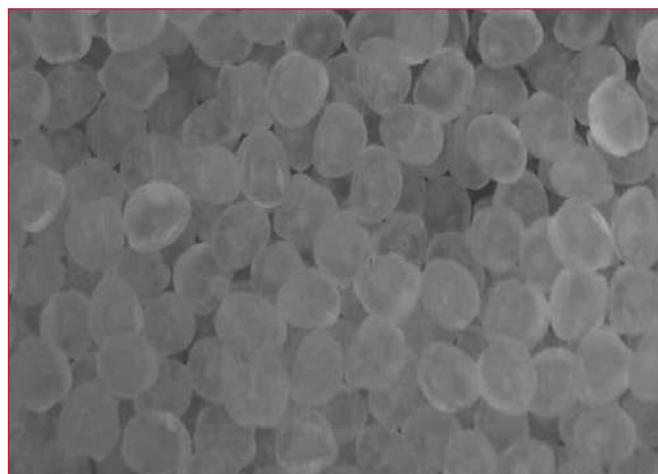


Figure 1. Polypropylène en grains.

### 2.3. Variantes d'élaboration des agrégats composites

Afin d'optimiser la composition, plusieurs variantes ont été préalablement essayées. Pour avoir un mélange uniforme avec le polypropylène et éviter que la sciure ne flotte, une pression est appliquée sur la sciure de bois. Le polypropylène est versé jusqu'au remplissage du moule, pour assurer l'homogénéité du produit.

La composition adoptée pour la confection des agrégats composites est :

- sciure de bois saturé : 20 grammes,
- polypropylène : 150 à 200 grammes.

La méthode consiste à déverser le « pp » sur la sciure de bois préalablement pressée, pour éviter l'effritement des gros grains. Le broyage est effectué après 24 h.

Les observations faites sur le produit fini (les granulats), sont les suivantes :

- bonne adhérence

	$\rho_{\text{absolue}}$ (gr/ml)	T° fusion (°C)	Absorption d'humidité (%)	Retrait (%)
PPC <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	0.90-0.91	168-169	0	1 à 2.5

Tableau 1. Caractéristiques physiques du polypropylène (pp).

- résistance moyenne en traction
- dureté du grain composite élevée
- présence de bulles d'air dans la coquille PP ; évaporation de l'eau contenue dans le copeau car le PP liquide est trop chaud
- bon enrobage de la sciure.

### 3. COMPOSITION DU BÉTON LÉGER À BASE DE GRANULATS COMPOSITES

#### 3.1. Matériaux utilisés

Dans le cadre de notre étude, la confection du béton léger témoin sera réalisée à partir des matériaux suivants :

##### 3.1.1. Les granulats

Les granulats utilisés sont des granulats roulés (provenant de Oued Aissi), de fractions sable 0-3 et graviers 3-8. Le sable a été entreposé dans des bacs propre de 200 litres. Les graviers ont été d'abord tamisés puis lavés et ensuite séchés à l'étuve à 60°C pendant 24 h. Après séchage, les graviers sont aussi entreposés dans des bacs de 200 litres. L'analyse physique des granulats a été entreprise conformément aux normes P18.554 & 555 pour les masses volumiques, la porosité, le taux d'absorption et NF P18.598 pour la propreté de sable. Les résultats des essais sont consignés dans le tableau 2.

Echantillon	Masse volumique réelle (t/m <sup>3</sup> )	Masse volumique imbibée (t/m <sup>3</sup> )	Taux d'absorption (%)	Porosité (%)
Sable	2.58	2.62	1.55	-
Gravier 8/15	2.66	2.68	0.96	2.55
Gravier 15/25	2.67	2.69	0.61	1.64

Tableau 2. Caractéristiques physiques des granulats.

##### 3.1.2. Le ciment

Le ciment utilisé dans notre étude est un ciment portland composé de type CEM.II 42,5, avec une finesse de 3184 cm<sup>2</sup>/g et une résistance de classe vraie de 40 MPa. Des essais physico-mécaniques, chimiques et minéralogiques sur ciment sont réalisés selon les normes EN 196-2, EN 196-3 et selon la méthode microscopique (ONO).

##### 3.1.3. Fractions des granulats composites

Les quantités de granulats composites artificiels lors de la substitution sont déterminées par approche d'équivalence des volumes apparents correspondants. Ces quantités sont résumées dans les tableaux 3 et 4.



Figure 2. Les constituants minéralogiques de clinker : 1-CaO, 2-C<sub>3</sub>S, 3-phase liquide, 4-C<sub>2</sub>S.

