

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
جامعة عمّار ثليجي بالأغواط  
UNIVERSITE AMAR TELIDJI LAGHOUAT  
كلية العلوم والهندسة  
FACULTE DE TECHNOLOGRE  
DEPARTEMENT DE GÉNIE CIVIL

## ***Mémoire de MASTER***

**Domaine :** Sciences et techniques  
**Filière :** Génie civil  
**Option :** Matériaux de construction

**Présenté par :**

***BARKAT Miloud et ASSLOUNI Mohamed***

### **THEME**

---

**Etude de l'influence de traitements de copeaux de bois sur les performances de béton de sable allégé.**

---

*Soutenu publiquement devant le jury composé de:*

Mr IDRISS GOUAL  
Mr Zoubir MAKHLOUFI  
Mme M.GOTTEICHA

Président  
Examineur  
Rapporteur

***Année Universitaire 2015/2016***

# إهداء

أهدي هذا العمل المتواضع إلى أمي وابي والى كل من كان سندا في مشواري  
الدراسي

الى كل أفراد العائلة وكل الاصدقاء

والأساتذة الكرام الذين ساهم في هذا العمل

والى كل من البراعم

عطاء الله

(كريم خليل حميد خيرة يسمينة زكريا اكرم خالد ..)

إلى من كانوا لي عوناً وسبباً في ولوج باب العلم والمعرفة أساتذتي في كل الاطوار  
جزأهم الله خير الجزاء

إلى كل الزملاء الذين جمعنتي بهم الحياة الدراسية وربطت أواصر المحبة بيننا

إلى كل الأحباء والأصدقاء بدون استثناء

عملوني محمد

# إهداء

اهدي ثمرة هذا العمل المتواضع إلى:

من أمر الله بطاعتها ، والدي الكريمين حفظهما الله فاني لا أوفي حقهما ما حبيت

إلى روح أبي (خالي أحمد) و أخي بلقاسم أسأل الله أن يتغمدهما برحمته و يفرغهم

إلى كل الأخوة والأخوات والأعمام والعمات والأخوال والخالات وأولادهم

إلى زوجتي الغالية وعائلتها الكريمة

إلى كل البراعم : البشير ، مباركة ، بلقاسم ، عبد الرحمان ، مريم ، مليكة ، كوثر ، فاطمة الزهراء ،

يوسف ، عبد الرزاق.

إلى من كانوا لي عوناً وسبباً في ولوج باب العلم والمعرفة أساتذتي في كل الاطوار جزأهم الله

خير الجزاء

إلى كل الزملاء الذين جمعني بهم الحياة الدراسية وربطت أواصر المحبة بيننا

إلى كل الأحباء والأصدقاء بدون استثناء

إلى زميلي الذي تقاسمت معه متاعب هذا العمل محمد

إلى طلبة الهندسة المدنية خاتمة دفعات 2006-2007-2008-2016

ميلود بركات

# Remerciements

Nous exprimons toute notre gratitude à notre promotrice Madame **M.GOTTEICHA**, pour l'aide qu'elle nous a apporté, pour ses conseils avisés et son soutien. Pour sa disponibilité et son assistance toujours objective.

Nous remercions très vivement Monsieur **Idris GOUAL**, Maître de conférences à l'université de Laghouat, qui nous a fait l'honneur de présider le jury.

Nous adressons également nos remerciements à Monsieur **Zoubir MAKHLOUFI**, Maître de conférences à l'université de Laghouat pour l'honneur qu'il nous a fait en acceptant d'examiner ce mémoire et pour l'intérêt qu'il a bien voulu porter à ce travail.

Enfin, nous désirons exprimer nos remerciements au corps enseignant du département Génie Civil et à l'ensemble de l'équipe du laboratoire ainsi qu'à nos collègues qui nous ont apporté leur soutien et leur aide.

## خلاصة

الهدف من هذا العمل هو المساهمة في تحديد خصائص الخرسانة الرملية المخففة بنشارة الخشب. قمنا بتقييم تأثير هذه المخلفات على الخواص الفيزيائية والميكانيكية. بعد تحديد خصائص المواد المستعملة، قمنا بتحديد المحتوى الأمثل لنشارة الخشب غير المعالجة وهذا بمقارنة الحل الوسطي الذي يضمن قوة ضغط قصوى مع حد أدنى من الانكماش ولكن النتائج أوضحت أن المركب يحتوي على قيمة أكبر من الانكماش المستهدف وكذا قوة ضغط وشد ضعيفتين .

وأظهرت الدراسة التجريبية أن تخفيف الخرسانة الرملية بواسطة إضافة نشارة الخشب يقلل من كثافة المركب لكنه يؤثر سلبا على قوتها الميكانيكية ويولد انكماش أعلى مع زيادة نسبة النشارة. لتحسين الأداء الميكانيكي للمركب لدينا، والحد من الانكماش، أجرينا نوعين من المعالجة لنشارة الخشب و درسنا تأثيرها على القوة الميكانيكية للمركب، كثافته والتغيرات في أبعاده.

بعد تحليل النتائج المختلفة، يبدو أن المعالجة المقترحة بنوعيتها ساهمت بشكل إيجابي جدا في رفع مستويات قوة الضغط و الشد مقارنة بالمركب الشاهد. و يمكن القول أن المعالجة المختلطة أعطت أفضل النتائج وأمكنت الحصول على خرسانة رملية مخففة أفضل من حيث مستوى الانكماش وكثافة جافة مقبولة. يمكن اعتبار هاته النتائج واعدة و مشجعة لهذا النوع من مواد البناء الذي يمكن أن يحل محل المواد المستخدمة حاليا ولو جزئيا.

# ABSTRACT

The objective of this work is to contribute to the characterization of sandy concrete lightened by wood chips. We evaluated the effect of these residues on physical and mechanical properties. Experimental study showed that the reduction of concrete sand by wood chips reduces the density of the composite, significantly reduces its mechanical strength and generates a higher shrinkage with increasing dosage chips.

After characterizing the materials we optimized concrete composite untreated wood on a sand-density compromise. Minimal maximum strength with minimum shrinkage, it nevertheless has a value greater than the target value.

To improve the mechanical performance of our composite and reduce shrinkage, we conducted two types of treatment on wood chips: by coating with a cement slurry and a mixed treatment. We studied the influence of the treatments on the mechanical strength of the composite, the density and dimensional changes.

After analyzing the various results, it seems that the best concrete connection – wood is obtained with the combined treatment and the results are encouraging strong. These promising results strongly encourage promoting this building material to partially replace materials currently used.

# RESUME

L'objectif de ce travail est d'apporter une contribution à la caractérisation des bétons de sable allégés par des copeaux de bois. Nous avons évalué l'effet de ces résidus sur les propriétés physiques et mécaniques. L'étude expérimentale a montré que l'allègement du béton de sable par des copeaux de bois réduit la densité du composite, diminue nettement sa résistance mécanique et engendre un retrait plus important avec le dosage croissant en copeaux.

Après avoir caractérisé les matériaux utilisés nous avons optimisé le composite béton de sable- bois non traités sur un compromis densité minimale- résistance mécanique maximale avec un minimum de retrait, celui-ci présente toutefois une valeur supérieure à la valeur cible.

Pour améliorer les performances mécaniques de notre composite et réduire le retrait, nous avons effectué deux types de traitements sur les copeaux de bois : par enrobage avec un lait de ciment et un traitement mixte. Nous avons étudié l'influence des traitements sur les résistances mécaniques du composite, sur la densité et sur les variations dimensionnelles.

Après analyse des différents résultats, il paraît que la meilleure liaison béton – bois est obtenue avec le traitement mixte et les résultats obtenus sont forts encourageants. Ces résultats prometteurs, incitent vivement à promouvoir ce matériau de construction pour remplacer partiellement les matériaux utilisés actuellement.

## Liste de symboles

AFNOR: Norme française (association française de normalisation)

C : Compacité

D : Diamètre du granulat

ES : Equivalant de sable

M : Masse de matériau

$\gamma_{app}$  : Masse volumique apparente

$\gamma_{abs}$  : Masse volumique absolue

$M_f$  : Module de finesse

K : Constante de l'appareil de perméabiliserai de Blaine

P : Porosité

$R_f$  : Résistance à la flexion

$R_c$  : Résistance à la compression

E/C : Rapport eau/ciment

SA : Sable alluvionnaire

SB : Sable dunaire

BS : béton de sable (composition de base)

BCNT : béton a base de copeaux non traités

BCT : béton a base de copeaux traités avec le lait de ciment :

BCTM : béton a base de copeaux traités avec le traitement mixte

# Liste des figures

	Page
<b>CHAPITRE I</b>	
<b>Figure I.1</b> Effets du dosage et de la finesse de l'ajout sur la résistance	07
<b>Figure I.2</b> Relation entre le diamètre maximal des grains et la teneur en fines	08
<b>Figure I.3</b> quelques types de structures des bétons légers	12
<b>Figure I.4</b> Variation de la résistance à la traction en fonction de la teneur en bois (âge 28j )	28
<b>Figure I.5</b> Variation de la résistance à la compression en fonction de la teneur en bois (âge 28j)	28
<b>Figure I.6</b> Variation de la résistance en compression d'une matrice ciment-boisen fonction de la teneur en C3S du ciment portland	29
<b>CHAPITRE II</b>	
<b>Figure II.1</b> analyse granulométrique des sables	35
<b>Figure II.2</b> Analyse chimique des deux sables.	38
<b>Figure II.3</b> Analyse granulométrique des copeaux utilisés.	46
<b>Figure II.4</b> Dispositif d'essai pour la détermination de la masse volumique apparente des copeaux de bois	47
<b>Figure II.5</b> Dispositif utilisé en flexion (3 points)	49
<b>CHAPITRE III</b>	
<b>Figure III.1</b> Evolution de la maniabilité en fonction du dosage en copeaux de bois	57
<b>Figure III.2</b> Evolution de la masse volumique du béton à l'état frais en fonction du dosage en bois	58
<b>Figure III.3</b> Evolution de la masse volumique en fonction de l'âge	61
<b>Figure III-4</b> Variation du rapport $g_j / g'_{28}$ en fonction du temps	62
<b>Figure III.5</b> Evolution de la résistance à la compression en fonction du dosage en copeaux de bois non traités et de l'âge.	63
<b>Figure III.6</b> Variation de la résistance à la compression en fonction de la masse volumique et pour différents âge	65
<b>Figure III.7</b> Evolution de la résistance à la flexion en fonction du dosage en copeaux non traités et de l'âge.	66
<b>Figure III.8</b> Variation de la résistance à la flexion en fonction de la masse volumique et pour différents âges	68
<b>Figure III.9</b> Evolution du retrait en fonction du temps pour les différentes Compositions de béton de bois (sans compression).	69
<b>Figure III.10</b> Evolution du Porosité en fonction du temps pour les différentes compositions de béton de bois	70
<b>Chapitre IV</b>	
<b>Figure IV.1</b> la masse volumique à 28 jours des compositions étudiées	77
<b>Figure IV.2</b> Absorption d'eau par immersion	79
<b>Figure IV.3</b> La résistance à la compression à 28 jours des compositions étudiées	80
<b>Figure IV.4</b> les résistances à la flexion à 28 jours des compositions étudiées	81
<b>Figure IV.5</b> Evolution du retrait en fonction de l'âge du matériau	82

## Liste des tableaux

	Page
<b>CHAPITRE I</b>	
<b>Tableau I.1</b> Relation entre la granularité et le dosage en ciment (avec $K=700$ )	07
<b>Tableau I.2</b> Classification des bétons légers selon le guide ACI 213R-87	13
<b>Tableau I.3</b> Classification des bétons légers selon	13
<b>Tableau I.4:</b> classement des bétons légers selon leur utilisation dans les structures	14
<b>Tableau I.5</b> Module d'élasticité de quelques types de bétons légers	16
<b>Tableau I.6</b> Variations dimensionnelles de bétons légers	18
<b>Tableau I.7</b> Coefficient de dilatation de quelque types de bétons légers	20
<b>Tableau I.8</b> Conductivité thermique et masse volumique de quelques essences de bois	23
<b>CHAPITRE II</b>	
<b>Tableau II.1</b> Valeurs préconisée pour l'équivalent de sable.	36
<b>Tableau II.2</b> Caractéristiques physiques des sables utilisés	37
<b>Tableau II.3</b> Caractéristiques physiques des Fillers utilisés	39
<b>Tableau II.4</b> Analyse chimique de ciment utilisé.	42
<b>Tableau II.5</b> Composition du clinker.	42
<b>Tableau II.6</b> Propriétés physiques du ciment utilisé	43
<b>Tableau II.7</b> Analyse granulométrique par tamisage à sec des copeaux de bois	45
<b>CHAPITRE III</b>	
<b>Tableau III.1</b> Evolution de la maniabilité en fonction du dosage en copeaux de bois	57
<b>Tableau III.2</b> Masses volumiques du béton de bois à l'état frais en fonction du dosage en copeaux.	59
<b>Tableau III.3</b> Evolution de la masse volumique ( $\text{kg/m}^3$ ) en fonction de l'âge.	60
<b>Tableau III.4</b> Résistance à la compression $R_c$ en fonction du temps et du dosage en bois non traités	63
<b>Tableau III.5</b> Variation de la résistance à la compression en fonction de la masse volumique et de l'âge	64
<b>Tableau III.6</b> Résistance à la flexion $R_f$ en fonction du temps et du dosage en bois	66
<b>Tableau III.7</b> Variation de la résistance à la flexion en fonction de la masse volumique et pour différents âge	67
<b>Tableau III.8</b> Evolution du retrait ( $\text{mm/m}$ ) en fonction de l'âge en jour	68
<b>Tableau III.9</b> Porosité en fonction de l'âge	70
<b>Chapitre IV</b>	
<b>Tableau IV.1</b> maniabilité en fonction du dosage en copeaux de bois	76
<b>Tableau IV.2</b> La masse volumique à 28 jours des différents composites	77
<b>Tableau IV.3</b> La porosité accessible à l'eau à 28 jours	78
<b>Tableau IV.4</b> La résistance à la compression à 28 jours	79
<b>Tableau IV.5</b> la résistance à la flexion à 28 jours	81
<b>Tableau IV.6</b> Résultats de retrait pour les différentes compositions de béton de bois	82

ملخص

RÉSUMÉ

ABSTRACT

Liste des figures

Liste des tableaux

## SOMMAIRE

<b>INTRODUCTION GENERALE</b> .....	2
<b>CHAPITRE I: ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE</b> .....	5
I.1. Introduction :.....	5
I.2. LES BETONS DE SABLE : .....	5
I.2.1. Généralités : .....	5
I.2.2. Formulation du béton de sable :.....	6
I.2.3. Intérêt et domaines d'applications.....	10
I.2.4. Le béton de sable étudié dans le présent travail .....	10
I.3. LES BETONS LEGERS.....	11
I.3.1. Introduction.....	11
I.3.2. classification des bétons légers .....	12
I.3.3. Types de granulats légers.....	14
I.3.3.1. Définition d'un granulats léger .....	14
I.3.3.2. Origine des granulats.....	14
I.3.4. Propriétés des bétons légers : .....	15
I.3.4.1. Légèreté : .....	15
I.3.4.2. Comportement et performances mécaniques : .....	15
I.3.4.3. Module d'élasticité : .....	16
I.3.4.4. Cisaillement : .....	17
I.3.4.5. Variations dimensionnelles : .....	17

I.3.4.6. Aspect acoustique : .....	19
I.3.5. Caractérisation thermique des bétons légers : .....	19
I.3.5.1. Propriétés thermiques:19	
I.3.5.2. Coefficient de dilatation : .....	19
I.3.6. Durabilité des bétons légers : .....	20
I.4. LES BETONS DE BOIS.....	21
I.4.1. Généralités : .....	21
I.4.2. Les granulats en bois : .....	21
I.4.3. Propriétés essentielles du bois : .....	21
I.4.4. Traitement des granulats de bois : .....	23
I.4.4.1. Traitements physiques : .....	24
I.4.4.2. Traitements thermiques : .....	24
I.4.4.3. Traitements chimiques : .....	25
I.4.4.4. Traitements mixtes : .....	25
I.4.5. Formulation des bétons de bois : .....	25
I.4.6. Principales caractéristiques physique techniques du béton de bois : .....	26
I.4.6.1. Résistance mécanique : .....	27
I.4.6.2. Variations dimensionnelles : .....	30
I.4.6.3. Performances acoustiques : .....	30
I.4.7. Microstructure et liaison copeaux de bois- pâte de ciment : .....	30
I.4.8. Développements et limites des composites actuels : .....	31
I.5. Conclusion : .....	32

## **CHAPITRE II CARACTÉRISATION DES MATÉRIAUX**

<b>ET TECHNIQUES EXPERIMENTALES .....</b>	<b>34</b>
II.1. Introduction : .....	34
II.2. Caractéristiques des matériaux utilisés : .....	34

II.2.1. Caractérisation des sables : .....	34
II.2.1.1. Analyse granulométrique (NFP18-560): .....	35
II.2.1.2. Module de finesse : .....	35
II.2.1.3. Propreté de sable (NF P18-598) : .....	36
II.2.1.4. Masse volumique apparente (NF P18-555) : .....	36
II.2.1.5. Masse volumique absolue (NF P18-555) : .....	36
II.2.1.6. Analyse chimique: .....	37
II.2.2. Caractérisation des fillers .....	38
II.2.2.1. Caractérisation physique.....	39
II.2.3. Caractérisation du ciment : .....	39
II.2.3.2. Analyse chimique : .....	41
II.2.3.3. Consistance du ciment (NF EN 196-3): .....	42
II.2.3.4. Prise du ciment (NF EN 196-3) : .....	42
II.2.4. Eau de gâchage .....	43
II.2.5. Adjuvants.....	43
II.2.6. Caractérisation des copeaux de bois : .....	43
II.2.6.1. Analyse granulométrique (NF P18-560): .....	44
II.2.6.2. Masse volumique apparente : .....	46
II.2.6.3. Masse volumique absolue : .....	46
II.2.6.4. Capacité d'absorption d'eau (NFP18-554) : .....	47
II.2.7. Caractérisation du produit de traitement des copeaux de bois : .....	47
II.3. Techniques expérimentales : .....	48
II.3.1. Essais sur béton frais : .....	48
II.4. Conclusion : .....	52
<b>CHAPITRE III CARACTERISATION DES BETONS DE SABLE ALLEGES PAR DES COPEAUX DE BOIS NON TRAITES.....</b>	<b>54</b>

III.1. Introduction :	54
III.2. Optimisation du béton de sable à base de copeaux de bois non traités :	54
III.2.1. Composition de béton de sable :	54
III.2.2. Composition de béton de sable allégés par des copeaux de bois non traités :	55
III.2.3. Etude des bétons frais :	55
III.2.3.1. Etude de la maniabilité:	56
III.2.3.2. Etude de la masse volumique du béton frais :	58
III.2.4. Etude des bétons à l'état durci :	59
III.2.4.1. Masse volumique apparente :	60
III.2.4.2. Résistance mécanique :	62
III.2.4.3. Etude du retrait :	68
III.2.4.4. Essai d'absorption par immersion :	69
III.3. Synthèse et choix de la composition du béton de bois non traités :	71
III.4. Conclusion :	71
<b>CHAPITRE IV:INFLUENCE DU TRAITEMENT DES COPEAUX DE BOIS SUR LES PERFORMANCES DU COMPOSITE.</b>	<b>74</b>
IV.1. Introduction :	74
IV.2.Traitement des copeaux de bois :	74
IV.2.1 Présentation des traitements utilisés :	74
IV.2.1.1 Traitement au Lait de ciment :	74
IV.2.1.2 Traitement mixte :	75
IV.2.1.3. Nouvelle composition du béton de bois traité :	75
IV.3.Etude de la maniabilité :	76
IV.4.Etude des propriétés physiques :	76
IV.4.1 Masse volumique :	76
IV.4.2 Porosité:	78

IV.5.Etude des performances mécaniques : .....	79
IV.5.1. Résistance à la compression : .....	79
IV.5.2. Résistance à la flexion : .....	81
IV.6.Etude de retrait : .....	82
IV.7.Conclusions : .....	83
<b>CONCLUSION GENERALE.....</b>	<b>85</b>



**INTRODUCTION  
GENERALE**

## **INTRODUCTION GENERALE**

La recherche actuelle dans le domaine des matériaux de construction est orientée vers les granulats légers naturels ou artificiels pour assurer d'une part, la pérennité des granulats naturels conventionnels et l'allègement de certains éléments de construction et d'autre part, une économie d'énergie par la réduction de la conductivité thermique. La valorisation des matériaux locaux, peu ou pas exploités, dans la construction est devenue actuellement une solution nécessaire aux problèmes économiques des pays, notamment des pays en voie de développement.

C'est dans ce contexte que s'ouvre la réflexion sur la recherche des nouveaux bétons capables de résoudre les problèmes économiques et techniques, rencontrés dans le domaine de la construction. Parmi ces matériaux, on trouve le béton de sable qui possède des propriétés spécifiques intéressantes. Il a été montré que, parfois, le béton de sable peut concurrencer le béton traditionnel dans certains usages. Il demeure bien entendu que les performances du béton de sable pourraient s'avérer suffisantes pour la réalisation des constructions peu ou pas étagées répondant aux exigences urbanistiques des villes du sud du pays.

Le but visé par ce travail est l'allègement du béton de sable par l'introduction des granulats de bois issues des déchets de la menuiserie. L'intérêt pour les bétons de sable allégés, est une certaine prise de conscience environnementale. Cette dernière s'exprime de deux manières : Les matériaux allégés sont de bons isolants thermiques compte tenu du volume d'air qu'ils contiennent, ils permettent donc de réaliser des économies d'énergie substantielles, de plus, l'utilisation de granulats végétaux (résidus de bois) s'inscrit dans une démarche de développement durable. Elle présente l'avantage d'utiliser une matière première renouvelable, contrairement aux granulats des carrières dont les ressources s'appauvrissent.

L'objectif de notre travail est donc de contribuer à la caractérisation physico-mécanique du béton de sable allégé par ajout de copeaux de bois. L'accent a été

mis sur l'influence de deux types de traitements appliqués aux copeaux de bois et sur ce qu'elles peuvent nous rapporter comme amélioration sur les performances du composite étudié.

Afin d'atteindre notre objectif, ce travail est structuré en quatre chapitres:

Le premier chapitre est une étude bibliographique sur le béton de sable à savoir sa formulation, ses caractéristiques physiques et domaines d'application. Une autre étude bibliographique a été menée sur les bétons légers, l'attention a été concentrée en particulier sur les bétons de bois surtout leurs propriétés physiques et mécaniques. On a essayé également de recenser les différents types de traitement qui ont été appliqués aux granulats de bois.

Le deuxième chapitre comporte une caractérisation générale des matériaux utilisés dans la composition du matériau étudié ainsi qu'une description des techniques expérimentales utilisées.

Dans le troisième chapitre, on a pu déterminer le dosage optimal des copeaux de bois et par conséquent l'optimisation d'un béton de sable à base de copeaux de bois non traités qui va nous servir comme béton témoin pour les bétons de sable à base de copeaux de bois traités.

Dans le dernier chapitre, et après avoir choisie deux types de traitement on a étudié l'influence de ces traitements sur les propriétés physiques et mécaniques de notre composite.

Enfin, une conclusion générale est présentée avec des recommandations qui peuvent ouvrir des nouvelles perspectives de recherches.



