

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche  
Scientifique

Université Abderrahmane MIRA-BEJAIA



Faculté de technologie



Département de génie civil

## *Mémoire de fin d'études*

Pour l'obtention du diplôme de master en Génie civil

Spécialité : Génie civil

Option : Structures

Thème :

*Valorisation des déchets végétaux  
dans les matériaux de construction  
(mortier)*

Réalisé par :

M<sup>elle</sup> MAOUST Hayette & M<sup>elle</sup> BAAR Lamia

Président	Bouzi M. Amine	MCA	U.A.M.Bejaia
Encadreur	AREZKI Samia	MCA	U.A.M.Bejaia
Examineur	Slimano Houssam	MAB	U.A.M.Bejaia

Année Universitaire : 2022-2023

# *Remerciements*

*Avant tout, nous remercions **ALLAH**, le tout puissant de nous avoir donné la patience la santé et la volonté pour réaliser ce modeste travail.*

*Nous tenons en premier lieu à exprimer nos profondes reconnaissances à tous ceux qui nous ont aidé dans l'élaboration de ce travail, en particulier notre encadreur **M<sup>me</sup> AREZKI Samia**, pour sa disponibilité et sa méthode de s'ouvrir aux étudiants, pour sa confiance d'accepter aisément nos idées, et de nous avoir guidé avec de précieux conseils.*

*Nous tenons aussi à remercier le personnel technique du laboratoire matériaux de construction du département de Génie Civil, le personnel du laboratoire des LTPE (Travaux Publics d'EST), l'ingénieur **MOKRANI Ilham** et la doctorante **ZADRI Hanane**.*

*Nos remerciements s'adressent également à nos deux chères familles et amis, et tous ceux et celles, qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.*



*- HAYETTE, LAMIA -*

# Dédicace

*Merci DIEU le tout miséricordieux, ton amour et tes grâces à mon égard m'ont donné la persévérance et le courage pour accomplir ce travail.*

*Je dédie ce modeste travail*

*A mes chers parents **Malaaz** et **Mohand**, quoi que je fasse ou quoi je dise, je ne saurai point vous remercier comme il se doit. Votre affection me couvre, votre bienveillance me guide et votre présence à mes cotés a toujours été ma source de force pour préserver jusqu'à l'aboutissement de ce travail. Je vous serai reconnaissante toute ma vie, qu'Allah vous accorde longue vie.*

*A mes deux très chers frères **Karim** et **Zahir**.*

*A mes précieuses sœurs : **Samia**, **Lila**, **Farida**, **Souhila** et **Fouzia**, et belles sœurs **Nabila** et **Naziha**.*

*A mes beaux freres : **Youcef**, **Fahem**, **Nacer**, **Redouane** et **Youcef**.*

*A mes chers neveux : **Iness**, **Islam**, **Lina**, **Aksil**, **Nelia**, **Elena**, **Nadjet**, **Nassim**, **Fatima** et **Imad**.*

*A ma très chère cousine **Wassila** merci infiniment pour ton soutien malgré la distance, et mes chère tantes **Taklith**, **Houria** et **Yamina**.*

*A mes chers amis : **Malika**, **Kahina**, **Houda**, **Jiga**, **Sabrina**, **Tamazight**, **Melissa**, **Halim** et **Yacine**, en souvenir de nos éclats de rires et de bons moments, en souvenir de tout ce qu'on a vécu ensemble, j'espère de tout mon cœur que notre amitié durera éternellement.*

*A la mémoire de ma grand-mère **TARBAH** et mon oncle **Amar** ; que dieu les accueille dans son vaste paradis.*

*Pour finir je tiens à remercier ma chère binôme **Lamia** pour son soutien, son courage et sa compréhension tout au long de ce projet.*

 - Hayette -

# *Dédicace*

*Avec joie, fierté et respect, je dédie ce mémoire :*

*A mes chers parents qui m'ont guidé durant tous les moments les plus pénibles de ce long chemin, ma chère mère **FATIHA** qui a été à mes cotés et m'a soutenu durant toute ma vie, et mon cher père **YACHÉ** qui a sacrifié toute sa vie afin de me voir devenir ce que je suis, merci mes parents.*

*A mes très chers frère : **FATAH, ISSAM** et **ISLAM**, ma petite sœur **IMENE** et sans oublier mon petit cousin **RACHID**.*

*A mon cher fiancé **FOUDHIL**.*

*A mes chers grands parents **ABDELMDJID, ZINEB,**  
**LHOUASS** et **AYACHA**.*

*A mes chers amis : **CHAHINEZ, TINHINANE, LAMIA,**  
**SALMA, JOUHRA, SABRINA, IBTISSEM, Leïla** et **Lydia**.*

*Mes chères cousines **CHAHINEZ, ASMA** et ma tante **SABAH**  
et **ZAHIA**.*

*Pour finir je tiens à remercier ma chère binôme **HAYETTE**  
pour son soutien, son courage et sa compréhension tout le long  
de ce projet.*



# *Table de matières*

## *Table de matières*

---

Remerciements

**Dédicace**

**Sommaire**

Liste d'abréviation

Liste des tableau

Liste des figures

**Introduction Générale..... 1**

### **Partie théorique**

#### **Chapitre I**

#### **Recherche bibliographique**

**Introduction ..... 5**

I.1. Mortier..... 5

I.1.1. Invention du mortier..... 6

I.1.2. Eévolutions historique du mortier ..... 7

I.1.3. Différents types de mortier..... 7

I.1.3.1. Mortier de ciment..... 8

I.1.3.2. Mortier de chaux ..... 8

I.1.3.3. Mortier-bâtard..... 8

I.1.3.4. Mortier fabriqué sur chantier..... 9

I.1.3.5. Mortier industriel ..... 9

I.1.3.6. Mortier frais retardé, stabilisé, prêt à l'emploi..... 9

I.1.3.7. Mortiers de fibres ..... 9

I.2. Composition du mortier ..... 10

I.2.1. Liant (ciment)..... 10

I.2.1.1. Fabrication du ciment..... 10

I.2.1.2. Constituants du ciment..... 11

I.2.1.3. Types de ciments..... 12

I.2.1.4. Hydratation de la Pâte de ciment ..... 12

I.2.2. Granulats (sable) ..... 13

I.2.2.1. Type des sables ..... 14

I.2.2.2. Role du sable ..... 14

I.2.3. Ajouts ..... 14

I.2.3.1. Ajouts minéraux ..... 14

A. Avantages ..... 15

## *Table de matières*

---

B. Inconvénients .....	15
I.2.3.1.2. Fumées de silice .....	15
I.2.3.1.3. Cendres volantes .....	16
I.2.3.1.4. Laitier de haut fourneau .....	16
I.2.3.1.5. Pouzzolanes .....	16
I.2.3.2. Ajouts végétaux.....	16
A. Avantages .....	17
B. Inconvenance .....	17
I.2.3.2.2. Fibres de feuilles .....	17
I.2.3.2.3. Fibres de tiges .....	17
I.2.3.2.4. Fibres de bois .....	18
I.2.3.2.5. Fibres de surfaces .....	18
I.2.4. Eau de gâchage.....	18
I.2.5. Adjuvants .....	18
I.2.5.1. Adjuvants qui modifient l'ouvrabilité du béton .....	19
I.2.5.2. Adjuvants qui modifient la prise et le durcissement .....	19
I.2.5.3. Adjuvants qui modifient certaines propriétés du béton.....	19
I.3. Fonction des mortiers .....	20
I.4. Caractéristiques principales des mortiers .....	20
I.4.1. Ouvrabilité.....	20
I.4.2. Masse volumique absolue .....	20
I.4.3. Résistances mécaniques .....	20
I.4.3.1. Résistance à la compression .....	20
I.4.3.2. Résistance à la flexion .....	21
I.4.4. Retrait et Gonflement .....	21
I.4.5. Durabilité.....	21
I.4.6. Porosité.....	21
I.4.7. Absorption d'eau (pores capillaires) .....	21
I.5. Emplois des mortiers .....	22
I.5.1. Hourdage de maçonnerie.....	22
I.5.2. Enduits.....	22
I.5.3. Chapes .....	23
I.5.4. Scellements et les calages .....	23
I.6. Déchets .....	23

## *Table de matières*

---

A. L'origine .....	24
B. La nature physico-chimique.....	24
I.7. Bois .....	24
I.7.1. Chronique forestière.....	24
I.7.2. Composition chimique du bois.....	25
I.7.2.1. Cellulose.....	25
I.7.2.2. Lignine .....	25
I.7.3. Structure anatomique du bois .....	26
I.7.4. Caractéristiques des bois .....	26
I.7.4.1. Masse volumique .....	26
I.7.4.2. Dureté.....	26
I.7.4.3. Dilatation thermique.....	26
I.7.4.4. Conductivité thermique .....	26
I.7.5. Production de bois à l'échelle mondiale .....	27
I.7.6. Types des déchets de bois .....	28
I.7.6.1. Coupeaux de bois .....	28
I.7.6.2. Sciure de bois .....	28
I.7.6.3. Granulat de bois .....	28
I.7.6.4. Bois déchiqueté ou plaquette forestière .....	29
I.7.7. L'utilisation de la sciure de bois .....	29
<b>Conclusion .....</b>	<b>30</b>

## **Chapitre II**

### **Méthodes et caractérisation des matériaux utilisés**

<b>Introduction .....</b>	<b>32</b>
II.1. Matériaux utilisés.....	32
II.2. Procédés et analyses des matériaux utilisés (mesures et interprétations) .....	32
II.2.1. Sable.....	32
II.2.1.1. Analyse granulométrique par voie sèche :( NF P 18-560).....	33
A. Principe et mode opératoire .....	33
B. Résultats obtenus .....	35
II.2.1.2. Module de finesse du sable (NF EN 933-1) .....	36
II.2.1.3. Essai au bleu de Méthylène (NF EN 933-9) .....	36
II.2.1.4. Essai d'équivalent de sable (NF EN 933-8).....	39



## *Table de matières*

---

II.2.1.5. Masse volumique absolue et coefficient d'absorption d'eau des sables (méthodes au pycnomètre NF EN 1097-6) .....	44
II.2.1.6. Masse volumique en vrac (EN 932-2) .....	46
II.2.1.7. Détermination de la teneur en eau pondérale des matériaux (NF P 94-050) .....	48
II.2.2. Ciment.....	50
II.2.2.1. Caractéristiques chimiques du ciment utilisé (CEM II/A- L42, 5).....	50
II.2.2.2. Caractéristiques minéralogiques du (CEMII/A-L42, 5R).....	50
II.2.2.3. Essai de consistance (EN 196-3).....	51
II.2.2.4. Essai de prise (EN 196-7) .....	53
II.2.3. Adjuvant (plastifiant) .....	54
II.2.3.1. Propriétés physico-chimique de plastifiant.....	55
II.2.3.2. Caractéristique de l'adjuvant utilisé.....	55
II.2.4. Eau de gâchage .....	55
II.2.5. Sciure de bois.....	55
II.2.5.1. Analyse chimique de la sciure de bois.....	56
II.3. Analyse chimique de la sciure du bois.....	56
II.3.1.1. Détermination des la masses volumique de la sciure de bois .....	56
II.3.1.2. Capacité d'absorption d'eau .....	56
II.3.1.3. Masse volumique réelle .....	57
II.3.1.4. Analyse granulométrique du mélange (sable + sciure de bois) .....	57
II.3.1.5. Teneur en eau.....	58
<b>Conclusion .....</b>	<b>59</b>

### **Chapitre III**

#### **Résultats d'essais et interprétations**

<b>Introduction .....</b>	<b>61</b>
III.1. Formulation du mortier avec ajout .....	61
III.1.1. Essais préliminaires .....	61
III.1.2. Compositions de mortiers des différentes séries .....	65
III.1.3. Préparation des échantillons .....	66
III.2. Résultats des essais physiques et interprétations.....	68
III.2.1. Porosité.....	68
III.2.2. Masse volumique apparente .....	70
III.2.3. Absorption d'eau .....	72
III.2.4. Coefficient d'absorption d'eau capillaire .....	74

## *Table de matières*

---

III.2.5. Retrait et gonflement .....	76
III.3. Résultats des essais mécaniques et interprétations .....	78
III.3.1. Essai à la flexion.....	78
III.3.2. Essai à la compression.....	80
III.3.3. Conductivité thermique et chaleur spécifique .....	83
<b>Conclusion .....</b>	<b>86</b>
<b>Conclusion Générale .....</b>	<b>87</b>
<b>Référence bibliographiques .....</b>	<b>90</b>
<b>Annexes.....</b>	<b>95</b>

## *Liste d'abréviation*

---

### Liste d'abréviation

$A_{CA}$  : *Absorption capillaire*

$K_2O$  : Les alcalis

$M_1$  : Masse humide de la 1<sup>ère</sup> prise de l'essai

$M_2$  : Masse sèche de la 2<sup>ème</sup> prise d'essai après lavage à travers un tamis de 0,063mm

$M_3$  : Masse de sable humide 2<sup>ème</sup> sous échantillon

$M_{\omega}$  : Masse de l'eau

$M_{air}$  : *La masse humide*

$M_d$  : Masse du sol sec

$M_{eau}$  : *La masse hydrostatique*

$M_{sec}$  : *La masse sèche*

$P_r$  : La masse volumique réelle

$V_B$  : Bleu de méthylène

$\rho_a$  : La masse volumique absolue

$\rho_{\omega}$  : *La masse volumique d'eau*

$Al_2O_3$  : L'alumine

Ab : Coefficient d'absorption

C : Carbone

$CaSO_4$  : Le sulfate de calcium

CPA : Ciment portland

CPJ : Ciment portland composé

E/C : Rapport eau/ciment

## *Liste d'abréviation*

---

ES : Equivalent de sable

f : Teneur en fines

$Fe_2O_3$  : L'oxyde ferrique

H : Hydrogène

h1 : La hauteur de sable propre+éléments fines

h2 : La hauteur de sable propre seulement

J-C : Jésus Christe

LGHF : Laitier Granulé Haut Fourneau

MB : La valeur au bleu de la fraction 0/2 des sables

MF : Module de finesse

MgO : La magnésie

N : Nitrogène (Azote)

$Na_2O$  : L'oxyde de sodium

NE : Norme européenne

NF : Norme française

O : Oxygène

$\omega$  : Teneur en eau de la 1<sup>ère</sup> prise d'essai

ONF : Office national des forêts

*P* : Porosité

$SiO_2$  : La silice

V : Capacité du conteneur

**Liste des tableaux**

Tableau II.1 : Analyse granulométrique du sable (El-Mhir) .....	35
Tableau II.2 : Détermination la quantité de l'argile dans le sable par essai de bleu de méthylène .....	39
Tableau II.3 : Mesure de la propreté du sable utilisé.....	43
Tableau II.4 : Différentes mesure de calcul de masse volumique absolue et du coefficient d'absorption d'eau du sable utilisé .....	46
Tableau II.5: Détermination de la masse volumique en vrac du sable .....	48
Tableau II.6. Détermination de la teneur en eau du sable .....	50
Tableau II.7 : Caractéristiques chimiques du ciment utilisé .....	50
Tableau II.8: Ccaractéristiques minéralogiques du ciment utilisé.....	51
Tableau II.9 : Résultats des essais de consistances .....	52
Tableau II.10 : Analyse chimique de la sciure de bois .....	56
Tableau II.11 : Détermination de la teneur en eau de sciure la de bois.....	59
Tableau III.1 : Composition des différentes de mortier.....	66
Tableau III.2 : Résultats des mesures de la porosité.....	69
Tableau III.3 : Résultats des mesures de masse volumique apparente.....	71
Tableau III.4: Résultats de mesures de l'absorption d'eau.....	73
Tableau III.5: Résultats des mesures de l'absorption capillaire .....	75
Tableau III.6 : Résultats de mesures de retrait. ....	77
Tableau III.7 : Résultats de mesures de résistance à la flexion. ....	79
Tableau III.8: Résultats de mesures de résistances à la compression.....	82
Tableau III.9 : Résultats de la conductivité thermique .....	84

## *Liste des figures*

---

### Liste des figures

Figure I.1: Mortier (ciment et sable) .....	6
Figure I.2: Les différents types de mortiers.....	8
Figure I.3: Méthode de fabrication de ciment par voie sèche .....	11
Figure I.4 : Evolution physico-chimique de la pâte de ciment.....	13
Figure I.5 : Le hourdage de maçonnerie.....	22
Figure I.6 : Les enduits .....	22
Figure I.7 : Les chapes.....	23
Figure I.8 : Les scellements et les calages.....	23
Figure I.9 : La carte mondiale de production de bois.....	27
Figure I.10 : Les coupeaux de bois.....	28
Figure I.11 : La sciure de bois. ....	28
Figure I.12 : Granulats de bois .....	29
Figure II.1 : Carrière d'El Mhir .....	33
Figure II.2 : Sable concassé d'El Mhir .....	33
Figure II.3 : Série de tamis utilisés .....	34
Figure II.4 : Tamisage manuel.....	34
Figure II.5 : Opération du quartage .....	35
Figure II.6 : Granulat divisé en quartiers.....	35
Figure II.7: Courbe granulométrique du sable d'El-Mhir .....	36
Figure II.8 : Malaxeur à deux vitesses lentes et rapides.....	37
Figure II.9 : Application du bleu de méthylène sur le papier filtre .....	37
Figure II.9: Éprouvettes préparés .....	41
Figure II.10 : La machine agitatrice .....	41
Figure II.11 : Remplissage du moule tronconique par la prise d'essai en cours de séchage .....	45
Figure II.12 : Appareil de Vicat.....	51
Figure II.13 : Essai de prise .....	54
Figure II.14 : Courbe de début et fin de prise.....	54
Figure II.15 : Courbe granulométrique du sable aux différents pourcentages d'ajout.....	58
Figure III.1 : Mélange 1.....	62
Figure III.2 : Mélange 2.....	63
Figure III.3 : Mélange 3.....	63

## *Liste des figures*

---

Figure III.4 : Quatrième essai.....	64
Figure III.5 : Mélange 5.....	65
Figure III.6: Malaxeur normalisé.....	67
Figure III.7 : Table à choc. ....	67
Figure III.8: Echantillons arasés.....	67
Figure III.9: Éprouvettes recouvertes .....	68
Figure III.10: Éprouvettes conservées dans.....	68
Figure III.11: Dispositif de la pesée hydrostatique.....	69
Figure III.12: Evolution de la porosité en fonction du pourcentage d'ajout et de l'âge des échantillons.....	70
Figure III.13 : Courbe de la masse volumique apparente.....	71
Figure III.14 : Éprouvettes humides.....	72
Figure III.15 : Éprouvettes sèches.....	72

# *Introduction Générale*



## *Introduction Générale*

---

L'idée de protection de l'environnement contre les pollutions et nuisances engendrées par la société industrielle moderne, y comprises celles liées aux déchets est apparue au milieu du XXème siècle. Dans les années 70, la dégradation de la planète est devenue visible. Le déchet est passé en quelques années d'un élément encombrant n'intéressant personne à une véritable marchandise convoitée.

Sous la dénomination de déchet cohabitent aujourd'hui à la fois un déchet dit ultime, destiné à sortir définitivement du circuit par l'élimination, et un déchet valorisable, doté d'une valeur marchande et destiné à être réintroduit dans le circuit économique.

Dans notre travail, il est question de valoriser un déchet de bois (la sciure de bois) dans la confection d'un mortier. Il s'agit de substituer une partie de sable par des pourcentages variés de ce déchet.

Les matériaux avec ajout de déchet de bois sont classés dans la catégorie des matériaux végétaux, ce sont des composites généralement constitués d'une matrice (ciment ou chaux), de granulats naturels (sable et gravillons) ainsi que d'une charge végétale provenant d'une essence de bois et couramment appelée inclusion végétale. Il existe une multitude d'inclusions végétales pouvant servir à la fabrication de composites cimentaires à base végétale. Ces inclusions sont retrouvées sous différentes dimensions (tailles) et formes.

Les déchets de bois constituent une alternative intéressante qui peut augmenter la performance des mortiers. Ces déchets sont en effet toujours disponibles dans notre pays et plus particulièrement dans le nord algérien, et leurs utilisations représentent une solution efficace pour l'industrie en termes technologique, économique et environnemental.

La considération de la sciure de bois comme une richesse recyclable limite l'usage de matériaux granulaires issus de l'extraction. Selon leur origine, la sciure de bois contient une plus ou moins grande teneur en matières logno-cellulosique. De ce fait, une caractérisation poussée est indispensable pour envisager un potentiel recyclage.

L'objectif de ce travail est de produire des matériaux à faible masse volumique et dont la conductivité thermique est suffisamment faible pour que les matériaux obtenus soient judicieux pour une isolation thermique.

La détermination des paramètres thermo-physiques des matériaux est actuellement un impératif majeur pour le développement. Cela est dans la mesure où ces données nous permettent de concevoir et de réaliser des infrastructures et ouvrages qui répondent à des

## *Introduction Générale*

---

besoins spécifiques ou d'optimiser des installations déjà existantes; par l'introduction de matériaux dont les caractéristiques répondent mieux aux besoins.

Le premier chapitre de ce mémoire a été consacré à une recherche bibliographique sélective comprenant un aperçu sur le mortier, ses fonctions, ses différents types, l'historique de son emploi dans le monde. Nous avons enchaîné par la suite à définir les déchets végétaux; leurs taux de production leurs composition chimique et l'utilisation globale de la sciure de bois dans divers domaines.

Dans le deuxième chapitre nous avons traité les différentes propriétés chimiques et physiques des matières premières (sable, ciment et sciure de bois) utilisés dans notre recherche à travers la réalisation de plusieurs essais conformément aux normes internationales approuvées.

Le troisième et dernier chapitre présente la formulation des mélanges de mortier avec ajout de la sciure de bois aux différents pourcentages. En conséquence les résultats des essais physico-mécaniques et thermiques des échantillons confectionnés ont été résumés et donnés avec des interprétations appropriées à chaque essai.

Nous terminerons ce modeste projet par une conclusion générale.

# *Partie théorique*

# *Chapitre I*

## *Recherche bibliographique*

## **Introduction**

La formulation d'un mortier qui est un matériau largement utilisé dans la construction, repose sur une simple association ternaire liant, eau et sable. Cette formulation a progressivement évolué pour comporter de façon courante cinq constituants: liant, eau, sable, additions minérales ou végétales et adjuvants. Cet accroissement du nombre de constituants est, d'un point de vue pratique, très avantageux car il conduit, généralement, à l'amélioration très significative des performances mécaniques, physiques, thermiques et de durabilité des mortiers. C'est dans ce contexte que nous allons utiliser la sciure de bois comme ajout dans la confection d'un mortier.

Dans ce chapitre nous allons présenter le mortier, les types de mortiers, les différents constituants de celui-ci. Ensuite nous ferons l'état de la valorisation des résidus organiques dans la construction d'une façon générale en mettant l'accent sur l'ajout utilisé (la sciure de bois). Nous présenterons les constituants pariétaux (cellulose, lignine) de ce résidu.

Une recherche bibliographique sélective sur cet ajout, objet de notre étude, nous permettra de fournir des informations sur son taux de production et sur sa valorisation dans les différents secteurs industriels...

### **I.1. Mortier**

Le mortier est un matériau de construction obtenu par mélange de liant, de sable et d'eau et éventuellement des adjuvants (Figure **I.1**). Il est réalisé dans des proportions bien définies de manière à obtenir une pâte de plasticité convenable pour la mise en œuvre.

Le mortier sert à lier les différents éléments de construction tel que les briques, des pierres, des blocs de béton (parpaing)... ou à exécuter des revêtements et des enduits de façades. Un mortier se distingue du béton par l'absence de gravillons [**1**].



**Figure I.1: Mortier (ciment et sable)**

### **I.1.1. Invention du mortier**

Les premiers mortiers datent du début du néolithique (10 000 ans avant J.-C.). Leur invention correspond à la période où l'homme a commencé à maîtriser les ressources naturelles de son environnement, et à se sédentariser. C'est la nécessité de construire des habitations qui a permis l'apparition des mortiers.

Les premiers mortiers de l'histoire étaient constitués d'un mélange de matériaux facilement disponibles, à savoir la glaise ou l'argile, la paille, les herbes sèches.

Vers 4 000 ans avant J.-C. (Égypte ancienne), les mortiers s'enrichissent en ajoutant des roches tels que le gypse ou la chaux. On découvre alors que ces roches ont des propriétés chimiques qui permettent aux mortiers de devenir plus solides et plus résistants à l'eau.

