République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de L'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Yahia Farés de MEDEA

Faculté de Technologie
Département de Génie Civil
Filière Génie Civil

Mémoire De Fin D'études

Pour L'obtention Du Diplôme De Master En Génie Civil

Option : Matériaux En Génie Civil

**Thème**

# Effet de la pression de compactage sur la résistance mécanique d'un composite à fibres cellulosiques

**Etudié par :**

**Mr. MEGATELI Oussama**

**Mr. MEKKI Mounir**

**propose et dirigé par :**

**Dr. BENTCHIKOU Mohamed**

**Juin 2018**

# Remerciements

*En préambule à ce mémoire nous remerciant ALLAH qui nous aide et nous donne la patience et le courage durant ces langues années d'étude.*

*Nous tenons à exprimer nos vifs Remerciements et notre profonde Gratitude à notre promoteur* ***Dr BENTCHIKOU Mohamed*** *pour sa disponibilité, son aide durant tout le déroulement de ce projet. Grâce à son dévouement, conseils scientifiques et suivi, nous avons pu mener à terme notre travail.*

*A tous les enseignants de l'Université, et surtout nos professeurs durant toutes les années, pour les connaissances qu'ils ont toujours sus nous transmettre et pour leur disponibilité durant notre formation.*

*A tous ceux qui travaillent à la* ***SETAM****.*

*Nous tenons à remercier aussi tous les membres du jury pour avoir accepté d'évaluer notre travail.*

*On n'oublie pas nos parents pour leur contribution, leur soutien et leur patience.*
*Enfin, nous adressons nos plus sincères remerciements à tous nos proches et amis, qui nous ont toujours encouragés au cours de la réalisation de ce mémoire.*

*On leur dit merci de tout notre cœur.*

# ملخص

من أجل استعادة النفايات والمساعدة في تقليل تكاليف البناء والطاقة المستهلكة للتدفئة أو التبريد، تم استخدام ألياف السليلوز في الهاون (المورتر) لتصنيع مركب ألياف نباتية.

الهدف الرئيسي من هذا العمل هو دراسة تأثير الضغط على المقاومة الميكانيكية للمركب، كما ركزت الدراسة على الحساسية إلى الماء لهذه المادة، من خلال الامتصاص و التقلص.

في هذا الإطار، تم استخدام أربع نسب من الألياف (0 ، 5 ، 10 و 20٪)، و إجراءان للضغط تحت الحمل 8 و 16 كلغ بالإضافة إلى إجراء عدم التحميل وتحت الفراغ في المجفف.

تشير النتائج إلى أن وجود الألياف السليلوزية يقلل من المقاومة الميكانيكية و يحسن في المقاومة تحت تأثير الحمل، ولكن بالنسبة لإجراء الفراغ، هناك انخفاض في المقاومة بالنسبة للمركب المرجعي. أظهرت هذه الدراسة أيضا أن زيادة قوة الضغط على العينة له تأثير مفيد على جميع الخصائص المدروسة.



**الكلمات المفتاحية**: مركب ، ألياف سيليولوزية ، هاون، ضغط ، قوة ميكانيكية ، تقلص ، امتصاص.



# RESUME

Afin de valoriser les déchets et de contribuer à la réduction des coûts de construction et de l'énergie consommée pour le chauffage ou la climatisation, des fibres de cellulose ont été utilisées dans le mortier, pour la fabrication d'un composite à fibres végétales. L'objectif principal de ce travail est d'étudier l'effet de la pression de compactage sur la résistance mécanique d'un composite a base de fibres végétales, notamment les fibres de cellulose, L'étude s'est focalisée aussi sur la sensibilité à l'eau de ce matériaux, à travers son absorption et son retrait.

Dans ce cadre, on a utilisé quatre pourcentages de fibres (0, 5, 10 et 20%), deux procédures de compactage sous charge de (8 et 16kg) en plus de la procédure sans charge et sous vide dans un dessiccateur.

Les résultats indiquent que la présence des fibres de celluleuse diminue la résistance mécanique et donne une résistance meilleure sous l'effet de charge, mais pour la procédure sous vide on a une diminution de la résistance par apport au mortier témoin. Cette étude a montré aussi que l'augmentation de la force de compactage a un effet bénéfique sur l'ensemble des propriétés étudiées.



**Mots clés** : composite, Fibres cellulosique, mortier, compactage, résistance mécanique, retrait, absorption

# ABSTRACT

In the aim to recover wastes and to help reduce construction costs and the energy consumed for heating or cooling, cellulose fibers were used in the mortar for the manufacture of composite with vegetable fibers.

The objective of this work is to study the effect of compaction pressure on the mechanical strength of a composite based on plant fibers, especially cellulose fibers. The study also focused on the sensitivity to the water of this material, through its absorption and shrinkage.

In this framework, four percentages of fibers (0, 5, 10 and 20%), two compaction procedures under load of 8 and 16 kg were used in addition to the no-load procedure and under vacuum in a desiccators.

The results indicate that the presence of the cellulosic fibers decreases the mechanical strength and there is an improvement of the resistance under the load effect, but for the vacuum procedure there is a decrease of the strength in comparison with the control mortar. This study has showed also that the increase of compaction load has a beneficial effect on all properties studied.



**Key words**: composite, cellulosic fibers, mortar, compaction, mechanical strength, shrinkage, absorption.

# Sommaire

**Remerciements**……..……**I**

**Dédicaces**……...…**II**

**Résumés**……**IV**

**Liste des tableaux**……..…….....**XII**

**Liste des figures**…….…….....**XIII**

**Notations**……...….**XVI**

**Introduction générale**……**1**

**Chapitre I : Synthèse bibliographique**

**I.1. Introduction** ..... **2**

**I.2. Matériaux composites** ..... **2**

**I.3. Matériaux composites renforcé de fibres** ..... **3**

**I.4. Le mortier** ..... **3**

I.4.1. Définition ..... 3

I.4.2. Types de mortier ..... 4

I.4.2.1. Mortier de ciment ..... 4

I.4.2.2. Mortier de chaux ..... 4

I.4.2.3. Mortier bâtard ..... 4

I.4.2.4. Mortier de résine ..... 4

I.4.2.5. Mortiers fabriqués sur chantier ..... 4

I.4.2.6. Mortier industriel ..... 4

I.4.2.7. Mortier de hourdage de maçonnerie ..... 5

**I.5. Les constituants d'un mortier composite** ..... **5**

I.5.1. Le sable ..... 5

I.5.1.1. Classification des sables selon leurs provenances ..... 5

I.5.1.2. Rôle du sable dans le mortier ..... 5

I.5.2. Le ciment ..... 6

I.5.2.1. Constituants du ciment ..... 7
I.5.3. Eau de gâchage ..... 8
I.5.4. Les fibres ..... 8
I.5.4.1. Rôle des fibres ..... 8
I.5.4.2. Les différents types de fibres ..... 9
A. Fibres métalliques ..... 10
B .Fibres de verre ..... 10
C. Fibres de carbone ..... 11
I.5.4.3. Classification des fibres ..... 11
A. Fibres artificielles ..... 12
B. Fibres naturelles ..... 12
B.1.Classification des fibres Naturelles ..... 13
B.2. Fibres végétales ..... 13
B.3.Composition des fibres végétales ..... 14
**I.6. Les fibres de cellulose ..... 16**
I.6.1. Domaine d'utilisation des fibres cellulosiques ..... 17
I.6.1.1 L'industrie de pâte et papier ..... 17
A. Fabrication du papier ..... 17
B. Préparation des fibres naturelles pour la fabrication de papier ..... 18
B.1. La pâte mécanique ..... 18
B.2. La pâte chimique ..... 19
**I.7. Déchets ..... 20**
I.7.1. Définition ..... 20
I.7.2. Constitution chimique du déchet ..... 20
**I.8. Recyclage des déchets ..... 21**
I.8.1. Définition ..... 21
I.8.2. Les type des déchets recyclés ..... 21
I.8.3. Impacts du recyclage sur l'environnement ..... 22
I.8.4. Le papier recyclé ..... 22
**I.9. Propriétés des composites renforcés par des fibres végétales ..... 23**

I.9.1. Propriétés à l'état frais.....23
I.9.2. Propriétés à l'état durci.....23
I.9.2.1. Propriétés physique .....23
A. Retrait.....23
B. Guérison autogène des fissures .....23
I.9.2.2. Propriétés mécaniques.....23
A. Résistance des composites à fibres végétales (traction et compression) .....24
B. Influence du mode de cure, du dosage et de la longueur des fibres sur la matrice cimentaire .....25
I.9.2.3. Durabilité des composites à fibres végétales.....26
**I.10. Mortier et béton sous l'effet de compactage .....26**
I.10.1. L'Influence de compactage sur les matériaux.....27
I.10.2. Le compactage de mortier .....27
**I.11. Mortier et béton sous l'effet d'une dépression .....28**
**I.12. Conclusion.....28**

**Chapitre II : Matériaux et essais**

**II.1. Introduction .....29**
**II.2. Essais effectués sur matériaux .....29**
II.2.1. Caractérisation des granulats .....29
II.2.1.1. Masses volumiques .....29
A. Masse volumique apparente.....29
B. Masse volumique absolue .....29
II.2.1.2. Propretés des granulats.....30
A. Equivalent de sable .....30
II.2.1.3.granulométrie .....31
A. Objet de la norme (na 2607) .....31
B. Le tamisage .....31
C. Courbe granulométrique .....31
D. Module de finesse (nf en 933-1).....32

II.2.2. Essais sur ciment ..... 32
II.2.2.1. Essais physiques ..... 32
A. La finesse ..... 32
B. La consistance normale ..... 33
C. Le temps de prise ..... 33
II .2.2.2. Essais mécaniques sur le ciment ..... 33
II.2.3. Essais sur mortier ..... 33
II.2.3.1. Mortier frais ..... 33
La masse volumique ..... 33
II.2.3.2. Mortier durcis ..... 34
A. Essais mécaniques ..... 34
A.1 Essai de traction par flexion ..... 34
A.2 essai de compression ..... 35
B. Essai d'absorption d'eau par capillarité ..... 36
C. Essai de retrait ..... 36
D. Mesure des variations de masse. ..... 37
**II.3. Matériaux utilisées ..... 37**
II.3.1. Le sable ..... 38
II.3.1.1. Le sable roulé ..... 38
II.3.1.2. Le sable de concassage ..... 38
II.3.2. Le ciment ..... 38
II.3.3. Les fibres ..... 39
II.3.3.1. Préparation des fibres ..... 39
II.3.3.2.Taux d'absorption d'eau par les fibres ..... 40
II.3.4. L'eau de gâchage ..... 40
**II.4. Elaboration du composite ..... 41**
II.4.1. Protocole d 'essais ..... 41
II.4.2. Composition des mortiers ..... 41
II.4.2.1. Composition du mortier témoin (sans fibres) ..... 41

II.4.2.2. Composition du mortier avec fibres ..... 41
II.4.3. Malaxage des mortiers ..... 42
II.4.4. Préparation des mélanges ..... 43
II.4.5. Equipement nécessaire ..... 43
II.4.6. Conservation des éprouvettes ..... 44
**II.5. Procédures appliquées aux éprouvettes ..... 44**
II.5.1. Procédure par compactage ..... 44
II.5.2. Procédure par extraction du vide ..... 45
**II.6. Conclusion ..... 46**
**II.7.Variables étudiées ..... 47**

**Chapitre III : Résultats et interprétation**

**III.1. Introduction ..... 48**
**III.2. Essais effectues sur granulats ..... 48**
III.2.1. Masses volumiques ..... 48
III.2.2. Equivalent de sable ..... 48
III.2.3. Analyse granulometrique ..... 48
III.3. Caracterisation des mortiers ..... 50
III.3.1. Le mortier a l'etat frais ..... 50
III.3.1.1. L'eau extrait sous l'effet de procedure ..... 50
III.3.1.2. La masse volumique des eprouvettes ..... 51
III.3.2. Le mortier a l'etat durci ..... 52
III.3.2.1. La masse volumique des eprouvettes ..... 52
III.3.2.2. Resistance a la compression ..... 52
A. Resistance a la compression a l'age de 28 jours ..... 53
B. Resistance a la compression a l'age de 90 jours ..... 54
III.3.2.2 Resistance a la traction par flexion ..... 56
A. Resistance a la traction par flexion a l'age de 28 jours ..... 56
B. Resistance a la traction par flexion a l'age de 90 jours ..... 57
III.3.2.4 Absorption d'eau par capillarite ..... 59
III.3.2.5 Le retrait ..... 61

III.3.2.6. La variation massique .....62

**III.4. Conclusion.....65**

**Conclusion générale….....66**

**Recommandations……..XVII**

**Références bibliographiques……XVIII**

**Annexe……...XXVI**

# Liste Des Tableaux


| Tableau | Titre | Page |
|---|---|---|
| **Tableau I.1** | Composition chimique du gypse | 7 |
| **Tableau I.2** | Composition et angle des nano fibrilles des fibres de lignocellulose | 16 |
| **Tableau I.3** | proportion des constituents chimiques des bois résineux et feuillus | 18 |
| **Tableau I.4** | production de pâte : rendement ou qualité | 19 |
| **Tableau II.1** | Evolution de la résistance du ciment en fonction de l'âge | 33 |
| **Tableau II.2** | Propriétés physiques d'identification du ciment utilisé | 39 |
| **Tableau II.3** | Constituants du composite pour 1 moule de trois éprouvette | 42 |
| **Tableau II.4** | Opérations de malaxage du mortier sans fibres | 42 |
| **Tableau II.5** | Opérations de malaxage du mortier avec fibres | 43 |
| **Tableau III.1** | Les masses volumiques des différents sables utilisés | 48 |
| **Tableau III.2** | L'équivalent de sable des différents sables utilisés | 48 |
| **Tableau III.3** | Analyse granulométriques des différents sables. | 49 |

# Listes Des Figures


| Figure | Titre | Page |
|---|---|---|
| **Figure I.1** | Schema de materiau composite | 2 |
| **Figure I.2** | Présentation de l'apport du renfort par des fibres | 9 |
| **Figure I.3** | Quelques types de fibres métalliques | 10 |
| **Figure I.4** | Photo des fibres de verre | 11 |
| **Figure I.5** | Fibres de carbones | 11 |
| **Figure I.6** | Diagramme de classement des fibres | 12 |
| **Figure I.7** | Classification des fibres naturelles | 13 |
| **Figure I.8** | Exemples des fibres végétales | 14 |
| **Figure I.10** | Structure chimique de l'hémicellulose | 15 |
| **Figure I.11** | Structure de la lignine | 15 |
| **Figure I.12** | Quelques types de fibres de cellulose | 17 |
| **Figure I.13** | Microstructure de fibres de cellulose noyées dans une matrice de ciment obtenue par microscope électronique à balayage | 24 |
| **Figure I.14** | Résistance en flexion et ténacité de pâte et de mortier de ciment renforcés par la pâte kraft | 25 |
| **Figure I.15** | Influence du dosage et de la longueur des fibres de jute sur les propriétés du composite | 26 |
| **Figure I.16** | Effet des fibres alignées sur la résistance en flexion à 28 jours | 27 |
| **Figure I.17** | Effet de la force de compactage sur la résistance à la traction | 28 |
| **Figure II.1** | Le cone et le recipient | 29 |
| **Figure II.2** | Procedure de mesure de l'equivalent de sable | 31 |
| **Figure II.3** | Moule vide dans la balance | 34 |
| **Figure II.4** | Dispositif pour l'essai de resistance a la traction | 35 |
| **Figure II.5** | Dispositif de rupture a la compression | 35 |
| **Figure II.6** | Absorption d'eau par capillarite | 36 |
| **Figure II.7** | Retractometre et son etalonnage | 37 |
| **Figure II.8** | Les sables utilises | 38 |
| **Figure II.9** | Fibres issues de la recuperation des emballages d'œufs | 39 |
| **Figure II.10** | Schema de principe des phases du traitement du dechet de papier | 40 |
| **Figure II.11** | Equipement necessaire | 44 |

