

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



## Mémoire de Master

Présenté à l'Université 8 Mai 1945 Guelma

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de : Génie Civil & Hydraulique

Spécialité : Génie Civil

Option : Structures

Présenté par :

AHMED HERGA MOUHAMED ILYESS

---

**Thème : CARACTERISATION AU JEUNE AGE  
D'UN MORTIER DE SABLE DE DUNE AVEC  
DECHETS DE BOIS**

---

Sous la direction de : Dr ; AIDOUUD Assia

---

Juillet 2021

---

## Remerciements

*Tout d'abord, nous a remerciés Allah, le clément et le miséricordieux de m'avoir donné la force et le courage de mener à bien ce modeste travail.*

*J'exprime également mes remerciements à ma famille pour sa patience durant ces derniers mois et pour leurs encouragements, ainsi que tout mes ami(e)s.*

*Je voudrais exprimer ma profonde reconnaissance et mes remerciements à mon encadreur de ma thèse Dr, AIDOU Assia ; Maître de conférence « B » au Département de Génie civil et d'hydraulique, Université de Guelma d'avoir proposé et diriger ce sujet, je suis très reconnaissant pour tous ces conseils et ces directives durant toute la période de préparation de ce mémoire.*

*Toutefois, nous remercions le président et membres du jury d'avoir accepté d'examiner le présent travail et à qui nous exprimons nos profondes gratitude.*

*Mes sincères reconnaissances à tous les enseignants du département de génie civil et du département d'architecture en particulier ceux qui ont contribué de près ou de loin par leurs conseils et leurs aides.*

*Je ne dirais pas que je ne peux citer tout le monde, mais je tiens à remercier tous qui m'ont apporté, d'une manière directe ou indirect leur aide sans oublier l'ensemble du personnel du laboratoire pédagogique du département de génie civil et d'hydraulique.*

# *Dédicace*

*Je dédie ce mémoire à mes très chers parents "A.HAKIM-RAZIKA" pour leur affection; patience et sacrifices*

*Je le dédie aussi :*

✦ *A mon frère " NIDHAL".*

✦ *A mes sœurs " YASMINE – DARINE"*

✦ *A toute la famille " AHMED HARGA" et " MERAD".*

✦ *A mes ami(e)s artistes, NRIYAD.AITKACINSAMY.RABHINMOHAMMED EL AMINE.D et à mon groupe d'école EL-SAFA de El-aissawiaN et à tous mes ami(e) artistes et à mes coachs de sport et d'équitation: "KHALIL.A. HOUSSEM.M" et à mon prof de violon NWALID.M N son oublier le maitre glacier pâtissier "FAYCAL.KAABECHE" .*

✦ *A mes amis intime :*

*" BESSEM, ANIS, SALAH, BOB, AMINE, TAYOUBA, ISLEM, FUFA " et à tous mes ami(e)s son oublier " DJIHAD OUDJANI " qui ma ramené une quantité de sable de dune de la région d'El-Oued.*

✦ *A mes amis et mon équipage de la marine marchande :*

*" ZAKI ✦ AHMED ✦ RAFIK.G ✦ RAFIK.S ✦ AYOUB ✦ HAROUN ✦ ISLAM.A ✦ FERHAT ✦ ABDENOUR ✦ HOCINE ✦ ISLEM ✦ IHEB.Z".*

✦ *Aux brigades Izz al-Din al-Qassam et à toutes les brigades de la résistance Palestinienne.*

✦ *A tout ceux qui par leurs conseils, leur disponibilités et leurs soutiens m'ont permis de réaliser ce mémoire.*

***" Il faut faire l'impossible pour avoir le possible "***

**MOHAMED ILYESS AHMED HERGA**

# Abstract

The desert occupies more than 60% of the national territory formed mainly of unexploited sand to date and with the sole aim of enhancing this national sand wealth. The main objective of this study is the recovery of dune sands and wood waste (sawdust). The latter which constitutes a potential source of several environmental and economic problems.

The objective of this present work is to characterize the physico-mechanical properties at a young age of a dune sand-based mortar lightened by wood waste and to examine the suitability of using it for various applications in the construction of dunes. buildings.

The improvement in the grain size of dune sand, which is generally poorly spread, was made by the addition of sawdust. The formulation of the mixtures is based on the substitution of dune sand by sawdust, at different mass contents 10%, 20% and 30%. The quantity of cement is fixed at 450 g. The results obtained show firstly that the introduction of sawdust improves the characteristics of the mixture (particle size tends to be spread out, reduction in densities), and secondly, the physico-mechanical characteristics improve especially at 30% substitution ( decrease in total immersion absorption of 20.50%, porosity of 28.32%, wet density of 1.73% and dry density of 14.94% and increase in tensile strength of 61.43% and in compression of 63.87%).

**Key words :** mortar, dune sand, sawdust, substitution, mixture, porosity, absorption, resistance.

## ملخص

تحتل الصحراء أكثر من 60% من التراب الوطني ، وتتكون بشكل رئيسي من الرمال غير المستغلة حتى الآن وهدفنا الوحيد هو تعزيز هذه الثروة الرملية الوطنية. الهدف الرئيسي من هذه الدراسة هو استعادة الكثبان الرملية ومخلفات الأخشاب (نشارة الخشب). هذه الأخيرة التي تشكل مصدرا محتملا للعديد من المشاكل البيئية والاقتصادية.

الهدف من هذا العمل الحالي هو توصيف الخواص الفيزيائية الميكانيكية في سن مبكرة من ملاط كثبان الرمل المخفف ببقايا الخشب وفحص مدى ملائمة استخدامه لمختلف التطبيقات في استعمال الكثبان الرملية في المباني.

تم إجراء التحسن في حجم حبيبات رمل الكثبان ، والذي ينتشر بشكل سيئ بشكل عام ، عن طريق إضافة نشارة الخشب. تعتمد صياغة الملاط على استبدال رمل الكثبان بنشارة الخشب بمحتويات كتلة مختلفة 10% ، 20% و 30% ، كمية الأسمت ثابتة عند 450 غ. أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أولاً أن إدخال نشارة الخشب يحسن خصائص الملاط (حجم الجسيمات يميل إلى الانتشار ، ويقلل الكثافة) ، وثانياً ، تتحسن الخصائص الفيزيائية الميكانيكية خاصة عند الاستبدال بنسبة 30% (انخفاض في امتصاص الغمر الكلي 20.50% ، مسامية 28.32% ، كثافة رطوبة 1.73% ، كثافة جافة 14.94% وزيادة مقاومة الشد 61.43% وضغط 63.87%).

**الكلمات المفتاحية:** الملاط ، الكثبان الرملية ، نشارة الخشب ، الإحلال ، الخلط ، المسامية ، الامتصاص ، المقاومة

## Résumé

Le désert occupe plus 60% du territoire national formé essentiellement de sable inexploité jusqu'à ce jour et dans l'unique but de valoriser cette richesse nationale en sable. L'objectif principal de cette étude, c'est la valorisation des sables de dunes et des déchets de bois (sciure). Ce dernier qui constitue une source potentielle de plusieurs problèmes environnementaux et économiques.

Ce présent travail a pour objectif de caractériser les propriétés physico-mécaniques au jeune âge d'un mortier à base de sable de dune alléger par un déchet de bois et d'examiner l'aptitude de l'utiliser aux diverses applications de la construction des bâtiments.

L'amélioration de la granulométrie de sable de dune, qui est généralement mal étalée, a été faite par l'ajout des sciures de bois. La formulation des mélanges se base sur la substitution de sable de dune par les sciures de bois, à différentes teneurs massiques 10%, 20% et 30%, La quantité de ciment est fixée à 450 g. Les résultats obtenus montrent en premier lieu que l'introduction des sciures de bois améliore les caractéristiques du mélange (granulométrie tend à être étalée, diminution des masses volumiques), et en deuxième lieu des caractéristiques physico-mécaniques améliore surtout à 30% de substitution (diminution de l'absorption par immersion totale de 20.50%, porosité de 28.32%, masse volumique humide de 1.73% et sèche de 14.94% et augmentation de la résistance à la traction de 61.43% et à la compression de 63.87%).

**Mots clés :** mortier, sable de dune, sciure de bois, substitution, mélange, porosité, absorption, résistances.

# Sommaire

---

ABSTRACT

ملخص

RESUME

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE

---

## *CHAPITRE I : Recherche bibliographique*

---

Introduction

I- Le mortier.....	P 01
I.1 Définition.....	P 01
I.1.2 Les différents types de mortiers.....	P 02
I.2-Le sable.....	P 04
I.2.1 Définition de sable.....	P 04
I.2.2 Les classes de sables.....	P 04
I.2.3 Caractéristiques physicochimique.....	P 04
I.2.4 Les familles de sables.....	P 05
I.2.5 Les sables de dunes.....	P 06
I.2.5.1. Introduction.....	P 06
I.2.5.2 Définition.....	P 07
I.2.5.3 Intérêt de sable de dune.....	P 07
I.2.5.4 Les aspects économiques.....	P 07
I.2.5.5. Les aspects techniques.....	P 07
I.2.6. Type de dune.....	P 07
I.2.7. Les formes de sable de dune.....	P 08
I.2.8 Les différents milieux de la dune.....	P 09
I.2.8.1 Les dunes mobiles.....	P 09

I.2.8.2 Les dunes noires (arbres).....	P 09
I.2.8.3 La dune verte (appelée aussi avant -dune ou dune embryonnaire).....	P 09
I.2.8.4 La dune blanche ou jaune.....	P 10
I.2.8.5 La dune grise.....	P 11
I.2.8.6 La dune brune (dune boisée ou frange forestière).....	P 11
I.2.9 La dune littorale.....	P 12
I.3-Généralité sur les déchets.....	P 12
I.3.1 Notion des déchets.....	P 12
I.3.2 Définition d'un déchet.....	P 12
I.3.3 Classification des déchets.....	P 12
I.3.3.1 Selon la réglementation algérienne.....	P 12
I.3.3.2 Selon la nature.....	P 13
I.3.3.3 Selon l'origine.....	P 15
I.4 Le bois.....	P 17
I.4.1 Généralités sur les bois.....	P 17
I.4.2 Les types de bois.....	P 17
I.4.3 Les caractéristiques des bois.....	P 19
I.4.4 Les voies de valorisation des déchets de bois.....	P 22
I.4.5 La valorisation des déchets de bois en Algérie.....	P 23
I.5 Conclusion.....	P 25
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE.....	P 26

---

## ***CHAPITRE II : RESULTATS EXPERIMENTAUX***

---

II.1. Introduction.....	P 29
II.2.Matériaux utilisés.....	P 29
II.3. Caractéristiques des matériaux.....	P 29
II.3.1. Caractéristique du sable de dune.....	P 29

II.3.2. Caractéristique du bois.....	P 36
II.3.3. Caractéristiques du ciment utilisé.....	P 40
II.3.4. L'eau de gâchage.....	P 41
II.4. Correction du sable de dune avec déchet du bois.....	P 41
II.4.1. La granulométrie.....	P 41
II.4.2. La masse volumique du mélange.....	P 42
II.5. Formulation des compositions.....	P 47
II.5.1. Confection des éprouvettes (malaxage et mise en place).....	P 48
II.5.2. Conservation des éprouvettes.....	P 50
II.6. Essais de caractérisation des mortiers.....	P 51
II.6.1. Caractérisation physique.....	P 51
II.6.2. Caractérisation mécanique.....	P 53
II.7. Conclusion.....	P 55
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE.....	P 56

---

***CHAPITRE III: INTERPRETATION ET EXPLOITATION DES  
RESULTATS.***

---

III.1. Introduction.....	P 57
III.2. Influence du déchet de bois sur les propriétés du mortier.....	P 57
III.2.1. L'effet de l'ajout sur les propriétés physiques au jeune âge.....	P 57
III.2.2. L'effet de l'ajout sur les propriétés mécaniques au jeune âge.....	P 65
III.2.3 L'évolution des propriétés physiques au jeune âge.....	P 68
III.2.4 L'évolution des propriétés mécaniques au jeune âge.....	P 71
III.3. Effet de déchet de bois sur les relations entre les propriétés des mortiers.....	P 73
III.3.1 Les relations entre les résistances à la compression au jeune âge et les résistances caractéristique à 28 jours.....	P 73
III.3.2 Les relations entre les résistances à la traction au jeune âge et les résistances caractéristique à 28 jours.....	P 75

III.3.3.Les relations entre les résistances à la compression et à la traction.....	P 77
III.4. Conclusion.....	P 81
CONCLUSION GENERALE.....	P 82

# INTRODUCTION GENERALE

Dans tous les pays du monde les ressources naturelles ne sont pas inépuisables et les lieux d'extraction ne cessent de s'éloigner des lieux de consommation. Le sable de dune constitue en Algérie un gigantesque gisement, il couvre presque 60% de son Sahara. Cette quantité peut-être adoptée en tant que matériau de construction tel que dans la production de brique et/ou de verre. Le mortier est le matériau le plus utilisé dans le domaine de la construction. Le taux de sable peut aller jusqu'à 65% de la masse totale du mortier.

A cet effet il est intéressant d'étudier la possibilité de valorisation de sable de dune dans la composition du mortier. L'objectif principal de cette recherche est de vérifier la possibilité de corriger la granulométrie de sable de dune par le déchet de bois dans le but de l'utiliser comme sable dans les bétons où mortiers, ce qui est détaillé dans le chapitre I.

Il est nécessaire que les matériaux soient malaxés correctement afin de produire un mélange homogène possédant par conséquent des propriétés uniformes. Par ailleurs, il faut choisir des essais adéquats pour parvenir à un meilleur contrôle des propriétés rhéologiques et mécaniques des formulations confectionnées. Pour cela, le chapitre II présente les caractéristiques des matériaux utilisés dans cette étude, ainsi que les différents essais expérimentaux réalisés pour caractériser nos mortiers au jeune âge.

Dans le chapitre III on va présenter les différents résultats expérimentaux obtenus durant la période de la réalisation de ce projet et cela dans le but de contribuer ainsi à la valorisation de ce sable dans la construction. Aussi d'étudier les caractéristiques mécaniques et physique ainsi que des mortiers à base de déchet de bois afin de pouvoir les utiliser dans certains domaines de construction.

Ajoutons enfin que les caractérisations mécanique et physique des matériaux et les essais durabilité des mortiers et les essais mécaniques sur les mortiers sont réalisés dans le Laboratoire pédagogique de génie civil et d'hydraulique de l'université 8 Mai 1945 -Guelma-.

## CHAPITRE I : Recherche bibliographique

### Introduction:

Le besoin universel de protéger l'environnement et de bien gérer les ressources naturelles, nécessitent d'établir des nouvelles lois et d'adapter des nouveaux concepts. La valorisation des matériaux naturels et le recyclage des déchets sont un moyen efficace face aux contraintes d'ordres économiques et écologiques de ces dernières années [1].

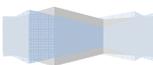
La valorisation des matériaux locaux, peu ou pas exploités, dans la construction est devenue actuellement une solution nécessaire aux problèmes économiques des pays, notamment des pays en voie de développement. C'est dans ce contexte que s'ouvre la réflexion sur la recherche de nouveaux bétons capables de résoudre les problèmes économiques et techniques, rencontrés dans le domaine de la construction [2].

Les composites bois/ciment (CBC) sont des matériaux peu coûteux et respectueux de l'environnement, qui peuvent être produits à l'aide d'une technologie relativement simple. Ils sont essentiellement utilisés dans le bâtiment pour des applications non structurales, en tant que revêtements intérieur et extérieur, cloisons légères, tuiles, chapes, barrières anti-bruit et anti-incendie... Ils possèdent des propriétés intéressantes notamment : légèreté, performances acoustiques et thermiques, résistance au feu, résistance aux termites et champignons.... De nombreux produits existent déjà sur le marché, mais les connaissances dans ce domaine restent encore limitées et des études doivent être menées afin de mieux comprendre certains mécanismes et améliorer les propriétés de ces matériaux [3].

### I. Le mortier:

#### I.1.Définition:

Le mortier est un mélange homogène de sable et de liant (ciment ou chaux) que l'on combine avec une certaine quantité d'eau et auquel des adjuvants peuvent être également ajoutés. Ce mortier servira ensuite à l'assemblage des éléments de la maçonnerie [4]. Les professionnels du bâtiment qui utilisent le mortier sont le maçon, le couvreur, le carreleur et le tailleur de pierre. Jadis, la fonction était dévolue au gâcheur de mortier, qui le gâchait, c'est-à-dire le mélangeait [5] (Figure I.1).





**Figure I.1 :** Exemple d'un gâchait de mortier [6].

### **I.1.2. Les différents types de mortiers:**

Mélange de sable, d'eau et de liant comme le ciment ou la chaux, le mortier est un matériau qui vous est indispensable sur vos chantiers. Grâce au mortier, vous scellez des blocs de béton entre eux, vous réalisez des enduits de façades, vous liez des composants [7].

#### **I.1.2.1. Mortier pour assembler des éléments de construction:**

- **Le mortier de montage:**

Le mortier de montage se fabrique en mélangeant du sable, du ciment et de l'eau. Pour monter un mur et assembler des blocs de béton entre eux, c'est le mortier de montage qui est utilisé car il est d'une grande résistance et d'une prise rapide [7].

Le sable à utiliser doit être plutôt fin : partir sur du 0/1 ou du 0/4.

#### **I.1.2.2 Mortier pour enduire un mur:**

- **Le mortier de ragréage:**

Le mortier de ragréage est un mélange de sable 0/1, de ciment et d'eau. L'ajout d'adjuvants est recommandé, notamment l'hydrofuge pour les façades extérieures [7].

Il vous servira pour tous vos travaux de ragréage en intérieur et en extérieur. Certains artisans rajoutent de la chaux pour rendre le mortier plus souple [7].

Certains mortiers de ragréage contiennent des fibres. Cela limite l'apparition de fissures qui peuvent apparaître en cas d'application au soleil ou par vent fort... [7].

**I.1.2.3. Mortier pour sceller le carrelage:****• Le mortier colle:**

Appelé également ciment colle à La Réunion, la colle carrelage permet de sceller des éléments entre eux. Vous l'utilisez principalement pour coller du carrelage [7].

Il existe plusieurs classes de performances pour définir une colle carrelage [7] :

\* C1 pour la pose de carrelage intérieur (sols et murs).

\* C2 pour la pose de carrelage intérieur et extérieur (sols et murs).

\* **C2 S1 ou S2** pour la pose de carrelage intérieur et extérieur (sols et murs) avec en plus, des propriétés d'adhérence élevées et une capacité à être déformé par une contrainte entre le carreau et la surface d'encollage. Pour coller du carrelage dans une piscine, il faut au minimum partir sur une colle carrelage de type C2 TE S1.

**I.1.2.4. Mortier pour la fabrication de béton:****• Le mortier bâtard:**

Le mortier bâtard sert le plus souvent de béton pour de la petite maçonnerie. Il contient un peu de chaux qui le rend plus élastique et plus facile à mettre en œuvre. Selon les formules, le temps de séchage peut-être un peu plus long qu'un mortier de ciment pur [7].

Attention, sa résistance n'est pas élevée, il n'est pas recommandé pour réaliser des fondations par exemple [7].

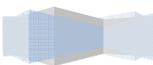
**I.1.2.5. Mortiers pour l'étanchéité:****• Le mortier d'imperméabilisation:**

Les mortiers d'imperméabilisation sont utilisés dans le cadre de travaux situés dans des lieux humides comme la salle de bain, les abords de piscine. Ils ont une plus grande résistance à l'humidité [7].

Ils sont aussi utilisés pour tous les travaux de cuvelage, fondation et bassins [7].

**I.1.2.6. Mortiers pour résister aux fortes températures:****• Le mortier réfractaire:**

Les mortiers réfractaires, sont employés dans le cas où des éléments scellés ou assemblés sont soumis à une température élevée comme dans la fabrication de barbecue. Ces types de mortiers peuvent résister jusqu'à une chaleur de près de 1 000 degrés... [7].



## I.2-Le sable:

### I.2.1.Définition de sable:

Le sable est un matériau granulaire constitué de petites particules provenant de la désagrégation d'autres roches dont la dimension est comprise entre 0.063 (limon) et 2mm (gravier) selon la définition des matériaux granulaires en géologie. Sa composition peut révéler jusqu'à 180 minéraux différents (quartz, micas, feldspaths) ainsi que des débris calcaire de coquillage et de Coraï [8].

### I.2.2.Les classes de sables:

On peut classer les sables selon trois paramètres [8] :

a) **La granularité:** Permet de séparer les sables en trois catégories :

- Sables fins.
- Sables moyens.
- Sables grossiers.

b) **La propreté et la teneur en fines:**

Elle est appréciée par la valeur de l'équivalent de sable.

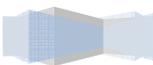
c) **La nature minéralogique:** En général, les sables peuvent être classés comme suit:

- Sables siliceux.
- Sables silico-calcaires.
- Sables calcaires.

### I.2.3. Caractéristiques physico-chimique:

Les sables sont identifiés grâce à la granulométrie (la grosseur des grains). le sable se caractérise par sa capacité à s'écouler. Plus les grains sont ronds, plus le sable s'écoule facilement. Le sable artificiel, obtenu par découpage ou broyage mécanique de roches, est principalement composé de grains aux aspérités marquées. On peut également différencier un sable qui a été transporté par le vent d'un sable transporté par l'eau. Le premier est de forme plus ronde, sphérique, alors que le deuxième est plus ovoïde. De plus, le sable éolien présente une diaphanéité plus mate que le sable fluviatile ou marin qui est dit "**émoussé-luisant**"[8].

L'aspect de la surface du grain de sable éolien est dû aux multiples impacts que subit le sable lors de son déplacement [8].



Le sable est souvent le produit de la décomposition du micaschiste du fait de l'érosion. Ainsi, le plus fréquent de ses composants est le quartz, constituant le moins altérable du granite, ainsi que des micas et feldspaths. Un sable issu d'une roche volcanique est plutôt noir tandis qu'un sable marin s'enrichit de débris de coquillages. Il peut avoir plusieurs couleurs en fonction de sa nature : noir ou blanc [8].

Le sable peut aussi prendre d'autres formes : arène, grès.

Les grains de sable sont assez légers pour être transportés par le vent et l'eau. Ils s'accumulent alors pour former des plages, des dunes. Un vent violent qui se charge en sable est une « **tempête de sable** » [8].

Les grains les plus lourds se déposent en premier dans les milieux à forte énergie (rivière, haut d'une plage), les plus fins dans les milieux à énergie plus faible (delta, lac, bassin, crique) [8].

La masse volumique du sable sec varie, selon sa granulométrie et sa composition, de 1,7 à 1,9 kg/l (en moyenne 1 850 kg/m<sup>3</sup>) [8].

#### **I.2.4. Les familles de sables:**

On distingue Trois familles:

**I.2.4.1. Les sables roulés siliceux (0 /2):** dit ronds, sont issus d'un processus naturel d'érosion. En général, ils sont dragués dans les Oueds. Leur usage est courant depuis des années et est même recommandé. Cependant, les réserves disponibles sont proches de l'épuisement ou protégées par de nouvelles règles environnementales en matière de dragage des Oueds. Ce matériau est donc devenu moins intéressant économiquement [8] (Figure I.2).



**Figure I.2 :** Sables roulés siliceux [9].

**I.2.4.2. Les sables de concassage calcaires:** sont le produit d'un processus industriel contrôlé de concassage, de lavage et de criblage appliqué à des roches calcaires exploitées en carrières, la contrainte du coût de revient élevé, le rends économiquement moins intéressant [8] (Figure I.3).



**Figure I.3 :** Sable de concassage calcaire [10].

**I.2.4.3. Le sable de dune:** qui s'impose du fait de son abondance dans la nature (Sahara), de son coût d'extraction presque nul, et de sa propreté apparente, constitue la solution au problème d'épuisement des ressources naturelles et se présente comme un matériau d'avenir qui peut remplacer par excellence les deux types de sables suscités [8].

### **I.2.5. Les sables de dunes:**

#### **I.2.5.1. Introduction:**

Les sables de dune sahariens ont fait l'objet depuis longtemps de campagne de reconnaissance et d'identification scientifique. Dès les années 50, des campagnes d'investigation menées dans le saharien algérien ont mis en évidence des provinces minéralogiques homogènes. Dans ces immensités désertiques, les sables sont caractérisés par une composition minéralogique et granulaire quasi similaires. Depuis et ce à ce jour, plusieurs investigations ont été tentées dans le but de l'utilisation de ce matériau surabondant dans le domaine de la construction, notamment en Algérie et en Afrique qui ont fait l'objet de travaux de recherche [8] (Figure I.4).



**Figure I.4 :** Sable de dune [11].

**I.2.5.2. Définition:**

Les sables, que l'on trouve dans les dunes mouvantes, sont composés de particules siliceuses pratiquement de même taille et de petites dimensions. Ces sables sont accumulés sous forme de dunes mouvantes de hauteur très variable [8].

D'après Fookes et Higginbotham (1968) cité par [8]. Le Sahara est constituée d'environ 40 % de montagnes désertiques, 15 % de plaines désertiques et 30 % de dunes de sable, le reste étant constitué de sebkhas, de chotts, etc. Le Sahara, quant à lui, couvre environ le tiers du continent africain. Ces chiffres montrent bien l'intérêt que l'on doit apporter à la construction routière dans le Sahara, qui reste fort démunie en infrastructures, et aussi l'importance que l'on doit accorder au sable dans toute investigation visant la valorisation des matériaux locaux dans ces lieux [8].

**Qu'est-ce qu'une dune ?**

Une dune est un relief ou un modelé composé de sable [8].

Une dune présente un profil transversal dissymétrique avec une pente douce du côté du vent et une pente plus raide du côté terre. La dune bordière délimite le haut de la plage par un bourrelet sableux de un à quelques mètres de haut. Sa base correspond à la haute mer et peut être endommagée lors des tempêtes. En arrière de ce premier cordon, on peut voir se développer un champ de dunes montrant des formes différentes : dunes alignées, dunes paraboliques, dunes en râteau... plus ou moins fixées par la végétation [8].

**I.2.5.3. Intérêt de sable de dune:**

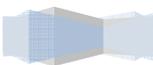
L'intérêt d'utilisation de tels agrégats se situe à deux niveaux : technique et économique [8].

**I.2.5.4. Les aspects économiques:**

Les aspects sont évidents dans la mesure où l'utilisation du sable de dune permet une économie certaine dans le transport des matériaux, puisqu'il est partout disponible en quantité inépuisable. Par ailleurs, son extraction n'engendre pratiquement pas de frais supplémentaires et son mélange avec les autres matériaux sur chantier peut se faire facilement [8].

**I.2.5.5. Les aspects techniques:**

Le sable peut contribuer à la densification des matériaux. Ceci permet, par la même occasion, l'amélioration de leurs caractéristiques géotechniques en augmentant le frottement interne et en améliorant la portance. Il peut être utilisé pour diminuer la plasticité des matériaux de base [8].

**I.2.6. Type de dune:**

**1. les avant-dunes (fore dune en anglais):** qui sont des bourrelets plus ou moins fixés par la végétation (oyats par exemple), parallèles au trait de côte et solidaire de la plage, c'est-à-dire échangeant du sable avec elle, dans un même système sédimentaire. Elle est différente d'une ancienne arrière dune en cours d'érosion, et d'une dune formée par du sable venant de terre sur un secteur où une avant-dune active ne pourrait pas se former. En Espagne et en Tunisie, ces avant-dunes sont systématiquement considérées comme faisant partie du domaine public maritime, ce qui facilite leur protection. L'avant-dune se forme à partir de fixation du sable en haut de plage, par des plantes pionnières spasmophiles [8].

**2. les falaises dunaires (dune cliffe en anglais):** est plutôt un profil résultant de l'érosion marine d'une dune ancienne fixée par une pelouse ou un boisement qui ont été à l'origine de la formation d'une couche d'humus ou de sol sableux [8].

**3. les dunes perchées (cliffe-top dune en anglais):** apparaissent au sommet d'une falaise vive. Elles sont alimentées en sable par le vent à partir de l'estran, voire à partir du profil de pente, quand il s'agit d'une falaise dunaire [8].

**4. les cordons dunaires artificiels:** sont construits par l'homme, généralement comme élément de protection contre la mer ou d'une zone cultivée et/ou construite. Ils nécessitent un entretien permanent, sans lequel ils se désintègrent en quelques décennies. Certains cordons sont ainsi semi-naturels (ex : avant-dunes plus ou moins dégradées rectifiées par des engins et fixées par des oyats à Sangatte dans le Nord de la France) [8].

#### **Type complexe:**

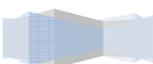
Tous ces types de dunes peuvent exister sous trois formes : simple, composée et complexe [8].