Constituants	Volume (L/M <sup>3</sup> )	Masse (KG/M <sup>3</sup> )
sable	300	824
gravier (3-8)	91	240
gravier (8-15)	300	784
ciment	113	350
eau de gâchage	196	202

Tableau 3. Composition au m<sup>3</sup> des bétons légers-fractions des granulats naturels.

Granulats composites	Masse volumique apparente (Kg/m <sup>3</sup> )
Sable 0-3	410
Gravier 3-8	390
Gravier 8-15	360

Tableau 4. Masse volumique apparente des granulats composites.



Figure 3. Mélange copeaux-sciure de bois.



Deux types de béton composite ont été confectionnés, avec substitution de la fraction granulaire 3-8 mm pour le béton composite BCI et des deux fractions simultanément 3-8 et 8-15 mm pour le béton BCII.



Figure 4. Sable composite 0-3.

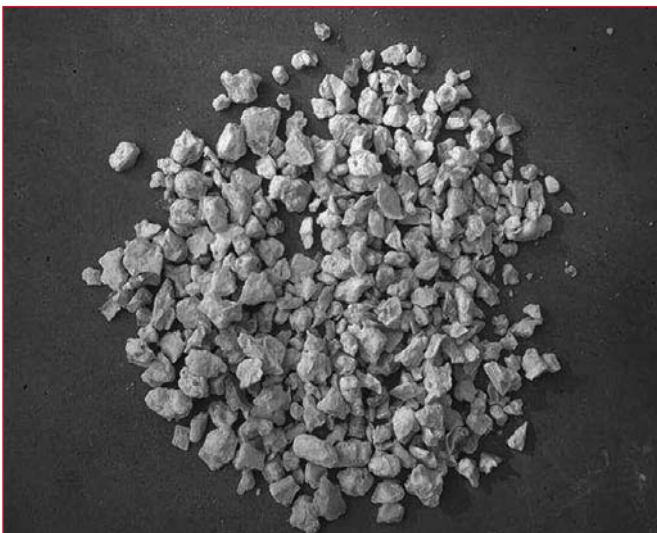


Figure 5. Granulat composite 3-8.

## 4. ÉTUDE EXPÉRIMENTALE

### 4.1. Dimensions des corps d'épreuves

Nous avons réalisé six éprouvettes prismatiques de dimensions 7x7x28cm pour l'essai de flexion trois points conformément à la norme NF P18-407 et six cylindriques de dimension  $\phi$  11x22cm pour l'essai de compression axiale, conformément à la norme [NF P18-406]. Chaque série d'éprouvettes a été réalisée avec le même mélange.

### 4.2. Essai de flexion 3 points

L'essai de flexion est effectué sur une presse hydraulique 'TONI TECHNIK' de capacité maximale 500 kN, équipée



Figure 6. Granulat composite 8-15.

d'une chaîne électronique permettant d'afficher de manière digitale la charge de rupture appliquée à l'éprouvette d'essai. Les flèches à mi-portée sont lues directement à l'aide d'un comparateur.

### 4.3. Essai de compression

Il consiste à écraser par compression un axe des éprouvettes cylindriques 11\*22 entre les plateaux de la même presse avec une étendue de mesure de 3000 kN. Les faces extrêmes de l'éprouvette sont rectifiées par coulage d'une couche de soufre liquide pour éviter toute excentricité des charges appliquées.

### 4.4. Résultats des essais mécaniques

Les différents résultats sont présentés dans les figures 7, 8, 9, 10 et 11.

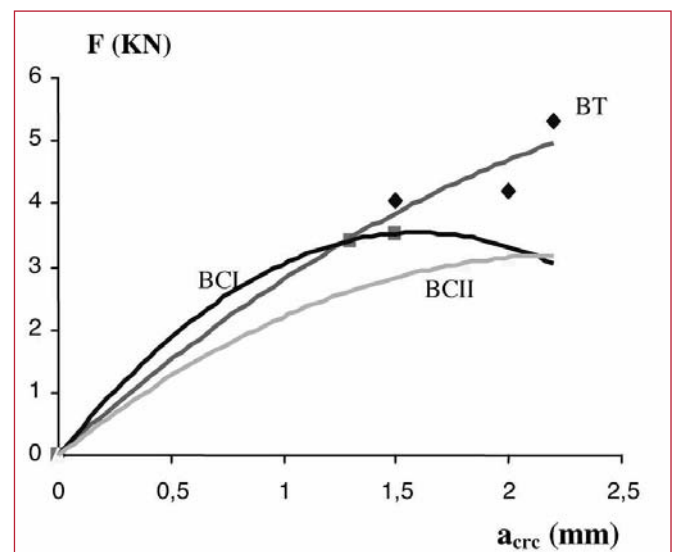


Figure 7. Courbes ouverture de la fissure ( $a_{cre}$ ) en fonction de l'effort pour les trois séries.