C'est à l'aide de tels mortiers que les Égyptiens ont commencé à édifier des pyramides, comme la pyramide de Saqqarah construite par Imhotep, architecte du pharaon Djoser. Il est considéré comme l'un des inventeurs du mortier. À partir de l'Égypte ancienne, l'utilisation n'a cessé de s'étendre et de se développer à travers le monde [2].

Les Romains utilisaient également les mortiers. Ils avaient constaté que les mortiers, à base de chaux et de sable, durcissaient en présence de dioxyde de carbone pour se transformer en pierre calcaire. Ce phénomène était impossible à obtenir en présence d'eau. Ils ont donc fait évoluer les mortiers en y ajoutant de la chaux, des

pouzzolanes (projections volcaniques) et des résidus de brique, afin de permettre une prise en présence d'eau, créant ainsi les premiers mortiers hydrauliques. Cette technique leur a permis de construire des ouvrages dédiés au transport de l'eau, comme les citernes, les bassins et les aqueducs tels que le pont du Gard.

### **I.1.2. Évolutions historique du mortier**

En 1756, James Smeaton met au point le premier mortier de chaux hydraulique par l'ajout de pierre calcaire calcinée d'argile et de terre pouzzolanique d'Italie.

Le mélange a permis d'édifier le phare d'Eddystone en pleine mer, au sud de la Cornouailles.

En 1796, James Parker fait breveter le « ciment romain ». Un ciment naturel obtenu par le brûlage à 900 °C d'un mélange de pierre calcaire et d'argile dans des fours à chaux. Ce produit offre une plus grande résistance, une prise rapide et peut être utilisé dans les constructions soumises à l'humidité, ainsi que dans le moulage de statues.

En 1824, Joseph Aspine fait breveter le « ciment Portland », un mélange de pierre calcaire, d'argile et de différents minéraux. Le mélange est calciné et broyé en fines particules. Le ciment Portland employé seul a une mauvaise maniabilité, mais combiné à de la chaux; il devient un matériau de très grande qualité. L'ajout de ce ciment aux mortiers de chaux va accélérer le développement des ouvrages en maçonnerie et leur résistance [2].

En 1951, ASTM publie la norme C270-51 sous le nom de « Standard Spécification for Unit Masonry » qui fixe les proportions de ciment et de chaux en fonction des propriétés attendues du mortier. Cette norme est toujours en vigueur aujourd'hui.

Depuis cette époque les mortiers n'ont cessé d'évoluer. Ils sont le témoin de 12 000 ans de progrès. Les raisons, qui justifiaient l'utilisation de la chaux voici 6 000 ans, sont toujours d'actualité.

### **I.1.3. Différents types de mortier**

Le premier de tous les mortiers à usage universel a toutefois été la terre, un matériau gratuit, disponible à même le sol ne nécessitant pas de processus chimiques de transformation complexes. Viendront ensuite des matériaux produits par transformation

thermique de la pierre (Plâtre, chaux et ciments) dont l'invention est très ancienne. On retrouve donc plusieurs types de mortier, dont l'utilisation dépend principalement des performances visées. Les mortiers se partagent en :

### I.1.3.1. Mortier de ciment

Le mortier de ciment (Figure I.2) très résistant, prend et durcis rapidement. De plus un dosage en ciment suffisant le rend pratiquement imperméable. Le dosage du rapport entre le ciment et le sable est (en général volumétrique) de 1/3 et le rapport de l'eau sur ciment est de 0.5. Les dosages courants sont de l'ordre de 300 a 400 kg de ciment pour 1 m<sup>3</sup> de sable[3]

### I.1.3.2. Mortier de chaux

Le mortier de chaux (Figure I.2) est un matériau anthropique, confectionné en mélangeant de la chaux, produit de la cuisson d'une pierre calcaire, et un granulat. Ce produit est abondamment employé depuis l'Antiquité pour la construction des édifices, ainsi que pour leur décoration [4].

### I.1.3.3. Mortier-bâtard

C'est un mortier (Figure I.2) dont le liant est le mélange de ciment et de chaux. Généralement, On utilise la chaux et le ciment par parties égales, mais on mettra une quantité plus ou moins grande de l'un ou de l'autre suivant l'usage et la qualité recherchée. La chaux apporte la plasticité, le ciment apporte la résistance mécanique et un durcissement plus rapide [5].

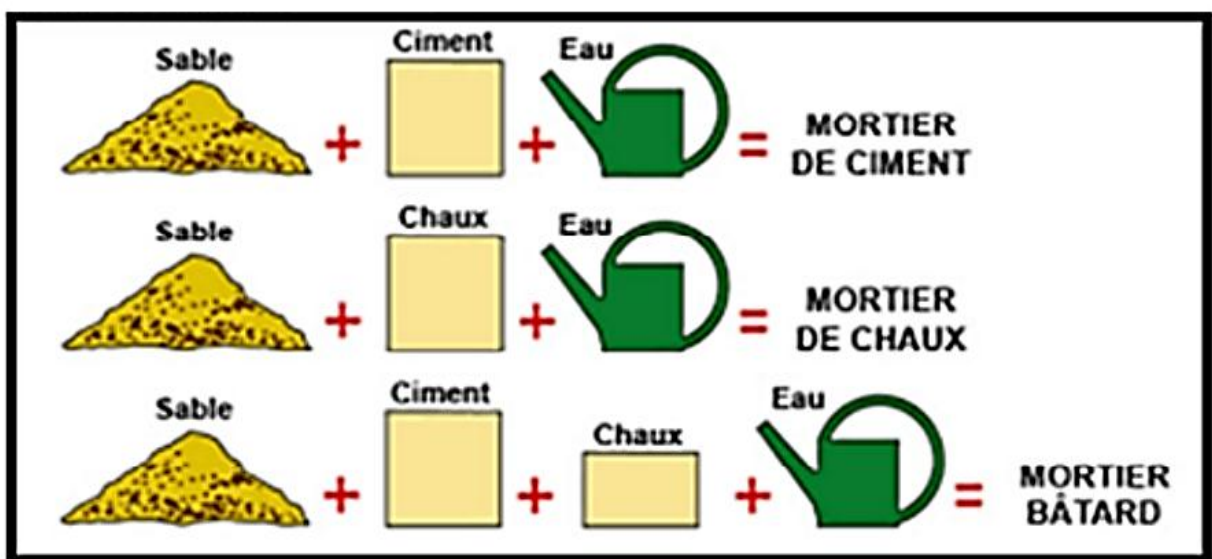


Figure I.2: Les différents types de mortiers



#### **I.1.3.4. Mortier fabriqué sur chantier**

Il est très souvent fabriqué pour des menus travaux. Le plus grand soin de ce type de mortier doit être apporté tant au stockage qu'au mélange des constituants qui seront choisis en fonction de l'ouvrage à réaliser, type et classe du liant, nature et granulométrie du sable, dosage en eau, nature des adjuvants. Ils sont préparés avec le ciment et le sable du chantier. Le ciment est un ciment courant CPA ou CPJ et parfois des ciments spéciaux comme le ciment alumineux fondu. On emploie également des chaux hydrauliques et parfois des liants à maçonner. Le sable est le plus souvent roulé (nature silico-calcaires) parfois concassé et le gâchage s'effectue à la pelle ou à l'aide d'une petite bétonnière. Ces mortiers ne sont donc pas très réguliers et les sables peuvent être différents d'une livraison à l'autre, mais de toutes façons; ils doivent être propre et de bonne granulométrie. Le sable est généralement dosé soit en poids ou en volume. Dans ce dernier cas, il est très important de tenir compte du phénomène de foisonnement des sables [3].

#### **I.1.3.5. Mortier industriel**

C'est un mortier que l'on fabrique à partir de constituants secs, bien sélectionnés, conditionnés en sacs, contrôlés en usine et parfaitement réguliers. Pour utiliser ce type de mortier, il suffit de mettre la quantité d'eau nécessaire et malaxer pour ensuite les mettre en œuvre [6].

#### **I.1.3.6. Mortier frais retardé, stabilisé, prêt à l'emploi**

Depuis quelques années est apparue une nouvelle génération de mortiers livrés par les centrales de béton prêt à l'emploi: les mortiers frais retardés et stabilisés. Du fait qu'ils sont retardés, ces mortiers peuvent être livrés et stockés en quantités importantes. On peut les utiliser dans un délai allant jusqu'à 24 heures sans avoir le souci de préparer de nombreuses petites gâchées. Très maniables et homogènes, ils possèdent des résistances très largement suffisantes pour les travaux auxquels ils sont destinés: maçonnerie et jointoiement. Lorsqu'ils sont étalés en couche mince, la prise de ces mortiers est accélérée (effet d'absorption d'eau par le support et perte par évaporation). Ces mortiers permettent, comme le béton prêt à l'emploi, de simplifier et d'améliorer les conditions de travail, en évitant les pertes de temps [3].

#### **I.1.3.7. Mortiers de fibres**

L'incorporation de fibres (comme par exemple les fibres de verre ou de polypropylène) permet d'obtenir des mortiers présentant une cohésion supérieure et moins sujets aux

fissures. Ce sont soit des mortiers pré-mélangés, livrés en sac, soit des mortiers prêts à l'emploi, livrés par certaines centrales.

## **I.2. Composition du mortier**

Par définition, les mortiers contiennent des liants, des granulats, des ajouts, de l'eau et éventuellement des adjuvants.

### **I.2.1. Liant (ciment)**

Les liants sont des produits généralement employés sous forme de poudres fines et qui, gâchés avec de l'eau en pâte plus ou moins épaisse, durcissent et forment une masse dure et compacte analogue à la roche naturelle. Ce sont les matières qui peuvent durcir et se conserver pendant une longue durée résistant non seulement à l'air mais aussi à l'eau. Citons parmi ceux-ci : le ciment Portland, la chaux hydraulique [7].

Le ciment est donc une matière pulvérulente formant avec l'eau ou avec une solution saline une pâte plastique liante, capable d'agglomérer, en durcissant. Il désigne également, dans un sens plus large, tout matériau interposé entre deux corps durs pour les lier. Autrement on peut dire que le ciment est une gangue hydraulique durcissant rapidement et atteignant en peu de jours son maximum de résistance. Après durcissement, cette pâte conserve sa résistance et sa stabilité, même sous l'eau. Son emploi le plus fréquent est sous forme de poudre utilisée avec de l'eau pour agréger du sable fin et des graviers (granulats) pour donner le béton et le mortier [8].

#### **I.2.1.1. Fabrication du ciment**

Sans vouloir entrer dans le détail de la fabrication des ciments, il est cependant nécessaire d'en connaître les principes généraux et les différentes phases.

Les matières premières entrant dans la fabrication du clinker sont le calcaire et l'argile dans les proportions respectivement proches de 80 % et 20 %.

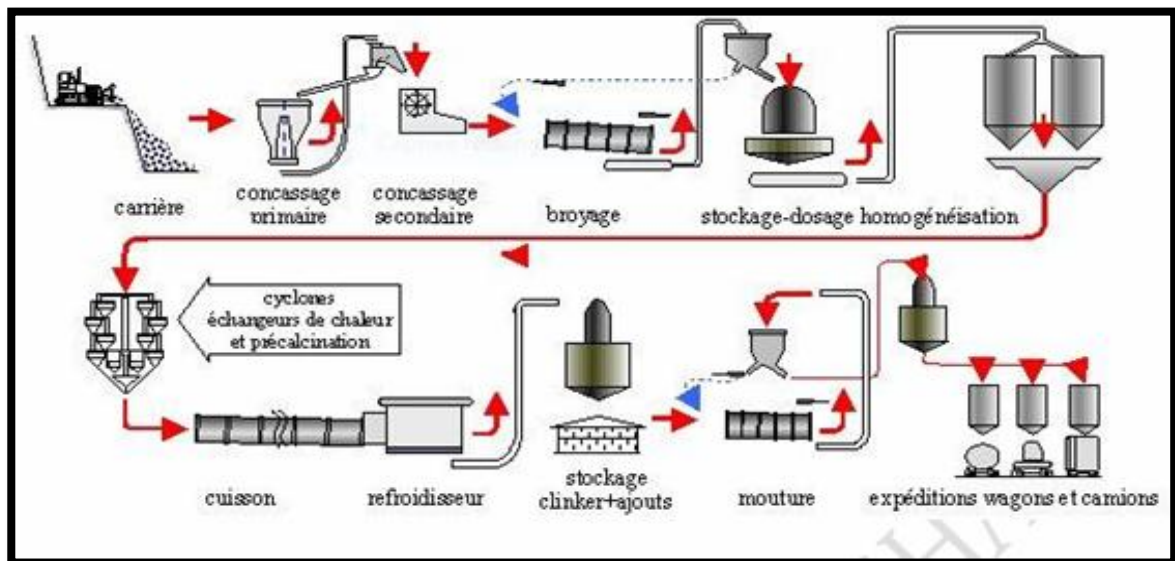
Le calcaire apporte le calcium et l'argile apporte la silice ( $\text{SiO}_2$ ), l'alumine ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) et l'oxyde ferrique ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), nécessaires au processus de formation du clinker.

Ces matières premières contiennent par ailleurs d'autres éléments que ces oxydes fondamentaux, tels que la magnésie ( $\text{MgO}$ ), les sulfates, les sulfures, les alcalis  $\text{K}_2\text{O}$  et  $\text{Na}_2\text{O}$ ..... dont les pourcentages doivent être contenus en dessous de limites précises.

La fabrication du ciment comporte les étapes suivantes (Figure I.3):

- Extraction de matière première de la carrière ;
- Concassage primaire de la matière première ;
- Concassage secondaire de la matière première en taille plus petite ;
- Broyage de la matière concassée.
- Dosage et homogénéisation de la farine crue (matière broyée) ;
- Phase de préchauffage de la farine crue (et précalcination) à 850°C, puis la cuisson dans un four rotatif incliné à une température généralement de 1450° C. Le produit sortant du four s'appelle le clinker;
- Broyage du mélange : clinker + gypse ( $\approx 5\%$ ) + ajouts éventuels.

Les ajouts minéraux dans le ciment ont pour but d'améliorer les propriétés physico-mécaniques du ciment, et sa résistance aux agressions chimiques. Le produit fini (ciment) est prêt alors pour être expédié en vrac dans des sacs.



**Figure I.3: Méthode de fabrication de ciment par voie sèche**

### I.2.1.2. Constituants du ciment

Les ciments sont constitués, par mélange et broyage de clinker qui est un produit semi-fini qui s'obtient de la cuisson d'un mélange finement broyé, constitué d'un agglomérat de silicates et d'aluminates à haute température du "cru" (1450°C) [9]. Et de gypse (un minéral qui appartient à la famille des évaporites qui sont des roches sédimentaires les plus solubles dans l'eau) [10].

Les sulfates de calcium  $\text{CaSO}_4$  s'hydrate et cristallise dans le système monoclinique pour former le gypse ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ). Cette hydratation (fixation d'eau) s'accompagne d'une augmentation de volume et s'opère selon la relation (1) suivante :



### I.2.1.3. Types de ciments

Les ciments peuvent être classés en cinq grandes familles [11].

- CEM I: Ciment Portland (CPA).
- CEM II : Ciment Portland Composé (CPJ).
- CEM III : Ciment Haut-Fourneau (CHF).
- CEM IV : Ciment pouzzolanique (CPZ).
- CEM VI : Ciment aux laitiers et aux cendres (CLC).

### I.2.1.4. Hydratation de la Pâte de ciment

Dans une poudre de ciment portland en contact avec l'eau, l'aluminate tricalcique ( $\text{C}_3\text{A}$ ) réagit en premier, se dissout et se recristallise. Vient ensuite la réaction d'hydrolyse, de l'alite-Silicate tricalcique ( $\text{C}_3\text{S}$ ) forme autour des grains une pellicule de gel et met en même temps des ions  $\text{Ca}_2^+$  en solution. L'hydrolyse et la recristallisation de ( $\text{C}_3\text{A}$ ) sont rapides. Cette activité est si grande qu'il faut la retarder car elle conduirait à des prises trop rapides et rendrait le liant inutilisable sur chantier.

En gâchant le ciment avec l'eau, on obtient une pâte dans laquelle l'eau entoure chaque grain de ciment en formant un réseau capillaire. Les composés anhydres du ciment sont alors attaqués en surface par l'eau pour produire des composés hydratés. Dans le cas des silicates de calcium  $\text{C}_3\text{S}$  et  $\text{C}_2\text{S}$ , la chaux hydratée se dissout et il se dépose des cristaux de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  (Portladide) en plaquettes hexagones alors que les silicates de calcium hydratés forment un gel composé de fines aiguilles à la surface du ciment. Ces aiguilles se développent en dimension et en nombre tout en réduisant les interstices capillaires entre les grains. Quand les aiguilles entre les grains de ciment se rapprochent, la pâte devient plus raide. Cette rigidité est au début faible et peut encore être facilement détruite mécaniquement. C'est le début de la prise.

Après quelques heures, les interstices capillaires sont partiellement comblés par le gel. La pâte de ciment acquiert une certaine résistance. C'est le durcissement qui commence.

La résistance continue à croître à mesure que le gel devient plus compact, d'une part, parce qu'il y a un accroissement de la cohésion entre les aiguilles et accroissement du feutrage des aiguilles, d'autre part, parce qu'il se formerait des joints de soudure entre les aiguilles des divers grains de ciment.

Dans les pâtes de ciment durcies, il reste de ce fait toujours des grains de ciment non hydratés.

L'hydratation des grains de ciment continue non seulement des mois, mais des années durant, pour autant que le gel soit entouré d'eau, car le gel ne peut se former qu'en présence d'eau [12].

La Figure I.4, représente l'évolution physico-chimique de la pâte de ciment

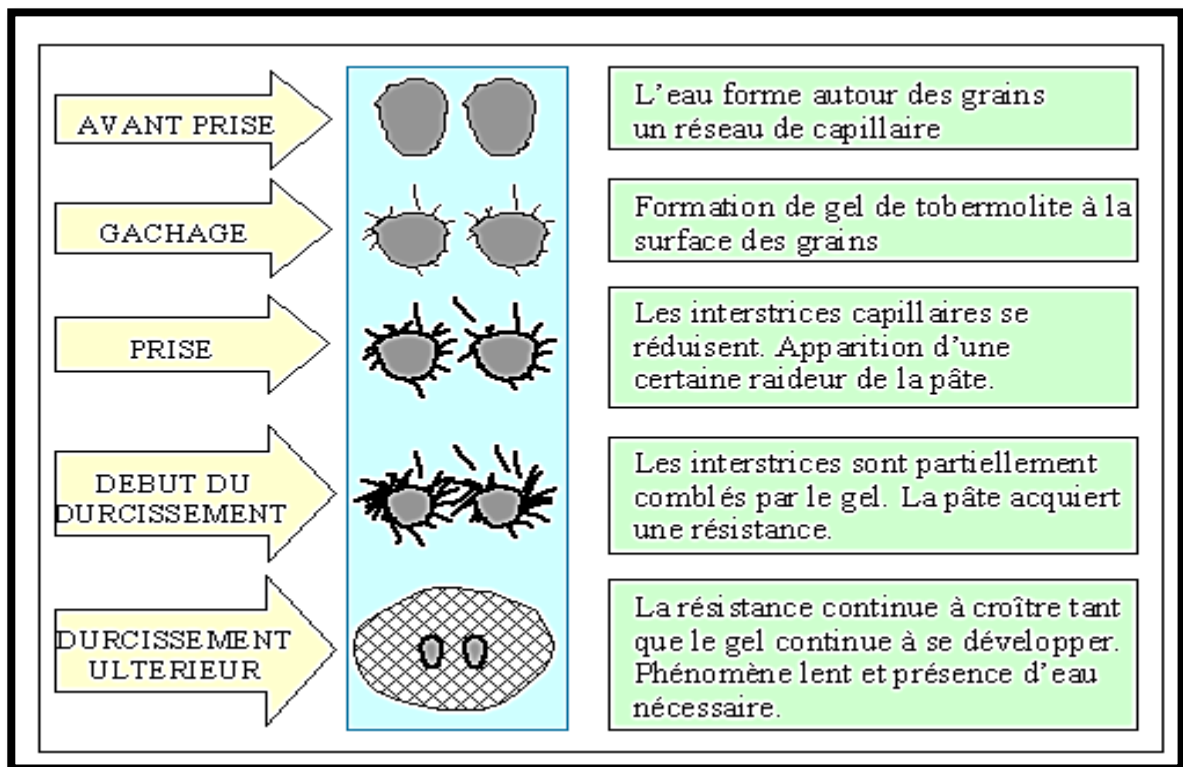


Figure I.4 : Evolution physico-chimique de la pâte de ciment

### I.2.2. Granulats (sable)

Le sable est le granulat le plus employé fréquemment. C'est une matière minérale siliceuse ou calcaire qui se présente dans le sol sous la forme de grains ou de poudre, selon qu'il s'agisse de sable grossier ou de sable fin. Les sables proviennent de la désagrégation des roches qui constituent l'écorce terrestre. Ils sont blancs, jaunes, gris ou rougeâtres en fonction de leur composition [13].

### I.2.2.1. Type des sables

Selon leurs provenances, les sables peuvent être classés comme suit :

- **Sable de rivière:** il est obtenu par dragage des lits des cours d'eau. Il doit être dur et propre pour qu'on puisse l'utiliser dans les bétons.
- **Sable de mer:** il provient des côtes de la mer. Pour l'utiliser dans les bétons, il faut qu'il ne soit pas trop fin et qu'il soit lavé de son sel.
- **Sable de carrière:** Il est extrait des sablonnières. Il contient souvent de l'argile qui enrobe les grains et les empêche d'adhérer aux liants. Il est donc à proscrire.
- **Sable artificiel:** il est obtenu par concassage des roches (calcaires durs, gré ...). Il est souvent plein de fillers. Pour qu'il soit utilisable dans les bétons, il faut limiter le pourcentage des fines.
- **Sable de dune:** c'est une variété des sables de mer. Il est donc très fin. Les sables de dune se trouvent dans les régions sud du pays. Ils sont situés en zone présaharienne. Les sables retenus sont ceux issus des dunes continentales. Ces dunes sont constituées des nombreux amas de sables fins accumulés dans certaines régions spécifiques du Sahara [14].

### I.2.2.2. Rôle du sable

Le rôle du sable est de diviser la masse du liant pour permettre la prise (liant aérien), abaisser le prix de revient du mortier et diminuer le retrait et ses conséquences (les fissurations) du fait que le sable est incompressible et le retrait sera donc amoindri [14].

### I.2.3. Ajouts

Le terme ajout fait référence à n'importe quel élément autre que l'eau, les agrégats et le ciment, utilisé comme constituant du quelconque matériau et ajouté à la gâchée immédiatement avant ou pendant le malaxage [15]. On distingue deux catégories d'ajouts:

#### I.2.3.1. Ajouts minéraux

Un minéral est un solide naturel homogène, caractérisé une composition chimique précise. On distingue les minéraux amorphes, où les molécules sont disposées sans ordre (l'opale, par exemple), et les minéraux cristallisés (les plus nombreux), où les molécules ou les atomes sont régulièrement distribués (structure atomique ordonnée comme le quartz, mica, etc.) [16].

Dans le domaine du génie civil, un ajout minéral est désigné par 'addition minérale', et il est défini comme matériau minérale finement divisé et pouvant être ajouté au béton ou au mortier pour améliorer certaines de ses propriétés ou pour lui conférer des propriétés particulières [17].

Les ajouts minéraux présentent des avantages mais aussi quelques inconvénients.

### **A. Avantages**

Les avantages d'utilisation des ajouts minéraux dans les industries de ciment, mortier et béton sont l'amélioration de la maniabilité, la résistance ultime (propriétés mécaniques), l'imperméabilité et de la durabilité faces aux attaques chimiques. Ces ajouts peuvent aussi diminuer la chaleur d'hydratation dégagée par le béton, d'où diminution de la fissuration d'origine thermique, etc.....

### **B. Inconvénients**

Malgré les avantages de ces ajouts minéraux cependant on ne peut pas négliger l'effet négatif qu'ils possèdent. Ils peuvent donc affaiblir la résistance à la compression au jeune âge, provoquer un mûrissement plus long et les coûts onéreux de broyage et de transport.

L'industrie cimentaire est d'importance primordiale pour l'Algérie comme tout pays en voie de développement. Cependant, parmi les moyens efficaces qui existent pour augmenter la production du ciment est celui d'utiliser des ajouts qui sont très peu coûteux et disponibles en grandes quantités en Algérie, comme le laitier d'El-Hadjar, le calcaire et la pouzzolane [18].