- **Les dunes simples :** sont des collines avec un nombre minimal de côtés escarpés qui en définissent la typologie géométrique.
- **Les dunes composées :** sont des plus grandes dunes, surmontées de dunes similaires plus petites.
- **Les dunes complexes :** sont, elles, formées de plusieurs types de dunes différents.
- **Une dune en demi-lune :** soutenant une dune en étoile est une des dunes complexes les plus communes.

Les dunes sont simples quand le vent reste constant pendant leur formation [8].

#### **I.2.7. Les formes de sable de dune:**

Il existe trois formes [8]:



- ✚ La forme la plus commune sur la Terre (et sur Mars) des dunes est celle en demi-lune, aussi appelée transversale ou barkhane en forme de croissant. Les collines en demi-lune sont, généralement, plus larges que courtes Elle naît là où l'apport de sable est faible et sous des vents unidirectionnels.
- ✚ La dune parabolique est en forme de U. Elles sont typiques des déserts côtiers. La plus longue dune en parabole connue mesure 12 kilomètres. Ce type de dune se forme quand, aux extrémités d'une formation sableuse, commence à apparaître de la végétation qui en arrête la progression, tandis que la partie centrale continue à avancer. Elles se forment quand le vent ne souffle que dans une seule direction dominante.
- ✚ Les siouf ou SIF, dunes en forme de sabre, sont des ondulations longitudinales s'amincissant vers une extrémité.

### I.2.8. Les différents milieux de la dune:

Les dunes sont composées de milieux différents, On distingue différents types de dunes :

#### I.2.8.1. Les dunes mobiles:

Peu ou pas fixées par la végétation (oyats, chiendents des sables etc.) ou dunes blanches, les dunes « reliques » définitivement fixées par la végétation comme les dunes Grises (mousses, lichens, argousiers, etc.), [8].

**I.2.8.2. Les dunes noires (arbres):** Et les dunes fossiles recouvertes par des dépôts sédimentaires autres que le sable [8] (Figure I.5).



**Figure I.5 :** Sable de dune noire [12].

#### I.2.8.3. La dune verte (appelée aussi avant-dune ou dune embryonnaire):

Végétation pionnière des hauts de plage s'installant sur une dune en formation ou à la base d'une dune mobile, dominée par des peuplements clairsemés de psammophytes de type chiensables, Renouée maritime, Pourpier de mer, Soude brûlée, Cakilier maritime, Panicaut maritime, Euphorbe maritime et liseron des dunes [8].

Ces plantes favorisent l'installation de macro mycètes saprotrophes et fixent le sable, formant des buttes sableuses néoformées appelées nebkas et peuvent aboutir à son accrétion sous forme d'une accumulation subhorizontale située en pied de dune (banquette surélevée de quelques décimètres par rapport au haut de plage) [8].

Cette dune est normalement éphémère, qu'elle soit balayée par les vagues de tempête ou qu'elle se transforme en un autre type plus évolué, la dune bordière où l'emplacement des obstacles primitifs n'est plus individualisable [8] (Figure I.6).



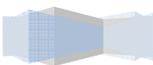
**Figure I.6 :** Sable de dune verte [13].

#### **I.2.8.4. La dune blanche ou jaune:**

Partie de la dune littorale mobile colonisée par l'Oyat, plante fixatrice adaptée à une assez faible salinité du substrat (2 % maximum) à laquelle s'associent d'autres espèces spasmophiles (Panicaut des dunes, Achillée maritime, giroflée des dunes, chou marin, liseron des dunes, gaillet des sables, Lis maritime) [8].

Elle comprend un glacis externe ou une falaise sableuse et un plateau dunaire caractérisés par des formes de déflation (siffle-vent qui peut évoluer en couloir ou plaque de déflation, caoudeyre, dune parabolique) et des zones d'accumulation marquées (tuc, poudrières) [8].

La dune vive succède une dune semi-fixée caractérisée par une accumulation moindre des sables soufflés par les vents (ces derniers étant majoritairement arrêtés par la dune blanche) et le développement d'une végétation dense en tapis [8] (Figure I.7).





**Figure I.7 :** Sable de dune blanche [14].

#### **I.2.8.5. La dune grise :**

Partie de la dune sous le vent correspondant au talus interne de la dune blanche, où pénètrent des plantes herbacées fixatrices succédant aux espèces pionnières, le tout évoluant peu à peu vers une pelouse constituée d'un tapis dense de mousses et lichens (accompagnés de l'Immortelle des dunes, la Linaire des sables, la rose pimprenelle, l'œillet des dunes, l'Ophrys passion (It), la Canche blanchâtre (en), la Luzerne marine, le raisin de mer, le Chardon champêtre, le thym serpolet ou les Orobanches) qui enrichit le sable de matière organique et d'humus[8].

Il existe souvent, au sein de cette dune et à l'arrière de celle-ci, des cuvettes naturelles ou artificielles (mares de chasse, prélèvements de sédiments) dont une partie est, au moins temporairement, en contact avec la nappe phréatique [8] (Figure I.8).

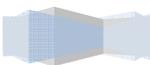


**Figure I.8 :** Sable de dune grise [15].

#### **I.2.8.6. La dune brune (dune boisée ou frange forestière):**

La pelouse est progressivement remplacée par des prairies enrichies d'espèces pré-forestières (Saule des dunes, Rosiers), puis par des buissons et fourrés (Ajonc, Prunelliers), arbustes

*Caractérisation Au Jeune Age D'un Mortier De Sable De Dune Avec Déchets De Bois*



(espèces consolidatrices succédant aux fixatrices, du type argousier, églantier, sureau, troène...), voire un boisement littorale [8] (Figure I.9).



**Figure I.9 :** Sable de dune brune [16].

### **I.2.9. La dune littorale:**

Les dunes littorales ou dunes bordières se forment sur le long des côtes basses où les vents et l'apport de sédiments par la dérive littorale permettent l'accumulation de sable sur les plages [8].

À marée basse, le haut de plage est asséché par le vent ce qui permet le transfert des sables vers l'intérieur des terres, essentiellement par roulage et saltation. La largeur de l'estran est donc un facteur primordial du bon développement des dunes: plus il est large, plus la surface de déflation éolienne et donc la quantité de sédiments soufflés sont importantes. Dans le processus de formation des dunes, les plantes pionnières jouent un rôle fondamental, assurant le dépôt, la fixation et la stabilisation de l'accumulation dunaire. Ces plantes sont adaptées à l'instabilité du substrat et présentent de longues racines traçantes [8].

La dune littorale est donc une forme d'accumulation sédimentaire fixée par une végétation spasmophile, il s'agit d'une construction bio géomorphologique [8].

## **I.3-Généralité sur les déchets:**

**I.3.1. Notion des déchets:** La question des déchets a commencé à se poser de manière aigue avec le développement urbain. Le volume de déchets s'amplifie de façon préoccupante, leur caractère hétérogène rend difficile la généralisation d'une filière de traitement, connaître leur composition et leurs caractéristiques permettra le choix d'une filière de traitement là mieux adaptée et la plus pérenne possible [17].

### **I.3.2. Définition d'un déchet:**

Un déchet est un débris, un résidu considéré comme indésirable et sans valeur pour la personne qui s'en débarrasse. Le terme « déchet » revêt une signification particulière selon les pays, les cultures et même les personnes. Ainsi, un objet peut être sans valeur pour une

personne et avoir une valeur pour une autre (un meuble antique mis au rebut par exemple) [18].

Selon La loi n° 01-19 du 12 décembre 2001, déchets est tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau, produit ou, plus généralement, tout objet, bien meuble dont le détenteur se défait, projette de se défaire, ou dont il a l'obligation de se défaire ou de l'éliminer [18].

### I.3.3. Classification des déchets:

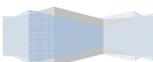
#### I.3.3.1. Selon la réglementation algérienne:

- ❖ **Déchets ménagers et assimilés** : tous déchets issus des ménages ainsi que les déchets similaires provenant des activités industrielles, commerciales, artisanales, et autres qui, par leur nature et leur composition sont assimilables aux déchets ménagers [19].
- ❖ **Déchets spéciaux**: tous déchets issus des activités industrielles, agricoles, de soins, de services et toutes autres activités qui en raison de leur nature et de la composition des matières qu'ils contiennent ne peuvent être collectés, transportés et traités dans les mêmes conditions que les déchets ménagers et assimilés et les déchets inertes [19].
- ❖ **Déchets spéciaux dangereux** : tous déchets spéciaux qui par leurs constituants ou par les caractéristiques des matières nocives qu'ils contiennent sont susceptibles de nuire à la santé publique et/ou à l'environnement [19].
- ❖ **Déchets inertes** : tous déchets provenant notamment de l'exploitation des carrières, des mines, des travaux de démolition, de construction ou de rénovation, qui ne subissent aucune modification physique, chimique ou biologique lors de leur mise en décharge, et qui ne sont pas contaminés par des substances dangereuses ou autres éléments générateurs de nuisances, susceptibles de nuire à la santé et /ou à l'environnement [19].



Figure I.10 : Différents types de déchets [20].

#### I.3.3.2. Selon la nature:



- ❖ **Déchets dangereux:** les déchets dangereux sont les déchets issus de l'activité industrielle contiennent, en quantité variable, des éléments toxiques ou dangereux qui présentent des risques pour la santé humaine et l'environnement et qui de ce fait, nécessitent un traitement particulier, adapté à leur dangerosité. Un déchet dangereux présente une ou plusieurs des caractéristiques suivantes : explosif, comburant, inflammable, irritant, nocif, toxique, cancérigène, infectieux, corrosif, mutagène, .. [21] (Figure I.11).



Figure I.11 : Déchets dangereux [22].

- ❖ **Déchets non dangereux:** les déchets non dangereux sont les déchets qui ne sont pas toxiques et ils ne constituent pas un risque sur la santé ou l'environnement parce qu'ils ne présentent aucune des caractéristiques relatives au degré de dangerosité. Ils sont principalement générés par les entreprises et les industriels, mais aussi par les collectivités et les ménages [23]. Le traitement de ces déchets permet de les transformer en matières réutilisables ou en matières premières secondaires et de limiter ainsi l'épuisement des matières premières [23].

● **Typologies des déchets acceptés:**

- ✗ Déchets Industriels Banals (D.I.B).
- ✗ Ordures ménagères résiduelles (O.M.R.).
- ✗ Encombrants.
- ✗ Emballages valorisables en mélange ou pré-triés.
- ✗ Bois A et Bois B.
- ✗ Déchets verts.
- ✗ Papiers, cartons.
- ✗ Verre.
- ✗ Déchets minéraux (sable, laitiers...).
- ✗ Déchets volumineux (laine de verre, polystyrène...).
- ✗ PVC (menuiserie).

- ❖ **Déchets inertes:** les déchets inertes sont les déchets qui ne subissent aucune modification physique, chimique ou biologique importante. Les déchets inertes ne se décomposent pas, ne brûlent pas et ne produisent aucune réaction physique ou

chimique, ne sont pas biodégradables et ne détériorent pas d'autres matières avec lesquelles ils entrent en contact, d'une manière susceptible d'entraîner une pollution de l'environnement ou nuire à la santé humaine [21].

- ❖ **Déchets ultimes:** déchets qui ne sont plus valorisables, ni par recyclage, ni par valorisation énergétique [18]. Un déchet résultant ou non du traitement d'un déchet, qui n'est plus susceptible d'être traité dans les conditions techniques et économiques du moment, notamment par extraction de la part valorisable ou par réduction de son caractère polluant ou dangereux [24].

### I.3.3.3. Selon l'origine:

- ❖ **Déchets ménagers et assimilés:** les déchets issus des ménages et tout déchet provenant des activités économiques, commerciales ou artisanales et qui par leur nature, leur composition et leurs caractéristiques, sont similaires aux déchets ménagers [19] (Figure I.12).



Figure I.12 : Déchets ménagers et assimilés [25].

- ❖ **Déchets des Activités Economiques (DAE):** il s'agit de déchets d'entreprises qui s'apparentent, par leur nature et leur composition, aux déchets ménagers. La loi considère qu'ils sont « assimilables aux déchets ménagers » et peuvent ainsi être collectés et éliminés comme tels [26].
- ❖ **Déchets industriels:** tout déchet résultant d'une activité industrielle, agroindustrielle, artisanale ou d'une activité similaire; [27].
- ❖ **Déchets médicaux et pharmaceutiques:** tout déchet issu des activités de diagnostic, de suivi et de traitement préventif, palliatif ou curatif dans les domaines de la médecine humaine ou vétérinaire et tous les déchets résultant des activités des hôpitaux publics, des cliniques, des établissements de la recherche scientifique, des laboratoires d'analyses opérant dans ces domaines et de tous établissements similaires ( Figure I.13) [28].



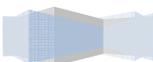
**Figure I.13 :** Déchets médicaux et pharmaceutiques [29].

- ❖ **Déchets agricoles:** tout déchet organique généré directement par des activités agricoles ou par des activités d'élevage ou de jardinage (gazon, branchage...) ; [27] (Figure I.14).



**Figure I.14:** Déchets agricoles [30].

- ❖ **Les déchets organiques:** les termes suivants recouvrent la même notion : déchets biodégradables ou compos tables, les bio-déchets ou les déchets fermentescibles. Un déchet organique est tout déchet pouvant subir une décomposition biologique naturelle, anaérobie ou aérobie. Il s'agit de : (résidus verts, boues d'épuration des eaux, déchets organiques de la cuisine, journal, fleurs coupées...), Ces déchets peuvent être dégradés par les bactéries, champignons et autres micro-organismes et/ou par des réactions chimiques (oxydation, minéralisation). S'ils n'étaient pas contaminés (Figure I.15).





**Figure I.15 :** Les déchets organiques [31].

## **I.4. Le bois:**

### **I.4.1. Généralités sur les bois:**

Le bois est une matière naturelle, peut être très largement utilisé dans la construction puisque des ouvrages peuvent être complètement réalisés avec ce matériau. Après de longues années où le béton surtout, mais aussi le métal et le verre, ont été les principaux matériaux de construction, un nouvel engouement ou un retour vers le matériau bois s'opère aujourd'hui. La sensibilité des populations vis-à-vis de l'environnement, les atouts que présente le bois pour la protection de la planète, les qualités de celui-ci, sont vraisemblablement les éléments moteurs, qui font que les ingénieurs en génie civil et les architectes, les maîtres d'ouvrages, les maîtres d'œuvre accordent aujourd'hui une plus grande attention à ce matériau. De nos jours, le bois est utilisé à tous les stades de l'exécution des ouvrages, notamment sous forme de : Blindage et étayages des feuilles, coffrage des éléments en béton, réalisation de la charpente et des couvertures, menuiserie (portes, fenêtres) et parquets. Le bois est également très utilisé comme matériel de chantier. On s'en sert comme : échafaudages, plateaux de levage, baraques préfabriquées et palissades pour clôturer les chantiers. Ces multiples utilisations nécessitent de l'utilisateur des connaissances précises sur les diverses essences, les qualités et défauts des bois, leurs modes d'assemblages et leurs conditions d'emplois [32].

### **I.4.2. Les types de bois:**

Les différents types de bois sont classés en plusieurs catégories en fonction de leur densité, allant du plus léger au plus dur [33].

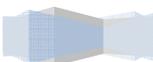




Figure I.16 : Les différentes essences de bois [34].

LA CLASSE A	LA CLASSE B	LA CLASSE C	LA CLASSE D
Correspond aux bois légers dont le peuplier, le sapin, le pin et l’aulne.	Comprend les beaux bois pour les meubles comme le noyer, le teck ou encore le bouleau.	Représente les bois les plus solides, les bois classiques tels que le chêne, le frêne, l’orme et l’acacia.	Reprend les bois les plus durables, on y trouve l’acacia foncé, le wengé et le azobé.

- a) **Le peuplier** : est un bois facile à travailler et sert à faire des meubles lattés ou en contreplaqués. Il est considéré essentiellement comme un bois d’intérieur [33].
- b) **Le sapin** : est un bois tendre, très résistant en intérieur comme à l’extérieur. Il sert aussi bien à faire des charpentes, de la menuiserie ou en mobilier. Il est également l’avantage d’être peu coûteux [33].
- c) **Le pin** : fait partie des bois clairs. Il convient parfaitement dans les intérieurs au style zen ou les décorations en bois dans le style scandinave. C’est un bois discret et élégant facile à travailler, que l’on peut aisément patiner ou peindre [33].
- d) **L’aulne**: est principalement utilisé pour l’ébénisterie mais aussi la confection de meubles d’intérieur. Grâce à sa grande résistance à l’eau il peut également servir à la réalisation de bardage d’habitation [33].
- e) **Le noyer** : est un bois qui s’intègre parfaitement aux constructions contemporaines, design et épurées. Du légèrement nacré au marron, cette essence est un véritable signe de raffinement [33].
- f) **Le teck**: à la caractéristique de posséder une grande résistance à l’humidité ; c’est pour cette raison qu’il est privilégié dans les constructions ou mobiliers d’extérieur ainsi que les pièces sanitaires. Cette essence permet de créer des meubles qui s’intègrent dans tous types de décorations. Il permet également de concevoir des meubles de couleurs sombres [33].
- g) **Le bouleau** : est un bois idéal pour créer une atmosphère zen avec une décoration simple au style épuré du fait de sa sobriété et de sa discrétion. C’est un bois très

souple, ce qui lui permet de s'adapter à tous les projets de construction. Résistance aux chocs, il reste tout de même un bois d'intérieure [33].

- h) **Le chêne** : est un bois dur, homogène, solide, résistant, stable et facile à travailler. Sa couleur a tendance à foncer avec le temps. Il peut être utilisé aussi bien en intérieur qu'en extérieur. Du style traditionnel au contemporain en passant par le rustique, les fabrications en chêne sauront rehausser à tous les styles décoratifs [33].
- i) **Le frêne** : offre une teinte brun beige qui tire sur le blanc avec des reflets nacrés, légèrement rosés. Il est utilisé dans la conception de plans de travail mais aussi pour le mobilier de cuisine des meubles ou encore du parquet.
- j) **L'orme** : offre à vos meubles une teinte qui oscille entre le blond et le marron clair. Il offre un véritable cachet à vos meubles en remplaçant les bois communs tels que le chêne ou le hêtre. Il est principalement utilisé dans le placage ou l'ébénisterie [33].
- k) **L'acacia** : se voit prêter le nom de « *Teck Européen* ». Il est majoritairement utilisé pour les constructions extérieures auxquelles il offre une grande durabilité mais aussi pour les meubles et les parquets [33].
- l) **L'acacia foncé** : est un bois dur et dense. Il sert principalement à la confection de petits objets ou de meubles. Sa couleur foncée tend vers le doré [33].
- m) **L'azobé** : offre une grande résistance à l'humidité, il est majoritairement utilisé pour constructions destinées à l'extérieur. Il peut également servir pour la menuiserie intérieure comme les escaliers ou les parquets. Il offre une couleur rouge foncé avec des reflets violets, ce qui apporte une touche de couleur à votre intérieur ou extérieur [33].

### I.4.3 Les caractéristiques des bois:

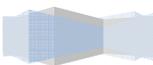
#### I.4.3.1 Propriétés mécaniques

L'utilisation d'un bois en usage structurel est conditionnée par la connaissance de ses propriétés mécaniques.

Les bois de construction modernes - essentiellement des bois tendres - sont légers et solides.

L'épicéa, par exemple, a une masse volumique comprise entre 430 et 470 kg/m<sup>3</sup> lorsqu'il est sec à l'air (taux d'humidité du bois 15 %). C'est cinq fois moins que le béton et dix-sept fois moins que l'acier. Une maison de deux étages et de 100 m<sup>2</sup> au sol construite en matériaux durs pèsera donc 200 tonnes, contre 70 tonnes en 'ossature-bois'. Les bois durs comme le chêne sont plus denses et trouvent de nos jours moins de débouchés dans la charpenterie; ce qui n'était pas le cas au Moyen Âge où on les préférait aux bois résineux. Un bois de chêne par exemple a une densité comprise entre 610 et 980 kg/m<sup>3</sup>.

La résistance des bois tendres par rapport à leur poids les rend très attractifs pour des réalisations légères. De plus, le bois amortit les chocs.



Le bois est très résistant à la compression, à la traction, dans le sens des fibres, et assez résistant à la flexion transversale (surtout en lamellé-collé). Mais s'il ne casse pas, il plie si la section de pièces soumises à la flexion (arbalétriers, poutres) est insuffisante. En compression, le problème du flambement, lié à la souplesse du bois, doit être résolu par un rapport hauteur-largeur relativement petit.

La résistance du bois à la compression est élevée. Pour une résistance égale, le bois demande une section plus grande que l'acier ou le béton [35].

#### **I.4.3.2 Matériau isolant**

La conductivité thermique de l'épicéa, par exemple, est moyenne ( $\lambda = 0,11 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ) mais malgré tout quinze fois plus faible que celle du béton et quatre cents fois plus faible que celle de l'acier. Toutefois le bois est à lui seul très difficilement capable d'assurer l'isolation thermique comme c'est le cas dans la construction en rondins empilés. Dans les constructions à ossature bois, c'est l'isolant placé entre les montants qui réalise véritablement l'isolation thermique du bâtiment.

Le bois est « subjectivement chaud », car son effusivité thermique est basse ( $E_f = 0.56$ ). Un bâtiment à ossature bois se chauffer facilement. L'air y est sec et sain, grâce au bois et à l'isolant aisément placé entre les montants de l'ossature. La température des parois est proche de celle de l'air ambiant, ce qui augmente le confort thermique. Les ponts thermiques sont limités.

Néanmoins, le bois accumule peu la chaleur ; sa capacité thermique est moyenne ( $S = 1\,500 \text{ kJ m}^{-3}$ ). Il n'a pas de « volant d'inertie thermique », mais peut être associé à une masse accumulative ( $S > 1\,900 \text{ kJ m}^{-3}$ ) au centre du bâtiment (maçonnerie, cheminée de pierre ou poêle en faïence par exemple).

- En pays froids, le bois est très apprécié pour les qualités citées ci-dessus.
- En pays chauds, il est moins agréable que la pierre car accumulant mal la fraîcheur de la nuit.

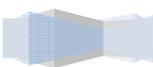
Le bois est poreux car constitué d'un réseau de fibres et vaisseaux, orientés longitudinalement, ce qui explique que, quelle qu'en soit l'essence, il a une conductivité thermique plus grande (donc un pouvoir isolant moindre) dans le sens de ses veines que dans la direction perpendiculaire ; les sols en pavés de « bois debout » sont plus frais que ceux, du même bois, d'épaisseur identique, en planches couchées ou en lames de parquet [35].

#### **I.4.3.3 Matériau chimiquement résistant**

Certaines essences ont une résistance élevée à la corrosion, supportant bien les agressions chimiques, mieux que le béton ou l'acier courant. Il est pour cela volontiers utilisé dans certaines usines où l'atmosphère est agressive. Les bois comme le teck, l'afzelia doussié, sont utilisés pour la fabrication de cuves contenant certains produits chimiques. L'épicéa est régulièrement utilisé pour les silos à sel le long des autoroutes.

Certaines essences de bois ont des composés chimiques qui interagissent avec le fer (Western Red Cedar, Merbau, Afzelia, Chêne, Pin d'Orégon...). Pour éviter des taches et/ou une corrosion des clous et vis utilisés pour les fixer, ceux-ci doivent être en acier inoxydable [35].

#### **I.4.3.4 Matériau hygroscopique et anisotrope**



Le bois subit un retrait au séchage et un gonflement avec la température et surtout l'humidité relative de l'air ou le contact avec l'eau. Le retrait et/ou le gonflement est plus grand dans la direction tangentielle que dans la direction radiale. Il est moindre dans le sens longitudinal mais non négligeable, en particulier dans les constructions constituées de poteaux de bois voisinant des murs en maçonnerie (escalier...). Ces différents retraits en fonction du sens envisagé peuvent causer des tensions dans le bois. Les bois de section réduite vont gauchir, tandis que les bois de forte section (poutres, bois ronds) risquent de se fendre lors d'un séchage trop rapide. Dans les bois de forte section particulièrement, ceci peut être accentué par un retrait inégal à la suite du séchage plus rapide des extrémités, ayant pour conséquence des fentes du bois debout. Le séchage des extrémités est ralenti en les couvrant d'une cire ou d'un hydrofuge (bouche-pore, lasure...). Les pièces de forte section doivent être stockées à l'abri du soleil et des courants d'air pour en ralentir le séchage, chaque essence ayant par ailleurs un comportement différent [35].

Voir pérennité du bois pour un tableau reprenant les différents retraits des bois de l'état vert à l'état « sec à l'air » (12 % d'humidité), et un tableau présentant le mouvement du bois par rapport à l'humidité relative de l'air.

Ne pas confondre retrait et mouvement :

- Le retrait est dû au séchage du bois depuis l'état fraîchement coupé jusqu'à l'état sec.
- Le mouvement est dû aux variations d'humidité relative de l'air, et ceci après séchage et mise-en œuvre [35].

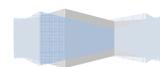
Les essences à mouvement élevé devraient être utilisées sur quartier, le retrait étant moindre dans ce sens que sur dosse. Le bois doit être utilisé avec un taux d'humidité compatible avec son usage, surtout les espèces qui ont un retrait élevé, pour limiter le risque de déformations dues au mouvement. Des « vices de croissance » de l'arbre peuvent aussi engendrer du bois de réaction, qui se déforme différentiellement du bois normal dans le sens longitudinal, et moins dans les deux autres sens, engendrant des contraintes internes (qui peuvent intéresser certains charpentiers).

Le niveau d'humidité d'équilibre du bois est atteint après un certain délai, à la suite des variations d'humidité de l'air. Surtout dans le cas des bois de forte section, les valeurs extrêmes ne seront jamais atteintes, et le mouvement en sera moins important. Les pièces en contact avec l'humidité intermittente doivent néanmoins être assemblées de manière à permettre leur mouvement [35].

#### **I.4.3.5 Matériau adapté aux sols difficiles**

Par sa légèreté et sa souplesse, le bois est adapté aux pentes, sols de faible portance, pergélisols, zones de sismicité. Les affaissements sont d'une part plus faibles, d'autre part absorbés sans conséquences visibles (fissures) par les structures en bois. Les coûts de fondation des nouvelles constructions sont réduits, surtout sur les terrains difficiles ou en pente. Les extensions, domaine particulier de l'architecture engendrant souvent des désordres dus au tassement de la nouvelle construction, sont souvent réalisées en bois, le faible poids de la structure entraînant un tassement moindre et donc moins de risques de fissures ou arrachements.

Dans les pays à forte sismicité, le bois est souvent préféré pour sa capacité à absorber les chocs sismiques au lieu de les transmettre. Au Japon, les assemblages sont à bords arrondis pour encore plus de souplesse [35].



#### I.4.3.6 Facilité de mise en œuvre

Le bois se prête à l'auto construction, à la préfabrication, à l'artisanat comme à l'industrie. Le système à ossature est très flexible, les bâtiments en bois sont faciles à transformer et à agrandir. Les méthodes d'assemblage sont nombreuses et s'adaptent à toutes les situations, du simple clouage au collage très performant, en passant par les broches, plaques, boulons, etc. Il existe également d'autres méthodes telles que le bois cordé et les fustes [35].

#### I.4.3.7 Matériau résistant au feu

Le bois résiste mieux à l'incendie que d'autres matériaux, par contre il peut propager naturellement le feu contrairement à d'autres matériaux comme le béton, l'acier ou la terre. Lorsque les armatures du béton armé se déforment et font basculer la structure, le bois massif ne brûle que de 0,7 mm par minute (4,2 cm par heure) et la couche carbonisée forme une protection pour le cœur du bois. Il ne se dilate que peu et la structure reste stable, même si l'incendie dure longtemps. De plus les pompiers ont coutume de dire que le bois a « l'élégance de prévenir » avant de céder, il craque, contrairement à une ossature métallique, ce qui leur laisse le temps de sortir. Néanmoins le bois, comme matériau de construction, a été abandonné au cours du temps dans les villes à cause de sa facilité à propager les incendies, souvent après des événements dramatiques, notamment le Grand incendie de Londres. Ce défaut explique aussi le faible nombre de maisons en bois anciennes qui restent aujourd'hui.

La température d'ignition du bois (c'est-à-dire la température qu'il faut atteindre pour qu'il s'enflamme) est de 250 °C pour la plupart des résineux et de 350 °C pour les feuillus.

Le bois est combustible mais sa combustion est bien prévisible et suit un comportement à peu près linéaire :

qui, eux, produisent de l'acide cyanhydrique.

- Par contre, les baisses de résistance (environ 50 % à 150 °C) et de rigidité (20 à 50 % à 150 °C en fonction de la sollicitation) sont connues :
- La vitesse de combustion est connue (0,5 à 0,9 mm par minute en fonction de l'essence du bois) et la couche carbonisée est isolante et protège le bois encore non atteint.