**Figure II.12** Eprouvettes sous chargement……45
**Figure II.13** Moule de (4cm x 4cm x 16cm)…….……..45
**Figure II.14** Dessiccateur avec pompe a vide……...…….….46
**Figure II.16** Variables étudiées……..….….47
**Figure III.1** La courbe granulométrique des sables utilisés .....……49
**Figure III.2** L'eau extrait du mortier pour différent pourcentage de fibres……..….50
**Figure III.3** Variation de la masse volumique des éprouvettes à l'état frais .....51
**Figure III.4** Variation de la masse volumique des éprouvettes à l'âge de 90 jours .....52
**Figure III.5** Variation de la résistance à la compression à l'air à 28 jours.....53
**Figure III.6** Variation de la résistance à la compression à l'eau à 28 jours .....53
**Figure III.7** Variation de la résistance à la compression à l'air à 90 jours.....54
**Figure III.8** Variation de la résistance à la compression à l'eau à 90 jours .....54
**Figure III.9** La résistance à la compression pour les deux cas de conservation. .....55
**Figure III.10** La résistance à la compression pour les deux cas de l'âge de conservation..55
**Figure III.11** Variation de la résistance à la traction par flexion à l'air à 28 jours .....56
**Figure III.12** Variation de la résistance à la traction par flexion à l'eau à 28 jours .....56
**Figure III.13** Variation de la résistance à la traction par flexion à l'air à 90 jours .....57
**Figure III.14** Variation de la résistance à la traction par flexion à l'eau à 90 jours .....57
**Figure III.15** La résistance à la compression pour les deux cas de conservation. de à l'eau et à l'air ……..….58
**Figure III.16** La résistance à la compression pour les deux cas de l'âge conservation .....58
**Figure III.17** Absorption d'eau des mortiers sans fibres ……59
**Figure III.18** Absorption d'eau des mortiers à 5% de fibres .....59
**Figure III.19** Absorption d'eau des mortiers à 10% de fibres .....60
**Figure III.20** Absorption d'eau des mortiers à 20% de fibres .....60
**Figure III.21** Variation de retrait pour mortier sans fibres .....61
**Figure III.22** Variation de retrait pour mortier à 5% de fibres .....61
**Figure III.23** Variation de retrait pour mortier à 10% de fibres .....62

**Figure III.24** Variation de retrait pour mortier à 20% de fibres .....62

**Figure III.25** Variation massique pour mortier sans fibres .....63

**Figure III.26** Variation massique pour mortier à 5% de fibre .....63

**Figure III.27** Variation massique pour mortier à 10% de fibre……..…...64

**Figure III.28** Variation massique pour mortier à 20% de fibre.....……. .. 64

# Notations

**$Al_2O_3$ :** L'alumine

**C :** la compacité

**CaO :** La chaux

**Cc :** Le coefficient de courbure

**CPA :** Le ciment portland artificiel

**CPJ-CEM II/A 42.5 :** Le ciment portland composé classe II /A avec résistance 42

**Cu :** Le coefficient d'uniformité

**d :** La dimension du plus petit granulat (mm)

**D :** La dimension du plus gros granulat (mm)

**E/C :** Le rapport eau/ciment

**E/L :** Le rapport eau/liant

**ES :** Equivalent de sable à piston (%)

**ESV :** Equivalent de sable à vue (%)

**$Fe_2O_3$ :** L'oxyde de fèr

**H :** mortier sous charge de 8kg

**I :** indice des vides

**MF:** Module de finesse

**MgO :** Oxyde de magnésium

**NA :** Norme Algérienne

**NB :** Norme Belge

**NE :** Norme Européenne

**NF :** Norme Française

**p :** la porosité

**P :** mortier sous vide

**$R_C$ :**La résistance à la compression (Mpa)

**$R_t$ :** La résistance à la traction (Mpa)

**S :** mortier sous charge de 16kg

**$SiO_2$ :** La silice

**SO3 :** Sulfates

**T :** mortier sans charge

**$\rho$ :** Masse volumique (kg/ $m^3$)

**$\rho_{abs}$ :** Masse volumique absolue (kg/ $m^3$)

**$\rho_{app}$ :** M asse volumique apparente (kg/ $m^3$)

$\sigma_t$ : La contrainte de flexion (Mpa)

$\sigma_c$ : La contrainte de compression (Mpa)

# Introduction Générale

Pour parvenir à un développement durable, nous devons préserver les ressources naturelles à travers une valorisation des déchets par leur utilisation dans le domaine de construction.

Les mortiers et les bétons ont connu un essor important ces dernières années en Algérie dans divers domaines à savoir: bâtiments, ouvrages d'arts, constructions spéciales,... Composés essentiellement à partir de liants hydrauliques, des granulats locaux, eau et renforcée par des fibres.

L'intégration des fibres de cellulose dans les composites entraîne de nombreux avantages, ce matériau devient plus léger avec l'augmentation du pourcentage en fibres, mais son inconvénient, est qu'il entrainent une diminution de la résistance, car il demande une quantité d'eau important pour le gâchage. Pour limiter cette diminution de résistance il est proposé des cette étude de tester le compactage et l'application d'une dépression sur le matériau et de voir leur effet sur le comportement du matériau.

## I.1. Introduction

Ce chapitre regroupe en général les travaux de recherche sur le composite que nous avons étudié, la définition, les différents types, ses constituants et son domaine d'utilisation qui constitue la première partie de ce chapitre. En particulier, nous avons mis l'accent sur les renforts de type cellulosiques afin de présenter les avantages de ce type de renfort, notamment pour connaitre la performance sur le matériau composite. La deuxième partie présente des notions sur les déchets, leurs définitions, leurs types et leurs recyclages ainsi que les fibres que nous avons utilisé. Dans la troisième partie du chapitre, on a expliqué le compactage du matériau par application d'une charge ainsi que sa soumission à une dépression et l'effet sur son comportement.

## I.2. Matériaux composites

Un matériau composite est un milieu matériel en phase solide constituée d'au moins deux composants, non miscibles nommés renfort et matrice, dont les propriétés respectives se complètent pour former un matériau aux performances globales améliorées. Le nouveau matériau ainsi constitué est la plupart du temps hétérogène et anisotrope **[1].** Lorsque le matériau composite est non endommagé, les renforts et la matrice sont parfaitement liés.

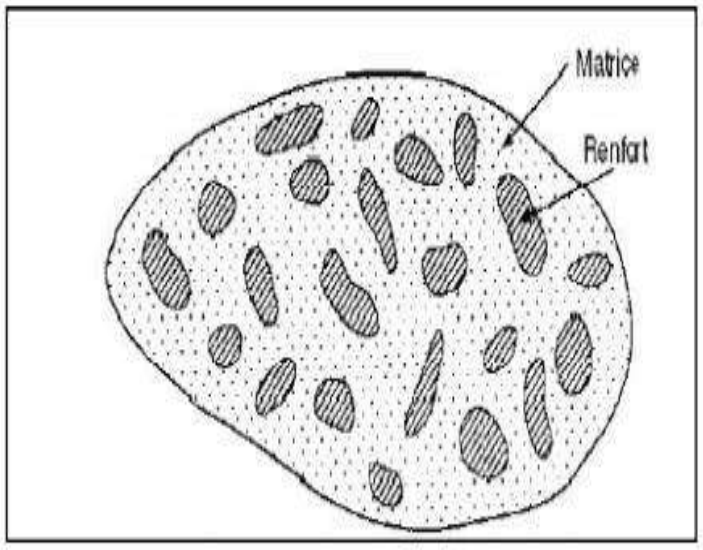



**Figure I.1 :** Schéma de matériau composite **[1]**

## I.3. Matériaux composites renforcé de fibres

Un matériau composite est un composite à fibres si le renfort se trouve sous forme de fibres. Les fibres utilisées se présentent soit sous forme de fibres continues, soit sous forme de fibres discontinues : fibres coupées, fibres courtes. L'arrangement des fibres, leur orientation permettent de moduler à la carte les propriétés mécaniques des matériaux composites, pour obtenir des matériaux allant de matériaux fortement anisotropes à des matériaux isotropes dans un plan **[2].**

Le renforcement des matériaux de construction par des fibres fut très tôt utilisé dans l'histoire. Les blocs de terre crue renforcée par la paille ou l'incorporation de crin de cheval aux mortiers d'enduit sont des exemples remontant à plusieurs milliers d'années pourtant, le passage de ces utilisations traditionnelles à un développement technologique de composites renforcés par des fibres végétales pour des utilisations en bâtiments est relativement récent, il remonte au début des années 1970, lorsque sont réalisés les premiers travaux visant à remplacer les fibres d'amiante dans les éléments préfabriqués profilés en fibro-ciment (bardage, tuiles, plaques, etc.). Dès lors, de très nombreuses études ont été menées sur tous les continents pour utiliser des fibres de renforcement d'origine naturelle dans les matériaux de construction, en particulier dans les pays en voie de développement, en raison de leur disponibilité, de leur faible coût économique et énergétique ainsi que de la relativement faible technicité nécessaire à leur production **[3].**

Différents types de fibres synthétiques et naturelles sont utilisées dans des matrices cimentaires pour améliorer les propriétés mécaniques du composite comme la résistance à la traction et à la flexion, la ténacité, la résistance au choc, et l'énergie de rupture **[4].**

## I.4. Le mortier

### I.4.1. Définition

Le mortier est l'un des matériaux de construction composites que l'on utilise pour solidariser les éléments entre eux, assurer la stabilité de l'ouvrage, combler les interstices entre les blocs de construction. En général le mortier est le résultat d'un mélange de sable, d'un liant (ciment ou chaux) et d'eau dans des proportions données, différentes selon les réalisations et d'adjuvant **[5].**

### I.4.2. Types de mortier

Dans les travaux publics on utilise différents types de mortier :

### I.4.2.1. Mortier de ciment

Les mortiers de ciments sont très résistants, prennent et durcissent rapidement. 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 environ 0,35. De plus, un dosage en ciment les rend pratiquement imperméables **[6].**

### I.4.2.2. Mortier de chaux

Les mortiers de chaux sont moins résistants par rapport aux mortiers de ciment (gras et onctueux). La durée du durcissement des mortiers de chaux est plus lente que pour les mortiers de ciments **[6].**

### I.4.2.3. Mortier bâtard

Ce sont les mortiers, dont le liant est le mélange de ciment et de chaux. Généralement, on utilise la chaux et le ciment par parties égales, mais des fois on prend une quantité plus ou moins grande de l'un ou l'autre suivant l'usage et la qualité recherchée **[6].**

### I.4.2.4. Mortier de résine

On utilise des résines synthétiques, en particulier le polyester ou l'époxyde **[6].**

### I.4.2.5. Mortiers fabriqués sur chantier

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 en poids (ce qui est préférable), soit en volume (cas des petits chantiers). Dans ce dernier cas, il est très important de tenir compte du phénomène de foisonnement des sables **[6].**

### I.4.2.6. 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 mortiers, il suffit de mettre la quantité d'eau nécessaire et malaxer pour ensuite les mettre en œuvre **[6]**.

Les mortiers peuvent contenir des liants et des sables variés ainsi que certains adjuvants et éventuellement des colorants. Les fabricants de mortiers industriels proposent une gamme complète de produits répondant à tous les besoins **[6]**.

#### I.4.2.7. Mortier de hourdage de maçonnerie

On utilise des sables dont les grains les plus gros n'excèdent pas 5 mm, le dosage le plus usuel est de volume de liant pour trois volumes de sable. La quantité d'eau qui joue un rôle important ne peut être fixée à priori, en règle générale on adopte une valeur voisine de la moitié du poids du liant qui peut être réduite lorsqu'on utilise un plastifiant **[6] .**

## I.5. Les constituants d'un mortier composite

### I.5.1. Le sable

C'est une matière minérale siliceuse ou calcaire qui se présente dans le sol sous la forme de grains ou de poudre, suivant qu'il s'agit de sable grossier ou de sable fin. Les sables proviennent de la désagrégation des roches qui constituent l'écorce terrestre ; suivant leur composition, ils sont blancs, jaunes, gris ou rougeâtres. On peut encore classer les sables d'après leur origine et distinguer les sables de carrière, les sables de mer et les sables de rivière. **[7]**.

#### I.5.1.1. Classification des sables selon leurs provenances

- **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 **[8].**
- **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 **[8].**
- **Sable de carrière :** Il contient souvent de l'argile qui enrobe les grains et les empêche d'adhérer aux liants. Il est donc à proscrire **[8].**
- **Sable artificiel :** il est obtenu par concassage des roches (calcaires durs, gré...). Il est souvent plein de filler. Pour qu'il soit utilisable dans les bétons, il faut limiter le pourcentage des fines **[8].**
- **Sable de dune :** C'est une variété des sables de mer. Il est donc très fin **[8].**

#### I.5.1.2. Rôle du sable dans le mortier

L'introduction des sables permet de diminuer le retrait du liant (ossature mortier) en augmentant les résistances mécaniques, ajoutant à cela, sa disponibilité et son aspect esthétique (couleur). Les sables de bonne granulométrie doivent contenir des grains fins,

moyens et gros. Les grains fins se disposent dans les intervalles entre les gros grains pour combler les vides. Ils jouent un rôle important : Ils réduisent les variations volumiques, les chaleurs dégagées et même le prix. Les dosages se feront en poids plutôt qu'en volume comme c'est souvent le cas, afin d'éviter les erreurs de dosage, par suite de l'augmentation de volume de sable humide **[5].**

### I.5.2. Le ciment

Le ciment est obtenu par cuisson de mélanges de calcaire et d'argile. Le procédé de fabrication consiste à concasser et à broyer ces deux matières premières et à les mélanger dans des proportions bien définies. Le ciment est un liant hydraulique qui se présente sous la forme d'une poudre minérale fine, s'hydratant en présence d'eau, et forme une pâte qui fait prise et durcit progressivement à l'air ou dans l'eau. Le durcissement du ciment est principalement dû à l'hydratation du silicate tricalcique, un composant majeur du clinker. C'est le constituant fondamental du béton puisqu'il permet la transformation d'un mélange sans cohésion en un corps solide, en liant les différents constituants**.**

Le clinker c'est un constituant fondamental du béton puisqu'il permet la transformation d'un mélange sans cohésion en un corps solide, en liant les différents constituants. Le clinker est accompagné de sulfate de calcium (gypse ou anhydrite) nécessaire pour régulariser la prise. Cette phase est propice à la réalisation des tests d'écoulement puisqu'on considère que la structure de la matrice n'est pas modifiée par le processus d'hydratation. Différents types de ciment existent sur le marché, et se distinguent par leurs relations avec les propriétés du béton. Ainsi, le choix du type de ciment, est conditionné par les performances souhaitées du béton (résistance à la compression, temps de début de prise, etc.) Du point de vue rhéologique, les propriétés du ciment influant sur l'écoulement de la pâte d'un béton sont principalement la composition minéralogique, la granulométrie et la finesse**.**

Le dosage du ciment dans le béton est très souvent relié aux propriétés mécaniques et de durabilité du béton. Le rapport Eau/Ciment (E/C) est un facteur très influent sur les différents aspects des bétons. Ce rapport a toujours été associé directement à la résistance mécanique du béton et sa durabilité, et la formulation des bétons ordinaires passaient par l'optimisation de ce phénomène. Toutefois, l'introduction de nouveaux matériaux (additions minérales, adjuvants avec un extrait sec solide) porte un intérêt particulier à l'utilisation de la concentration volumique en solides puisque ce paramètre prend en compte tous les constituants du béton **[9].**

### I.5.2.1. Constituants du ciment

Les ciments sont constitués, par mélange et broyage. Ils se composent de **:**

- **Le clinker**

Le constituant principal des ciments industriels actuels est le clinker, mot anglais signifiant ***Scorie***. Il est obtenu en cuisant, vers 1450°C, des mélanges appropriés de calcaire et d'argile, appelés crus. L'argile, principalement composée de silicates d'alumine, se scinde sous l'effet de la chaleur en ses constituants, silice et alumine, qui se combinent ensuite à la chaux provenant du calcaire pour donner des silicates et des aluminates de chaux.

- **Le gypse**

Le gypse dénommé aussi gypsite est une roche saline commune des bassins sédimentaires soumis à subsidences, elle est composée principalement du minéral gypse, minéral salin très commun des séries sédimentaires, et de sulfate doublement hydraté de calcium. Ce dernier est à la fois une espèce chimique et une espèce minérale, décrite par la formule CaSO4.2H2O. Le gypse est la roche qui permet de fabriquer industriellement le plâtre.