# CHAPITRE I

ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

## CHAPITRE I

### SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

#### I.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous avons choisi de consacrer à :

- Premièrement, des généralités sur le béton de sable, puisqu'il représente le constituant de base pour notre composite, nous avons dressé un état de connaissance sur ses constituants, sur sa formulation ainsi que sur ses domaines d'applications
- Deuxièmement, une synthèse bibliographique sur les *bétons légers*
- Enfin, Pour les bétons de bois. On a recensé, dans la mesure du possible, les différents types de traitement de bois généralement pratiqués, ainsi que les recherches effectuées dans ce domaine.

#### I.2. LES BETONS DE SABLE

##### I.2.1. Généralités

Le béton de sable a fait l'objet d'une norme expérimentale **P18-500 [AFNOR]** et se compose de sable, de fines d'ajout, de ciment et d'eau [1]. Il se distingue des bétons ordinaires par son moindre dosage en gravillons et des mortiers par leur dosage en ciment.

Le béton de sable possède des propriétés physiques et mécaniques proche à les propriétés de béton ordinaire dans certains usages et résoudre certains problèmes économiques et techniques posés par le béton traditionnel.

Le béton de sable trouve un intérêt du fait de ses propriétés spécifiques par rapport au béton traditionnel : excellente maniabilité et cohésion, bonne adaptation aux milieux fortement ferrailés, qualités esthétiques....etc.

Par ailleurs, et dans certaines régions riches en sable, il peut procurer des économies par rapport au béton traditionnel.

Des applications très diverses ont déjà été réalisées avec succès : injection de ponts en sous- œuvre, poutres, chaussées de lotissement, dalles, planchers.....etc.

A titre d'exemple, nous pouvons citer la tour de Port Saïd (h = 52 m) en Egypte, le mur de soutènement à Passy, la maison Coignet à Saint Denis et le pont de New York [2].

### **I.2.2. Formulation du béton de sable**

La démarche, dans la plupart des cas des formulations, demeure très empirique. Elle consiste à optimiser la compacité du béton et à estimer ensuite ses performances potentielles. L'estimation de la résistance a été menée en vue d'une optimisation du dosage en fillers.

Il existe d'autres méthodes expérimentales qui peuvent différer en fonction de l'approche théoriques adoptées à la base. Toutefois, l'objet reste le même : formuler un béton de sable qui soit le plus compact possible en accord avec les autres caractéristiques recherchées (comptabilité, facilité de moulage et aptitude à la projection).

La synthèse de la méthode expérimentale se résume par :

- l'identification des constituants avec lesquels le béton doit être formulé ;
- détermination d'une formule de base sans fines d'addition ;
- détermination du dosage en fine d'addition ;
- adaptation de la maniabilité à la mise en œuvre ;
- contrôle de la résistance ;

Une méthode de formulation présentée par **J.JChauvin** et **G. Grimaldi** consiste à définir la quantité d'ajout, généralement des fines, pour obtenir la compacité et la résistance optimales en partant d'un sable donné et un dosage en ciment fixé à priori [3].

Ce dosage peut éventuellement être étudié sur mélange sec ; il va dépendre de la nature et de la granularité respective du sable et des fines d'ajout.

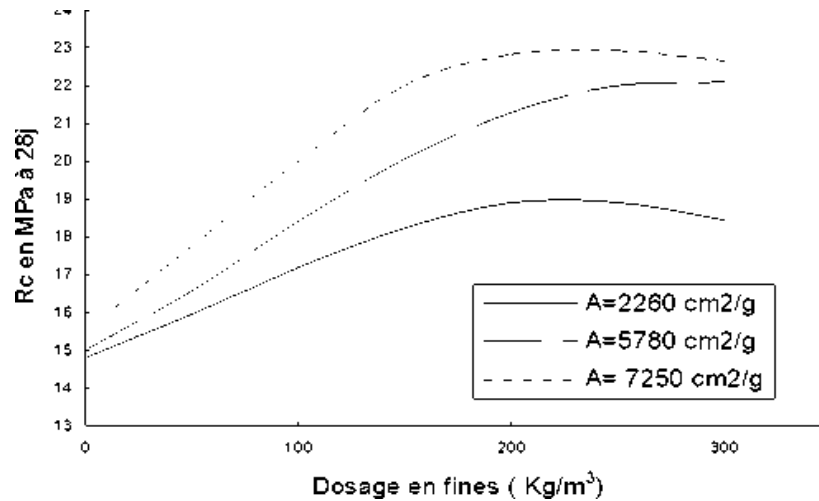


Figure I.1 : Effets du dosage et de la finesse de l'ajout sur la résistance [4]

Dans ces bétons, et compte tenu du diamètre maximal ( $D_{max}$ ) des grains, le dosage en fine (ciment) est suffisant pour assurer au béton une compacité maximale. Si l'on veut diminuer la valeur de  $D_{max}$  au-dessous de 16 mm, les différentes lois de répartition granulaire maximale s'accordent pour dire que pour conserver une compacité maximale, il faut augmenter la teneur en fines, donc en ciment.

Cette règle est bien connue et recommande un dosage en ciment égale à  $\frac{K}{\sqrt[5]{D}}$ , ce qui correspond aux dosages du tableau I.1. (K étant égal à 550 ou 700 suivant la compacité souhaitée).

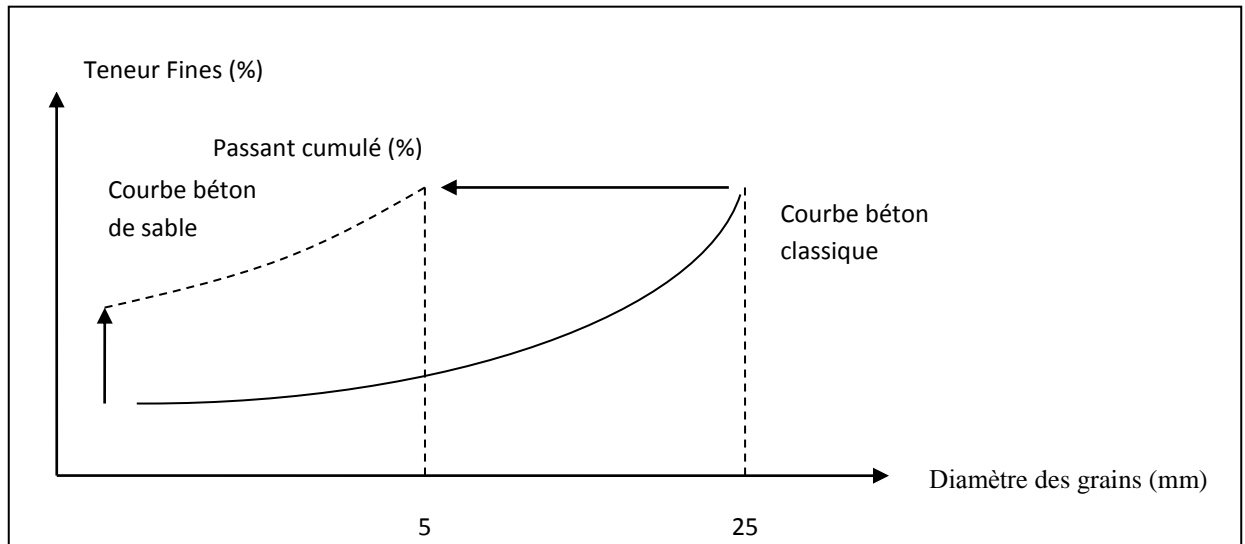
Tableau I.1: Relation entre la granularité et le dosage en ciment (avec  $K=700$ )

Granularité	$\sqrt[5]{D}$	$700 / \sqrt[5]{D}$
0/31.5	1.99	350
0/22.5	1.87	375
0/16	1.74	400
0/8	1.51	460
0/3	1	700

Les bétons de sables ont donc les mêmes dosages en ciment que les bétons traditionnels [250 à 400 kg/m<sup>3</sup>] et la compacité est atteinte par un ajout complémentaire de fines, généralement calcaires. Les bétons de sables relèvent d'une autre approche, elle consiste à faire la distinction entre les fines nécessaires

à l'obtention d'une bonne compacité et le ciment nécessaire à l'obtention d'une résistance suffisante pour l'usage envisagé.

La figure I.2 montre que lorsque le diamètre diminue, la teneur en fines doit augmenter pour conserver une bonne compacité.



**Figure I.2:** Relation entre le diamètre maximal des grains et la teneur en fines [3]

- **Les sables**

A priori, aucun critère granulométrique n'est exigible pour la réalisation d'un béton de sable, on peut utiliser un sable fin (sable de dune), ou un sable alluvionnaire (moyen ou grossier), ou un 0/D de concassage. La seule restriction d'emploi des sables réside dans leurs propriétés car l'utilisation d'un sable pollué est difficilement envisageable.

- **Le ciment**

Comme pour le béton classique, le ciment utilisé pour la confection d'un béton de sable doit être conforme à la norme NF P 15-301. Les dosages en ciment sont du même ordre de grandeur que ceux des bétons classiques (entre 200 et 400 kg/m<sup>3</sup>).

Dans cette fourchette et pour un même usage que les bétons classiques, le dosage retenu pour les bétons de sable est généralement plus élevé dans la plupart des cas.

- **L'eau**

L'eau utilisée pour la confection des bétons de sable est conforme à la norme NFP 18-303. Pour le cas particulier des bétons de sable, on doit veiller à réduire le dosage en eau et par conséquent le rapport E/C afin d'améliorer la résistance mécanique.

- **Les adjuvants**

La spécificité du béton de sable privilégie toute fois l'usage de plastifiants ou de super plastifiants, ils améliorent la maniabilité, le plus souvent avec augmentation de résistance par suite d'une diminution de la teneur en eau et de la défloculation des éléments fins.

- **Les ajouts**

Les fillers : appelés autrement « fines » ou « correcteurs ». Les fillers sont des matières minérales, naturelles ou artificielles, passant dans le tamis de maille 80µm. Un filler généralement comble le vide inter-granulaire dans le sable permettant ainsi d'améliorer la compacité du mélange et par conséquent augmenter les performances en résistance. Son utilisation réduit donc le dosage en ciment très coûteux ainsi que les phénomènes physiques associés. Selon leur nature et leur finesse, les fillers améliorent la maniabilité et la résistance. [5].

- **Les fibres**

Les fibres formées de matière résistante à la traction sont additionnées afin d'obtenir un matériau doté d'une certaine résistance à la traction. Les fibres les plus répandues sont l'acier, le verre, et certaines matières plastiques comme le nylon et le polypropylène.

Elles sont utilisées dans le but de réduire le retrait, au premier âge. Le dosage et la nature, sont des paramètres très importants pour assurer l'efficacité de ces ajouts.

- **Les gravillons**

Pour les bétons de sable l'ajout de gravillons en faible dosage peut améliorer sensiblement certaines caractéristiques (fluage, retrait, résistance, maniabilité) il s'agit alors du béton de sable chargé.

### **I.2.3. Intérêt et domaines d'applications**

Grâce à ces intérêts, les bétons de sable ont pu trouver de nombreuses applications dans différents domaines tels que :

- **Le bâtiment**

Grâce à ses qualités d'ouvrabilité, l'absence de ségrégation et le bel aspect esthétique, le béton de sable trouve une place principale dans le bâtiment, à titre d'exemple : la ville de Nadyem en Sibérie

- **La préfabrication**

Le béton de sable est plus adapté dans la préfabrication grâce à sa facilité de moulage, de démoulage rapide, et surtout pour l'aspect de surface exceptionnel.

- **La projection**

Le béton de sable, peut être utilisé en projection qui permet de pomper le béton sur des grandes hauteurs et sur des longues distances dans des travaux de rénovation, de ponts et de bâtiments.

- **Chaussées routières**

Le béton de sable, utilisé comme couche de roulement, constitue une variante de structure rigide intéressante sur le plan économique. Diverses applications ont été réalisées dans le domaine routier par exemple l'autoroute à l'itinéraire Moscou-Toula, aérodrome à l'aéroport militaire de Pevec.

### **I.2.4 Le béton de sable étudié dans le présent travail**

La matrice des composites étudiés dans le présent travail a déjà fait l'objet d'une étude entrant dans le cadre de la préparation du diplôme de magister [6]. Une étude rhéologique, mécanique a été effectuée. Le composite est un béton de

sable alluvionnaire-dunaire où on a mélangé les deux sables dunaire et alluvionnaire selon des proportions déterminées.

L'étude de l'influence de certains paramètres sur la résistance à la compression et sur la résistance à la flexion a confirmé l'existence de dosages optimaux en filler. A maniabilité constante, le rapport E/C est supérieur à celui des bétons classiques, ce qui impose l'utilisation des adjuvants.

La conclusion, était qu'une correction granulaire, réalisée en mélangeant, à des proportions déterminées, le sable de dune avec le sable alluvionnaire, a permis de donner un béton de sable plus maniable, plus compact, plus résistant à la compression, plus résistant à la flexion.

### **I.3. LES BETONS LEGERS**

#### **I.3.1 Introduction**

La masse volumique apparente des bétons traditionnels fabriqués avec des granulats rigides est comprise entre 2200 et 2600 kg/m<sup>3</sup>. [7]. Les bétons légers sont des bétons dont la masse volumique apparente (à 28 jours dans les conditions normales de conservation : 20°C et 65% d'humidité relative) est inférieure à 1800 kg/m<sup>3</sup> [8]. Ils peuvent être constitués de granulats légers ou « normaux » avec une matrice à base de liants hydrauliques ou résines synthétiques (époxyde, mousse de poly méthane, etc...).

L'allègement peut également être obtenu par création d'une structure cellulaire. Certaines catégories subissent des traitements à haute pression et température pour atteindre les caractéristiques requises dans les trois endroits suivants :

Dans la matrice : le béton, dans ce cas, est appelé « béton cellulaire ». Les bulles d'air sont créés, lors du malaxage, soit par réaction chimique, soit par action physique, entre les gros granulats: le béton, dans ce cas, est appelé « béton caverneux » (ou sans fines, c.-à-d. sans sable),

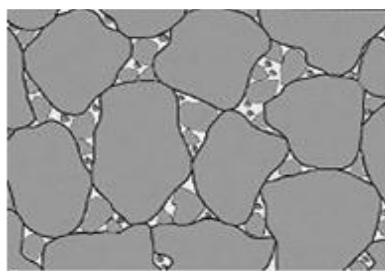
dans les granulats : le béton, dans ce cas, est appelé « béton de granulats légers ».

**Corman (1973)** propose, dans son livre, une classification selon l'origine des granulats. De nouveaux types de granulats légers sont actuellement utilisés

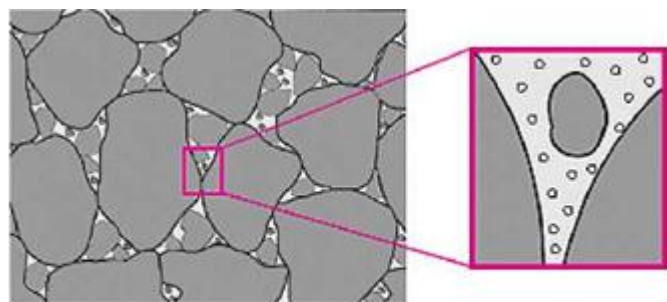
comme le verre expansé (meilleure résistance et faible absorption d'eau) [8], le polystyrène (possibilité de mise en œuvre par pompage) [9], les granulats de bois [10].

Evidemment, il est possible d'effectuer des combinaisons comme un béton de type caverneux fabriqué en utilisant des granulats légers.

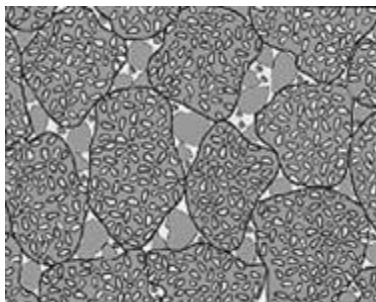
La figure I.3, montre quelques exemples de structures de bétons légers appartenant aux différentes catégories des bétons légers.



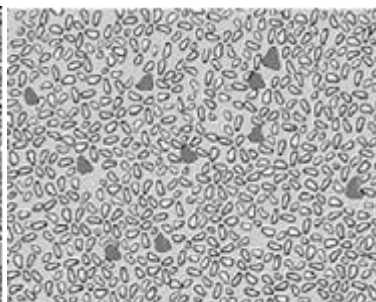
Béton normal "exempt de pores" à structure fermée



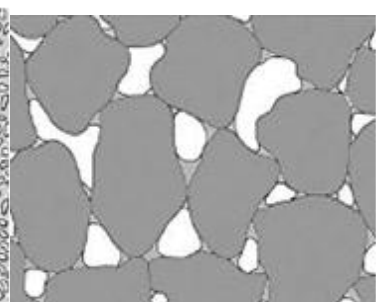
Béton à air entraîné et structure fermée



Béton avec granulats légers poreux



Béton mousse à matrice poreuse sans gros granulats



Béton à structure caverneuse

**Figure I.3 :** quelques types de structures des bétons légers [11]

### I.3.2 Classification des bétons légers

Puisque l'augmentation du volume d'air dans le béton s'accompagne d'une diminution de la résistance du matériau, le guide ACI 213R-87 distingue alors trois catégories de bétons légers, classées selon la masse volumique du matériau durci (Tableau I.2).

**Tableau I.2:** Classification des bétons légers selon le guide ACI 213R-87

Classification	P (kg/m <sup>3</sup> )	Rc (MPa)
Béton léger de structure	1350-1900	> 17
Béton léger de résistance modérée	800-1350	7 - 17
Béton de faible résistance	300-800	< 7

De même **Kass J.L** et **Compbell D. (1972)**, en Australie, ont adopté une classification fonctionnelle des bétons légers selon leur utilisation dans la construction (Tableau I.3) Cette classification a été recommandée par la suite par RILEM.

**Tableau I.3 :** Classification des bétons légers selon leurs propriétés [12]

Type de béton léger	De construction	De construction et d'isolation	D'isolation
Masse volumique (kg/m <sup>3</sup> )	< 1800	Non précise	Non précisée
Résistance à la compression (MPa)	> 15	> 3.5	> 0.5
Conductivité thermique (W/m.K)	—	< 0.75	< 0.30

Selon leur utilisation dans les structures, les bétons légers peuvent être classés en fonction de leurs masses volumiques apparentes comme suit :

**Tableau I.4:** classement des bétons légers selon leur utilisation dans les structures

Type de béton	Masse volumique Kg/m <sup>3</sup>	Résistance en compression	Caractérisation thermique
Béton de remplissage	300 – 1000	Souvent faible	Bonne
Béton isolant	1000 – 1400	Meilleur que celle de Béton de remplissage	Acceptable
Béton de structure	1400 - 1800	Même ordre que béton ordinaire	Faible

### I.3.3. Types de granulats légers

#### I.3.3.1. Définition d'un granulat léger

Les granulats légers se différencient des autres granulats par leur faible masse volumique. Celle-ci est inférieure à 1200 kg/m<sup>3</sup>, tandis que celle de la pierre naturelle est de 2700 kg/m<sup>3</sup>. L'écart de masse volumique s'explique par la porosité élevée du granulat  $\phi_g$ , c'est-à-dire une importante proportion volumique de vides d'air contenus dans le granulat. Cet air sera appelé dans la suite du mémoire, air intra-particule.

$$\phi_g = \frac{V_{capillaires}}{V_{granulat}} \dots \dots \dots 1.1$$

Avec :  $V_{capillaire}$  : volume des vides contenus dans le granulat (m<sup>3</sup>)

$V_{granulat}$  : volume totale occupé par le granulat (m<sup>3</sup>)

#### I.3.3.2. Origine des granulats

Un certain nombre de granulats légers existe à l'état naturel. Parmi les granulats d'origine minérale naturellement poreux, les plus fréquemment rencontrés sont les ponces ou les roches sédimentaires comme les calcaires. Ils sont extraits de gisements et directement utilisables dans les matériaux de construction.

Les autres granulats naturellement poreux sont d'origine végétale. Il s'agit pour la plupart des déchets organiques qui trouvent dans la construction un moyen de valorisation [13].

On peut ainsi citer le bois, la tige de maïs, la coque de noix de coco [14], le bambou [15]. Ce type de produit représente une production de quelques dizaines de milliers de m<sup>3</sup> par an, ce qui reste encore très faible. Ces granulats contiennent de nombreux capillaires, entraînant une porosité  $\phi_g$  élevée. Cependant, ils contiennent également des matières organiques à base de cellulose qui les rendent réactifs vis à vis de certains constituants présents dans les liants hydrauliques. Un traitement préalable est donc indispensable afin de les rendre inertes.

### **I.3.4 Propriétés des bétons légers**

#### **I.3.4.1 Légèreté**

L'emploi de granulats légers a pour première conséquence une diminution de 20 à 30 % de la masse volumique des bétons. A titre de comparaison la masse volumique d'un béton hydraulique est de l'ordre de 2300 kg/m<sup>3</sup> alors qu'elle se situe autour de 1600 kg/m<sup>3</sup> pour un béton d'argile expansée, entre 600 et 900 kg/m<sup>3</sup> pour un béton de bois et qu'elle varie entre 350 et 650 kg/m<sup>3</sup> pour un béton cellulaire (norme NF P 14-306). L'intérêt est d'avoir un matériau facile à mettre en œuvre lorsqu'il est vendu manufacturé sous forme de parpaings. De plus, ce matériau allégé nécessite des fondations moins importantes lors de la construction.

#### **I.3.4.2. Comportement et performances mécaniques**

Les granulats légers entraînent une modification du comportement et des niveaux de performances mécaniques du béton. En effet, le granulats légers est poreux donc moins résistant qu'un granulats usuel. Le fonctionnement mécanique et le mode de rupture des bétons légers sont donc modifiés par rapport à ceux d'un matériau contenant des granulats rigides.

La résistance à la compression est souvent considérée comme la plus représentative et la plus utilisée comme point de repère et de comparaison.

Les résistances à la compression des bétons légers peuvent atteindre 50 et même 60 MPa, on peut donc dire qu'ils couvrent la même plage de valeurs que les bétons normaux. Elles seront plus ou moins importantes en fonction de la nature et du dosage des constituants, ainsi que le traitement du béton.

**I.3.4.3. Module d'élasticité**

Le module d'élasticité des bétons légers est fonction de leurs masses volumiques apparente et leur résistance à la compression. La formule retenue pour les calculs est: [11]

$$E_b = \rho_b \cdot 6000 \sqrt{\sigma_{jm}} \dots \dots \dots 1.2$$

Avec :  $\rho_b$  masse volumique apparente du béton en t/m<sup>3</sup>

$\sigma_{jm}$  résistance à la compression du béton sur cubes en kg/cm<sup>2</sup> à (j) jours.

Le tableau ci- dessous donne quelques valeurs pour différents types de bétons légers.

**Tableau I.5 : Module d'élasticité de quelques types de bétons légers**[11]

Type de béton	E <sub>b</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )
Béton de ponce	30 à 70 000
Béton de laitier expansé	40 à 125 000
Béton de laitier expansé + sable	70 à 170 000
Béton d'argile ou schiste expansé	60 à 220 000
Béton de perlite	10 à 30 000
Béton de vermiculite	8 à 17 000
Béton cellulaire autoclavé	17 500
Béton de cendre volante frittée	100 à 220 000

#### **I.3.4.4. Cisaillement**

Comme pour les modules d'élasticité, les valeurs du cisaillement sont plus faibles que pour les bétons normaux. La plupart des valeurs se situent à 60 % de celles des bétons normaux pour des résistances à la compression comparables, cela s'explique par la faible résistance des granulats légers.

#### **I.3.4.5. Variations dimensionnelles**

Le problème du retrait de fabrication et des variations dimensionnelle post-fabrication des bétons légers a toujours été l'une des préoccupations essentielles des entreprises et des bureaux de contrôle, car ces phénomènes risquent de se traduire par l'apparition nuisant à la qualité finale des constructions.