Dans cette couche, le flux de chaleur est réduit de plus de moitié. Le bois est mauvais conducteur de la chaleur et ne se dilate que peu. À l'issue d'un incendie, sous sa surface carbonisée, le bois restant conserve donc une certaine capacité portante. Ainsi une structure adéquatement dimensionnée pourra offrir la résistance désirée à l'incendie.

Lors d'un incendie, les fumées produites ne sont pas particulièrement toxiques, au contraire d'autres matériaux comme les menuiseries en PVC qui, en brûlant, dégagent de l'acide chlorhydrique, ou des isolants en polyuréthane panneaux de matériaux dérivés du bois dégagent d'importantes concentrations de formaldéhyde.

Néanmoins, le problème principal est que le bois est un combustible donc propage et entretient le feu, contrairement à d'autres matériaux comme l'acier ou le béton qui ne sont pas des combustibles. A cause de cela, le bois a été de plus en plus interdit en construction dans

certaines villes à la suite d'incendies Chronologie des grands incendies notamment à Londres : Grand incendie de Londres [35].

#### **I.4.4 Les voies de valorisation des déchets de bois:**

Les voies de valorisation des déchets et sous-produits sont multiples et variées. En milieu tropical, leur mise en œuvre est généralement freinée par des aspects de rentabilité économique liés à l'absence d'un marché de proximité. Les coûts de transport vers les centres de consommation pénalisent considérablement les produits à faible valeur ajoutée. Cela oblige à se limiter à des produits qui entrent dans des marchés porteurs, tels que les profilés lamellés aboutés pour la menuiserie et l'ébénisterie. Ce type de produit est exportable à l'échelle internationale ou régionale, alors que les composites sont, d'une manière générale, des produits de consommation locale. Concernant la voie énergétique, l'éloignement de certaines unités industrielles par rapport aux grands centres économiques constitue un argument de poids pour valider l'installation d'unités dans des zones où les coûts de transport des carburants conventionnels sont très élevés. La voie énergétique contribue à alimenter en énergie les réseaux locaux de distribution. Par ailleurs, la biomasse ligneuse est une source d'énergie inerte pour l'environnement comparée aux dégagements de gaz à effet de serre. Enfin, l'évolution des réglementations sur la protection de l'environnement fait obligation aux entreprises du bois, dans la majorité des pays industrialisés, d'éliminer les déchets industriels. L'élimination s'effectue soit par combustion dans des installations agréées, soit par mise en décharge avec des coûts de l'ordre de 10 à 15 € la tonne de déchets de bois brut [36]( Figure I.17).



**Figure I.17 :** Déchets de bois [37].

#### **I.4.5 La valorisation des déchets de bois en Algérie:**

Selon l'Ademe cité par [38], 79 % des déchets de bois sont valorisés et on sait que 57 % des 7,2 millions de tonnes de ces déchets sont valorisés en matière et 22 % en valorisation énergétique. Nous allons voir les principaux types de déchets bois, leurs trois destinations existantes et l'importance d'une déchetterie professionnelle dans leur valorisation ! [38].

Il existe 3 différentes catégories de bois à connaître :

- Le bois de classe A (bois non traités), ils proviennent des sous-produits de la modification des bois brut, des bois secs non-traité et non peints, de palettes, de caisses, de cagettes, bourriches, tambours pour câbles, planches et poutres sans peinture...(Figure I.18)



Figure I.18 : Bois de classe A [39].

- Le bois de classe B ou AB (bois traités non-dangereux), ils proviennent de produits comme des portes, armoires, des bois de coffrage utilisé, des bois de démolition, des panneaux, des bois d'œuvre, vieux meubles, fenêtres... (en savoir plus sur les déchets non-dangereux) (Figure I.19).



Figure I.19 : Bois de classe B [40].

- Le bois de classe C (bois traité dangereux), ils proviennent de produits traités à la créosote (traverses de chemin de fer, des poteaux téléphoniques...) ou autoclaves et imprégnés de sels métalliques (écrans acoustiques, piquet de vigne et d'arboriculture...). Les bois de classe C ne sont pas recyclés ou valorisés, ils doivent être incinérés dans des installations spécifiques car leurs risques d'émissions sont trop importants, notamment en termes de composés organiques volatils polluants. Cependant pour les bois des deux premières classes, une valorisation pourra être faite.[38](Figure I.20).



Figure I.20 : Bois de classe C [41].

Il existe 3 types de destination des déchets de bois de classes A et B :

La Valorisation Matière et Organique (dans 57% des cas), les déchets de bois peuvent être réutilisés en palette après réparation (440 millions de palettes reconditionnées chaque année en France). Pour les autres modes de valorisation, ces déchets peuvent être transformés en matières premières pour :

- La fabrication de panneaux de particules (les dosses, sciures et chutes diverses...).
- La fabrication de pâte à papier (sous- produits des scieries).
- La carbonisation, le paillage, le compostage, le nettoyage des sols, le dégraissage de pièces métalliques ou encore des litières animales...

La Valorisation énergétique (dans 22% des cas), soit en chaufferie collective, soit en incinération avec récupération d'énergie ou encore sur site industriel (chaufferie ou cogénération) et serriste. Cela permet donc une récupération de chaleur ou d'électricité que seuls les produits de bois non-souillés peuvent rendre possible.

L'Élimination (dans 21 % des cas), qui concerne environ 1,3 millions de tonnes de déchets de bois sont éliminés par an, plus de 90 % sont enfouis.[38]

## I.5 Conclusion:

Les matériaux cimentaires sont handicapés par leur faible résistance à la traction et par leur fragilité, qui les rendent particulièrement sensibles à la fissuration notamment la fissuration de retrait.

Si la fragilité est souvent palliée par le renforcement par des armatures, leur mise en place est difficile voire impossible dans certains cas. Le renforcement par des copeaux du bois est une solution alternative qui reste perfectible dans ce sens où celle -ci n'empêche pas la fissuration mais en limite l'ouverture.

La solution idéale est un matériau cimentaire capable de supporter des déformations importantes avant localisation de la fissure. Pour cet objectif, nous avons décidé d'utiliser des

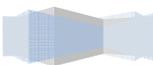
copeaux de bois. Ces copeaux du bois ont été introduits en substitution massique partielle de sable de dune afin d'obtenir un matériau cimentaire écologique.

Nous avons présenté une analyse bibliographie relative aux différent matériaux quand vas utiliser (sable de dune, déchet de bois) pour l'obtention d'un nouveau éco-matériau.

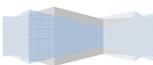
## Référence bibliographique

### CHAPITRE I : Recherche bibliographique

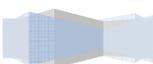
- [1] Tsihoarana H. Rakotoelson ; Mamiharijaona Ramaroson (2017) : Composite à base de pouzzolane et sciure de bois, *American Journal of Innovative Research and Applied Sciences*, pp. 454-460 (Consulter le 4/3/2021) .
- [2] M. Bederina ; T. Bouziani ; M. Khenfer ; M. Quéneudec (2012) : Absorption de l'eau et son effet sur la durabilité des bétons de sable allégés par ajout de copeaux de bois, *MATEC Web of Conferences 2, 01006*, pp. 1-7 (Consulter le 4/3/2021).
- [3] CHEUMANI YONA Arnaud Maxime (2009) : Étude de la microstructure des composites bois/ciment par relaxométrie RMN du proton, Thèse de doctorat, Spécialité : sciences du bois, Thèse en Cotutelle entre L'université Bordeaux 1, École Doctorale Des Sciences Physiques Et De L'ingénieur et L'université De Yaoundé I, 173p (Consulter le 4/3/2021).



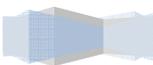
- [4] <https://maconnerie.bilp.fr/guide-general/ouvrage/element/mortier> (Consulter le 4/3/2021).
- [5] [https://fr.wikipedia.org/wiki/Mortier\\_\(mat%C3%A9riau\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Mortier_(mat%C3%A9riau)) (Consulter le 5/3/2021).
- [6] <https://www.systemed.fr/maconnerie-facades/gacher-mortier-sur-aire,5744.html> (Consulter le 5/3/2021).
- [7] <https://blog.teraltaemortier#:~:text=Le%20mortier%20de%20montage%20se,1%20ou%20du%200%2F4> (Consulter le 5/3/2021).
- [8] Exemple d'un gâchait de mortier : Balhachemi S., Berrafa F., (2017) : "La valorisation de sable de dune (sable de Naama) Durabilité et comportement mécanique", Mémoire de magister en génie civil, Centre Universitaire Belhadj Bouchaib d'Ain T'émouchent (Consulter le 6/3/2021).
- [9] Sables roulés siliceux : <http://saspellet.fr/sable.siliceux.blanc.naturel-59-41.php> (Consulter le 6/3/2021).
- [10] Sable de concassage calcaire : [https://www.midi-concassage.fr/blog/colas\\_product/02-concasse/](https://www.midi-concassage.fr/blog/colas_product/02-concasse/) (Consulter le 6/3/2021)
- [11] Sable de dune : [https://fr.freepik.com/photos-gratuite/plan-vertical-motifs-belles-dunes-sable-dans-desert\\_11354046.htm](https://fr.freepik.com/photos-gratuite/plan-vertical-motifs-belles-dunes-sable-dans-desert_11354046.htm) (Consulter le 7/3/2021).
- [12] Sable de dune noire : <https://fr.depositphotos.com/14934773/stock-photo-black-sand.html> (Consulter le 8/3/2021).
- [13] Sable de dune verte : <https://fr.dreamstime.com/photographie-stock-libre-droits-plante-verte-en-dune-sable-blanche-image24612667> (Consulter le 8/3/2021).
- [14] Sable de dune blanche : <https://blog.francetvinfo.fr/bureau-washington/2017/08/17/voyage-au-coeur-du-desert-blanc-au-nouveau-mexique.html> (Consulter le 9/3/2021).
- [15] Sable de dune grise : <https://pixnio.com/nature-landscapes/sand-dunes/large-gray-sand-dune-at-shoreline-of-the-river> (Consulter le 9/3/2021).
- [16] Sable de dune brune : [https://fr.freepik.com/photos-gratuite/prise-vue-grand-angle-texture-sable-plage-or-rugueux\\_13319520.htm](https://fr.freepik.com/photos-gratuite/prise-vue-grand-angle-texture-sable-plage-or-rugueux_13319520.htm) (Consulter le 10/3/2021).
- [17] Bencherif Y., Kerkeb N., (2014): "Etude de l'efficacité du chitosane bentonite comme adjuvants de coagulation-floculation pour le traitement des lixiviats de la décharge de Saida", Université Dr Moulay Tahar de Saida (Consulter le 10/3/2021).



- [18] (Consulter le 11/3/2021) AbdedouK., BoussadS., (2015): "Evaluation de la gestion des déchets ménagers dans la commune de Bouzeguène et implication pour la mise en œuvre d'un mode de gestion plus durable", Master, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou (Consulter le 12/3/2021).
- [19] JORA., (2001) : journal officiel algérien n°77 : la loi n° 01-19 de 12/12/2001 sur la gestion, le contrôle et l'élimination des déchets solides (Consulter le 12/3/2021).
- [20] Différents types de déchets : <https://www.teteamodeler.com/ecologie/ecologie-geste/recyclage/dechets-recyclables.asp> (Consulter le 14/3/2021).
- [21] Damien A., (2004) : « guide du traitement des déchets » .3ème édition. France. P 430 (Consulter le 14/3/2021).
- [22] Déchets dangereux : <https://www.eauxdemarseille-environnement.fr/collecte-transport-et-traitement-des-dechets-dangereux> (Consulter le 14/3/2021).
- [23] <https://www.bsenvironnement.fr/nos-prestations/dechets-pris-en-charge/27-dechets-non-dangereux.htm> (Consulter le 14/3/2021).
- [24] [https://www.aenvironnement.com/ae/dictionnaire\\_environnement/definition/dechet\\_ultime.php4](https://www.aenvironnement.com/ae/dictionnaire_environnement/definition/dechet_ultime.php4) (Consulter le 16/3/2021).
- [25] Déchets ménagers et assimilés : <https://i0.wp.com/alternatiba.eu/alfortville/wp-content/uploads/sites/115/2018/05/DECHETS.jpg?ssl=1> (Consulter le 16/3/2021).
- [26] <https://www.ecophylle.org/l-accompagnement-de-demarches-3/53-fichesresources/783-dechets-generalites> (Consulter le 16/3/2021).
- [27] Chograni Y., (2017) : "Gestion du CET II (Centre d'enfouissement Technique des déchets ménagers) de Hammame Boughrara et risque environnementaux", Mémoire de Master, Université de Tlemcen (Consulter le 16/3/2021).
- [28] [https://www.memoireonline.com/11/13/7979/m\\_Connaissances-attitudes-et-pratiques-des-professionnels-de-sante-sur-la-gestion-des-dechets-hosp11.html](https://www.memoireonline.com/11/13/7979/m_Connaissances-attitudes-et-pratiques-des-professionnels-de-sante-sur-la-gestion-des-dechets-hosp11.html) (Consulter le 17/3/2021).
- [29] Déchets médicaux et pharmaceutiques : <http://cogetrad.com/dechets-medicaux/> (Consulter le 17/3/2021).
- [30] Déchets agricoles : <https://hellobiz.fr/2017/12/15/maison-biologique-construite-a-partir-de-dechets-agricoles-recycles/> (Consulter le 17/3/2021).
- [31] Les déchets organiques : <http://baumaux.over-blog.com/2016/06/comment-produire-un-compost-performant.html> (Consulter le 18/3/2021).



- [32] LUDWIG STEIGER., BASICS : CONSTRUIRE EN BOIS. BIRKHAUSER  
(Consulter le 18/3/2021).
- [33] <https://www.vallon-faure.com/toutes-les-brevs/tendance-bois/les-differents-types-de-bois/> (Consulter le 18/3/2021).
- [34] Les différentes essences de bois : <https://www.vallon-faure.com/toutes-les-brevs/tendance-bois/les-differents-types-de-bois/> (Consulter le 19/3/2021).
- [35] [https://fr.wikipedia.org/wiki/Bois\\_\(mat%C3%A9riau\\_de\\_construction\)#Caract%C3%A9ristiques\\_des\\_bois](https://fr.wikipedia.org/wiki/Bois_(mat%C3%A9riau_de_construction)#Caract%C3%A9ristiques_des_bois) (Consulter le 19/3/2021).
- [36] [http://bft.cirad.fr/cd/BFT\\_277\\_35-43.pdf](http://bft.cirad.fr/cd/BFT_277_35-43.pdf) (Consulter le 20/3/2021).
- [37] Déchets de bois : <https://www.carrieres-castille.fr/wp-content/uploads/sites/23/2018/12/la-valorisation-des-dechets-bois-derives-valmat-recyclage-82.jpg> (Consulter le 20/3/2021).
- [38] <https://www.ecodrop.net/recyclage-et-valorisation-des-dechets-de-bois-batiment/>  
(Consulter le 21/3/2021).
- [39] Bois de classe A  
[http://www.tubertenvironnement.fr/photos/datPhoto3\\_550853a7cef29\\_N.jpg](http://www.tubertenvironnement.fr/photos/datPhoto3_550853a7cef29_N.jpg)  
(Consulter le 21/3/2021).
- [40] Bois de classe B : <http://groupe-seosse.fr/eco-transformation/> (Consulter le 23/3/2021).
- [41] Bois de classe C : <http://vousamoi.v.o.pic.centerblog.net/o/ff06614c.jpg> (Consulter le 24/3/2021).



## **LISTE DES FIGURES**

Figure I.1	Exemple d'un gâchait de mortier.	Page 02
Figure I.2	Sables roulés siliceux.	Page 05
Figure I.3	Sable de concassage calcaire.	Page 06
Figure I.4	Sable de dune.	Page 06
Figure I.5	Sable de dune noire.	Page 09
Figure I.6	Sable de dune verte.	Page 10
Figure I.7	Sable de dune blanche.	Page 10
Figure I.8	Sable de dune grise.	Page 11
Figure I.9	Sable de dune brune.	Page 11
Figure I.10	Différents types de déchets.	Page 13
Figure I.11	Déchets dangereux.	Page 14
Figure I.12	Déchets ménagers et assimilés.	Page 15
Figure I.13	Déchets médicaux et pharmaceutiques.	Page 15
Figure I.14	Déchets agricoles.	Page 16
Figure I.15	Les déchets organiques.	Page 16
Figure I.16	Les différentes essences de bois.	Page 17
Figure I.17	Déchets de bois.	Page 23
Figure I.18	Bois de classe A.	Page 23
Figure I.19	Bois de classe B.	Page 24
Figure I.20	Bois de classe C.	Page 24

## CHAPITRE II : RESULTATS EXPERIMENTAUX

### II.1. Introduction:

Dans toute étude sur les bétons ou autres matériaux, la présentation et la caractérisation des différents matériaux et matériels utilisés est une tâche indispensable pour que le travail soit valable, strict et dans les normes.

L'objectif de ce chapitre est d'étudier l'emploi judicieux des matériaux de construction qui exige la pré-connaissance de leurs diverses propriétés ; physiques et mécaniques, afin d'obtenir le meilleur choix répondant à leur destination. Les informations concernant les matériaux utilisés doivent être récoltées par des techniques fiables tout en préférant les essais normalisés. En plus, il est nécessaire que les matériaux soient malaxés correctement afin de produire un mélange homogène possédant par conséquent des propriétés uniformes.

Par ailleurs, il faut choisir des essais adéquats pour parvenir à un meilleur contrôle des propriétés rhéologiques et mécaniques des formulations confectionnées.

Ajoutons enfin que la caractérisation physique des matériaux et des mortiers sont réalisés dans le Laboratoire Pédagogique du département de Génie Civil et d'Hydraulique de l'Université 8 Mai 1945 - Guelma -

Tandis que la caractérisation mécanique des mortiers sont effectués dans le Laboratoire de Génie Civil et d'Hydraulique (LGCH) de l'université de Guelma.

### II.2. Matériaux utilisés:

Nous avons utilisé les matériaux locaux suivant :

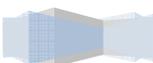
-  Sable de dune (SD) de la région d'El-Oued.
-  Un ciment CPJ 42.5 : de la cimenterie de Hadjar-Essoud Wilaya de Skikda.
-  Eau de gâchage : l'eau potable du laboratoire Pédagogique du département de Génie Civil et d'Hydraulique.
-  Déchet de bois rouge (sciures de bois d'une menuiserie à la ville de Guelma).

### II.3. Caractéristiques des matériaux:

#### II.3.1. Caractéristique du sable de dune:

On a utilisé un seul sable qui est un sable de dune prélevé de la **wilaya d'El-Oued**

(Figure II 1).





**Figure II.1:** Photo du sable de dune utilisé.

D'où ces caractéristiques sont les suivantes :

### II.3.1.1. Analyses granulométrique :NA 2607 [1]

- ☛ **But de l'essai :** L'analyse granulométrique par tamisage permet de déterminer la grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs des différentes familles de grains constituant les échantillons. Elle nous permet d'identifier les sols, les classer et même également les nommer.
- ☛ **Principe de l'essai :** L'essai consiste à fractionner au moyen d'une série de tamis un matériau en plusieurs classes granulaires de tailles décroissantes. Les dimensions de mailles et le nombre des tamis sont choisis en fonction de la nature de l'échantillon. Les masses des différents refus et tamisât sont rapportées à la masse initiale du matériau. Les pourcentages ainsi obtenus sont exploités sous forme de tableau ou graphique. La perte éventuelle de matériaux pendant l'opération de tamisage ne doit pas excéder plus de 2% du poids total de l'échantillon de départ. On considère que le tamisage est terminé lorsque les refus ne varient pas de plus de 1% entre deux séquences de vibrations de tamiseuse.
- ☛ **Mode opératoire :** L'opération du tamisage du sable se fait au moyen d'une tamiseuse ou on place la série des tamis sur le cercle inférieur du cadre de l'appareil en suite l'ensemble est serré aux montants par la couronne supérieure, à l'aide de deux jeux de ressort et vis de blocage. L'arrangement de grain est arrangé par la vibration et choc de la colonne de tamis.
  - ❖ *Appareillage spécial pour l'analyse granulométrique* (Figure II.2):
    - ✓ Tamiseuse électrique.
    - ✓ Série de tamis en mm (4 - 2 - 1 - 0.500 - 0.250 - 0.180 - 0,125 - 0,063).
    - ✓ Balance.
    - ✓ Brosse pour nettoyage des tamis.
    - ✓ Etuve.

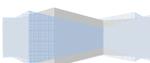


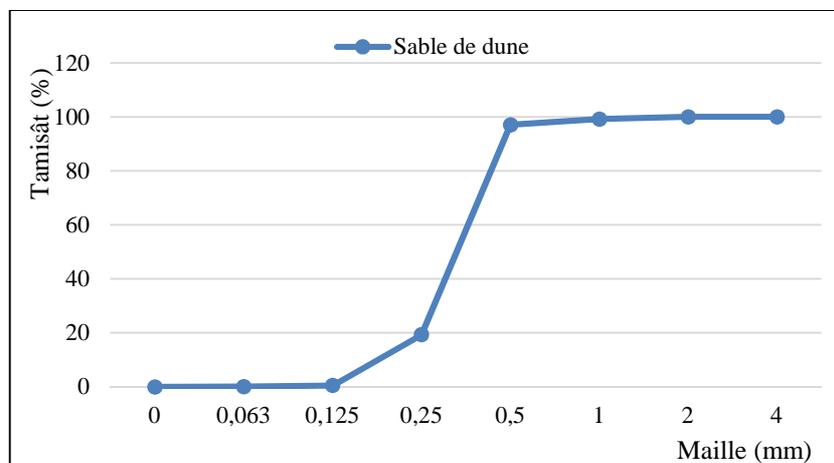


Figure II.2: Photo de la tamiseuse électrique utilisée.

Le tableau II.1 ci-dessous regroupe les résultats de l'analyse granulométrique obtenus pour le sable de dune utilisé.

Tableau II.1 : Analyse granulométrique du sable de dune.

Poids de l'échantillon sec:		2500 g				
Maille tamis (mm)	Poids tamis (g)	Poids tamis+Refus partiel (g)	Refus partiel (g)	Refus cumulé (g)	Refus (%)	Tamisât (%)
4	420	420	0	0	0	100
2	384.9	385	0.100	0.100	0.004	99.99
1	337.4	340	2.00	2.100	0.08	99.20
0.500	300.2	361	70.900	73	2.92	97.08
0.250	280.9	2.225	1944.10	2017.100	80.68	19.32
0.125	264.3	735	470.70	2487.800	99.51	0.49
0.063	260	270	10	2497.800	99.91	0.09
fond	248.7	250.90	2.20	2500	100	0



**Figure II.3:** Courbe granulométrique du sable de dune.

D'après les résultats donnés au tableau II.1 et la courbe granulométrique (Figure II.3) nous pouvons constater que plus de 80% des grains de sable de dune ont un diamètre compris entre 0.125 et 0.250 avec une allure trop serrée, donc c'est un sable très fin.

Suivant la Norme Algérienne NA 5113[2] Equivalente à la Norme Européenne EN12620 on a

$$M_f = \frac{1}{100} \Sigma \text{ Refus cumulés en \% des tamis } \{ 0.125 - 0.25 - 0.50 - 1 - 2 - 4 \}$$

$M_f = 1.83 \%$  Donc  $1.8 < M_f < 2.2$  le sable est à utiliser si l'on recherche particulièrement la facilité de mise en œuvre au détriment probable de la résistance.

### II.3.1.2. La masse volumique du sable:

#### II .3.1.2.1. Masse volumique apparent:

La masse volumique apparente d'un matériau est la masse volumique d'un mètre cube de matériau pris en tas, comprenant à la fois des vides perméables et imperméables de la particule ainsi que les vides entre particules.

La masse volumique apparente d'un matériau pourra avoir une valeur différente suivant qu'elle sera déterminée à partir d'un matériau compacté ou non compacté.

La masse volumique apparente du sable est donnée par la formule suivante :

$$P_{\text{apparent}} = (M_2 - M_1) / V_R$$

$M_1$  : Masse du récipient vide.

$M_2$  : Masse du récipient plus le sable.

$V_R$  : Volume du récipient ( $V_R = 649.09688 \text{ cm}^3$ ) [dans notre cas on a calculé le volume].

**Figure II.4:** Essais de la masse volumique apparente du sable utilisé.

### Interprétations des résultats:

Le tableau II.2 ci-après présente les résultats obtenus de l'essai de la masse volumique apparente de 3 essais:

**Tableau II.2:** La masse volumique apparente ( $P_{apparent}$ ) du sable.

Désignation	Essai 1	Essai 2	Essai 3
M1 [g]	2270	2270	2270
M2 [g]	3195	3195	3195
$\rho_{app} = \frac{M2 - M1}{VR}$ [g]/[cm <sup>3</sup> ]	1.425	1.425	1.425
$\rho_{app}(moy)$ [g]/[cm <sup>3</sup> ]	1.425		

La masse volumique apparente moyenne est [1.425] g/cm<sup>3</sup>, donc d'après [la Fiches techniques] c'est du granulat de nature silico-calcaires.

**II.3.1.2.2. Masse volumique absolue:**

La masse volumique absolue [ $\rho_{Ab}$ ] est la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat, sans tenir compte des vides pouvant exister dans ou entre des grains comme montre la figure II.5.

La formule qui nous permis la détermination de la masse volumique absolue est :

$$\rho_{Ab} = M / (V2 - V1).$$

$\rho_{Ab}$  : Masse volumique absolue.

M : Masse des grains solides.

V1 : Volume de l'eau.

V2 : Volume total (grains solide + eau).



**Figure II.5:** Essai de la masse volumique absolue du sable utilisé.**Interprétations des résultats:**

Les résultats obtenus de la masse volumique absolue sont regroupés dans le tableau II.3 ci-dessous :

**Tableau II.3:** La masse volumique absolue ( $\rho_{Ab}$ ) du sable.

Désignation	Essai 1	Essai 2	Essai 3
M [g]	300	150	150.5
V <sub>1</sub> [cm <sup>3</sup> ]	114.95	134.30	136.71
V <sub>2</sub> [cm <sup>3</sup> ]	229.20	192.20	193.008
$\rho_{Ab}$ [g/cm <sup>3</sup> ]	2.625	2.590	2.673
$\rho_{Ab(moy)}$ [g/cm <sup>3</sup> ]	2.629		

D'après Dreux et al 1998 [3] on peut constater que: le sable de dune est un sable de nature silico-calcaires, car la masse volumique absolue moyenne est [2.629] g/cm<sup>3</sup>.

Et d'après les résultats de la masse volumique absolue ( $\rho_{Ab} > 2g/cm^3$ ), donc c'est un granulat pour les bétons courants.

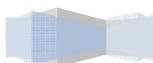
**II.3.1.2.3. Equivalent de sable :NA 455[4].****☛ But de l'essai:**

L'essai permettant de mesurer la propreté d'un sable, est effectuée sur la fraction d'un granulat 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 comme montre la figure II.6.

**☛ Mode opératoire:**

- ☛ Remplir l'éprouvette d'une solution lavent jusqu'au premier repère (10 cm).
- ☛ À l'aide d'un entonnoir, verser l'échantillon de sable de  $(120 \pm 1)$  g dans l'éprouvette et taper fortement à plusieurs reprises avec la paume de la main a fin de libéré les bulles d'air et favorise le mouillage de l'échantillon.
- ☛ Laisse reposer pendant 10 min.
- ☛ Boucher l'éprouvette à l'aide d'un bouchon en caoutchouc et lui imprimer 90 cycles de 20cm de secousses horizontal en 30s à la main ou à l'aide de l'agitateur mécanique.
- ☛ Retirer le bouchon de l'éprouvette, le rincer avec la solution lavent au-dessus de l'éprouvette et rincer ensuite les parois de celle-ci.



- Faire descendre le tube laveur dans l'éprouvette le rouler entre le pouce et l'index en faisant tourner lentement le tube et l'éprouvette tout en imprimant au tube un léger piquage.
- Après 20 min de dépôt,
- Mesurer la hauteur de sable propre seulement ( $h'_2$ ) et la hauteur du sable propre y compris le floculat (éléments fins) ( $h_1$ ).
- Mesurer la hauteur du sable plus précisément avec le piston taré ( $h_2$ ).
- L'équivalent de sable visuel ( $E_{sv}$ ) est défini par :

$$E_{sv} = \left( \frac{h'_2}{h_1} \right) 100\%$$

- L'équivalent de sable par piston ( $E_{sp}$ ) est défini par :

$$E_{sp} = \left( \frac{h_2}{h_1} \right) 100\%$$



Figure II.6: Essai de l'équivalent du sable.

**Interprétations des résultats:**

**Tableau II.4:** Qualité du sable en fonction des valeurs d'équivalent de sable ESV et ESP.

$E_{sv}$	$E_{sp}$	Nature et qualité du sable
$E_{sv} < 65$	$E_{sp} < 60$	<b>Sable argileuse:</b> risque de retrait ou de gonflement à rejeter pour des bétons de qualité.
$65 \leq E_{sv} < 75$	$60 \leq E_{sp} < 70$	<b>Sable légèrement argileux:</b> de propreté admissible pour bétons de qualité courante quant on ne craint pas particulièrement le retrait.