**Tableau I.1 :** Composition chimique du gypse **[10]**

| Composant | $SiO_2$ \| | $Al_2O_3$ | $Fe_2O_3$ | CaO | MgO | $K_2O$ | $Na_2O$ | $SO_3$ | $Cl^-$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| % | **10.05** | **2.99** | **1.55** | **26.90** | **3.86** | **0.41** | **0.05** | **30.33** | **0.007** |

- **Les additifs**

On les ajoute éventuellement afin d'améliorer certaines propriétés. Les additifs ne doivent pas présenter des actions nocives sur les propriétés des ciments mais ils peuvent, suivant les cas, modifier certaines de leurs caractéristiques. Il peut s'agir d'agents de mouture, fréquemment employés, qui sont des sels organiques solubles utilisés à des doses extrêmement faibles. Il peut s'agir également de sels solubles, tels certains adjuvants pour mortier, béton ou coulis. La proportion d'additifs doit toujours rester très faible, le pourcentage admis ne doit pas dépasser 0.5% de la masse totale, valeur dans laquelle se trouve comprise la proportion d'agent de mouture, et ceci pour tous les ciments à l'exception des CEM III/A ou B et des CEM III/C, pour lesquelles la proportion de sels chlorés (NaCl) est autorisée jusqu'à 1% **[10].**

### I.5.3. Eau de gâchage

L'eau de gâchage est la quantité d'eau totale ajoutée au mélange sec de béton. Elle est nécessaire pour l'hydratation du liant, le mouillage des granulats et la facilité de mise en place du béton **[11].**

L'eau de gâchage doit être propre et ne pas contenir plus de 5 grammes par litre de matières en suspension (vases, limons, etc.), ni plus de 35 grammes de matières de sels solubles, sous réserve que ces sels dissous ne risquent pas de nuire à la conservation des bétons (acides, sulfates, sels corrosifs, matières organiques).

L'eau de mer n'est pas autorisée, sauf justifications spéciales et accord du maitre de l'œuvre. Les eaux très pures (eau distillée, eau de pluie etc.) ne sont pas autorisées.
Toute eau de qualité douteuse doit être soumise à une analyse **[12].**

L'utilisation d'eau de mer comme eau de gâchage provoque généralement une chute sensible de la résistance du béton : de plus, elle favorise la corrosion des armatures et peut être particulièrement dangereuse dans le cas de bétons fortement armés ou précontraints. De toute façon, il faut considérer que le poids de chlorure de sodium introduit par l'eau de mer est d'environ 2% du poids du ciment **[12].**

### I.5.4. Les fibres

Les fibres sont caractérisées par une longueur au moins trois fois supérieure à leur diamètre. On peut dire que sous l'appellation " fibres" se cache une grande famille de matériau qui a été introduite dans le commerce comme de nouvelles applications. Elles sont classées selon leur origine (naturelles, synthétiques et artificielles), leur forme (droite, ondulée, aiguille, …etc.), leur dimension (macro ou microfibre) et aussi par leurs propriétés mécaniques. Cependant, pour faire un choix de fibres à utiliser pour une application donnée, il faut tenir compte de la compatibilité de la fibre avec la matrice, et le mode de performance du composite **[13].**

#### I.5.4.1. Rôle des fibres

Les chercheurs ont commencé par introduire les fibres pour améliorer les propriétés mécaniques du béton comme la résistance à la traction par flexion, cependant le résultat obtenu était limité **[14].**

Les fibres ont un rôle essentiel dans le béton, il est présenté sous deux volets :
- Diminuer l'ouverture des fissures pour contrôler la propagation d'une fissure dans un béton en état de service, ce phénomène est représenté sur la Fig I.2.a.

- Augmenter la sécurité du matériau lors des états de chargement ultimes par le changement du comportement fragile d'un béton en un comportement ductile Fig I.2.b.

Généralement les fibres sont utilisées pour consolider la structure du béton en s'opposant à la croissance des fissures et à leur propagation. Selon le type de l'ouvrage et la nature du béton, les fibres présentent plusieurs avantages :

- Amélioration de l'adhérence du béton frais.
- Les fibres rigides modifient la structure du squelette granulaire.
- Diminution de la microfissuration due aux variations dimensionnelles surtout au jeune âge.
- Diminution de la fissuration provoquée par une charge extérieure.
- Augmentation de la ductilité et la résistance à la traction.
- Augmentation de la résistance aux chocs et à la fatigue.

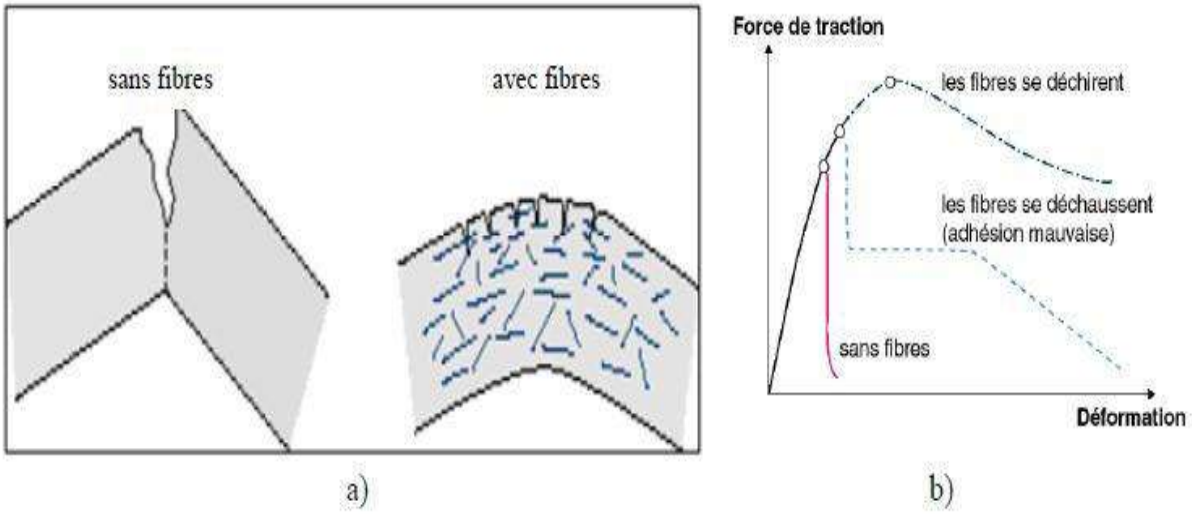



**Figure I.2.** Présentation de l'apport du renfort par des fibres **[15]**

### I.5.4.2. Les différents types de fibres

Différentes natures de fibres sont employées dans le domaine de la construction. Ces fibres peuvent être naturelles, d'origine végétale (lin, chanvre, cellulose, sisal, coir, ...) ou d'origine animale (poil, laine, soie, …) ou artificielles, d'origine minérale (amiante, verre, carbone, métaux, …) ou d'origine synthétique (polypropylène, polyamide, polyester, …). Dans ce qui suit, nous allons citer quelques fibres qui ont été ou qui sont toujours employées: **[16].**

**A. Fibres métalliques**

Les fibres d'acier (Fig.I.3) sont sans doute les plus utilisées dans le domaine du génie civil. En effet, les propriétés mécaniques du béton renforcé par ces fibres sont influencées par la résistance d'adhésion inter faciale entre fibre et matrice. Les fabricants des fibres d'acier ont essayé par tous les moyens d'améliorer cette adhérence, en jouant sur l'irrégularité de la surface de la fibre. Les fibres d'acier se différencient les unes des autres par leur géométrie et leur mode d'emploi. Les diamètres de ces fibres varient généralement entre 0,1 et 0,7 mm et leurs longueurs entre 10 et 70 mm **[17].**



**Figure I.3:** Quelques types de fibres métalliques **[18]**

**B .Fibres de verre**

Le verre est un matériau solide obtenu par refroidissement d'un liquide visqueux. Il se caractérise par une grande fragilité, attribuée à une sensibilité élevée à la fissuration; cependant, sous forme de fibre de faible diamètre, le verre perd cette fragilité. Ces fibres minérales qui sont alors fabriquées à partir de verre fondu (figure 1.4) sont disponibles dans le commerce sous forme de bobines (découpage à la demande) ou sous forme de morceaux prédécoupés de 3, 6, 12, et 50 mm de long. Elles sont regroupées en trois types: La fibre de verre classique (silice, soude, chaux), la fibre de verre au Zirconium et la fibre de verre au Borosilicate **[16].**

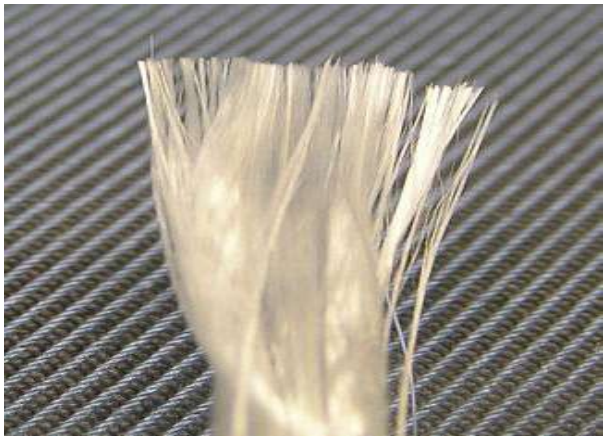


**Figure I.4:** Photo des fibres de verre.

**C. Fibres de carbone**

Les fibres de carbone présentent des propriétés mécaniques très élevées (haut module d'élasticité, haute résistance, faible dilatation thermique) et sont utilisées pour les applications industrielles hautes performances. Leur coût de fabrication est élevé, ce type de matériau est produit essentiellement aux Etats-Unis et au Japon.

Le diamètre d'une fibre de carbone est de l'ordre de 5µm. Il s'agit par sa structure moléculaire d'un matériau anisotrope **[19]**.



**Figure I.5 :** Fibres de carbones

**I.5.4.3. Feuilles des fibres**

IL y a tellement différents types de fibres qu'il est nécessaire de les classer en groupes, où chaque fibre dans un groupe particulier a quelque chose en commun avec les autres fibres de ce groupe. Cette caractéristique commune peut être, par exemple, le type de source, la méthode de production et ainsi de suite. Une caractéristique qui est commune à de nombreuses fibres est qu'elles sont très fines, des matériaux semblables à des cheveux. Une

autre caractéristique commune est qu'ils ont tous une longueur plusieurs fois supérieure à une section de leur largeur **[20]** Les fibres textiles sont normalement divisées en deux classes principales (Fig. I.6) **[21].**

**A. Fibres artificielles.**

**B. Fibres naturelles.**

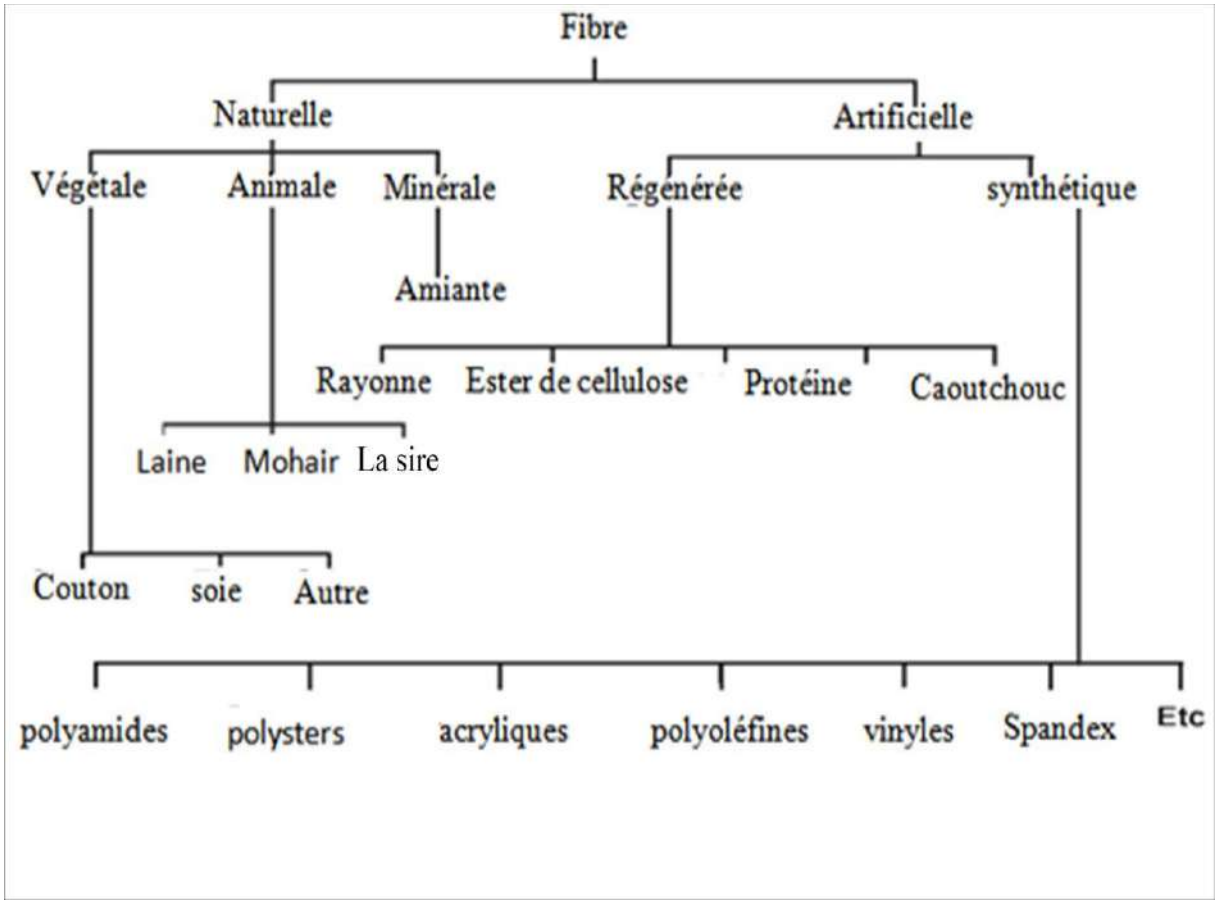



**Figure. I.6:** Diagramme de classement des fibres **[21]**

**A. Fibres artificielles**

Ce type de fibres est le plus utilisé dans le domaine industriel en général et dans le domaine de génie civil en particulier. Il regroupe les fibres de verre, les fibres de carbone, les fibres d'acier et d'autres. Elles sont aujourd'hui parmi les plus répandues dans l'industrie de la construction. Elles sont aussi utilisées pour renforcer les mortiers et les bétons **[19].**

**B. Fibres naturelles**

Toutes les fibres qui viennent des sources naturelles (animaux, plantes, etc.) et n'exigent pas une transformation sont classées en tant que fibres naturelles **[21].**

Le terme «fibres naturelles » couvre une large gamme de fibres végétales, animales et minérales. Cependant, dans l'industrie des composites, on fait généralement référence à des

fibres de bois et aux fibres libériennes, feuille, graine et tige. Ces fibres contribuent souvent considérablement à la performance structurelle de la plante **[22].**

**B.1.Classification des fibres Naturelles**

On peut subdiviser les fibres naturelles en trois grands groupes selon leur origine (Fig.I.7) **[23].**

- **Les fibres végétales (cellulosiques)**
- **Les fibres animales**
- **Les fibres minerals**

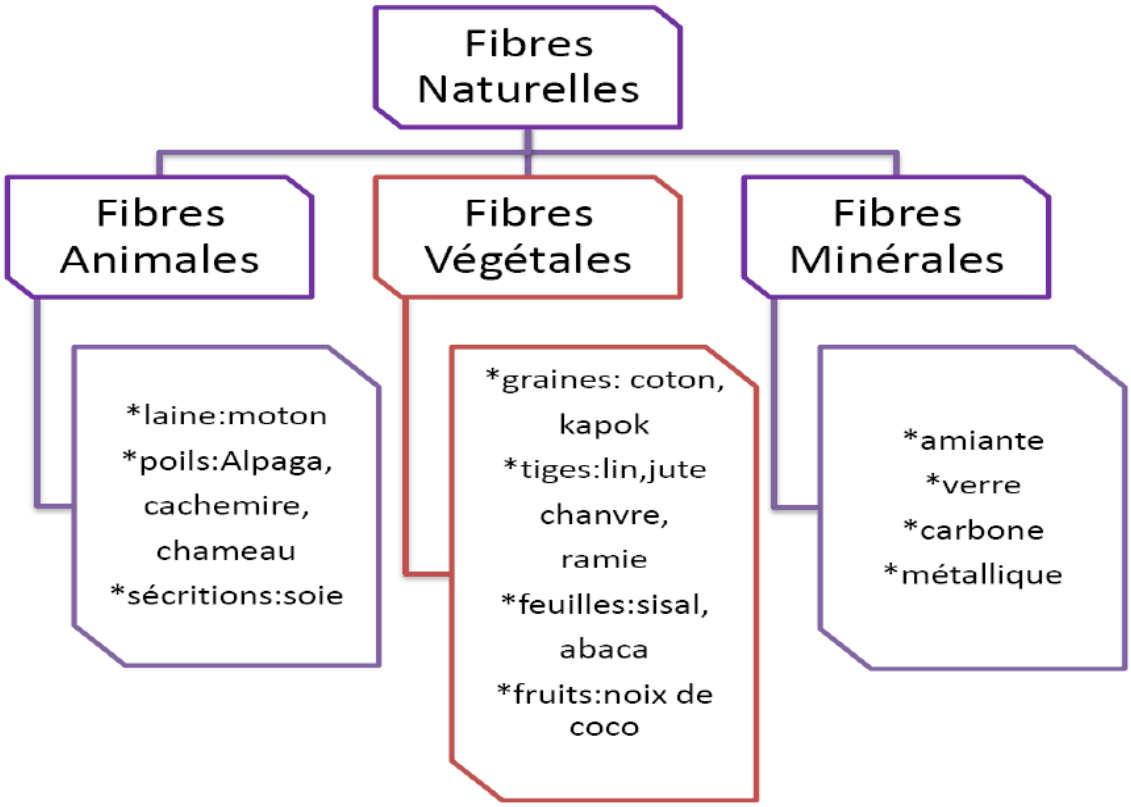



**Figure I.7:** Classification des fibres naturelles **[19]**

**B.2. Fibres végétales**

Les fibres végétales sont utilisées depuis 3000 ans dans les composites, par exemple dans l'ancienne Égypte, où la paille et l'argile étaient mélangés pour construire des murs. Ces fibres ont donc attiré une attention de plus en plus grande en raison de leur faible coût, leur densité peu élevée, leur biodégradabilité, leur disponibilité, et leur facilité de mise en œuvre. Ces avantages présentent l'intérêt pour leurs applications dans divers domaines tel que le bâtiment qui exigent des matériaux légers à haute performance, des possibilités de recyclage, le minimum d'impact sur l'environnement, et une réduction du coût de la matière.