- **Retrait de fabrication**

Le retrait de fabrication est le résultat du phénomène de prise et de durcissement des bétons, lié à celui de l'évacuation d'une certaine quantité d'eau comprise dans ces bétons. Il se traduit par une diminution parfois importante des côtés des pièces fabriquées et quelque fois par une déformation (torsion, vrillage).

D'après le tableau I.3, il se montre que les bétons légers, à l'exception des bétons cavernaux, subissent plus de retrait que les bétons normaux : environ le double, il peut atteindre 0.5 à 1 mm et même quelque fois 5 mm/m pour certains d'entre eux.

Les variations dimensionnelles hygrothermiques dépendent des conditions de température et d'hygrométrie, mais aussi comme le retrait, elles dépendent essentiellement des caractéristiques du matériau, et même si elles sont réversibles, il faut tenir compte de leur importance dans la conception des ouvrages (par exemple: longueur des murs à ne pas dépasser pour éviter des fissurations).

**Tableau I.6:** Variations dimensionnelles de bétons légers

Type de béton	Retrait de fabrication (mm/m) conditions normales	Variations dimensionnelles Après stabilisation (mm/m)
Bétons normaux pleins	0.30 à 0.50	0.20 à 0.35
Bétons normaux caverneux	0.20 à 0.30	0.15
Bétons d'argile expansée	0.40 à 0.70	0.20 à 0.40
Bétons de schiste expansé	0.35 à 0.90	0.20 à 0.30
Bétons de Mâchefer	0.40 à 1.20	0.30 à 0.40
Bétons de cendres volantes frittés	0.20 à 0.85	0.30
Bétons de granulats végétaux (sciures, liège, etc.)	5 et plus	-
Bétons de ponce	0.60 à 1.30	0.50
Bétons cellulaires crus	4	-
Bétons cellulaires autoclavés	0.50 et plus	0.36 à 0.45

- **Fluage**

Dans le cas des bétons légers, le fluage est plus grand que pour les bétons normaux. Cette caractéristique est importante, car elle peut entraîner de graves conséquences si l'on n'en tient pas compte, on risque donc des pertes de précontraintes (jusqu'à 25 % ) des excès de flèches. On doit donc prévoir à l'aide d'essais, le comportement des ouvrages et son évolution dans le temps. En définitive, pour donner un ordre de grandeur, on peut prendre le coefficient admis par le comité européen du béton le **C.E.B**, ce coefficient est le suivant : Fluage béton léger  $\cong$  1.3 à 1.6 fois fluage béton normal.

#### **I.3.4.6. Aspect acoustique**

L'isolation acoustique obtenue par des parois homogènes en béton léger, est avant tout, une question de poids et d'imperméabilité à l'air. Certaines parois en bétons pleins de granulats légers, complétées par des enduits étanches, peuvent avoir des performances acoustiques supérieures à celle prévues par la « loi de masse ». Cette amélioration se manifeste pour des épaisseurs supérieures à 15 cm.

### **I.3.5. Caractérisation thermique des bétons légers**

#### **I.3.5.1. Propriétés thermiques**

La conduction thermique  $\lambda$  est le flux de chaleur par mètre carré, traversant un matériau d'un mètre d'épaisseur pour une différence de température d'un degré entre ses deux faces. Cette propagation d'énergie se produit dans un solide par agitation des molécules constitutives du matériau. La conductivité thermique  $\lambda$  est donc une grandeur intrinsèque du matériau, qui dépend uniquement de ses constituants et de sa microstructure.

Un béton usuel à base de granulats rigides, contient de l'air, dû à l'arrangement de la phase solide (squelette granulaire) et à la prise de liant. Or, l'air immobile conduit faiblement la chaleur. Les bétons à base de granulats légers ont donc été développés, car ils permettent d'augmenter la proportion volumique d'air dans le matériau (i.e. la porosité), en ajoutant l'air intra-particule (i.e. du granulat). A titre comparatif, un béton hydraulique ( $\rho = 2300 \text{ kg/m}^3$ ) a une conductivité thermique de  $2,0 \text{ W/(m.K)}$  tandis qu'un béton d'argile expansé ( $\rho = 1600 \text{ kg/m}^3$ ) a une conductivité thermique de  $0,60 \text{ W/(m.K)}$ .

Cependant, cette relation entre porosité et faible conductivité thermique doit être nuancée en tenant compte d'un autre mode de transfert de la chaleur, la convection. Cette dernière traduit les transferts de chaleur entre un solide immobile et un fluide en mouvement. Lorsque le matériau contient un important réseau de pores connectés, l'air peut s'y déplacer et les transferts de chaleur par convection peuvent devenir significatifs

### I.3.5.2. Coefficient de dilatation

Dans le cas des bétons légers, ces coefficients se trouvent plus faibles que ceux des bétons normaux et la valeur moyenne se situe entre 7 et  $9 \cdot 10^{-6} \text{ .1/C}^\circ$

Le tableau I.7, présente quelque coefficient de dilatation pour quelque type de béton léger.

**Tableau I.7:** Coefficient de dilatation de quelque types de bétons légers

Type de bétons	Coefficient de dilatation en $10^{-6}/\text{C}^\circ$	
	Aux températures normales	Aux hautes températures
- Laitier expansé	7 à 12	6 à 11
-Argile et schiste expansés	5 à 8	4 à 5
- Ponce	10	8 à 9
- Pouzzolane	7	5

### I.3.6. Durabilité des bétons légers

L'utilisation des granulats légers n'affecte pas la durabilité à long terme du béton. En effet, la porosité des granulats est généralement discontinue et n'influence pas sur la perméabilité du béton [7 ]. Cette propriété est plutôt contrôlée par la pâte de ciment durcie et par la qualité des interfaces pâte- granulats. La résistance au gel et à l'écaillage du béton est obtenue en combinant des granulats et une matrice de qualité. Bien que les granulats légers soient très absorbants, ils sont néanmoins très durables au gel. Comme dans les bétons ordinaires, l'air entraîné permet de protéger efficacement le matériau contre le gel et l'écaillage.

La composition minéralogique des granulats légers manufacturés, obtenus par des procédés de fabrication à très haute température, donne aux granulats une bonne stabilité face aux attaques chimiques. Le bon choix du type de ciment et du rapport eau/ciment est cependant essentiel pour assurer la durabilité des bétons légers face aux agressions chimiques.

## I.4. LES BETONS DE BOIS

### I.4.1. Généralités

On désigne par le terme "béton de bois" des matériaux composites généralement constitués d'une matrice minérale cimentaire éventuellement adjuventée, et de granulats de bois. Ces granulats sont de granulométrie comparable aux granulats traditionnels.

Les bétons de bois appartiennent à la famille des bétons légers dont la classification est proposée par **Lafarge Bétons Granulats** [16].

Les particules de bois peuvent avoir diverses formes ; sciures, copeaux et particules défibrés ou déchiquetées. La teneur en bois est généralement importante. On peut aboutir à des matériaux très différents les uns des autres selon qu'on utilise tel ou tel type de bois en pourcentage et en dimensions variables. Les différentes propriétés et applications dépendent de la composition du mélange et du mode de fabrication.

### I.4.2. Les granulats en bois

En générale, les essences productrices de bois peuvent être classées en deux catégories les gymnospermes ou **résineux** et les angiospermes ou **feuillus**. À ces deux familles correspondent des structures anatomiques et, par conséquent, des propriétés physiques chimiques et mécaniques différentes. L'aspect hétérogène et anisotrope du bois apparaît nettement sur la plupart des essences et s'explique aisément par la constitution même du matériau et le mode de croissance de l'arbre.

### I.4.3. Propriétés essentielles du bois

- **Masse volumique**

Tous les bois n'ont pas la même masse volumique; certains sont légers (peuplier, épicéa,..) d'autres très lourds (chêne, ébène...). La masse volumique varie non seulement d'une essence à l'autre, mais au sein d'une même espèce. Ainsi un mélèze lourd peut peser jusqu'à trois fois plus qu'un mélèze léger. En général la résistance du bois augmente avec sa masse volumique; il faut donc toujours tenir compte de la densité des pièces.

- **Dureté**

Elle est caractérisée par la résistance opposée par le bois à la pénétration d'une pointe métallique. Elle varie selon les essences, mais on considère, en général, que plus les couches annuelles de croissance de l'arbre (cernes) sont étroites, plus le bois est dur.

- **Comportement à l'humidité**

Le bois se rétracte en séchant et gonfle en absorbant de l'humidité, mais les variations dimensionnelles ne sont pas égales dans toutes les directions, elles sont négligeables dans le sens axial relativement aux deux autres directions (tangentielle et radiale) [17]. Le retrait volumique traduit l'aptitude du bois à changer de volume, il est donc indispensable de connaître avec exactitude le taux d'humidité du bois que l'on veut utiliser, car sa résistance et ses déformations mécaniques en dépendent.

- **Conductivité thermique**

La conductivité thermique est environ 10 fois plus faible que celle du béton et 250 fois plus faible que celle de l'acier. Elle varie selon les essences, en fonction de leur masse volumique et de leur taux d'humidité.

A titre d'exemple, le tableau I.8 donne des valeurs moyennes de la conductivité thermique des résineux et des feuillus les plus utilisés.

**Tableau I.8** : Conductivité thermique et masse volumique de quelques essences de bois

Désignation	Conductivité thermique (W/mC°)	Masse volumique à 15 % d'humidité (kg/dm <sup>3</sup> )
Résineux		
Pin sylvestre, pin maritime	0.15	0.5 à 0.6
épicéa, sapin	0.12	0.4 à 0.5
Feuillus		
Frêne, hêtre, chêne	0.23	0.6 à 0.7
Autres matériaux de construction		
Béton plein	1.75	2.4
Isolant thermique (fibres minérales)	0.04	0.02 à 0.3
Acier	50	7.8
Panneau de contreplaqué	0.15	0.45 à 0.55
Plâtre	0.36	1.06
Béton cellulaire autoclavé	0.18	0.5

#### I.4.4. Traitement des granulats de bois

Plusieurs paramètres peuvent influencer la composition chimique du bois tel que l'origine géographique, l'âge et l'espèce ainsi que le traitement qu'aura subi l'arbre entre son abattage et son utilisation. La durée écoulée entre ces deux actions peut également influencer la composition chimique du matériau. Dans ces conditions, le nombre et la complexité de ces paramètres peuvent être sources de difficultés lors de l'utilisation du bois dans les composites comme le béton de bois.

Les différents traitements connus, commercialisés ou non, peuvent être classés en grandes catégories qui sont :

#### **I.4.4.1. Traitements physiques**

Ce sont en général des traitements d'interface accompagnés d'une imprégnation plus ou moins légère du bois, ils ont pour but principal de limiter l'échange d'eau avec le milieu extérieur. Les procédés rencontrés dans ce type de traitement sont soit le gonflement du bois ; soit son enrobage avec pénétration minimale des produits en surface pour éviter la libération de sucre lors de la mise en présence du ciment hydraté qui est très néfaste à la prise du matériau.

- **Le gonflement**

Consiste à remplir les vides cellulaires du bois au moyen de techniques d'imprégnation vide-pression tout en le laissant chimiquement identique. Des études réalisées avec du polyéthylène glycol (PEG) ont montré une amélioration considérable du retrait. Des échantillons traités avec 15 à 20% de PEG ont un retrait définitif de 0.1 % à 56 jours. D'autres parts des traitements avec des huiles ont permis de mettre en évidence le blocage de la libération des sucres et autres substances défavorables au composite béton de bois lors de la mise en présence du liant hydraulique.

- **L'enrobage superficiel**

A pour but d'isoler le bois en le rendant inerte vis-à-vis d'agents extérieurs. Les agents utilisés dans ce cas sont des hydrofuges, des hydrocarbures, saturés ou non, du bitume et des polymères synthétiques. On trouve aussi la minéralisation qui a pour but la diminution de la capacité d'absorption et de l'hygroscopie du bois, l'augmentation de la dureté propre des granulats et l'amélioration de la tenue au feu. Elle se fait par imprégnation par des sels minéraux : chlorure de calcium ou de magnésium, sulfate d'aluminium, mélange d'une pâte de chaux et de silicate de sodium.

#### **I.4.4.2. Traitements thermiques**

Leur but essentiel est de modifier la structure chimique du bois par action de la chaleur qui va permettre d'extraire ou de dégrader les hémicelluloses responsables du gonflement du bois. Les principaux procédés sont :

- **L'hydrolyse**

Consiste à solubiliser les hémicelluloses par traitement à chaux (160°C) sous pression pendant 15 heures. La réduction du gonflement à l'eau est alors consécutive à la création de nouvelles liaisons entre les composants chimiques

des parois cellulaires. Les résultats obtenus montrent une amélioration de l'ordre de 40 à 60 % de la masse volumique, mais aussi une diminution des propriétés mécaniques en flexion et en cisaillement.

- **Torréfaction**

Ce procédé consiste à chauffer par un gaz inerte le bois jusqu' une température de 280°C et de maintenir cette température suffisamment longtemps pour que la structure chimique soit modifiée. Cette modification correspond à une dégradation des hémicelluloses, constituants du bois les plus sensibles à la chaleur. Le bois ainsi torréfié se caractérise par une humidité très basse, faiblement hygroscopique et de couleur brune.

#### **I.4.4.3. Traitements chimiques**

Le but de ce type de traitement est d'éviter la fixation des molécules d'eau par les groupements hydroxyles du bois. Divers procédés de traitements ont été utilisés : remplacement des groupements chimiques plus hydrophobes, blocage des groupements (OH) par estérification ou compléxation. Il existe également des traitements plus superficiels utilisant des agents ignifugeants, des agents d'étanchéité comme le carbonate de baryum ainsi que des oxyphosphates de magnésium.

#### **I.4.4.4. Traitements mixtes**

Certains traitements font appel à plusieurs techniques, à titre d'exemple l'association d'un traitement d'imprégnation suivi d'une compression, ou l'association de traitements thermiques et chimiques qui consiste généralement à traiter thermiquement puis chimiquement les particules afin de leur donner certaines propriétés (préservation, isolation). Les produits employés pour ce type de traitement sont des sulfates de sodium, chlorures de calcium, carbonate de chaux ou des agents tensioactifs comme les dérivés sulfonés. Le traitement avec le trioxyde de chrome qui semble être le meilleur parmi les oxydes testés a donné de bons résultats à un test d'absorption d'eau ainsi qu'une meilleure stabilité dimensionnelle.

#### **I.4.5. Formulation des bétons de bois**

Il est à noter que la nature fortement hygroscopique des copeaux de bois empêche une utilisation directe en tant que granulats légers dans les bétons. Une pré-humidification s'avère indispensable pour permettre l'hydratation complète du ciment. Les méthodes classiques, donc, de formulation des bétons ne sont pas

applicables pour les bétons à base de granulats légers tels que le bois. La plupart des études se sont basées sur l'optimisation de certains paramètres physiques et mécaniques, tels que la maniabilité, la compacité, la résistance mécanique etc., pour déterminer la composition d'un composite bien déterminé [18].

Les propriétés mécaniques et physiques du béton à base de granulats de bois dépendent de la nature et des dimensions des copeaux de bois utilisés [19]. Dans tous les cas, les granulats de bois diminuent la résistance mécanique du béton. Cette diminution est parfois acceptable devant une augmentation des propriétés thermiques et acoustiques. La recherche d'un compromis entre la résistance mécanique et les propriétés thermiques, qui permet une utilisation du matériau dans des éléments isolants porteurs, est possible [20].

La résistance mécanique des bétons de bois est, comme pour tous les bétons classiques, une fonction croissante de la masse volumique ainsi que du dosage en ciment. Elle est également fonction des caractéristiques des granulats.

**Pimienta P. et al** (1994) donne une fourchette de 0.5 à 4 MPa pour des masses volumiques comprises entre 400 et 800 kg/m<sup>3</sup> suivant le type de granulats de bois. Le rapport de la résistance à la compression à la traction est de l'ordre de 2 pour un béton de bois alors que pour béton classique il est de l'ordre de 10. Ceci est essentiellement dû aux faibles valeurs obtenues en compression.

Un traitement approprié pour améliorer certaines caractéristiques du béton à base de granulats de bois est aussi possible : réduire l'absorption d'eau des granulats de bois, augmenter la résistance mécanique et améliorer l'adhérence matrice - copeaux de bois [21].

En ce qui concerne la conductivité thermique des bétons de bois, et selon la technique utilisée, elle varie entre 0.10 et 0.30 W/m.K. Le DTU [Règles Th-K77] fixe la valeur de X à 0.15 W/m.K pour une masse volumique comprise entre 450 et 650 kg/m<sup>3</sup>.

#### **I.4.6. Principales caractéristiques physique techniques du béton de bois**

Les principales caractéristiques quantifiables des bétons de bois sont: la masse volumique apparente qui oscille entre 500 et 1500 kg/m<sup>3</sup> selon le type de granulats (copeaux, sciures ou granules), la résistance en compression, les variations dimensionnelles, la résistance au feu, la conductivité thermique, la résistance en traction et le module d'élasticité. En plus de ces caractéristiques, les

bétons de bois présentent un certain nombre d'avantages plus difficilement quantifiables tels que :

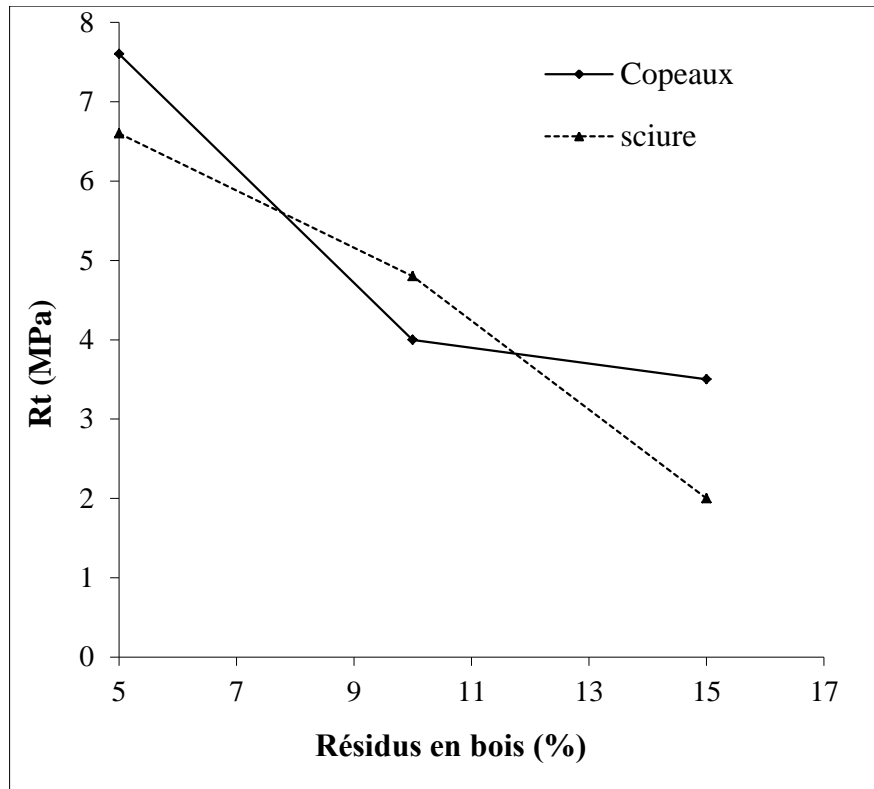
- ✓ Une bonne résistance au gel- dégel : selon la norme N F B 10-513 : des éprouvettes de béton de bois se sont bien comportées lorsqu'un béton traditionnel ayant subi les mêmes cycles de vieillissements présentait une très large détérioration.
- ✓ Une absorption d'eau par capillarité plus faible que les briques ou blocs de terre cuite.

#### **I.4.6.1. Résistance mécanique**

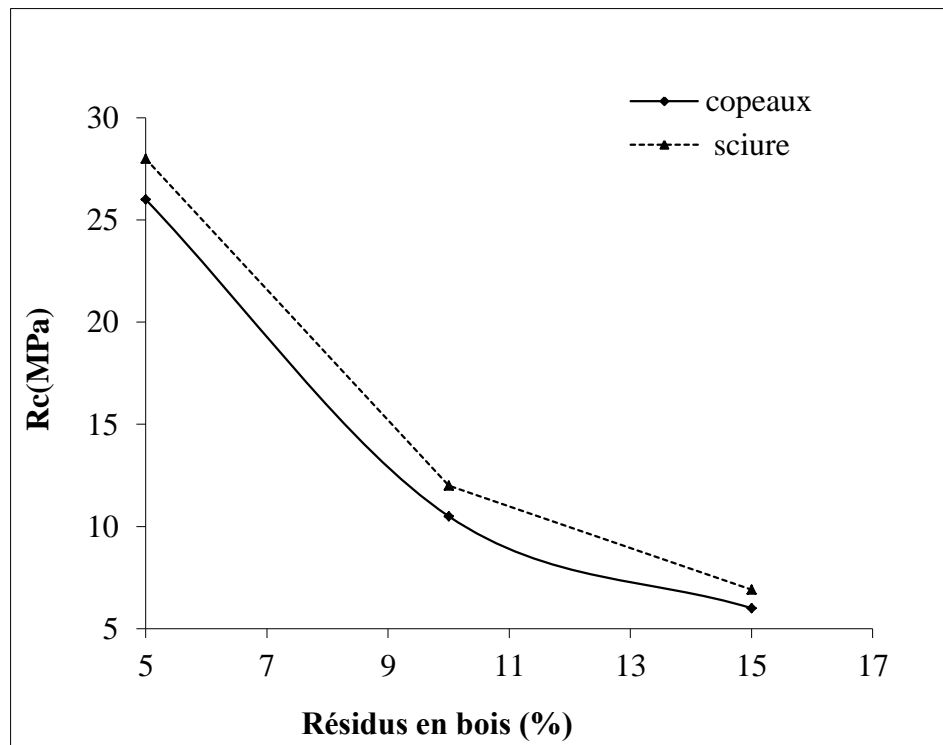
La résistance mécanique en compression des bétons de bois, quel que soit la masse volumique apparente, est sensiblement plus faible que celle des autres types de bétons légers. Elle est le plus souvent comprise entre 2.5 et 4 MPa. Pour certains mortiers de sciures de bois, on a atteint des valeurs de 10 et même 15 MPa.

Le comportement mécanique des bétons de bois est très différent de celui des bétons de granulats minéraux. En effet l'ajout des granulats de bois a un effet négatif sur la résistance mécanique qui est due certainement aux effets retardateurs des bois. Plusieurs recherches se sont intéressées sur ce domaine, nous pouvons citer les travaux de *M.Mimoun,F.ZAoudja et M.Laguerbe*, et qui ont portés principalement sur l'influence des ajouts de résidus de bois qui se présentaient sous forme de sciure et de copeaux issus de la même espèce.

Les **figures I.4 et I.5** montrent nettement l'influence de l'ajout de sciure ou de copeaux.