$75 \leq E_{SV} < 85$	$70 \leq E_{SP} < 80$	<b>Sable propre:</b> à faible pourcentage de fines argileuses convenant parfaitement pour les bétons de haute qualité.
$E_{SV} \geq 85$	$E_{SP} \geq 80$	<b>Sable très propre :</b> l'absence presque totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par augmentation du dosage en eau.

Les résultats sont regroupés dans le tableau II.5 ci-dessous :

**Tableau II.5:** Résultats d'essais d'équivalent de sable.

	Sable de dune		
	Essai 1	Essai 2	Essai 3
$E_{SV}(\%)$	91.209	100	98.824
<b>Moyenne (%)</b>	96.678		
$E_{SP}(\%)$	85.714	91.463	89.412
<b>Moyenne (%)</b>	88.863		

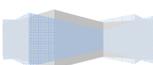
Suivant la Qualité du sable en fonction des valeurs d'équivalent de sable  $E_{SV}$  et  $E_{SP}$  donner dans le tableau II.5 ci-dessus.

Ont conclu que le sable testé est un sable très propre : l'absence presque totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par augmentation du dosage en eau.

Donc d'après notre résultat nous concluons que notre sable est très propre et ne contient que très peu de fines, il est préférable de ne l'employer qu'avec des dosages en ciment assez élevés ( $C \geq 350 \text{ kg/m}^3$ ).

### II.3.2. Caractéristique du bois:

On a utilisé un seul type de sciures de bois qui est le déchet du bois rouge prévenir d'un Menuisier de la **ville de Guelma** (Figure II.7).





**Figure II.7:** Photo du copeau (sciure) de bois utilisé.

D'où ces caractéristiques sont les suivantes :

### II.3.2.1. Analyses granulométrique:

L'analyse granulométrique du déchet de menuiserie de bois (sciures) est réalisée comme celle du sable car on va le considérer comme correcteur du sable de dune, pour cela tous les sciures utilisées dans notre étude expérimentale sont tamisées par le tamis du diamètre 5 mm.

Les résultats de l'analyse granulométrique de déchet de bois sont regroupés au tableau II.6 ci-dessous et schématisées sur la (Figure II.8) ci-après :

**Tableau II.6:** Analyse granulométrique de déchet de bois.

Poids de l'échantillon sec:		250 g				
Maille tamis (mm)	Poids tamis (g)	Poids tamis+Refus partiel (g)	Refus partiel (g)	Refus cumulé (g)	Refus (%)	Tamisât (%)
6.3	440	440	0	0	0	100
5	415.8	600	184.200	184.200	73.68	26.32
4	420	421.300	1.300	185.500	74.20	25.80
2	384.9	395	10.100	195.600	78.24	21.76
1	337.4	364.800	27.400	223	89.20	10.80
0.500	300.2	314.700	14.500	237.500	95	5
0.250	280.9	290	9.100	246.600	98.64	1.36
0.125	264.3	264.900	0.600	247.200	98.88	1.12
0.063	260	261.500	1.500	248.700	99.48	0.52
Fond	248.7	250	1.300	250	100	0

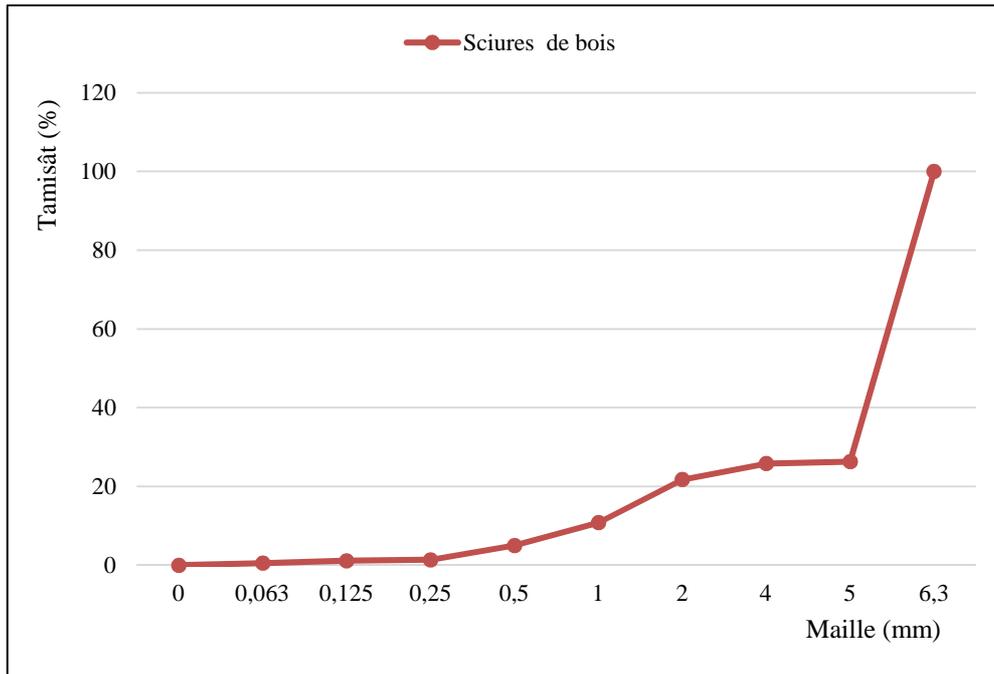


Figure II.8: Courbe granulométrique de la sciure de bois.

II.3.2.2.Les masses volumiques du sciure de bois:

II .3.2.3. Masse volumique apparent:



Figure II.9: Essais de la masse volumique apparente de la sciure de bois utilisées.

Interprétations des résultats:

Le tableau II.7 ci-après présente les résultats obtenus de l’essai de la masse volumique apparente de 3 essais:

Tableau II.7: La masse volumique apparente ( $P_{apparent}$ ) du bois.

Désignation	Essai 1	Essai 2	Essai 3
-------------	---------	---------	---------

M1 [g]	2270	2270	2270
M2 [g]	2330	2325	2325
$\rho_{app} = \frac{M2 - M1}{VR} \text{ [g]/[cm}^3\text{]}$	0.092	0.085	0.085
$\rho_{app} \text{ (moy) [g/cm}^3\text{]}$	0.087		

M1 : Masse du récipient vide (M1=2270 g).

M2 : Masse du récipient plus le déchet (sciures) de bois.

VR : Volume du récipient (VR = 649.09688 cm<sup>3</sup>).

La masse volumique apparente moyenne est [0.087] g/cm<sup>3</sup>.

**II.3.2.4. Masse volumique absolue:**



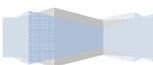
Figure II.10: Essai de la masse volumique absolue de la sciure de bois utilisées.

**Interprétations des résultats:**

Les résultats obtenus de la masse volumique absolue sont regroupés dans le tableau II.8 ci-dessous:

Tableau II.8: La masse volumique absolue ( $\rho_{Ab}$ ) de la sciure de bois.

Désignation	Essai 1	Essai 2	Essai 3
M [g]	10	20	10
V <sub>1</sub> [cm <sup>3</sup> ]	116.56	96.46	116.56



$V_2 [cm^3]$	188.90	200.96	188.90
$\rho_{Ab} [cm^3]$	0.138	0.191	0.138
$\rho_{Ab(moy)} [g/cm^3]$	0.156		

**II.3.2.5. Equivalent de sable (sciures de bois) :NA 455[4].**

Les résultats sont regroupés dans le tableau II.9 ci-dessous :

**Tableau II.9:** Résultats d’essais d’équivalent de sable (sciure de bois).

	Sciure de bois		
	Essai 1	Essai 2	Essai 3
$E_{SV}(\%)$	46.364	47.273	47.273
<b>Moyenne (%)</b>	47		
$E_{SP}(\%)$	90.909	90.909	90.909
<b>Moyenne (%)</b>	90.9		

On remarque clairement qu’il y a vraiment une variété entre  $E_{SV}$  et  $E_{SP}$  qui s’explique par le faite que le bois prend assez de temps pour se trempé. Alors la mesure de ( $h'_2$ ) n’a touché que les particules qui ont pu se mouillées pendant le temps de réalisation de l’essai (30 min et 30s), par contre la valeur de  $E_{SP}$  est plus réelle car l’utilisation du piston impose la valeur exacte de ( $h_2$ ), soit les sciures sont complètement mouillées ou non.

**II.3.3. Caractéristiques du ciment utilisé:**

Dans le tableau II.10 qui suit, les caractéristiques du ciment utilisé pour tous les mortiers confectionnés dans cette étude qui est le ciment Portland (CPJ-CEM II / A 42.5) comme montre la figure II.11.

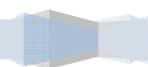
Le choix du CPJ42.5 s'explique facilement par le fait qu'il s'agit d'un ciment disponible localement. D'une manière générale, le choix du ciment dépend, en particulier, de la résistance souhaitée du béton, des exigences de mise en œuvre et de l'environnement de la structure.

Ce ciment se compose principalement de 75% de clinker, 5% de gypse et 20% de laitier de haut fourneau de la cimenterie "Hajar-Essoud" (Wilaya de Skikda). Ses analyses physiques, chimiques et minérales sont représentées respectivement ci-après NA442 [5]:

**Tableau II.10:** Caractérisation de ciment [5].

Composition chimique (%)		Caractéristique physique	
CaO	58.6	Densité absolue	3.11
Si O2	24.92	Densité apparente	1.09
Al2O3	6.58	Surface spécifique Blaine	3371

***Caractérisation Au Jeune Âge D'un Mortier De Sable De Dune Avec Déchets De Bois***



Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.65	Consistance normale (%)	25.6
MgO	1.21	Début de prise (mn)	123
K <sub>2</sub> O	0.85	Fin de prise (mn)	180
Na <sub>2</sub> O	0.08	Expansion à chaud (mm)	1.80
SO <sub>3</sub>	2.17	Refus au tamis 45	17.40
PAF	1.7		



Figure II.11: Sac de ciment utilisé « GICA ».

### II.3.4. L'eau de gâchage:

Pour mélanger notre mortier, nous avons utilisé l'eau du robinet disponible dans notre laboratoire pédagogique de génie civil et hydraulique de l'Université 8 mai 1945 de Guelma. Cette eau doit être conforme à la norme NA 1966 [6]. Et ne doit pas contenir d'impuretés nocives telles que chlorure, sulfate, matière organique, nitrates, sodium (Na), sels de potassium (K) ... etc.

L'utilisation de l'eau potable dans les mortiers est considérée comme une pratique sécuritaire.

### II.4. Correction du sable de dune avec déchet (sciures) de bois :

On premier lieu avant de passer au but principale de notre étude, on a essayé de caractérisé le nouveau mélange de sable de dune substitué à différent pourcentage de sciures de bois (10%, 20% et 30%). En espérant avoir quelques améliorations dans les caractéristiques préliminaires du sable de dune qui peut être considéré comme une correction.

Les modes opératoires de caractérisation des nouveaux mélanges sont les même que celle appliquer au paravent pour le sable de dune et le bois.

### II.4.1. La granulométrie:

#### II.4.1.1. Analyses granulométrique:



Figure II.12: Mélange de sable de dune à différents pourcentages de copeaux du bois.

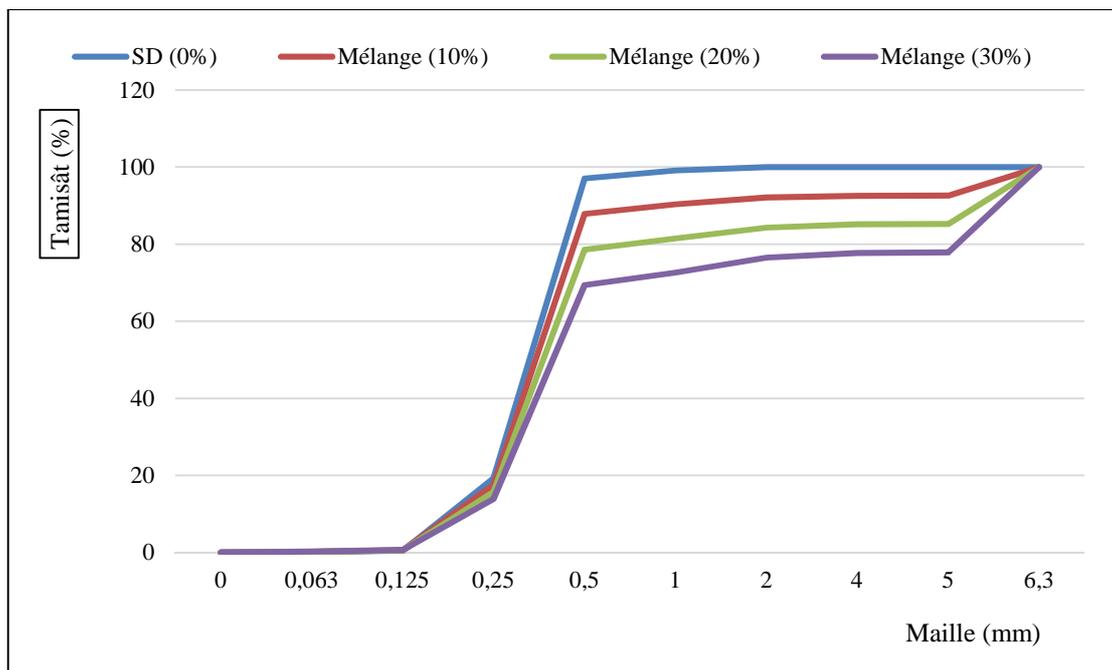


Figure II.13: Courbe granulométrique des différents mélanges.

#### Interprétation :

D'après les courbes granulométriques dessinés à la (Figure II.13) nous pouvons constater que :  
 A chaque augmentation du pourcentage de sciure substitué dans le sable la courbe granulométrique du mélange tend à s'étalée.

II.4.2.Les masses volumiques du mélange:

II.4.2.1. Masse volumique apparent:

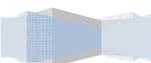


Figure II.14: Essais de la masse volumique apparente du mélange de sable de dune à différents pourcentages du copeau (sciures) de bois.

Les résultats obtenus de la masse volumique apparente sont regroupés dans le tableau II.11 ci-dessous :

Tableau II.11 : La masse volumique apparente ( $\rho_{App}$ ) du mélange de sable de dune à différents pourcentages du copeau (sciures) de bois.

	Le mélange de sable du dune et du sciures de bois		
	SD substitué de (10%)	SD substitué de (20%)	SD substitué de (30%)
M1 [g]	2270	2270	2270
Essai 1 : M2 [g]	3180	3175	3175
Essai 2 : M2 [g]	3180	3175	3176
Essai 3 : M2 [g]	3181	3175	3175
	1.401	1.394	1.394
	1.401	1.394	1.396

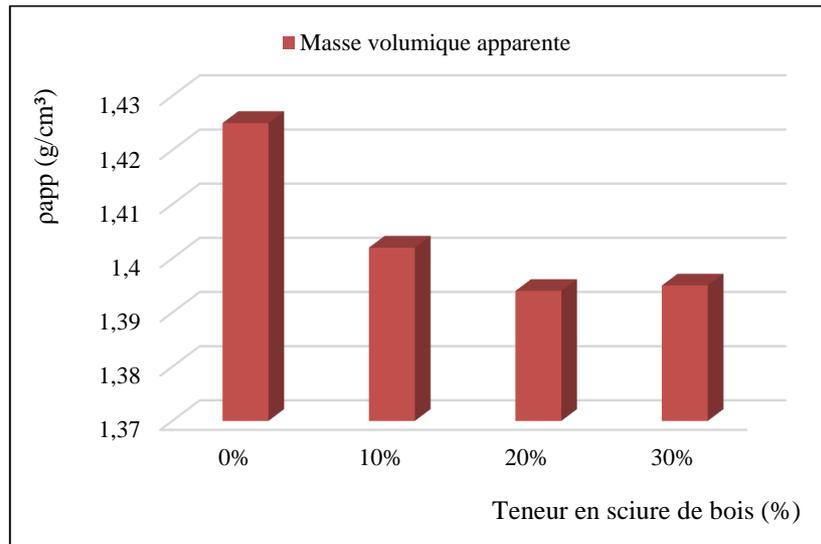


$\rho_{app} = \frac{M2 - M1}{VR} \text{ [g]/[cm}^3\text{]}$	1.403	1.394	1.394
$\rho_{app}(\text{moy}) \text{ [g]/[cm}^3\text{]}$	<b>1.402</b>	<b>1.394</b>	<b>1.395</b>

M1 : Masse du récipient vide (M1=2270 g).

M2 : Masse du récipient plus le mélange.

VR : Volume du récipient (VR =649.09688 cm<sup>3</sup>).

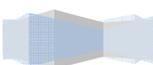


**Figure II.15:** Histogramme de la masse volumique apparente ( $\rho_{App}$ ) du mélange de sable de dune à différents pourcentages du copeau (sciures) de bois.

**Interprétations :**

Donc d’après notre résultat ont conclu que plus le pourcentage du copeau (sciures) de bois augmente, plus la masse volumique apparente du mélange diminue (Figure II.15).

**II.4.2.2. Masse volumique absolue:**



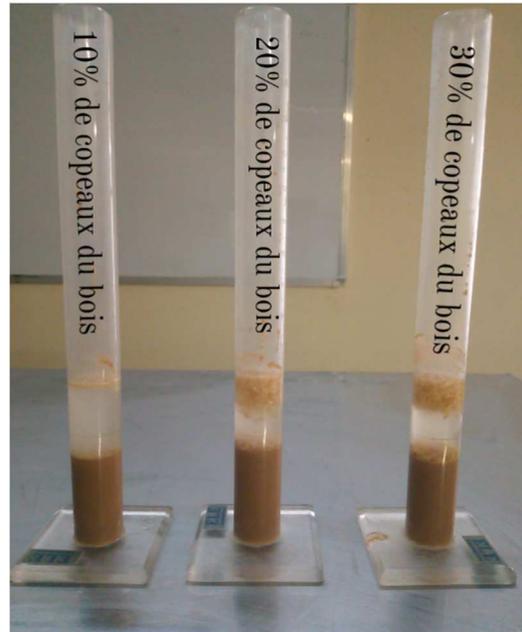


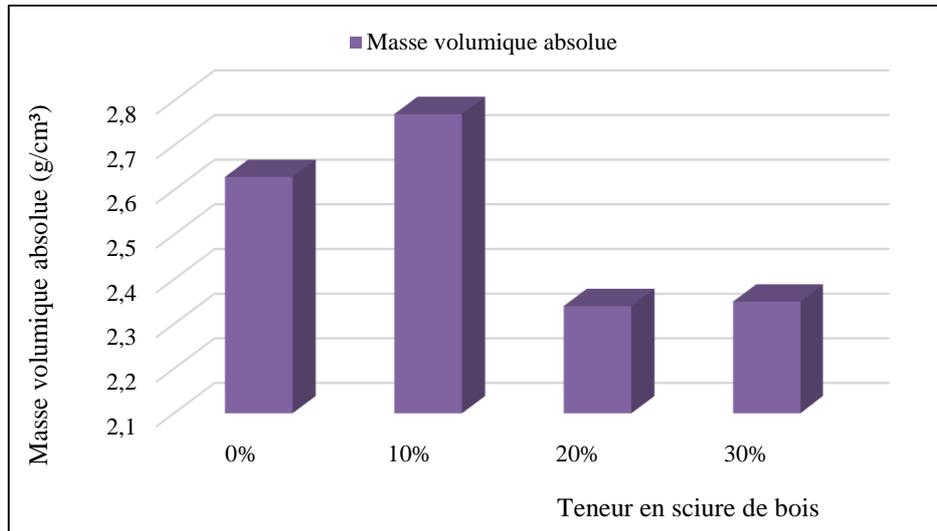
Figure II.16: Essai de la masse volumique absolue des différents mélanges utilisé.

Les résultats obtenus de la masse volumique absolue sont regroupés dans le tableau II.12 ci-dessous:

Tableau II.12: La masse volumique absolue ( $\rho_{Ab}$ ) du mélange de sable de dune à différents pourcentage du copeau (sciures) de bois.

Le mélange de sable de dune et du copeau (sciures) de bois			
Unité: [g/cm <sup>3</sup> ]	SD substitué de (10%)	SD substitué de (20%)	SD substitué de (30%)
Essai 1	$m_1 = 100g$	$m_1 = 100g$	$m_1 = 100g$
	$V_1 = 80.38$	$V_1 = 80.38$	$V_1 = 80.38$
	$V_2 = 116.56$	$V_2 = 124.60$	$V_2 = 120.58$
	$\rho_{Ab} = 2.76$	$\rho_{Ab} = 2.26$	$\rho_{Ab} = 2.49$
Essai 2	$m_1 = 100g$	$m_1 = 100g$	$m_1 = 100g$
	$V_1 = 80.38$	$V_1 = 80.38$	$V_1 = 80.38$
	$V_2 = 112.54$	$V_2 = 120.58$	$V_2 = 128.61$
	$\rho_{Ab} = 3.11$	$\rho_{Ab} = 2.49$	$\rho_{Ab} = 2.07$
Essai 3	$m_1 = 100g$	$m_1 = 100g$	$m_1 = 100g$
	$V_1 = 80.38$	$V_1 = 80.38$	$V_1 = 80.38$
	$V_2 = 116.56$	$V_2 = 124.60$	$V_2 = 120.58$

	$\rho_{Ab} = 2.76$	$\rho_{Ab} = 2.26$	$\rho_{Ab} = 2.49$
$\rho_{Ab}(\text{moy})[\text{g}/\text{cm}^3]$	2.77	2.34	2.35



**Figure II.17:** Histogramme de la masse volumique Absolue ( $\rho_{Ab}$ ) du mélange de sable de dune à différents pourcentage du copeau (sciure) de bois.

**Interprétations des résultats:**

Donc d’après notre résultat ont conclu que la masse volumique absolue du mélange à augmenter pour 10% de sciure de bois pour diminuer pour les deux autres pourcentages de sciure de bois (20% et 30%) Figure II.17.

**II.4.2.3. Equivalent de sable (Mélange sciure de bois et sable) :**

Les résultats sont regroupés dans le tableau II.13 et schématisés sur la figure ci-dessous :

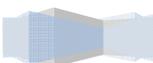
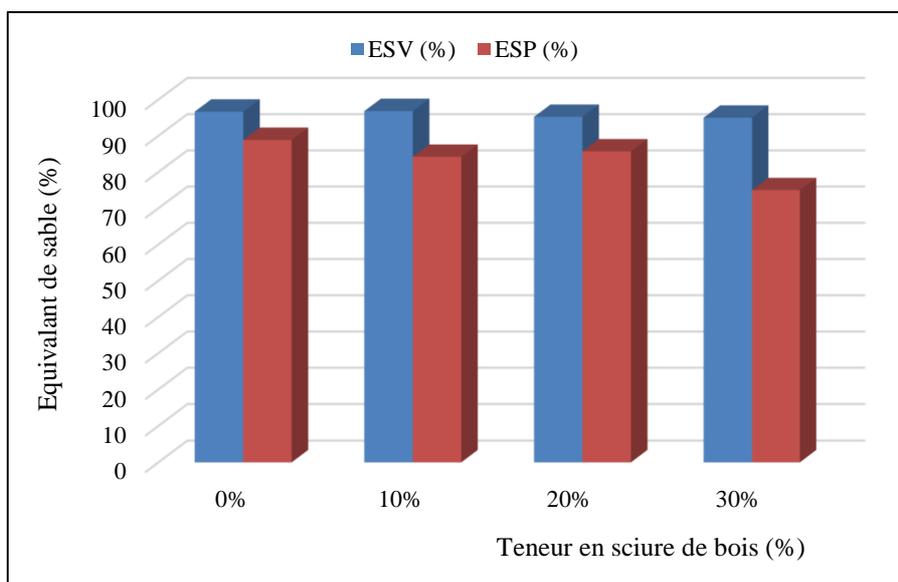




Figure II.18: Essai de l'équivalent du sable (mélange de bois et sable).

Tableau II.13: Résultats d'essais d'équivalent de sable (Mélange sciure de bois et sable).

	Mélange sciure de bois et sable		
	Mélange 10%	Mélange 20%	Mélange 30%
$E_{SV}(\%)$	96.842	95.238	95
$E_{SP}(\%)$	84.211	85.714	75



**Figure II.19:** Histogramme de l'équivalent de sable du mélange de sable de dune à différents pourcentages du copeau (sciure) de bois.

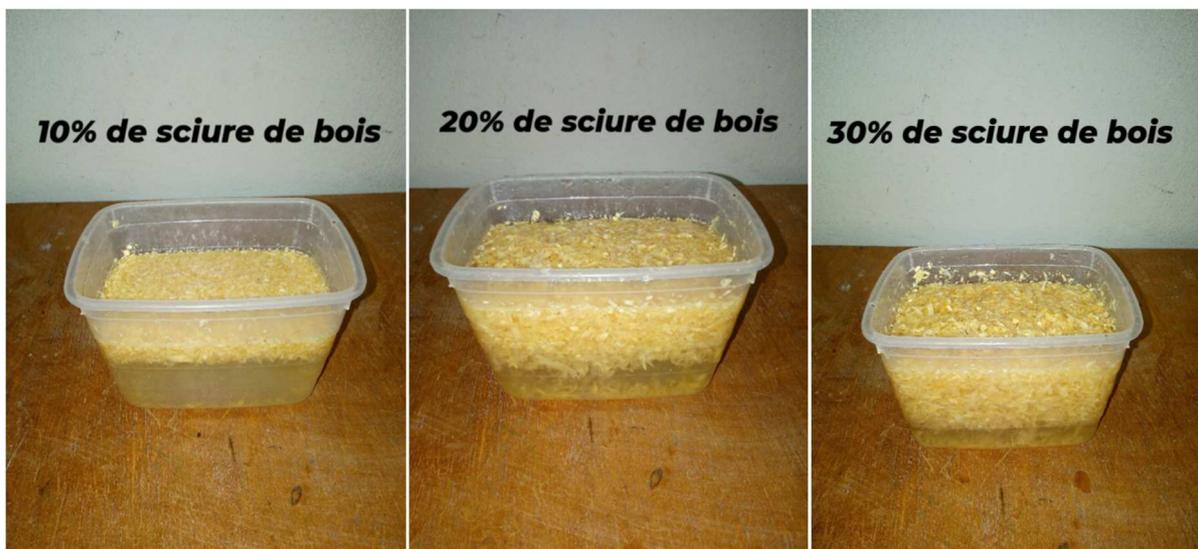
Malgré la diminution de la valeur de l'équivalent de sable soit visuel ou par piston du mélange en fonction de teneur en sciure de bois. On remarque que nos mélanges sont toujours considérés comme un sable très propre : l'absence presque totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par augmentation du dosage en eau.

## II.5. Formulation des compositions:

Formuler un mortier ou un béton consiste à choisir des constituants et à les proportionner en vue d'obtenir des propriétés physiques (ouvrabilité, ..... ) et mécaniques (résistance à la compression, ..... ) répondant à des critères techniques et économiques autorisant une meilleure application dans le domaine de la construction.

Dans cette partie, nous avons adapté la méthode de formulation d'un mortier Normalisé.

Cette méthode se base sur une portion de ciment (450 g), trois portions de sable (1350 g), avec un rapport E/C = 0.5. Mais suite aux résultats de l'essai d'Equivalent de Sable, on doit augmenter la quantité d'eau et le dosage en ciment, et comme ce dernier est déjà > à 350 g alors on a augmenté le rapport E/C à 0.6 pour le mortier à base de sable de dune (MSD0%), et on a gardé le rapport E/C = 0.5 pour les trois autres mortiers à différent teneur en sciure de bois (MSD10%, MSD20%, MSD30%). Avec un traitement de stabilisation des sciures de bois avant le malaxage des pâtes de mortier. Ce traitement consistait à faire tremper les résidus de bois dans l'eau pendant 24 heures avant utilisation (Figure II.20).



**Figure II.20 :** Sciures de bois dans l'eau pendant 24 heures.

Généralement, Les sables de dune présentent un taux de propreté élevé, mais ils ont une granulométrie très étroite (granulométrie homométrique). Ce qui influe mal sur la compacité des mélanges à base de ce sable. D'où vient la nécessité de la correction granulométrique de ces types de sable.

Dans notre étude l'amélioration de mortier à base de sable de dune. Le composite élaboré est un mortier dans lequel le sable a été substitué par les particules de sciure de bois à des teneurs volumiques de 0%, 10%, 20%, 30%. Le rôle principal de ces dernières est de corriger la granulométrie de sable de dune par l'élargissement de la plage des grains de sable (Tableau II.14).