Parmi les ajouts minéraux utilisés dans la construction, on peut citer:

#### **I.2.3.1.2. Fumées de silice**

Les fumées de silice sont des sous-produits de la fabrication de silicium ou de différents alliages de Ferro silicium. Les fumées de silice sont produites lors de la réduction d'un quartz très pur par du charbon dans un four à arc, à la température de 2000°C.

Les fumées de silice se présentent sous forme de fines particules sphériques d'un diamètre moyen d'environ 0,1 µm. Leur teneur en silice vitreuse varie de 75% à 95%.

Les caractéristiques très particulières de la fumée de silice en font une pouzzolane très réactive (réaction pouzzolanique très rapide) à cause de sa très forte teneur en silice, de son

état amorphe et de son extrême finesse. Elles accélèrent également les réactions d'hydratation des phases de clinker, et aussi elles diminuent la perméabilité du ciment et augmentent d'une manière générale les propriétés de résistances mécaniques des pâtes [19].

#### **I.2.3.1.3. Cendres volantes**

Les cendres volantes sont des particules très fines récupérées par les systèmes de dépoussiérages de gaz des chaudières des centrales thermiques. Les cendres volantes peuvent avoir différentes compositions chimiques et différentes compositions de phase parce que celles-ci sont reliées exclusivement au type d'impuretés qui sont contenus dans le charbon que l'on brûle dans la centrale thermique. Des charbons provenant de la même source et utilisés dans la même centrale thermique produisent des cendres volantes très semblables [20].

#### **I.2.3.1.4. Laitier de haut fourneau**

Le laitier est un sous-produit de la transformation du minerai de fer dans un haut fourneau en fer plus pur. Durant cette transformation, le laitier en fusion flotte sur la fonte, au cours d'un refroidissement rapide par trempé dans de l'eau ou par un procédé de pelletisation, pour produire un matériau vitreux s'apparentant à du sable et qui caractérisé par une réactivité hydraulique. Ce matériau est ensuite broyé à une finesse de moins de 45µm pour former du laitier granulé de haut fourneau (LGHF), également appelé ciment de laitier, ou est utilisé comme ingrédient dans la fabrication de ciments composés [21].

#### **I.2.3.1.5. Pouzzolanes**

Les pouzzolanes sont des matériaux, naturels ou artificiels utilisées dans la fabrication du ciment. Il s'agit d'une matière siliceuse ou silico-alumineuse. Les pouzzolanes capables de réagir en présence d'eau avec l'hydroxyde de chaux pour donner naissance à des composés nouveaux, stables, peu solubles dans l'eau et possèdent des propriétés liantes [22].

#### **I.2.3.2. Ajouts végétaux**

Ce sont tous les éléments et matériaux naturels provenant notamment de déchets végétaux: feuilles mortes, fleurs fanées, branches, résidus d'égavage, arbres morts, mauvaise herbe ou pelouse.

Dans le domaine de génie civil, le végétal dans la construction connaît actuellement un fort développement et est promis à un bel avenir dans les décennies à venir. Aujourd'hui, la fibre végétale représente entre 5 et 10% du marché des isolants. Bois, coton, lin, chanvre...



les ressources végétales disponibles dans le bâtiment sont vastes et variées. Elles permettent de fabriquer des matériaux de manière industrielle, conformes aux exigences normatives et réglementaires de la construction [23].

### **A. Avantages**

Le végétal est une ressource renouvelable, abondante et souvent de proximité. Ces matériaux possèdent des performances isolantes intéressantes et proches de celles des produits minéraux. Ils présentent comme les ajouts minéraux des avantages qui se résument en leurs grandes capacités de déphasage, meilleur confort thermique et faible coût.

### **B. Inconvénience**

L'aspect fabrication, il n'y en pas de difficultés puisque se sont des produits manufacturés et normés que l'on sait concevoir depuis plusieurs années. Par contre, se sont des matériaux différents qui peuvent, s'ils sont mal posés ou mal utilisés, être sensibles à l'humidité ou brûler plus rapidement, parmi les inconvénients des ajouts végétaux, nous pouvons citer le renfort discontinue, la mauvaise tenue en vieillissement, la faible tenue thermique (200° à 230°C)...

L'utilisation de fibres végétales dans le renforcement des ciments est relativement récente. En effet, beaucoup de recherches sont en cours dans le but d'arriver à substituer les fibres d'amiante par les fibres végétales. Actuellement, les fibres végétales sont de plus en plus utilisées dans les dalles et la production des tuiles et les dallages de parking ainsi que dans le renforcement du plâtre [24]. Les fibres végétales sont classées en quatre groupes suivant leur provenance.

#### **I.2.3.2.2. Fibres de feuilles**

Ces fibres sont obtenues grâce au rejet des plantes monocotylédones. Les fibres sont fabriqués par chevauchement de paquet qui entoure le long des feuilles pour les renforcer, ces fibres sont dures et rigides [25].

#### **I.2.3.2.3. Fibres de tiges**

Les fibres de tige sont obtenues dans les tiges des plantes dicotylédones. Elles ont pour rôle de donner une bonne rigidité aux tiges de plantes. Les fibres de tiges sont commercialisées sous forme de paquet de cor et en toute longueur. Elles sont par la suite séparées individuellement par un processus de défilage. Les fibres, une fois séparées, sont

utilisées dans la fabrication des cordes ou de textile ou bien dans le renforcement du ciment et béton. Les fibres de tige les plus utilisées sont les fibres de jute, de lin, de ramie de Sunan, de kennaf, de urena et de chanvre [26].

#### **I.2.3.2.4. Fibres de bois**

Les fibres de bois proviennent du broyage des arbres tels que les bambous ou les roseaux. Elles sont généralement courtes. D'après les chercheurs ces fibres sont efficaces dans le renforcement des ciments [27].

#### **I.2.3.2.5. Fibres de surfaces**

Les fibres de surface entourent en général la surface de la tige, de fruits ou de grains. Les fibres de surface des grains constituent le groupe le plus important dans cette famille de fibres. Nous citons entre autres, le Cotton et la noix de coco. Les fibres de coco ont donné de bons résultats pour la résistance à la flexion du ciment de fibre.

#### **I.2.4. Eau de gâchage**

C'est le constituant le plus important dans l'hydratation du ciment; elle contribue à son ouvrabilité. Ce dernier devrait être propre et ne pas contenir de produits nocifs tels que, des alcalis ou des matières organiques.

#### **I.2.5. Adjuvants**

Les adjuvants sont définis comme des produits qui, ajoutés de 5% du poids du ciment, au moment du malaxage des mortiers et des bétons ou à leurs surface Lorqu'Ilse sont encore frais, améliorent certaines de leurs propriétés.

Avec cette définition, les produits ajoutés au moment du broyage du clinker ou les produits dont le dosage dépasse 5% du poids du ciment (cas des poudres fines pouzzolaniques) ne sont pas considérés comme des adjuvants.

Actuellement, le rôle ou l'effet des adjuvants du ciment ou produits d'addition n'est pas d'améliorer le ciment comme c'était le cas au début de leur utilisation, mais de modifier les "qualités" du mortier telles que son ouvrabilité (sa capacité à être mis en place dans un moule de coffrage), ses résistances mécaniques, son imperméabilité, sa stabilité dimensionnelle, l'uniformité de sa température, sa résistance au gel...

L'adjuvant agit sur les trois composants des mortiers: les granulats, le ciment et l'eau et son action est influencée par la nature et le dosage de chacun de ces composants [28].

Les adjuvants sont employés pour les mortiers de maçonnerie et dans certains cas leur emploi est certainement avantageux. Cependant, leur emploi n'est généralement pas recommandé. Ils donnent la plasticité et le pouvoir de rétention d'eau que confère la chaux aux mortiers de ciment et chaux [29,30].

Il existe trois grandes catégories d'adjuvants:

#### **I.2.5.1. Adjuvants qui modifient l'ouvrabilité du béton**

- Plastifiants réducteurs d'eau: adjuvants qui, sans modifier la consistance, permettant de réduire la teneur en eau du béton (réducteur d'eau), ou qui, sans modifier la teneur en eau, en augmentant l'affaissement, l'étalement (plastifiants), ou qui produisent les deux effets à la fois.
- Super plastifiants hauts réducteurs d'eau: adjuvants qui, sans modifier la consistance, permettent de réduire fortement la teneur en eau, (haut réducteur d'eau), ou qui sans modifier la teneur en eau, en augmentant considérablement l'affaissement et l'étalement, ou qui produisent les deux effets à la fois.

#### **I.2.5.2. Adjuvants qui modifient la prise et le durcissement**

- Accélérateurs de prise: adjuvants qui diminuent le temps de début de prise du béton : temps de début de transition du mélange pour passer de l'état plastique à l'état rigide.
- Accélérateurs de durcissement: adjuvants qui augmentent la vitesse de développement des résistances initiales du béton, avec ou sans modification du temps de prise.
- Retardateurs de prise: adjuvants qui retardent le début de prise du béton : augmentation du temps de début de la transition du mélange pour passer de l'état plastique à l'état rigide.

#### **I.2.5.3. Adjuvants qui modifient certaines propriétés du béton**

- Entraîneur d'air: adjuvants qui permettent d'incorporer pendant le malaxage une quantité contrôlée de fines bulles d'air entraînées uniformément réparties, qui subsistent après durcissement et qui, en jouant le rôle de vase d'expansion, protègent le béton des effets du gel.
- Les rétenteurs d'eau: adjuvants qui permettent de réguler l'évaporation de l'eau et d'augmenter l'homogénéité et la stabilité du mélange.
- Hydrofuges de masse.

### **I.3. Fonction des mortiers**

La fonction principale d'un mortier est de liaisonner les éléments de maçonnerie de manière à ce qu'ils constituent un seul bloc. Par ailleurs, le mortier sépare les éléments et remplit toutes les fentes et fissures en formant une surface de contact homogène. Le jointoiement doit permettre de renforcer les propriétés structurales des éléments et en même temps empêcher la pénétration de la pluie. Ceci exige une adhérence complète. Si elle est réalisée, le mur aura une durabilité suffisante pour résister aux éléments.

Les mortiers sont des éléments indispensables à toute construction. Ils peuvent être utiles pour la plupart des travaux de construction et de rénovation en maçonnerie pour :

- Lier des briques ou des pierres entre elles.
- Effectuer l'enduit d'un mur.
- Sceller des éléments

### **I.4. Caractéristiques principales des mortiers**

Les caractéristiques principales des mortiers sont :

#### **I.4.1. Ouvrabilité**

Qui est l'une des qualités les plus recherchées lors de la confection du mortier (ou béton), ça nous permet de mieux le manipuler. On l'obtient à partir des éléments fins et parfois par l'ajout d'adjuvant quand cela est nécessaire.

#### **I.4.2. Masse volumique absolue**

La masse volumique absolue est la masse de granulat occupant l'unité de volume, tous les vides sont exclus (aussi bien les vides entre les grains que les vides à l'intérieur des grains) [31].

#### **I.4.3. Résistances mécaniques**

On distingue deux types de résistance :

##### **I.4.3.1. Résistance à la compression**

Le mortier a une meilleure résistance à la compression qu'à la traction. Cela dépend principalement de l'activité du liant et du rapport E/C (eau/ciment) mais elle peut aussi dépendre de la qualité du sable. Les charges sur la maçonnerie ont augmenté considérablement suite au désir de construire des bâtis plus élancés et avec des portées plus

étendues. On cherche à faire travailler la maçonnerie en flexion, en utilisant ou non des armatures. Toutes ces exigences nécessitent une augmentation de la résistance à la traction; en conséquence une meilleure résistance à la compression.

#### **I.4.3.2. Résistance à la flexion**

L'essai de flexion permet de contourner le problème de comportement à la rupture de l'éprouvette à l'aide de l'essai de traction. Cet essai est principalement utilisé pour tester les matériaux fragiles en montrant le comportement particulier du matériau à proximité de la surface testé.

#### **I.4.4. Retrait et Gonflement**

Immédiatement après le gâchage, on observe une rétraction de la pâte fraîche de ciment; c'est le premier retrait ou retrait plastique. Ce retrait se poursuit après la prise, puis diminue pour faire place à un gonflement plus ou moins important. Entre 24h et 48h, si l'éprouvette est conservée dans l'air, ce gonflement fait place à nouveau à un retrait appelé second retrait. Soit L la dimension de l'éprouvette étudiée dans la direction considérée [32].

#### **I.4.5. Durabilité**

En règle très générale, on peut affirmer qu'un mortier dont le sable est d'une bonne granulométrie, d'une teneur suffisante en ciment et donc d'une résistance à la compression élevée offre les meilleures chances de présenter une résistance suffisante aux dommages causés par le gel et d'autres sollicitations. Pour cette raison, on constate une tendance associée à la résistance du mortier et aux conditions d'exposition.

#### **I.4.6. Porosité**

Dans un matériau poreux ou composé de grains, la porosité est le rapport en pourcentage du volume des vides (dans les grains et entre les grains) sur le volume total (volume apparent, ou volume en vrac); la porosité est le complément de la compacité[33].

#### **I.4.7. Absorption d'eau (pores capillaires)**

L'absorption est le résultat des mouvements capillaires des fluides dans les fissures du matériau ouvertes sur le milieu extérieur. Il en résulte que l'absorption ne peut se produire que sur un matériau partiellement sec.

## **I.5. Emplois des mortiers**

### **I.5.1. Hourdage de maçonnerie**

La construction réalisée en éléments maçonnés (blocs de béton, pierre de taille, briques), nécessite leur assemblage avec un mortier qui doit présenter des caractéristiques mécaniques suffisantes pour assurer la transmission des charges et une compacité suffisante pour être étanche (Figure I.5).



**Figure I.5 : Le hourdage de maçonnerie.**

### **I.5.2. Enduits**

Les enduits extérieurs à base des liants hydrauliques sont mis en œuvre sous forme de couches qui, pour un volume de matériau donné, présentent une très faible épaisseur (Figure 1.6). Ils sont donc extrêmement sensibles à l'action du milieu extérieur, support d'une part, ambiance de conservation d'autre part [34].

Ce domaine d'application constitue l'un des plus vastes débouchés des mortiers. À côté des enduits traditionnels en trois couches qui se développent aujourd'hui des enduits monocouches épais, ainsi que des enduits isolants [35].



**Figure I.6 : Les enduits**

### **I.5.3. Chapes**

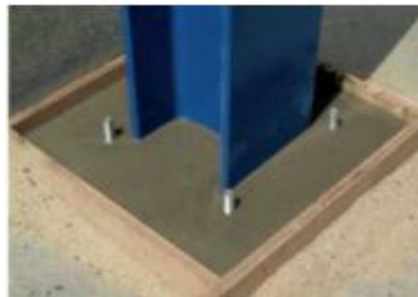
Les chapes (Figure I.7) ont pour fonction d'assurer la mise à niveau du dallage et la régularité de sa surface. Les chapes peuvent constituer la finition. Elles peuvent aussi constituer le support d'un revêtement de sol.



**Figure I.7 : Les chapes**

### **I.5.4. Scellements et les calages**

La multiplicité des problèmes de scellement et de calage (Figure I.8) a conduit les producteurs de mortiers industriels à mettre au point des produits spécifiques adaptés aux travaux à réaliser: scellements d'éléments de couverture, d'éléments de second œuvre, de mobiliers urbains, de regards de visite [36].



**Figure I.8 : Les scellements et les calages**

### **I.6. Déchets**

Le nom déchet signifie tous résidu d'un processus de production, de transformation, ou d'utilisation, tous substance, matériau, produit ou plus généralement, tout bien meuble abandonné ou que son détenteur le destine à l'abandon [37]. En outre, cette définition a pour objectif de valoriser les déchets pour réemploi, recyclage, utilisation en tant qu'ajout dans les matériaux de construction ou toute autre action visant à obtenir à partir des déchets des matériaux réutilisables ou de l'énergie, et notamment de prévenir ou réduire la production et la nocivité, en agissant sur la fabrication et sur la distribution des produits. A partir de là, une classification des déchets a été effectuée en se basant sur:

**A. L'origine**

- Déchets de collectivités locales
- Déchets des ménages
- Déchets industriels
- Déchets hospitaliers, déchets d'activité de soin où déchets infectieux

**B. La nature physico-chimique**

- Déchets inertes
- Déchets organiques
- Déchets banals
- Déchets toxiques ou dangereux.
- Déchets ultimes

**I.7. Bois**

Le bois est un végétal spermatophyte (qui produit des graines) subdivisé en deux familles: les Angiospermes communément appelés feuillus ou arbres à bois dure et les Gymnospermes appelés communément conifères ou arbres à bois tendre. Ces deux familles de bois sont différenciées par leurs origines, leurs anatomies et par leurs compositions chimiques. Ces différences sont fortement influencées par le climat. Les Angiospermes sont apparus au crétacé, il y a environ 100 millions d'année [38].

**I.7.1. Chronique forestière**

L'utilisation du bois par l'Homme remonte à la nuit des temps. Matériau abondant, disponible, renouvelable et facile à transformer. Il a accompagné l'humanité dans toutes les grandes étapes de son évolution.

Le bois a répondu à bien des usages au fil des âges: des premiers outils aux armes nécessaires à la chasse, en passant par sa combustion (chauffage et cuisson des aliments) et par son utilisation dans l'habitat des peuples nomades et sédentaires. Il a joué un rôle prépondérant dans la construction jusqu'à la fin du Moyen-Âge. Si son utilisation dans la construction a décliné au profit de l'acier, puis du béton avec les révolutions industrielles, il occupe encore une place importante jusqu'au début du XXe siècle dans le haussmannien parisien, tant dans la structure que dans le second œuvre (portes, fenêtres, parquets, lambris, escaliers, etc.).



De nos jours, le bois, matériau bio source, occupe une place majeure dans nos sociétés modernes. Plus encore, la prise de conscience écologique lui confère des vertus jusqu'alors éclipsées. Construction, industrie, énergie, autant de secteurs dans lesquels le bois continue de prospérer.

Dès 1291, la création de l'administration des Eaux et Forêts (ancêtre de l'Office national des forêts, ONF) reflète l'implication des rois de France dans la gestion durable des forêts, largement utilisé pour le besoin des armées et le bois de chauffage.

En 1669, une ordonnance de Colbert sur le règlement général pour les eaux et forêts vise à restaurer et protéger la ressource en bois.

Ce n'est qu'en 1824 que l'école Nationale des Eaux et Forêts voit le jour.

1827 promulgations du Code Forestier qui rassemble l'ensemble des textes législatifs et réglementaires concernant la protection et la gestion de la forêt.

1965 Création de l'Office national des forêts [39].

## **I.7.2. Composition chimique du bois**

Le bois est essentiellement constitué de cellulose et de lignine [40].

### **I.7.2.1. Cellulose**

La cellulose est le matériau de construction des tissus du bois. C'est un polysaccharide macromoléculaire linéaire, la réunion en parallèles de plusieurs de ces macromolécules forme une fibrille dont la cohésion est assurée par des liaisons hydrogène s'établissant d'une molécule à une autre à partir de groupements hydroxyles. La réunion de ces fibrilles constitue les fibres. La forme sous laquelle se présente la cellulose. Les celluloses usuelles sont des mélanges et dans le bois en particulier on a des ligno-celluloses, association de cellulose et de lignine.

### **I.7.2.2. Lignine**

La lignine est un polymère mais n'est pas un polysaccharide. Elle est plus riche en carbone que la cellulose; elle incruste les tissus végétaux en leur donnant leur dureté [41].

Dans le bois on peut estimer les teneurs respectives en cellulose et lignine à 40 à 50% pour la première, 25 à 30% pour la seconde. L'eau contenue dans le bois joue un rôle très important sur toutes les propriétés physiques et mécaniques, elle peut atteindre 100% (et

parfois plus) de la masse sèche du bois, elle est présente dans le bois comme pour tout matériau de construction à trois niveaux différents, on distingue :

- L'eau de constitution : combinée chimiquement à la matière ligneuse, elle reste présente dans le bois.
- L'eau d'imprégnation, contenue dans les membranes des cellules
- L'eau libre qui remplit les vides des tissus et l'intérieur des cellules lorsque les membranes sont saturées d'eau.

### **I.7.3. Structure anatomique du bois**

Le bois est un matériau fibreux; les fibres sont constituées de cellules allongées de 1 à 3cm de long et d'environ 2/100 mm de large, elles sont disposées parallèlement à l'axe du tronc. Ce sont elles qui donnent au bois sa résistance, le bois sera d'autant plus résistant que la densité de fibres sera plus grand [42].

### **I.7.4. Caractéristiques des bois**

Le bois est caractérisé par un certain nombre de propriétés qui influent évidemment sur les caractéristiques physico-mécaniques du bois.

#### **I.7.4.1. Masse volumique**

La masse volumique (ou la densité associée) est certainement le critère le plus important de la caractérisation physique du matériau bois. De plus, cette caractéristique est très liée aux propriétés élastiques, donc mécaniques du bois [43].

#### **I.7.4.2. Dureté**

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

#### **I.7.4.3. Dilatation thermique**

Les variations thermiques du bois sous l'effet de la température sont environ trois fois plus faibles que celles du béton ou de l'acier.

#### **I.7.4.4. Conductivité thermique**

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

### I.7.5. Production de bois à l'échelle mondiale

Le bois est une matière première renouvelable pour autant que le milieu dans lequel il se développe soit géré de façon appropriée. Les exploitations trop intensives et les déforestations des certains pays provoquent des déséquilibres important de biotope forestier dont les conséquences à long terme ne peuvent encore aujourd'hui être évaluées avec certitude. Une exploitation judicieuse, en revanche, telle qu'elle est préconisée actuellement en Europe, permet une gestion saine du matériau de construction qu'est le bois, tout en développant les fonctions protectrices et écologiques de la forêt. Par ailleurs, le bois étant un matériau naturel et renouvelable, son utilisation comme matériau de construction doit être privilégiée dans le cadre des nouvelles contraintes systématiques sur le développement durable au travers de la relation écologie-environnement-produits finis. Dans bien des cas, et pour les zones tropicales, une revalorisation du bois comme matériau de construction sera le principal allié pour un entretien et un développement des surfaces forestières [43].

La filière forêt-bois aura un rôle majeur à jouer dans le développement économique des pays forestiers [44].

La Figure I.9., représente la carte mondiale de production de bois

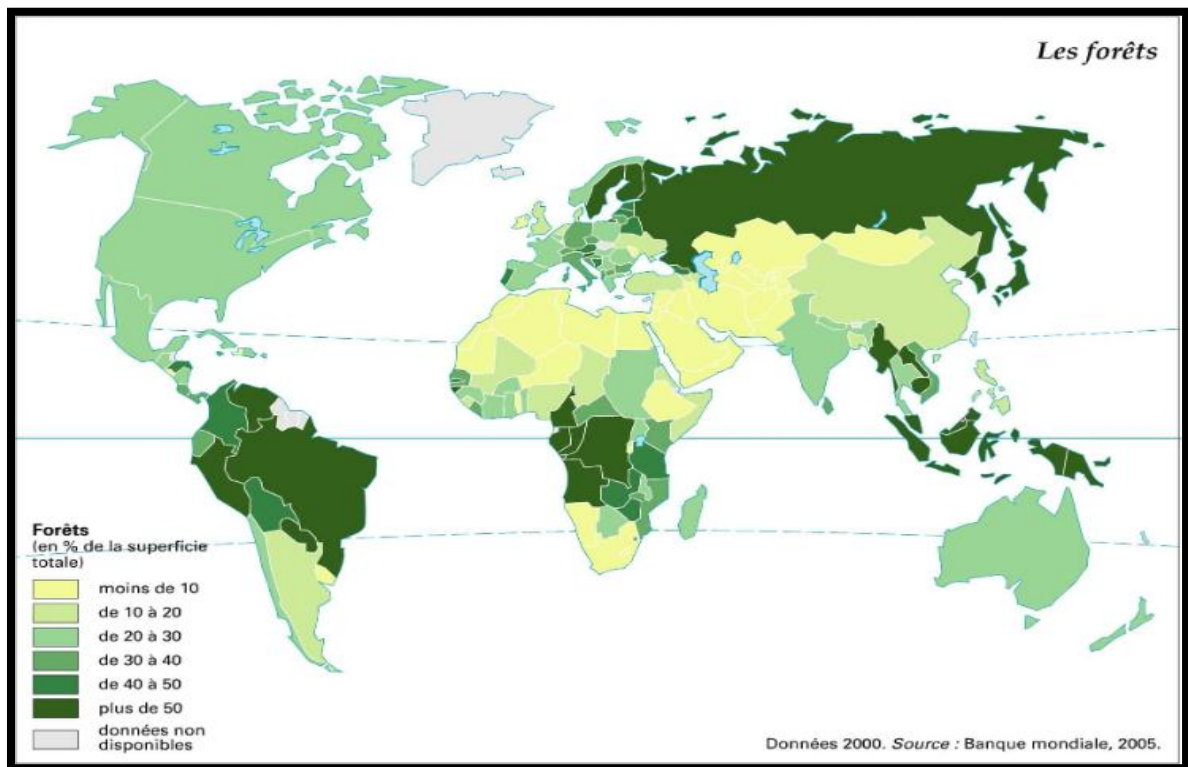


Figure I.9 : La carte mondiale de production de bois

## I.7.6. Types des déchets de bois

### I.7.6.1. Coupeaux de bois

La Figure I.10., montre les coupeaux de bois présentés sous forme de plaquettes minces avec une masse volumique de  $100\text{kg/m}^3$ .