**Figure I.4 :** Variation de la résistance à la traction en fonction de la teneur en bois (âge 28 j ) [22].

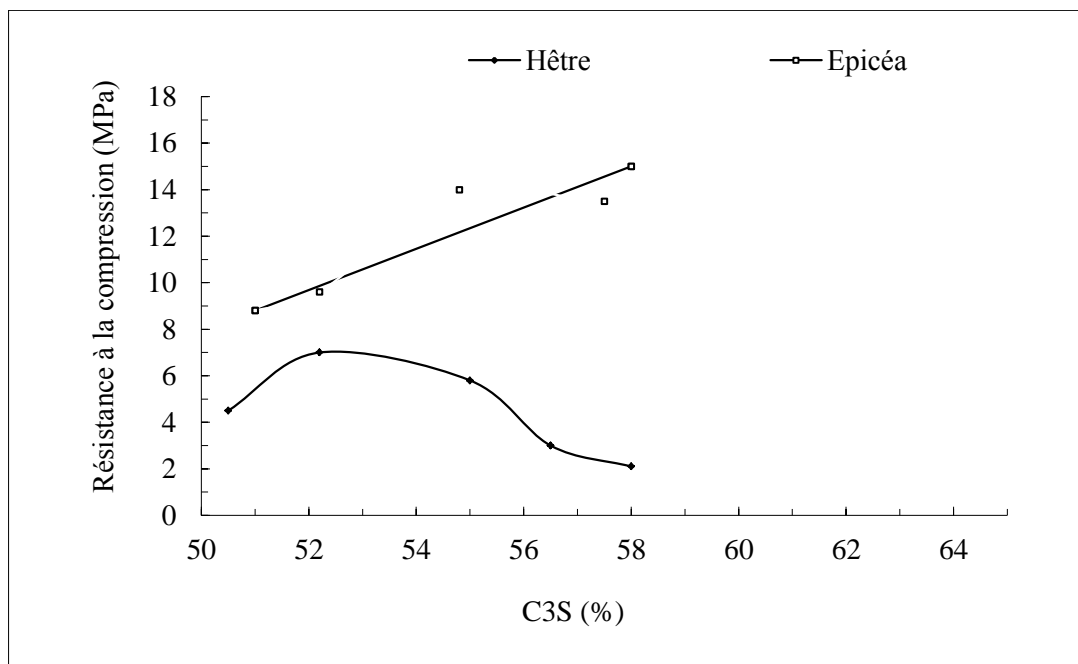


**Figure I.5 :** Variation de la résistance à la compression en fonction de la teneur en bois (âge 28 j ) [22].

La chute de résistance en compression se chiffre à 74 %, et elle est de l'ordre de 60% en traction. Le rapport de la résistance à la compression à la résistance à la traction est de l'ordre de 3.0 pour les mélanges avec la sciure et de 2.4 pour les mélanges avec les copeaux. Ces valeurs restent inférieures à celles des bétons ordinaires où le rapport se situe aux alentours de 10.

Cet affaiblissement est corrigé par l'ajout de ciment, dans la même étude, on a pu constater une amélioration même en présence d'une forte teneur en sciure, ceci est due à une meilleure participation du ciment à l'état frais qui pénètre dans les vaisseaux et dans la surface rugueuse de la sciure puis cristallise et forme un blocage mécanique.

De nombreuses recherches se sont penchées sur l'influence de la nature de ciment sur la résistance mécanique des bétons de bois. On a pu montrer notamment d'après que les ciments portland ne réagissent pas tous de la même façon à l'effet retardateur des bois : la classe de ciment, la rapidité de la prise du ciment interviennent ainsi que la composition minéralogique.



**Figure I.6:** Variation de la résistance en compression d'une matrice ciment-bois en fonction de la teneur en C3S du ciment portland [23]

D'après la figure I.6, Pour l'épicéa, la résistance du béton de bois augmente quasi linéairement avec la quantité de C3S. Cette loi n'est plus de tout la même

avec le hêtre qui présente un maximum pour une quantité de C3S/ bois d'environ 53%.

#### **I.4.6.2. Variations dimensionnelles**

Il existe deux sortes de variations dimensionnelles. Les premières sont dues à des réactions d'hydratation lors de la prise du liant de la matrice, elles sont des variations irréversibles. Les secondes sont relatives aux variations d'ambiance hygrothermique, elles sont réversibles et ne peuvent pas être diminuées par un quelconque agent extérieur. Elles sont une fonction décroissante de la masse et croissante du dosage en ciment.

Les mesures effectuées sur les bétons de bois sont d'un ordre de grandeur de 5 mm/m soit 10 fois plus par rapport à celle des bétons légers qui sont plafonnées à 0.45 mm/m.

#### **I.4.6.3. Performances acoustiques**

Les performances acoustiques présentées par les bétons de bois sont particulièrement intéressantes du point de vue de l'absorption. La courbe d'absorption acoustique d'un béton de bois peut être modifiée en jouant sur l'épaisseur du matériau, sur la forme des produits pour arriver, avec un même béton, à un spectre qui présente un meilleur comportement aux basses fréquences. Ceci fait du béton de bois un matériau très intéressant vis à vis au comportement acoustique.

#### **I.4.7. Microstructure et liaison copeaux de bois- pâte de ciment**

la liaison ciment-bois dépend de la pénétration du mélange matriciel dans les pores et les canaux du bois [24]. La pâte de ciment étant à l'état fluide peut pénétrer dans les fissures et certains pores de la surface rugueuse du granulat puis cristalliser et fixer le granulat à la pâte.

Ce phénomène de pénétration du ciment dans les pores et canaux du bois a pu être observé par microscope. Un second mécanisme probable est un mécanisme chimique, l'hydratation du liant conduit à la formation de groupement hydroxyles liés à des atomes métalliques Ca-OH, Si-OH et Al-OH. Le bois quant à lui, contient des groupements hydroxyles C-OH soit phénoliques (lignine) soit alcoolique (cellulose), et des groupements carboxyliques : il peut donc produire des liaisons hydrogènes et des ponts hydroxydes entre la matrice cimentaire et les granulats de bois.

En milieu aqueux des mécanismes de migration peuvent s'installer entre le granulats de bois et le milieu matriciel, tant que celui-ci n'a pas fait sa prise, et modifie les milieux en présence, c'est le cas par exemple des hémicellulose à l'inverse de la cellulose qui est insoluble et qui, en raison de son caractère cristallin, ne réagit probablement pas avec le ciment. Les hémicelluloses non cristallins passent facilement en solution, elles réagissent par des réactions de complexion avec les ions métalliques donnant des acides sacchariques de faible masse molaire qui retardent l'hydratation.

#### **1.4.8. Développements et limites des composites actuels**

Les matériaux composites bois-ciment présentent des performances mécaniques intéressantes pour des masses volumiques nettement faibles par rapport à des bétons de granulats légers.

Toutefois, un certain nombre de difficultés sont à noter : la première difficulté rencontrée concerne la prise et le durcissement des ciments ce qui a conduit à sélectionner les essences de bois et à n'utiliser que certaines essences de bois reconnues inactives sur l'hydratation et du développement des résistances.

Ces composites nécessitent une période de cure assez longue pour atteindre les résistances nécessaires. Un autre inconvénient concerne le séchage du composite, l'absorption d'eau par les granulats de bois entraîne des ajouts plus importants d'eau de gâchage, une partie non nécessaire à l'hydratation doit ensuite être évacuée dans des délais plus ou moins longues, ce qui fait la cause des problèmes d'humidité résiduelle.

L'ajout de composés pouzzolaniques : roches volcaniques, fumée de silice, laitier de haut fourneaux etc., a été effectué dans différents buts : augmenter les caractéristiques mécaniques, réduire la sensibilité du liants aux extraits du bois, diminuer l'alcalinité du milieu par réaction avec la chaux dégagée par l'hydratation du ciment et restreindre ainsi la libération de substances nocives.

Enfin, la principale difficulté discutée dans plusieurs études est celle relative aux variations dimensionnelles que ce soit en retrait à la prise et au séchage ou en retrait- gonflement réversibles en fonction de l'humidité du milieu hygroscopique [18].

Les effets retardateurs de prise des extraits de bois et les variations dimensionnelles sont les principaux problèmes posés par les bétons de bois, un certain nombre d'études ont été faites pour remédier à ces problèmes. Plusieurs

études ont été faites pour remédier à ces problèmes.

L'introduction de sable est également utilisée pour diminuer les variations dimensionnelles. Toutefois il faut toujours respecter le compromis masse volumique variations dimensionnelles. L'ajouts de produits chimiques connus pour accélérer la prise et le durcissement des ciments afin de contrebalancer les effets retardateurs des composés extraits de bois tel que les sels d'acides minéraux ou organiques.

### **I.5. Conclusion**

Dans ce premier chapitre nous avons exposé des rappels théoriques et synthèses bibliographiques concernant les différentes caractéristiques descriptives des bétons de sable, des bétons légers et des bétons de bois.

Ila été mis en évidence que l'utilisation des granulats de bois dans la fabrication des bétons légers permet de valoriser certains sous-produits de l'industrie de bois. Ces composites de bois offrent des caractéristiques mécaniques acceptables, des qualités thermiques élevées, mais présentent des variations dimensionnelles importantes constituant l'inconvénient majeur de ces matériaux.

Il existe peu d'études systématiques concernant la stabilisation dimensionnelle des bétons de bois, les efforts se sont en général concentrés sur le traitement des granulats. La stabilisation consiste à conférer au béton de bois les qualités indispensables à une bonne tenue dans les conditions d'exploitation, tout en gardant au mieux les qualités qu'il possède des caractéristiques mécaniques et thermiques satisfaisantes et des résistances à l'usure acceptables avec stabilité dimensionnelle.



# CHAPITRE II

CARACTÉRISATION DES  
MATÉRIAUX ET TECHNIQUES  
EXPERIMENTALE

## CHAPITRE II

### CARACTÉRISATION DES MATÉRIAUX ET TECHNIQUES EXPERIMENTALES

#### II.1.Introduction

Le but de notre étude est de formuler un béton léger à partir d'un béton de sable en incorporant dans ce dernier des résidus de bois sous forme de copeaux. Nous avons effectué des essais expérimentaux de caractérisation physique et mécanique sur tous les composants constituant ce matériau. L'identification de ses caractéristiques contribue à la compréhension et à l'interprétation des résultats que nous allons obtenir sur son comportement rhéologique, mécanique et physique.

Dans ce chapitre, nous allons, donc, regrouper toutes les caractéristiques physico-mécaniques et chimiques des différents matériaux utilisés, à savoir :

1. Sable alluvionnaire ramené d'oued M'zi (Laghouat) (Oasis Nord) le plus couramment utilisée dans les travaux de construction dans la région de Laghouat ;
2. Sable de dune ramené de la région nord de la ville de Laghouat Oasis Nord;
3. Ciment CPJ-CEMII 42.5, Matine ACC de M'silla ;
4. Fillers calcaires ramenés d'une carrière au nord de la ville de Laghouat;
5. Copeaux de bois (déchets de menuiserie).

#### II.2.Caractéristiques des matériaux utilisés

Les essais d'identification ont été réalisés au niveau de laboratoire de Génie Civil de l'Université Amar Telidji de Laghouat. Chaque résultat représente la moyenne d'au moins trois essais.

##### II.2.1.Caractérisation des sables

Le sable utilisé dans cette étude est un mélange alluvionnaire- dunaire. Les proportions de ce mélange sont préparées selon un rapport massique déterminé en corrigeant la courbe granulométrique du sable alluvionnaire, dans sa partie fine, par ajout de sable de dune .Ce rapport est défini comme suit : **SA'/SD' = 1.76** [25], où :

SA' : les éléments du sable alluvionnaire dont le diamètre est supérieur à 0.63.

SD' : les éléments du sables dunaires dont le diamètre est inférieur à 0.63

### II.2.1.1. Analyse granulométrique (NFP18-560)

La granulométrie du sable est indispensable pour l'étude d'un béton de qualité. Ce sont les éléments les plus fins qui influencent le plus sur le dosage en eau, la maniabilité, la compacité, l'aspect du béton. Selon la norme française NF P 18-560, qui permet de déterminer les pourcentages en poids des grains ayant une dimension inférieure ou égale à un diamètre donné, cette répartition de grains de sable est traduite par les courbes granulométriques [26].

Les résultats de l'analyse granulométrique des deux sables sont représentés dans les tableaux II.1 et les courbes granulométriques de la figure II.1 :

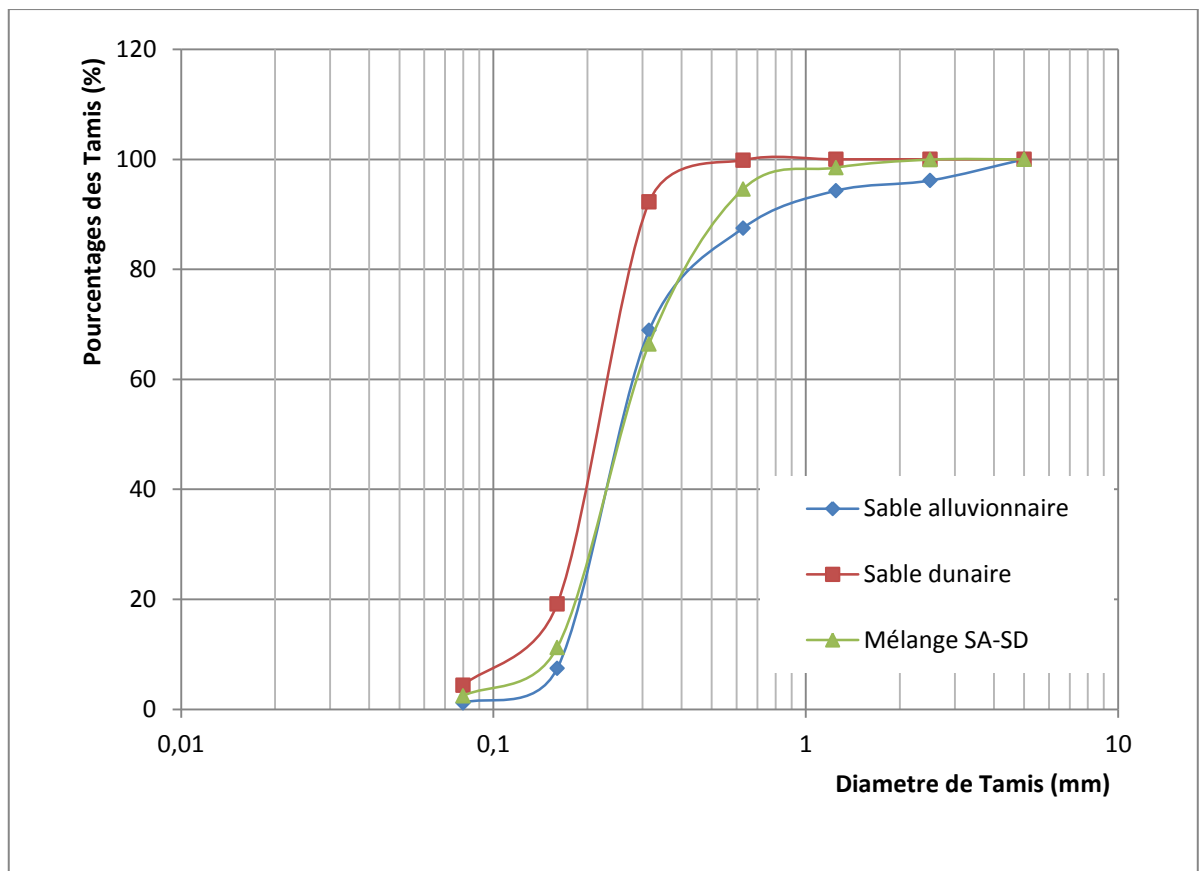


Figure II.1 : Analyse granulométrique des sables.

### II.2.1.2. Module de finesse

Le module de finesse  $M_f$  d'un sable est égale au  $1/100^e$  de la somme des refus, exprimés en pourcentages sur les différents tamis de la série suivante : 0.16 - 0.315 - 0.63 - 1.25 - 2.5 - 5 mm.

Le module de finesse est donné par la relation suivante [27]:

$$M_f = \frac{\Sigma \text{refus cumulée}\%}{100} \dots\dots\dots \text{II.1}$$

**II.2.1.3. Propreté de sable (NF P18-598)**

L'essai d'équivalent de sable, permettant de mesurer la propreté d'un sable, il est effectué sur la fraction d'un granulats passant au tamis à mailles carrées de 5 mm. Il rend compte globalement de la quantité et de la qualité des éléments fins, en exprimant un rapport conventionnel volumétrique entre les éléments sableux qui sédimentent et les éléments fins qui flocculent [28].

L'essai permet de mettre en évidence la proportion relative de poussières fines ou d'éléments argileux présents dans le sable. Deux indices sont déterminés : Es à vue et Es piston.

En fonction de la valeur obtenue, on pourra déduire à partir du tableau suivant la qualité du sable.

**Tableau II.1 :** Valeurs préconisée pour l'équivalent de sable.

Qualité du sable	ESV (%)	ES (%)
Sable argileux	ESV < 65	ES < 60
Sable	65 < ESV < 75	60 < ESV < 70
Sable propre	75 < ESV < 85	70 < ESV < 80
Sable très propre	ESV > 85	ESV > 85

**II.2.1.4. Masse volumique apparente (NF P18-555)**

La masse volumique apparente du sable, c'est la masse à l'état sec du matériau rapporté à l'unité de volume, y compris les grains et les vides, elle est donnée par la formule suivante [27]:

$$\gamma_{app} = M/V \dots\dots\dots II.2$$

Avec :

M : la masse du matériau sec.

V : le volume total du matériau.

**II.2.1.5 Masse volumique absolue (NF P18-555)**

C'est la masse par unité de volume de la matière qui contient les grains solides sans tenir compte des vides existant entre les grains.

La masse volumique absolue se déduit de l'expression suivante [27]:

$$\gamma_s = M/V_s \dots\dots\dots II.3$$

Avec :

M : la masse du matériau.

$V_s$ : le volume des grains solide.

Le tableau II.2 regroupe l'ensemble des résultats des essais physiques effectués sur les sables utilisés:

**Tableau II.2 : Caractéristiques physiques des sables utilisés**

<b>Caractéristique</b>	<b><math>\gamma</math> (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b><math>\gamma_s</math> (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Mf</b>	<b>ESv %</b>	<b>ESp %</b>
Sable de dune (SD)	1472.33	2608.24	0.887	90.7	81.4
Sable alluvionnaire (SA)	1468.33	2488.88	1.457	93.5	82.2
Sable alluvionnaire- dunaire (SAD)	1536.16	2415.45	1.292	93.2	80.3

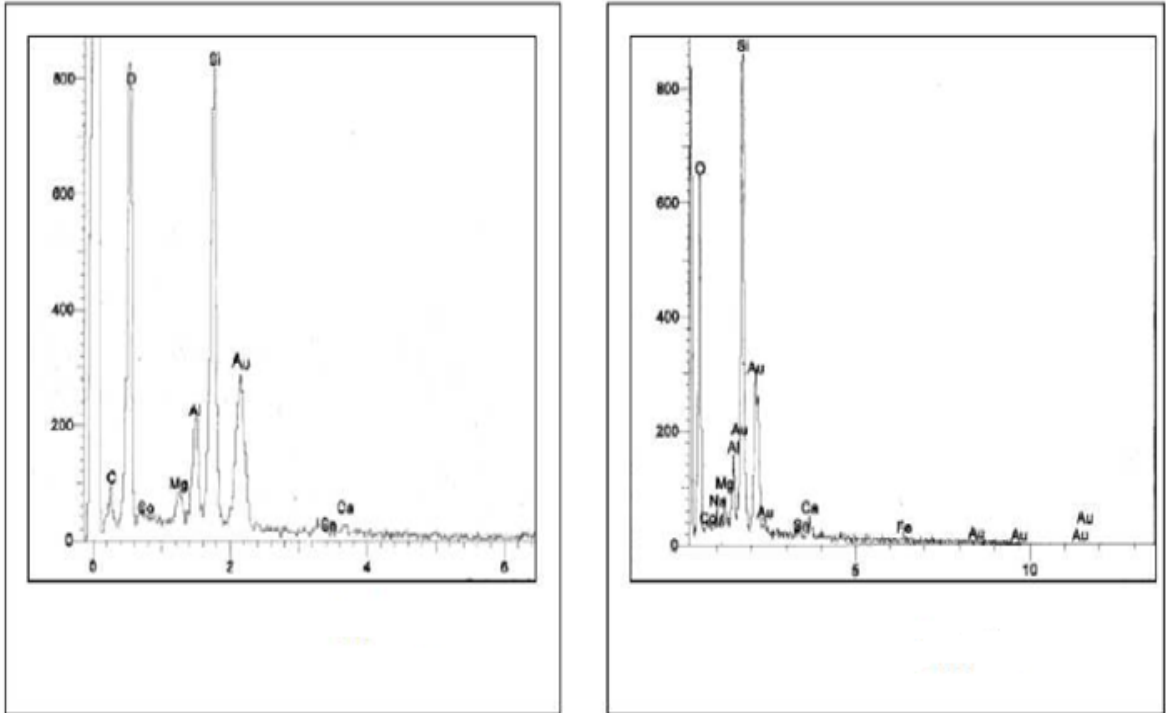
Les valeurs des modules de finesse confirment que sable dunaire est plus fin comparativement au sable alluvionnaire. On constate que le sable dunaire est relativement moins propre que le sable alluvionnaire, et que les deux sables utilisés sont très propres si l'on se réfère aux valeurs de l'équivalent de sable préconisé par les normes.

Les valeurs moyennes des masses volumiques apparentes montrent que le sable alluvionnaire est plus dense comparativement au sable dunaire.

Si nous comparons ces sables aux granulats d'un béton traditionnel (gravier+ sable), on remarque que leur diamètre maximal est plus faible d'où le pourcentage des vides est assez élevé, ce qui impose l'utilisation des fillers pour combler les vides.

#### **II.2.1.6. Analyse chimique**

Ces analyses concernent la détermination des proportions de matières organiques, sulfates, sulfures et chlorures contenus dans les sables, ces éléments présents au-delà de certains seuils peuvent être nuisibles aux propriétés du béton. Les figures II.2.a et II.2.b présentent les spectres d'analyses chimiques des deux sables utilisés dans cette étude, provenant de la même région, tirés des travaux de [23].



a : (SD)

b : (SA)

Figure II.2 : Analyse minéralogique des deux sables [23].

Les résultats des analyses chimiques de ces deux sables, alluvionnaire et dunaire, menée par rayon X indique la présence d'atomes de Si et O, ce qui correspond à la présence de l'espèce  $SiO_2$  (silice), le plus grand pourcentage de l'atome Si nous indique que  $SiO_2$  est l'espèce prépondérante, les autres valeurs de pourcentages atomiques nous permettent d'établir que les deux sables contiennent aussi quelques traces, en comparaison avec  $SiO_2$ , d'espèces calcaïques et magnésiennes.

### II.2.2. Caractérisation des fillers calcaires

Les fillers sont des poudres minérales dont le diamètre maximal n'excede pas  $80\mu m$ .

Dans le cadre de la valorisation de ce matériau disponible localement en abondance, nous avons choisi d'utiliser dans notre étude des fillers calcaires obtenus par tamisage des restes de concassage (au tamis  $80\mu m$ ) d'une carrière située à la sortie nord de la ville de Laghouat. Rappelons que ce type de fillers est le plus adapté aux bétons de sable et donne les meilleures performances **M. Benmalek** [24].

### II.2.2.1. Caractérisation physique

Les caractéristiques physiques des fillers utilisés dans notre étude sont regroupées dans le tableau ci-après :

**Tableau II.3 : Caractéristiques physiques des Fillers utilisés [24].**

Caractéristique	$\gamma$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\gamma_s$ (kg/m <sup>3</sup> )	e porosité	A cm <sup>2</sup> /g
Fillers calcaires	1015.40	2605.56	0.509	3205.04

La granulométrie très fine de ces fillers, donne une apparence de farine. Ils sont donc destinés à compléter la courbe granulométrique du sable dans sa partie fine et surtout à combler les vides pour donner une meilleure compacité au béton

### II.2.3 Caractérisation du ciment

Le choix d'un ciment se fait à partir de sa classe, de sa résistance, de ses caractéristiques d'hydratation, de l'agressivité du milieu...etc. D'une façon générale, de la composition du mortier et de l'usage auquel on le destine [27].