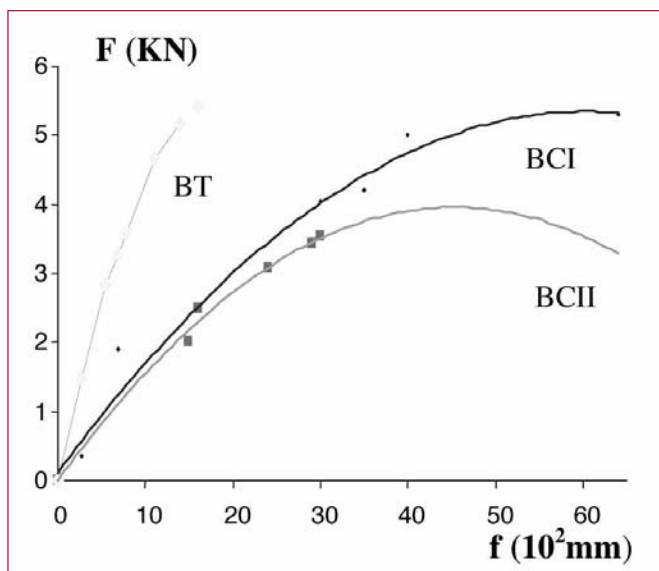


Figure 8. Courbes flèche-effort pour les trois séries.  
BT : béton témoin ; BCI : béton composite I ; BCII : béton composite II.

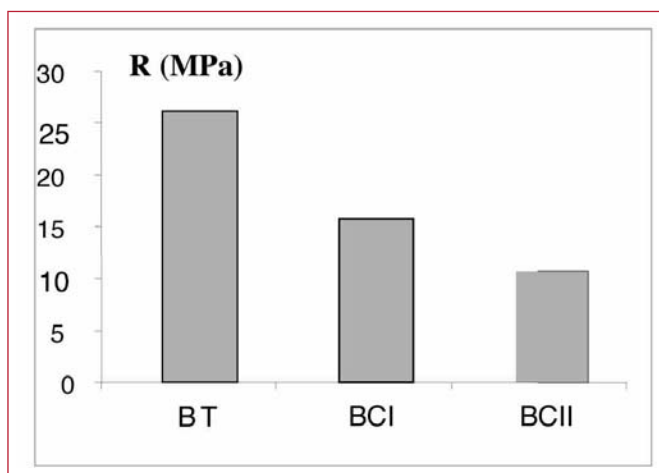


Figure 9. Variation de l'effort de rupture à la compression selon le type de béton, à 28 jours.

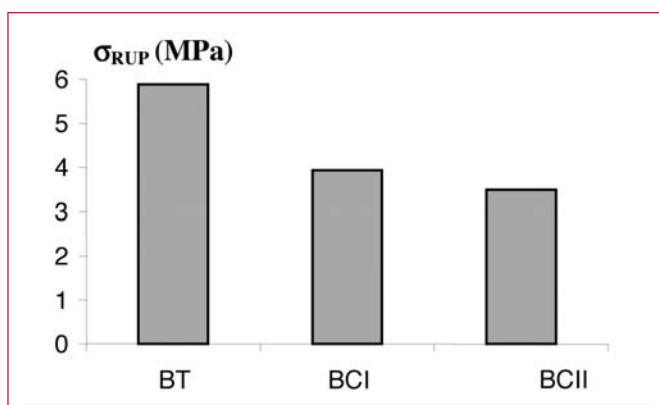


Figure 10. Variation de la contrainte de rupture en flexion selon le type de béton, à 28 jours.

## 5. ANALYSE SPECTROMÉTRIQUE

L'analyse spectrométrique permet d'identifier les éléments chimiques et leur concentration dans la masse. La concentration est donnée par l'aire sous le pic (dosage).

L'intensité du pic renseigne sur la présence plus ou moins importante de l'élément dans la masse.

Nous avons appliqué la fluorescence x (X-ray fluorescence spectrometry) avec un spectromètre Philips type magix (xrf) sur deux échantillons, à savoir un granulat composite seul et le béton composite BCI. Les résultats sont présentés dans les figures 12 et 13.