Figure I.10 : Les coupeaux de bois

### I.7.6.2. Sciure de bois

Sous forme de poudre, elle désigne l'ensemble des résidus et des coupeaux produits par le sciage de bois, la masse volumique est égale  $350\text{kg/m}^3$  (Figure I.11).



Figure I.11 : La sciure de bois.

### I.7.6.3. Granulat de bois

C'est un cylindre de sciure de bois compressée sans aucun agent de liaison avec un diamètre entre 6 à 8mm et une longueur d'environ 3 cm et une masse volumique supérieure à  $650\text{kg/m}^3$  (Figure I.12)



Figure I.12 : Granulats de bois

#### I.7.6.4. Bois déchiqueté ou plaquette forestière

Il est fabriqué grâce au déchiquetage ou au broyage des chapes. Résidus de l'entretien et de l'exploitation des forêts haies et espaces non forestiers (Figure I.13). Un temps de séchage est nécessaire, séchage qui est généralement effectué pendant une durée de 6 mois à 1 an.

- Taille : 3cm\*1cm\*0,5cm.
- Masse volumique : environ 250kg/m<sup>3</sup>.



Figure I.13 : Le bois déchiqueté ou plaquette forestière

#### I.7.7. L'utilisation de la sciure de bois

La réutilisation de la sciure de bois en tant que matière première dans l'industrie de bâtiment permet non seulement de réduire les déchets, mais aussi de compenser le coût de matière première. Il s'agit aussi d'un moyen écologique et durable de valoriser les déchets tout en préservant les ressources naturelles.

On cite les principales utilisations de la sciure de bois :

- Fabriquer des allume-feu.
- Emploi dans le bâtiment pour alléger une chape.
- La sciure est aussi utilisée comme source de biomasse énergie, par exemple sous forme de bûchette reconstituée ou de charbon de bois reconstitué [45].
- Isolation thermique d'un mortier à base de la sciure de bois.

## **Conclusion**

L'amélioration de la qualité des mortiers passe nécessairement par une connaissance fine des matières utilisées. C'est dans ce contexte qu'une recherche générale sur les mortiers, le ciment qui est le liant utilisé et la sciure de bois (l'ajout à expertiser) a été menée.

L'utilisation de la sciure de bois comme ajout dans la confection d'un mortier nous permettra de valoriser un déchet, souvent jeté dans la nature. Les problèmes générés par les différents déchets industriels sur l'environnement risquent d'accroître encore plus dans les années avenir.

Pour y remédier, des déchets de toutes natures ont été utilisés dans plusieurs domaines et en particulier dans la construction. Cet axe de recherche est de plus en plus de l'ordre du jour.

*Chapitre II*  
*Méthodes et*  
*caractérisation des*  
*matériaux utilisés*

## **Introduction**

Dans ce chapitre nous allons présenter les techniques expérimentales utilisées pour la caractérisation des matériaux utilisés dans cette étude. Les résultats obtenus sont présentés et discutés afin de mettre en évidence les propriétés essentielles et utiles ayant motivé leur l'utilisation.

Les différentes analyses exposées dans ce qui suit ont été réalisées au laboratoire LTP.EST de Béjaia.

### **II.1. Matériaux utilisés**

Les matériaux utilisés dans notre recherche sont :

- Sable concassé 0/4.
- CEM II/A-L 42.5 R.
- Sciure de bois.
- Eau de gâchage (eau potable du robinet)
- Plastifiant

### **II.2. Procédés et analyses des matériaux utilisés (mesures et interprétations)**

#### **II.2.1. Sable**

Le sable utilisé dans cette étude est un sable 0/4 mm provient de la carrière d'El Mhir (Figure **II.1**), wilaya de Bordj Bou Arreridj. Cette carrière se situe au cœur des bibans à environ 40 Km au sud-ouest du chef-lieu de la wilaya, et à environ 150 Km d'Alger.

Le sable de carrière (Figure **II.2**), dit aussi concassé, est un sous-produit des processus industriels contrôlés. C'est un sable de concassage, de lavage et de calibrage appliqués à des roches massives.



**Figure II.1 : Carrière d'El Mhir****Figure II.2 : Sable concassé d'El Mhir**

### II.2.1.1. Analyse granulométrique par voie sèche :( NF P 18-560)

#### A. Principe et mode opératoire

L'analyse granulométrique permet de déterminer la grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs des différentes familles de grains constituant l'échantillon.

A noter qu'il faut éviter la confusion entre la granulométrie qui s'intéresse à la détermination des dimensions des grains et la granularité qui concerne la distribution dimensionnelle des grains d'un granulat.

L'essai consiste à classer les différents grains constituant l'échantillon en utilisant une série de tamis, emboîtés les uns sur les autres, dont les dimensions des ouvertures sont décroissantes du haut vers le bas. Le matériau étudié est placé en partie supérieure des tamis et le classement des grains s'obtient par vibration de la colonne des tamis.

Avant de commencer l'essai, on place l'échantillon à étudier à l'étuve à 105°C pendant 24h. On prélève ensuite une quantité  $M_1$  moins de 3Kg de matériau (dans notre essai 1,7 Kg). Le matériau prélevé est lavé (pour éliminer les fines) et étuvé jusqu'à poids constant. On verse le matériau sur une série de tamis (Figure II.3 et II.4) choisis de telle manière que la progression des ouvertures soit croissante du bas vers le haut.

Le refus ayant la plus grande maille est pesé, soit  $R_1$  et le refus de tamis immédiatement inférieur est pesé, soit  $R_2$ , la somme de  $R_1$  et  $R_2$  représente le refus cumulé sur le deuxième tamis. Cette opération est poursuivie pour l'ensemble des tamis pour pouvoir calculer les refus cumulés  $R_n$  d'un tamis à un autre.



Figure II.3 : Série de tamis utilisés

Figure II.4 : Tamisage manuel

La première opération à faire est le quartage (Figure II.5), qui est une opération d'échantillonnage permettant de diviser (Figure II.6) un tas de granulat en quartiers afin de sélectionner un échantillon représentatif du matériau final. Cette opération se fait par la division de l'échantillon en quatre parties égales, dont on n'en retient que la moitié, en réunissant deux quarts opposés pour homogénéiser le matériau. Selon la norme [NFP 18-560], le poids du matériau utilisé est de manière à ce que :  $P \geq 0,2 D$ .

Avec:

**P** : Poids de l'échantillon en Kg.

**D** : Diamètre du plus grand granulat en mm.

Dans notre cas : le sable 0/4 ;  $P \geq 0,2*(4) = 0,8 \text{ Kg} = 800\text{g}$

Soit :  $P=1770 \text{ g}$  et après séchage on a obtenu  $P=1536 \text{ g} \geq 800\text{g}$



Figure II.5 : Opération du quartage



Figure II.6 : Granulat divisé en quartiers.

### B. Résultats obtenus

Les résultats d'analyse granulométrique du sable utilisé sont résumés dans le **Tableau II.1**.

**Tableau II.1 : Analyse granulométrique du sable (El-Mhir)**

Ouvertures des tamis (mm)	Masse des refus cumulés $R_n$ (g)	Pourcentages des refus cumulés	Pourcentages cumulés de tamisât
4	139	10,81	89,19
2	428	33,30	66,70
1	666	50,82	49,18
0,5	896	64,72	35,28
0,25	1054	81,32	18,68
0,125	1151	88,57	11,43
0,063	1248	97,12	2,88

Avec :

- Refus : la quantité de matériau qui est retenue sur le tamis.
- Refus cumulé : c'est la somme de tous les refus, celui du tamis lui-même, plus tous les refus des tamis de maille plus grande.
- Tamisât : poids des granulats passant à travers un tamis.

La Figure II.7 Présente la courbe granulométrique du sable 0/4.

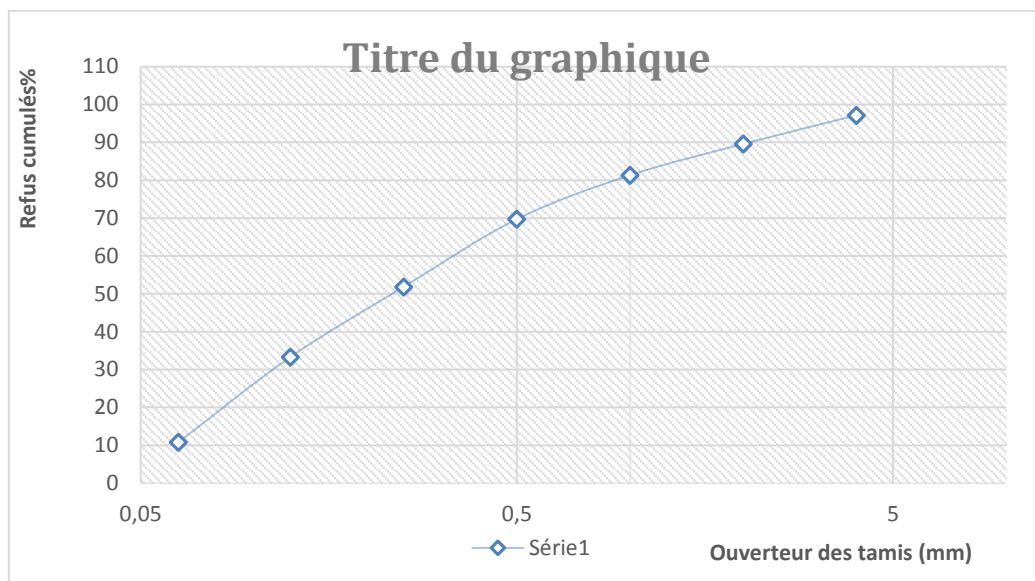


Figure II.7: Courbe granulométrique du sable d'El-Mhir

### II.2.1.2. Module de finesse du sable (NF EN 933-1)

Le caractère plus au moins fin d'un sable peut être quantifié par le calcul du module de finesse MF. Celui-ci correspond à la somme des pourcentages des refus cumulés, ramenés à l'unité pour les tamis d'ouverture (0,063 ; 0,125 ; 0,25 ; 0,5 ; 1 ; 2 ; 4) qui donne  $MF = \sum R_{Cum} / 100$ .

On aura :  $MF = (10,81 + 33,30 + 50,82 + 64,72 + 81,32 + 88,57) / 100 = 3,29$ .

### Résultats et interprétations

$Mf = 3,29$  [2,8-3,3] le module de finesse appartient au domaine du sable grossier.

### II.2.1.3. Essai au bleu de Méthylène (NF EN 933-9)

L'essai de bleu de méthylène, également appelé « essai à la tâche », est un essai utilisé pour déterminer la propreté des granulats et plus généralement des sols.

L'essai au bleu de méthylène, est utilisé pour caractériser la fraction argileuse contenue dans un sable, granulat et plus généralement d'un sol [46], également utilisé pour évaluer l'influence des fines d'origines argileuses contenues dans les sables et graves d'origines naturelle ou artificielle.

Il rend compte ainsi de l'activité de surfaces des argiles, des matières organiques ainsi que des hydroxydes de fer contenus dans les fines. Cet essai est un test performant pour quantifier de manière sûre et simple la propreté des granulats.

L'essai consiste à déterminer la capacité d'adsorption ionique d'un sol en mesurant la quantité de colorant de bleu de méthylène nécessaire pour recouvrir la surface totale, externe et interne, de toutes les particules argileuses présentes dans la solution à étudier par une monocouche de bleu de méthylène. On appelle cette quantité, la valeur au bleu, notée VB et exprimée en grammes de bleu par grammes de sol [48].

Nous avons utilisé pour la réalisation de l'essai; un chronomètre, un bécher en verre. Un papier filtre, un agitateur à ailettes à vitesse variable 400 à 600 tr/min, une solution de bleu de méthylène, une eau déminéralisée (500ml), une balance de précision (résolution en milligrammes), une burette de 500 ml gradué en 1/100 ml et une tige de verre.

Les Figure II.8 et II.9, présentent respectivement le malaxeur à deux vitesses lentes et rapides et l'application du bleu de méthylène sur le papier filtre.



**Figure II.8 : Malaxeur à deux vitesses lentes et rapides**



**Figure II.9 : Application du bleu de méthylène sur le papier filtre**

Un échantillon de granulats est préparé de telle sorte qu'il contienne au moins 200 g de la fraction 0/2mm. Il est séché à 110 °C, refroidi à la température ambiante, puis passé au tamis de 2 mm et toutes les particules retenues au tamis de 2mm sont éliminées. L'échantillon résiduel est ensuite pesé (soit  $M_1$ ) et placé dans un bêcher contenant  $500 \pm 5$  mm d'eau déminéralisée. L'ensemble est mis en agitation à 600 tr/min pendant 5 minutes.

Introduire dans le bêcher une dose de 5ml de solution de colorant et agiter à  $400 \pm 40$  tr/min pendant au moins une minute et effectuer un test à la tâche en prélevant à l'aide d'une baguette de verre une goutte en suspension et la déposer sur le papier filtre pour obtenir un dépôt qui doit avoir un diamètre 8mm à 12mm. Si après ajout des 5 ml de solution, l'auréole n'apparaît pas, il faut effectuer des additions de 5ml tout en agitant pendant 1 min et refaire des tests à la tâche jusqu'à apparition de l'auréole.

Ensuite continuer l'agitation sans ajout de solution et effectuer des tests à la tâche toutes les minutes pendant 5 minutes.

Si l'auréole persiste toujours pour les cinq tâches, le test est positif, sinon ajouter 2ml de colorant et faire le test à la tâche. Si l'auréole disparaît au bout de la quatrième tâche, ajouter 5ml de colorant et refaire le test à la tâche.

Enregistrer le volume total de solution de colorant  $V_1$  ajouté pour obtenir une auréole visible pendant 5mn à 1ml près.

Les résultats de la caractérisation de la fraction argileuse contenue dans notre sable par l'essai du bleu de méthylène sont représentés dans la Figure **II.9** et le tableau **II.2** :

**Tableau II.2 : Détermination la quantité de l'argile dans le sable par essai de bleu de méthylène**

<b>Teneur en eau (%)</b>	<b>0,30</b>
Masse sèche de la prise d'essai $M_1 = M_{0/1} + (W/100) (g)$	200
Volume de bleu introduit $V_1 (cm^3)$	05
Valeur au bleu de fraction 0/2 des sables $MB = \frac{V_1}{M_1} \times 10 (g/Kg)$	1
Pourcentage en masse des passent à 2 mm de la fraction 0/D (%)	25

### Interprétation des résultats

Notre sable est classé dans l'intervalle  $0,2 \leq VB < 1,5$  donc le sable testé est limoneux sensible à l'eau. Sachant que:

$VB > 8$  .....Sol très argileux

$6 < VB \leq 8$  .....Sol argileux

$2.5 < VB \leq 6$  .....Sol limoneux-argileux

$0,2 \leq VB < 1,5$  .....Sol limoneux (sensible à l'eau)

$VB \leq 0.2$  .....Sol sableux (insensible à l'eau)

#### II.2.1.4. Essai d'équivalent de sable (NF EN 933-8)

L'équivalent de sable est une mesure utilisée pour décrire la propreté du sable ou du gravier. Il désigne la teneur en argilo-éléments à la surface des grains [49].

Cet essai est utilisé de manière courante pour évaluer la propreté des sables entrant dans la composition des bétons. Il est aussi utilisé pour les sols mais, dans ce cas, son importance est moindre. Le paramètre le plus significatif étant la valeur de bleu du sol. L'essai consiste à séparer les particules fines contenues dans le sol des éléments sableux plus grossiers. Une procédure normalisée permet de déterminer un coefficient d'équivalent de sable qui quantifie la propreté de celui-ci.

On a besoin pour l'exécution de cet essai; d'éprouvettes en plexiglas avec deux traits repères et leur bouchon, un tube laveur métallique plongeant, un entonnoir, une machine agitatrice, un piston à masse coulissante de 1kg et une règle métallique.

L'essai est effectué sur 120 g de grains secs (la fraction 0/4 mm du matériau à étudier). Le tamisage se fait par voie humide afin de ne pas perdre d'éléments fins. On lave l'échantillon, selon un processus normalisé, et on le laisse reposer pendant 20 minutes.

Après détermination de la teneur en eau du sol  $w$ , on pèse un échantillon humide de masse égale à  $120(1+w)$  grammes.

Le procédé de l'essai se résume donc à:

- Réduire l'échantillon utilisé de laboratoire conformément à EN 932-2 afin d'obtenir deux sous échantillons, à partir du premier sous échantillon, prendre deux prises d'essai, qui serviront pour la détermination des teneurs en eau et en fines.
- Sécher la première prise d'essai dans une étuve à  $(110\pm 5)$  °C, afin de déterminer et d'enregistrer la teneur en eau  $\omega$ .
- Peser la seconde prise d'essai  $M_1$ , puis laver sur tamis 0,063mm, sécher les particules retenues et peser  $M_2$ , déterminer la teneur en fines  $f$  selon la relation du tableau ci-dessous.
- Réduire le second sous échantillon afin d'obtenir deux éprouvettes de masse  $MT$ .
- Remplir les éprouvettes avec la solution lavante jusqu'au premier trait.
- Verser la quantité du sable  $MT$  en veillant à éliminer les bulles d'air et laisser reposer 10 min.
- Boucher les éprouvettes et les agiter, mouvement rectiligne et horizontales de 20 cm d'amplitude, 90 allers et retours en 30 s.
- Laver et remplir les éprouvettes, avec le tube laveur. Pour cela, rincer le bouchon au-dessus de l'éprouvette, laver ainsi les parois intérieures de l'éprouvette. Laver le sable en faisant descendre et remonter lentement le tube laveur dans la masse du sable pour faire remonter les particules fines dans la solution supérieure.
- Sortir le tube laveur lorsque le niveau de liquide atteint le trait supérieur puis laisser reposer 20min.
- Mesurer la hauteur du floculat pour chaque éprouvette  $h_1$  au millimètre près.



- Déterminer la hauteur des sédiments  $h_2$  au millimètre près en mesurant les distances entre la face inférieure de la tête du piston et la face supérieure du manchon. (Voir les figures II.9 et II.10)



Figure II.9: Éprouvettes préparés



Figure II.10 : La machine agitatrice

### Résultats et discussion

Les résultats sont consignés dans le Tableau II.3.

Avec:

$\omega\%$  : Teneur en eau de la 1<sup>ère</sup> prise d'essai (sous- échantillon 1)

$M_1$  : Masse humide de la 1<sup>ère</sup> prise de l'essai

$M_2$  : Masse sèche de la 2<sup>ème</sup> prise d'essai après lavage à travers un tamis de 0,063mm

$f$  : Teneur en fines:  $f = (100 - \frac{M_2(100+W)}{M_1})\%$

$M_3$  : Masse de sable humide 2<sup>ème</sup> sous-échantillon;  $M_3 = \frac{1200}{f}(1 + \frac{W}{100})$

$M_4$  : Masse du sable sec après correction

$M_T$  : Masse totale de l'essai =  $M_3 + M_4$

$M_{ép}$  : Masse de l'éprouvette

$h_1$  : hauteur de dépôt de sable visible

$h_2$  : hauteur totale y' compris les fines en suspension

ES : Equivalent de sable

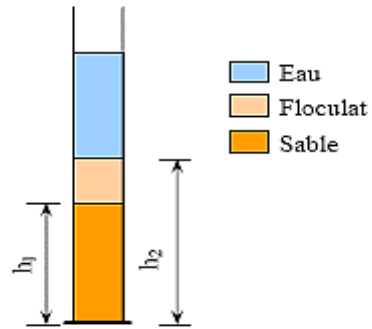


Tableau II.3 : Mesure de la propreté du sable utilisé

$\omega$ (%)	0,30	
M <sub>1</sub> (g)	644,14	
M <sub>2</sub> (g)	517,75	
f (%)	21,81	
M <sub>3</sub> (g)	55,199	
M <sub>4</sub> (g)	64,97	
M <sub>T</sub> (g)	120.169	
N° des éprouvettes	1 <sup>ère</sup> éprouvette	2 <sup>ème</sup> éprouvette
M <sub>ép</sub> (g)	120,16	120,16
h <sub>1</sub> (mm)	10,7	10,8
h <sub>2</sub> (mm)	8,9	9,1
(h <sub>2</sub> /h <sub>1</sub> )*100 (%)	83,17	84,25
ES (%)	83,71	

D'après la valeur de l'équivalent de sable obtenue, on constate que le sable utilisée appartient à l'intervalle  $75\% \leq ES < 85\%$  qui représente un sable propre à faible proportion de fines argileuse, et c'est ce que confirme le résultat du bleu de méthylène.

**Remarque:**

ES < 65% : Sable argileux; risque de retrait ou de gonflement

65% < ES < 75% : Sables légèrement argileux pour béton de qualité courante

75% < ES < 100% : Sables propres ; convient pour les bétons de haute qualité

### II.2.1.5. Masse volumique absolue et coefficient d'absorption d'eau des sables (méthodes au pycnomètre NF EN 1097-6)

La masse volumique absolue  $\rho$  est la masse par unité de volume de matériau qui compose l'agrégat, indépendamment des vides inters et intra-granulaires. Le but de cet essai est de comprendre la qualité de la fraction de grain lors de la détermination de la composition du mortier. Il s'agit de mesurer la masse volumique absolue du sable utilisée, et déterminer son coefficient d'absorption d'eau.

L'essai est effectué en suivant les étapes suivantes:

- La masse de la prise d'essai de fraction 0.063/4 mm ne doit pas être inférieure à 300g.
- Laver la prise d'essai sur un tamis de 4mm et de 0.063 mm afin d'éliminer les grains les plus fins et rejeter les grains refusés au tamis de 4 mm.
- Immerger la prise d'essai préparée dans le pycnomètre rempli d'eau à  $(22\pm 3)$  °C et éliminer l'air occlus en faisant tourner et osciller doucement le pycnomètre en position inclinée. Placer le pycnomètre dans le bain d'eau et maintenir la prise d'essai à une température de  $(22\pm 3)$ °C pendant 24h à l'issue du trempage, retirer le pycnomètre du bain d'eau et éliminer tout le reste d'air occlus en faisant tourner et osciller doucement le pycnomètre.
- Faire déborder le pycnomètre en rajoutant de l'eau et placer le couvercle en évitant de piéger de l'air dans le récipient.
- Sécher l'extérieur du pycnomètre et peser la masse ( $M_2$ ). Noter la température de l'eau.
- Laisser décanter la majeure partie de l'eau couvrant la prise d'essai et vider le pycnomètre sur un plateau.
- Remplir à nouveau le pycnomètre avec de l'eau et remettre le couvercle comme précédemment.
- Sécher l'extérieur du récipient et le peser ( $M_3$ ). Noter la température de l'eau ; la différence entre les mesures de la température de l'eau du pycnomètre pour les pesées  $M_2$  et  $M_3$  ne doit pas dépasser 2°C.
- Étaler la prise d'essai imbibée pour obtenir une couche régulière au fond de plateau.
- Exposer les granulats à un faible courant d'air chaud pour évaporer l'humidité en surface.
- Laisser l'échantillon refroidir à la température ambiante tout en le remuant.

- Pour s’assurer que le séchage de surface est atteint, poser le moule tronconique sur le fond du plateau, le plus grand diamètre dirigé vers le bas. Remplir le moule sans tassement avec une partie de la prise d’essai en cours de séchage. Introduire le pilon dans l’orifice supérieur du moule tronconique jusqu’à ce qu’il vienne au contact du sable. Tasser la surface de celui-ci à 25 reprises en laissant le pilon tomber sous son propre poids. Ne pas rajouter de granulats après les avoir tassés.
- Soulever doucement le moule. Si le cône de granulat ne s’effondre pas, il faut poursuivre le séchage et recommencer l’essai jusqu’à ce que le cône s’effondre une fois le moule retiré.
- Peser la prise d’essai saturée et séchée en surface ( $M_1$ ).
- Sécher les granulats dans une étuve ventilée à une température de  $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$  jusqu’à masse constante laisser refroidir à température ambiante et peser ( $M_4$ ).