**Tableau II.14:** Composition des mortiers étudiées.

	MSD0%	MSD10%	MSD20%	MSD30%
<b>Ciment [g]</b>	450	450	450	450
<b>Sable de dune [g]</b>	1350	1215	1080	945
<b>Eau [g]</b>	270	225	225	225
<b>Bois [g]</b>	0	7.085	14.17	21.26
$\frac{E}{C} = \frac{\text{Eau}}{\text{Ciment}}$	0.6	0.5	0.5	0.5

### II.5.1.Confection des éprouvettes (malaxage et mise en place) :

Dans ce travail nous avons confectionnés 96 éprouvettes de dimensions (4 x 4 x 16) cm<sup>3</sup> dans des moules de dimensions respectives.

#### II.5.1.1 Préparation de la pâte:

Nettoyage et séchage parfait des instruments (malaxeur, cuve...).

- Introduire la quantité d'eau choisie :  $E / C = 0.6$  ou  $E / C = 0.5$ .
- Introduire 450 g de ciment.
- Introduire 1350g de sable de dune ou du mélange sable de dune et sciure de bois.
- Mettre le malaxeur en route, vitesse lente pendant 60 s, introduire régulièrement le sable entre la 30<sup>ème</sup> et la 60<sup>ème</sup> Seconde.
- Stopper le malaxeur, mettre la vitesse rapide et relancer le malaxeur pendant 30 s.
- Stopper le malaxeur pendant 1 min 30 s et nettoyer les parois du récipient pendant les 15 premières secondes.
- Remettre le malaxeur en route, vitesse rapide durant 60 s.

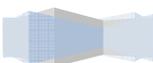




Figure II.21: Les étapes pour préparer la pâte de mortier témoin (0% sciure de bois).

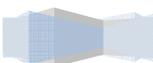


Figure II.22: Les étapes pour préparer la pâte de mortier avec différent pourcentage de copeau (sciure) de bois.

### II.5.1.2 Confection des éprouvettes:

À effectuer immédiatement après préparation du mortier.

- ⊗ Les moules sont bien nettoyés, et bien montés.
- ⊗ Enduire les parois latérales des moules d'une légère couche d'huile de décoffrage avant chaque confection des éprouvettes (Figure II.23).
- ⊗ Introduire la première des deux couches de mortier dans chaque compartiment.
- ⊗ Etaler la couche en utilisant la plus grande spatule tenue verticalement.
- ⊗ Serrer la première couche de mortier par 60 chocs (réglage de la machine).
- ⊗ Introduire la seconde couche de mortier.
- ⊗ Etaler la couche en utilisant la petite spatule tenue verticalement.



- ⊗ Serrer la deuxième couche de mortier par 60 chocs (réglage de la machine) (Figure II.24).
- ⊗ Ôter la hausse et enlever l'excédent de mortier avec la règle plate à araser (Figure II.25).
- ⊗ Etiqueter les moules pour identifier les éprouvettes (noms, date, caractéristiques).



**Figure II.23:** Lubrification des moules (4 x 4 x 16)cm<sup>3</sup>.

**Figure II.24:** Vibration des moules.

**Figure II.25:** Dernière vibration et rasage.

### II.5.2. Conservation des éprouvettes:

- ☉ Poser une plaque en verre ou en acier sur le périmètre du moule.
- ☉ Placer le moule dans une pièce humide pendant 24 heures.
- ☉ Démouler ensuite les éprouvettes avec précautions et marquer les éprouvettes (Figure II.26).
- ☉ Conserver les éprouvettes dans l'eau à 20°C (Figure II.27).



**Figure II.26:** Démolition des éprouvettes.



Figure II.27: Cure des éprouvettes à l'eau pendant 7 , 14 , 21 , et 28 jours.

## II.6. Essais de caractérisation des mortiers :

### II.6.1. Caractérisation physique :

#### II.6.1.1. Absorption par immersion totale

L'absorption d'eau par immersion totale est déterminée selon la norme NBN B 15-215 [7]

Le principe de l'essai consiste à déterminer la variation de la masse d'un échantillon de mortier immergé dans un bac d'eau jusqu'à une masse constante, soit la masse  $M_1$ , après séchage à  $60^\circ\text{C}$ , soit la masse  $M_2$

L'absorption d'eau par immersion **Ab** est exprimée en pourcentage de la masse sèche et est calculée par la relation suivante :

$$Ab = \frac{M_1 - M_2}{M_2} 100\%$$

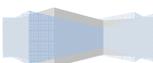
Les résultats obtenus sur les éprouvettes de chaque MSD sont exprimés, en pourcentage, sous la forme de la moyenne des valeurs mesurées de MSD.

#### II.6.1.2. Porosité :

La porosité accessible à l'eau est un paramètre de premier ordre dans l'évaluation et la prévision de la durabilité. C'est en effet un indicateur de durabilité au sens du document publié par l'AFGC en 2004.

Parmi les méthodes à disposition, la détermination de la porosité accessible à l'eau par pesée hydrostatique.

Après conservation des éprouvettes ( $4 \times 4 \times 16$ )  $\text{cm}^3$  dans l'eau à température ambiante jusqu'à l'échéance de 7, 14, 21 et 28 jours, et en utilisant une balance hydrostatique, soit :



- $M_{\text{eau}}$  : la masse de l'éprouvette immergée dans l'eau
- $M_{\text{air}}$  : la masse de l'éprouvette dans l'air alors qu'il est encore imbibé (masse saturée dans l'air)
- $M_{\text{sec}}$  : la masse de l'éprouvette après séchage a une température  $105 \pm 5$  °C jusqu'à une masse constante.

$$P_0 = \frac{V_0}{V_a} = \frac{M_{\text{air}} - M_{\text{sec}}}{M_{\text{air}} - M_{\text{eau}}}$$

### II.6.1.3. Masses volumiques apparente et absolue :

Conjointement avec la détermination de l'absorption d'eau par immersion, il peut être utile de déterminer les masses volumiques humide et sèche de l'éprouvette. Ces déterminations se font selon les directives de la norme NBN EN 12390-7:2009

Le volume de l'éprouvette est déterminé grâce à une pesée hydrostatique. Après obtention de la masse humide constante, la masse sous eau de l'éprouvette est déterminée.

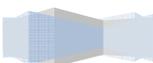
Le volume  $V$  de l'éprouvette est calculé par la relation suivante :

$$V = \frac{M_{\text{humide}} - M_{\text{sous eau}}}{\rho_w (=1000)} \quad \text{Avec :}$$

- $M_{\text{humide}}$  : la masse humide de l'éprouvette après immersion et déterminée à l'air ;
- $M_{\text{sous eau}}$  : la masse sous eau de l'échantillon déterminée par pesée hydrostatique ;
- $\rho_w$  : la masse volumique de l'eau considérée égale à  $1000 \text{ kg/m}^3$ .

Les masses volumiques humide (MVH) et sèche (MVS) sont alors calculées par les expressions ci-après :

$$MVH = \frac{M_{\text{humide}}}{V} \quad \text{et} \quad MVS = \frac{M_{\text{sèche}}}{V}$$



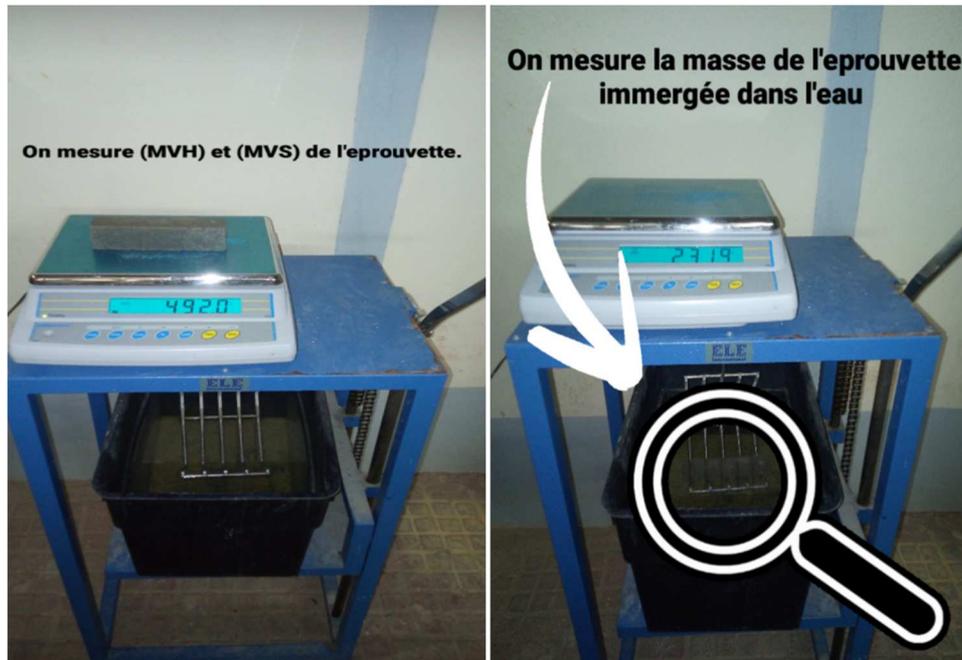


Figure II.28: Balance hydrostatique.



Figure II.29: Etuve ventilée.

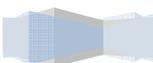
## II.6.2. Caractérisation mécanique :

### II.6.2.1. Résistance à la traction par flexion trois points :

L'essai de traction par flexion est réalisé sur des éprouvettes prismatiques  $(4 \times 4 \times 16) \text{ cm}^3$  selon les normes NF P.18-407, il s'agit de déterminer la résistance à la flexion (3 points) de l'éprouvette soumise à un effort centré exercé à l'aide d'une presse hydraulique.

La résistance à la traction par flexion est calculée à partir de la formule suivante :

*Caractérisation Au Jeune Âge D'un Mortier De Sable De Dune Avec Déchets De Bois*



$$R_t = \frac{1.5FL}{B^3}$$

$R_t$  : résistance à la traction par flexion en [MPa]

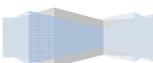
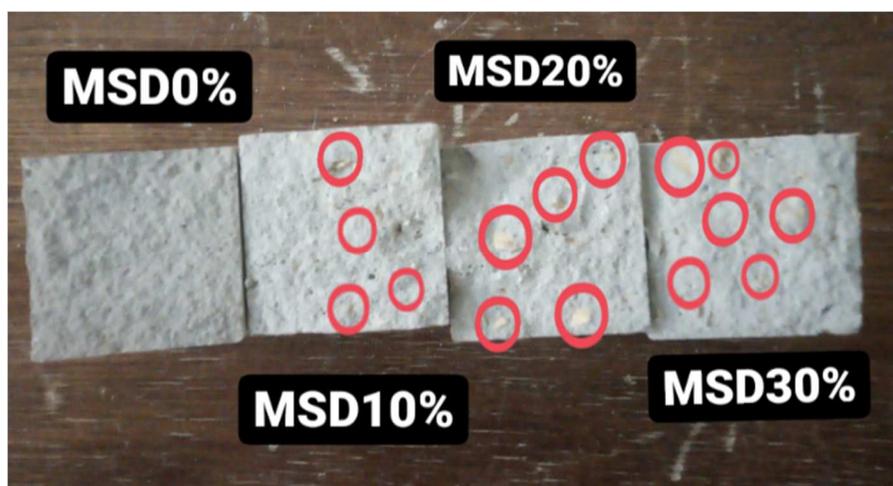
$F$  : la charge appliquée à la rupture en [N]

$L$  : la distance entre les appuis ( $L = 100$  mm)

$B$  : le coté de la section carrée de l'éprouvette ( $B = 40$  mm)



Figure II.30: L'essai de traction par flexion trois points.



**Figure II.31:** Distribution de différent pourcentage de sciure de bois.

### II.6.2.2. Résistance à la compression :

L'essai de résistance à la compression (Essai d'écrasement) a été effectué par l'application d'un effort de chargement sur une éprouvette prismatiques (4x4x16) cm<sup>3</sup>, jusqu'à rupture dans une presse d'essai de compression.

La presse utilisée est une machine de type CONTROLS ayant une capacité maximale de 3000KN.

Les échantillons conservés dans l'eau ont été séchés à l'atmosphère de laboratoire pendant 24 heures avant l'âge d'essai.



**Figure II.32 :** L'essai de résistance à la compression.

## II.7. Conclusion

D'après les résultats des différents essais réalisés dans ce présent chapitre, on peut conclure ce qui suit :

➤ La granulométrie de sable étudié est très serrée ; près de 80 % des grains ont une dimension comprise entre 0,125 mm et 0,250 mm. Ce qui donne une compacité insuffisante, et par la suite des performances mécaniques non adéquates. L'utilisation d'un correcteur (déchet du bois en sciure) se révélera certainement nécessaire.

➤ Le sable de dune étudié est très propre, il présente des taux de propreté de l'ordre de 96%, ce sable risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton, donc il est préférable d'augmenter le dosage en eau et en ciment.

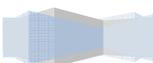
➤ Les valeurs des masses volumiques absolues et apparentes ont marquées des diminutions jusqu'à 2.1 % pour les masses volumiques apparentes et plus de 10.61 % pour les masses volumiques absolues.

➤ Les valeurs d'équivalent de sable ont marquées des diminutions jusqu'à 1.74 % pour l'équivalent de sable visuel et plus de 15.6 % pour l'équivalent de sable par piston.

## **Référence bibliographique**

### **CHAPITRE II : RESULTATS EXPERIMENTAUX**

- [1] NA 2607(2005) : Norme Algérienne, ICS 91.100.20, Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats - Partie 1: Détermination de la granularité - Analyse granulométrique par tamisage, adopter le 08/10/2009 (Consulter le 4/3/2021)
- [2] NA 5113 (2008): Norme Algérienne, Granulats pour béton , adopter le 07/06/2009 (Consulter le 4/3/2021).
- [3] Dreux G., Festa J., (1998) : New concrete guide, ISBN 13: 978-2-212-10231-4 p 418 (Consulter le 4/3/2021).
- [4] NA 455(1999) : Norme Algérienne, Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats - Evaluation des fines - Equivalent de sable, adopter le 16/05/2006 (Consulter le 5/3/2021).
- [5] NA 442(2013) : Norme Algérienne N° édition : 3 Date : 2005 ICS : 91, 100, 10, ciment composition, spécifications et critères de conformité des ciments courants (Consulter le 5/3/2021).
- [6] NA 1966(2009) : Norme Algérienne, Eau de gâchage pour bétons spécifications de processus de l'industrie du béton, telle que l'eau de gâchage pour béton. Révisée le 2/5/2009 (Consulter le 6/3/2021).
- [7] [https://www.cstc.be/homepage/index.cfm?cat=services&sub=.standards\\_regulations&pag=list&art=search&id=CSTC86514](https://www.cstc.be/homepage/index.cfm?cat=services&sub=.standards_regulations&pag=list&art=search&id=CSTC86514) (Consulter le 6/3/2021).



## LISTE DES FIGURES

Figure II.1	Photo du sable de dune utilisé.	Page 30
Figure II.2	Photo de la tamiseuse électrique utilisée.	Page 31
Figure II.3	Courbe granulométrique du sable de dune.	Page 31
Figure II.4	Essais de la masse volumique apparente du sable utilisés.	Page 32
Figure II.5	Essai de la masse volumique absolue du sable utilisé.	Page 33
Figure II.6	Essai de l'équivalent du sable.	Page 35
Figure II.7	Photo du copeau (sciure) de bois utilisé.	Page 36
Figure II.8	Courbe granulométrique de la sciure de bois.	Page 37
Figure II.9	Essais de la masse volumique apparente de la sciure de bois utilisées.	Page 38
Figure II.10	Essai de la masse volumique absolue de la sciure de bois utilisées.	Page 39
Figure II.11	Sac de ciment utilisé « GICA ».	Page 41
Figure II.12	Le mélange de sable de dune à différents pourcentages de copeaux du bois.	Page 42
Figure II.13	Courbe granulométrique des différents mélanges.	Page 42
Figure II.14	Essais de la masse volumique apparente du mélange de sable de dune à différents pourcentages du copeau (sciures) de bois.	Page 43
Figure II.15	Histogramme de la masse volumique apparente ( $\rho_{App}$ ) du mélange de sable de dune à différents pourcentages du copeau (sciures) de bois.	Page 44
Figure II.16	Essai de la masse volumique absolue des différents mélanges utilisé.	Page 44
Figure II.17	Histogramme de la masse volumique Absolue ( $\rho_{Ab}$ ) du mélange de sable de dune à différents pourcentage du copeau (sciure) de bois.	Page 45
Figure II.18	Essai de l'équivalent du sable (mélange de bois et sable).	Page 46
Figure II.19	Histogramme de l'équivalent de sable du mélange de sable de dune à différents pourcentages du copeau (sciure) de bois.	Page 47
Figure II.20	Sciure de bois dans l'eau pendant 24 heures.	Page 48
Figure II.21	Les étapes pour préparer la pâte de mortier témoin (0% sciure de bois).	Page 49
Figure II.22	Les étapes pour préparer la pâte de mortier avec différent pourcentage de copeau (sciure) de bois.	Page 49
Figure II.23	Lubrification des moules (4 x 4 x 16)cm <sup>3</sup> .	Page 50
Figure II.24	Vibration des moules.	Page 50
Figure II.25	Dernière vibration et rasage.	Page 50

Figure II.26	Démolition des éprouvettes.	Page 51
Figure II.27	Cure des éprouvettes à l'eau pendant 7 , 14 , 21 , et 28 jours.	Page 51
Figure II.28	Balance hydrostatique.	Page 53
Figure II.29	Etuve ventilée.	Page 53
Figure II.30	L'essai de traction par flexion trois points.	Page 54
Figure II.31	Distribution de différent pourcentage de sciure de bois.	Page 54
Figure II.32	L'essai de résistance à la compression.	Page 55

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau II.1	Analyse granulométrique du sable de dune.	Page 31
Tableau II.2	La masse volumique apparente ( $P_{apparent}$ ) du sable.	Page 33
Tableau II.3	La masse volumique absolue ( $\rho_{Ab}$ ) du sable.	Page 34
Tableau II.4	Qualité du sable en fonction des valeurs d'équivalent de sable ESV et ESP.	Page 35
Tableau II.5	Résultats d'essais d'équivalent de sable.	Page 36
Tableau II.6	Analyse granulométrique de déchet de bois.	Page 37
Tableau II.7	La masse volumique apparente ( $P_{apparent}$ ) du bois.	Page 38
Tableau II.8	La masse volumique absolue ( $\rho_{Ab}$ ) de la sciure de bois.	Page 39
Tableau II.9	Résultats d'essais d'équivalent de sable (sciure de bois)	Page 39
Tableau II.10	Caractérisation de ciment [5].	Page 40
Tableau II.11	Sac de ciment utilisé « GICA ».	Page 43
Tableau II.12	La masse volumique apparente ( $\rho_{App}$ ) du mélange de sable de dune à différents pourcentages du copeau (sciures) de bois.	Page 45
Tableau II.13	Résultats d'essais d'équivalent de sable (Mélange sciure de bois et sable).	Page 46
Tableau II.14	Composition des mortiers étudiés.	Page 48

**CHAPITRE III: INTERPRETATION ET EXPLOITATION DES  
RESULTATS.****III.1. Introduction :**

Dans ce chapitre on va présenter les différents résultats expérimentaux obtenus durant la période de la réalisation de ce projet de fin d'étude. Les essais ont été réalisés au laboratoires de génie civil et d'hydraulique (pédagogique et recherche) de l'université 8 mai 1945 de Guelma.

Afin de répondre aux problématiques posés, un programme expérimental a été envisager. Quatre mélanges ont été préparés ; un mortier témoin et trois autres mortiers avec des différents dosages massiques de copeaux (sciures) de bois qui varie de 10% et 20% et 30% respectivement pour chaque mortier.

A partir des essais de caractérisation physique et mécaniques des quatre mortiers, nous tentons par cette étude, en première étape d'interpréter les résultats obtenus pour caractériser les différents mortiers au jeune âge et en deuxième étape d'exploiter ces résultats pour en tirer des conclusions adéquates. On procèdera à des comparaisons du comportement des quatre mortiers utilisés au jeune âge aux règlements en vigueur en utilisant des corrélations entre leurs propriétés.

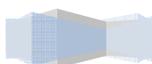
**III.2. Influence du déchet de bois sur les propriétés du mortier :****III.2.1. L'effet de l'ajout sur les propriétés physiques au jeune âge:**

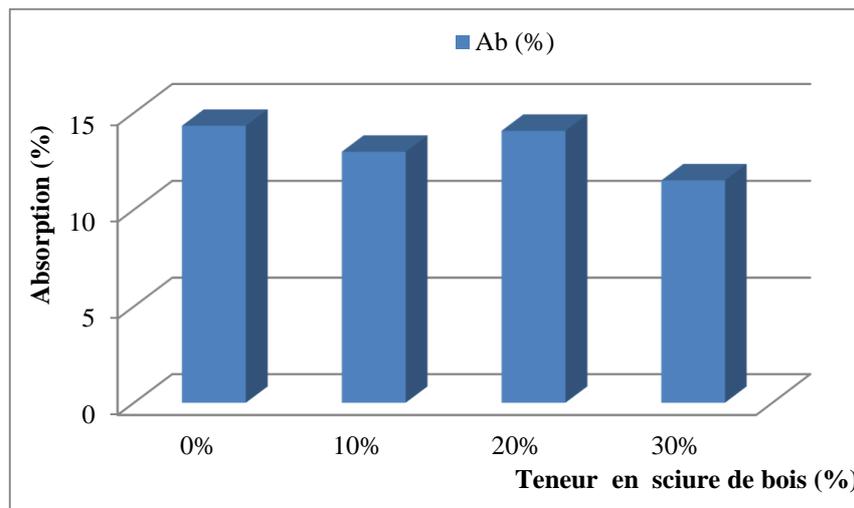
En vas commencer en premier lieu a étudié l'effet de l'ajout des copeaux (sciures) de bois sur les caractéristiques physiques (Absorption, Porosité, Masse volumiques apparentes et absolus). Les différents résultats sont regroupés dans des tableaux et illustrés par des figures ci-dessous.

**III.2.1.1 L'absorption par immersion totale :****A- À 7 jours :**

**Tableau III. 1 :** Effet de l'ajout des sciures de bois sur l'absorption par immersion totale à 7 jours.

<b>7 jours</b>	<b>MSD0%</b>	<b>MSD10%</b>	<b>MSD20%</b>	<b>MSD30%</b>
<b>Ab (%)</b>	14,328 ± 1,188	12,986 ± 0,174	14,069 ± 0,113	11,507 ± 0,836





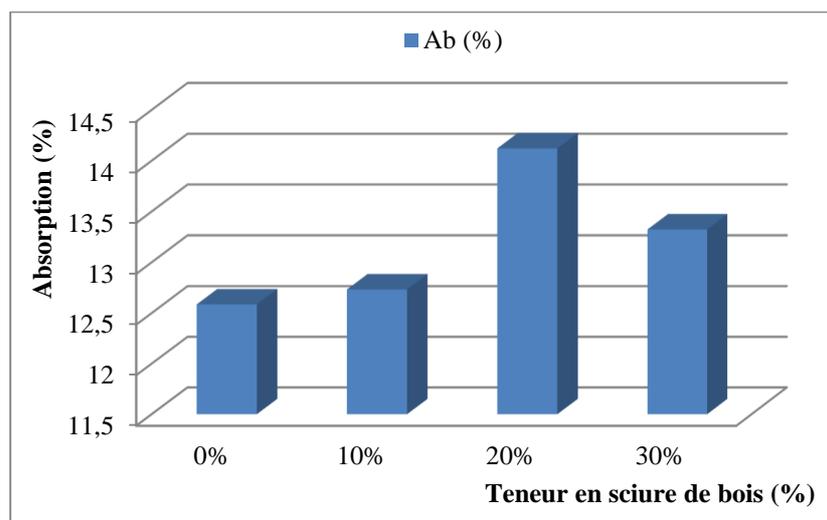
**Figure III.1 :** Evolution de l'absorption par immersion totale en fonction de la teneur en sciure de bois à 7 jours.

L'absorption par immersion totale du (MSD10%) a diminuée de 9.37% par rapport à (MSD0%) et de 1.81%, 19.69% pour (MSD20%), (MSD30%) respectivement par rapport à (MSD0%).

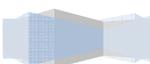
**B- À 14 jours :**

**Tableau III. 2 :** Effet de l'ajout des sciures de bois sur l'absorption par immersion totale à 14 jours.

14 jours	MSD0%	MSD10%	MSD20%	MSD30%
Ab (%)	12,586 ± 0,267	12,733 ± 0,406	14,121 ± 0,189	13,324 ± 1,306



**Figure III.2 :** Evolution de l'absorption par immersion totale en fonction de la teneur en sciure de bois à 14 jours.

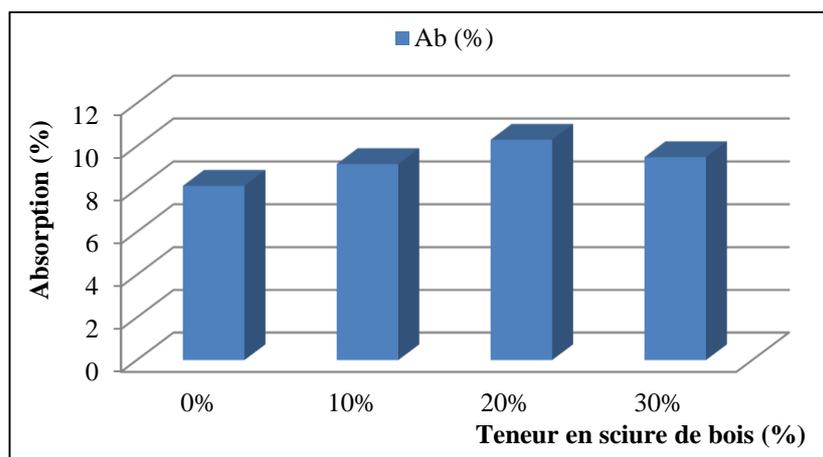


A 14 jours l'absorption par immersion totale a augmentée pour les trois mortiers (MSD10%, MSD20%, MSD30%) de (1.17%, 12.20%, 5.86%) respectivement par rapport à (MSD0%).

**C- À 21 jours :**

**Tableau III. 3 :** Effet de l'ajout des sciures de bois sur l'absorption par immersion totale à 21 jours.

<b>21 jours</b>	<b>MSD0%</b>	<b>MSD10%</b>	<b>MSD20%</b>	<b>MSD30%</b>
<b>Ab (%)</b>	8,153 ± 0,075	9,17 ± 0,085	10,3 ± 0,243	9,489 ± 1,699



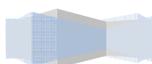
**Figure III.3 :** Evolution de l'absorption par immersion totale en fonction de la teneur en sciure de bois à 21 jours.

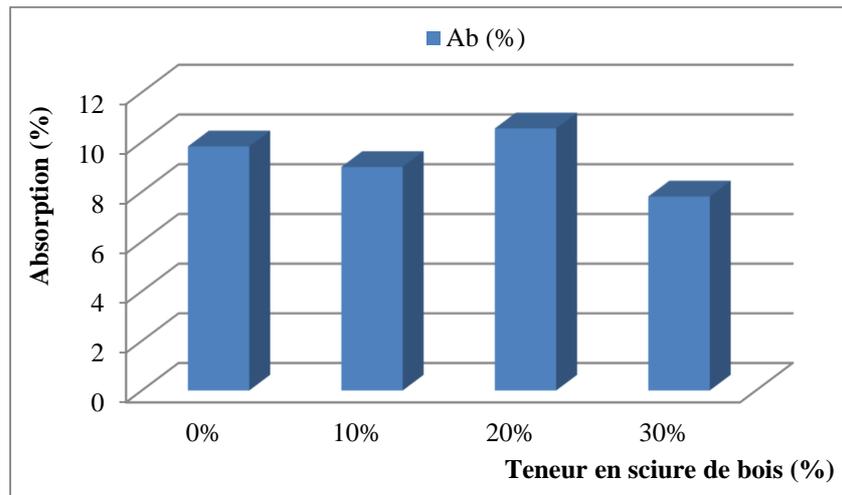
L'absorption par immersion totale à 21 jours a augmentée pour les trois mortiers (MSD10%, MSD20%, MSD30%) de (12.47%, 26.33%, 16.39) respectivement par rapport à (MSD0%).