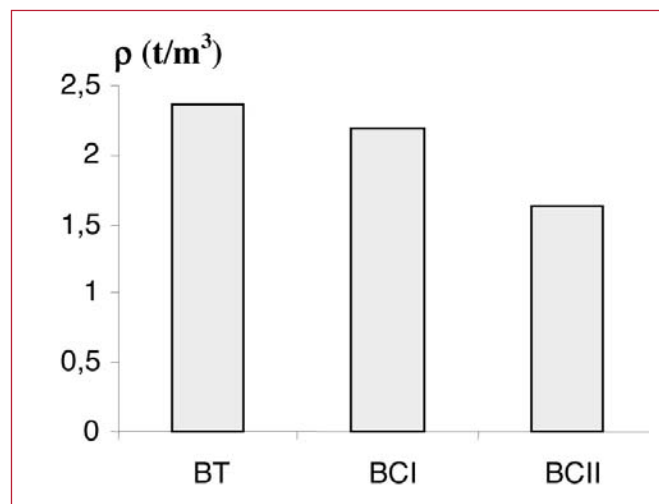


Figure 11. Variation de la masse volumique selon le type de béton.

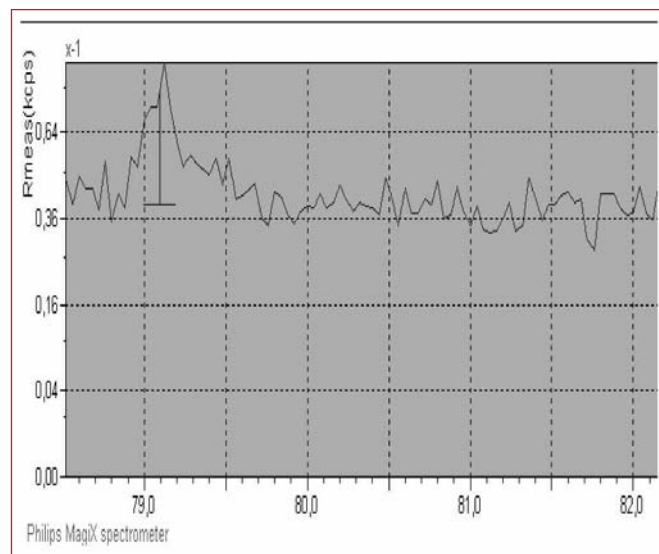
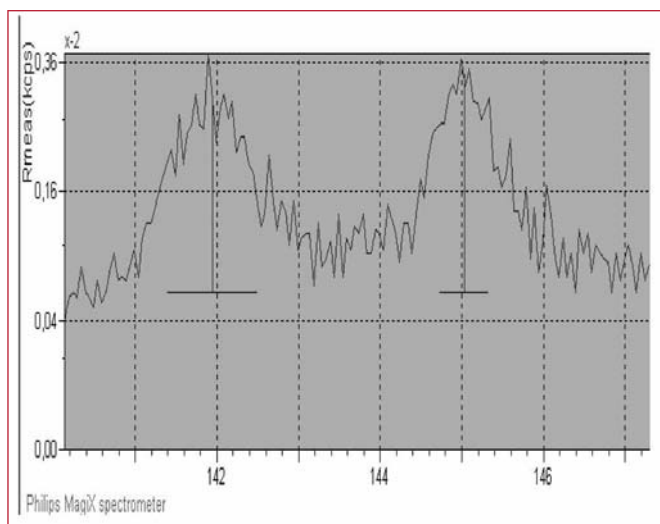


Figure 12. Analyse fluorescence spectrométrique du grain composite 3-8.

## 6. ANALYSE DES RÉSULTATS

- l'élaboration de granulats légers artificiels à base du mélange copeaux - sciure de bois enveloppé par du polypropylène permet sans aucun doute de substituer les granulats naturels, d'où un impact environnemental positif.

- les essais mécaniques réalisés sur les trois séries béton témoin (BT), béton composite 1 (BCI) et béton composite 2 (BCII), montrent que le type de granulats a un effet important sur les propriétés mécaniques du béton élaboré.



**Figure 13. Analyse fluorescence spectrométrique du béton composite BCI.**

L'analyse des résultats permet de tirer les conclusions suivantes :

- la variation de la résistance à la compression axiale est de l'ordre respectivement de 39,4 % pour le béton composite de type BCI et de 59,3 % pour le BCII par rapport au béton témoin BT,
- la variation de la contrainte à la rupture en flexion trois points est de l'ordre respectivement de 33 % pour le béton composite type BCI et de 40,5 % pour le BCII par rapport au béton témoin,
- l'ouverture limite de la fissure juste avant rupture est presque identique pour toutes les séries testées si l'on considère la même charge appliquée,
- avec l'augmentation de la charge, les déplacements (flèche à mi-portée), pour les prismes composites BCI et BCII, sont moins importants par rapport aux prismes ordinaires d'où une rigidité plus élevée,
- le remplacement des granulats ordinaires par des granulats légers artificiels permet de réduire la masse volumique. La variation des bétons composites par rapport au béton témoin est de l'ordre de 7,5% pour BCI et 31,2% pour BCII.
- l'isolation est meilleure ; la densité des granulats composites est faible.