**Figure II.11 : Remplissage du moule tronconique par la prise d’essai en cours de séchage**

La masse volumique absolue, le coefficient d’absorption d’eau et la masse volumique réelle (séchée à l’étuve  $\rho_{\text{ét}}$  et saturée et séchée en surface  $\rho_{\text{SSS}}$ ) sont calculés respectivement par les relations suivantes:

$$\rho_w = \frac{M_4}{M_4 - (M_2 - M_3)} \dots\dots\dots (\text{g/cm}^3).$$

$$\text{WA} = \frac{100 \times (M_1 - M_4)}{M_4} \dots\dots\dots (\%)$$

$$\rho_{\text{ét}} = \rho_w \times \frac{M_4}{M_4 - (M_2 - M_3)} \dots (\text{g/cm}^3)$$

Pour la vérification des valeurs obtenues, nous avons:

$$\rho_{\text{sss}} = \rho_{\text{ét}} + \rho_{\text{o}}(1 - \rho_{\text{ét}}/\rho_{\text{abs}}) = 2.577$$

**Tableau II.4 : Différentes mesure de calcul de masse volumique absolue et du coefficient d'absorption d'eau du sable utilisé**

$\rho_{\text{o}}$ (g/cm <sup>3</sup> )	0,9988
M <sub>1</sub> (g)	725,09
M <sub>2</sub> (g)	1252,98
M <sub>3</sub> (g)	808,91
M <sub>4</sub> (g)	700,81
$\rho_{\text{abs}}$ (g/cm <sup>3</sup> )	2,726
$\rho_{\text{ét}}$ (g/cm <sup>3</sup> )	2,491
$\rho_{\text{sss}}$ (g/cm <sup>3</sup> )	2,577
WA (%)	3,464

#### II.2.1.6. Masse volumique en vrac (EN 932-2)

La masse volumique en vrac d'un matériau est la masse volumique d'un mètre cube du matériau pris en tas, comprenant à la fois des vides perméables et imperméables de la particule (vides intra granulaires) ainsi que les vides entre particules (vides intergranulaires).

Ce mode opératoire spécifie une méthode pour la détermination de la masse volumique en vrac.

L'essai est applicable aux granulats naturels et artificiels de dimensions inférieurs à 63 mm.

Il s'agit de déterminer le poids volumique en faisant appel au volume apparent.

Pour la réalisation de l'essai, on doit utiliser un récipient cylindrique normalisé, une règle à araser, une balance et une truelle en métal. Les étapes de l'essai sont données comme suit:

- Prélever trois éprouvettes conformément à l'EN 932-2
- Les granulats doivent être séchés à  $110 \pm 5^\circ\text{C}$  jusqu'à masse constante.
- La masse de chaque prise d'essai doit être comprise entre 120 et 150% de la masse nécessaire.
- Pour les granulats légers, après séchage à  $110 \pm 5^\circ\text{C}$ , atteindre une teneur en eau d'équilibre à  $23^\circ\text{C}$  et une humidité de  $50 \pm 10\%$ .
- Peser les conteneurs vides secs et propres ( $m_1$ ).
- Poser le conteneur sur une surface horizontale et le remplir à l'aide de la pelle jusqu'à ce qu'il déborde
- Durant le remplissage, limiter la ségrégation en appuyant sur le bord supérieur. A aucun moment le bord de la pelle ne doit être à plus de 50 mm au-dessus du conteneur. Enlever avec soin tout excédent au sommet du conteneur en veillant à ce que la surface soit étalée de manière uniforme afin d'éviter tout phénomène de ségrégation. Niveler la surface des granulats à l'aide de la règle en ayant soin d'éviter tout compactage à la surface.
- Peser le conteneur rempli et enregistrer sa masse à 0,1% près ( $m_2$ ). Soumettre trois prises d'essai à cet essai.

Tableau II.5: Détermination de la masse volumique en vrac du sable

N° de l'essai	1	2	3
Masse de conteneur vide (g)	1257	1275	1275
Masse de conteneur rempli (g)	3073	3078	3075
Capacité du conteneur V(L)	1036,19	1036,19	1036,19
Masse volumique en vrac (g/cm <sup>3</sup> )	1,73	1,74	1,73
Masse volumique réelle (g/cm <sup>3</sup> )	2,57	2,57	2,57
Porosité inter granulaire	0,33	0,32	0,33
Moyenne	0,32		

### II.2.1.7. Détermination de la teneur en eau pondérale des matériaux (NF P 94-050)

C'est le rapport entre le poids d'eau d'un sol, qui se définit par le poids de l'eau contenue dont le poids des vides étant négligeables et le poids sec du matériau.

Le test de la teneur en eau permet la détermination de la quantité d'eau existante dans le sol naturel (échantillon).

L'échantillon de matériau est pesé, puis placé dans une étuve. Une fois la dessiccation réalisée, l'échantillon est pesé à nouveau. Les deux pesées donnent par différence; la masse d'eau évaporée. Pour cela on doit utiliser des récipients, une balance, un échantillon de sol et une étuve.

L'essai passe par les étapes suivantes:



- Tout d’abord, il faut s’assurer de la provenance et de la nature minéralogique ou origine géologique des matériaux, afin de savoir si, par exemple, les matériaux sont gypsifères, latéritiques ou s’ils contiennent des matières organiques.
- Une masse (M) de matériau est placée dans une coupelle ou un bac propre et sec de masse connue ( $M_1$ ) et la prise d’essai plus le récipient sont pesés immédiatement ( $M_2=M+M_1$ ). Puis, ils sont introduits dans une étuve à 105°C.
- Deux pesées, séparées par un étuvage d’un intervalle de temps ( $t=4h$ ), sont effectuées sur la prise d’essai après chacun des passages à l’étuve. Conventionnellement l’évaporation de l’eau est considérée comme achevée si la masse sèche de la prise d’essai n’a pas varié de plus de 2/1000 entre ces deux pesées. La durée totale du séchage peut varier de quelques heures à plusieurs jours.
- Après 24 h retirer le récipient avec le sol sec. Peser en utilisant la même balance pour avoir  $M_3$ .
- Déterminer la teneur en eau  $\omega$  exprimée en pourcentage :

$$\omega (\%) = M_{\omega} / M_d = (M_2 - M_3) / (M_3 - M_1)$$

$M_1$  : masse du récipient.

$M_2$  : masse du récipient+masse du sol humide.

$M_3$  : masse du récipient +masse du sol sec.

$M_d$  : masse du sol sec

$M_{\omega}$ : masse de l’eau

Tableau II.6. Détermination de la teneur en eau du sable

N° de l'essai	1	2
M <sub>1</sub> (g)	244,2	239,69
M <sub>2</sub> (g)	484,67	474,90
M <sub>3</sub> (g)	483,92	474,21
M <sub>d</sub> (g)	239,68	234,52
M <sub>o</sub> (g)	0,75	0,69
ω (%)	0,31	0,29
<b>Moyenne</b>	0.30%	

Pour le sable utilisé, sa teneur en eau est de 0,30%.

## II.2.2. Ciment

Le ciment utilisé dans notre recherche est le CEM II/A (ciment résistance aux sulfates) de classe 42,5 provient de la cimenterie Ain El Kbeira de Sétif. (CEM II/A- L 42,5 R).

### II.2.2.1. Compositions chimiques du ciment utilisé (CEM II/A- L42, 5)

Les compositions chimiques du ciment sont présentées dans le Tableau II.7 :

Tableau II.7 : Compositions chimiques du ciment utilisé

Oxyde	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Mgo	So <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	CL	PAF	CaO	R
Teneur%	21 ,15	4,80	4 ,16	62,36	1,21	2,15	0 ,33	0 ,13	0 ,02	3 ,69	1,06	2 ,12

### II.2.2.2. Compositions minéralogiques du (CEMII/A-L42, 5R)

La composition minéralogique du ciment utilisé est effectuée au laboratoire de la cimenterie Ain El Kbeira et elle présentée au Tableau II.8.

Tableau II.8: Compositions minéralogiques du ciment utilisé

Éléments	C <sub>3</sub> S	C <sub>2</sub> S	C <sub>3</sub> A	C <sub>4</sub> AF
Teneur (%)	55,46	18,85	8,56	12,43

### II.2.2.3. Essai de consistance (EN 196-3)

L'essai consiste à déterminer la quantité de l'eau de gâchage optimale qui définit une consistance dite normalisée elle est en fonction du rapport E/C. L'essai a été réalisé avec l'appareil de Vicat selon la norme EN 196-3 (Figure II. 12).



Figure II.12 : Appareil de Vicat

L'essai consiste à la détermination de la consistance normalisée de la pâte de ciment selon les spécifications de la norme européenne EN 196-3 [49].

La consistance est évaluée en mesurant l'enfoncement d'une aiguille cylindrique de diamètre  $d=10\text{mm}$  sous l'effet d'une charge constante -L'enfoncement est d'autant plus rapide et important que la consistance est plus fluide.

Pour ce faire, il faudrait s'équiper d'une salle climatisée de température de  $20^{\circ} \pm 1^{\circ} \text{C}$ , l'appareil de Vicat, une sonde normalisée de diamètre de 10mm et de longueur de 50 mm, un malaxeur normalisé, une balance, une burette graduée, une spatule et un chronomètre.

La procédure de l'essai passe par les étapes suivantes:

- Mouiller et égoutter le godet et batteur du malaxeur.
- Verser 500 g de ciment puis verser le dans le godet

- Ajouter une quantité d'eau (on commence à partir de E/C=0,28).
- Régler la vitesse de malaxeur à vitesse lente.
- Mettre immédiatement le malaxeur en marche en vitesse lente pendant 90s.
- Arrêter le malaxage pendant 15 seconds, démonter le godet remettre avec une spatule toute la pâte à la cuve.
- Remonter le godet et malaxer à vitesse rapide durant 90 seconds.
- Remplir le tronconique avec la pâte obtenue et araser la surface en prenant appui sur le bord du moule.
- Porter le moule plein sur l'appareil VICAT en réglant le niveau à zéro de la sonde.
- Centrer le moule dans l'axe de la sonde, abaisse la sonde avec précaution jusqu'à ce qu'elle arrive au contact avec la pâte, on desserre la vise pour que la sonde pénètre sous son poids propre dans la pâte.
- Après 30 seconds, on note la valeur de l'enfoncement "d" lue sur l'index de l'appareil. L'enfoncement "d" est précisé d'après la norme EN 196-3 comme suite :
- Si  $d=6\pm 1$  mm: C'est la consistance est normalisée.
- Si d inférieur à 5mm : la pâte est trop fluide et il faut refait l'essai avec un nouveau rapport E/C jusqu'à l'abstention de la valeur recherchée.
- Si d supérieur à 7mm : la pâte est trop ferme et faut recommencer l'essai avec plus d'eau.

Les résultats obtenus de l'essai de consistance sont présenté dans le Tableau **II.9**.

**Tableau II.9 : Résultats des essais de consistances**

Pate	Quantité de ciment (g)	E/C	Quantité de l'eau (g)	d (mm)
1	500	0,26	130	8
2	500	0,27	135	5
3	500	0,28	140	3

### Interprétation des résultats

D'après l'essai de consistance la quantité d'eau optimale pour gâcher le ciment dans cette recherche est de  $E=140\text{g}$  de ciment avec un rapport  $E/C=0,28=28\%$ .

#### II.2.2.4. Essai de prise (EN 196-7)

Dès que le ciment anhydre a été mélangé avec de l'eau, l'hydratation commence et les propriétés de la pâte ainsi obtenue sont évolutives dans le temps. Tant que cette hydratation n'est pas trop avancée la pâte reste plus ou moins malléable voire plastique, mais au bout d'un certain temps, le matériau devient de plus en plus difficile à travailler et sa température augmente : il fait prise et s'apparente à un solide.

Le but de l'essai consiste à déterminer le début et la fin de prise des pâtes pures du ciment utilisé conformément à la norme EN196-3. L'appareillage nécessaire (voir Figure II.13) est le même que celui que pour le calcul de la consistance (avec utilisation d'une aiguille de diamètre 1.13mm au lieu de la sonde)

L'essai se déroule en suivant les étapes suivantes:

- Régler l'appareil de Vicat muni de l'aiguille par abaissement de celle-ci jusqu'à la plaque de base plane et par ajustement du repère au zéro de l'échelle.
- Relever l'aiguille en position d'attente
- Préparer la pâte de ciment comme pour l'essai de consistance en introduisant la quantité d'eau déterminée pour la pâte de consistance normalisée
- Introduire rapidement la pâte dans un moule tronconique sans tassement excessif (le moule étant placé sur la plaque de base plane) et placer l'ensemble dans l'axe de la sonde de l'appareil de Vicat
- Amener l'aiguille à la surface de l'échantillon
- Lâcher l'aiguille sans vitesse initiale, cette dernière s'enfonce dans la pâte. Lorsqu'elle est immobilisée (ou après 30 s d'attente), relever la distance  $d$  séparant l'extrémité de l'aiguille de la plaque de base.

- Recommencer l'opération à des intervalles de temps convenablement espacés (~ 10-15 mn) jusqu'à ce que  $d = 4\text{mm} \pm 1\text{mm}$ . (Nettoyer l'aiguille à chaque opération).



Figure II.13 : Essai de prise

De même, la fin de prise correspond au moment où l'aiguille ne s'enfonce plus dans l'anneau plus que de 0,5 mm.

La Figure II.14, présente le temps de début et fin de prise du ciment utilisé :

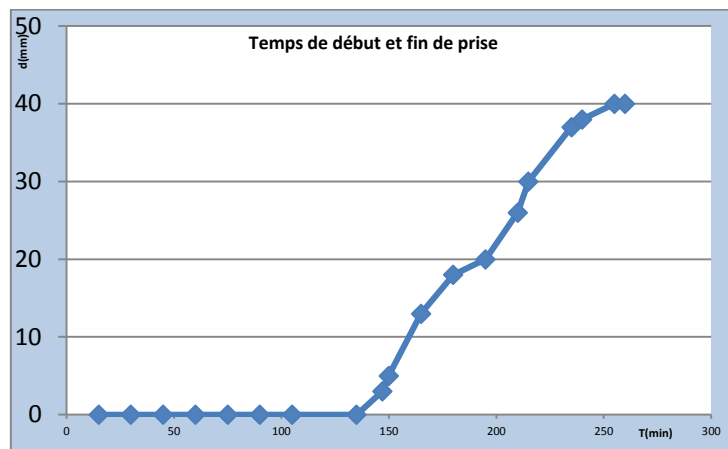


Figure II.14 : Courbe de début et fin de prise

### Interprétation des résultats

On constate que le début de prise de notre ciment a commencé après 2,5h (150min) de la mise en place de la pâte dans le moule tronconique. La prise du ciment est lente. La fin de prise de ciment était après 260min.

### II.2.3. Aadjuant (plastifiant)

SIKAPLAST BV 40+ est un plastifiant réducteur d'eau pour haute résistance mécanique non chloré est prêt à l'emploi, à base de poly carboxylates modifiés.

Il permet d'obtenir des mélanges plastiques ayant de fortes résistances mécaniques à court et à long terme et des matériaux étanches.

Il est ajouté, soit en même temps que l'eau de gâchage, soit en différé dans le mélange préalablement mouillé avec une fraction de l'eau de gâchage.

### **II.2.3.1. Propriétés physico-chimique de plastifiant**

- Diminuer le rapport E/C.
- Augmenter le lump.
- Faciliter la mise en œuvre du mélange.
- Eviter la ségrégation.
- Augmenter la résistance mécanique.
- Augmenter la compacité.
- Augmenter l'imperméabilité.
- Augmenter la durabilité.

Il est utilisé à un dosage usuel de 0,3% à 1% du poids de liant selon les performances recherchées.

### **II.2.3.2. Caractéristique de l'adjuvant utilisé**

- Couleur marron.
- Sous forme de liquide.
- Densité :  $1,04 \pm 0,015$ .
- Ph : 4,71.

### **II.2.4. Eau de gâchage**

L'eau de gâchage utilisé est une eau de robinet prise au laboratoire de génie civil de l'université de Bejaia.

### **II.2.5. Sciure de bois**

La sciure de bois est un déchet qui est produit à partir d'une opération de sciage sur la matière première (le bois) avec une scie ou un autre (la coupe, le broyage...).

Le bois utilisé dans notre recherche est le bois rouge appelé aussi Pin Sylvestre est un bois tendre provenant principalement des pays scandinaves (Finlande, Norvège, Suède) et de la Russie.

Ses propriétés mécaniques et ses domaines d'application multiples (menuiserie, construction, bardage....) font de cette essence le choix préféré d'une clientèle étendue en Algérie.

### II.2.5.1. Analyse chimique de la sciure de bois

La composition chimique élémentaire résulté de l'analyse de la sciure de bois, nous a donné les valeurs représentées dans le tableau **II.10** :

## II.3. Analyse chimique de la sciure du bois

**Tableau II.10 : Analyse chimique de la sciure de bois**

Compositions chimiques	Pourcentage(%)
Cellulose	40,1
Hémicellulose	24,03
Lignine	26, 3
Cendre	4,88

### II.3.1.1. Détermination des la masses volumique de la sciure de bois

Actuellement, aucune norme n'est proposée pour la caractérisation des granulats bois. Pour déterminer les différentes masses volumiques, la norme EN 1097-6 relative à la caractérisation des masses volumiques des sables a été utilisée. Elle permet de déterminer en fonction de l'état hydrique, différentes masses volumiques à l'aide de la méthode du pycnomètre. La surface saturée sèche a été déterminée comme le décrit ladite norme décrite au **paragraphe II.3.1.5**.

La formule de la masse volumique absolue :

$$\rho_a = \rho_w \times \left( \frac{M_4}{M_4 - (M_2 - M_3)} \right) (\text{g/cm}^3)$$

$$\rho_w = 0,9988 \text{t/m}^3; M_4 = 301,14 \text{g}; M_3 = 808,91 \text{g};$$

$$\text{Donc : } \rho_A = 1,033 \text{g/cm}^3.$$

### II.3.1.2. Capacité d'absorption d'eau



✓ L'absorption d'eau dans la sciure de bois est donnée comme suite :

$$WA = 100 \times (M_1 - M_4) / M_4.$$

$$M_1 = 345,54g ; M_4 = 301,14g .$$

Donc :  $W_A = 14,64\%$ .

### II.3.1.3. Masse volumique réelle

La masse volumique réelle de la saturation de la sciure de bois est calculée avec la formule suivante:

$$\rho_r = \rho_w \times M_4 / (M_1 - (M_2 - M_3)).$$

$$\text{Avec : } M_1 = 345,54g ; M_2 = 818,97g ; M_3 = 808,91g ; M_4 = 301,14g.$$

La masse volumique réelle :

$$P_r = 0,897g/cm^3$$

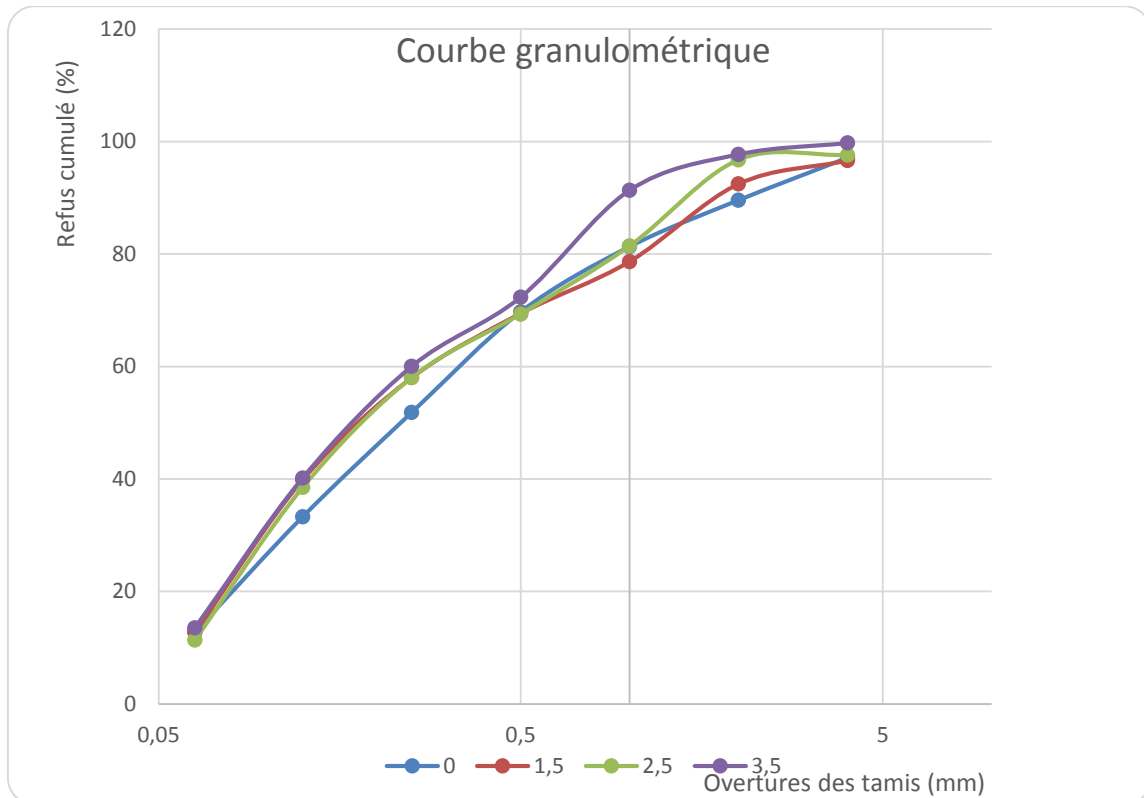
### II.3.1.4. Analyse granulométrique du mélange (sable + sciure de bois)

Un essai granulométrique du mélange de sable et sciure de bois aux différents pourcentages d'ajout. La Figure **II.15**, résume la courbe granulométrique de chaque mélange.

1<sup>er</sup> mélange = 1,5% de la sable + 98,5 sable 0/4.

2<sup>ème</sup> mélange = 2,5% de la sable + 97,5 sable 0/4.

3<sup>ème</sup> mélange = 3,5% de sable + 96,5 sable 0/4.



**Figure II.15 : Courbe granulométrique du sable aux différents pourcentages d'ajout**

### Interprétation des résultats

L'analyse granulométrique par tamisage mécanique a été effectuée selon la norme XPP18-545. Les résultats obtenus sont donnés à la Figure II.15.

La sciure de bois possède une fraction fine importante. Le pourcentage du passant au tamis 1mm

est très élevé. Ceci peut être dû à l'effet du broyage qui augmente la quantité d'éléments fins. Cependant la particule passant à travers un tamis peut avoir une longueur plus grande que l'ouverture de la maille.

#### II.3.1.5. Teneur en eau

Le résultat est donné au Tableau II.8 :

Tableau II.11 : Détermination de la teneur en eau de sciure la de bois

Essai	1	2
$M_1$ =masse de la tare	239,66	239,69
$M_2$ = (échantillon humide+ tare)	340,24	362,04
$M_h = M_2 - M_1$ (g)	100,58	122,35
$M_3$ = (échantillon sec tare) (g)	334,64	355,25
$M_{dsec} = M_3 - M_1$ (g)	94,98	115,56
$M_w = M_2 - M_3$ (g)	5,6	6,79
$W = \frac{M_2 - M_3}{M_3 - M_1} \times 100$	5,89	5,87
Moyne(%)	5,88%	

## Conclusion

Cette partie expérimentale nous a permis d'analyser les matières premières utilisées dans notre travail. Nous avons aussi donné le mode opératoire de chaque analyse. C'est une étape nécessaire avant de passer à la confection du mortier avec ajout de la sciure de bois comme substituant au sable.

*Chapitre III*  
*Résultats d'essais et*  
*interprétations*

## **Introduction**

Ce chapitre a pour objectif de caractériser l'effet des granulats de bois (sciure de bois) sur les différentes propriétés d'un matériau cimentaire.

L'étude des propriétés mécaniques pourrait permettre de déterminer le taux de granulats de bois critique au-delà duquel les propriétés mécaniques des matériaux cimentaires sont fortement influencées. La norme NF EN 771-3/CN fixe les résistances mécaniques minimales des blocs de maçonnerie en fonction de leurs usages. Les résistances mécaniques obtenues seront comparées aux résistances minimales normatives (résistances variant de 2 à 8 MPa).