Un seul type de ciment a été employé dans l'ensemble des expérimentations, il s'agit d'un ciment CPJ CEM II/A 42.5, Mâtine ACC, provenant de la cimenterie de la wilaya de M'silla, qui est un ciment portland composé.

Comme tout matériau de construction, le ciment est appelé à subir un certain nombre d'essais normalisés. Ces essais permettent de déterminer les propriétés physiques et chimiques [29].

#### II.2.3.1. Caractérisation physico-mécanique du ciment

- **Masse volumique apparente**

C'est le rapport de la masse de l'échantillon sur son volume total apparent.

Elle est donnée par la relation suivante :

$$\gamma_{app} = M/V \dots\dots\dots II.4$$

Avec :

M : Masse de ciment mis en place dans la cellule.

$V$  : Le volume de la cellule.

Le résultat obtenu dans notre cas est:  $\gamma_{app} = 2300 \text{ kg/m}^3$ .

- **Masse volumique absolue**

Le principe de la mesure consiste à mesurer le déplacement du niveau d'un liquide inerte vis-à-vis du ciment contenu dans un récipient lorsqu'on y introduit une masse donnée du ciment. L'appareil utilisé est appelé densimètre le Chatelier. Les pesées s'effectuent avec une balance de grande précision (de l'ordre de 0.001 gramme).

La masse volumique absolue du ciment se déduit à partir de l'expression suivante [29]:

$$\gamma_s = M/Vs \dots\dots\dots \text{II.5}$$

Avec :

$M$  : la masse de ciment.

$Vs$  : le volume déplacé.

Le résultat obtenu dans notre cas est:  $\gamma_s = 3030 \text{ kg/m}^3$ .

- **Surface spécifique du ciment (NF EN 196-6)**

On appelle surface spécifique  $S$  d'une poudre, ou dite encore la finesse de mouture, est la surface exprimée par exemple en  $\text{cm}^2$ , d'un gramme de cette poudre dont tous les grains seraient développés. Cette surface est utile à connaître, car elle joue un rôle prépondérant dans le comportement physique et chimique des ciments. On utilise l'appareil de Blaine, La surface spécifique a pour expression [30]:

$$S = K \frac{\sqrt{e^3} \sqrt{t}}{\varphi (1-e) \sqrt{\eta}} \dots\dots\dots \text{II.6}$$

Avec :

$K$  : Constante de l'appareil ;

$t$  : Le temps mesuré en seconde ;

$e$  : Porosité de ciment ;

$\varphi$  : La masse volumique du ciment exprimée en  $(\text{g/cm}^3)$  ;

$\eta$  : Viscosité de l'air à la température de l'essai.

Plus la finesse est grande, plus les résistances sont précoces et élevée, mais par contre, plus les risque du retrait et par conséquent de fissuration ainsi que d'événement du ciment sont accrus [27].

Le résultat obtenu dans notre cas est:

$$S = 4550 \text{ cm}^2/\text{g}.$$

### **II.2.3.2 Analyse chimique**

L'analyse chimique sert à déterminer la composition chimique d'un ciment, ou le contrôle de l'absence de certains ions nuisibles [29]. L'analyse chimique du ciment utilisé conformément à la fiche technique du fabricant a révélé l'existence des éléments qui sont présentés en pourcentage dans le tableau II.4

**Tableau II.4:** Analyse chimique de ciment utilisé [27].

<b>Élément</b>	<b>Quantité (%)</b>
Perte au feu	8,00 - 10,00
Résidu insolubles	0,70 - 0,50
Teneur en sulfates SO <sub>3</sub>	2,10 - 2,50
Teneur en oxyde de magnésium MgO	1,00 - 1,30
Teneur en chlorures	0,01 - 0,03

Ce ciment est constitué d'oxydes minéraux dont les principaux sont la chaux (CaO) à fonction basique et la silice (SiO<sub>2</sub>) à caractère acide. On trouve également l'alumine (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) et le fer (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) [31].

- **Composition du clinker**

Le clinker, obtenu à la sortie des fours à la suite de la cuisson des matières premières constituées principalement de calcaire, d'argile et de matières de correction, est un matériau hydraulique se présentant sous la forme de petits nodules très durs composés essentiellement de quatre phases cristallines qui sont présentées dans le tableau suivant [27]:

**Tableau II.5:** Composition du clinker.

Masse volumique absolue ( $p_s$ ) ( $\text{kg/m}^3$ )	Surface spécifique (A) ( $\text{cm}^2/\text{g}$ )	Temps de prise			
			Début (mn)	Fin (mn)	Durée (mn)
		à froid	2h 60mn	4h 10mn	1h 20mn
3030	4550 $\text{cm}^2/\text{g}$ .	à chaud	4h 10mn	1h 52mn	40mn

On remarque que le clinker à un pourcentage élevé de  $\text{C}_3\text{S}$ , donc il présente une forte résistance initiale.

### II.2.3.3 Consistance du ciment (NF EN 196-3)

D'après la norme NF EN 196-3, la pâte pure est dite de consistance normale lorsque, placée dans un moule tronconique et sous l'appareil de VICAT, elle retient l'extrémité inférieure de la sonde de consistance agissant sous son propre poids, à une distance de  $(6\pm 1\text{mm})$  du fond du moule. La quantité d'eau à mettre pour obtenir ce résultat se détermine par tâtonnements successifs. Elle est généralement comprise entre 25 et 28% du poids du ciment [32].

Le résultat obtenu dans notre cas est : **26,75%**.

### II.2.3.4 Prise du ciment (NF EN 196-3)

L'essai consiste à confectionner une pâte de consistance normale, à en emplir un anneau tronconique normalisé, puis à déterminer le début de prise à l'aide de l'aiguille de Vicat. Le début de prise est l'intervalle de temps qui s'écoule entre l'instant où le liant a été mis en contact de l'eau de gâchage et celui où l'aiguille de Vicat de  $(300\pm 1 \text{ g})$  ne pénètre plus jusqu'au fond du moule. La fin se situe au moment où la pâte pure supporte le poids de l'aiguille sans que celle-ci ne laisse de trace visible [32].

Le résultat obtenu dans notre cas est donné dans le tableau II.6

**Tableau II.6: Propriétés physiques du ciment utilisé**

Composé	C <sub>3</sub> S	C <sub>2</sub> S	C <sub>3</sub> A	C <sub>4</sub> AF
Quantité (%)	55,00 - 62,00	13,00 - 22,00	6,50 - 8,20	10,00 - 13,00

- **Essai mécanique (NF EN 196-1)**

Les ciments courants sont classés en fonction de leurs résistance mécanique à la compression exprimées en MPa à 28 jours, cette résistance est mesuré sur des éprouvettes prismatiques 4\*4\*16 cm en mortier 1/3 (une partie de ciment pour trois parties de sable), conformément à la norme NF EN 196- 1[33]. Le nombre d'éprouvettes était égale au nombre de six. Les résultats moyens obtenus en compression sont :

$$f_{c28j} = 42,5 \text{ MPa}$$

#### **II.2.4. Eau de gâchage**

L'eau de gâchage utilisée est une eau potable, donc d'après la norme XP P 18-211, elle est considérée comme appropriée pour la fabrication du béton. L'analyse chimique de cette eau, effectuée au laboratoire de l'EPDEMIA, révèle qu'elle est dépourvue des excès de sels, de sulfures et d'acides.

#### **II.2.5. Adjuvants**

L'adjuvant utilisé est un super plastifiant de type "SEKAPLAST- SP. C'est une solution liquide qui se dilue facilement dans l'eau de gâchage. On a utilisé un dosage égale à 2% du poids du ciment, c'est le dosage recommandé par la fiche technique du fabricant pour les bétons.

#### **II.2.6. Caractérisation des copeaux de bois**

Les copeaux de bois que nous avons utilisés dans la présente étude proviennent du Sapin (photon°1). Ce choix se justifié par l'importance de son utilisation dans le domaine de la construction. De plus, les copeaux de Sapin présentent plusieurs avantages : sa faible masse volumique et sa faible conductivité thermique.

Comme il a été indiqué dans le chapitre précédent, tous les bois n'ont pas la même masse volumique, et celle-ci varie non seulement d'une essence à l'autre, mais aussi au sein d'une même espèce. C'est pour cette raison que les copeaux de bois utilisés dans cette étude ont été ramenés de la même

menuiserie, et issus des mêmes machines, et cela dans le but de respecter certains impératifs de notre matériau qui sont en particulier :

1. Une régularité dimensionnelle : en effet la granulométrie influe sur le comportement du composite surtout sur les variations dimensionnelles [30].
2. Une teneur en eau constante lors de leur utilisation pour s'assurer que les dosages en eau et en copeaux sont constants [23].

En général les copeaux de bois utilisés dans notre étude ayant une limite granulométrique supérieure voisine de 10 mm et une limite granulométrique inférieure voisine de 0.016mm.



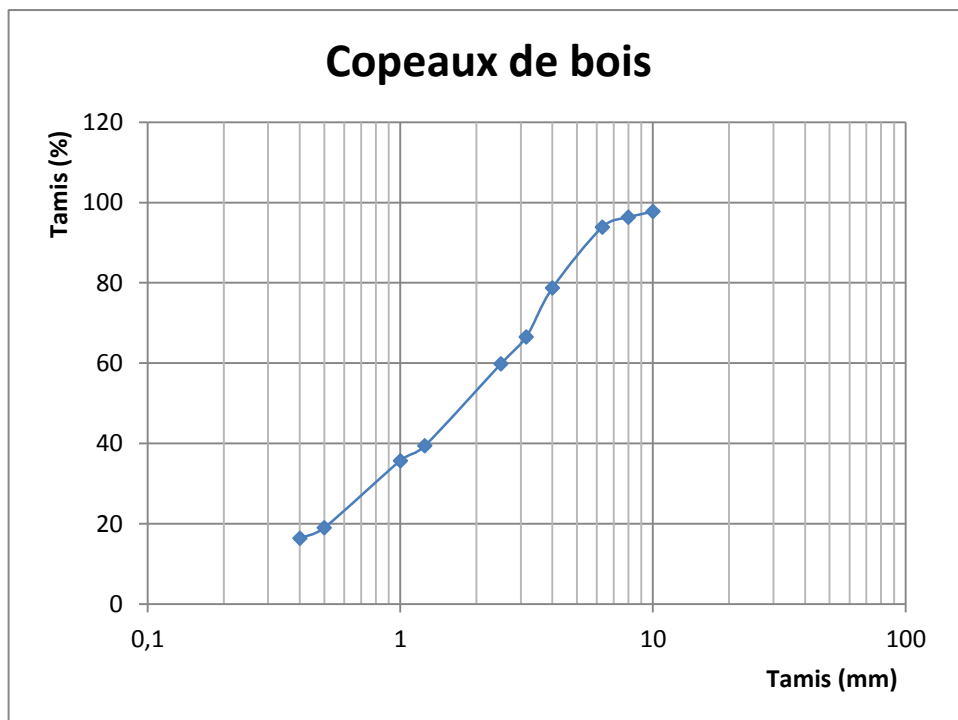
*Photo n° 1 : Aspect général des copeaux de bois utilisés*

#### **II.2.6.1 Analyse granulométrique (NF P18-560)**

L'analyse granulométrique des copeaux de bois est effectuée selon la norme NF P 18-560. Les résultats sont représentés dans le tableau II.7 et illustrés par la courbe de la figure II.3 :

**Tableau II.7 :** Analyse granulométrique par tamisage à sec des copeaux de bois.

Échantillon : Copeaux de bois					
Référence dossier : NF P 18-560					
M = 200 g					
Module	Dimension des tamis (mm)	Masse refusée partielle (g)	Masse refusée cumulée (g)	% refus cumulé	% passant
41	10	4.50	4.50	2.25	97.75
40	8	2.90	7.40	3.70	96.30
39	6.3	4.90	12.30	6.15	93.85
37	4	30.30	42.60	21.30	78.70
36	3.15	24.40	67.00	33.50	66.50
35	2.5	13.40	80.40	40.20	59.80
32	1.25	40.80	121.20	60.60	39.40
31	1	7.40	128.60	64.30	35.70
28	0.5	33.40	162.00	81.00	19.00
27	0.4	5.20	167.20	83.60	16.40
-	Le reste	29.20	196.40	98.20	1.80



**Figure II.3 :** Analyse granulométrique des copeaux utilisés.

On remarque que les copeaux utilisés ont une granulométrie continue, on trouve à la fois, des grains très fins sous forme de poudre et de gros granulats allant jusqu'à 10 mm

### II.2.6.2 Masse volumique apparente

La mesure de la masse volumique apparente des copeaux est très délicate, plusieurs facteurs peuvent influencer cette valeur : l'état d'empilement, la granulométrie et la teneur en eau [34],[24].

Pour notre étude, nous avons calculé la masse volumique des copeaux de bois avec le dispositif indiqué dans la figure II.4 et la valeur obtenue est la moyenne de dix essais, Le résultat obtenu dans notre cas est :

$$\gamma_{app} = 86.67 \text{ kg/m}^3$$



**Figure II.4:** Dispositif d'essai pour la détermination de la masse volumique apparente des copeaux de bois.

### II.2.6.3 Masse volumique absolue

La masse volumique absolue des copeaux de bois a été assimilée à la densité apparente du bois massif que certains auteurs nomment « densité réelle » [34],[24]. La mesure de cette densité a été effectuée sur trois blocs de bois (Sapin) massif sec de dimension connue, ramenés de la même menuiserie ou nous avons récupéré les copeaux de bois utilisés dans cette étude.

Le résultat obtenu dans notre cas est :  $\gamma_s = 535 \text{ kg/m}^3$ .

#### **II.2.6.4 Capacité d'absorption d'eau (NFP18-554)**

Cette caractéristique permet la connaissance des qualités d'absorption d'eau de mouillage des copeaux autrement dit de leurs avidités en eau[35].

Le coefficient d'absorption en eau  $C_{ab}$  a été déterminé selon les prescriptions de la norme NF P 18-554.

$$C_{ab} = \frac{M_h - M_s}{M_s} \times 100 \dots \dots \dots \text{II.7}$$

Avec :

$M_h$  : Masse des copeaux après immersion pendant au moins 48 h.

$M_s$  : Masse des copeaux secs.

Le résultat obtenu dans notre cas est :

$$C_{ab} = (358 \pm 10)\%$$

#### **II.2.7. Caractérisation du produit de traitement des copeaux de bois**

Le traitement des copeaux de bois a fait l'objet de plusieurs recherches dont le but était, en particulier, d'assurer une stabilité chimique, de limiter la capacité d'absorption d'eau et de minimiser les variations dimensionnelles très élevées qui caractérisent généralement les bétons de bois. Il existe donc plusieurs procédés de traitement ; physiques, chimiques et thermiques dont on a décrit quelque uns dans le premier chapitre.

Pour notre étude, nous avons choisi un lait au ciment, le ciment utilisé est le même ciment qui a été employé dans la composition de la matrice (CPJ-CEMII 42.5).

Le deuxième type de traitement est un procédé mixte qui consiste à l'association d'un traitement d'enrobage par lait au ciment suivi d'une compression.



*Photo n° 2 : Copeaux de bois après traitement*

### **II.3. Techniques expérimentales**

Après avoir déterminé les principales caractéristiques des constituants, nous avons dressé notre programme expérimental qui se divise en 03 parties essentielles :

1. Caractérisation des bétons de sable à base de copeaux de bois non traités;
2. Traitement des copeaux de bois;
3. Etude de l'influence des deux traitements sur le comportement physico-mécanique de notre composite.

#### **II.3.1. Essais sur béton frais**

- **Essai de l'affaissement au cône d'Abrams (Slump Test)**

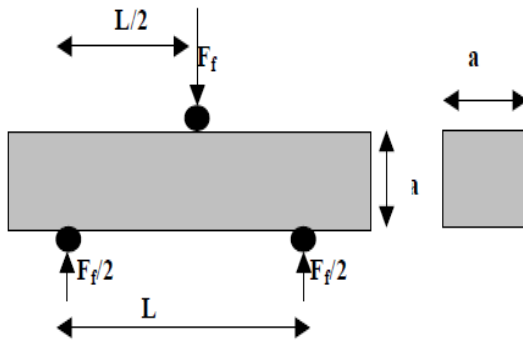
Cet essai a fait l'objet de la norme française NEP 18-451[36]. L'indication donnée par l'essai est l'affaissement mesuré en cm le relie qualitativement au mode de mise en œuvre. Plus l'affaissement est important et plus le béton est maniable. Son utilisation est d'une simplicité record.

- **Essais sur béton durci**

- **Essai de rupture par flexion**

L'essai s'effectue sur une machine automatique CBR à anneaux dynamométriques 5 et 10KN conformément à la norme NFP 18-407 relative à l'essai d'écrasement en traction par flexion, sollicitant l'éprouvette à une flexion 3 points L'essai consiste à faire centrer la charge progressivement jusqu'à rupture à une vitesse de 12KN/sec, et enregistrer la charge maximale supportée par l'éprouvette.

Cet essai est réalisé sur des éprouvettes prismatiques 4x4x16 cm<sup>3</sup> de trois à quatre éprouvettes pour chaque âge et chaque composition de béton.



**Figure II.5:** Dispositif utilisé  
en flexion (3 points)



**Photo n°3 :** Appareil de  
mesure de la Flexion(03 points)

- **Essai de rupture par compression**

L'essai consiste à placer les demi-éprouvettes obtenues lors de l'essai de flexion entre les plateaux de la presse de telle manière que l'éprouvette soit comprise par ses faces latérales de moulage sous des sections (40mm x 40mm). Cette méthode est référencée par la norme EN196-1. L'essai s'effectue sur une presse hydraulique de type "CONTROLS" à double quadrant ayant une capacité maximale de 2000 KN, sa mise en marche est réglée avec une vitesse de charge constante de 0.5 MPa par seconde. La résistance à la compression est lue directement au moyen d'un afficheur automatique.

Nous avons utilisé les moules prismatiques 4x4x4 cm<sup>3</sup> pour les essais concernant béton de sable témoin, et les cubes 10x10x10cm<sup>3</sup> pour les essais sur le béton de sable à base de copeaux de bois. Cela est justifié par le changement de la taille des grains causé par l'introduction des copeaux de bois dans le béton de sable.



**Photo n° 4** : Appareil de mesure de la compression

- **Essai de retrait**

Le but de cet essai est de suivre l'évolution du retrait au cours du temps après prise et de déduire les lois de progression de ce retrait. Les mesures de retrait ont été effectuées sur des éprouvettes 4x4x16 cm<sup>3</sup> conformément à la norme NFP15 433[17]. Ces éprouvettes, au nombre de trois (03) par composition, sont, après démoulage à 24 heures, placées dans un rétractomètre munis d'un comparateur qui nous permet de mesurer le retrait à chaque âge (photo n°5 de l'annexe). La conservation des éprouvettes est faite à l'air libre, à une température variant entre 25 °C et 30°C..



Photo n°05 : Appareil de mesure du retrait

- **Essai d'absorption par immersion**

Le principe de l'essai consiste à mettre les éprouvettes dans l'étuve jusqu'à la stabilisation du poids (à partir de 28 jours), ensuite les immerger totalement dans l'eau à  $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$  pendant une durée de 24 heures, c'est-à-dire, jusqu'à saturation du matériau afin de calculer le volume des vides du béton. L'absorption par immersion consiste à déterminer le poids final après saturation et cela pour calculer le volume des vides (porosité) du béton durci.

$$\gamma_{w(\text{porosité})} = \frac{Ma - Ms}{V_t} * 100 \dots \dots \dots \text{II.8}$$

Où : Ms : masse de l'éprouvette sèche (en gramme)

Ma : masse de l'éprouvette après saturation (en gramme)

Vt : Volume de l'éprouvette ( en cm<sup>3</sup>).

## **II.4. Conclusion**

D'après les différents essais de caractérisation des matériaux, Les conclusions qu'on peut tirer sont :

1. Le ciment utilisé est le CPJ-CEMII/A 42.5 de poids spécifique égal à la moyenne habituelle, avec une finesse et une prise satisfaisante aux spécifications des ciments courants.
2. Le mélange de sable alluvionnaire- dunaire est un sable propre, plus dense et plus compact que les deux sables, ce qui va probablement augmenter les performances des bétons élaborés. L'eau utilisée étant une eau potable, donc il convient bien pour le gâchage de béton.
3. La caractérisation des copeaux de bois utilisés a relevé un caractère hydrophobe important, une faible masse volumique, et une granulométrie continue.

Après avoir déterminé les principales caractéristiques des constituants, nous avons dressé notre programme expérimental qui se divise en trois "03" parties essentielles :

1. Optimisation de la composition du béton de sable a base de copeaux de bois non traité avec des éprouvettes prismatiques (10x10x10) (cm<sup>3</sup>) et des éprouvettes (4x4x16) (cm<sup>3</sup>).
2. Traitement des copeaux de bois ;
3. Caractérisation physico-mécanique des composites avec des éprouvettes prismatiques (4x4x16) et (10x10x10) (cm<sup>3</sup>).



# CHAPITRE III

CARACTERISATION DES  
BETONS DE SABLE ALLEGES  
PAR DES COPEAUX DE BOIS  
NON TRAITES

## CHAPITRE III

# CARACTERISATION DES BETONS DE SABLE ALLEGES PAR DES COPEAUX DE BOIS NON TRAITES

### III.1. Introduction

Le bois est utilisé dans l'industrie, la menuiserie, les charpentes ou le chauffage génère une grande quantité de déchets. L'utilisation de copeaux de bois dans la fabrication de bétons légers contribue à valoriser certains sous-produits de l'industrie du bois.

Ces déchets ont été utilisés comme granulats pour remplacer partiellement les granulats naturels dans la production des blocs de maçonneries légers. Toutefois la différence entre les granulats du béton légers et ceux du béton ordinaire réside dans la différence de la quantité dans le mélange à concevoir, car ces granulats légers influencent la masse volumique et par conséquent la résistance à la compression et cela est due principalement au caractère absorbant des granulats légers donc il est difficile de mesurer la quantité de l'eau de gâchage nette ou le rapport effectif Eau/Ciment.

Le composite étudié dans ce chapitre est un béton de sable allégé par ajout de copeaux de bois non traités, il s'agit donc d'optimiser le dosage des copeaux en veillant sur le respect d'un compromis entre résistance à la compression, masse volumique ainsi que variations dimensionnelles qui représente le défaut majeur des béton de bois.

### III.2. Optimisation du béton de sable à base de copeaux de bois non traités

#### III.2.1. Composition de béton de sable

La composition optimale du béton de sable, prise comme référence pour notre étude est le résultat des travaux de **M.Gotteicha.2005** [6] qui a adopté une méthodologie inspirée des travaux effectués par **J.J Chauvin** et **G.Grimaldi** [3]. Partant d'un sable donné (sable mélange alluvionnaire-dunaire) et d'un dosage en ciment fixé à priori ( $c=350\text{kg/m}^3$ ), la quantité d'ajout (fillers calcaires) est définie pour obtenir la compacité et la résistance maximale de notre béton.

La démarche suivie est donc la suivante :

- Optimisation de la compacité ;
- Recherches des caractéristiques rhéologiques à l'état frais (Bonne maniabilité) ;
- Etude du béton à l'état durci (recherche des résistances optimales à la compression et à la flexion).