Parmi les fibres végétales les plus utilisées sont les fibres de (chanvre, lin, jute, paille, sisal, palmier dattier et les fibres de coton) **[19].**




**Figure I.8.** Exemples des fibres végétales **[24]**

### B.3.Composition des fibres végétales

Toutes les fibres ligno-cellulosiques (plantes) se composent d'une matrice (comportant essentiellement l'hémicellulose 2, la lignine 3, la pectine et la cire 3) et d'une matière renforçant de micro fibrilles de cellulose **[21] :**

1) La cellulose Semi-cristalline est principalement responsable de la rigidité et de la force.
2) L'Hemi-cellulose et la lignine agissent comme la matrice pour la cellulose des fibrilles.
3) L'addition de constituants secondaires tels que les pectines et la cire.

- **La cellulose**

Elle est donnée par une formule chimique dont la représentation spatiale est la suivante :

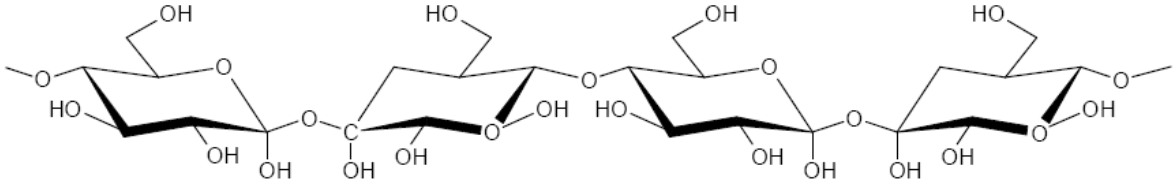


**Figure. I.9** Illustration de la composition chimique de la cellulose **[25]**

La cellulose est un glucide constitué d'une chaîne linéaire de molécules de glucose. Les macromolécules de cellulose associées, forment des micro fibrilles caractérisées par une haute

cristallinité. Les micro fibrilles, associées en couches, forment les parois des fibres végétales. Liaisons inter et intra moléculaires d'hydrogène entre les molécules de glucose des différentes chaînes **[26].**

- **L'Hemi-cellulose**

On donne ci-dessous sa représentation spatiale qui s'exprime par la formule chimique suivante :

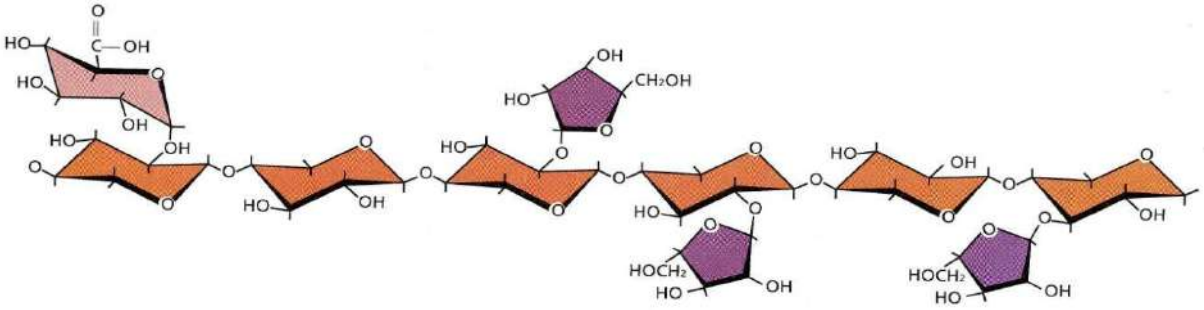


**Figure I.10** Structure chimique de l'Hémicellulose**.**

C'est la deuxième composante chez les végétaux après la cellulose, formée de monosaccharides et d'acides de sucre. Les branches rendent difficile la formation de forme cristalline le polymère est de type amorphe. L'Hémicellulose résiste mal aux attaques chimiques et elle à un rôle de pontage entre les fibres de cellulose **[26].**

- **La lignine**

Elle peut se formuler selon la formulation, ci-dessous, qui apparaît très complexe :

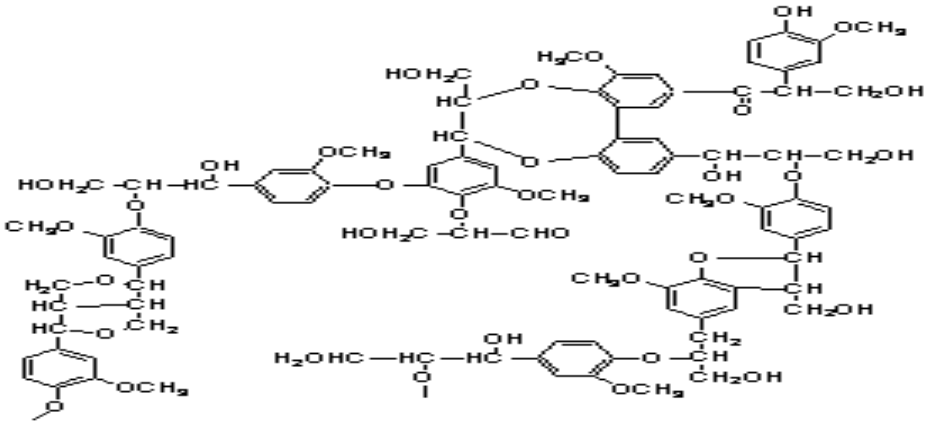


**Figure I.11** Structure de la lignine.

Elle est amorphe, rigide et hydrophobe.

Le tableau I.2, ci-dessous, présente les compositions des constituants relatifs aux principales fibres naturelles **[26]**.

**Tableau I.2:** Composition et angle des nano fibrilles des fibres de lignocellulose **[26]**.

| Fibre | Nanofibril angle (deg) | Elementary fibre l/d | Cellulose (%) | Hemi-cellulose (%) | Lignin (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| **coir** | 30-49 | 25 | 30-40 | 0.15-0.25 | 40-54 |
| **Cotton** | 20-30 | 900 | ~90 | 3-6 | none |
| **Flax** | 5-10 | 1700 | 65-85 | 10-18 | 1-4 |
| **Hemp** | 6 | 1000 | 60-77 | 10-17 | 3-10 |
| **Jute** | 8 | 150 | 45-63 | 12-15 | 12-25 |
| **Kenaf** | - | 100 | 45-57 | ~22 | 8-13 |
| **Ramie** | 8 | - | 69 | 13 | 0.7 |
| **Sisal** | 20-25 | 8 | 50-64 | 10-14 | 10-12 |
| **Bamboo** | 2-10 | - | 30-45 | 15-25 | 20-30 |
| **Softwood** | 5-25 | 100 | 40-45 | 25-30 | 26-34 |
| **Hardwood** | - | 50 | 45-50 | 21-35 | 22-30 |

## I.6. Les fibres de cellulose

Les fibres de cellulose sont largement disponibles dans la plupart des pays en voie de développement à partir de bois ou de plantes annuels. Elles présentent plusieurs avantages intéressants en particulier leur faible densité, leur caractère bio-renouvelable et leur disponibilité partout au coût modeste et dans une variété de morphologies et d'allongements. Toutes ces propriétés leur font des matériaux commodes pour le renforcement de matrice, comme les composites polymères ou les applications de fibre-ciment **[27].**




**Figure I.12:** Quelques types de fibres de cellulose**.**

### I.6.1. Domaine d'utilisation des fibres cellulosiques

Historiquement, les fibres végétales ont trouvé une utilisation dans une large gamme de produits. Compris les textiles, les fils liés et articles tissés, les cordes et les ficelles, les farces et autres matériaux de rembourrage, le papier et les pinceaux.

Le bois est la source primaire de la pulpe pour la production du papier, papier cartonné, carton et les produits connexes **[28].**

Les fibres cellulosiques peuvent être utilisé dans :

#### I.6.1.1 L'industrie de pâte et papier

Le papier a une longue histoire d'utilisation, avec son invention créditée à Tsai Lun, en Chine, en 105. Depuis ce temps, il a été produit à partir d'une grande variété de matières premières, y compris le coton, le lin, l'écorce, le chanvre, le jute, la paille et le bois.

Le papier est une feuille constituée d'un réseau de fibres cellulosiques naturelles. Le produit obtenu est un réseau de fibres enchevêtrées avec une structure en couches sur approximativement 30-300 µm d'épaisseur. La largeur d'une fibre individuelle est dans la gamme de 10 à 50 µm **[29].**

**A. Fabrication du papier**

La fabrication des pâtes et papiers procède par transformation de fibres de cellulose, principalement issues du bois, en papier d'impression-écriture, papier journal, papier magazine, papier d'emballage, carton, papiers à usage sanitaires et domestique, et divers papiers industriels et spéciaux. La fabrication du papier comprend cinq grandes étapes **[30] :**

- la préparation du bois.
- la mise en pate.
- le blanchiment.
- la régénération des produits chimiques.
- la fabrication du papier.

A titre d'illustration on donne ci-dessous (Tableau I.3) la composition en constituants les plus importants, des bois résineux et feuillus **[30]** entrant dans la fabrication du papier**.**

**Tableau I.3 :** proportion des constituents chimiques des bois résineux et feuillus **[31]**

| Constituants principales | Résineux | Feuillus |
|---|---|---|
| | Pourcentage (en masse) | |
| **Cellulose** | 40 - 45 | 45 - 50 |
| **Hemicellulose** | | |
| Galactoglacomannan | 15 – 20 | - |
| Arabinoglucuronoxylan | 10 | - |
| Glucuronoxylan | - | 20 – 30 |
| glucomannan | - | 1 – 5 |
| **Lignine** | 26 – 34 | 22 - 30 |
| **Extractives** | 0 - 5 | 0 - 10 |

**B. Préparation des fibres naturelles pour la fabrication de papier**

Le matériau de base pour la fabrication de papier et du carton est constitué des fibres de cellulose du bois ou de certaines plantes annuelle. En effet l'objectif principale de ce processus industriel est de séparer la cellulose des autres constituants de la paroi pecto-cellulosique **[32].**

Pour extraire la cellulose du bois, notamment la lignine, plusieurs procédés on été mis au point. En effet, la lignine a la particularité de se ramollir sous l'effet de la chaleur, mais aussi de se dissoudre sous l'effet de certains produits chimiques.

Il est donc possible d'isoler les fibres de cellulose, soit par de moyen mécaniques, soit par des moyens chimiques **[33]**. Selon l'emploi de l'un ou de l'autre procédé, il est possible de distinguer deux grandes catégories de pâte à papier **[33–34].**

- **La pâte mécanique.**
- **La pâte chimique**.

**B.1. La pâte mécanique**

On obtient de la pâte mécanique en râpant le bois contre une pierre ou entre des plaques métalliques afin de séparer les fibres. Ce travail de cisaillement brise les fibres de cellulose, de sorte que la pâte qui en résulte est plus fragile que celle fabriquée par séparation chimique. La lignine qui fait le lien entre la cellulose et l'hémicellulose n'est pas dissoute : elle se ramollit simplement, ce qui permet d'extraire les fibres de la matrice de bois. Le rendement (proportion de bois contenue dans la pâte) dépasse généralement 85% **[35-36]**

La pâte mécanique fournit un papier fragile dont se plaignent d'ailleurs les imprimeurs de journaux. Elle est donc utilisable principalement pour la fabrication des papiers de consommation courante et surtout du papier journal **[37]**, (Tableau I.4).

**Tableau I.4** : production de pâte : rendement ou qualité **[37]**

| Qualité | Constituants retenus | | | Rendement -matière |
|---|---|---|---|---|
| | cellulose | hémicellulose | lignine | |
| **Pate chimique** | | | | |
| • À faible rendement (essentiellement de résineux) | Totalité | Peu | Pas | 45 - 55% |
| • À haut rendement (de feuillus ou de résineux), dite encore mi-chimique | Totalité | Une partie | Une partie | 55 – 70% |
| **Pate mécano-chimique de feuillus** | Totalité | Totalité sauf celles dissoutes | totalité | 85 - 95 % |
| **Pate mécanique** | Totalité | Totalité | Totalité | Supérieur à 95% |

### B.2. La pâte chimique

C'est une Pâte de bois obtenus en soumettant du bois de trituration, des plaquettes et particules de bois ou des résidus de bois à une série de traitement chimique, cette rubrique comprend :

Pâte de bois au sulfate (Kraft), à la soude et au bisulfate. Elles peuvent être blanchies, mi-blanchies ou écrues **[38].**

Les pates chimiques sont des pates contenant un pourcentage élevé de cellulose pure. Pour éliminer la matière non fibreuse, on soumet les matières premières, réduites en coupeaux s'il s'agit de bois, à l'action dissolvante de produits chimiques. On obtient une pâte de cellulose, de pureté variable avec les degrés d'attaque chimique. Le rendement de ces pates peut descendre de 40 à 45% du poids de matière première **[39].**

# I.7. Déchets

## I.7.1. Définition

Le déchet est défini comme « Tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau, produit ou plus généralement tout bien meuble abandonné ou que son détenteur destine à l'abandon».

D'après la loi française du 15 juillet 1975 : « Est ultime un déchet résultant ou non du traitement des déchets et qui n'est plus susceptible d'être traité dans des conditions techniques et économiques du moment notamment par l'extraction de la part valorisable ou par réduction de son caractère polluant ou dangereux » **[40].**

On peut classer les déchets selon quatre grandes catégories représentant l'essentiel de la production et rendant compte de leur diversité : **[41].**

- **déchets organiques**

Ces déchets sont composés de matière organique et sont issus d'organismes vivants végétaux ou animaux.

- **déchets inertes**

Ce sont des déchets composés d'éléments minéraux qui n'évoluent pas dans le temps (non putrescibles) et qui ne contiennent pas de substances toxiques ou dangereuses. Ce sont les gravats, résidus d'activité extractive.