Nous allons donc présenter les caractéristiques physiques, mécaniques et thermiques des échantillons de mortier aux différents pourcentages à considérer. En outre, la formulation du mortier et les modes opératoires et interprétations des résultats des différents essais réalisés seront donnés.

### **III.1. Formulation du mortier avec ajout**

Afin d'étudier l'efficacité du taux de remplacement de la sciure de bois, quatre mélanges ont été confectionnés en masse en fonction des pourcentages d'ajouts (0%, 1.5%, 2.5% et 3.5%).

Les mesures de l'ensemble des essais ont été prises aux différents âges à savoir : 03, 07, 14, 21 et 28 jours; afin de voir l'évolution de chaque caractéristique en fonction du temps.

La formulation des mortiers est réalisée sur la base de:

- Un rapport Eau/Ciment = 0,5 et un rapport Sable/Ciment = 3
- Un dosage en ciment calculé constant pour tous les mélanges,  $C=450\text{kg/m}^3$  de mortier.
- des substitutions du sable par la sciure de bois avec différents pourcentages massique de : 1.5, 2.5 et 3.5%.

#### **III.1.1. Essais préliminaires**

Pour la confection des échantillons de mortier, nous avons effectué plusieurs essais préliminaires afin de statuer sur le pourcentage d'eau et du plastifiant à prendre en compte.

Tout d'abord nous avons fixé les pourcentages d'ajouts comme suit : 4,5 %; 3.5% ; 2,5%, et 1.5%. Et vue, la grande absorption d'eau de la sciure de bois, nous avons opté

d'annuler la série de 4.5% d'ajout pour éviter l'augmentation du rapport E/C et du pourcentage de plastifiant exagérés. L'échantillon préliminaire confectionné avec 4.5% d'ajout a été tout de même conservé pour les essais mécaniques à 28 jours.

Les différents mélanges préliminaires étaient fixés comme suit et l'état de la texture du mélange est montré aux Figures III.1-5.

#### ● Mélange 1

E/C = 0.5, S/C = 3, 1.5% d'ajout, plastifiant = 0.5%

- 40g du ciment,
- 120g du mélange (Sable + Sciure de bois) soit (118,2g du sable + 1,8g de la sciure du bois)
- 20 d'eau de gâchage,



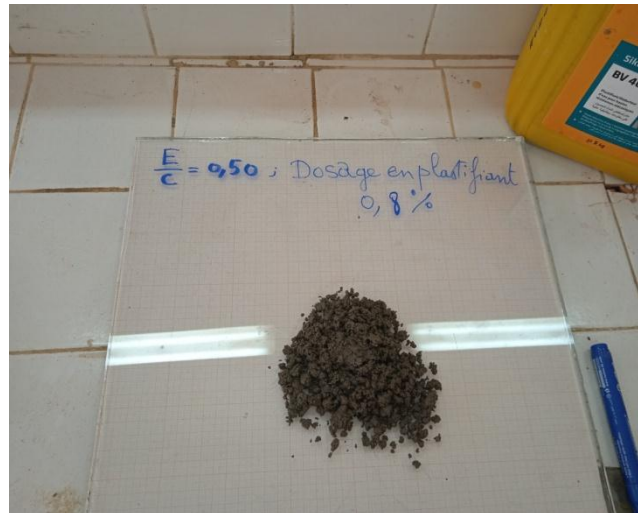
Figure III.1 : Mélange 1

**Résultat :** Patte dur difficile à rassembler, on augmente le dosage en plastifiant.

#### ● Mélange 2

E/C = 0.5, S/C = 3, 1.5% d'ajout, plastifiant = 0.8%

- 40g du ciment,
- 120g du mélange (Sable + Sciure de bois) soit (118,2g du sable + 1,8g de la sciure du bois)
- 20g d'eau de gâchage,



**Figure III.2 : Mélange 2**

**Résultat :** Patte encore dur et difficile à rassembler. On augmente le rapport  $E/C=0,6$  et on maintient le dosage en plastifiant à 0,8%.

● **Mélange 3**

$E/C = 0.6$ ,  $S/C = 3$ , 1.5% d'ajout, plastifiant = 0.8%

- 40g du ciment, 120g du mélange (Sable + Sciure de bois) soit (118,2g du sable + 1,8g de la sciure du bois)
- 24g d'eau de gâchage,



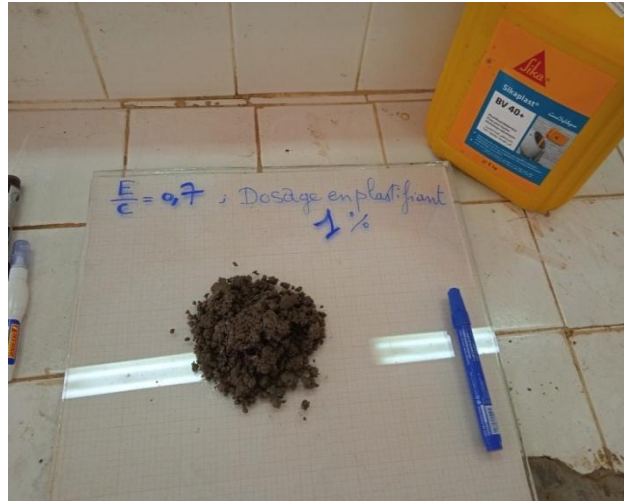
**Figure III.3 : Mélange 3**

**Résultat :** Patte consistante maniable. On fait les mêmes essais pour le plus grand pourcentage 4,5% d'ajout.

**● Mélange 4**

$E/C = 0.7$ ,  $S/C = 3$ , 4.5% d'ajout, plastifiant = 1%

- 40g du ciment,
- 120g du mélange (Sable + Sciure de bois) soit (114,6g du sable + 5,4g de la sciure de bois),
- 24g de l'eau de gâchage,



**Figure III.4 : Quatrième essai.**

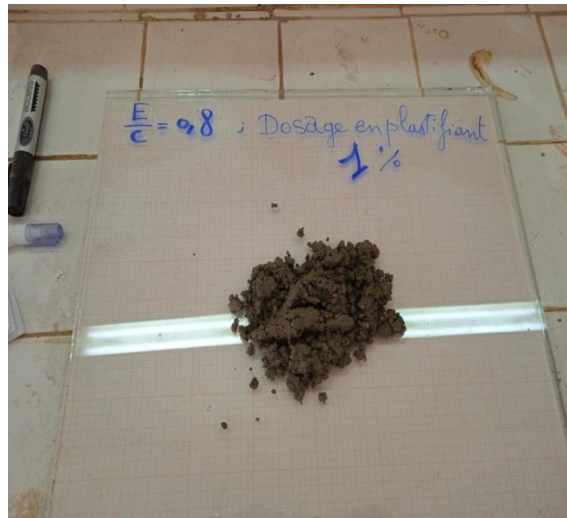
**Résultat :** patte dur difficile à rassembler et peu consistante vue la grande absorption d'eau par la sciure de bois. On augmente le rapport  $E/C$  à 0,8 et on maintient le pourcentage de dosage en plastifiant à 1% fourchette maximale.

**● Mélange 5**

$E/C = 0.8$ ,  $S/C = 3$ , 4.5% d'ajout, plastifiant = 1%

- 40g du ciment,
- 120g du mélange (Sable + Sciure de bois) soit (114,6g du sable + 5,4g de la sciure de bois)
- pour 4,5% d'ajout.
- 24g d'eau de gâchage.





**Figure III.5 : Mélange 5**

**Résultat :** malgré l'augmentation du pourcentage de dosage en plastifiant en parallèle avec l'augmentation du rapport E/C à 0,8, la pâte reste toujours difficile à manier. Nous avons donc décidé de diminuer le pourcentage d'ajout à 3.5% pour préserver une bonne consistance avec moins d'apport en eau et en plastifiant.

### III.1.2. Compositions de mortiers des différentes séries

Quatre séries d'échantillons ont été retenues et préparées pour les essais selon le pourcentage d'addition de résidu. La série 01 est le mortier standard (0% d'ajout) qui servira de témoin. Il est confectionné avec un rapport E/C=0,5 et un taux d'adjuvant (plastifiant) de 0,4%. Les séries 2, 3 et 4 contiennent des additions de résidu de 1.5%, 2.5%, 3.5% respectivement.

Ils sont obtenus en fixant le rapport E/C=0,6 et en augmentant le pourcentage d'adjuvant pour améliorer la maniabilité du mélange (étant donné de l'importance du coefficient d'absorption d'eau de la sciure du bois par rapport au sable. Ceci est confirmé par le test d'absorption d'eau du sable et de la sciure de bois donné au chapitre II). Les différentes compositions sont données au Tableau **III.1**.

Tableau III.1 : Composition des différentes de mortier

Série	E/C (%)	Plastifiant (%C)	Sciure de bois (g)	Sable (g)	Ciment (g)	Eau en (g)	Plastifiant (g)
01 (0%)	0,5	0.4	0	1350	450	225	1,8
02 (1.5%)	0,6	0.5	20,25	1329,75	450	270	2,25
03 (2.5%)	0,6	0.65	33,35	1316,25	450	270	2,92
04 (3.5%)	0,6	0.8	47,25	1302,75	450	270	3,6

### III.1.3. Préparation des échantillons

La confection des échantillons a été effectuée à l'aide d'un malaxeur (Figure III.6) décrit par la norme EN 196-1. Ce malaxeur est muni d'une cuve de 5 litres de contenance et d'une pale de malaxage pouvant tourner à 2 vitesses (dites lente et rapide) en faisant 140 et 285 tr/min. La préparation du mortier se fait comme suit :

- Introduire le ciment et le sable dans la cuve de malaxeur.
- Ajouter la quantité de la sciure de bois déjà mesurée.
- Verser 2/3 de la quantité d'eau choisie dans le mélange en un temps compris entre 5 et 10 secondes.
- Mettre immédiatement le malaxeur en marche à vitesse lente pendant 90 secondes, et ajouter simultanément le 1/3 de l'eau restée contenant une quantité considérable d'adjuvant. (On a séparé la quantité d'eau en deux pour éviter l'absorption de l'adjuvant par la sciure de bois).
- Arrêter la machine pendant 15 secondes, mélanger manuellement le mortier avec une truelle.
- Remettre le malaxeur en marche pour une durée de 90 secondes à vitesse lentes.



**Figure III.6: Malaxeur normalisé.**

Les essais sont effectués sur des éprouvettes prismatiques en mortier de dimensions  $(4 \times 4 \times 16)$  cm<sup>3</sup>, à raison de 6 éprouvettes par essai et compactés mécaniquement à l'aide d'une table à choc (Figure III.7). Les moules ont été couverts de film plastique et stockés dans l'environnement du laboratoire (Figures III.8-9). Après 24 heures, les échantillons ont été démoulés et conservés jusqu'à la période de l'essai dans l'eau à une température de  $20 \pm 1$  °C (Figure III.10) pour assurer la bonne hydratation du ciment.



**Figure III.7 : Table à choc.**



**Figure III.8: Echantillons arasés.**



Figure III.9: Éprouvettes recouvertes



Figure III.10: Éprouvettes conservées dans d'un film plastique pendant 24h l'eau

## III.2. Résultats des essais physiques et interprétations

### III.2.1. Porosité

La porosité est définie comme étant le volume total de l'ensemble des vides exprimée en pourcentage du volume global de la pâte de ciment hydraté. Elle est l'un des principaux facteurs influant sur la résistance à la compression.

La porosité est calculée en utilisant l'équation (1) et les résultats sont donnés au Tableau III.2.

Donc on a:

$$P (\%) = [(M_{\text{air}} - M_{\text{sèche}}) / (M_{\text{air}} - M_{\text{eau}})] \times 100 \dots \dots \dots (1)$$

Avec:

$M_{\text{eau}}$  : Pesée hydrostatique (dans l'eau)

$M_{\text{air}}$  : Pesée humide (dans l'air)

$M_{\text{sèche}}$  : Pesée sèche

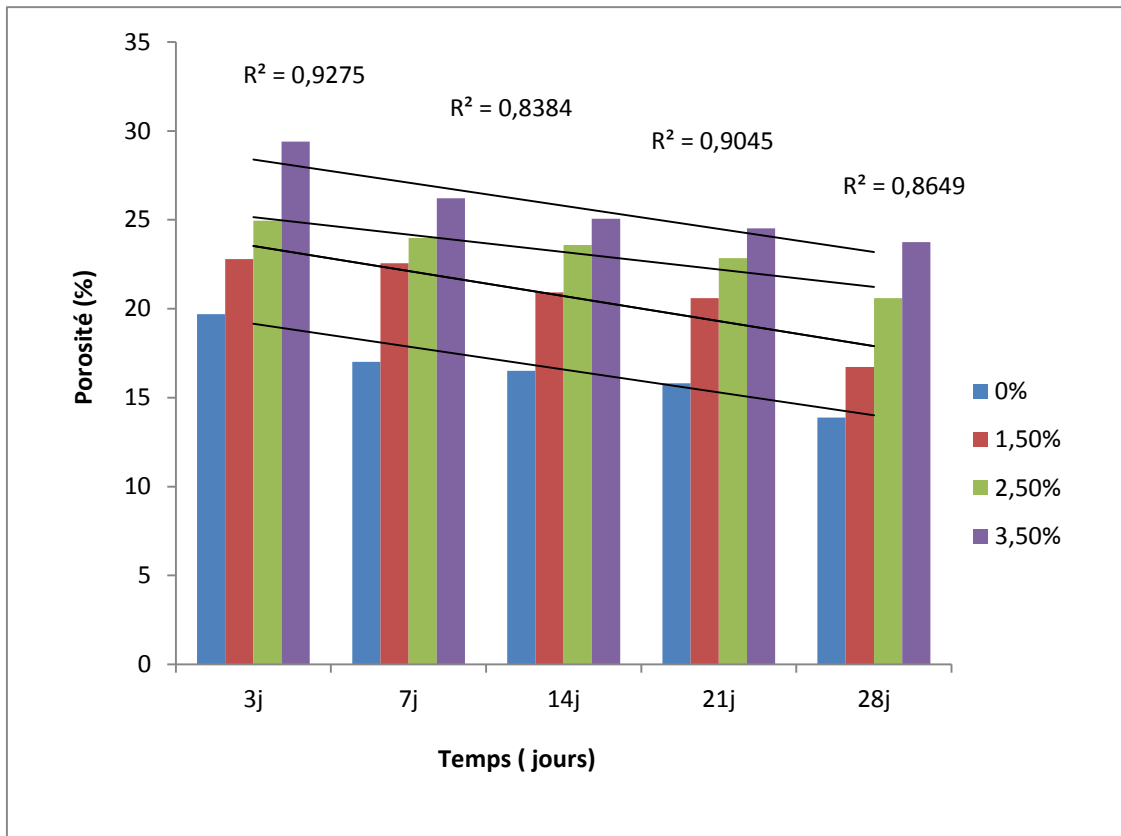
La pesée hydrostatique  $M_{eau}$  est la masse des spécimens immergés dans l'eau suspendue avec un fil dans un bac (Figure III.11). Procéder à la pesée des différentes masses des éprouvettes à tester et enregistrer leurs valeurs. Les résultats sont présentés dans le Tableau III.2



Figure III.11: Dispositif de la pesée hydrostatique

Tableau III.2 : Résultats des mesures de la porosité

Age Dosage	Porosité (%)				
	3jours	7jours	14jours	21jours	28jours
0%	19,7	17,02	16,51	15,80	14,88
1,5%	22,79	22,56	20,92	20,60	16,73
2,5%	24,95	23,98	23,58	22,84	20,6
3,5%	29,41	26,21	25,06	24,52	23,74



**Figure III.12: Evolution de la porosité en fonction du pourcentage d'ajout et de l'âge des échantillons**

### Interprétations des résultats

En analysant les résultats représentés par la Figure III.12, nous constatons que le mortier témoin a une porosité moindre par rapport aux autres mélanges, ce qui signifie que le mortier témoin est moins poreux que le mortier contenant la sciure de bois.

L'incorporation de la sciure de bois à 1.5%, 2.5M% et 3.5% augmente respectivement la porosité de 12.43%, 38.44% et 59.54% et ce à l'âge de 28 jours. Cette augmentation peut être expliquée par la porosité importante de la sciure de bois et par l'augmentation de la quantité de bulles d'air dans le mélange.

### III.2.2. Masse volumique apparente

La masse volumique apparente est calculée en utilisant l'équation (2).

Les échantillons sont séchés préalablement, à l'étuve jusqu'à l'obtention d'une masse sèche constante. Par la suite, ils sont immergés dans l'eau et laissés à saturation durant 24 h. Après ce temps d'immersion, les échantillons sont pesés sous l'eau ( $M_{\text{eau}}$ ) et hors de l'eau ( $M_{\text{air}}$ ). Pour finir les échantillons sont séchés dans une étuve puis pesés ( $M_{\text{sec}}$ )

$$P (\%) = [(M_{\text{sec}})/(M_{\text{air}}-M_{\text{eau}})] \times \rho_{\omega} \dots \dots \dots (2)$$

Tableau III.3 : Résultats des mesures de masse volumique apparente.

Age Dosage	Masse volumique apparente (g/cm <sup>3</sup> )				
	3jours	7jours	14jours	21jours	28jours
0%	2.19	2.23	2,24	2.26	2,28
1,5%	1.84	1.86	1,87	1.99	2.00
2,5%	1.67	1.69	1.74	1.78	1.79
3,5%	1.52	1.58	1,60	1.63	1,66

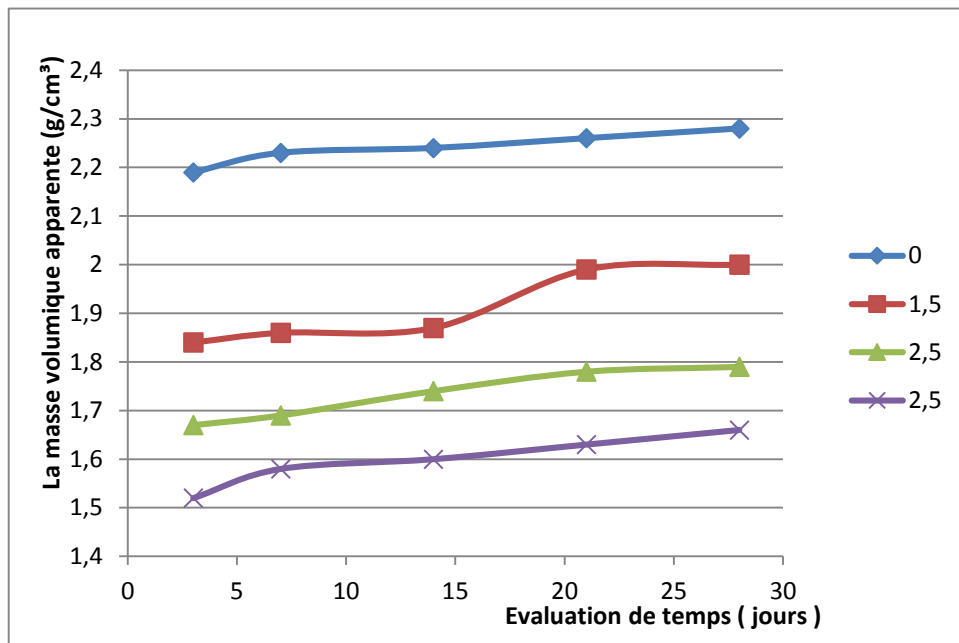


Figure III.13 : Courbe de la masse volumique apparente

**Interprétations des résultats**

En analysant les résultats présentés par la Figure III.13, on remarque que la masse volumique du mortier diminue en augmentant le pourcentage de la sciure de bois et ce quelque soit le pourcentage d'ajout. Pour l'incorporation de 1.5% à 3.5% de sciure de bois, on observe une diminution de la densité d'environ 12.28% à 25.87%. Cette diminution de la densité peut être attribuée à la faible densité des granulats de bois et à la porosité au sein du mélange. Le facteur prépondérant étant la faible densité des granulats de bois. La densité de

ces granulats étant plus faible que celle du sable, elle contribue fortement à la chute de la densité du composite.

**III.2.3. Absorption d'eau**

Certains matériaux granulaires peuvent présenter une porosité interne qui est préjudiciable, en particulier, à la résistance au gel des mortiers et des bétons.

Cette manipulation a pour objectif de déterminer le pourcentage d'absorption d'eau des éprouvettes à partir de différents pourcentages d'ajouts.

Le mode opératoire suit les étapes suivantes:

- Conserver les éprouvettes de mortiers préparés dans l'eau pendant les différents âges à savoir : 03, 07, 14, 21 et 28 jours. (Figure III.14)
- Retirer les éprouvettes après avoir atteint l'âge considéré.
- Sécher les éprouvettes avec le chiffon ensuite les peser et noter les pesées humides  $M_h$ .
- Mettre les éprouvettes dans l'étuve pendant 24h à 105°C.
- Après 24h, peser les éprouvettes sèches et noter leurs poids  $M_s$ . (Figure III.15)
- Finalement on calcule les valeurs de l'absorption d'eau qui correspond à chaque âge en utilisant la formule (3).



Figure III.14 : Éprouvettes humides.



Figure III.15 : Éprouvettes sèches.

$$P (\%) = [(M_h - M_s) / (M_s)] \times 100 \dots \dots \dots (3)$$

Les résultats sont présentés dans le Tableau III.4.



Tableau III.4: Résultats de mesures de l'absorption d'eau.

Age Dosage	Absorption d'eau (%)				
	3jours	7jours	14jours	21jours	28jours
0%	8,46	7,98	7,98	6,84	6,37
1,5%	12,82	11,85	11,45	10,30	9,35
2,5%	13,69	12,61	12,39	11,35	11,28
3,5%	14,52	13,17	13,39	12,40	11,80

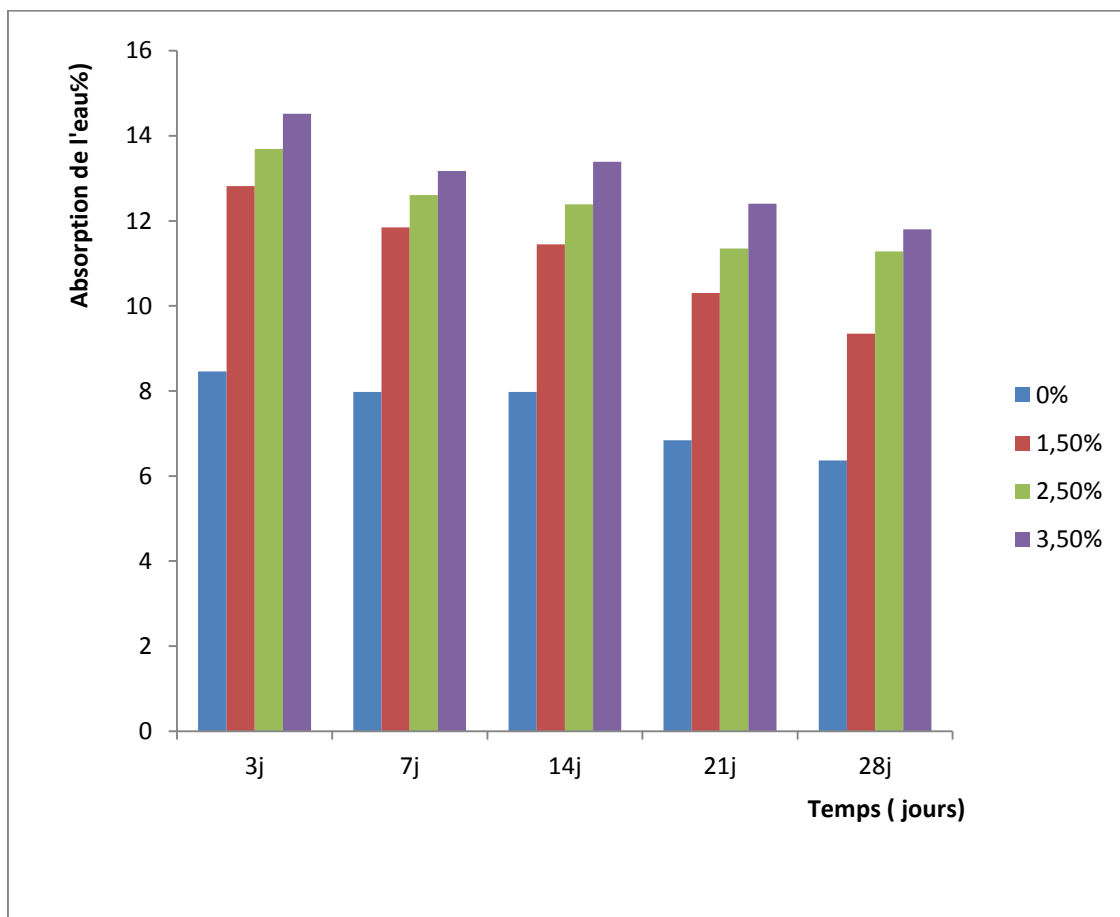


Figure III.16: Absorption d'eau.