La composition optimale du béton de sable retenue correspond aux dosages suivants:

- Ciment -----350 kg/m<sup>3</sup>
- Sable -----1470 kg/m<sup>3</sup>
- Eau -----210 l/m<sup>3</sup>
- Fillers-----135 kg/m<sup>3</sup>
- SP -----2 % (Par rapport au poids du ciment)

### **III.2.2. Composition de béton de sable allégé par des copeaux de bois non traités**

L'ajout de copeaux de bois est l'élément essentiel pour l'allègement de notre matériau, nous avons l'objectif à mettre un dosage optimal pour obtenir la densité désirée c'est-à-dire rester dans le domaine des bétons légers. Nous prendrons pour valeur cible une densité se situant entre 1.5 et 1.6 correspondant à un béton léger de structure selon le classement de RILEM [25].

Les proportions de copeaux de bois envisagées varient de 0 et 100 kg par mètre cube de béton.

### **III.2.3. Etude des bétons frais**

- **Préparation des éprouvettes**

La procédure généralement utilisée pour la confection des bétons à granulats légers est l'introduction des granulats à l'état pré-mouillés, mais cette méthode n'a pas donné des résultats satisfaisants avec les granulats de bois

**[Bederina.M et aL].** Il a été constaté que les copeaux restaient agglomérés en petites boules difficiles à disperser du fait de leur faible épaisseur, et le temps de malaxage nécessaire est très long.

En définitive, on a opté pour la réalisation des mélanges en introduisant les copeaux à l'état sec. Nous avons procédé comme suit : Le sable, le filler et le ciment sont mélangés à sec pendant 3 minutes, les copeaux sont ensuite jetés en pluies progressivement dans le mélange sec, tout en continuant le malaxage manuellement.

Cette étape, qui dure entre deux à trois minutes selon le pourcentage des copeaux, est très importante et permet l'homogénéisation du mélange. L'eau de gâchage est ensuite apportée graduellement sans interrompre le malaxage pendant deux autres minutes.

- **Conservation des éprouvettes**

Après malaxage, le matériau est mis en moule, les éprouvettes sont conservées à l'air libre dans le laboratoire en les couvrant avec un film plastique. Au bout de 24 heures, les éprouvettes sont démoulées ensuite elles sont conservées à l'air du laboratoire jusqu'au jour de l'essai.

### **III.2.3.1. Etude de la maniabilité**

Il existe plusieurs facteurs qui affectent la maniabilité du béton léger. Les deux paramètres les plus intéressants sont :

- La variation de la quantité d'eau initialement absorbée par les granulats légers ;
- La quantité d'eau de gâchage.

L'essai classique utilisé pour la détermination de la maniabilité est l'essai d'affaissement au cône d'ABRAMS [35].

Après plusieurs essais préliminaires sur la composition du béton de sable adoptée, il s'est avéré qu'une correction légère sur le rapport E/C s'impose.

En effet la première gâchée d'essai avec un rapport E/C = 0.60 a donné un béton plutôt ferme (affaissement égale a 4cm) alors qu'un rapport E/C=0.65 a améliorée nettement la maniabilité.

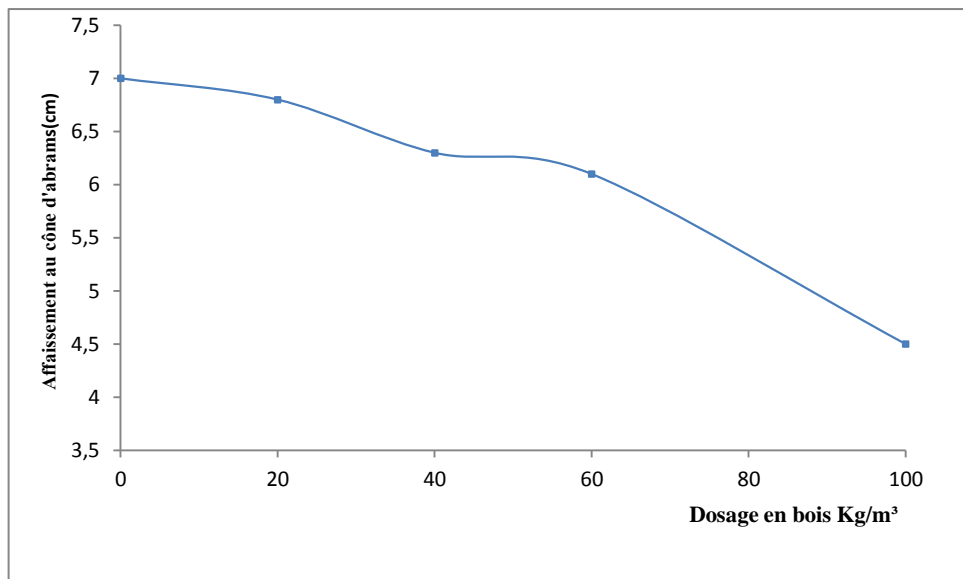
Les différents valeurs des quantités d'eau totales nécessaire pour la confection du béton, ainsi que les différents valeurs des rapports  $E_T/C$  relatif à chaque composition et l'évolution de la maniabilité du béton de bois en fonction du dosage des copeaux sont regroupés dans le tableau III.1.

**Tableau III.1 : Evolution de la maniabilité en fonction du dosage en copeaux de bois**

Teneur en copeaux de bois (kg/m <sup>3</sup> )	Ciment (kg/m <sup>3</sup> )	Sable (kg/m <sup>3</sup> )	Fillers (kg/m <sup>3</sup> )	Eau (l/m <sup>3</sup> )	e* (l/m <sup>3</sup> )	Eau Total (l/m <sup>3</sup> )	ΔH (cm)
0	350	1470	135	227.5	0	227.5	7.0
20	350	1470	135	227.5	71.2	298.7	6.80
40	350	1470	135	227.5	143.2	370.7	6.30
60	350	1470	135	227.5	214.8	442.3	6.10
100	350	1470	135	227.5	358	585.5	4.50

e\* : Absorption d'eau massique du bois

Dans la figure III-1, nous présentons la variation de la maniabilité en fonction du dosage en bois.



**Figure III-1: Evolution de la maniabilité en fonction du dosage en copeaux de bois.**

D'après les résultats, on constate que l'introduction des copeaux de bois pour différents dosages diminue l'affaissement et par conséquent la maniabilité.

- Pour le mélange ayant le dosage en copeaux de bois au-delà de 60 kg/m<sup>3</sup> on remarque que la composition de béton perd sa plasticité et les granulats apparaissent complètement des enrobés, cela peut s'expliquer par le

volume apparent des copeaux qui est très important par rapport aux autres constituants du composite.

**III.2.3.2. Etude de la masse volumique du béton frais**

La masse volumique du béton de bois à l'état frais est déterminée expérimentalement en utilisant la relation :

$$\gamma_{app} = (M-M') / V \text{ (kg/m}^3\text{) .....(III.1)}$$

Avec:

M: masse du récipient rempli juste après la fin de malaxage

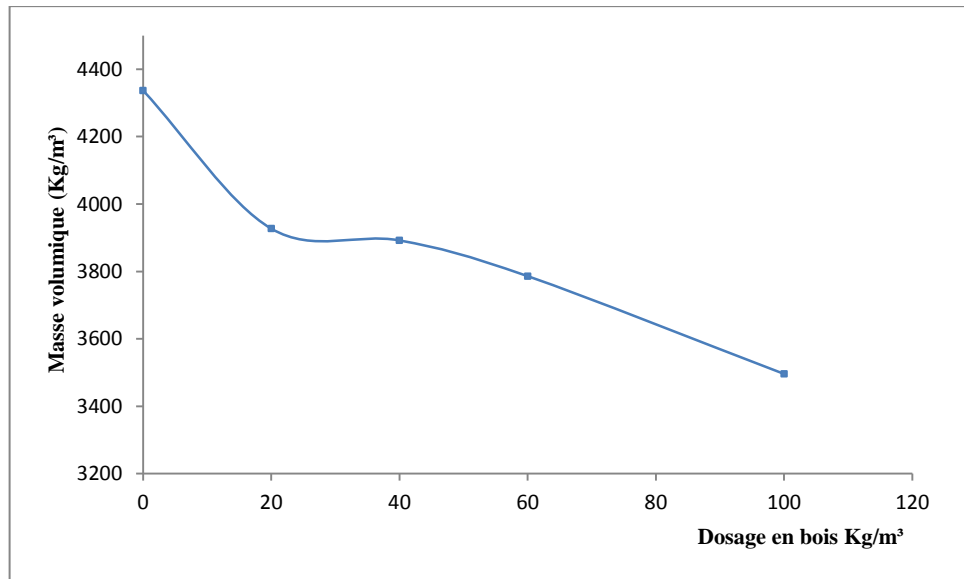
M' : masse du récipient vide

V : volume du récipient.

**Le tableau III.2** regroupe les valeurs de la masse volumique du béton frais pour les différents dosages en copeaux.

*Tableau III.2 : Masses volumiques du béton de bois à l'état frais en fonction du dosage en copeaux.*

<b>Dosage en bois (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b><math>\gamma</math> ( kg/m<sup>3</sup>)</b>
0	4 337±7
20	3 927±5
40	3 892±12
60	3 786±8
100	3 496±4



**Figure III.2:** Evolution de la masse volumique du béton à l'état frais en fonction du dosage en bois

D'après les résultats regroupés dans le tableau (III-1) et qui sont représentés dans la figure (III.1) la masse volumique est inversement proportionnel avec le dosage de copeaux de bois.

La faible masse volumique des particules de bois est un facteur essentiel qui explique ce phénomène.

#### **III.2.4. Etude des bétons à l'état durci**

Il s'agit en première étape de suivre le comportement mécanique de béton de sable sans copeaux de bois et en seconde étape d'étudier le comportement mécanique des bétons de bois en fonction de dosage des copeaux de bois.

Les essais principaux effectués sur le béton durci en fonction de son âge sont :

- Mesure de la masse volumique apparente ;
- Mesure de la résistance à la compression ;
- Mesure de la résistance à la flexion ;
- Mesure du retrait.

**III.2.4.1. Masse volumique apparente**

La masse volumique des bétons légers est l'une des caractéristiques les plus importantes. Sur la base de cette caractéristique nous pouvons classer notre béton et indiquer son domaine d'application.

La masse volumique prend en compte ,dans l'estimation du volume, les vides ménagés par la porosité du matériau.

La relation de détermination de la masse volumique à l'état durci est:

$$\gamma'_{app} = M / V \text{ (kg/m}^3\text{)} \dots\dots\dots(\text{III.2})$$

Avec :

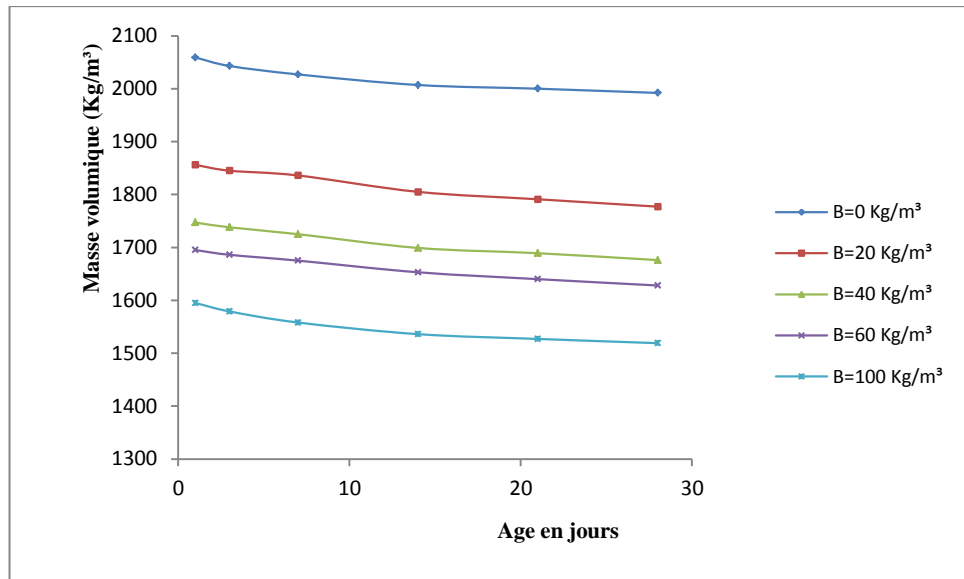
M : masse de l'éprouvette 10x10x10 cm<sup>3</sup> déterminée par pesée.

V : volume de l'éprouvette déterminé par mesure de ses dimensions.

L'évolution de la masse volumique pour les différentes compositions étudiées en fonction de l'âge en jours à l'état durci est regroupée dans le tableau **III-3** et représentée dans la figure **III-3**.

**Tableau III.3:** Evolution de la masse volumique (kg/m<sup>3</sup>) en fonction de l'âge.

<b>Dosage en bois (kg/m<sup>3</sup>)</b>		<b>0</b>	<b>20</b>	<b>40</b>	<b>60</b>	<b>100</b>
		<b>Age en jour</b>	1	2059	1856	1747
3	2043		1845	1738	1686	1579
7	2027		1836	1725	1675	1558
14	2007		1805	1699	1653	1536
21	2000		1791	1689	1640	1527
28	1992		1777	1676	1628	1519

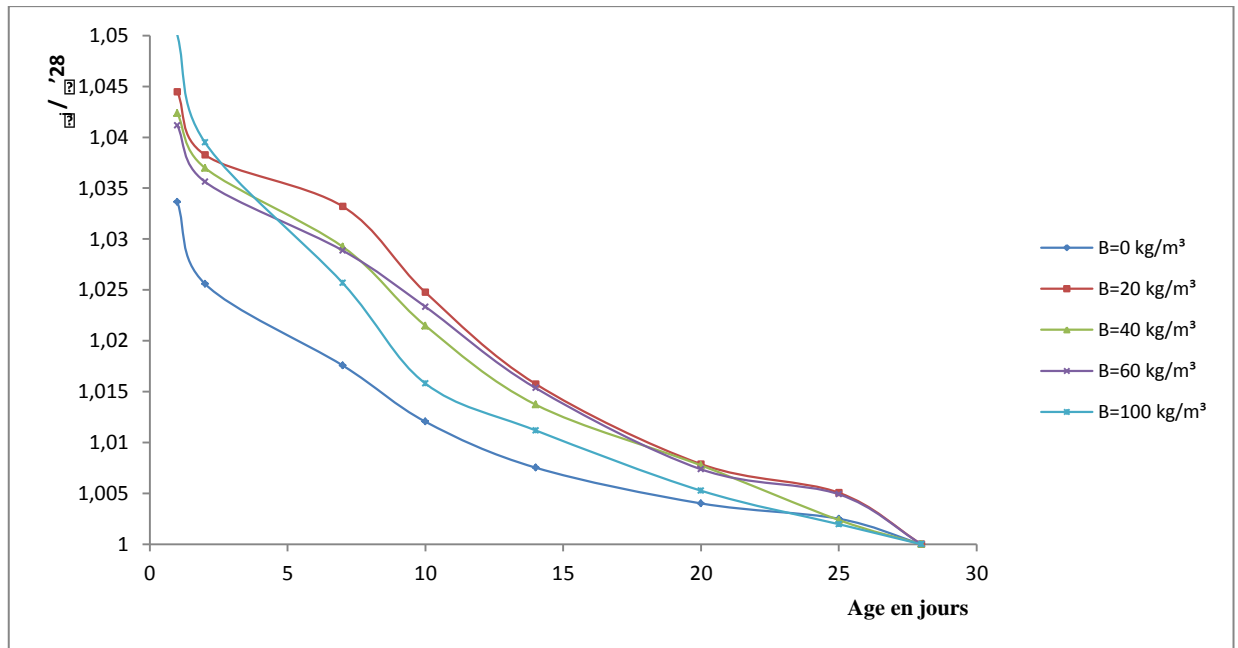


**Figure III.3:** Evolution de la masse volumique en fonction de l'âge

D'après les tableaux III-3 et la figure III-3 On remarque que :

- ✓ Les courbes relatives aux dosages sont presque semblables.
- ✓ La masse volumique diminue considérablement en augmentant le pourcentage des copeaux de bois, Cette diminution est probablement à cause du séchage, donc une perte de quantité d'eau absorbée par les copeaux de bois.
- ✓ On remarque aussi que cette diminution est plus rapide au jeune âge puis elle commence à se ralentir.

Pour examiner l'écart de la diminution de la masse volumique en fonction de la durée de conservation des différents types de béton de bois étudiés, nous avons tracé les courbes de la figure III.4 qui présentent la variation, dans le temps, du rapport entre la masse volumique au jour ( $\gamma_j$ ) et la masse volumique à 28 jours ( $\gamma'_{28}$ ).



**Figure III.4 :** Variation du rapport  $\gamma_1 / \gamma_{28}$  en fonction du temps

Il est nettement clair selon la figure (III-4) que la perte de masse est plus importante dans les premiers jours pour les forts pourcentages en copeaux de bois. Cela est peut-être dû à la forte porosité du bois, et l'évaporation d'une quantité importante d'eau au jeune âge.

### III.2.4.2. Résistance mécanique

Nous avons mesuré la résistance mécanique à la compression ( $R_c$ ) et la résistance à la flexion ( $R_f$ ) comme expliqué au chapitre précédent. Les dosages de chaque constituant sont ceux qui ont été utilisés pour l'étude de la densité.

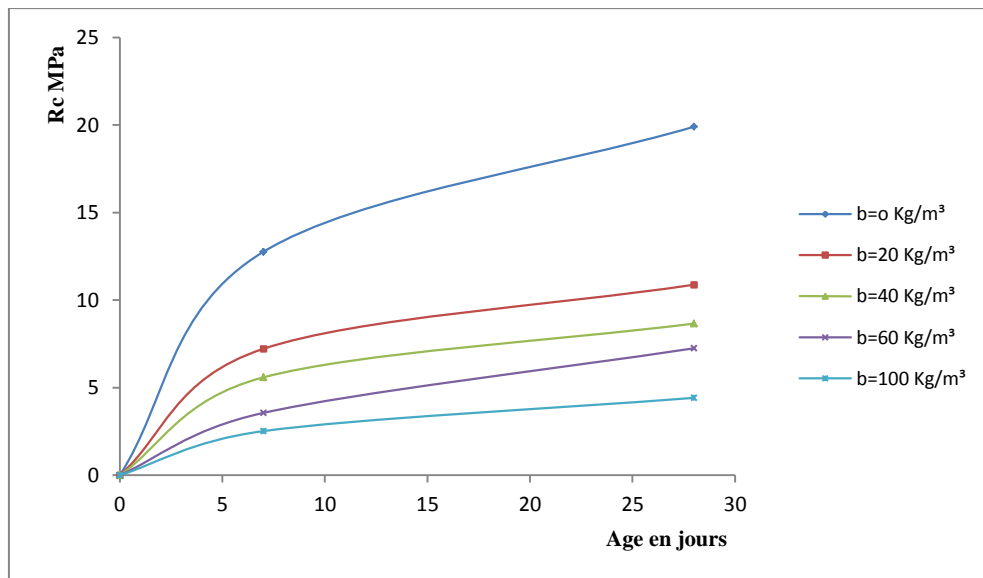
- **Résistance à la compression**

Cet essai est effectué pour différents dosages de copeaux et pour différents âges d'essai. Les mesures ont été effectuées sur les six (06) demi- éprouvettes prismatiques ( $4 \times 4 \times 16$ )  $\text{cm}^3$  issues de l'essai de flexion.

Les résultats des essais sont détaillés dans le tableau III.4 et illustrés par les courbes de la figure III.5.

**Tableau III.4** Résistance à la compression  $R_c$  en fonction du temps et du dosage en bois non traités

Dosage en bois (kg/m <sup>3</sup> )	$R_c$ (MPa)	
	7 j	28 j
0	12.76 ± 0.46	20.00 ± 0.26
20	7.22 ± 0.23	10.88 ± 0.17
40	5.59 ± 0.16	8.66 ± 0.56
60	3.56 ± 0.45	7.25 ± 0.74
100	2.52 ± 0.51	4.42 ± 0.41



**Figure III.5** : Evolution de la résistance à la compression en fonction du dosage en copeaux de bois non traités et de l'âge.

D'après la figure (III-5), nous remarquons que :

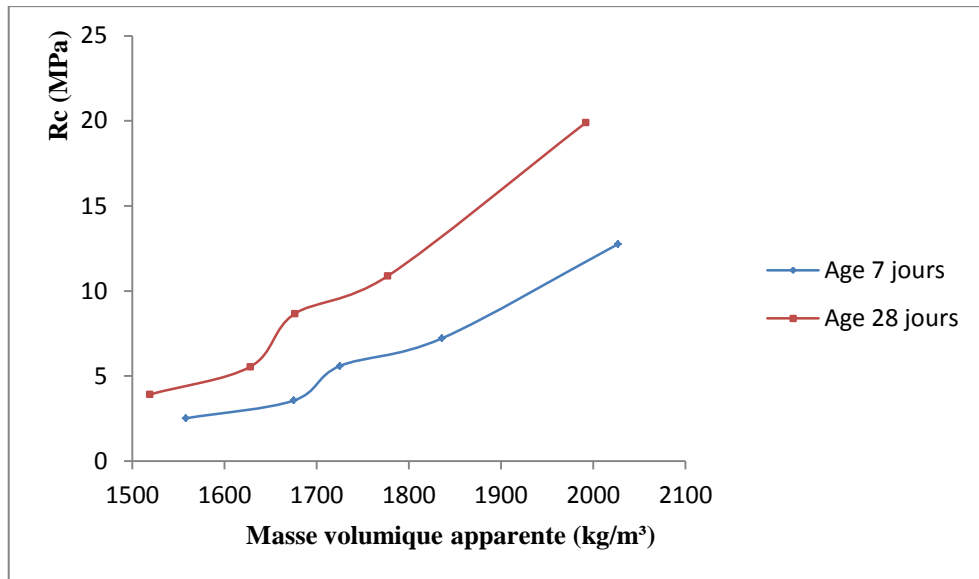
- ✓ La résistance à la compression diminue avec l'augmentation du dosage des copeaux de bois, cette même conclusion est vérifiée par toutes les études de la littérature.

- ✓ Les résistances les plus élevées sont atteintes dans le béton témoin, ce qui explique son effet négatif de copeaux de bois sur la résistance à la compression.
- **Evolution de la résistance à la compression en fonction de la masse volumique**

Nous présentons dans le tableau III.5 les différentes valeurs des résistances à la compression en fonction de la masse volumique apparente du béton ainsi qu'en fonction de l'âge de l'éprouvette.

**Tableau III.5:** Variation de la résistance à la compression en fonction de la masse volumique et de l'âge

Teneur en copeaux de bois (kg/m <sup>3</sup> )	Age en jours			
	7 j		28 j	
	R <sub>c7</sub>	γ <sub>7</sub>	R <sub>c28</sub>	γ <sub>28</sub>
0	12.76	2027	20.00	1992
20	7.22	1836	10.88	1777
40	5.59	1725	8.66	1676
60	3.56	1675	7.25	1628
100	2.52	1558	4.42	1519



**Figure III.6:** Variation de la résistance à la compression en fonction de la masse volumique et pour différents âge

D'après la figure III.6, les courbes ont une allure croissante, l'évolution de la résistance à la compression est proportionnelle à la masse volumique. On remarque que pour les forts dosages en bois (60 et 100  $kg/m^3$ ), la variation de la résistance est plus grande pour le béton témoin et décroissante avec l'augmentation de dosage de bois.