- **déchets banals**

Ce sont des déchets qui ne contiennent pas de substances toxiques ou dangereuses. Ce sont des déchets ménagers et les déchets qui leur sont assimilables et peuvent être traités de la même façon. Ce sont les emballages, les déchets de bois, de plastiques…

- **déchets spéciaux**

Ces déchets contiennent des éléments nocifs en quantités variables impliquant des précautions particulières d'élimination. Ce sont les solvants, les produits phytosanitaires,…; certains déchets spéciaux doivent être stabilisés avant stockage. Un déchet est considéré comme stabilisé quand sa perméabilité à l'eau et sa fraction lixiviable ont été réduites et quand sa tenue mécanique a été améliorée de façon à respecter certains seuils pour différents paramètres (pH, siccité, fraction soluble…)**.**

## I.7.2. Constitution chimique du déchet

Les déchets sont pour la plupart constitués des mêmes molécules chimiques que celles des produits. Ce qui différencie les déchets des autres produits provient d'un certain nombre

de particularités. Certains déchets résultent du traitement involontaire de molécules usuelles avec production de sous-produits de composition, a priori inconnu. Par ailleurs, le déchet peut se retrouver dans un milieu dont il n'est pas issu en tant que produit et de ce fait auquel il n'est pas destiné. Enfin, le mélange au hasard des déchets peut conduire à la formation de produits nouveaux **[42].**

## I.8. Recyclage des déchets

### I.8.1. Définition

Le recyclage est un procédé de traitement des déchets industriels et des déchets ménagers qui permet de réintroduire, dans le cycle de production d'un produit, des matériaux qui le composent. Le recyclage a deux conséquences écologiques majeures : la réduction du volume de déchets et la préservation des ressources ordinaires. C'est une des activités économiques de la société de consommation.

Certains procédés sont simples et bon marché mais, à l'inverse, d'autres sont complexes, coûteux et peu rentables. Dans ce domaine, les objectifs de l'écologie et ceux des consommateurs se rejoignent mais parfois divergent ; c'est alors le législateur qui intervient. Ainsi, en particulier depuis les années 70, le recyclage est une activité importante de l'économie et des conditions de vie des pays développés **[43]**. Le recyclage s'inscrit dans la stratégie de traitement des déchets dite des trois R **:**

- réduire, qui regroupe tout ce qui concerne la réduction de la production de déchets ;
- réutiliser, qui regroupe les procédés permettant de donner à un produit usagé un nouvel usage ;
- recycler, qui désigne le procédé de traitement des déchets par recyclage.

Pour lutter contre l'augmentation des déchets, le recyclage est donc nécessaire, mais il doit être inclus dans une démarche plus large.

### I.8.2. Les type des déchets recyclés

- **Travaux publics**

Des matériaux recyclés au service des chantiers routiers et VRD. Les déblais inertes sont reçus sur site, contrôlés, triés puis recyclés. De la fraction valorisable des déblais, naît le "granulat recyclé", sous la forme de sables, gravillons, graves et cailloux.

- **Bâtiment**

Des matériaux recyclés pour les applications bétons. Le granulat recyclé est issu de la déconstruction des ouvrages en béton pour être ensuite réintroduit dans la filière béton.

L'utilisation des matériaux recyclés dans ce domaine est très réglementée et fait l'objet d'études approfondies et de projets de recherche en cours **[44].**

### I.8.3. Impacts du recyclage sur l'environnement

Les bénéfices économiques et environnementaux du recyclage sont considérables :

- il permet de protéger les ressources, de réduire les déchets, de créer des emplois, de protéger la nature et d'économiser les matières premières.
- l'acier recyclé permet d'économiser du minerai de fer.
- chaque tonne de plastique recyclé permet d'économiser 700 kg de pétrole brut.
- le recyclage de 1 kg d'aluminium peut économiser environ 8 kg de bauxite, 4 kg de produits chimiques et 14 kWh d'électricité.
- l'aluminium est recyclable à 100% ,1 kg d'Aluminium donne 1 kg d'aluminium (après avoir été fondu).
- chaque tonne de carton recyclé fait économiser 2,5 tonnes de bois.
- chaque feuille de papier recyclé fait économiser 1 L d'eau et 2,5 W d'électricité en plus de 15 g de bois **[45].**

### I.8.4. Le papier recyclé

La production de pâtes et papiers participe à l'augmentation de déforestation, de la contamination de l'eau, de la pollution atmosphérique et des émissions de gaz à effet de serre **[46].** Avec l'augmentation de la protection des ressources forestières et l'environnement écologique, la fabrication du papier à partir de déchets de papier devient une tendance de développement importante dans le monde. Les déchets de papier, en tant que matière premières de fabrication du papier ou de composite, est une importante ressource renouvelable, qui non seulement peut remédier à la pénurie de matières premières et de réduire la consommation d'énergie, mais aussi de réduire la pollution grave de l'environnement **[47].**

Les vieux papiers et carton récupérés sous l'appellation fibre cellulosique de récupération sont principalement destinés aux industries papetières et cartonnières qui les réutilisent en remplacement des matières premières (bois). Le taux d'utilisation des fibres cellulosiques de récupération a considérablement augmenté en France par exemple au cours des derniers dix années pour dépasser les 50 % **[48].**

## I.9. Propriétés des composites renforcés par des fibres végétales

### I.9.1. Propriétés à l'état frais

L'ajout de fibres végétales à une matrice minérale conduit à une diminution de sa maniabilité compensable par un ajustement du rapport E/L (Eau/Liant) ou l'usage de super plastifiants **[49-50]** Cette perte d'ouvrabilité est d'autant plus importante que la relation d'aspect (rapport de la longueur sur le diamètre des fibres) et le dosage en fibres sont importants **[51].**

Bahloul et al **[52]** ont utilisé les fibres d'alfa avec différents pourcentages pour le renforcement de mortier de ciment, et ont enregistré une réduction importante de l'ouvrabilité avec l'augmentation du dosage de fibres, et cette réduction est due au grand pouvoir d'absorption d'eau des fibres d'alfa.

### I.9.2. Propriétés à l'état durci

Comme dans les bétons conventionnels renforcés, les fibres agissent en limitant la propagation et l'ouverture des fissures qui conduisent finalement à la rupture.
Les principales propriétés obtenues par l'incorporation de fibres végétales sont donc l'augmentation des résistances en traction, en flexion et au choc, la limitation de la fissuration au jeune âge par diminution du retrait plastique et l'amélioration de la ductilité **[53].**

#### I.9.2.1. Propriétés physique

**A. Retrait**

Le retrait plastique correspond à la variation dimensionnelle qui intervient dans tous les matériaux à base de ciment à l'état frais, pendant les premières heures qui suivent la mise en place. Dans le cas où le retrait est empêché, le phénomène conduit au développement de contraintes dans le ciment et à la création de fissures. Cette fissuration précoce peut conduire à terme à la dégradation des ouvrages notamment lorsqu'ils sont exposés à des cycles d'humidification-séchage ou de gel-dégel **[54].**

**B. Guérison autogène des fissures**

Les fissures peuvent se produire pendant n'importe quelle étape de la vie d'une structure en béton. Elles peuvent être dues au matériau béton lui-même comme dans le cas du retrait empêché, ou à cause de facteurs externes tels qu'un chargement excessif, une dure exposition environnementale, pauvres procédures de construction, ou erreur de conception **[55].**

### I.9.2.2. Propriétés mécaniques

#### A. Résistance des composites à fibres végétales (traction et compression)

Des études récentes ont suggéré que les fibres dérivées de sources de recyclage peuvent être efficacement utilisés comme renfort dans des matrices de ciment. À l'état sec elles sont sous forme de ruban plat (Fig.I.13), quand elles sont exposées à l'humidité, comme par exemple lorsqu'elles sont placées dans la pâte de ciment humide elles gonflent et ressemblent à des tubes creux. (Fig.I.14), (**[56]** cité dans **[57]).**

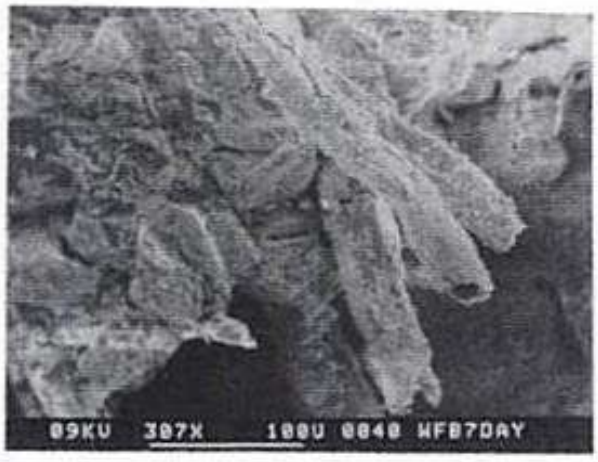



**Figure. I.13.** Microstructure de fibres de cellulose noyées dans une matrice de ciment obtenue Par Microscope électronique à balayage **[56].**

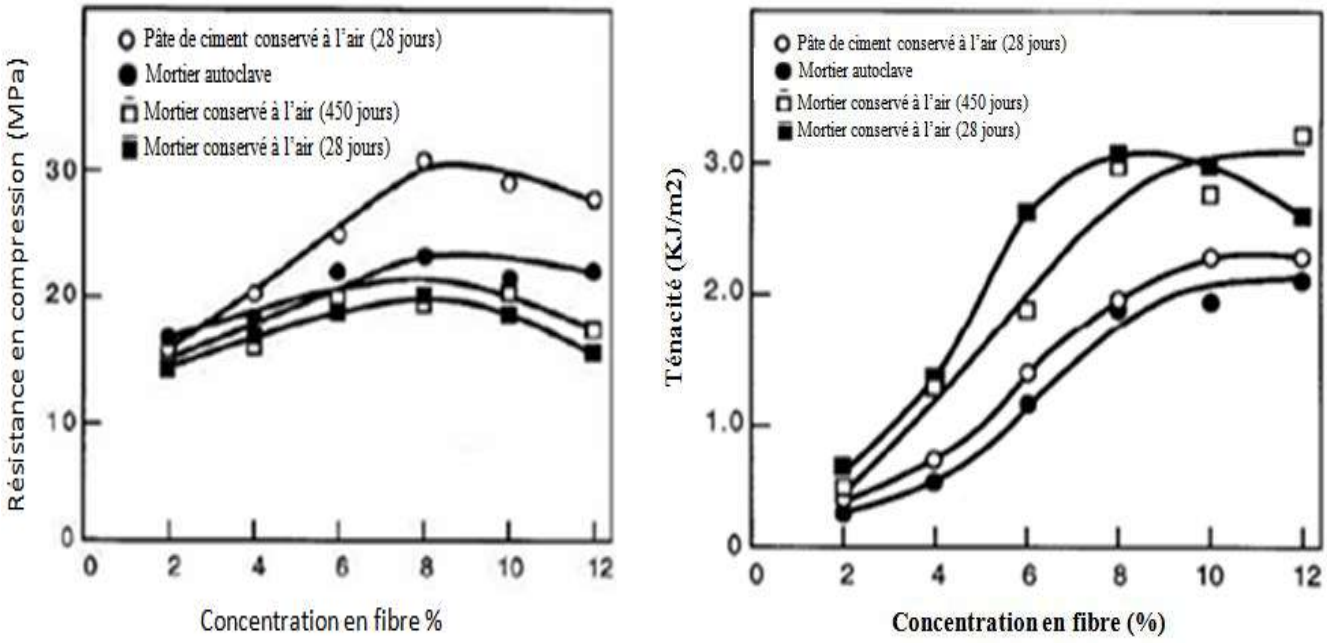



**Figure. I.14.** Résistance en flexion et ténacité de pâte et de mortier de ciment renforcés par la pâte kraft **[57].**

**B. Influence du mode de cure, du dosage et de la longueur des fibres sur la matrice cimentaire**

L'incorporation de fibres permet d'obtenir un matériau ductile, à la résistance en flexion et surtout à la ténacité nettement plus élevées que la matrice non renforcée. En incorporant 12% en masse de fibres de sisal à une matrice fragile, Savastano et al [**58]** obtiennent une résistance en flexion et une ténacité respectivement 5 et 43 fois plus élevées que celles de la matrice seule.

La figure. I.15, présente par exemple les résultats de résistance en flexion et de ténacité obtenus avec des pâtes ou des mortiers de ciment renforcés par une pâte kraft de fibres de bois à différents modes de cures.

Les performances du composite dépendent aussi du dosage et de la longueur des fibres. Mansur et al [**59],** ont étudié le renforcement de mortiers de ciment par des fibres de jute et les résultats sont présentés sur la Fig. I.16.

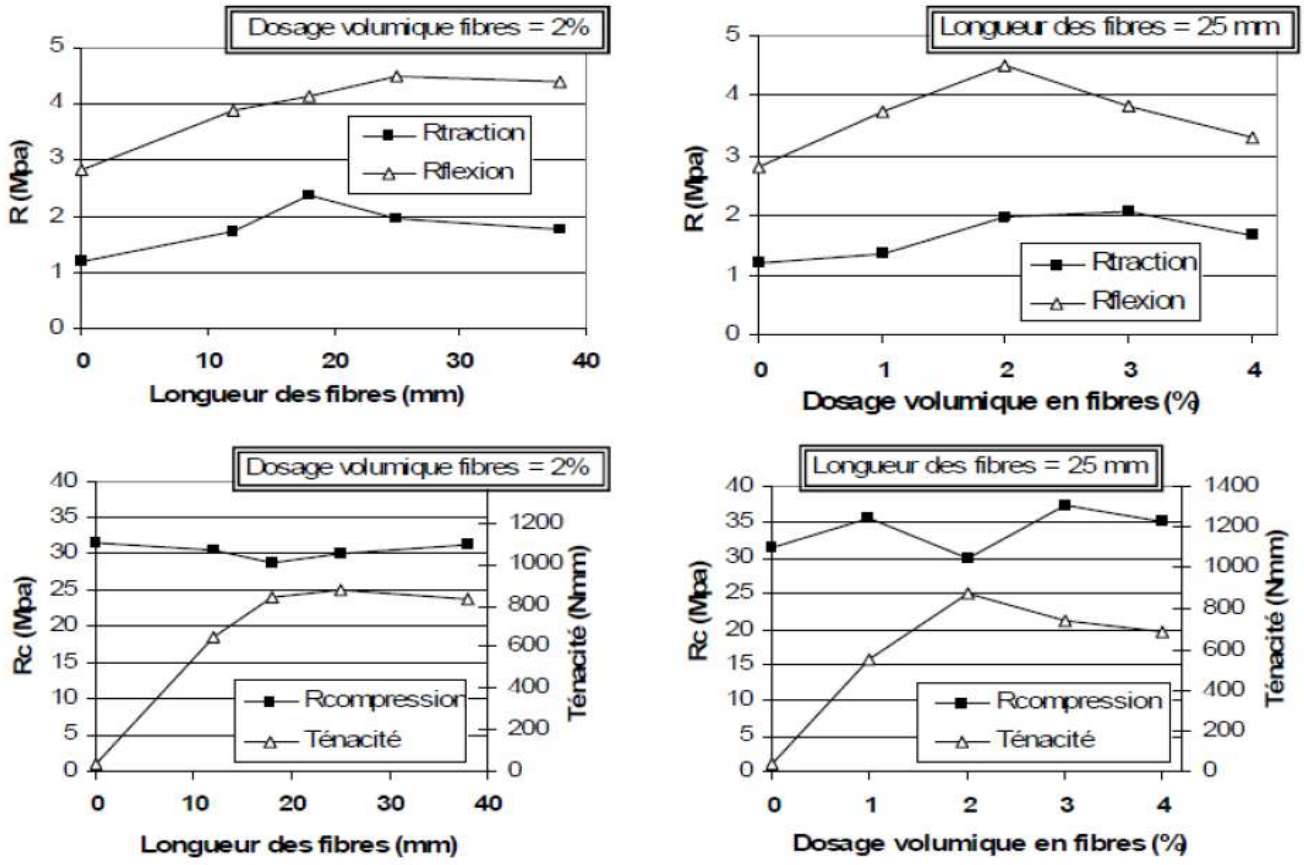



**Figure. I.15 :** Influence du dosage et de la longueur des fibres de jute sur les propriétés du composite **[60].**

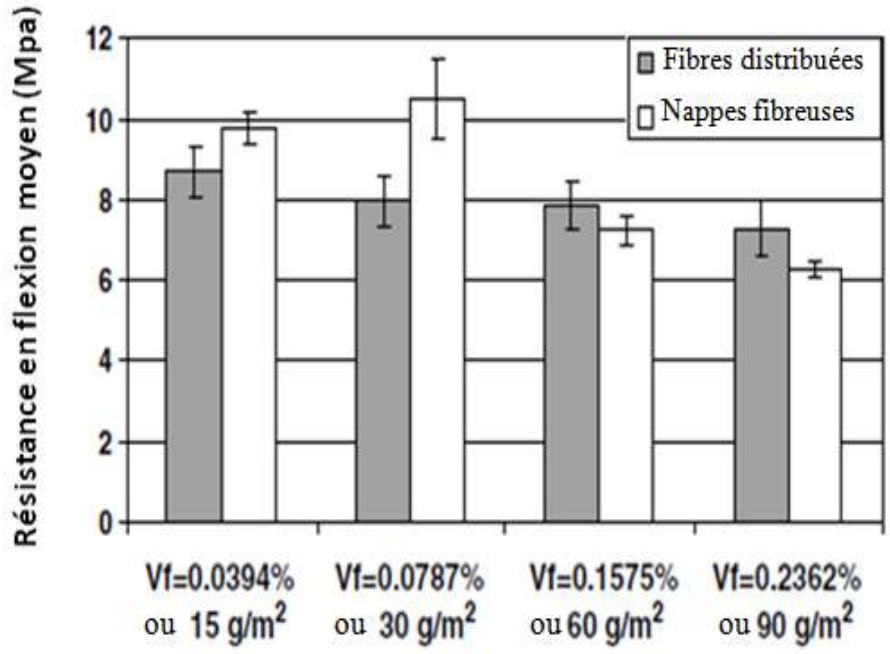



**Figure. I.16:** Effet des fibres alignées sur la résistance en flexion à 28 jours **[61].**

Les résultats de la figure.I.16 montrent que l'incorporation de fibres végétales permet d'améliorer les résistances en traction et en flexion ainsi que la ténacité du composite sans modifier fortement la résistance en compression.