Interprétation des résultats

La Figure **III.16** montre que le taux d'absorption d'eau augmente en fonction du pourcentage d'ajout. Cela s'explique par l'augmentation de la porosité.

### III.2.4. Coefficient d'absorption d'eau capillaire

Le coefficient d'absorption d'eau par capillarité est mesuré sur des éprouvettes de mortier prismatiques (4×4×16) cm<sup>3</sup>, dans les conditions prescrites, à la pression atmosphérique. Après séchage jusqu'à masse constante, une face de l'éprouvette est immergée dans l'eau (de 5 mm à 10 mm de profondeur) pendant des durées spécifiques. On détermine alors l'augmentation de la masse. Le mode opératoire suit les étapes suivantes:

- Placer les éprouvettes dans le récipient (Figure **III.17**), la grande surface tournée vers le bas, d'une manière qu'elles soient immergées dans l'eau à une à une profondeur de 10mm pendant la durée de l'essai.
- Déclencher le chronomètre. Maintenir le niveau d'eau constant pendant tout l'essai.
- Retirer les éprouvettes après 10 min, essuyer leur surface avec un chiffon (Figure **III.18**), peser les éprouvettes ( $M_1$ ) et les replacer dans l'eau en maintenant la même hauteur d'immersion.
- Après 90 min, peser à nouveau les éprouvettes ( $M_2$ ) (Figure **III.19**).

L'absorption d'eau capillaire est calculée selon l'équation (4)

$$A_{AC} = (M_{T90} - M_{T10}) / (S \sqrt{60(M_{T90} - M_{T10})}) \dots \dots \dots (4)$$



Figure III.17: Éprouvettes émergées dans l'eau à 1cm de profondeur.



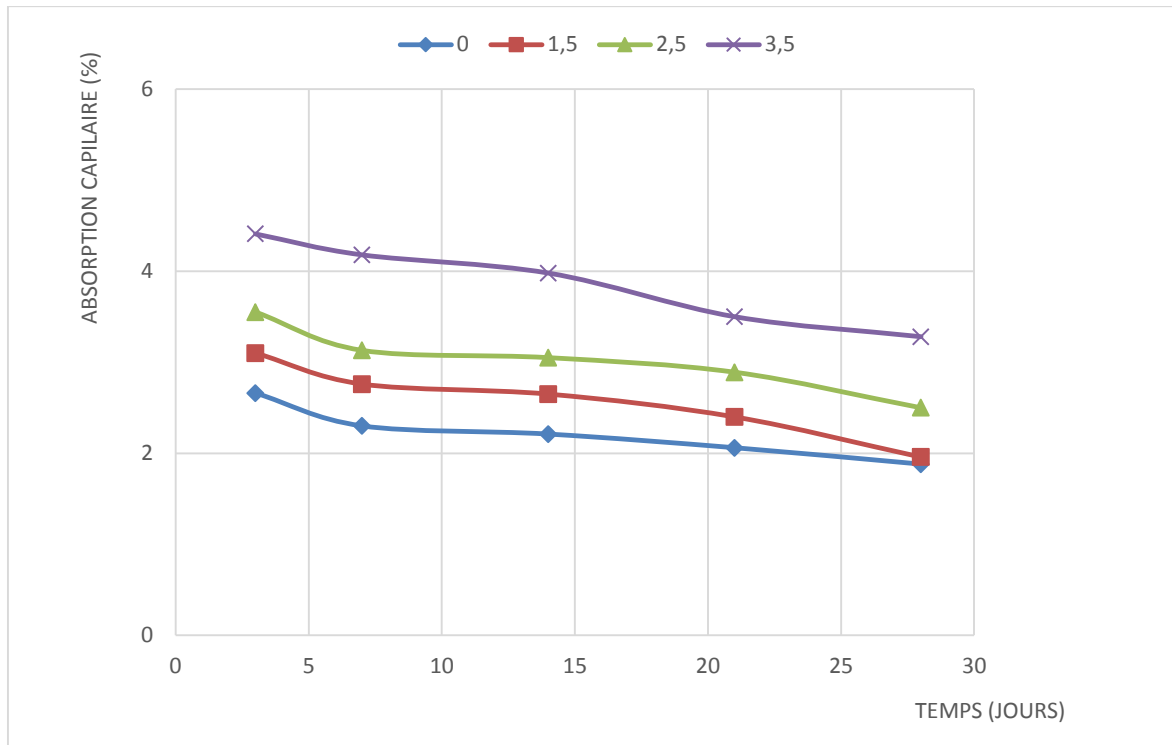
Figure III.18: Eprouvettes après 10 seconde

Figure III.19: Eprouvettes après 90 secondes.

Les résultats sont présentés dans le Tableau III.5.

Tableau III.5: Résultats des mesures de l'absorption capillaire

Age Dosage	Coefficient d'absorption d'eau (%)				
	3jours	7jours	14jours	21jours	28jours
0%	2,66	2,3	2,21	2,06	1,88
1,5%	3,1	2,76	2,65	2,4	1,96
2,5%	3,55	3,13	3,05	2,89	2,50
3,5%	4,41	4,18	3,98	3,50	3,28



**Figure III.20: Coefficient d'absorption d'eau capillaire en fonction du temps.**

### Interprétation des résultats

Nous remarquons à partir de la Figure III.20, que le mortier avec ajout de la sciure de bois absorbe plus d'eau par capillarité que le mortier témoin, et cela quel que soit l'âge.

La norme EN 771-3/CN fixe la valeur limite d'absorption d'eau par capillarité à ( $3\text{g/m}^2\text{s}$ ) des blocs utilisés pour la construction de maçonnerie exposés en milieu non couvert ou en contact avec le sol.

### III.2.5. Retrait et gonflement

Lorsque l'élément se trouve dans une atmosphère sèche, les dimensions de ce dernier diminuent ; c'est le retrait. Si l'élément se trouve dans l'eau, les dimensions de cet élément augmentent ; c'est le gonflement, ce qui entraîne l'apparition des tensions inertes.

Les mesures de retrait ont été effectuées sur des éprouvettes prismatiques ( $4\times 4\times 16$ )  $\text{cm}^3$ . Ces éprouvettes au nombre de trois par composition. Après démoulage à 24 heures nous allons mesurer la longueur initiale des éprouvettes à l'aide d'un pied à coulisse, ensuite calculer la variation de la longueur de ces dernières par rapport aux longueurs mesurées après leurs conservations dans l'eau aux différents âges.

Le retrait est calculé par la formule (5).

$$\frac{l_{\text{initiale}} - l_{\text{final}}}{l_{\text{initiale}}} \times 100 \dots \dots \dots (5)$$

Les résultats sont présentés au Tableau III.6.

Tableau III.6 : Résultats de mesures de retrait.

Age Dosage	Retrait (%)				
	3jours	7jours	14jours	21jours	28jours
0%	0,04	0,07	0,08	0,09	0,09
1,5%	0,1	0,14	0,15	0,19	0,19
2,5%	0,20	0,20	0,24	0,29	0,30
3,5%	0,35	0,38	0,40	0,40	0,45

Ces valeurs sont représentées à la Figure III.21.

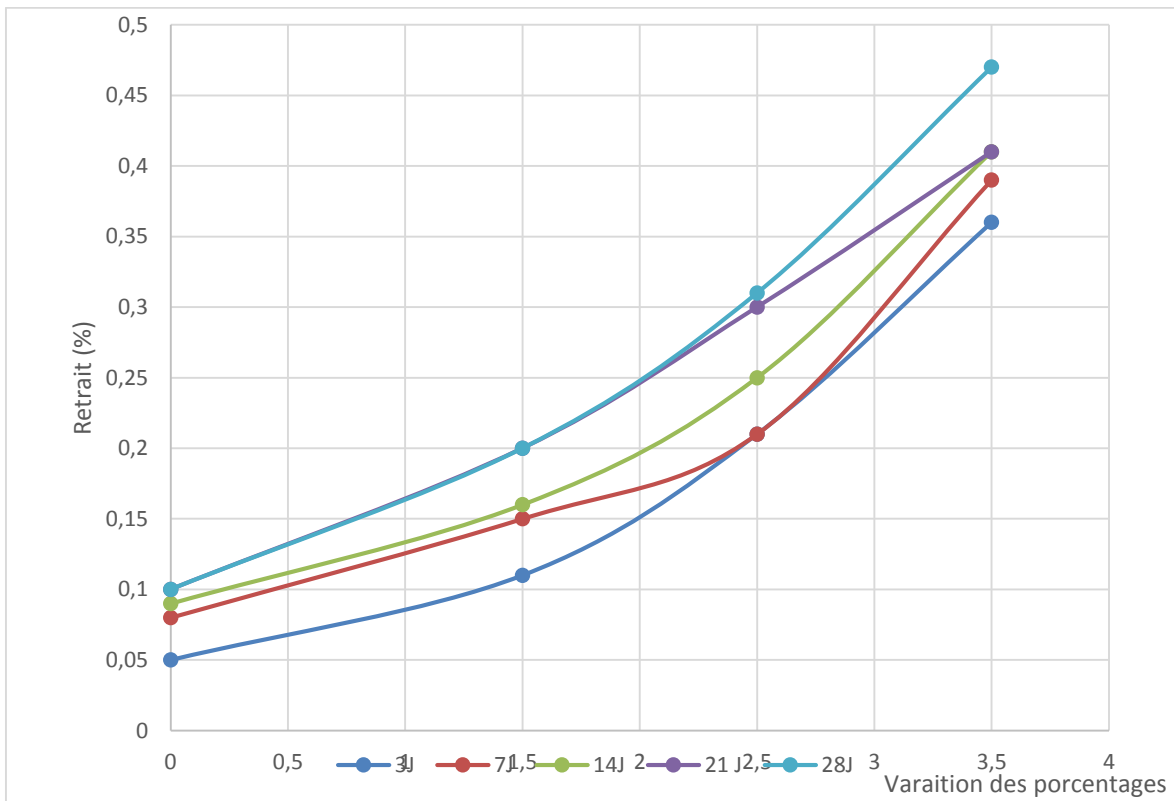


Figure III.21: Retrait en fonction du pourcentage d'ajout.

**Interprétation des résultats**

D'après les résultats de Figure III.21, le retrait augmente en fonction de l'ajout qui est dû aux vides créés par l'ajout en question. Et il diminue en fonction de l'âge; cela peut

être expliqué par l'hydratation de ciment qui provoque l'élimination d'un certain taux de pores et la densification du matériau.

### III.3. Résultats des essais mécaniques et interprétations

Les essais mécaniques sont l'étape indispensable pour accéder aux grandeurs des caractéristiques mécaniques des matériaux, par exemple la résistance à la flexion et la résistance à la compression, ce qui est utilisé dans notre recherche et pour chaque éprouvette on aura un résultat de flexion et deux résultats de compression.

Les essais de compression et de flexion sur les corps d'épreuve sont réalisés en utilisant une machine de marque PILOT (**Figure III.22**). C'est une machine universelle qui peut effectuer sans encombre la flexion et la compression. La machine est équipée d'une cellule de force maximale de 200MPa. Le système de commande intégré est doté d'un écran graphique tactile couleur intuitif de 5,1 pouces, qui fonctionne comme une tablette ce qui la rend rapide et simple à utiliser et ce qui permet une bonne acquisition de données, c'est-à-dire les diagrammes les valeurs des résistances.



**Figure III.22: Machine des essais mécaniques**

**(Compression et flexion).**

#### III.3.1. Essai à la flexion

L'essai à la flexion permet de mesurer la résistance à la rupture d'un matériau. L'éprouvette du matériau à tester de dimension  $(4 \times 4 \times 16)$  cm<sup>3</sup>; est placée sur deux appuis et l'on applique au centre de l'éprouvette une force croissante jusqu'à rupture. (Figure III.23)

- Placer l'éprouvette horizontalement dans la machine avec la face lisse.
- Appliquer un chargement verticale jusqu'à la rupture. (Figure III.24)
- On aura deux échantillons résultant gardés pour l'essai à la compression.



**Figure III.23: Essai à la flexion**

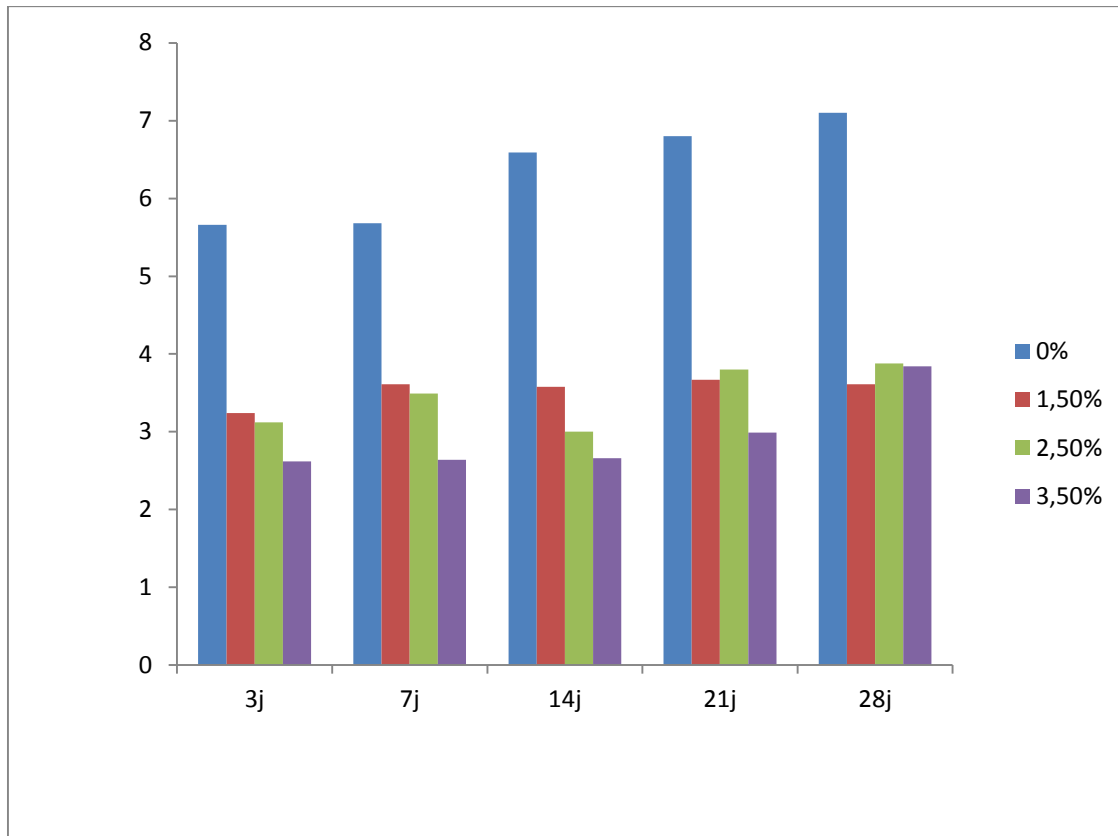


**Figure III.24: Rupture de l'éprouvette.**

Les résultats sont donnés au Tableau III.7.

**Tableau III.7 : Résultats de mesures de résistance à la flexion.**

Age Dosage	Résistance à la flexion (MPa)				
	3jours	7jours	14jours	21jours	28jours
0%	5,25	5,59	5,66	6,80	7,10
1,5%	3,24	3,58	3,61	4,08	3,67
2,5%	2,9	3,12	3,49	3,80	3,88
3,5%	2,66	2,75	2,91	3,33	3,84



**Figure III.25 : Résistance à la flexion.**

### Interprétation des résultats

La Figure **III.25** présente l'évolution des résistances à la flexion des différents mortiers formulés. D'après ces histogrammes, on constate une diminution des résistances à la flexion par rapport au mortier témoin, cette diminution est due en premier lieu à l'augmentation du rapport E/C.

La règle principale de la résistance mécanique des mortiers est directement liée au rapport E/C, c'est-à-dire un faible rapport conduit à une faible porosité, et par conséquent une résistance mécanique élevée.

### III.3.2. Essai à la compression

L'essai de compression est une référence pour qualifier la résistance mécanique d'un mortier.

La résistance à la compression consiste à mesurer par compression axiale les demi-éprouvettes issues de l'essai à la flexion.



L'échantillon est placé entre les plateaux d'une presse, à deux forces axiales opposées.

La résistance à la compression est le rapport entre la charge de rupture et la section transversale de l'éprouvette correspond à la contrainte moyenne d'écrasement sur six éprouvettes à chaque âge d'essai (3j, 7j, 14j, 21j et 28 jours).

Les demi-prismes de l'éprouvette obtenue après rupture à la traction (Figure **III.26**) seront rompus à la compression comme indiquée sur les Figures **III.27** et **III.28**.



**Figure III.26 : Demi-prismes d'éprouvettes.**



**Figure III.27: Essai de compression**

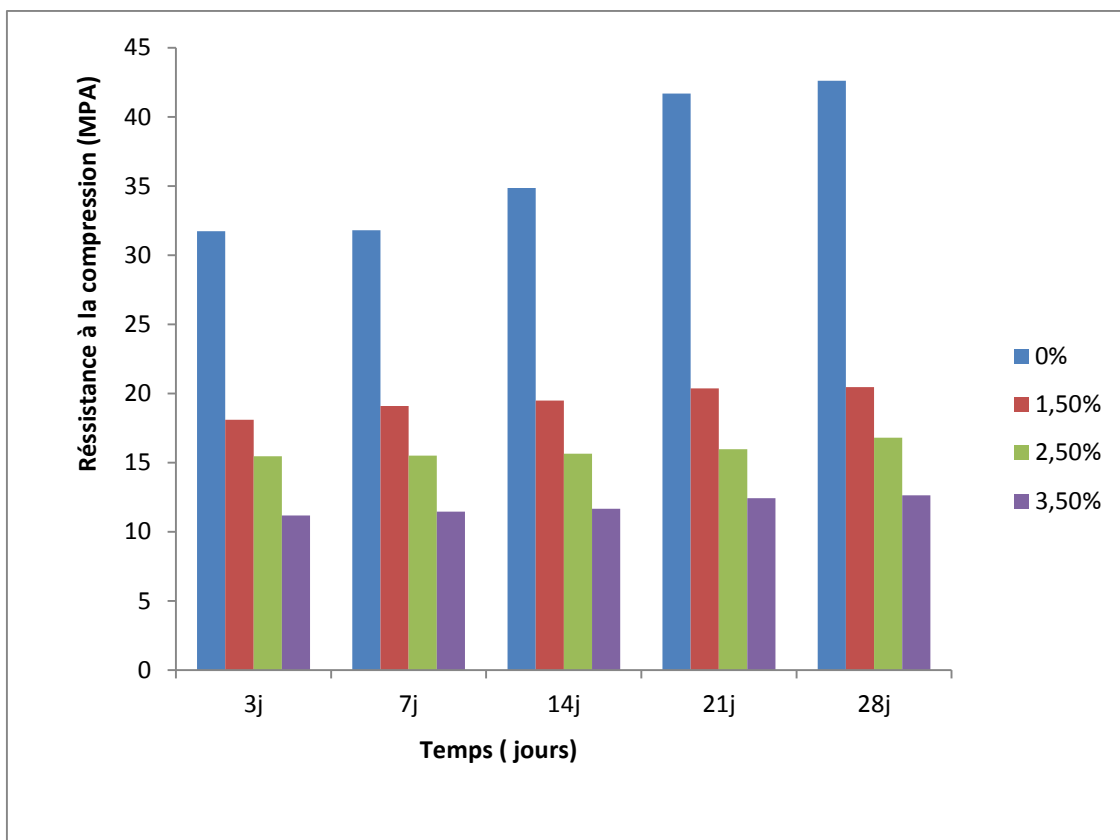


**Figure III.28: Rupture d'éprouvette**

Les résultats sont présentés dans le Tableau III.8.

**Tableau III.8: Résultats de mesures de résistances à la compression.**

Age Dosage	Résistance à la compression (MPa)				
	3jours	7jours	14jours	21jours	28jours
0%	31,74	31,79	34,86	41,68	42,6
1,5%	18,10	19,09	19,49	20,37	20,45
2,5%	15,46	15,50	15,65	15,97	16,80
3,5%	11,80	11,45	11,66	12,43	12,63



**Figure III.29: Résistance à la compression.**

### Interprétation des résultats

Nous notons que plus le pourcentage de sciure de bois dans le mélange augmente, plus que la valeur de la résistance à la compression diminue. Les mélanges sans sciure de bois (mélanges témoins) donnent les meilleurs résultats des résistances à la compression ce qui est normal.

Les chemins de rupture présentés sur la Figure III.30 Passent par la zone de contact de la sciure de bois avec le ciment contrairement à l'échantillon témoin qui a une rupture droite, ce qui marque une mauvaise adhérence.



**Figure III.30: Chemin de rupture d'échantillon avec 4,5% d'ajout.**

La résistance à la compression du mortier témoin augmente au cours du temps de 31.7 MPa à l'âge de 3 jours pour atteindre 42.6 MPa à l'âge de 28 jours. Soit une augmentation de 34.22%. L'incorporation de sciure de bois engendre une chute de la résistance en compression de ce mortier. Cette chute par rapport à l'échantillon témoins est plus ou moins importante selon le taux de substitution et l'âge de l'échantillon. Pour des taux de substitution de 1.5% à 3.5%, la chute de résistance maximale à 3 jours est d'environ 43%, 43% et 51.3% respectivement. À 28 jours cette différence de chute de résistance continue à augmenter pour atteindre 52%, 60.6% et 70.35%.

La chute de résistance à la compression est liée au mauvais ancrage sciure de bois/matrice cimentaire, à la faible densité du bois et à l'augmentation de la porosité des composites causée par la forte porosité des granulats de bois.

### **III.3.3. Conductivité thermique et chaleur spécifique**

Cette étude consiste à examiner l'effet de l'ajout de la sciure de bois sur la conductivité thermique des différents mortiers confectionnés. Pour la mesure de cette caractéristique, nous avons utilisé un CT-mètre à fil Chaud gardé. C'est un appareil aisément transportable. Il a été élaboré dans le but de permettre d'évaluer avec précision, les caractéristiques de résistance thermique d'un certain nombre de matériaux tels que la brique, les mortiers, le bitume et le béton.

Le CT-mètre se compose de deux éléments qui sont l'organe de commande, chargé de générer la puissance de chauffe et d'interpréter la courbe d'élévation de température induite dans le matériau à tester ; et la sonde chargée de transmettre la puissance de chauffe et de recueillir la température induite.

Une sonde en anneau est destinée à s'insérer entre deux surfaces plan des échantillons à mesurer (Figure III.31 et III.32). Ce type de sonde permet de réaliser les mesures de conductivité thermique et chaleur spécifique.

Les essais sont effectués aux échantillons à 28 jours de cure et les résultats sont présentés dans le Tableau III.9.



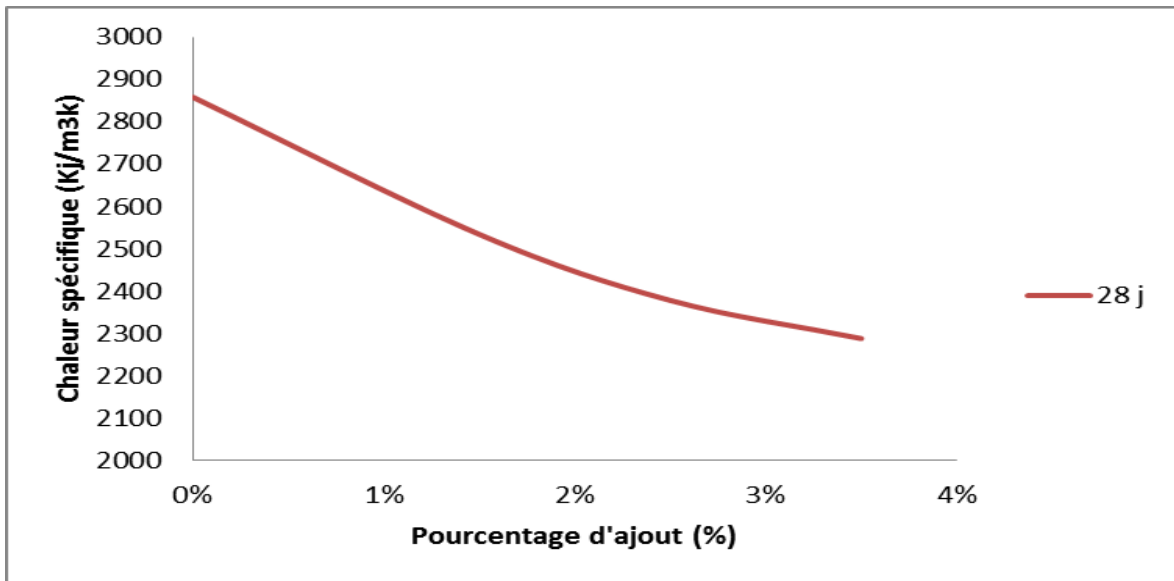
Figure III. 31: Éprouvettes étuvées pendant 24h.