- **Résistance à la flexion**

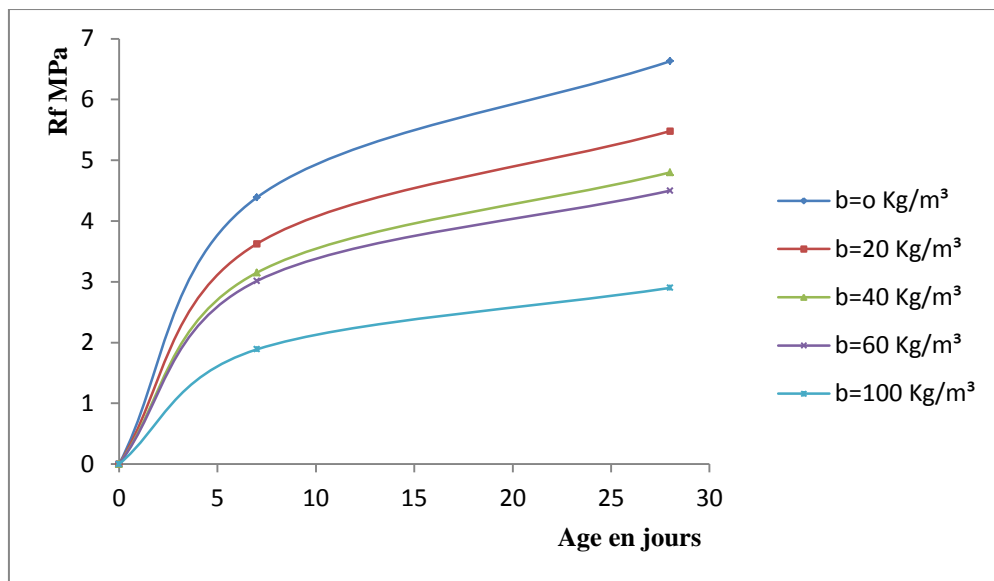
Nous avons mesuré la résistance à la flexion des différentes compositions du béton de bois par l'essai de flexion à trois points.

- **Evolution du  $R_f$  en fonction du temps**

Les résultats des essais sur les bétons de bois sont détaillés dans le tableau III.6 et illustrés par les courbes de la figure III.8.

**Tableau III.6 :** Résistance à la flexion  $R_f$  en fonction du temps et du dosage en bois

Dosage en bois	$R_f$ (MPa)	
	7j	28j
0	4,39 ± 0.66	6,63 ± 1.01
20	3,63± 0.45	5,48 ± 0.75
40	3,15 ± 0.15	4,80 ± 0.82
60	3,01± 0.10	4,50 ± 0.64
100	1,89 ± 0.12	2,90 ± 0.46



**Figure III.7:** Evolution de la résistance à la flexion en fonction du dosage en copeaux non traités et de l'âge.

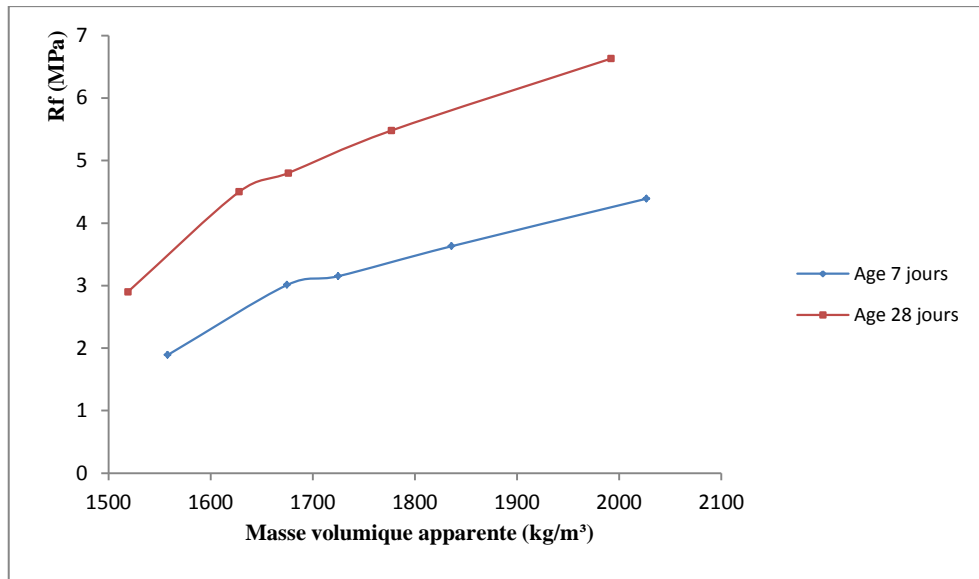
D'après les figures (III.7) nous remarquons que :

- ✓ La résistance à la flexion diminue avec l'augmentation de dosage des copeaux de bois, cette même conclusion est vérifiée par toutes les études de la littérature.
- ✓ Les résistances les plus élevées sont atteintes dans le béton témoin, ce qui explique son effet négatif de copeaux de bois sur la résistance à la compression
- **Evolution de la résistance à la flexion en fonction de la masse volumique**

Nous présentons dans le tableau III.7 les différentes valeurs des résistances à la flexion en fonction de la masse volumique apparente des bétons de bois pour différents dosages en bois et à différents âges.

**Tableau III.7:** Variation de la résistance à la flexion en fonction de la masse volumique et pour différents âge

Dosage en bois (kg/m <sup>3</sup> )	Age en jours			
	7 j		28 j	
	R <sub>f 7</sub>	γ <sub>7</sub>	R <sub>f 28</sub>	γ <sub>28</sub>
0	4,39	2027	6,63	1992
20	3,63	1836	5,48	1777
40	3,15	1725	4,80	1676
60	3,01	1675	4,50	1628
100	1,89	1558	2,90	1519



**Figure III.8:** Variation de la résistance à la flexion en fonction de la masse volumique et pour différents âges

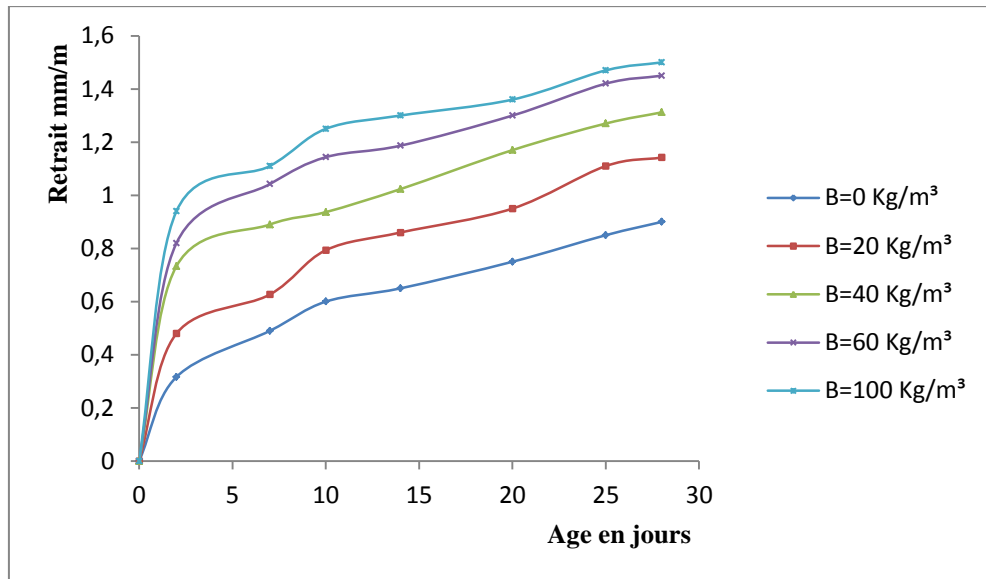
D'après la figure III.9, les courbes ont une allure croissante et l'évolution de la résistance à la flexion est proportionnelle à la masse volumique. On remarque que l'allure des courbes est presque identique à celle de la figure III.7 relative à la résistance à la compression.

### III.2.4.3. Etude du retrait

Le tableau III.8 regroupe différentes compositions de béton de bois, chaque mesure de retrait correspond à la moyenne des valeurs relevées sur trois éprouvettes (4x4x16 cm<sup>3</sup>),

**Tableau III.8 :** Evolution du retrait (mm/m) en fonction de l'âge en jour

Dosage en bois		0	20	40	60	100
(kg/m <sup>3</sup> ) Sans compression		Retrait en mm/m				
Age en jours	2	0,317	0,480	0,733	0,820	0,940
	7	0,490	0,627	0,890	1,042	1,110
	10	0,600	0,793	0,937	1,143	1,250
	14	0,650	0,860	1,023	1,187	1,300
	20	0,750	0,950	1,170	1,300	1,360
	25	0,850	1,110	1,270	1,420	1,470
	28	0,900	1,142	1,312	1,450	1,500



**Figure III.9 :** Evolution du retrait en fonction du temps pour les différentes Compositions de béton de bois (sans compression).

D'après ces résultats, nous pouvons remarquer clairement :

- ✓ Le retrait des bétons de bois augmente au fur et à mesure que l'on augmente le dosage en copeaux de bois, et qu'il est nettement plus important que celui du béton témoin.
- ✓ Au jeune âge le retrait des bétons de bois croît plus rapidement que celui du béton témoin, ce qui est dû probablement à l'évaporation d'une quantité d'eau importante.
- ✓ Une augmentation de retrait de plus de 100% a été obtenue pour le béton à dosage de 20 kg/m<sup>3</sup> de bois.

#### III.2.4.4. Essai d'absorption par immersion

L'essai consiste à sécher les éprouvettes dans l'étuve pendant 24h, sous une température de 110 C° et après mesures de leur poids, les éprouvettes sont immergées totalement dans l'eau à 20C° pendant une durée de 24h, en suite on pèse les éprouvettes deuxièmes fois après saturation .

L'absorption d'eau par immersion est calculée à l'aide de la formule suivante :

$$\gamma_{w(\text{porosité})} = \frac{Ma - Ms}{V_t} * 100 \dots \dots \dots \text{III.1}$$

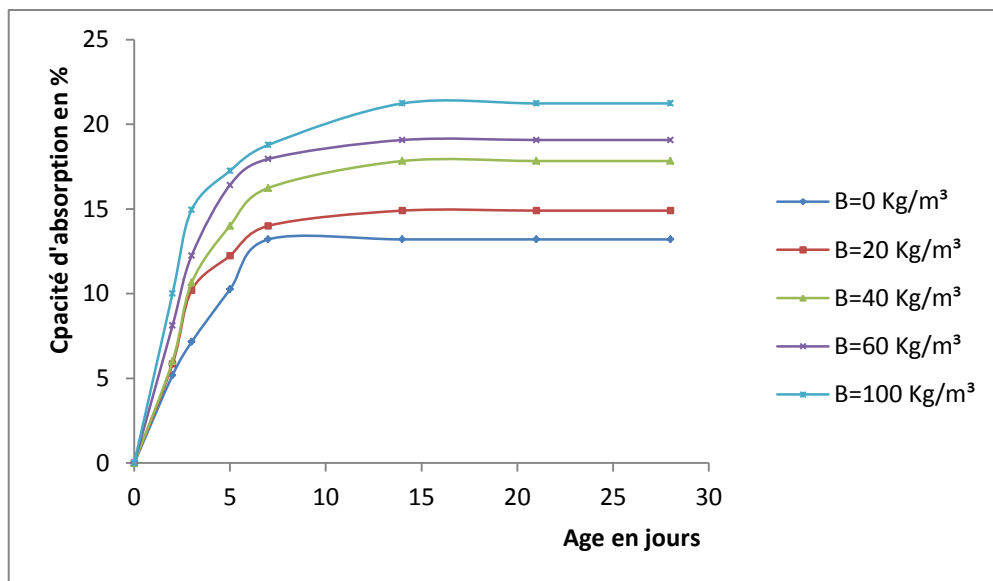
Où : Ms : masse de l'éprouvette sèche (en gramme)

Ma : masse de l'éprouvette après saturation (en gramme)

Vt : Volume de l'éprouvette ( en cm<sup>3</sup>).

**Tableau III.9 : Porosité en fonction de l'âge**

Teneur en copeaux de bois		0	20	40	60	100
(kg/m <sup>3</sup> )		Capacité d'absorption (%)				
Age en jours	2	5.18	5.85	6.01	8.12	10.01
	3	7.15	10.20	10.65	12.25	14.95
	5	10.25	12.24	14.01	16.41	17.25
	7	13.20	14.00	16.24	17.95	18.78
	14	13.20	14.90	17.83	19.07	21.23
	21	13.20	14.90	17.83	19.07	21.23
	28	13.20	14.90	17.83	19.07	21.23



**Figure III.10 : Evolution de la Porosité en fonction du temps pour les différentes Compositions de béton de bois**

Les résultats montrent une nette augmentation de la porosité en fonction de l'âge pour le différent dosage, On remarque que la Porosité augmente jusqu'à atteindre une valeur maximale a partir le 14<sup>ème</sup> jour.

### **III.3. Synthèse et choix de la composition du béton de bois non traités**

Pour choisir le dosage optimal en copeaux de bois, il s'agit de trouver un compromis entre les caractéristiques mécaniques et l'allègement avec un minimum de variation dimensionnelle.

D'après les différents résultats et analyses obtenus dans cette partie de notre étude, on peut conclure que l'évolution de la résistance mécanique en fonction du dosage en bois a bien montré, qu'à partir d'un dosage de  $60 \text{ kg/m}^3$ , les résistances à la compression sont faibles, donc on peut retenir la composition de  $60 \text{ Kg/m}^3$  dont la valeur de retrait n'est pas très éloignée de la valeur cible  $1\text{mm/m}$  en comparaison à la composition de  $80\text{kg/m}^3$  et la composition de  $100\text{kg/m}^3$ .

### **III.4. Conclusion**

Dans cette partie de notre étude, on a fait varier les dosages en bois de 0 à  $100 \text{ kg/m}^3$ , en étudiant les propriétés rhéologiques du béton frais, le comportement mécanique des bétons durcis et les variations dimensionnelles du matériau. Cette étude nous a donc permis de constater :

- Une maniabilité décroissante en fonction de la teneur en copeaux de bois. En effet avec l'ajout d'une quantité d'eau nécessaire à l'absorption des copeaux, le rapport E/C est plus de **0.65** pour le béton ceci n'a pas conférer aux compositions a forte dosage en copeaux la plasticité souhaité.
- L'ajout des copeaux de bois réduit la densité des différents composites. Le rôle des copeaux est double : d'une part ils participent à l'allègement par leur faible densité, d'autre part, il influence sur la porosité du béton léger.
- La résistance à la compression diminue lorsque le dosage en granulats de bois augmente. De même pour la résistance à la flexion, on constate une diminution en fonction du dosage en granulats.
- Le retrait augmente en fonction du dosage en granulats. Cela est dû à la particularité de granulats légers utilisés qui se caractérisent par un taux d'absorption d'eau important à cause de sa structure très poreuse.

La composition optimale du béton de sable allégé par des copeaux de bois non traités est la composition de  $60 \text{ kg/m}^3$ , vu les avantages qu'elle offre : elle constitue un meilleur compromis entre consistance de béton frais et les propriétés physiques, et surtout la densité sèche à 28 jours qui présente une réduction presque de 23% par rapport à la composition du béton de base.

Cependant les résistances mécaniques ne sont pas satisfaisantes, ils sont relativement faibles par rapport aux valeurs préconisées par les normes. L'objectif du dernier chapitre est alors d'améliorer la résistance mécanique du matériau et de limiter les variations dimensionnelles par l'application de traitement sur copeaux de bois pour atteindre les valeurs désirés sans affecter la densité.



# CHAPITRE IV

INFLUENCE DU TRAITEMENT DES  
COPEAUX DE BOIS  
SUR LES PERFORMANCES DU  
COMPOSITE

## **CHAPITRE IV**

### **INFLUENCE DU TRAITEMENT DES COPEAUX DE BOIS**

### **SUR LES PERFORMANCES DU COMPOSITE**

#### **IV.1. Introduction**

Le béton de sable a base de copeaux de bois non traités étudié dans le chapitre précédent, a été optimisée sur la base d'un compromis densité- résistance. Celui-ci présente des faibles résistances mécaniques par rapport aux valeurs préconisées par les normes relatives aux bétons légers de structure. La valeur du retrait, qui est de l'ordre de 1.45 mm/m reste supérieure à celle prise comme cible (inférieure ou égale à 1 mm/m).

L'objectif de ce dernier chapitre est par conséquent d'améliorer la résistance mécanique du matériau et de réduire le retrait sans affecter les autres propriétés du composite de base. En effet les teneurs en copeaux de bois traités ont été déterminées de telle sorte que les densités du béton restent très proches de celles obtenues avec des copeaux de bois non traités.

#### **IV.2. Traitement des copeaux de bois**

Le choix du traitement doit rentrer dans le cadre d'une approche globale et durable donc il doit être déterminé à partir des meilleurs résultats des recherches récentes, de la disponibilité du traitement, faisabilité technique et économique. En général, lors du choix du traitement il faut veiller à assurer les conditions suivantes :

- Essayer de ne pas affecter le rapport Eau/Ciment [25].
- Assurer une certaine rugosité de surface.
- Assurer une stabilité chimique et limiter la capacité d'absorption d'eau [21].
- Compatibilité avec le liant

##### **IV.2.1 Présentation des traitements utilisés**

###### **IV.2.1.1 Traitement au Lait de ciment**

Ce type de traitement se fait par arrosage par un lait ciment. La quantité d'eau nécessaire pour la préparation du lait a été optimisée après avoir fait plusieurs

essais préliminaires. On a choisi le CPJ CEM II/A 42.5: C'est le même ciment qui a été utilisé dans la composition du béton étudié.

Pour pouvoir étudier l'influence des différents traitements sur les performances de notre composite béton de sable- bois et pour pouvoir bien comparer les résultats, nous avons préféré de travailler avec les copeaux qui ont donné à peu près la même absorption d'eau avec un rapport "ciment / bois" relativement proche. Le rapport retenu est Ciment/Bois =2.5 (rapport massique).

L'étude du coefficient d'absorption d'eau des copeaux traité est faite après 14 jours de leur traitement montre l'effet bénéfique du traitement. En effet on a constaté que l'absorption d'eau diminue de plus en plus que le traitement est plus intense. Le traitement au lait de ciment a réduit la capacité d'absorption des copeaux de l'ordre de 30 %.(photo n° IV.1)

#### **IV.2.1.2 Traitement mixte**

Ce type de traitement est inspiré de certaines recherches récentes qui ont donnés des résultats satisfaisants [22,37] .Il s'agit d'une association d'un traitement d'imprégnation suivi d'une compression a l'état frais du composite. Pour notre cas, on a choisie de travailler avec les copeaux traité avec le lait de ciment (1<sup>er</sup> type de traitement) et après mise en moule on a pratiqué une légère compression sur les éprouvettes pendant une durée de 24heures.

#### **IV.2.1.3. Nouvelle composition du béton de bois traité**

Après détermination de la quantité d'eau de gâchage nécessaire dans le cas de copeaux traité prenant en compte la valeur de réduction d'eau des copeaux de bois traités pour un coefficient d'absorption de 250%.

La composition du béton de sable allégé par des copeaux traité avec 60kg/m<sup>3</sup> devient alors comme suit :

-Ciment -----	350 kg/m <sup>3</sup>
-Sable -----	1470 kg/m <sup>3</sup>
-Eau Totale -----	377.5 l/m <sup>3</sup>
-Fillers-----	135 kg/m <sup>3</sup>
-Copeaux de bois traité-----	60 kg/m <sup>3</sup>
-SP -----	2 % (Par rapport au poids du ciment)

### **IV.3. Etude de la maniabilité**

L'étude de la consistance du béton est faite également au cône d'Abrams. Les résultats obtenus, pour différentes proportions de copeaux de bois, sont donnés dans le tableau IV.1. Pour faciliter la lecture des résultats nous avons attribué les notations suivantes pour différencier les compositions étudiées.

BS pour le béton de sable (composition de base) ;

BCNT pour le béton à base de copeaux non traités ;

BCT pour le béton à base de copeaux traités avec le lait de ciment ;

BCTM pour le béton à base de copeaux traités avec le traitement mixte

**Tableau IV.1 : Maniabilité en fonction du dosage en copeaux de bois**

Type de composite	Affaissement (cm)	Consistance du béton
BS	7.0	Plastique
BCNT	6.8	Plastique
BCT	7.30	Plastique
BCTM	7.30	Plastique

- La maniabilité augmente après le traitement des copeaux de bois.
- Après le traitement des copeaux de bois, la consistance revient presque à celle du béton de sable témoin. Probablement le traitement arrête l'absorption d'eau par les copeaux de bois.

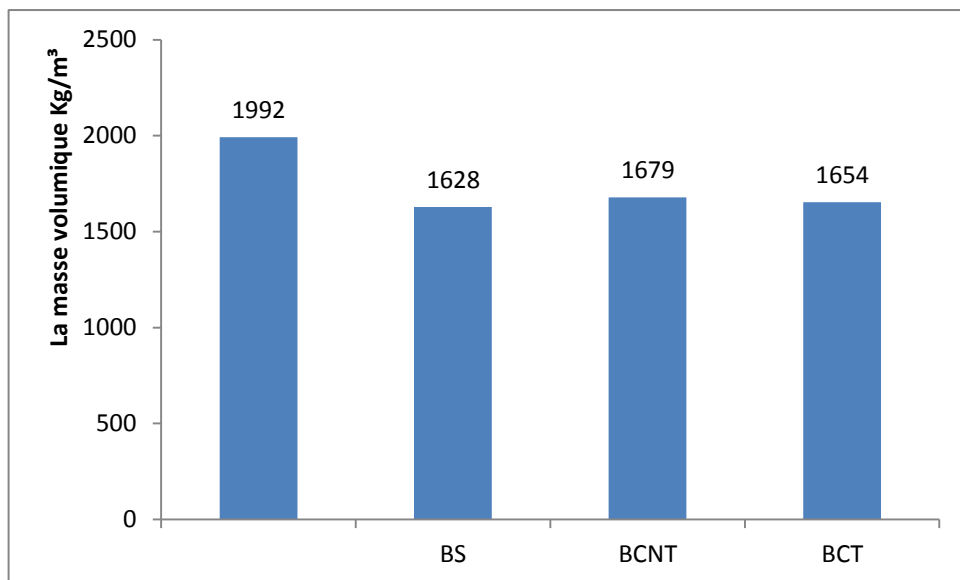
### **IV.4. Etude des propriétés physiques**

#### **IV.4.1 Masse volumique**

Les valeurs de la masse volumique à 28 jours du béton de sable sans copeaux de bois et les compositions de 60 kg/m<sup>3</sup>. avec et sans traitements, sont mentionnées sur le tableau (IV. 2) et la figure (IV. 1)

**Tableau IV.2 : Masse volumique à 28 jours des différents composites**

Type de composite	Masse volumique à 28 jours (kg/m <sup>3</sup> )
BS	1992 ± 7.2
BCNT	1628 ± 8.6
BCT	1679 ± 4.0
BCTM	1654 ± 6.5



**Figure IV.1 : la masse volumique à 28 jours des compositions étudiées**

Les résultats obtenus montrent bien l'augmentation de la densité sèche qui peut être attribuée à l'augmentation de la densité des copeaux à la suite du traitement et son influence sur la microstructure de la matrice inter granulaire du composite.

En effet, la quantité de copeaux de bois utilisée dans le cas de traitement doit être équivalente en volume à la quantité de bois utilisé sans traitement afin de pouvoir bien mettre en évidence l'effet du traitement sur les performances du composite.

Malgré cette augmentation de la masse volumique, les deux composite BCT et BCTM restent dans le domaine du béton léger de structure. Néanmoins la

composition BCTM présente un léger avantage de réduction de 1.48% par rapport à la composition BCT.