**D- À 28 jours :**

**Tableau III. 4 :** Effet de l'ajout des sciures de bois sur l'absorption par immersion totale à 28 jours.

<b>28 jours</b>	<b>MSD0%</b>	<b>MSD10%</b>	<b>MSD20%</b>	<b>MSD30%</b>
<b>Ab (%)</b>	9,825 ± 0,170	8,999 ± 0,662	10,549 ± 0,047	7,811 ± 1,273





**Figure III.4 :** Evolution de l’absorption par immersion totale en fonction de la teneur en déchet de bois à 28 jours.

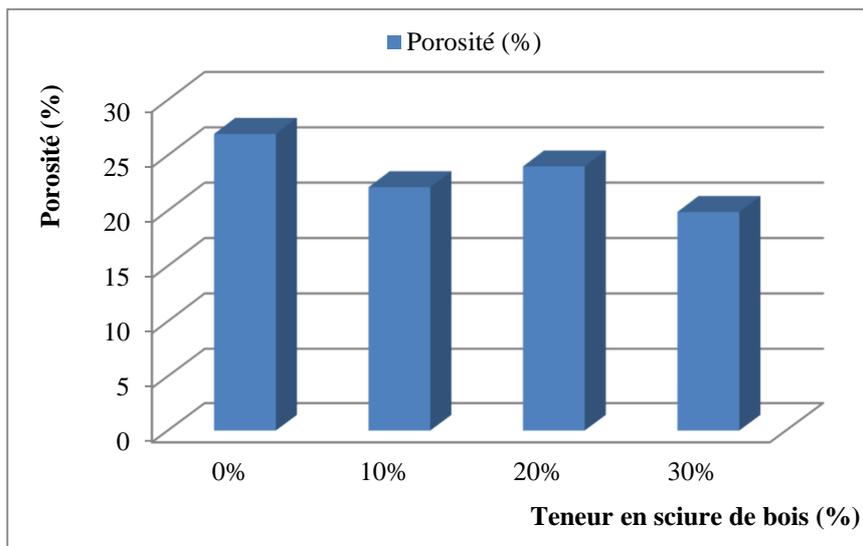
On remarque que l’augmentation de l’absorption par immersion totale pour (MSD20%) est 7.37% par rapport à celle du (MSD0%). Alors que les deux autres mortiers (MSD10% et MSD30%) ont marqués une diminution de l’absorption par immersion totale de l’ordre de (8.41% et 20.50%) respectivement par rapport à celle du (MSD0%).

**III.2.1. 2 La porosité :**

**A- À 7 jours :**

**Tableau III.5 :** Effet de l’ajout des sciures de bois sur la porosité à 7 jours.

7 jours	MSD0%	MSD10%	MSD20%	MSD30%
<b>Porosité (%)</b>	26,932 ±1,807	22,114 ± 0,620	23,991 ± 0,095	19,883 ± 0,739



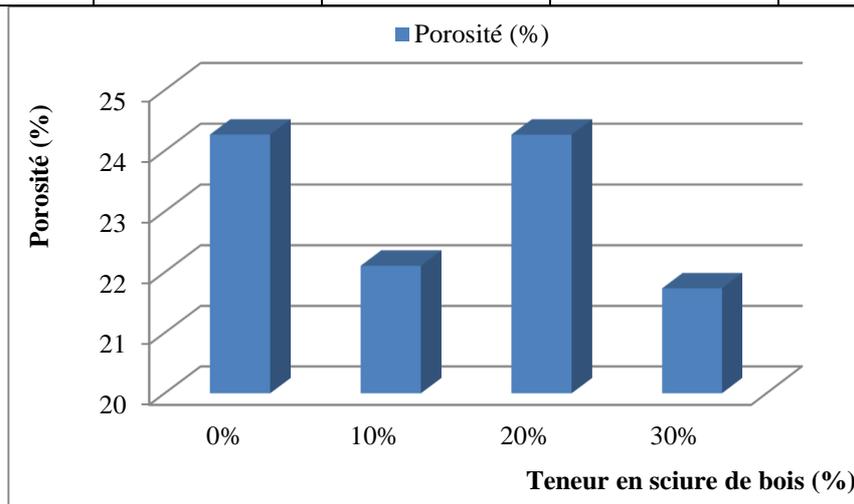
**Figure III.5 :** Evolution de la porosité en fonction de la teneur en sciures de bois à 7 jours.

La porosité du (MSD10%) a diminuée de 17.89% par rapport à (MSD0%) et de 10.92%, 26.17% pour (MSD20%), (MSD30%) respectivement par rapport à (MSD0%).

**B- À 14 jours :**

**Tableau III.6 :** Effet de l'ajout des sciures de bois sur la porosité à 14 jours.

14 jours	MSD0%	MSD10%	MSD20%	MSD30%
Porosité (%)	24,266 ± 0,486	22,107 ± 0,496	24,265 ± 0,087	21,736 ± 1,018



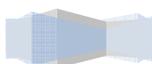
**Figure III.6 :** Evolution de la porosité en fonction de la teneur en sciures de bois à 14 jours.

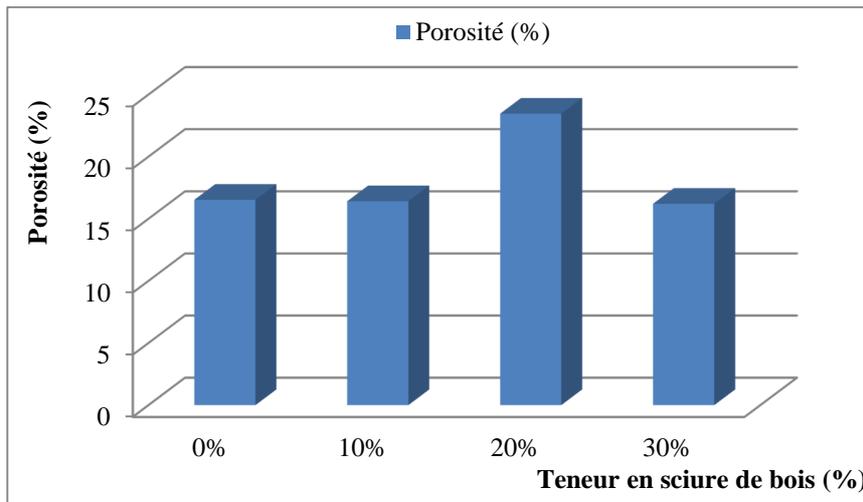
La valeur de la porosité du (MSD20%) est très remarquable presque égale à celle du (MSD0%) (diminution de 0.004%), par contre la diminution de la porosité de (MSD10%, MSD30%) a atteint 8.89%, 10.43% respectivement par rapport à celle du (MSD0%).

**C- À 21 jours :**

**Tableau III.7 :** Effet de l'ajout des sciures de bois sur la porosité à 21 jours.

21 jours	MSD0%	MSD10%	MSD20%	MSD30%
Porosité (%)	16,528 ± 0,194	16,413 ± 0,185	23,461 ± 7,341	16,209 ± 2,102





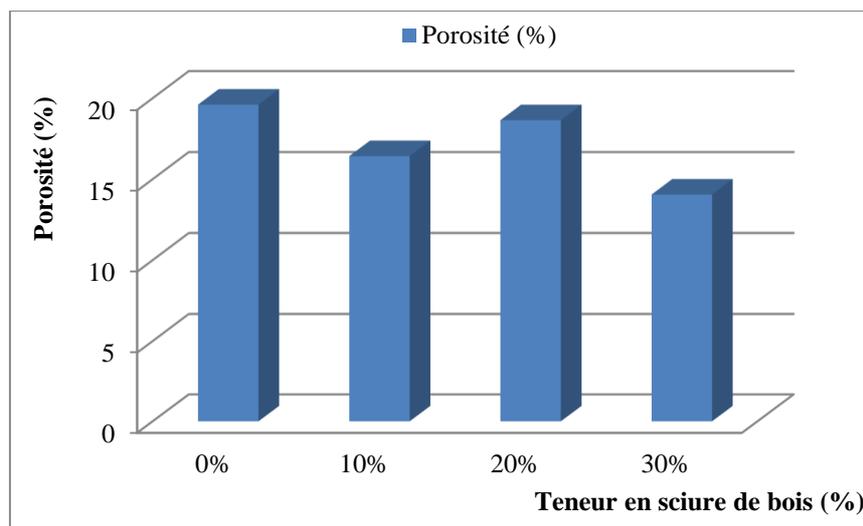
**Figure III.7 :** Evolution de la porosité en fonction de la teneur en sciures de bois à 21 jours.

Les valeurs de la porosité de (MSD0%, MSD10%, MSD30%) sont presque les mêmes, par contre que celle du (MSD20%) a augmentée de 41.95% par rapport à celle du (MSD0%).

**D- À 28 jours :**

**Tableau III.8 :** Effet de l'ajout des sciures de bois sur la porosité à 28 jours.

28 jours	MSD0%	MSD10%	MSD20%	MSD30%
Porosité (%)	19,603 ± 0,269	16,421 ± 0,772	18,644 ± 0,130	14,052 ± 1,753



**Figure III.8 :** Evolution de la porosité en fonction de la teneur en sciures de bois à 28 jours.

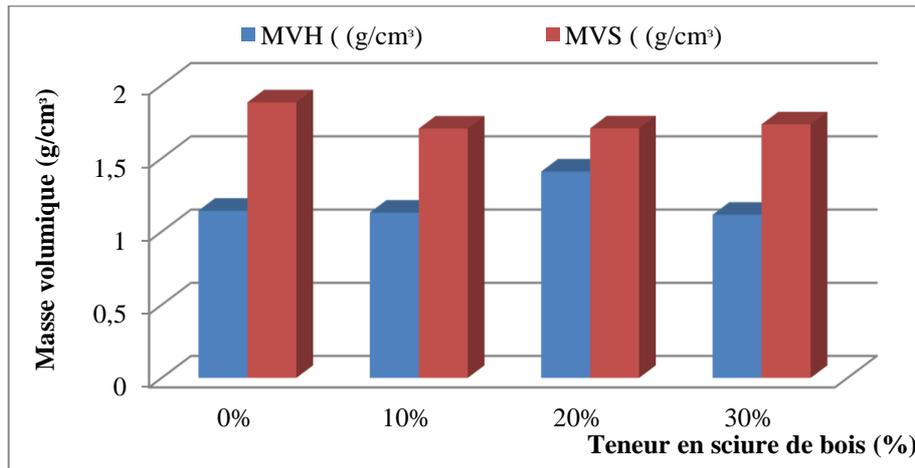
On remarque une diminution de la porosité surtout celle du (MSD30%) 28.32% par rapport à celle du (MSD0%) et 16.23%, 4.89% respectivement pour (MSD10, MSD20).

**III.2.1.3 Les masses volumiques humides et sèches :**

**A- À 7 jours :**

**Tableau III.9 :** Effet de l'ajout des sciures de bois sur la MVS et MVH à 7 jours.

7 jours	MSD0%	MSD10%	MSD20%	MSD30%
MVH [g/cm <sup>3</sup> ]	1,143 ± 0,562	1,13 ± 0,531	1,41 ± 0,538	1,115 ± 0,542
MVS [g/cm <sup>3</sup> ]	1,882 ± 0,825	1,703 ± 0,806	1,705 ± 0,815	1,732 ± 0,700



**Figure III. 9 :** Evolution des masses en fonction de la teneur en sciures de bois à 7 jours.

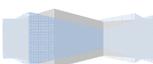
On remarque une diminution progressive de la MVH de l'ordre de 1.14% et 2.45% pour MSD10% et MSD30% respectivement par rapport à celle du MSD0%. Par contre pour le MSD20% l'augmentation de MVH est remarquable 23.36% par rapport à celle du MSD0%.

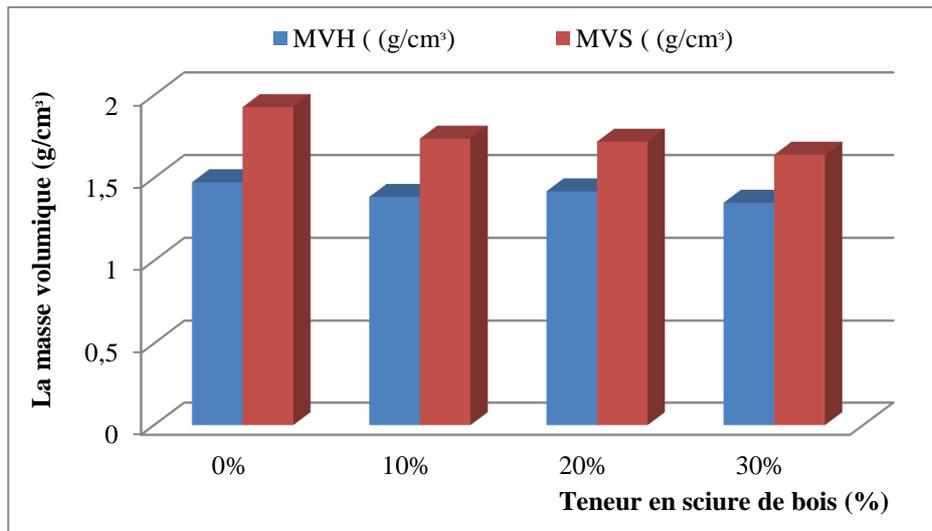
La diminution de la MVS est presque identique pour MSD10% et MSD20% (9.51% et 9.40%) respectivement par rapport à celle du MSD0%. Alors que celle du MSD30% est de l'ordre de 7.97% par rapport à celle du MSD0%.

**B- À 14 jours :**

**Tableau III.10 :** Effet de l'ajout des sciures de bois sur la MVS et MVH à 14 jours.

14 jours	MSD0%	MSD10%	MSD20%	MSD30%
MVH [g/cm <sup>3</sup> ]	1,474 ± 0,490	1,385 ± 0,366	1,419 ± 0,392	1,35 ± 0,315
MVS [g/cm <sup>3</sup> ]	1,928 ± 0,003	1,737 ± 0,039	1,719 ± 0,018	1,64 ± 0,090





**Figure III. 10 :** Evolution des masses en fonction de la teneur en sciures de bois à 14 jours.

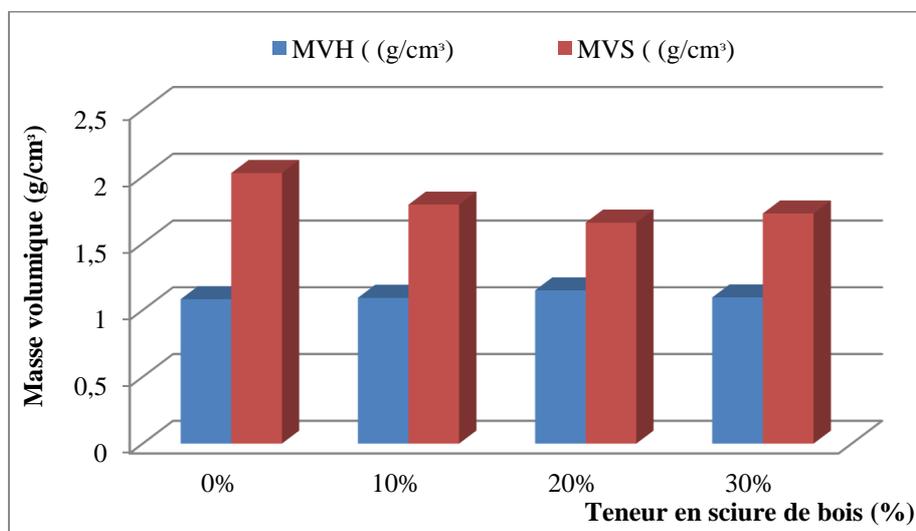
On remarque une diminution de la MVH de l'ordre de 6.03%, 3.73%, 8.41% pour (MSD10%, MSD20% et MSD30%) respectivement par rapport à celle du MSD0%.

Alors que la diminution de la MVS est progressive pour les trois mortiers MSD10%, MSD20% et MSD30% (9.91%, 10.84%, 14.94%) respectivement par rapport à celle du MSD0%.

**C- À 21 jours :**

**Tableau III.11 :** Effet de l'ajout de sciures de bois sur la MVS et MVH à 21 jours.

21 jours	MSD0%	MSD10%	MSD20%	MSD30%
MVH [g/cm³]	1,082 ± 0,511	1,092 ± 0,515	1,148 ± 0,440	1,095 ± 0,482
MVS [g/cm³]	2,027 ± 0,957	1,79 ± 0,839	1,655 ± 1,031	1,724 ± 0,999



**Figure III. 11 :** Evolution des masses en fonction de la teneur en sciures de bois à 21 jours.

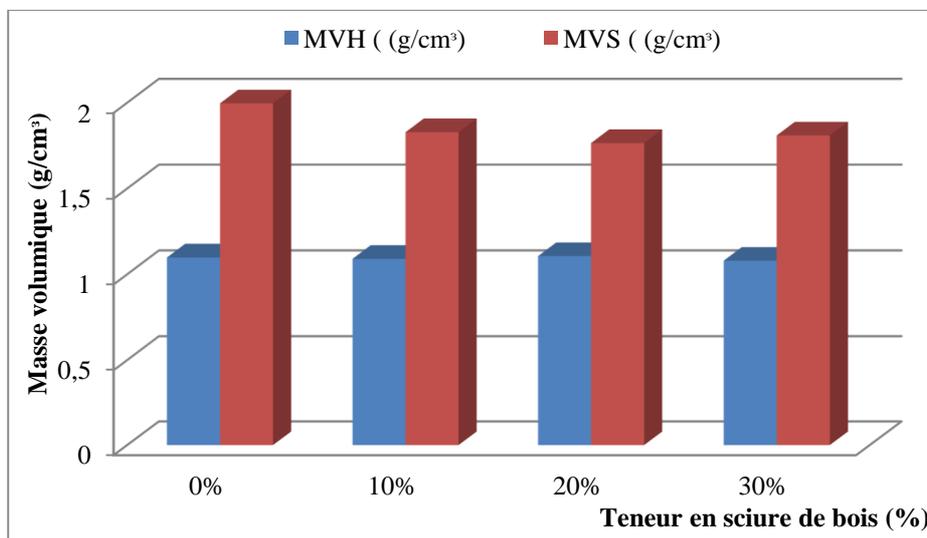
La MVH à subit une légère augmentation d'environ 1.02% pour (MSD10%, MSD30%) alors que pour MSD20% elle a atteint et 6.1% par rapport à celle du MSD0%.

Par contre la MVS à subit une légère diminution de l'ordre de 1.69% pour MSD10% pour atteindre (18.35%, 14.95%) pour (MSD20%, MSD30%) respectivement par rapport à celle du MSD0%.

**D- À 28 jours :**

**Tableau III.12 :** Effet de l'ajout des sciures de bois sur la MVS et MVH à 28 jours.

28 jours	MSD0%	MSD10%	MSD20%	MSD30%
MVH [g/cm <sup>3</sup> ]	1,098 ± 0,518	1,09 ± 0,515	1,106 ± 0,522	1,079 ± 0,485
MVS [g/cm <sup>3</sup> ]	1,996 ± 0,944	1,828 ± 0,870	1,765 ± 0,831	1,809 ± 0,965



**Figure III. 12 :** Evolution des masses en fonction de la teneur en sciures de bois à 28 jours.

La MVH à subit une légère variation entre une diminution de l'ordre de 0.73% pour MSD10% et une augmentation du même ordre pour MSD20%, en diminuant une autre fois d'un ordre de 1.73% pour MSD30% par rapport à celle du MSD0%.

La MVS à subit des diminutions dans les proportions sont similaires (8.42%, 11.57%, 9.37%) pour (MSD10%, MSD20%, MSD30%) respectivement par rapport à celle du MSD0%.

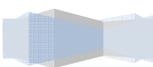
**III.2.2. L'effet de l'ajout sur les propriétés mécaniques au jeune âge:**

**III.2.2.1 La résistance à la compression et à la traction :**

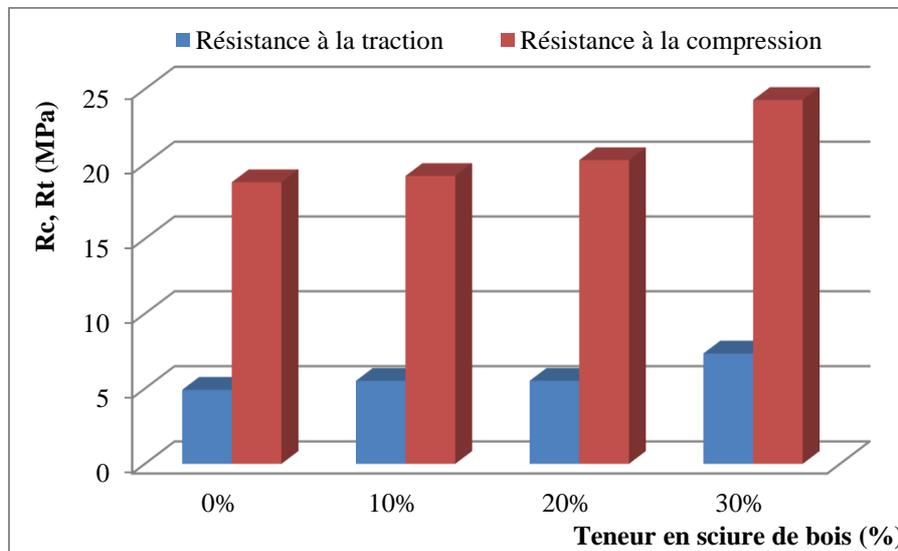
**A- À 7 jours :**

**Tableau III.13 :** Effet de l'ajout des sciures de bois sur la résistance à la compression et à la traction ( $f_{c28}$ ) à 7 jours.

7 jours	MSD0%	MSD10%	MSD20%	MSD30%
---------	-------	--------	--------	--------



<b>Rt [MPa]</b>	4,917 ± 1.350	5,516 ± 0.616	5,518 ± 0.125	7,341 ± 1.166
<b>Rc [MPa]</b>	18,782 ± 6.286	19,203 ± 2.687	20,258 ± 2.106	24,278 ± 5.709



**Figure III.13 :** Evolution de la résistance à la compression et à la traction ( $f_{c_{28}}$ ) en fonction de la teneur en sciures de bois à 7 jours.

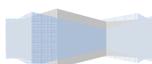
L'augmentation de la résistance à la traction est presque identique pour MSD10% et MSD20% (12.18%, 12.22%) respectivement par rapport à celle du MSD0%. Alors que celle du MSD30% est presque 1.5 fois la résistance à la traction du (MSD0%), de l'ordre de 49.30% par rapport à celle du MSD0%.

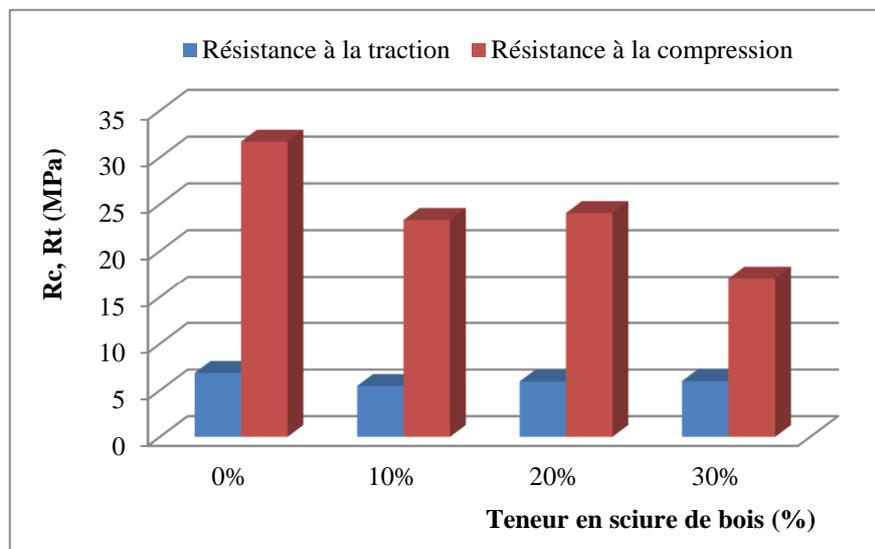
La résistance à la compression augmente proportionnellement à la teneur en sciure de bois avec un facteur moyen de (1.09).

**B- À 14 jours :**

**Tableau III.14 :** Effet de l'ajout des sciures de bois sur la résistance à la compression et à la traction ( $f_{c_{28}}$ ) à 14 jours.

<b>14 jours</b>	<b>MSD0%</b>	<b>MSD10%</b>	<b>MSD20%</b>	<b>MSD30%</b>
<b>Rt [MPa]</b>	6,883 ± 0.536	5,48 ± 0.236	5,963 ± 0.107	6,007 ± 0.841
<b>Rc [MPa]</b>	31,697 ± 5.594	23,328 ± 2.267	24,072 ± 3.496	17,065 ± 2.279





**Figure III.14 :** Evolution de la résistance à la compression et à la traction ( $f_{c_{28}}$ ) en fonction de la teneur en sciures de bois à 14 jours.

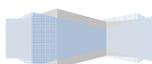
La résistance à la traction a subi une diminution de l'ordre de 20.38% pour MSD10% par rapport à celle du MSD0%, par contre cette diminution est devenue très proche presque identique (13.37, 12.73%) pour (MSD20%, MSD30%) respectivement par rapport à celle du MSD0%.

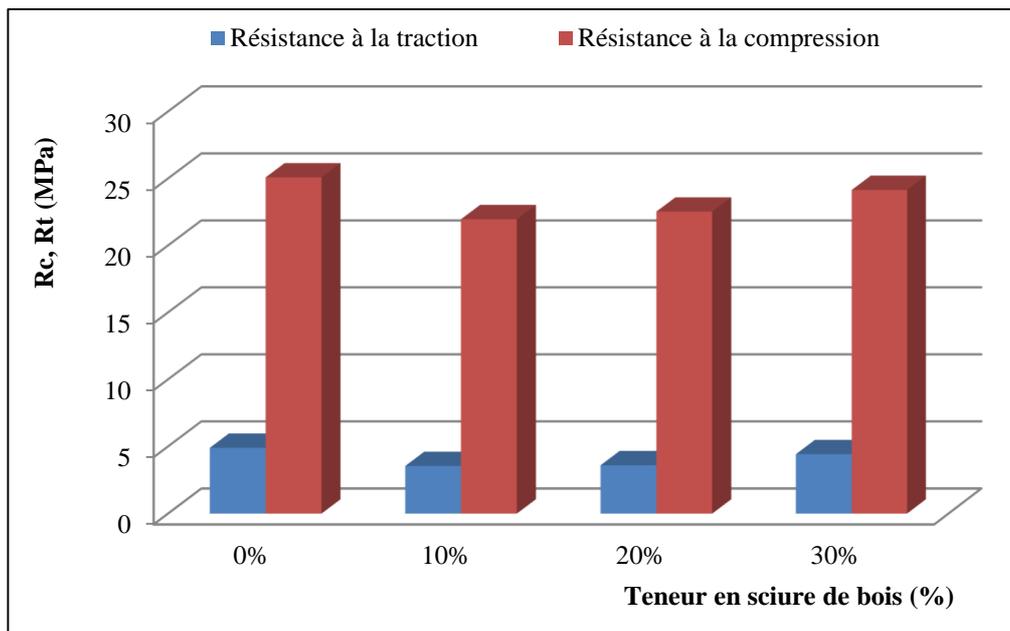
La diminution de la résistance à la compression du (MSD10%, MSD20%) est en moyen d'un quart (26.40%, 24.05%) de la résistance du MSD0%, et presque la moitié (46.16%) pour (MSD30%) de la résistance du MSD0%.

**C- À 21 jours :**

**Tableau III.15 :** Effet de l'ajout des sciures de bois sur la résistance à la compression et à la traction ( $f_{c_{28}}$ ) à 21 jours.

21 jours	MSD0%	MSD10%	MSD20%	MSD30%
Rt [MPa]	4,901 ± 0.319	3,545 ± 0.614	3,6 ± 0.860	4,427 ± 0.794
Rc [MPa]	25,085±4,559	21,96±2,655	22,527±2,284	24,143±1,259





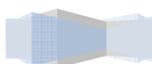
**Figure III.15 :** Evolution de la résistance à la compression et à la traction ( $f_{c_{28}}$ ) en fonction de la teneur en sciures de bois à 21 jours.

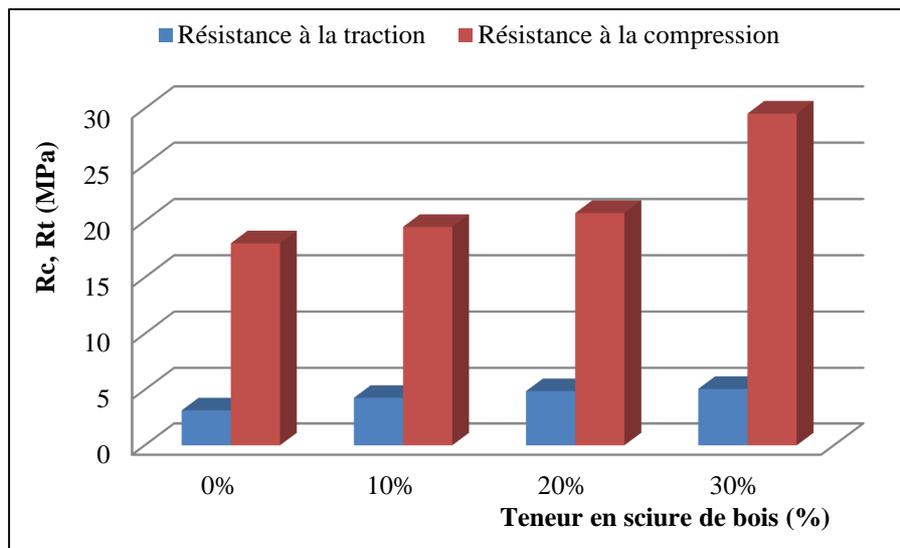
Les deux résistances caractéristiques ont subi des diminutions dans les proportions sont décroissantes. Pour la résistance à la traction elle a subi des diminutions de l'ordre de (27.67%, 26.55%, 9.67%) respectivement pour (MSD10%, MSD20%, MSD30%) par rapport à celle du MSD0%, et pour la résistance à la compression ces diminutions sont de l'ordre de (12.46%, 10.2%, 3.76%) respectivement pour (MSD10%, MSD20%, MSD30%) par rapport à celle du MSD0%.