### I.9.2.3. Durabilité des composites à fibres végétales

Les pâtes de ciment et des mortiers peuvent être renforcés avec des fibres végétales pour la fabrication des éléments de construction à paroi mince avec des formes variables. Toutefois, les matériaux composites en fibres végétales subissent un processus de vieillissement dans des environnements humides dans lesquels ils peuvent souffrir d'une diminution de la résistance et la ténacité.

Ce problème de durabilité est associée à une augmentation de la fracture de la fibre et diminution dans l'arrachement de fibre (fibre pull-out) en raison d'une combinaison d'affaiblissement des fibres par attaque alcaline, la minéralisation des fibres due à la migration des produits d'hydratation de lumens et d'espaces et de la variation de volume dans ces fibres en raison de leur forte absorption d'eau **[62].**

## I.10. Mortier et béton sous l'effet de compactage

Compacter un matériau consiste à appliquer : une force, une vibration ou une combinaison des deux sur un matériau. Cette action est effectuée dans le but d'éliminer les

vides remplis d'air qui existent dans le matériau et cela en diminuant la quantité d'eau dans le matériau.

### I.10.1. l'Influence de compactage sur les matériaux

Le compactage en tant que technique d'amélioration des propriétés mécaniques trouve application dans le domaine des matériaux de construction, Freidin **[63]** tout comme dans le domaine des travaux publiques, Durand et al **[64]** en l'occurrence l'édification de route et la construction des barrages et aussi dans le domaine des mécaniques des sols, Taallah et kenadil et al **[13-65]**.

### I.10.2. Le compactage de mortier

Le compactage du mortier frais est un élément important permettant d'obtenir un mortier solide, dense et durable, il consiste à diminuer la teneur en eau et les vides entre les granulats. Ce qui conduit à densifier le matériau et augmenter sa masse volumique. Ceci a pour conséquence d'améliorer la résistance du mortier. Nous remarquons également dans la figure I.17 l'effet de la pression sur la résistance qui montre que plus la force de la pression augmente la résistance aussi.

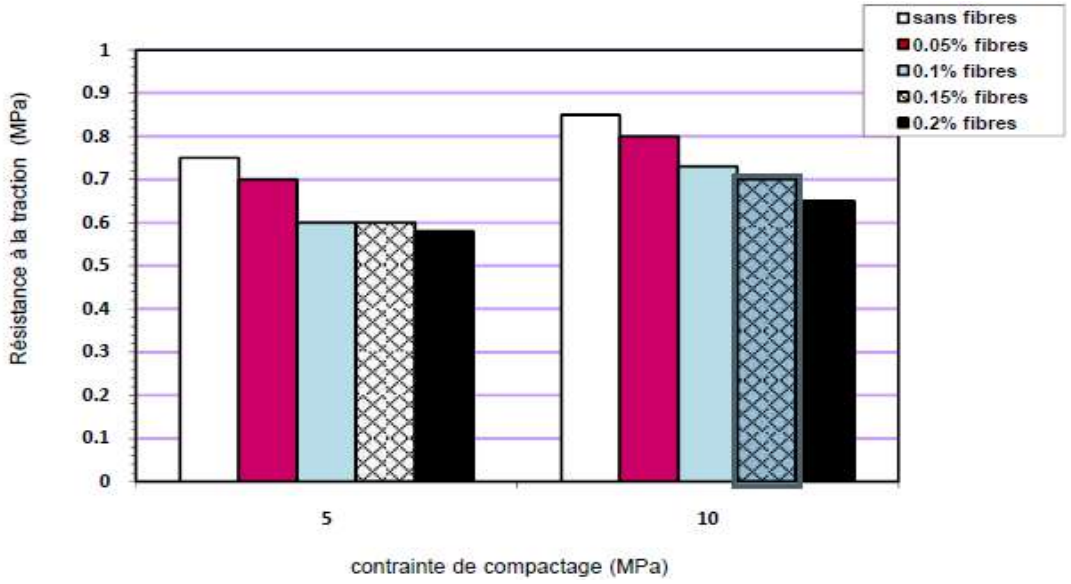



**Figure. I .17** : Effet de la force de compactage sur la résistance à la traction **[13].**

Les fibres cellulosiques sont des matériaux hydrophobes qui ; mélangées avec une matrice cimentaire nécessite une quantité d'eau importante qui nuit à la qualité du mortier**.** Nous avons jugé intéressent pour notre composite de réduire l'eau dans le mélange par la technique de compactage et de voir l'influence sur ses différentes propriétés**.**

## I.11. Mortier et béton sous l'effet d'une dépression

En gardant à l'esprit l'idée de sous tirer l'eau excédentaire présente dans le mortier comme développé dans le paragraphe précédent ; nous avons soumis dans cette partie de l'étude le composite placé dans un milieu confiné, à une dépression par extraction du vide de ce dernier. L'effet sera présenté dans le chapitre III.

## I.12. Conclusion

Ce chapitre est dédié à l'étude bibliographique sur les matériaux composites, Par ailleurs, elle présente les propriétés physiques, mécaniques des composites renforcés par des fibres végétales, ainsi que leur emploi et les déférentes sources. En outre, dans cette bibliographie on a fourni des informations sur les techniques de compactage appliquées aux matériaux composites.

# II.1. Introduction

On présentera dans ce chapitre l'ensemble des matériaux utilisés pour l'élaboration des mortiers, leur mise en œuvre, ainsi que les techniques expérimentales permettant leur caractérisation.

# II.2. Essais effectués sur matériaux

## II.2.1. Caractérisation des granulats

### II.2.1.1. Masses volumiques

Les masses volumiques apparentes et absolues des différents sables utilisés ont été déterminées selon la norme [NA 451] **[66]**.

**A. Masse volumique apparente**

Cet essai consiste à remplir un récipient de volume 1L par le matériau, ensuite on mesure la masse de ce dernier et on applique la relation qui donne ($\rho_{app}$) **[67]**:

$\rho_{app} = M / 1$ (kg/m$^3$)



**Figure II.1:** Le cône et le récipient

**B. Masse volumique absolue**

Cet essai consiste à mettre dans une éprouvette un volume d'eau de 200 ml puis on verse 100 g du matériau dedans et par le biais de la relation II.1 on calcul la masse volumique absolue **[67] :**

$\rho_{abs}$= M / $V_2$-$V_1$ (kg/ $m^3$) II.1

À la fin, on peut tirer les indices suivants: (porosité, compacité, indice des vides).

C = $\rho_{app}$ / $\rho_{abs}$ ; P = 1-C ; I = P / C II.2

### II.2.1.2. Propretés des granulats

Les granulats employés pour le béton doivent être propres, car les impuretés perturbent l'hydratation du ciment et entraînent de mauvaises adhérences entre les granulats et la pâte du ciment.

#### A. Equivalent de sable

Selon la norme [NF P 18-598] **[68]**, la procédure de mesure de l'équivalent de sable est comme suit **[69]**:

- ✓ On dispose de trois éprouvettes propres pour chaque sable, puis on prendra la moyenne des trois résultats obtenus ;
- ✓ En versant une quantité de 120 g de sable, jusqu'au premier trait d'une éprouvette normalisée contenant une solution lavant, et on laisse à reposer 10 minutes.
- ✓ On bouche les éprouvettes et on les agite d'une manière automatique à l'aide d'une machine agitatrice pendant 30 secondes ;
- ✓ On lave et on remplit les éprouvettes par la solution lavant jusqu'au trait supérieur, et on les laisse reposer 20 minutes en évitant toute vibration ;
- ✓ On lit les hauteurs $h_1$ et $h_2$ puis à l'aide d'un piston on mesure $h_2$'.

ES =100. ($h_2$' / h1) II.3

ESV =100. (h2/ h1) II.4

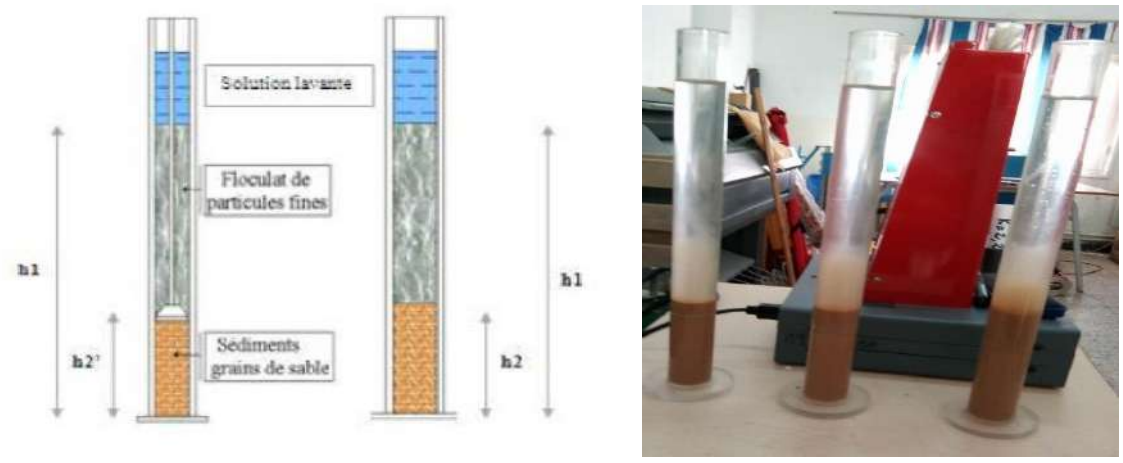



**Figure II.2 :** Procédure de mesure de l'équivalent de sable

### II.2.1.3.Granulométrie

#### A. Objet de la norme (NA 2607) [70]

La présente norme a pour objet de définir les granulats et leurs classifications d'après la dimension des grains et de fixer la méthode à suivre pour l'analyse et le tracé de la courbe granulométrique.

#### B. Le tamisage

L'analyse granulométrique par tamisage s'effectue au moyen d'une série de tamis d'ouvertures normalisées. Les particules à tamiser sont d'abord séparées par lavage. Les grosses particules sont ensuite fractionnées au moyen des tamis.

Le pourcentage massique de refus est obtenu par le rapport de la masse du refus et de la masse totale initiale sèche du matériau. Le pourcentage massique de tamisât est égale au complément du pourcentage massique de refus (100- pourcentage massique de refus). La variation du pourcentage massique de tamisât est tracée en fonction du logarithme décimale de la maille du tamis.

Une échelle logarithmique de la maille du tamis est plus convenable pour représenter adéquatement l'étendue des valeurs de la dimension de la particule. L'essai est réalisé selon la norme [NA 2607] **[70]**. Où le sable passant à travers une série de maille décroissante (annexe B) dont on pèse le refus de chaque tamis.

On utilise une quantité de 1000 g pour le sable de concassage et 1000 g pour le sable roulé. On trace les courbes granulométriques pour chaque sable, puis on tire les coefficients suivants :

- ✓ Le coefficient d'uniformité $C_u$ ;
- ✓ Le coefficient de courbure $C_c$ ;
- ✓ Le module de finesse Mf ;

#### C. Courbe granulométrique

On trace la Courbe granulométrique sur un graphique comportant en ordonnée le pourcentage massique de tamisât sous les tamis dont les mailes « D » sont indiquées en abscisse selon une graduation logarithmique. La forme de la courbe granulométrique représente la distribution de la dimension de la particule, cette distribution peut être qualifiée d'uniforme si les dimensions des particules sont voisines, donc elle et caractérisée par deux coefficients :

_ Le coefficient d'uniformité Cu : Cu = d60 /d10 II.5

_ Le coefficient de courbure Cc : Cc = (d30)2/ d10. d 60 II.6

d10 : diamètre moyen des grains correspondant à 10 % passant par poids.

d30 : diamètre moyen des grains correspondant à 30 % passant par poids.

d60 : diamètre moyen des grains correspondant à 60 % passant par poids.

La distribution des dimensions des particules est dite :

- Bien graduée si : Cu > 10
- Étalé si : Cu > 2
- Uniforme ou serrée si : Cu < 2

**D. Module de finesse (NF EN 933-1) [71]**

Le module de finesse d'un sable est définit par le 1/100 de la somme des refus exprimés en pourcentage sur les différents tamis de la série suivante : 0.16 ; 0.315 ; 0.63 ; 1.25 ; 2.5 ; 5. Le module de finesse est d'autant plus faible que les granulats sont riches en éléments fins. La teneur en eau de gâchage est inversement proportionnelle au module de finesse, donc la résistance progresse avec l'augmentation du module de finesse.

Le module de finesse des sables doit être compris entre 1,80 et 3,20 **[72]**.

- 2.20 <Mf< 2.80 : convient bien pour obtenir une ouvrabilité satisfaisante et une bonne résistance avec des risques de ségrégation limités.

- 1.80 <Mf< 2.20 : est à utiliser si l'on recherche particulièrement la facilité de mise en œuvre.
- 2.80 <Mf< 3.20 : correspond à des sables à utiliser pour la recherche des résistances élevées, mais on aura une moins bonne ouvrabilité et des risques de ségrégation. **[72].**

Dreux G **[72]** admet qu'un bon sable à béton doit avoir un module de finesse compris entre 2,20 et 2,80.

### II.2.2. Essais sur ciment

#### II.2.2.1. Essais physiques

**A. La finesse**

La finesse du ciment influe d'une façon considérable sur la résistance mécanique, la consistance normale et le temps de prise. La finesse est déterminée par la surface spécifique de Blaine. Elle est calculée en fonction du temps à l'aide du perméabilimètre de Blaine d'après la norme [NF P 15-476] **[73]**.

**B. La consistance normale**

C'est la quantité d'eau de gâchage qu'il faut ajouter à une quantité de ciment préalablement pesée pour obtenir une pâte dite normale, elle est mesurée à l'aide de l'appareil de Vicat d'après la norme [NF P 15-431] **[74]**.

**C. Le temps de prise**

Le début et la fin de prise sont déterminés à l'aide de l'aiguille de Vicat sur une pâte de consistance normale placée dans un moule tronconique d'après la norme (NF P 15-471) **[75].**

**II .2.2.2. Essais mécaniques sur le ciment**

Selon la fiche technique, les essais mécaniques sur le ciment ont été effectués conformément à la norme [NF P 15-471] **[75]** sur des éprouvettes prismatiques 4x4x16 $cm^3$ à raison de trois éprouvettes rapportées à la moyenne par âge. Le mortier utilisé est un mortier normalisé : 450 g de ciment, 1350 g de sable naturel et 225 g d'eau. Les résultats obtenus par cet essai sont acceptables pour la confection d'un béton et sont résumés dans le tableau II.1.