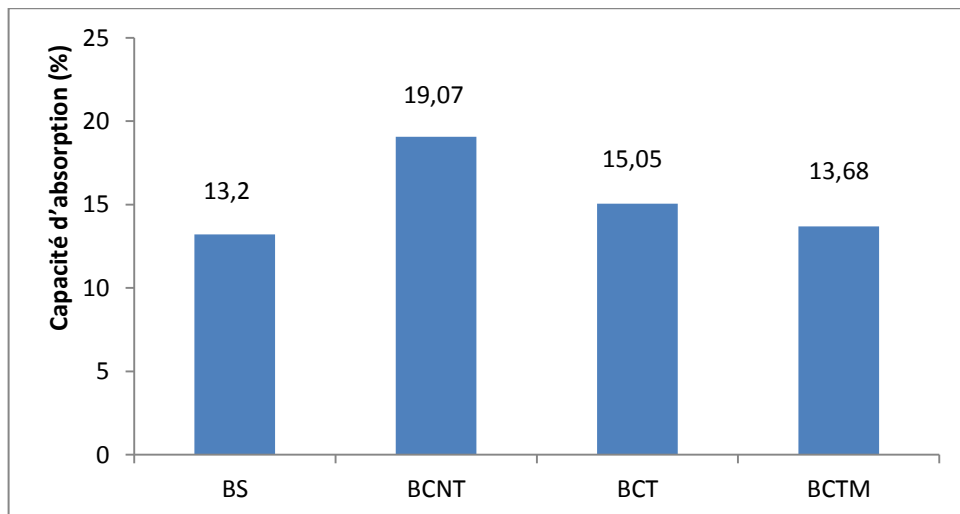
Le béton avec copeaux traités BCT présente une réduction de 15.17% par rapport au béton de sable témoin (sans copeaux).

#### **IV.4.2 Porosité (Capacité d'absorption)**

Cet essai est réalisé conformément à la méthodologie décrite au chapitre II. L'ensemble des résultats d'absorption d'eau par immersion est représenté dans la figure IV.2.

*Tableau IV.3 : La porosité à 28jours*

Type de composite	Capacité d'absorption (%)
BS	13.20
BCNT	19.07
BCT	15.05
BCTM	13.68



*Figure IV.2 : Absorption d'eau par immersion*

D'après les résultats obtenus, on constate que :

- Le béton BCT montre une réduction de la porosité de l'ordre de 21%, ce qui explique l'intérêt de l'enrobage des copeaux par le lait de ciment qui a sûrement limité le caractère hydrophobe du bois.
- La composition confectionnée avec les copeaux de bois traités BCTM a donné le meilleur résultat concernant la réduction de l'absorption d'eau, Cela peut être dû à la nature de type de traitement qui réduit la porosité ouverte surtout à jeune âge.

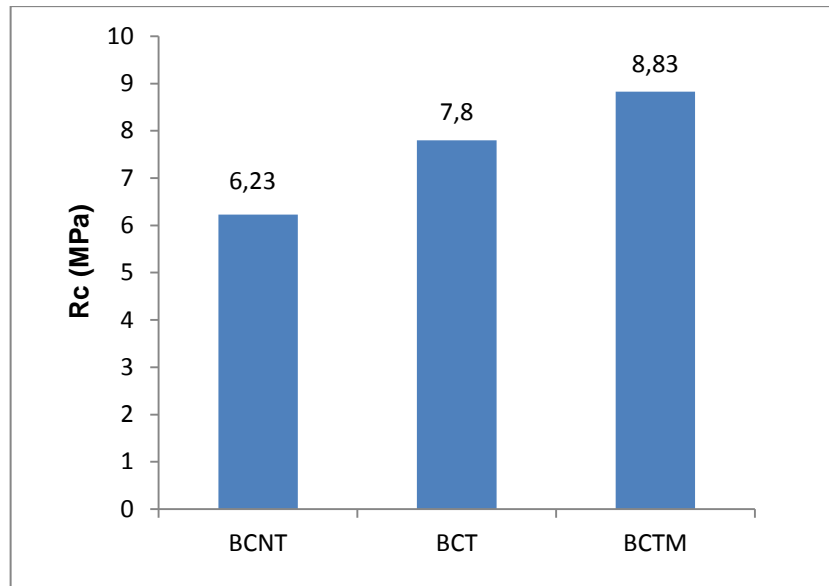
#### **IV.5. Etude des performances mécaniques**

##### **IV.5.1. Résistance à la compression**

Les valeurs de la résistance de rupture à la compression à 28 jours des différentes compositions étudiées sont mentionnées sur le tableau (IV. 4) et la figure (IV. 3).

**Tableau IV.4 : La résistance à la compression à 28 jours**

<b>Type de composite</b>	<b>Résistance a la compression (MPa)</b>
BCNT	6.23 ± 0.74
BCT	7.80 ± 0.28
BCTM	8.83 ± 0.12



**Figure IV.3 :** La résistance à la compression à 28 jours des compositions étudiées

D'après les résultats obtenus, on constate que :

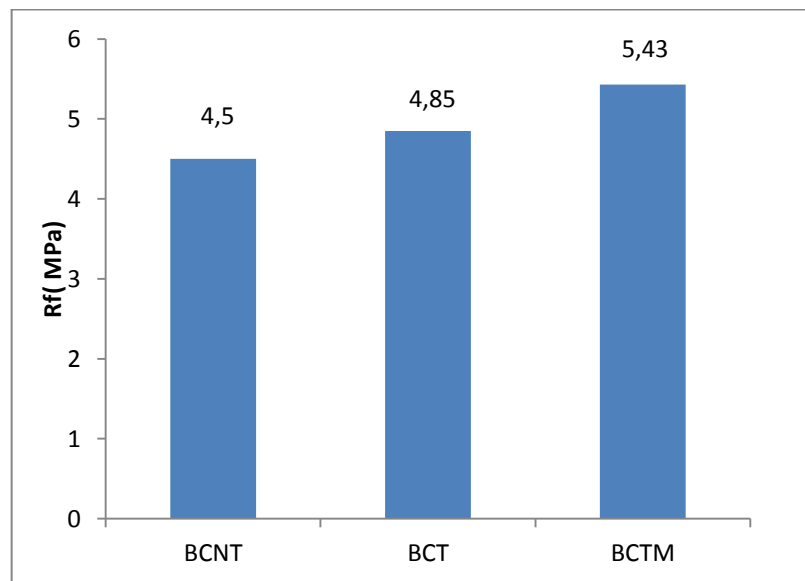
- les copeaux traités, ont apportés un effet bénéfique sur la résistance à la compression.
- Le traitement mixte a améliorée nettement la résistance a la compression avec une augmentation de 41%par rapport au béton avec copeaux non traités
- Toutes les compositions du béton de sables allégés ont présentés une réduction sensible de la résistance à la compression par rapport au béton de sable sans copeaux de bois.
- Malgré l'amélioration constaté due au traitement mais l'objectif de se rapprocher à la valeur d'un béton légers de structure n'a pas été atteint.

#### **IV.5.2. Résistance à la flexion**

Les valeurs de la résistance de rupture à la compression à 28 jours des différentes compositions étudiées sont mentionnées sur le tableau (IV. 5) et la figure (IV. 4).

**Tableau IV.5 : la résistance à la flexion à 28 jours**

Type de composite	La résistance à la flexion à 28 jours (MPa)
BCNT	4.50 ± 0.64
BCT	4.85 ± 0.16
BCTM	5.43 ± 0.48



**Figure IV.4 : les résistances à la flexion à 28 jours des compositions étudiées**

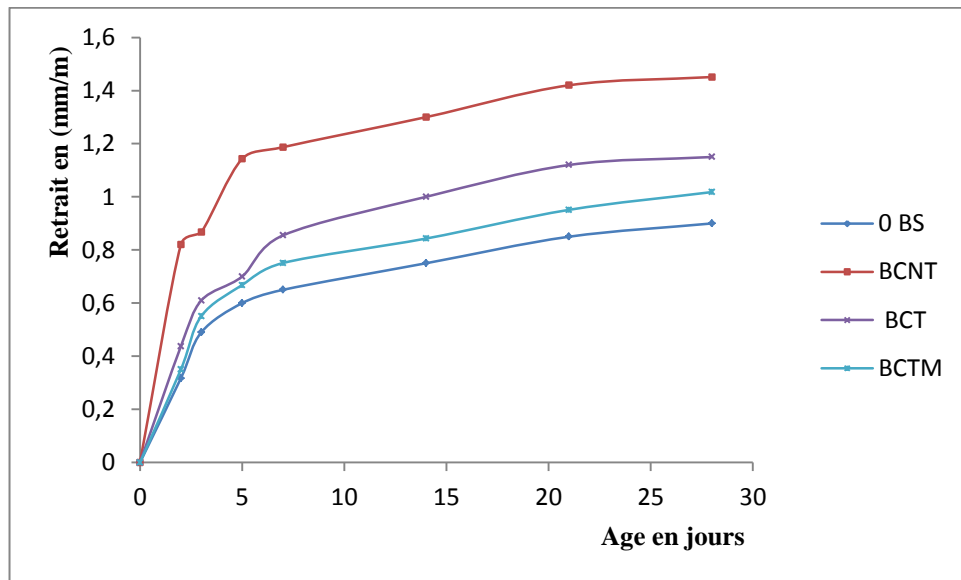
D'après les résultats obtenus, on constate que les copeaux traités dans la composition BCTM, ont amélioré nettement la résistance à la flexion avec une augmentation de 20.66%.

**IV.6. Etude de retrait**

Les valeurs du retrait des différentes compositions étudiées sont mentionnées sur le tableau (IV. 6) et la figure (IV. 5). Chaque mesure de retrait correspond à la moyenne des valeurs relevées sur trois éprouvettes (4x4x16 cm<sup>3</sup>),

**Tableau IV.6** : Résultats de retrait pour les différentes compositions de béton de bois

Type de composite		BS	BCNT	BCT	BCTM
		<b>Retrait (mm/m)</b>			
<b>jours</b>	<b>3</b>	0,490	0,867	0,610	0,551
	<b>7</b>	0,650	1,187	0,855	0,751
	<b>14</b>	0,520	1,300	1,000	0,843
	<b>21</b>	0,850	1,420	1,120	0,951
	<b>28</b>	0,900	1,451	1,150	1,018



**Figure IV.5:** Evolution du retrait en fonction de l'âge du matériau pour les différents traitements effectués

D'après les résultats obtenus, on constate que :

Les compositions confectionnées avec les copeaux de bois traités ont donné le meilleur résultat concernant la réduction du retrait. Ceci rejoint les travaux de **A.Ledhem M.Bederina et M.Gotteicha** qui ont montré que la réduction des variations dimensionnelles d'une matrice cimentaire allégée par des copeaux de bois traités au ciment été très efficace..

Les deux types de traitement proposés ont donné des résultats intéressants pour la réduction du retrait avec un taux de 29% Ceci provient du changement de la microporosité de la matrice qui est dû à l'absorption d'eau des copeaux.

#### **IV.7. Conclusions**

L'intérêt des traitements de copeaux de bois est d'apporter des améliorations à la composition retenue à base de copeaux non traités obtenus dans le premier volet de caractérisation. Les résultats d'influence des deux types de traitements proposée dans notre étude sur les performances du composite étudié sont intéressantes et encourageantes.

En effet, Les propriétés physiques sont légèrement affectées, notre béton allégé reste dans la catégorie de bétons légers de structure.

La réduction de la porosité due au traitement des copeaux de bois s'explique par la réduction de la porosité ouverte relative à la microporosité de la matrice et la macroporosité des copeaux de bois. Les traitements d'enrobage superficiel au lait de ciment couvrent correctement la surface des copeaux de bois et limitent la migration d'eau à la microstructure du bois.

L'étude des résistances mécaniques des bétons à base de copeaux de bois traités a donné des résultats supérieurs à ceux du béton avec copeaux de bois non traité surtout pour le traitement mixte.

Une nette amélioration dans les variations dimensionnelles, les deux traitements ont contribué avantageusement à la réduction du retrait du composite, cette réduction est plus intéressante dans le cas du traitement mixte qui est de 1.01mm/m d'où l'objectif visé est atteint.



**CONCLUSION  
GENERALE**

## **CONCLUSION GENERALE**

La voie envisagée dans ce travail est orienté vers la valorisation des matériaux locaux qui sont les sables, fillers calcaire et déchets de bois pour le développement de nouveaux matériaux de construction légers qui peuvent remplacer le béton classique apportant ainsi une alternative intéressante sur le plan économique et environnemental.

L'étude de l'allègement du béton de sable à montrer que :

1. l'ajout des copeaux de bois réduit la densité du composite d'une part et fait chuter les résistances mécaniques d'autre part. Avec un dosage en copeaux de  $60 \text{ kg/m}^3$ , la masse volumique du béton de sable passe de  $1992 \text{ kg/m}^3$  à  $1620 \text{ kg/m}^3$ , et la résistance à la compression passe de  $20.6 \text{ MPa}$  à  $7.25 \text{ MPa}$ .
2. Le retrait augmente en fonction du dosage en granulats. Cela est dû à la particularité de granulats légers utilisés qui se caractérisent par un taux d'absorption d'eau important à cause de sa structure très poreuse.

L'optimisation de notre composite de base béton de sable -bois à été fait sur un compromis caractéristiques mécaniques et l'allègement avec un minimum de retrait.

Pour améliorer les résistances mécaniques et limiter le retrait de notre composite a la valeur cible préconisé par les normes, deux types de traitements ont été étudié. On a pu tirer les conclusions suivantes :

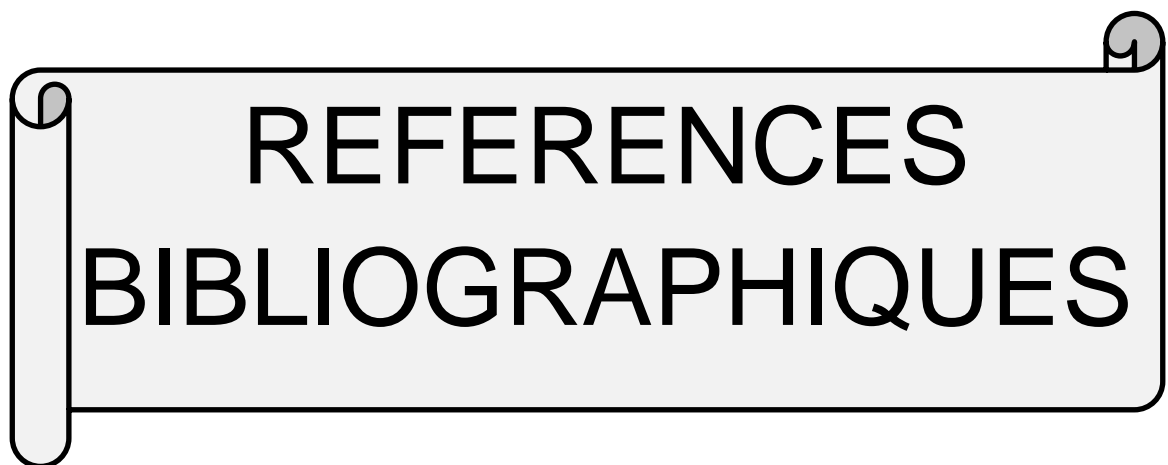
1. Les copeaux traités par enrobage avec un lait de ciment ont donnés une amélioration remarquable sur les performances mécanique du composite cela est due du fait que les copeaux après traitement deviennent chimiquement compatibles avec le ciment impliquant par conséquence une bonne liaison.
2. Une nette amélioration dans les variations dimensionnelles, les deux traitements ont contribué avantageusement à la réduction du retrait du composite. Cette réduction est plus intéressante dans le cas du traitement mixte qui est de  $1.01 \text{ mm/m}$  d'où l'objectif visé est atteint.

3. Le traitement mixte, bien qu'il a donné une nette amélioration des performances mécanique et une réduction notable en ce qui concerne le retrait, mais par contre le procédé technique demeure mal maîtrisé et nécessite un développement des moyens et matériel approprié.
4. La densité du composite ayant des copeaux traités a subi quelques variations selon le type de traitement, mais elles restent inférieures à  $1800 \text{ kg/m}^3$ . On peut dire par conséquent que les différents traitements testés dans notre étude n'apporte pas une augmentation conséquente de la densité, cela reste bien sure en fonction de l'intensité du produit de traitement choisi au départ.

**RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES DE RECHERCHES:**

A l'issue de ces conclusions, nous recommandons la poursuite de ces travaux en se penchant sur l'étude :

1. Du comportement thermique du béton de sable léger. Ceci pourra donner des informations complémentaires et utiles, et aide à cerner mieux les qualités de ce matériau.
2. De l'introduction d'autres ajouts tel que la fumée de silice qui d'après la littérature a donné des meilleurs résultats pour d'autres composites de bois.



**REFERENCES**  
**BIBLIOGRAPHIQUES**

- [1] **AFNOR**, « béton –béton de sable » projet, **NFP18-500**.
- [2] **Bederina M**, « caractérisation mécanique et physique des bétons de sables a base de déchets de bois» thèse de doctorat, Ecole nationale polytechnique (**2006-2007**).
- [3] **Chauvin, J.J. ; Grimaldi, G., (Sept. 1988)** : «Les bétons de sable» Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées (LCPC) ; **N°157, pp.9-15**.
- [4] Presse d'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées (**1994**) : «Béton de sable, Caractéristiques et pratique d'utilisation» , Projet SABLOCRETE.
- [5] **Bederina M. et al.** «Absorption de l'eau et son effet sur la durabilité des bétons de sable allégés par ajout de copeaux de bois» Université Amar Tilidji, (**2005**)
- [6] **GOTTEICHA M.** «Caractérisation des bétons de sable a base de copeaux de bois traités» Université Amar Tilidji, (**2005**)
- [7] **RILEM (1970)** : «Commission des bétons légers» ; Terminologie et définitions. Matériaux et Construction, N°13, pp60-69.
- [8] **Tasserie M. (1991)**: «Optimisation physico-chimique d'un verre expansé». Thèse de Doctorat, Université de Rennes ; **Juin 1991**, 149p.
- [9] **Carrel P., Louvigne M., Malaval R (Avril 1982)** : «Le polystyrène expansé. Le bâtiment bâtir», pp28-34.
- [10] **Morog D, (1989)** : «Chronique technologique : du béton à partir de granulats de bois minéralisés : Procédés Agresta, comportement mécanique et principales utilisations». CII, Paris, Bull. Bétons 89, N°16, Janvier 1989, pp4-5.
- [11] **Laidoudi B., (2005)** : «Contribution à la valorisation de déchets de caoutchouc dans une matrice cimentaire : caractérisation physico thermique et évaluation des performances à différents degrés d'humidité. - étude expérimentale et modélisation» Thèse de doctorat, soutenue à l'IUT d'Amiens, Juin 2005, pp.213.
- [12] **Kass J.L and Compbell D (1972)**: «Functional classification of lightweightconcrete, Matériaux et Constructions», Vol.5 N°27, pp171-172.
- [13] **HERRMANN, A.S. NICKEL, J. and RIEDEL, U.** Construction materials base du ponbiologically renewable resources – from components to finished parts. Polymer Degradation and Stability, 1998, vol.59, pp.251-261.
- [14] **KHEDARI, J. CHAROENVAI, S. and HIRUNLABH, J.** New Insulating particl eboards from durian peel and coconut coir. Building and Environment, 2003, vol.38, pp.435-441.

- [15] LUIZ DE BARROS SALGADO, A.** Bamboo, a cellulosic and energetic raw material. In: Perazzo Barbosa N., Swamy R.N. and Lynsdale C. Ed. Proc. of the International Conference on Sustainable Construction into the next millenium: Environmentally friendly and innovative cement based materials, November 2-5, Joao Pessoa, Brasil, **2000**, pp.39-44.
- [16] Pimienta P., Chaudzllier J., Rubaud M., Dutruel F., Nicole H., (1994)** : « Etude de la faisabilité des procédés de construction à base de béton légers d'aujourd'hui », Cahier ce CSTB, Janv. - Fev. 1994.
- [17] NF P 15 433, (Fev. 1994)** : Méthodes d'essais des ciments – Détermination du retrait et du gonflement
- [18] Ledhem A., (1997)** : «Contribution à l'étude d'un béton de bois. Mise au point d'un procédé de minimisation des variations dimensionnelles d'un composite argile-ciment-bois», Thèse de Doctorat de l'INSA de Lyon, 161 p.
- [19] Estafieci M., Muntean O., Munrean M. (2002)]** : «Influence of the wood was techaracteristics and its chemical treatment on the composites properties», NOCMAT/3 - Vietnam International Conference on Non-Conventional Materials and Technologies, 12-13 Mars **2002**- Hanoi - Vietnam.
- [20] Pimienta P., Chaudzllier J., Rubaud M., Dutruel F., Nicole H., (1994)** : « Etude de la faisabilité des procédés de construction à base de béton légers d'aujourd'hui », Cahier ce CSTB, Janv. - Fev. **1994**.
- [21] Mortreuil F.X., Lanos C., Jauberthie R., Associate-professors (2002):** «Wood shavings light weight concrete: Benefit of chemical treatments», NOCMAT/3 - Vietnam International Conference on Non-Conventional Materials and Technologies, 12-13 Mars 2002- Hanoi - Vietnam.
- [22] Mimoune M., and Laquerbe M., (1999):** «The use of flyash in the Compound wood-cement, Proceeding of Creating with Concrete, Exploiting Waste in Concrete», Dundee, p.227-232.
- [23] NF P 18-598, (Octobre 1991)** : Granulats – Equivalent de sable.
- [24] Benmalek, M. ; Bali A. (1997)** : «Comportement du béton de sable dunaire sur des éléments d'ossature armés» Séminaire national en génie civil ;M'sila,, Le 16-17 nov.
- [25] RILEM , (1970),** Commission des bétons légers, Terminologie et définition. Matériaux et construction, N° 13.

- [26] **NF P 18-560, (Septembre 1990)** : Granulats – Analyse granulométrique par tamisage.
- [27] **NF P 18-555, (décembre 1990)** : Granulats – Mesures des masses volumique, coefficient d'absorption et teneur en eau des sables.
- [28] **Bederina, M. (2007)**, *Caractérisation mécanique et physique des bétons de sables a base de déchets de bois*, Thèse de Doctorat, 156 p, ENP Alger, Algérie.
- [29] **Fiche technique, (2011)**, Algérien Cement Company.
- [30] **NF EN 196-6, (Aout 1990)** : Méthodes d'essais des ciments – Détermination de la finesse.
- [31] **Al Rim, K., Ledhem, A., Quéneudec-t'Kint de Rooden beke, M. (1996)**. *Etude des paramètres de fabrication d'un béton de bois à Matrice argileuse*. Materials and Structures/Matériaux et Constructions, Vol. 29, , pp 514-518.
- [32] **NF EN 196-3, (Aout 1995)** : Méthodes d'essais des ciments – Détermination du temps de prise et de la stabilité.
- [33] **NF EN 196-1, (Aout 1995)** : Méthodes d'essais des ciments – Détermination des résistances mécaniques
- [34] **Sri Ravindrarajah, R., Carroll, C and Appleyard, N. (2001)**. *Development of sawdust concrete for block making*. Centre for Infrastructure Research, University of Technology, Sydney, Australia.
- [35] **NF P 18-554, (décembre 1990)** : Granulats – Mesures des masses volumique, de la porosité, du coefficient d'absorption et de la teneur en eau des gravillons et cailloux.
- [36] **NF P 18-451, (décembre 1981)** : Bétons – Essai d'affaissement.
- [37] **L. Daryanto** : "Etude des caractéristiques physico-chimiques du bois imprégné et du bois densifié par imprégnation suivi d'une compression plastique", Thèse 3e cycle, Institut national polytechnique de Lorraine, Nancy, 1988



**ANNEXE**



**Photo n° 1 : général de copeaux de bois**



**Photos n° 2 : copeaux de bois après traitement**



**Photos n°3 : appareil de mesure de la flexion**



**Photos 4** : appareil de mesure de la compression



**Photos 5** : appareil de mesure le retrait