**D- À 28 jours :**

**Tableau III.16 :** Effet de l'ajout des sciures de bois sur la résistance à la compression et à la traction ( $f_{c_{28}}$ ) à 28 jours.

28 jours	MSD0%	MSD10%	MSD20%	MSD30%
Rt [MPa]	3,145 ± 0.176	4,274 ± 0.434	4,877 ± 0.131	5,077 ± 0.669
Rc [MPa]	18,033 ± 2.148	19,485±1.643	20,717±0.961	29,55±1.907





**Figure III.16 :** Evolution de la résistance à la compression et à la traction ( $f_{c28}$ ) en fonction de la teneur en sciures de bois à 28 jours.

La résistance à la traction a subi une augmentation de l'ordre de (35.9%, 50.07%, 61.43%) pour (MSD10%, MSD20%, MSD30%) respectivement par rapport à celle du MSD0%.

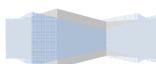
L'augmentation de la résistance à la compression du (MSD10%, MSD20%, MSD30%) est de l'ordre de (8.05%, 14.88%, 63.87%) respectivement par rapport à celle du MSD0%.

### III.2.3 L'évolution des propriétés physiques au jeune âge:

#### III.2.3.1 L'absorption par immersion totale :

**Tableau III.17:** L'évolution de l'absorption par immersion totale au jeune âge.

Temps	7 jours	14 jours	21 jours	28 jours
MSD0%	14,328 ± 1,188	12,586 ± 0,267	8,153 ± 0,075	9,825 ± 0,170
MSD10%	12,986 ± 0,174	12,733 ± 0,406	9,17 ± 0,085	8,999 ± 0,662
MSD20%	14,069 ± 0,113	14,121 ± 0,189	10,3 ± 0,243	10,549 ± 0,047
MSD30%	11,507 ± 0,836	13,324 ± 1,306	9,489 ± 1,699	7,811 ± 1,273



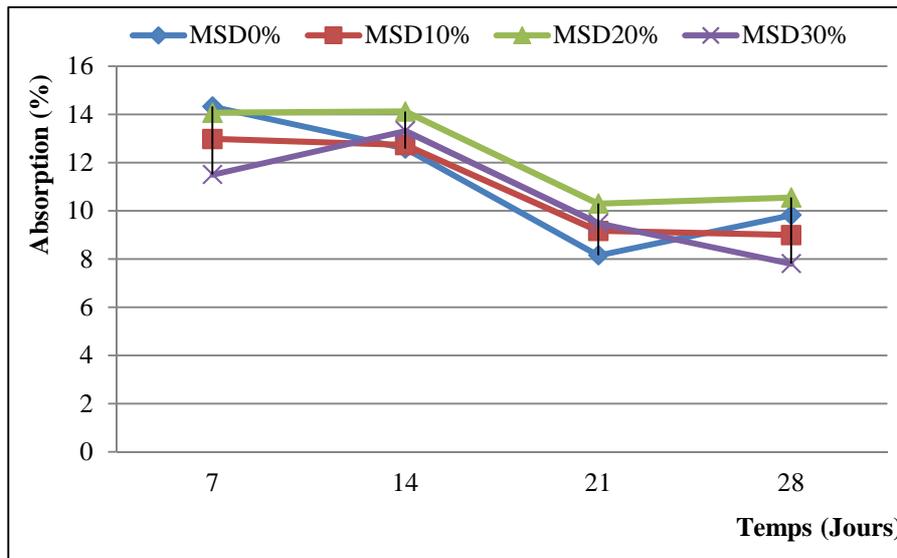


Figure III.17 : L'évolution de l'absorption par immersion totale en fonction du temps.

Le MSD10% a marqué une absorption moins que celle du MSD0% à 7 et 28 jours et modérément plus grande que ce dernier à 14 et 21 jours.

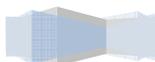
Par contre l'absorption du MSD20% est toujours plus élevée par rapport aux autres mortiers sauf à 7 jours il a marqué une absorption légèrement moins que celle du MSD0% à cet âge.

Tend dit que MSD30% a marqué l'absorption la plus basse des autres mortiers à 7 et 28 jours et plus grande que celle du MSD0% à 14 et 21 jours.

### III.2.3.2 La porosité :

Tableau III.18: L'évolution de la porosité au jeune âge.

Temps	7 jours	14 jours	21 jours	28 jours
MSD0%	26,932 ± 1,807	24,266 ± 0,486	16,528 ± 0,194	19,603 ± 0,269
MSD10%	22,114 ± 0,620	22,107 ± 0,496	16,413 ± 0,185	16,421 ± 0,772
MSD20%	23,991 ± 0,095	24,265 ± 0,087	23,461 ± 7,341	18,644 ± 0,130
MSD30%	19,883 ± 0,739	21,736 ± 1,018	16,209 ± 2,102	14,052 ± 1,753



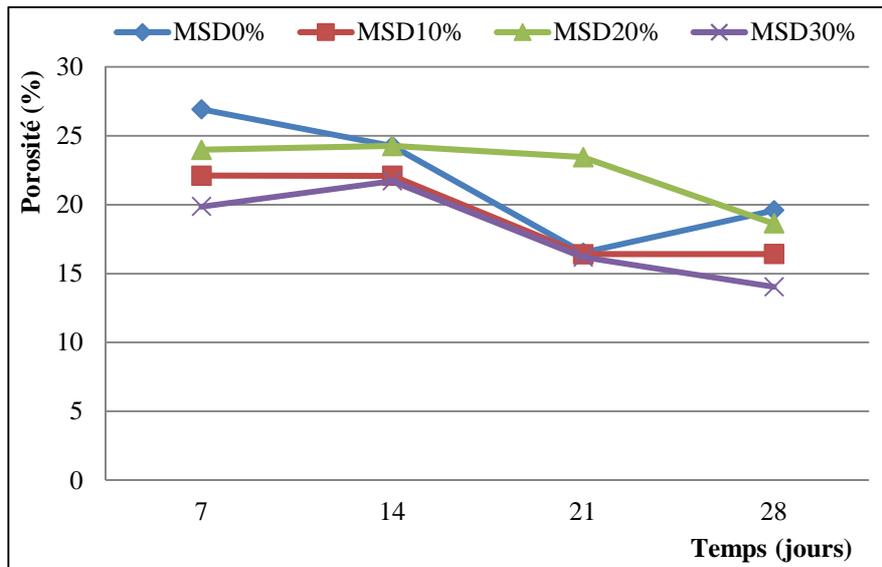


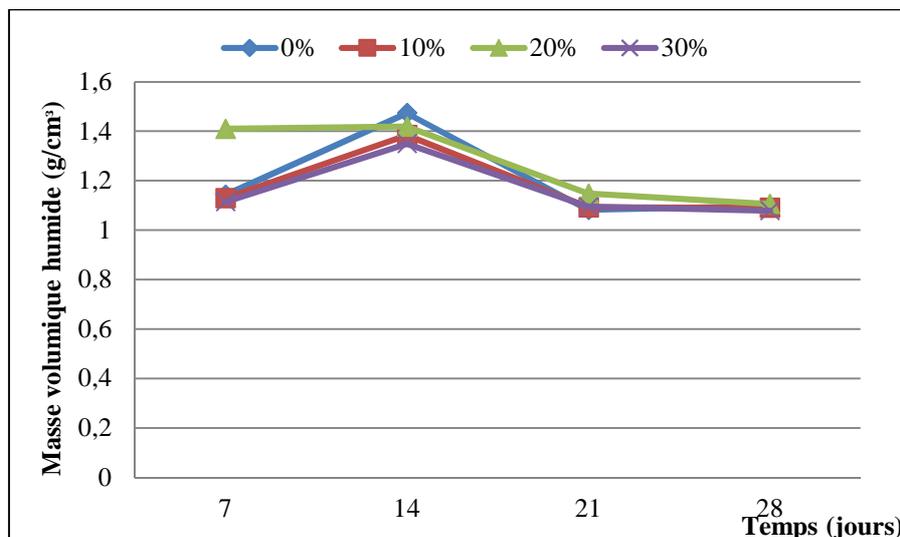
Figure III.18 : L'évolution de la porosité en fonction du temps.

Le MSD10% et MSD30% ont marqué une porosité moins que celle du MSD0% du 7 au 28 jours. Alors que MSD20% a marqué une porosité moins que celle du MSD0% à 7 et 28 jours pour l'égaliser à 14 jours et marquer la plus grande porosité à 21 jours.

### III.2.3.3 Les masses volumiques humides et sèches :

Tableau III.19: L'évolution de la masse volumique humide au jeune âge.

MVH [g/cm <sup>3</sup> ]	7 jours	14 jours	21 jours	28 jours
MSD0%	1,143 ± 0,562	1,474 ± 0,490	1,082 ± 0,511	1,098 ± 0,518
MSD10%	1,13 ± 0,531	1,385 ± 0,366	1,092 ± 0,515	1,09 ± 0,515
MSD20%	1,41 ± 0,538	1,419 ± 0,392	1,148 ± 0,440	1,106 ± 0,522
MSD30%	1,115 ± 0,542	1,35 ± 0,315	1,095 ± 0,482	1,079 ± 0,485

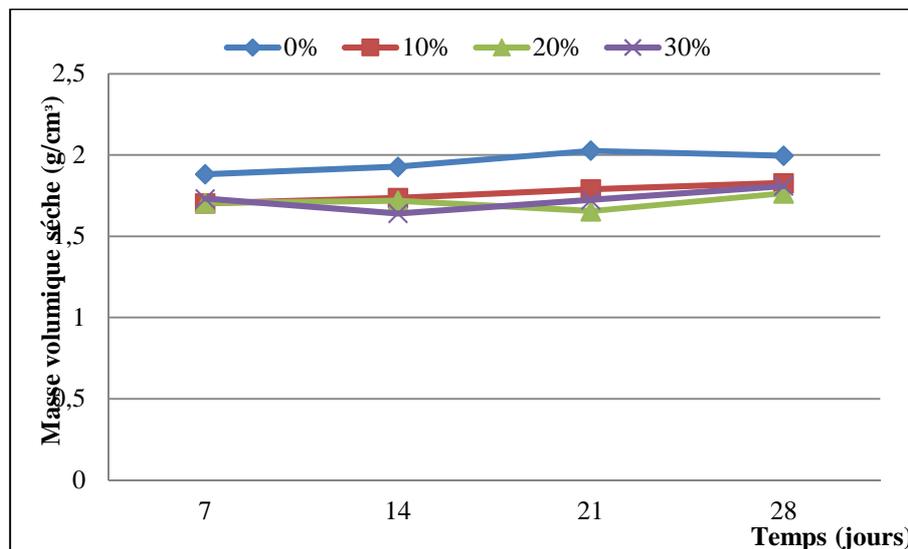


**Figure III.19 :** L'évolution de la masse volumique humide en fonction du temps.

La masse volumique humide du MSD20% est toujours supérieur aux celles des autres mortiers sauf à 14 jours il a marqué une masse volumique humide moins que celle du MSD0% et plus grande que celles des MSD10% et MSD30%. Les mortiers MSD10% et MSD30% ont marqué toujours des masses volumiques humides moins que celle du MSD0% et légèrement supérieur à celle de ce dernier à 21 jours.

**Tableau III.20:** L'évolution de la masse volumique sèche au jeune âge.

MVS [g/cm <sup>3</sup> ]	7 jours	14 jours	21 jours	28 jours
<b>MSD0%</b>	1,882 ± 0,825	1,928 ± 0,003	2,027 ± 0,957	1,996 ± 0,944
<b>MSD10%</b>	1,703 ± 0,806	1,737 ± 0,039	1,79 ± 0,839	1,828 ± 0,870
<b>MSD20%</b>	1,705 ± 0,815	1,719 ± 0,018	1,655 ± 1,031	1,765 ± 0,831
<b>MSD30%</b>	1,732 ± 0,700	1,64 ± 0,090	1,724 ± 0,999	1,809 ± 0,965



**Figure III.20 :** L'évolution de la masse volumique sèche en fonction du temps.

Les masses volumiques sèches des trois mortiers (MSD10%, MSD20%, MSD30%) ont marqué des valeurs toujours inférieures que ceux du MSD0%.

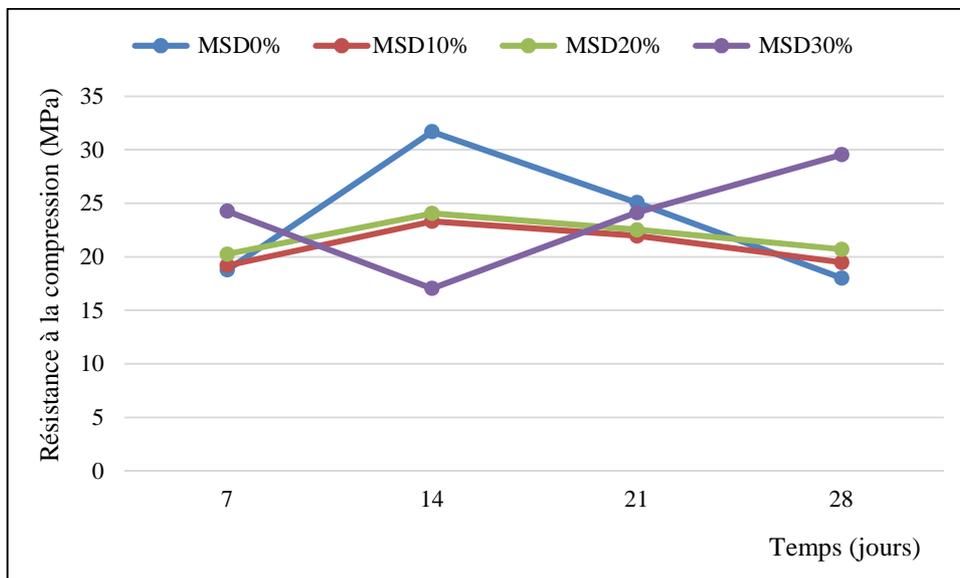
### III.2.4 L'évolution des propriétés mécaniques au jeune âge:

#### III.2.4.1 La résistance à la compression :

**Tableau III.21:** L'évolution de la résistance à la compression au jeune âge.

Temps	7 jours	14 jours	21 jours	28 jours
<b>MSD0%</b>	18,782 ± 6,286	31,697 ± 5,594	25,085±4,559	18,033 ± 2,148
<b>MSD10%</b>	19,203 ± 2,687	23,328 ± 2,267	21,96±2,655	19,485±1.643
<b>MSD20%</b>	20,258 ± 2,106	24,072 ± 3,496	22,527±2,284	20,717±0.961

<b>MSD30%</b>	24,278 ± 5,709	17.065 ± 2.279	24,143±1,259	29,55±1.907
---------------	----------------	----------------	--------------	-------------



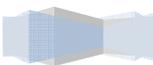
**Figure III.21 :** L'évolution de la résistance à la compression en fonction du temps.

L'allure de l'évolution de la résistance à la compression des mortiers (MSD10%, MSD20%) en fonction du temps est la même avec des valeurs légèrement supérieures à ceux du MSD0% à 7 et 28 jours, et généralement inférieurs à 14 et 21 jours. Par contre celle du MSD30% est inversement à celle du MSD0% avec un écart remarquable à 7 jours et très remarquable à 14 et 28 jours pour marquer presque la même résistance à 21 jours.

#### III.2.4.2 La résistance à la traction :

**Tableau III.22:** L'évolution de la résistance à la traction au jeune âge.

<b>Temps</b>	<b>7 jours</b>	<b>14 jours</b>	<b>21 jours</b>	<b>28 jours</b>
<b>MSD0%</b>	4,917 ± 1,350	6,883 ± 0,536	4,901 ± 0,319	3,145 ± 0,176
<b>MSD10%</b>	5,516 ± 0,616	5,48 ± 0,236	3,545 ± 0,614	4,274 ± 0,434
<b>MSD20%</b>	5,518 ± 0,125	5,963 ± 0,107	3,6 ± 0,860	4,877 ± 0,131
<b>MSD30%</b>	7,341 ± 1,166	6,007 ± 0,841	4,427 ± 0,794	5,077 ± 0,669



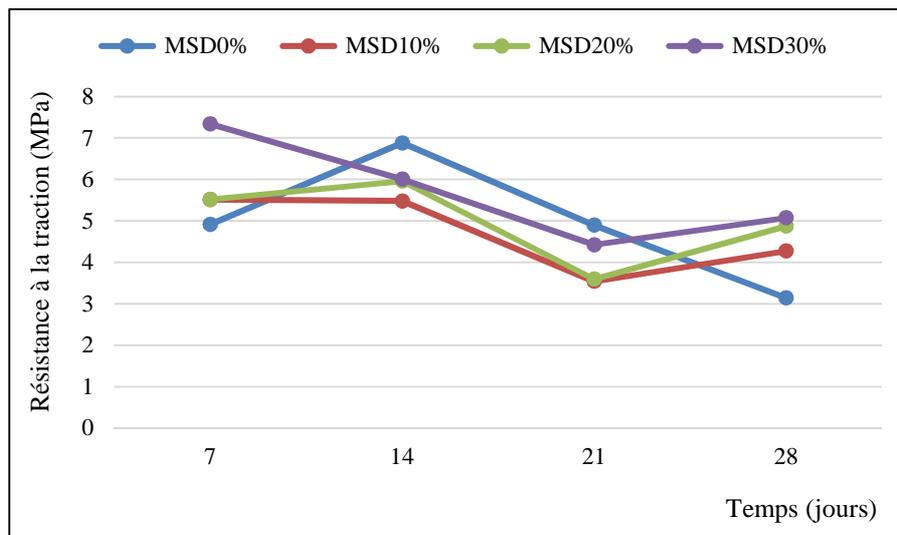


Figure III.22 : L'évolution de la résistance à la traction en fonction du temps.

L'allure de l'évolution de la résistance à la traction des trois mortiers (MSD10%, MSD20%, MSD30%) en fonction du temps est la même avec des valeurs supérieures à ceux du MSD0% à 7 et 28 jours et inférieurs à 14 et 21 jours.

### III.3. Effet de déchet de bois sur les relations entre les propriétés des mortiers :

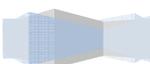
Les relations entre les résistances au jeune âge (à la compression et à la traction) et les résistances caractéristiques à 28 jours peuvent être influencées par la substitution du sable par les sciures de bois. On a pu remarquer à travers les résultats de ces propriétés qu'elles peuvent présenter des valeurs différentes. Dans cette partie du travail, on prospecte l'effet de la teneur en sciure de bois sur ces relations à différent âge, pour les résistances à la compression et même pour les résistances à la traction. Ces relations entre résistances vont aussi situées par rapport à celles données par les règlements en vigueur (BAEL, EC2).

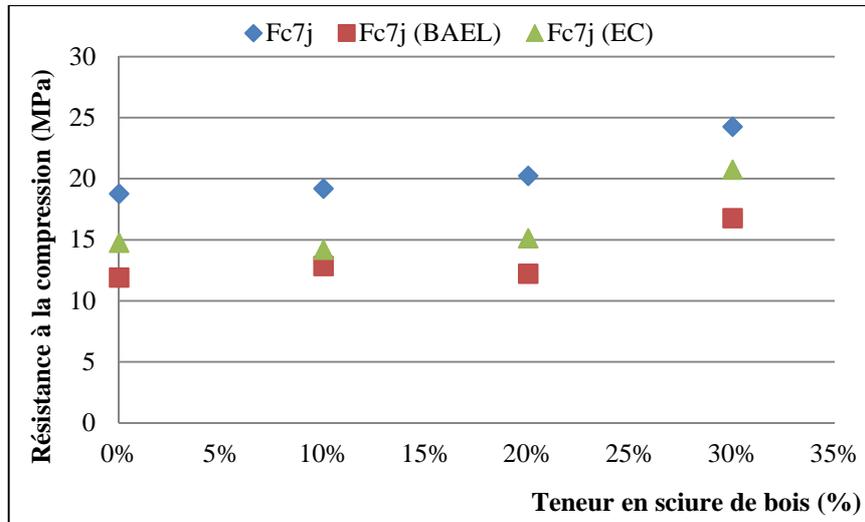
#### III.3.1 Les relations entre les résistances à la compression au jeune âge et les résistances caractéristiques à 28 jours:

##### III.3.1.1 À 7 jours :

Tableau III.23: Les résistances à la compression à 7 jours en fonction de la teneur en sciure de bois.

	0%	10%	20%	30%
$R_{c7j}$	18,782	19,203	20,258	24,278
$R_{c7j}$ (BAEL)	11,902	11,452	12,223	16,779
$R_{c7j}$ (EC)	14,764	14,176	15,111	20,744





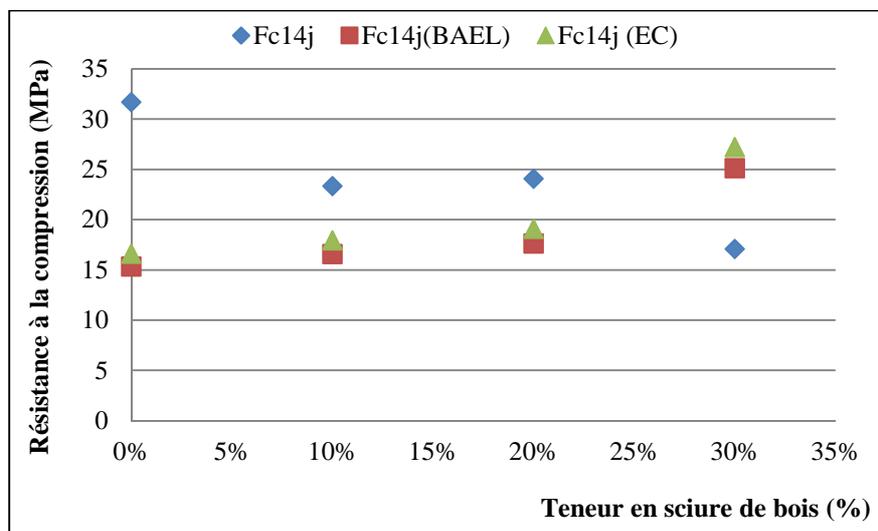
**Figure III.23 :** Les relations entre les résistances à la compression à 7 jours et les résistances caractéristiques à 28 jours en fonction de la teneur en sciure de bois.

Les valeurs de la résistance à la compression à 7 jours sont supérieures à ceux du BAEL et EC2 pour les différents teneurs en sciure de bois.

### III.3.1.2 À 14 jours :

**Tableau III.24:** Les résistances à la compression à 14 jours en fonction de la teneur en sciure de bois.

	0%	10%	20%	30%
<b>Rc14j</b>	31,697	23,328	24,072	17,065
<b>Rc14j (BAEL)</b>	15,413	14,830	15,775	21,655
<b>Rc14j (EC)</b>	16,599	15,972	16,990	23,323



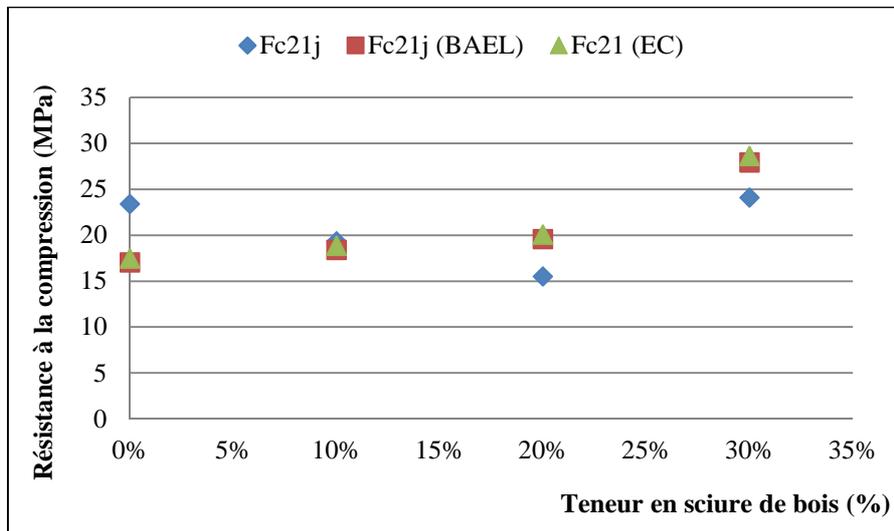
**Figure III.24 :** Les relations entre les résistances à la compression à 14 jours et les résistances caractéristiques à 28 jours en fonction de la teneur en sciure de bois.

Les valeurs de la résistance à la compression à 14 jours sont supérieures à ceux du BAEL et EC2 sauf pour la teneur en sciure de bois de 30%.

**III.3.1.3 À 21 jours :**

**Tableau III.25:** Les résistances à la compression à 21 jours en fonction de la teneur en sciure de bois.

	0%	10%	20%	30%
<b>Rc21j</b>	23,418	19,352	15,527	24,143
<b>Rc21j (BAEL)</b>	17,06593	16,4205	17,46719	23,97823
<b>Rc21j (EC)</b>	17,89462	16,82232	17,89462	24,56498



**Figure III.25 :** Les relations entre les résistances à la compression à 21 jours et les résistances caractéristiques à 28 jours en fonction de la teneur en sciure de bois.

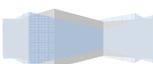
Les valeurs de la résistance à la compression à 21 jours sont inférieures à ceux du BAEL et EC2 pour les teneurs en sciure de bois de 20% et 30% et supérieures pour les deux autres teneurs 0% et 10%, mais le plus remarquable quelle est plus proche pour ce dernier.

**III.3.2 Les relations entre les résistances à la traction au jeune âge et les résistances caractéristiques à 28 jours:**

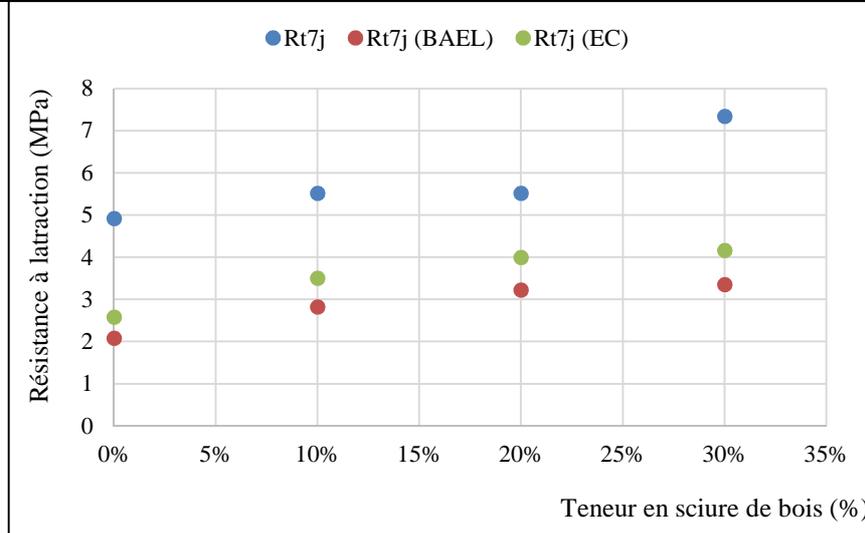
**III.3.2.1 À 7 jours :**

**Tableau III.26:** Les résistances à la traction à 7 jours en fonction de la teneur en sciure de bois.

0%	10%	20%	30%



$R_{t7j}$	4,917	5,516	5,518	7,341
$R_{t7j}$ (BAEL)	2,076	2,821	3,219	3,351
$R_{t7j}$ (EC)	2,575	3,499	3,993	4,157



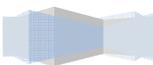
**Figure III.26 :** Les relations entre les résistances à la traction à 7 jours et les résistances caractéristiques à 28 jours en fonction de la teneur en sciure de bois.