## 7. CONCLUSION

L'impact environnemental d'une utilisation des agrégats naturels étant positive, une utilisation rationnelle a été recherchée.

Le recours aux matériaux recyclés permet en effet d'obtenir des gains environnementaux considérables : préservation des ressources naturelles, réduction de la mise en décharge.

L'élaboration des granulats artificiels composites hybrides à base d'un mélange copeaux - sciure de bois enveloppé d'une couche de polypropylène, permet sans aucun doute de valoriser la récupération de ce genre de déchets indus-

triels pour une utilisation potentielle dans le secteur de la construction et des travaux publics, tel que la confection d'un béton léger.

Les différents résultats expérimentaux effectués sur les éprouvettes cylindriques et prismatiques montrent qu'en substituant des granulats ordinaires par les granulats légers composites présentés dans ce travail, on peut obtenir des bétons légers (faible masse volumique), de propriétés mécaniques acceptables pour des applications spécifiques.

L'étude présentée montre et confirme que ce nouveau matériau pourrait trouver de multiples applications comme matériau d'isolation et de cloisonnement.

Sachant que les éléments technico-économiques sont tributaires des performances et des prix de revient des matières premières, le recours à de tels agrégats composites artificiels, permet d'assurer des retombées appréciables sur le prix du bâtiment et de préserver l'environnement.

## 8. RÉFÉRENCES

- [1] A. Blaga., 'Les matières plastiques', division des recherches en bâtiment, conseil national de recherches canada, digest de la construction au canada 154f, Ottawa, 1975.
- [2] A. Blaga et J.J. Beaudoin, 'Le béton modifié aux résines', division des recherches en bâtiment, conseil national de recherches canada, digest de la construction au canada 241 f. Ottawa, 1986.
- [3] I. Czarnecki, T. Broniewski, 'Resin concrete and polymer impregnated concrete: a comparative study'. Compte rendu du third international congress on polymers in concrete, Koriyama, Japon, vol. 1, mai 1981.
- [4] J. Laroze, 'Mécanique des structures tome 4 : calcul des structures en matériaux composites'. Eyrolles Masson ed. 1988
- [5] M.M. Khenfer, P. Morlier, 'Effet de la longueur des fibres sur les propriétés des ciments renforcés de fibres de cellulose', Journal Matériaux et Constructions, vol.24, pp 185-190, 1991.
- [6] A. Ledhem, A. Bouguerra, M. Queneudec, 'Étude de l'influence des traitements des granulats et d'ajouts matriciels sur la stabilisation dimensionnelle d'un composite ciment bois fines', Revue marocaine de génie civil, n°64, pp 63-67, juillet 1996.
- [7] K. Al-rim, A. Ledhem, M. Queneudec, 'Étude des paramètres de fabrication d'un béton de bois à matrice argileuse', Revue Materials and Structures, vol.29 ; pp 514-518. oct.1996.
- [8] J.M. Berthelot., 'Matériaux composites, comportement mécanique et analyse des structures', 3<sup>e</sup> édition, Technique & Documentation Paris, France, 1999.
- [9] A.Noumowe, S.Aggoun, R.Cabrillac, 'Mechanical properties of lightweight aggregate concrete after

exposure at high temperature.” 2<sup>nd</sup> international symposium on structural lightweight aggregate concrete. kristiansand, Norway.2000.

- [10] A.Noumowe , S.Aggoun, R.Cabrillac ., ‘Influence du type de granulats sur les propriétés de bétons à matrice hautes performances soumis à une température élevé’ Annales de l’ITBTP, n°5, oct-nov 2001, pp 9-16.
- [11] S.Aggoun, R.Cabrillac , ‘Study of the implementation of lightweight aggregate concretes using a high performance matrix’. International symposium on

cement and concrete technology in the 2000 s. Istanbul, 2000.

- [12] P.R.L Helene, P.J.M. Monteiro., ‘Performance analysis of lightweight aggregate mortar.’ Concrete technology : new trends, industrial applications. Rilem international workshop. 1994-11-07, Barcelona, 1995.
- [13] M.-H. Zhang., O. Gjorv., ‘Mechanical propeties of high strength lightweight concrete’ ACI Materials Journal, v.88, n°3, may-june.1991.