**Tableau II.1 :** Evolution de la résistance du ciment en fonction de l'âge

| Ages (jours) | Résistance à la compression (MPa) |
|---|---|
| 2 | >20 |
| 28 | ≥ 42.5 et 62.5 |

**II.2.3. Essais sur mortier**

**II.2.3.1. mortier frais**

**La masse volumique**

On a déterminé la masse volumique à l'état frais de composite par la différence des pesées des moules vides et remplis sur le volume du moule.

$\rho$ = masse de mortier/volume de moule II.7

Avec:

Volume du moule = 3(4x4x16)=768 cm3

Masse de mortier = la masse de moule remplis-la masse de moule vide



**Figure II.3:** moule vide dans la balance

### II.2.3.2. Mortier durcis

#### A. Essais mécaniques

Les essais habituellement utilisés pour évaluer la résistance du mortier sont la compression et la traction par flexion.

#### A.1 Essai de traction par flexion

Selon la norme [EN 196-1] **[76]** c'est l'essai le plus couramment utilisé. Il consiste à rompre en flexion (par trois points) (Fig II.4 et annexe D), une éprouvette prismatique de côté b et de longueur L **[69]**. Dans notre étude, cet essai est effectué sur des éprouvettes prismatiques de dimensions (4×4×16) cm, à 28 et à 90 jours.

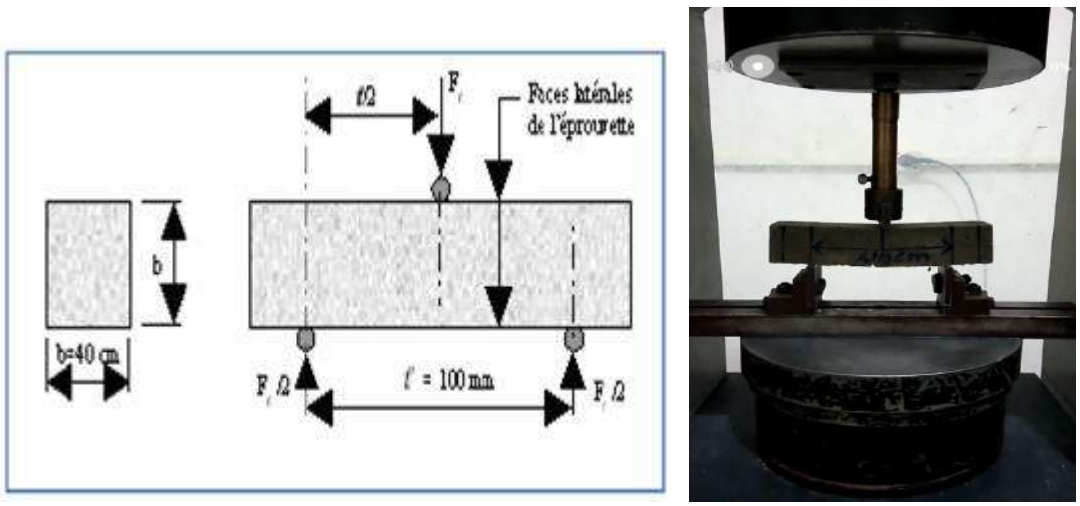



**Figure II. 4 :** Dispositif pour l'essai de résistance à la traction

La contrainte de flexion sur la fibre inférieure est donnée par la formule suivante :

$$\sigma_t = \frac{M}{I}\nu \qquad \text{II.8}$$

**M** : Moment de flexion entre les deux points d'application de la charge $\mathbf{:M = \frac{F_f L}{4}}$ II.9

**I** : Moment d'inertie de la section transversale $\mathbf{:I = \frac{a^4}{12}}$ II.10

**ν** : La distance de la fibre la plus éloignée $\mathbf{:\nu = \frac{a}{2}}$ II.11

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

$$\boldsymbol{\sigma_t = \frac{1.5 F_f L}{a^3}} \qquad \text{II.12}$$

En pratique on utilise la relation II.13 qui tient compte de l'hétérogénéité du béton on mortier

$$\mathbf{f_{t28} = 0.9\ Ft.L\ /\ a^3} \qquad \text{II.13}$$

La rupture de chaque éprouvette en traction est effectuée conformément au dispositif décrit sur la Fig II.5.

**A.2 Essai de compression**

La résistance à la compression a été mesurée selon la norme (EN 196-1) **[76]** par compression axiale pour le demi prisme d'éprouvettes prismatique de dimensions (4x4x16) cm**.** La résistance à la compression correspond à la contrainte moyenne d'écrasement sur trois éprouvettes.

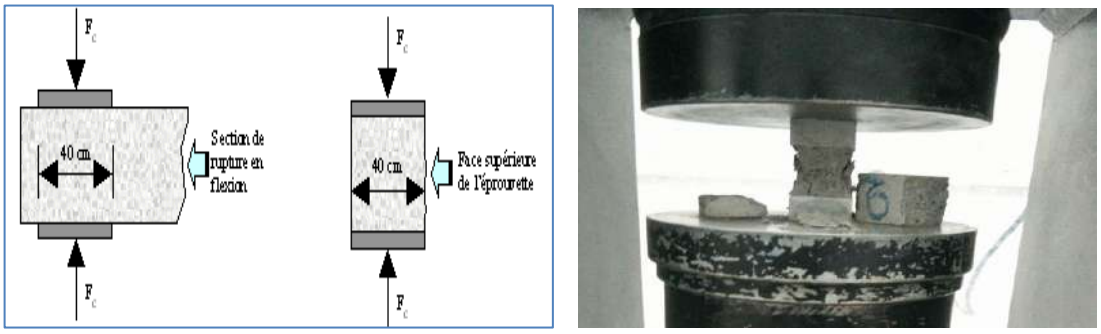



**Figure II.5 :** Dispositif de rupture à la compression

Les demi-prismes de l'éprouvette obtenus après rupture à la traction seront rompus à la compression comme indiquée sur la figure II.5, la contrainte de rupture est calculée comme suit : II.14

$$R_C = \frac{F_C}{b^2}$$

Avec :

**RC:** Contrainte de rupture (MPa) ;

**Fc:** Charge de rupture (MN);

**b² :** Section de l'éprouvette $(16 \times 10^{-4})$ m².

La résistance à la compression correspond à la contrainte moyenne d'écrasement de trois éprouvettes à chaque âge d'essai.

**B. Essai d'absorption d'eau par capillarité**

Conformément à la norme [NBN NE 13057] **[77]**, on utilise des éprouvettes prismatiques de section 4x4 $cm^2$qu'on a préalablement séché jusqu'à masse constante. On pèse l'éprouvette au début ($m_0$), après on l'introduire dans un bac remplit d'eau (5 mm d'eau) (Fig II.6) et pendant chaque intervalle de temps (12 min, 30 min ,1 h ,2 h ,4 h ,24 h) on ressort l'éprouvette du bac et on la repese ($m_1$). La différence de poids entre $m_1$ et $m_0$ est le poids de l'eau absorbée par le matériau ($m_1$- $m_0$).

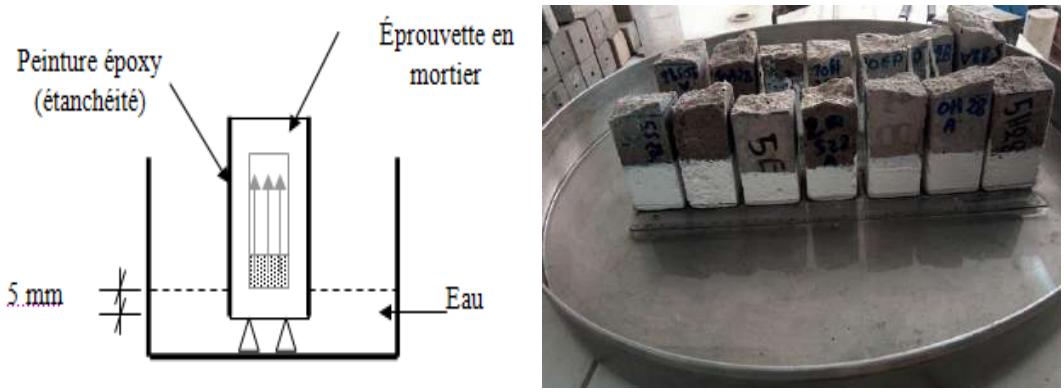



**Figure II.6 :** Absorption d'eau par capillarité.

**C. Essai de retrait**

Définit comme la diminution du volume apparent de la matière, on le mesure sur des éprouvettes prismatiques de mortier de 16 cm de longueur et d'une section droite de 4 ×4 $cm^2$, conservées dans l'air à une température de 20°C et une hygrométrie de 50%.

La norme [NF P 15-433] **[78]** impose les valeurs limites, à 28 jours, de

- 800 µm/m pour les ciments portlands CPA-CEM I et CPJ-CEM II de classe 32.5 ;

-1000 µm/m pour des types de ciment identiques mais de classes 32.5R, 42.5 et 42.5 R.

Le béton ou le mortier peut subir des changements de volume (retrait ou gonflement) pour un certain nombre de raisons: charge (fluage), les cycles de séchage et de mouillage, la réaction expansive pouvant survenir dans le ciment et la réaction expansive qui peut survenir entre le ciment et agrégats **[79].**

Pour mesurer le retrait, des éprouvettes prismatiques de dimension (4 × 4 × 16) cm sont utilisées. On compare, à différents temps, la variation de longueur d'une éprouvette, par rapport à sa longueur initiale à un temps t0 pris pour origine.

On mesure le retrait total libre dû à l'évaporation de l'eau contenue dans le mortier. Les éprouvettes sont conservées sans moyen de protection où les éprouvettes sont placées dans une salle à température de 20 ± 2°C et une humidité relative de 65 ± 5% et en absence de vent.

Pour assurer un bon contact entre l'aiguille du comparateur et le mortier, des plots ont été ancrés au centre de la surface de contact de l'éprouvette. Les éprouvettes de mortier sont placées d'une manière à éviter tout risque d'instabilité à une température ambiante (Fig II.7).



**Figure II.7 :** Rétractomètre et son étalonnage

**D. Mesure des variations de masse**

La variation de masse est déduite après avoir, pesé à 0.1g près, chaque éprouvette à chacun des temps utilisés pour mesurer de retrait.

Pour chaque éprouvette on calcule le rapport suivant :

$$\frac{\Delta M}{M} = \frac{M - M_t}{M} \qquad \text{II.15}$$

$\Delta$**M** : Variation de masse par rapport à la masse au moment du démoulage **M**.

**M** : Masse de l'éprouvette au moment du démoulage.

**Mt** : Masse de l'éprouvette mesurée à un temps t après démoulage.

## II.3. Matériaux utilisées

Dans ce travail et dans le but de pouvoir comparer les résultats d'un mortier témoin sans fibre et un autre mortier avec fibre. Les deux mélanges à base de sable roulé corrigé par un sable de concassage sont utilisés. Les constituants entrant dans la composition de la matrice sont :

### II.3.1. Le sable

Le sable utilisé dans notre étude est un mélange de sable naturel de granulométrie 0/5 et le sable de concassage de granulométrie 0/3**.**

#### II.3.1.1. Le sable roulé

Le sable roulé utilisé dans cette étude est de SIDI BAZIDE de la région de Djelfa, située à 160 Km au sud de Médéa**,** (Fig II.8).

#### II.3.1.2. Le sable de concassage

Pour le sable de concassage utilisé (Fig II.8), il est de dimension 0/3. Il provient de la station de concassage de MONT GORNO située à 25 Km au sud de Médéa.



Sable roulé de sidi Bazide Sable de concassage

**Figure II.8:** Les sables utilisés

### II.3.2. Le ciment

Un seul type de ciment utilisé au cours de cette étude expérimentale. Il s'agit d'un ciment portland composé CPJ-CEM II/A 42.5, produit par la cimenterie de Chlef avec les caractéristiques présentées sur le tableau II.2.

**Tableau II.2:** Propriétés physiques d'identification du ciment utilisé.

| Caractéristiques | | Norme |
|---|---|---|
| **Finesse ($cm^2/g$)** | 3765 | NF EN 196-6 **[80]** |
| **Masse volumique absolue ($g/cm^3$)** | 2,93 | |
| **Masse volumique apparente ($g/cm^3$)** | 1,02 | NF EN 459-2 **[81]** |
| **Consistance normale (%)** | 27,04 | NF EN 196-3 **[82]** |
| **Début de pris** | 2h30 | |
| **Fin de pris** | 4h | |
| **Classe de résistance (MPa)** | 46 | NF EN 196-1 **[83]** |

### II.3.3. les fibres

Les fibres utilisées sont issues de la récupération des emballages d'œufs (Fig II.9) produits par la Société nationale de production de cellulose et des papiers (CELPAP), Algérie. Leur préparation nécessite un traitement physicochimique décrit en (Fig II.10) La pâte est composée principalement de bois résineux (40 %), d'alfa (35 %) et de bois feuillus (25%).



**Figure II.9 :** Fibres issues de la récupération des emballages d'œufs

### II.3.3.1. Préparation des fibres

Un traitement d'homogénéisation et de blanchiment font subir ces fibres selon l'organigramme suivant :

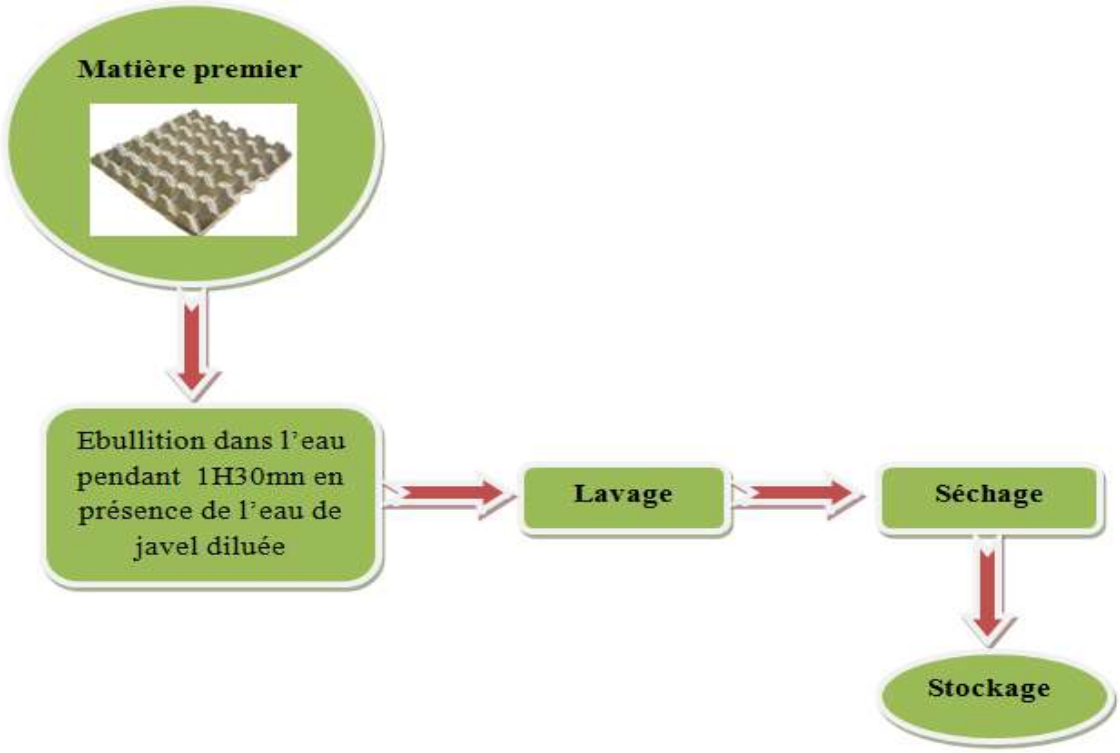



**Figure II.10 :** Schéma de principe des phases du traitement du déchet de papier **[84]**

Pour être utilisé dans le mortier, les fibres ainsi préparées sont pesées puis mélangées avec une quantité d'eau appropriée où on doit respecter le taux d'absorption d'eau par les fibres et la fraction nécessaire au gâchage du béton.

### II.3.3.2.Taux d'absorption d'eau par les fibres

Par immersion dans l'eau, un matelas fibreux est en mesure d'absorber 5 fois sa masse pris à l'état sec **[85].**

### II.3.4. L'eau de gâchage

L'eau de gâchage utilisée pour la confection de mortier est une eau potable du robinet **[72]**, exempte d'impuretés, conforme à la norme [NFP 18-303] **[86]**.