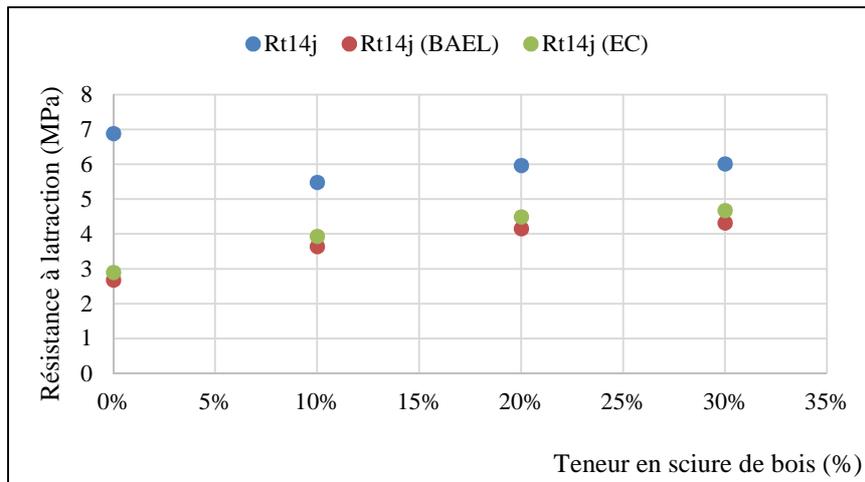
Les valeurs de la résistance à la traction à 7 jours sont supérieures à ceux du BAEL et EC2 pour les différents teneurs en sciure de bois.

### III.3.2.2 À 14 jours :

**Tableau III.27:** Les résistances à la traction à 14 jours en fonction de la teneur en sciure de bois.

	0%	10%	20%	30%
$R_{t14j}$	6,883	5,48	5,963	6,007
$R_{t14j}$ (BAEL)	2,673	3,633	4,145	4,315
$R_{t14j}$ (EC)	2,895	3,934	4,489	4,673





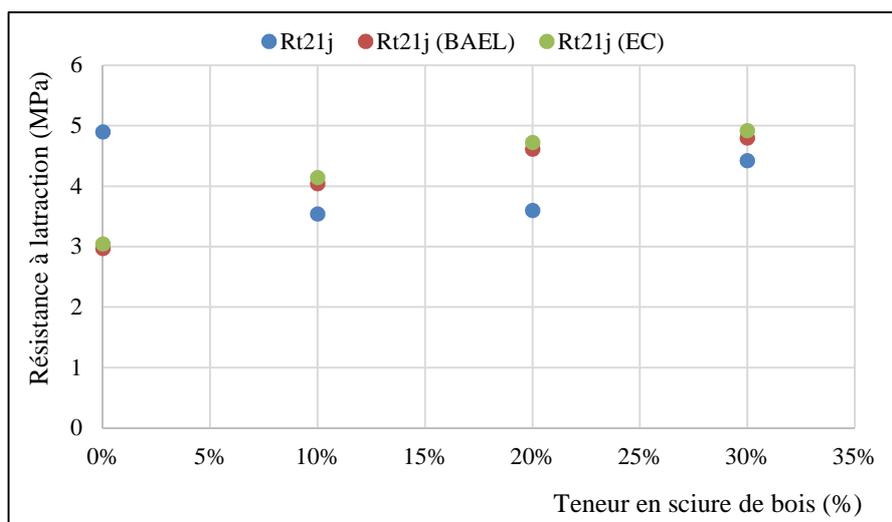
**Figure III.27 :** Les relations entre les résistances à la traction à 14 jours et les résistances caractéristiques à 28 jours en fonction de la teneur en sciure de bois.

Les valeurs de la résistance à la traction à 14 jours sont supérieures à ceux du BAEL et EC2 pour les différents teneurs en sciure de bois surtout à 0%.

### III.3.2.3 À 21 jours :

**Tableau III.28:** Les résistances à la traction à 21 jours en fonction de la teneur en sciure de bois.

	0%	10%	20%	30%
<b>Rt<sub>21j</sub></b>	4,901	3,545	3,6	4,427
<b>Rt<sub>21j</sub> (BAEL)</b>	2,975	4,043	4,614	4,803
<b>Rt<sub>21j</sub> (EC)</b>	3,049	4,144	4,728	4,922



**Figure III.28 :** Les relations entre les résistances à la traction à 21 jours et les résistances caractéristiques à 28 jours en fonction de la teneur en sciure de bois.

Les valeurs de la résistance à la traction à 21 jours sont inférieures à ceux du BAEL et EC2 pour les teneurs en sciure de bois de 10%, 20% et 30% et supérieures pour la teneur 0%.

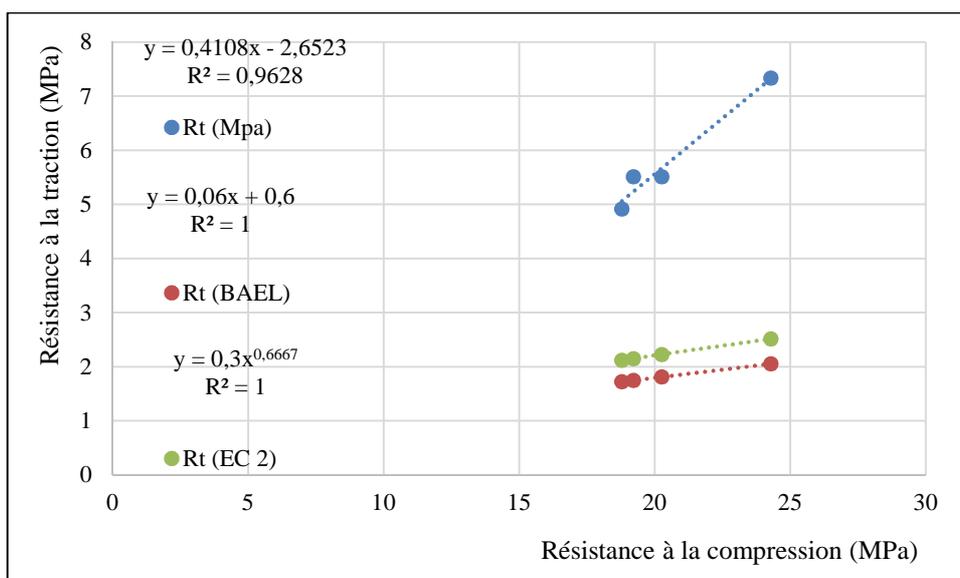
### III.3.3 Les relations entre les résistances à la compression et à la traction:

Les relations entre les résistances (à la compression et à la traction) peuvent être influencées par la substitution du sable par les sciures de bois. On a pu remarquer à travers les résultats de ces propriétés qu'elles peuvent présenter des valeurs différentes. Dans cette partie du travail, on prospecte l'effet de la teneur en sciure de bois sur ces relations à différent âge, entre les résistances en compression et celles en traction. Ces relations entre propriétés vont aussi situées par rapport à celles données par les règlements en vigueur (BAEL, EC2).

#### III.3.3.1 À 7 jours :

**Tableau III.29:** Les résistances à la compression et à la traction en fonction de la teneur en sciure de bois à 7 jours.

7 jours	0%	10%	20%	30%
<b>Rc [MPa]</b>	18,782	19,203	20,258	24,278
<b>Rt [MPa]</b>	4,917	5,516	5,518	7,341
<b>Rt (BAEL)</b>	1,727	1,752	1,815	2,057
<b>Rt (EC2)</b>	2,120	2,151	2,229	2,515

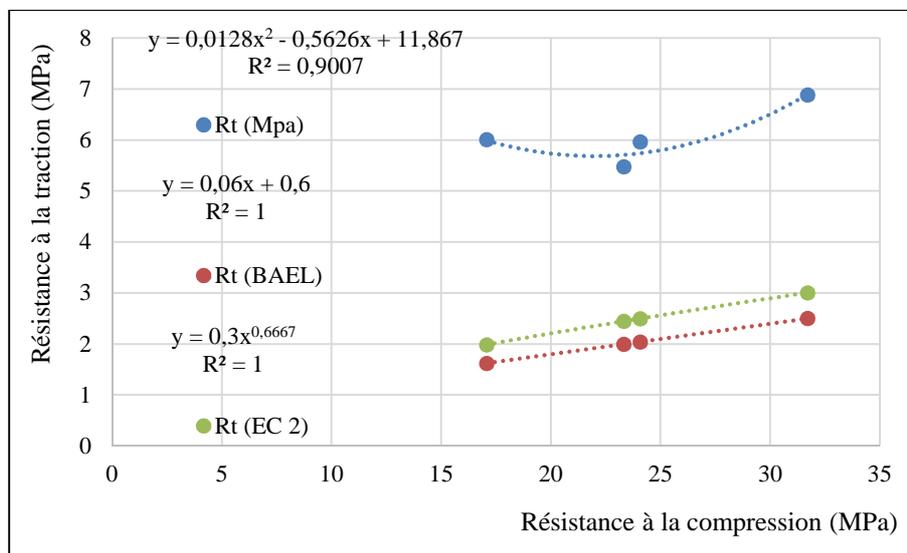


**Figure III.29 :** Relations entre les résistances à la compression et les résistances à la traction à 7 jours.

**III.3.3.2 À 14 jours :**

**Tableau III.30:** Les résistances à la compression et à la traction en fonction de la teneur en sciure de bois à 14 jours.

14 jours	0%	10%	20%	30%
Rc [MPa]	31,697	23,328	24,072	17,065
Rt [MPa]	6,883	5,480	5,963	6,007
Rt (BAEL)	2,502	2.000	2,044	2,041
Rt (EC2)	3,005	2,449	2,501	2,497



**Figure III.30 :** Relations entre les résistances à la compression et les résistances à la traction à 14 jours.

**III.3.3.3 À 21 jours :**

**Tableau III.31:** Les résistances à la compression et à la traction en fonction de la teneur en sciure de bois à 21 jours.

21 jours	0%	10%	20%	30%
Rc [MPa]	23,418	19,352	15,527	24,143
Rt [MPa]	4,901	3,545	3,600	4,427
Rt (BAEL)	2,005	1,761	1,532	2,049
Rt (EC2)	2,456	2,162	1,867	2,506

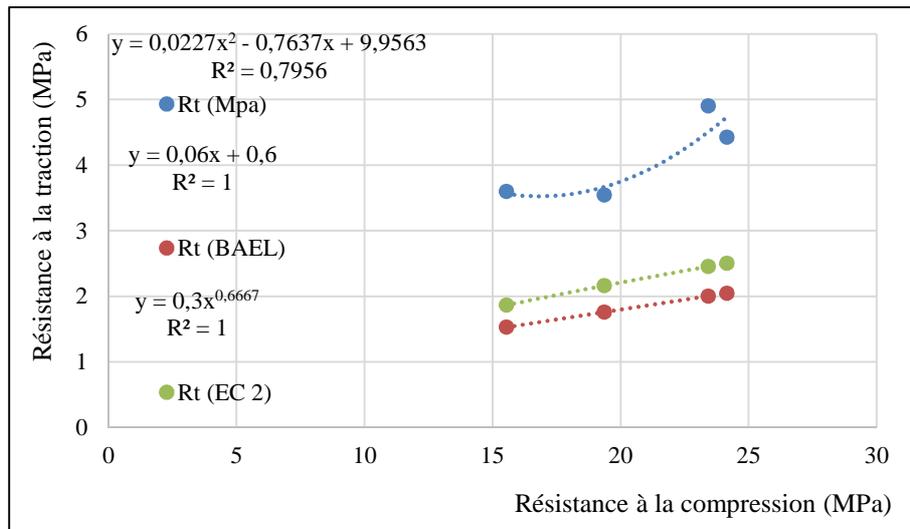
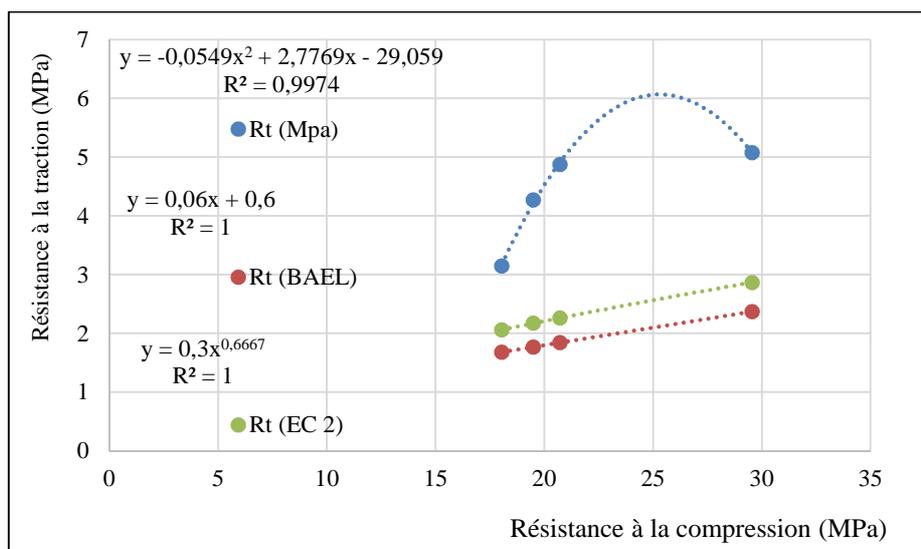


Figure III.31 : Relations entre les résistances à la compression et les résistances à la traction à 21 jours.

### III.3.3.4 À 28 jours :

Tableau III.32: Les résistances à la compression et à la traction en fonction de la teneur en sciure de bois à 28 jours.

28 jours	0%	10%	20%	30%
Rc [MPa]	18,033	19,485	20,717	29,55
Rt [MPa]	3,145	4,274	4,877	5,077
Rt (BAEL)	1,682	1,769	1,843	2,373
Rt (EC2)	2,063	2,172	2,263	2,867



**Figure III.32 :** Relations entre les résistances à la compression et les résistances à la traction à 28 jours.

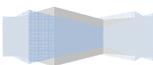
Les courbes précédentes les relations  $R_t$ - $R_c$  pour les MSD à différent teneur en sciure de bois (0%, 10%, 20%, 30%) à 7, 14, 21 et 28 jours. On remarque que les écarts entre les courbes réglementaires et les courbes expérimentales des MSD sont très importants avec des qualités de regression très acceptable  $R_t$ - $R_c$  ( $R^2=0.9628$ ,  $R^2=0.7956$ ,  $R^2=0.9007$  et  $R^2=0.9974$ ) respectivement à (7, 14, 21 et 28) jours. Ces relations donne toujours des valeurs sur estimées par rapport à ceux des règlementations.

On constate que les relations  $R_t$ - $R_c$  sont influencés par la teneur en sciure de bois à différent âge.

### III.4. Conclusion :

A travers les résultats des différentes propriétés physiques et mécaniques de ces mortiers (MSD0%, MSD10%, MSD20%, MSD30%), on remarque que leurs caractéristiques sont différentes le long du jeune âge.

- ❖ L'effet de la teneur en sciure de bois été clairement remarqué sur l'absorption par immersion totale, la porosité, les masse volumique humides et sèches ainsi que les résistances à la traction et à la compression avec des variations favorables et défavorables.
- ❖ L'évolution des propriétés physiques et mécaniques au jeune âge est différente d'un mortier à un autre et d'une propriété à une autre.
- ❖ L'effet de sciure de bois sur les relations entre les propriétés des mortiers a été clairement remarqué soit pour les relations entre les résistances au jeune âge et les résistances caractéristiques à 28 jours (compression et traction), soit pour Relations entre les résistances à la compression et les résistances à la traction.



## LISTE DES FIGURES

Figure III.1	Evolution de l'absorption par immersion totale en fonction de la teneur en sciure de bois à 7 jours.	Page 58
Figure III.2	Evolution de l'absorption par immersion totale en fonction de la teneur en sciure de bois à 14 jours.	Page 58
Figure III.3	Evolution de l'absorption par immersion totale en fonction de la teneur en sciure de bois à 21 jours.	Page 59
Figure III.4	Evolution de l'absorption par immersion totale en fonction de la teneur en déchet de bois à 28 jours.	Page 59
Figure III.5	Evolution de la porosité en fonction de la teneur en sciures de bois à 7 jours.	Page 60
Figure III.6	Evolution de la porosité en fonction de la teneur en sciures de bois à 14 jours.	Page 61
Figure III.7	Evolution de la porosité en fonction de la teneur en sciures de bois à 21 jours.	Page 61
Figure III.8	Evolution de la porosité en fonction de la teneur en sciures de bois à 28 jours.	Page 62
Figure III.9	Evolution des masses en fonction de la teneur en sciures de bois à 7 jours.	Page 62
Figure III.10	Evolution des masses en fonction de la teneur en sciures de bois à 14 jours.	Page 63
Figure III.11	Evolution des masses en fonction de la teneur en sciures de bois à 21 jours.	Page 64
Figure III.12	Evolution des masses en fonction de la teneur en sciures de bois à 28 jours.	Page 64
Figure III.13	Evolution de la résistance à la compression et à la traction ( $f_{c_{28}}$ ) en fonction de la teneur en sciures de bois à 7 jours.	Page 65
Figure III.14	Evolution de la résistance à la compression et à la traction ( $f_{c_{28}}$ ) en fonction de la teneur en sciures de bois à 14 jours.	Page 66
Figure III.15	Evolution de la résistance à la compression et à la traction ( $f_{c_{28}}$ ) en fonction de la teneur en sciures de bois à 21 jours.	Page 67
Figure III.16	Evolution de la résistance à la compression et à la traction ( $f_{c_{28}}$ ) en fonction de la teneur en sciures de bois à 28 jours.	Page 68
Figure III.17	L'évolution de l'absorption par immersion totale en fonction du temps.	Page 69
Figure III.18	L'évolution de la porosité en fonction du temps.	Page 70
Figure III.19	L'évolution de la masse volumique humide en fonction du temps.	Page 70
Figure III.20	L'évolution de la masse volumique sèche en fonction du temps.	Page 71
Figure III.21	L'évolution de la résistance à la compression en fonction du temps.	Page 72
Figure III.22	L'évolution de la résistance à la traction en fonction du temps.	Page 73

Figure III.23	Les relations entre les résistances à la compression à 7 jours et les résistances caractéristiques à 28 jours en fonction de la teneur en sciure de bois.	Page 74
Figure III.24	Les relations entre les résistances à la compression à 14 jours et les résistances caractéristiques à 28 jours en fonction de la teneur en sciure de bois.	Page 74
Figure III.25	Les relations entre les résistances à la compression à 21 jours et les résistances caractéristiques à 28 jours en fonction de la teneur en sciure de bois.	Page 75
Figure III.26	Les relations entre les résistances à la traction à 7 jours et les résistances caractéristiques à 28 jours en fonction de la teneur en sciure de bois.	Page 76
Figure III.27	Les relations entre les résistances à la traction à 14 jours et les résistances caractéristiques à 28 jours en fonction de la teneur en sciure de bois.	Page 76
Figure III.28	Les relations entre les résistances à la traction à 21 jours et les résistances caractéristiques à 28 jours en fonction de la teneur en sciure de bois.	Page 77
Figure III.29	Relations entre les résistances à la compression et les résistances à la traction à 7 jours.	Page 78
Figure III.30	Relations entre les résistances à la compression et les résistances à la traction à 14 jours.	Page 79
Figure III.31	Relations entre les résistances à la compression et les résistances à la traction à 21 jours.	Page 79
Figure III.32	Relations entre les résistances à la compression et les résistances à la traction à 28 jours.	Page 80

### **LISTE DES TABLEAUX**

Tableau III.1	Effet de l'ajout des sciures de bois sur l'absorption par immersion totale à 7 jours.	Page 57
Tableau III.2	Effet de l'ajout des sciures de bois sur l'absorption par immersion totale à 14 jours.	Page 58
Tableau III.3	Effet de l'ajout des sciures de bois sur l'absorption par immersion totale à 21 jours.	Page 59
Tableau III.4	Effet de l'ajout des sciures de bois sur l'absorption par immersion totale à 28 jours.	Page 59

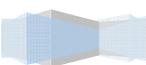
Tableau III.5	Effet de l'ajout des sciures de bois sur la porosité à 7 jours.	Page 60
Tableau III.6	Effet de l'ajout des sciures de bois sur la porosité à 14 jours.	Page 60
Tableau III.7	Effet de l'ajout des sciures de bois sur la porosité à 21 jours.	Page 61
Tableau III.8	Effet de l'ajout des sciures de bois sur la porosité à 28 jours.	Page 62
Tableau III.9	Effet de l'ajout des sciures de bois sur la MVS et MVH à 7 jours.	Page 62
Tableau III.10	Effet de l'ajout des sciures de bois sur la MVS et MVH à 14 jours.	Page 63
Tableau III.11	Effet de l'ajout de sciures de bois sur la MVS et MVH à 21 jours.	Page 63
Tableau III.12	Effet de l'ajout des sciures de bois sur la MVS et MVH à 28 jours.	Page 64
Tableau III.13	Effet de l'ajout des sciures de bois sur la résistance à la compression et à la traction ( $f_{c_{28}}$ ) à 7 jours.	Page 65
Tableau III.14	Effet de l'ajout des sciures de bois sur la résistance à la compression et à la traction ( $f_{c_{28}}$ ) à 14 jours.	Page 66
Tableau III.15	Effet de l'ajout des sciures de bois sur la résistance à la compression et à la traction ( $f_{c_{28}}$ ) à 21 jours.	Page 66
Tableau III.16	Effet de l'ajout des sciures de bois sur la résistance à la compression et à la traction ( $f_{c_{28}}$ ) à 28 jours.	Page 67
Tableau III.17	L'évolution de l'absorption par immersion totale au jeune âge.	Page 68
Tableau III.18	L'évolution de la porosité au jeune âge.	Page 69
Tableau III.19	L'évolution de la masse volumique humide au jeune âge.	Page 70
Tableau III.20	L'évolution de la masse volumique sèche au jeune âge.	Page 71
Tableau III.21	L'évolution de la résistance à la compression au jeune âge.	Page 71
Tableau III.22	L'évolution de la résistance à la traction au jeune âge.	Page 72
Tableau III.23	Les résistances à la compression à 7 jours en fonction de la teneur en sciure de bois.	Page 73
Tableau III.24	Les résistances à la compression à 14 jours en fonction de la teneur en sciure de bois.	Page 74
Tableau III.25	Les résistances à la compression à 21 jours en fonction de la teneur en sciure de bois.	Page 75
Tableau III.26	Les résistances à la traction à 7 jours en fonction de la teneur en sciure de bois.	Page 75
Tableau III.27	Les résistances à la traction à 14 jours en fonction de la teneur en sciure de bois.	Page 76
Tableau III.28	Les résistances à la traction à 21 jours en fonction de la teneur en sciure de bois.	Page 77
Tableau III.29	Les résistances à la compression et à la traction en fonction de la teneur en sciure de bois à 7 jours.	Page 78

Tableau III.30	Les résistances à la compression et à la traction en fonction de la teneur en sciure de bois à 14 jours.	Page 78
Tableau III.31	Les résistances à la compression et à la traction en fonction de la teneur en sciure de bois à 21 jours.	Page 79
Tableau III.32	Les résistances à la compression et à la traction en fonction de la teneur en sciure de bois à 28 jours.	Page 80

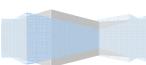
## CONCLUSION GENERALE

Cette étude a mis en exergue la caractérisation au jeune âge d'un mortier à base de sable de dune à différent teneur en sciure de bois. Dont le premier à des caractéristiques indésirables dans le domaine de la construction et le second parmi les déchets qui menace l'environnement. D'après les résultats obtenus on peut conclure :

- ✘ L'utilisation des sciures de bois comme correcteur du sable de dune a donné des résultats positifs surtout sur la granulométrie ou cette dernière tend à s'étalée, et les nouveaux mélanges présentent des masses volumiques inférieurs à ceux du sable de dune, ainsi que l'équivalent de sable est t'amélioré pour rendre le mélange apte à être utiliser pour les confections des éco-mortiers.
- ✘ L'absorption par immersion a eu une diminution maximum de l'ordre de 19.69% par rapport à MSD0% pour (MSD30%) à 7 jours, et une augmentation progressive à 14 et 21 jours surtout pour MSD20% de l'ordre (12.20% et 26.33%) par rapport à MSD0% et respectivement à l'âge. Mais le plus remarquable que à 28 jours c'était la diminution de l'absorption par immersion totale du MSD30% d'un ordre de 20.50% par rapport à celle du (MSD0%).
- ✘ A 7, 14 et 28 jours la diminution maximale de la porosité était pour (MSD30%) respectivement d'un ordre de (26.17%, 10.43%, 28.32%) par rapport à (MSD0%). Par contre à 21jours (MSD20%) a marqué une augmentation défavorable.
- ✘ Les plus grandes diminutions de la MVH étaient pour (MSD30%) d'un ordre de (2.45%, 8.41%, 1.73%) respectivement à (7, 14, 28 jours) par rapport à celle du (MSD0%).
- ✘ A 7 jours les diminutions de la MVS étaient presque identique pour atteindre 14.94% comme valeurs maximale à 14 jours pour (MSD30%) par rapport à celle du (MSD0%). Mais le (MSD20%) a marqué les valeurs maximales (18.35%, 11.57%) respectivement à (21 et 28 jours) par rapport à celle du (MSD0%).
- ✘ La résistance à la traction du (MSD30%) a augmenté de presque 50% par rapport à celle du (MSD0%) à 7 jours, et celle du (MSD20%) à diminué d'un ordre de (13.37%, 27.67%) respectivement à (14 et 21 jours) par rapport à celle du (MSD0%), afin d'augmenter pour les trois mortiers (61.43%) pour (MSD30%) par rapport à celle du MSD0%.
- ✘ A 7 jours la résistance à la compression a augmenté proportionnellement à la teneur en sciure de bois avec un facteur moyen de (1.09), pour diminuer à 14 jours de presque la moitié (46.16%) pour (MSD30%) de la résistance du MSD0%. A la fin elle a augmenté d'un ordre de (63.87%) à 28 jours par rapport à celle du MSD0%.



- ✘ Les relations entre les résistances soit à la traction et soit à la compression au jeune âge et les résistances caractéristiques à 28 jours sont influencés à tout âge soit par des valeurs supérieures ou inférieures à ceux des réglementations.
- ✘ Les relations entre les résistances à la compression et les résistances à la traction sont influencés par la teneur en sciure de bois à différent âge.
- ✘ Les corrélations reliant les résistances à la compression et les résistances à la traction qui figurent dans les documents réglementaires (BAEL, EC2) valables pour les mortiers et bétons courants ne le sont plus dans notre cas. On doit considérer dans ces relations d'autres paramètres comme la composition par exemple et comme la teneur en sciure de bois ainsi que l'âge, qui a été étudié dans ce travail.



## Notions et Abréviations

D.I.B :	Déchets Industriels Banals.
O.M.R. :	Ordures Ménagères Résiduelles.
PVC :	Poly Chlorure de Vinyle.
DAE :	Déchets des Activités Economiques.
SD :	Sable de Dune.
CBC	Composites Bois/Ciment.
LGCH	Laboratoire de Génie Civil et d'Hydraulique.
CPJ42.5 :	Ciment Portland de classe 42.5.
M1 :	Masse du récipient vide[kg] .
M2 :	Masse du récipient plus le matériau utilise[kg] .
VR :	Volume du récipient [ $cm^3$ ].
$\rho$ :	Masse volumique [ $kg/cm^3$ ].
$\rho_w$ :	Masse volumique de l'eau.
$\rho_{app}$ :	Masse volumique apparente [ $kg/cm^3$ ].
$\rho_{Ab}$ :	Masse volumique absolue [ $kg/cm^3$ ].
M :	Masse des grains solides [kg].
V1 :	Volume de l'eau [ $cm^3$ ].
V2 :	Volume total (grains solide + eau) [ $cm^3$ ].
$h'_2$ :	Hauteur de sable propre seulement [cm].
$h_1$ :	Hauteur du sable propre y compris le flocculat (éléments fins) en [cm].
$h_2$ :	Hauteur du sable plus précisément avec le piston taré en [cm].
E :	Eau.
C :	Ciment.
Esv :	L'équivalent de sable visuel (%).

Esp :	L'équivalent de sable par piston (%).
c-à-d :	C'est-à-dire.
$f_{c28}$ :	Résistance à la compression du béton après 28 jours [MPa].
min :	Minute.
s :	Seconde.
MSD :	Mortier de Sable de Dune.
Ab :	Absorption (%).
MVH :	Masse Volumique Humide [g/cm <sup>3</sup> ].
MVS :	Masse Volumique Sèche [g/cm <sup>3</sup> ].
$M_{humide}$ :	Masse humide de l'éprouvette.
$M_{sous\ eau}$ :	Masse sous eau de l'éprouvette.
Rt :	Résistance à la traction [MPa].
Rc :	Résistance à la compression [MPa].
$\sigma_t$ :	Résistance à la traction par flexion en [MPa]
F :	Charge appliquée à la rupture en [N]
L :	Distance entre les appuis [mm].
B :	Coté de la section carrée de l'éprouvette [mm].
EC :	Euro Code.
BAEL :	Règles techniques de conception et de calcul des ouvrages et constructions en béton armé suivant la méthode des états limites.