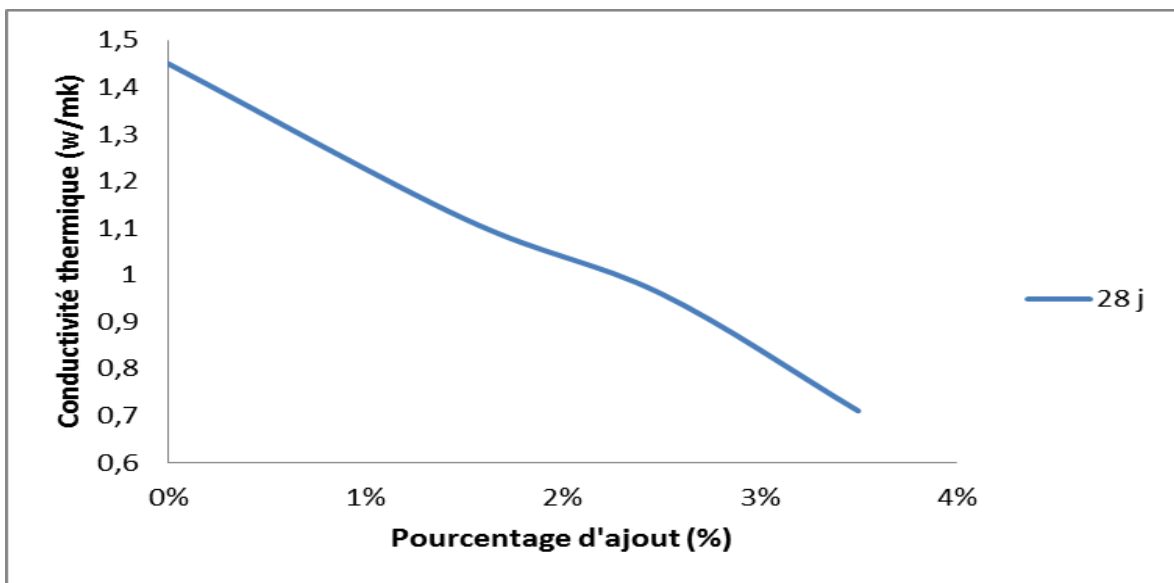
Figure III.32: Essai au CT-mètre.

Tableau III.9 : Résultats de la conductivité thermique

Age / Dosage	28 jours	
	Conductivité thermique (w/mk)	Chaleur pécifique (Kj/m <sup>3</sup> k)
0%	1,45	2858
1,5%	1,12	2534
2,5%	0,96	2378
3,5%	0,71	2288



**Figure III.33: Diminution de la conductivité thermique en fonction du pourcentage d'ajout**



**Figure III.34 : Diminution de la chaleur spécifique en fonction du pourcentage d'ajout**

### Interprétation des résultats

D'après les résultats du comportement thermique obtenus dans les Figure **III.33** et **III.34**, on voit bien que la conductivité thermique et la chaleur et la chaleur spécifique ont le même comportement. En augmentant le pourcentage de la sciure de bois, la conductivité thermique et la chaleur spécifique diminuent progressivement. Cela est dû effectivement à l'augmentation de la porosité dans les échantillons avec ajout.

## Conclusion

A travers les résultats des différents essais physiques, mécaniques et thermiques, qui ont été réalisés sur les mortiers avec ajout de la sciure de bois à des pourcentages variés (0%, 1,5%, 2,5%, 3,5%), on peut retirer les conclusions suivantes:

- La porosité, l'absorption d'eau et le coefficient d'absorption capillaires augmentent en fonction du pourcentage d'ajout.
- La résistance à la flexion et à la compression diminuent en augmentant l'ajout de la sciure de bois, mais ça reste des valeurs acceptables pour un mortier.
- Le comportement thermique s'améliore avec l'augmentation de pourcentage d'ajout. Ce qui assure le confort thermique.
- Le retrait augmente progressivement à l'augmentation du pourcentage d'ajout qui peut être négligeable.
- L'ajout de la sciure de bois contribue à la diminution de la masse volumique apparente. Ceci permet d'alléger le mortier.

## *Conclusion Générale*

## *Conclusion Générale*

---

Les déchets constituent un vrai problème mondial à cause des effets néfastes qu'ils peuvent engendrer sur les écosystèmes, la santé humaine et l'économie d'un pays. En effet, les déchets représentent l'un des dangers les plus graves pour l'environnement surtout par la pollution de l'eau, du sol et de l'air, ce qui impose leur bonne gestion. Cette dernière nécessite une coopération et une coordination continue entre toutes les parties prenantes, les politiques, les économistes et les scientifiques.

C'est dans ce contexte que s'inscrit le présent travail. Le but principal de cette petite recherche est d'évaluer expérimentalement l'effet de l'ajout de la sciure de bois sur les propriétés de mortier à savoir les résistances mécaniques et physico-thermique. Pour cela quatre mélanges ont été confectionnés avec des pourcentages de 0% 1,5%, 2,5% et 3,5%.

L'analyse des résultats expérimentaux a permis de conclure que :

- L'incorporation de la sciure de bois à 1,5%, 2,5% et 3,5% augmente respectivement la porosité de 12,43%, 38,44% et 59,54% à l'âge de 28 jours. Cette augmentation est causée par la porosité importante de la sciure de bois et par l'augmentation de la quantité de bulles d'air dans le mélange.
- La masse volumique apparente a observé une diminution de 12,28% à 25,87% selon les pourcentages d'ajout (1,5% à 3,5%). L'effet prépondérant de la chute de densité revient à la faible densité des granulats de bois. La densité de sciure de bois étant plus faible que celle du sable.
- L'incorporation de sciure de bois engendre une chute de la résistance en compression de ce mortier, cette chute par rapport à l'échantillon témoin est plus au moins importante selon le taux de substitution et l'âge de l'échantillon. Cette chute de résistance continue à augmenter pour atteindre 52%, 60,6% et 70,35% pour les pourcentages d'ajout de 1,5%, 2,5% et 3,5% et ce pour les 28 jours de cure. La chute de résistance à la compression est liée au mauvais ancrage sciure de bois et matrice cimentaire, à la faible densité de bois et à l'augmentation de la porosité.
- La mauvaise adhérence entre la sciure de bois et la matrice cimentaire est constatée à travers les chemins de rupture qui passent par la zone de contact de ces derniers. Par contre le chemin de rupture de l'échantillon témoin est droit.
- La sciure de bois a une tendance d'absorber de grandes quantités d'eau. Sur ce le pourcentage d'ajout est fixé 3,5% et nous avons utilisé un plastifiant pour palier le problème de maniabilité.



## *Conclusion Générale*

---

- La conductivité thermique et les chaleurs spécifique ont le même comportement, en augmentant le pourcentage de la sciure du bois (1,5%, 2,5%, 3,5%), le comportement thermique diminue progressivement, ce qui assurer le confort thermique.
- En raison des faibles pourcentages utilisés, il est recommandé de traiter l'ajout pour pouvoir prendre de pourcentages plus élevés.

En résumé de ce qui vient d'être cité, l'ajout de la sciure de bois améliore la capacité d'isolation thermique, tout en réduisant sa résistance à la compression. Il est néanmoins possible d'assurer un compromis entre la résistance à la compression et la conductivité thermique pour l'obtention d'un matériau ayant une fonction isolante et une fonction structurelle.

Afin de tirer des conclusions encore plus précises, il serait intéressant en guise de perspectives:

- D'utiliser la table à secousse pour déterminer exhaustivement la teneur en eau de chaque mélange (l'essai de consistance des mortiers).
- De traiter l'ajout pour diminuer l'effet de non compatibilité de l'ajout végétal avec la matrice cimentaire.

.

## *Référence bibliographiques*

## *Référence bibliographiques*

---

- [1]. Directions générales de l'industrie des technologies de l'information et des postes ,SESSI:service des études et des statistiques industrielles 20, avenue de Ségur-75353 Paris 07 SP).
- [2] Ressource pédagogique tp.demain est la plateforme de formation et de découverte des travaux publics imaginée par la Fédération Nationale des Travaux Publics.
- [3]. Groupe des ingénieurs « Mortiers et bétons hydraulique, matériaux de construction », Edition, Eyrolles, Paris, 1997.
- [4]. Stéphane B, Arnaud C, actes du colloque « décors et espaces architectural en Gaule : mosaïques, peintures, stuc, entre l'Antiquité et le haut moyen Âge » (Toulouse, 9-12 octobre 2008), Aquitania ...,2011.
- [5]. MANSOUR, A. Comportement des Mortiers à Base de Déchets d'Aluminium et Méta Kaolin (Doctoral dissertation, Univ M'sila 2020).
- [6]. GCI712 « Durabilité et réparation du béton », département Génie civil, Université de Sherbrooke-Canada, Avril, 2009.
- [7]. GCI712 « Durabilité et réparation du béton », département Génie civil, Université de Sherbrooke-Canada, Avril, 2009.
- [8]. GC712 « Durabilité et répartition du béton », département Génie Civil, Université de sherbrooke-Canada, Avril 2009).
- [8]. ISHAK, M. « Improve clinker reactivity-impact on cement performance », université de biskra, il est le constituant principal du ciment.
- [9].Gossa.S,Benaoun.M, mémoire de fin d'études « etude des performances de compactage d'un mélange Tuf-Timchemt pour assises de chaussée, département génie civil, université kasdi merbah Ouargla, 2020.
- [10].Catherine F.M, spécialité « thèse en sciences et techniques du déchet, institut national des sciences appliquées de Lyon ,2003.
- [11]. Jean.F, Georges, « Nouveau Guide Du Béton Et Ses Constituants », 8<sup>ème</sup> édition, Eyrolles22/11/2007.

## *Référence bibliographiques*

---

- [12]. Mr .z . Benghazi cours MDS chapitre 3 sur les ciments université technologie géo matériaux- Alger.
- [13]. Duplain.R, Lancho n .R, Saint, J-C « granulats, ciment et béton » édition paris 2004.
- [14].Tallah .B « Cours de technologie des matériaux de constructions 1 », université de Skikda2020.
- [15].Construction moderne/annuel ouvrages d’art 2014, page 18.
- [16]. Construction moderne/ Annuel ouvrages d’art, page 16.
- [17].Cours de Arezki .S, « travaux pratique & détermination de la masse volumique », Université de Bejaia.
- [18].Dupain.R, Lanchon,R,Saint-Arroman.J.C, « Granulats,Sols, Ciment et Béton »,Édition A.Capliez,Paris2004.
- [19].Dictionnaire professionnel du BTP édition eyrolles.
- [20].Détriché,C.H.,Grandet,J.,&Maso,J.C.(1983) .dessiccation des mortiers d’enduits matériaux et construction, 16,251-258.
- [21]. (décrites dans la norme NF P 15-201-1 et 2 (DTU 26.1).
- [22].Gibert-Clarey,Centre d’information sur le ciment et ces utilisations, conception et réalisation, à Tours,2005.
- [23]. Malhotra et mehta 1996.
- [24]. Le petit larousse, 2010.
- [25].La norme européenne EN 206-1 (NF P18-325-1), béton partiel :« spécification, performances, production et conformité ».
- [26].4éme Séminaire sur les technologies du béton, Le béton : durabilité, solutions et innovation le 20-21 octobre 2007 hotel hilton-alger.
- [27]. Cours université de Sherbrooke, les ajouts dans le ciment, chapitre 7.
- [28]. Christophe.C.H, « l’industrie du ciment ». Ecole thématique « matériaux cimentières », association technique de l’industrie des liants hydrauliques, du 21 au 26 septembre.

## *Référence bibliographiques*

---

- [29]. Rober.L.Day, « Pozzolans for use in low-cost », report préparé pour « the international development research centre Ottawa, canada », département de génie civil, université de Calgary, Septembre, 1990.
- [30].Banni.R, « Effet des ajouts minéraux actifs et adjuvant fluidifiant sur les propriétés rhéologiques et mécaniques des bétons et leurs méthodes de formulation de mélange, 1990.
- [31].A.Kerbouche,M.Mouli,L.Laoufi,Y.Senhadji,S.Benosmane :« influence des ajouts minéraux sur les résistances mécaniques des mortier », ENSET Oran 2009.
- [32]. Interview de Nicolas LOUIS, « le végétal dans la construction en forte augmentation ces dernières années », posté le 22 novembre 2021.
- [33].Swamy, R. H. S, AHUJA, B. M, KRISHAMOORTHY, S., « Behavior of concrete reinforced with jute, coir, bamboo fibers ». The international journal of cement composite and light weight concrete, volume 5, p 13 N°1, 1984, publisher :longman Group UK limits, ISSN :0262-5075.
- [34].Mokhtari.A, mémoire de magister, « fluence des ajouts de fines minérales sur les Performances Mécaniques des Bétons Renforcés de Fibres Végétales de Palmier Dattier » « Aménagement Hydraulique et Génie Civil », Université de kasdi merbah Ouargla, 2006.
- [35].KRIKER. A. «caractérisation des fibres de palmier dattier et propriétés des bétons et mortiers renforcés par ces fibres en climat chaud et sec » Thèse de doctorat d'état, ENP, Alger, 2005.
- [36].Khenfer.M,« Caractérisation structurale et rhéologique des ciments et des plâtres renforcés de fibres cellulosiques », thèse de doctorat, Université de Bordeaux, Juin 1990.
- [37].« Alain.D,« Guide Du Traitement Des Procédés, 7ème Edition, Paris ISBN 978-2-074719-1.
- [38].M.C.Trouy-Triboulout and P.triboulout . Matériaux bois-structure et caractéristiques.Techniques de l'ingénieur, 2001.
- [39]. MICHEL.D, Président de France Bois Forêt Interprofession nationale, forum «le bois dans la construction ».

## *Référence bibliographiques*

---

[40].Document Internet French wood, Bois traité sons vide, Site <http://www.frenchwood/Bois>.

[41]. A. Ledhem, Contribution à l'étude d'un béton de bois, Mise au point d'un procédé de minimisation des variations dimensionnelles d'un composite argile-ciment-bois, Thèse de doctorat de l'INSA de Lyon, 1997.

[42].Document Internet French wood, Bois traité sons vide, Site <http://www.frenchwood/BoiS>.

[43].Natterer,J.(2004). Construction en bois: matériau, technologie *et* dimensionnement (Vol. 13). PPUR presses polytechniques.

[44]. Triboulot,P« Le bois dans la construction: réflexions sur les évolutions probables et conséquences pour l'amont de la filière ». Revue forestière française, 68(2), 127-132,2016.

[45]. <https://fr.wikipedia.org> consulté le 28 février 2023.

[46].Autret,P,&Lan,T.N, « Application de l'essai ou bleu de méthylène aux graveleux latéritiques »,

[47].Valencio, F, « Caractérisation des particules fines d'un matériau granulaire de fondation par l'essai au bleu de méthylène » (Doctoral dissertation, université Laval) ,2008.

[48].Aouici,R,Benchouia, F,& Belmedrek. « Caractéristiques granulométriques, physique et minéralogique des sables de la plage de troisième KM (Jijel, NE Algérien) (doctorat dissertation, université de Jijel), S.E.(2022).

[49].Le norme NF EN 196-3 : « méthodes d'essai des ciments » –partie3 : « détermination du temps de prises et de la stabilité », Septembre 2017.

# *Annexes*

Annexe 01

Fiche technique de ciment

Réf: 0235 /DQ/DDDS/SCAEK/2021 Ain El Kebira le : 03/08/2021


**FICHE TECHNIQUE CIMENT « ligne 2 »** MOIS : Juin 2021

**CEM II/A - L 42.5 R**

Conformément à la norme NA 442 édition 2013 « NF EN 197-1 :2012 »

COMPOSITIONS CHIMIQUES Norme (EN 196-2)			Essais physiques Norme (NF EN « 196-3 :2017 et 196-6 :2018 »)		Garantie NA 442 :2013	Mesures
ELEMENTS		Mesures	P.S	(g / Cm <sup>3</sup> )	/	3.12
SiO <sub>2</sub> -T	%	21.15	SSB	cm <sup>3</sup> /g	/	4066
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	4.80	Début De Prise	minute	≥ 60	201
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	4.16	Fin De Prise		/	322
CaO-T	%	62.36	Expansion A. Chaud	Millimètre	≤ 10	0.27
MgO	%	1.21	Refus 45 µ	%	/	2.8
SO <sub>3</sub>	≤ 4 %	2.15	Consistance Normale	%		28.7
K <sub>2</sub> O	%	0.33	Type d'ajout	Calcaire (L) %	06 ≤ L ≤ 20	7.0
Na <sub>2</sub> O	%	0.13	<b>S.C.A.E.K</b>			
Cl	≤ 0,1%	0.02				
P.A.F.	%	3.69				
CaO Libre (PT207 CERILH 1970)	%	1.06				
R.Insoluble	%	2.12				
COMPOSITION POTENTIELLE DU CLINKER (BOGUE)			CARACTERISTIQUES MECANIQUE Norme (NF EN 196-1 : 2016)			
C <sub>3</sub> S	%	<b>55.46</b>	R. Flexion MPa	02 JOURS	/	5.1
C <sub>2</sub> S	%	<b>18.85</b>		28 JOURS	/	8.8
C <sub>3</sub> A	%	<b>8.56</b>	R. Compression MPa	02 JOURS	Li ≥ 20.0	22.6
C <sub>4</sub> AF	%	<b>12.43</b>		28 JOURS	Li ≥ 42.5	58.7

Le chef de service contrôle de qualité



K. BELARBI  
Chef de Service



## Annexe 02

## La fiche thecnique de plastifaint

**Sikaplast® BV 40+** سيكابلاست ب في 40+

**Plastifiant/Réducteur d'eau** ملدن مخفض لكمية الماء

**Présentation:** SIKAPLAST® BV 40+ est un plastifiant réducteur d'eau pour haute résistance mécanique non chloré et prêt à l'emploi, à base de polycarboxylates modifiés. **Domaines d'application:** Permet d'obtenir des bétons plastiques ayant de fortes résistances mécaniques à court et à long terme et des bétons étanches. **Mode d'emploi:** Il est ajouté, soit, en même temps que l'eau de gâchage, soit en différé dans le béton préalablement mouillé avec une fraction de l'eau de gâchage. **Consommation:** Dosage usuel : 0,3% à 1% du poids de liant selon les performances recherchées. **Caractéristiques:** Liquide marron. Densité :  $1,04 \pm 0,015$ , PH :  $4,7 \pm 1$ . **Conservation-Stockage:** 1 an dans son emballage d'origine intact. Dans un local fermé, à l'abri de l'ensoleillement direct et du gel, entre 5 et 30 °C. **Date de péremption et numéro de lot :** Voir impression sur le seau. **Avant utilisation, consulter la version la plus récente de la notice produit.**

**تعريف:** سيكابلاست بي في 40+ ملدن مخفض لكمية الماء للحصول على مقاومات ميكانيكية عالية، خال من الكلور وجاهز للاستعمال أساسه البوليكاربوكسيلات المعدلة. **مجال الاستعمال:** يسمح الحصول على خرسانة مرنة لها مقاومة ميكانيكية عالية على المدى القصير والطويل وكذلك خرسانة عازلة. **طريقة الاستعمال:** يضاف السيكابلاست بي في 40+ في نفس الوقت و ماء الخلط او يضاف بعده إلى خليط الإسمنت. **الاستهلاك:** الجرعة المعتادة: 0,3% إلى 1% من وزن الإسمنت حسب الكفاءة المطلوبة. **الخصائص :** سائل بني قاتم اللون. **الكثافة :**  $1,04 \pm 0,015$  ، **PH :**  $4,7 \pm 1$ . **الصلاحية والتخزين:** يحفظ لمدة سنة بداخل التعبئة الأصلية السليمة. يوضع في مكان بعيد عن أشعة الشمس والجليد، ما بين 5° و 30°م. **رقم الحصة و تاريخ نهاية الصلاحية:** انظر الطباعة على الدلو. **قبل الاستعمال، يرجى الاطلاع على أحدث نسخة من الوثيقة لتقنية.**

Pas une substance ni un mélange dangereux. Fiche de données de sécurité disponible sur demande. Contient 1,2-benzisothiazol-3(2H)-one, phosphate de triisobutyle. Peut provoquer une réaction allergique.

ليست مادة أو خليط خطير. استشارة بيكفك الأمان متاحة عند الطلب. يحتوي على 1,2-benzisothiazol-3(2H)-one phosphate de triisobutyle قد يحدث رد فعل تحسسي.

SIKA EL DJAZAIR SPA  
08, route de l'Arbaa, Eucalyptus, Alger  
Tél. : +213(0)21 50 16 92 à 95

سيكا الجزائر ش ذ ا  
08 طريق الأرباء العكاليبتوس، الجزائر  
الهاتف: 95 - 16 92 - 50 16 92

## Annexes

### Annexe 03

La norme	L'intitulé
NF P 18-560	Analyse granulométrique par voie sèche.
NF EN 933-9	Module de finesse du sable.
NF EN 933-8	Essai ou bleu méthylène.
NF EN 1097-6	Masse volumique absolue et coefficient d'absorption d'eau des sables (méthodes ou pycnomètre).
EN 932-2	Détermination de la granularité-Tamis de contrôle, dimensions nominales des ouvertures.
NF P 94-050	Détermination de la teneur en eau pondérale des matériaux
EN 196-7	Essai de prise
EN 196-3	Essai de consistance
NF EN 933-8	Essai d'équivalent de sable
EN 932-2	Méthodes de réduction d'un échantillon de laboratoire
NF P 18-555	Mesures des masses volumiques, coefficient d'absorption et teneur en eau des sables
NFP 15-411	Malaxeur de confection du mortier
NF P18-408	Essai à la flexion
NF EN 206-1	Essai compression

# *Valorisation des déchets végétales dans les matériaux de construction (mortier)*

## *Résumé*

Les ingénieurs en génie civil ont été confrontés au défi de reformer les déchets industriels en matériaux de construction, dans le but de remplacer progressivement les matériaux classiques par des nouveaux matériaux qui élargissent donc considérablement la capacité de répondre aux nouvelles exigences des consommateurs, et de limiter les risques qui provoquent l'environnement.

Pour ces raisons on a essayé de valoriser les déchets végétales plus précisément la sciure de bois comme addition pour la formulation du mortier.

Dans ce contexte, s'inscrit le présent travail, dont le but principal est d'évaluer expérimentalement l'effet de l'ajout de la sciure de bois et adjuvant sur les propriétés de mortier (résistances mécaniques, thermiques et physiques). Dans cette étude trois mélanges ont été confectionnés avec des pourcentages de 1,5%, 2,5% et 3,5% par la sciure de bois.

Les résultats obtenus ont montrés que l'ajout de 3,5% de la sciure de bois améliore la confort thermique et assure légèreté du matériau tout en maintenue les résistances à la compression et à la flexion dans les limites des normes.

**Mots clés :** Mortier, Sciure de bois, Valorisation des déchets, Caractéristiques, Résistance thermique.

## *Abstract*

Civil engineers have been faced with the challenge of reforming industrial waste into building materials, with the aim of gradually replacing traditional materials with new ones that considerably expand the capacity to meet new consumer demands and limit the risks to the environment.

For these reasons, an attempt has been made to use plant waste, more specifically sawdust, as an additive in the formulation of mortar.

This is the background to the present study, the main aim of which is to evaluate experimentally the effect of adding sawdust and additives to mortar properties (mechanical, thermal and physical resistance). In this study three mixes were made with percentages of 1.5%, 2.5% and 3.5% by sawdust.

The results obtained showed that the addition of 3.5% of sawdust improves the thermal comfort and ensures the lightness of the material while maintaining the compressive and flexural strengths within the limits of the standards.

**Key words:** Mortar, Sawdust, Waste recovery, Characteristics, Thermal resistance. Translated with [www.DeepL.com/Translator](http://www.DeepL.com/Translator) (free version)