## II.4. Elaboration du composite

### II.4.1. protocole d 'essais

A raison de trois éprouvettes par essai, deux cures différentes, quatre procédures d'essais, pour trois compositions de pourcentage des fibres, le nombre d'essais effectué sur les mortiers réalisés est résumé comme suit :

- 192 essais de traction par flexion
- 256 essais de compression simple
- 120 essais de retrait
- 18 essais d'absorption d'eau

### II.4.2. Composition des mortiers

#### II.4.2.1. Composition du mortier témoin (sans fibres)

Le mortier témoin se compose du liant, sable et d'eau. Pour la préparation de 03 éprouvettes prismatiques de dimensions 4x4x16 cm, les quantités sont respectivement les suivantes :

Ciment : 450g

Sable : 1350 g

Eau : 225 g

Le rapport E/C est maintenu constant à 0,50

#### II.4.2.2. Composition du mortier avec fibres

L'optimisation de la composition des mortiers chargés de fibres est un passage obligé dans l'ingénierie de ce matériau. La formulation de ces matériaux ne peut pas, et ne doit pas se résumer, à l'introduction directe d'un certain pourcentage de fibres, dans un mortier ayant été préalablement optimisé sans fibres. En effet, cette introduction perturbe l'arrangement granulaire de la matrice, ce qui a pour double conséquence de diminuer la maniabilité du matériau et d'altérer sa compacité. Il est évident que cette perturbation est d'autant plus importante que le pourcentage de fibres est élevé, donc il est impératif de reformuler la matrice **[87]**. L'optimisation de la composite a fait l'objet d'un précédent travail **[88]**.

Dans notre travail on a utilisé 3 différents pourcentages de fibre (5%,10%,20%), les constituants sont présentés dans le tableau II.3.

**Tableau II.3** : Constituants du composite pour 1 moule de trois éprouvettes (4*4*16 $cm^3$) **[88]**

| % de fibre | 5% | 10% | 20% |
|---|---|---|---|
| **E/C (adopté)** | 0.82 | 1.2 | 2.18 |
| **Ciment (g)** | 379.77 | 310.85 | 225.7 |
| **Sable (g)** | 1139.33 | 932.57 | 677 |
| **Eau (g)** | 311.41 | 373.06 | 491.9 |
| **Fibre (g)** | 19.023 | 31.10 | 45.14 |
| **Volume de moule 3 éprouvettes (4*4*16 $cm^3$)** | 768 | 768 | 768 |

### II.4.3. Malaxage des mortiers

La procédure de malaxage pour les deux types de mortier (sans et avec fibres) est représentée dans les tableaux II.4 et II.5**.**

**Tableau II.4** : Opérations de malaxage du mortier sans fibres **[69]**

| Opérations | Durée | Etat du malaxeur |
|---|---|---|
| Introduction de l'eau | - | Arrêt |
| Introduction du ciment | | |
| Malaxage | 30 s | Vitesse lente |
| Introduction du sable | 30 s | |
| Malaxage | 30 s | Vitesse rapide |
| Raclage de la cuve | 15 s | Arrêt |
| Repos | 1min 15s | |
| Malaxage | 60s | Vitesse rapide |

**Tableau II.5** : Opérations de malaxage du mortier avec fibres **[69]**

| Opérations | Durée | Etat du malaxeur |
|---|---|---|
| Introduction de l'eau | - | Arrêt |
| Introduction des fibres | | |
| Malaxage | 10 a 15mn | Vitesse lente |
| Introduction du ciment | - | Arrêt |
| Malaxage | 30s | Vitesse lente |
| Introduction du sable | 30 s | |
| Malaxage | 30 s | Vitesse rapide |
| Raclage de la cuve | 15 s | Arrêt |
| Repos | 1min 15s | |
| Malaxage | 60s | Vitesse rapide |

### II.4.4. Préparation des mélanges

Tous les mélanges sont préparés dans les mêmes conditions dans une salle à une température de 20°C ± 2C° et à une humidité relative supérieure ou égale à 50%. Le mélange est effectué par malaxage qui, conformément aux prescriptions de la norme EN 196-1, au moyen du malaxeur spécifié par la norme NF P 15-411.

### II.4.5. Equipement nécessaire

- Une salle à une température de 20 °C ± 2°C et à une humidité relative supérieure ou égale à 50 %
- Un bac d'eau pour la conservation des éprouvettes maintenue à une température de 22 °C ± 2 °C et trempées dans l'eau
- Un malaxeur à mortier normalisé avec une cuve de 5 L et pale de malaxage en inox
- Des moules normalisés permettant de réaliser 3 éprouvettes prismatiques de section carrée (4cm x 4cm x 16cm)
- Une table à chocs pour le serrage des éprouvettes, permettant d'appliquer 60 chocs aux moules en les faisant chuter d'une hauteur de 15mm ± 0,3mm à la fréquence d'une chute par seconde pendant 60 s
- Balances pour la mesure des petites et grandes quantités
- Eprouvettes et béchers en verre et en plastique graduées

➢ Spatules flexibles en acier inox



**Figure II.11 :** Equipement nécessaire

### II.4.6. Conservation des éprouvettes

Après démoulage on a entreposées les éprouvettes dans deux milieux de cures, la 1ère dans l'eau à 20 C° ± 2 C°, la 2ème à l'air libre du laboratoire , jusqu'au moment de l'essai de rupture.

## II.5. procédures appliquées aux éprouvettes

Une fois terminée la coulé dans des moules, le matériau subit soit une pression de compactage par application d'une charge au-dessus, soit une dépression dans un dessiccateur où on procède à l'extraction du vide. Ceci est décrit dans ce qui suit :

### II.5.1. procédure par compactage

Nous avons soumis nos éprouvettes à des pressions par l'application de deux différentes charges de 8 kg et 16 kg. Des plaques sont placées fermement en contact direct avec le matériau. Elles sont perforées pour permettre à l'eau de s'échapper au-dessus de l'éprouvette (Fig II.12). Les charges restent en place pendant 4 heures en respectant le temps de début de prise du composite.



**Figure II.12 :** Eprouvettes sous chargement

### II.5.2. procédure par extraction du vide

Dans cette partie de l'étude, on était obligé de fabriquer des moules individuels pour la préparation des éprouvettes de dimensions 4 x 4 x 16 $cm^3$ (Fig II.13) qui peuvent être placé dans un dessiccateur à dimensions limitées disponible au laboratoire.



**Figure II.13:** moule de (4cm x 4cm x 16cm)

Au nombre de trois, les moules une fois remplis du composite, sont introduit à l'intérieur du dessiccateur lui-même relié à une pompe à vide pour l'extraction de l'air. Le système est mis en marche pendant 4 heures correspondant au temps de début de prise (FigII.14).



**Figure II.14 :** dessiccateur avec pompe à vide

Que ce soit par compactage ou par extraction du vide, l'idée est de trouver un moyen pour réduire la quantité d'eau dans le mélange qui pourra avoir une incidence sur la résistance du matériau fabriqué.

## II.6. Conclusion

Le programme expérimental décrit dans ce chapitre nous a permis d'identifier et de caractériser les matériaux utilisés dans la formulation du mortier et de définir les protocoles des essais réalisés.

## II.7.Variables étudiées

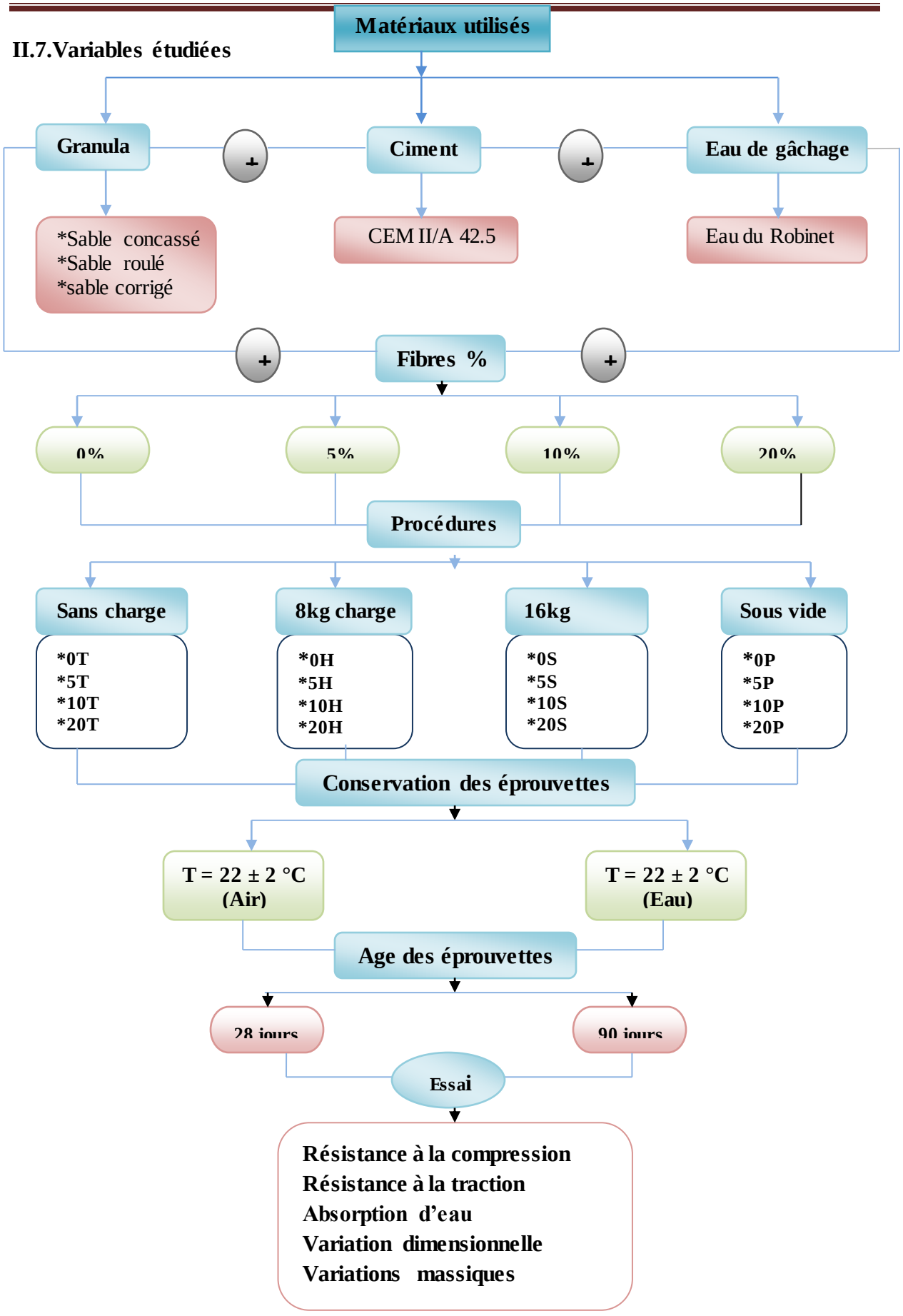



**Figure II.15:** Variables étudiées

## III.1. Introduction

Les résultats des différents essais qu'on a faits sur les granulats, le mortier frais et durci sont rassemblés ci-après et les valeurs retenues sont les moyennes arithmétiques de trois résultats de l'essai

## III.2. Essais effectués sur granulats

### III.2.1. Masses volumiques

Après avoir soumis les granulats utilisés à différents essais de caractérisation, les résultats trouvés sont résumés dans le tableau III.1.

**Tableau III.1 :** Les masses volumiques des différents sables utilisés

| **Sable** | **Roulé** (SIDI Bazid) | **Concassé lavé** (Mont Courno) |
|---|---|---|
| **Masse volumique apparente ($kg/m^3$)** | 1464 | 1452 |
| **Masse volumique absolue ($kg/m^3$)** | 2850 | 2560 |

### III.2.2. Equivalent de sable

Les résultats de l'essai d'équivalent de sable sont résumés dans le tableau III.2.

**Tableau III.2 :** L'équivalent de sable des différents sables utilisés

| **Sable** | **ESV** | **ESP** | **Observations** |
|---|---|---|---|
| **Roulé (**SIDI Bazid**)** | 83.78 | 80.1 | Sable très propre : bonne utilisation |
| **Concassé (**Mont courno**)** | 54.33 | 51.21 | Sable argileux |

Les résultats présentés dans le tableau III.2 nous montre que l'équivalent sable est acceptable.

### III.2.3. Analyse granulométrique

Afin de tracer la courbe granulométrique des sables, on les soumet au tamisage. Les courbes granulométriques des sables utilisés sont illustrées dans la figure III.1.

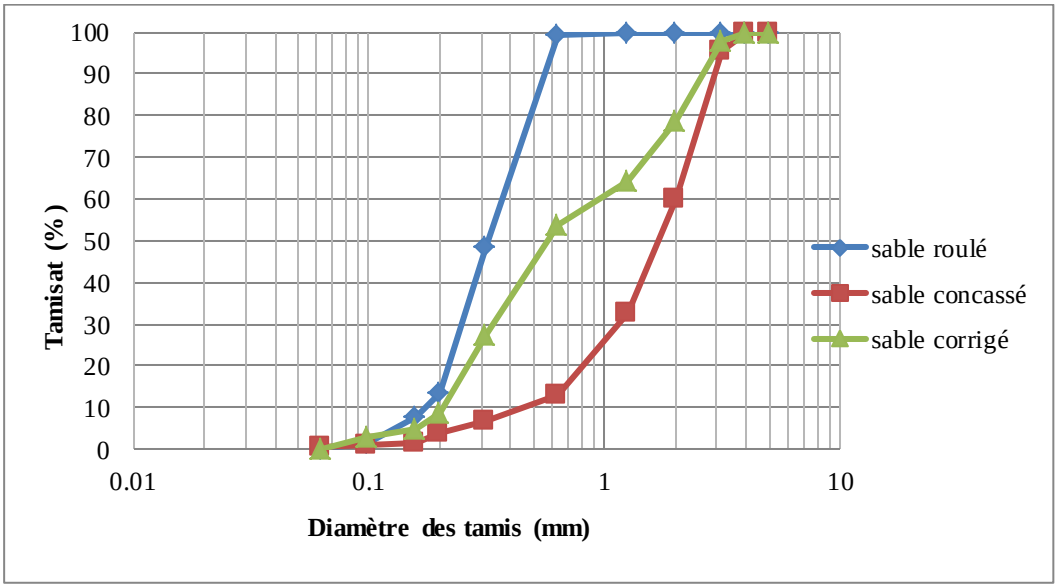



**Figure III.1 :** La courbe granulométrique des sables utilisés

A partir de l'analyse granulométrique, on détermine le module de finesse (MF) et les résultats trouvés pour chaque sable sont récapitulés dans le tableau III.3.

**Tableau III.3 :** Analyse granulométriques des différents sables.

| **Sable** | **Roulé** (SIDI Bazid) | **Concassé lavé** (Mont Courno) |
|---|---|---|
| **Module de finesse (MF)** | 1.43 | 3. 45 |

A travers ces résultats, il parait clair que le sable concassé est grossier alors que l'autre est fin, ce qui nous oblige à corriger le fin par le grossier pour avoir un mélange convenable.

### III.2.3. Mélange des deux sables

Selon la méthode d'ABRAMS **[72]** et le module de finesse souhaité (Mf souhaité = 2.5), on calcul les paramètres $S_1$, $S_2$ et S suivants :

Mf souhaité =2.5

$S_1$=3.45-2.5=0. 95

$S_2$=2.5-1.43=1.06

S=0.95+1.06=2.01

- Le sable mélange sera composé alors des portions suivantes
- Le pourcentage du sable concassé =(1.06/2.01).100=52.73 %
- Le pourcentage du sable roulé =(0.95/2.01).100=47.26 %

## III.3. Caractérisation des mortiers

Les résultats données ci-après sont regroupés selon deux modes : à l'état frais et à l'état durci.

### III.3.1. Le mortier à l'état frais

#### III.3.1.1. l'eau extrait sous l'effet de procédure

Il est à rappeler que par procédure, on entend l'opération effectuée sur les éprouvettes mises en place dans les moules (sous vide dans un dessiccateur, sous charge de 8 kg ou sous charge de 16 kg).

Dans cette essai nous pesons la masse des éprouvettes après 4 heures de mise en place de mortier dans les moules, Les résultats sont représentés par des histogrammes qui permettent de comparer les valeurs de la masse d'eau extraite par rapport aux différentes procédures utilisées.

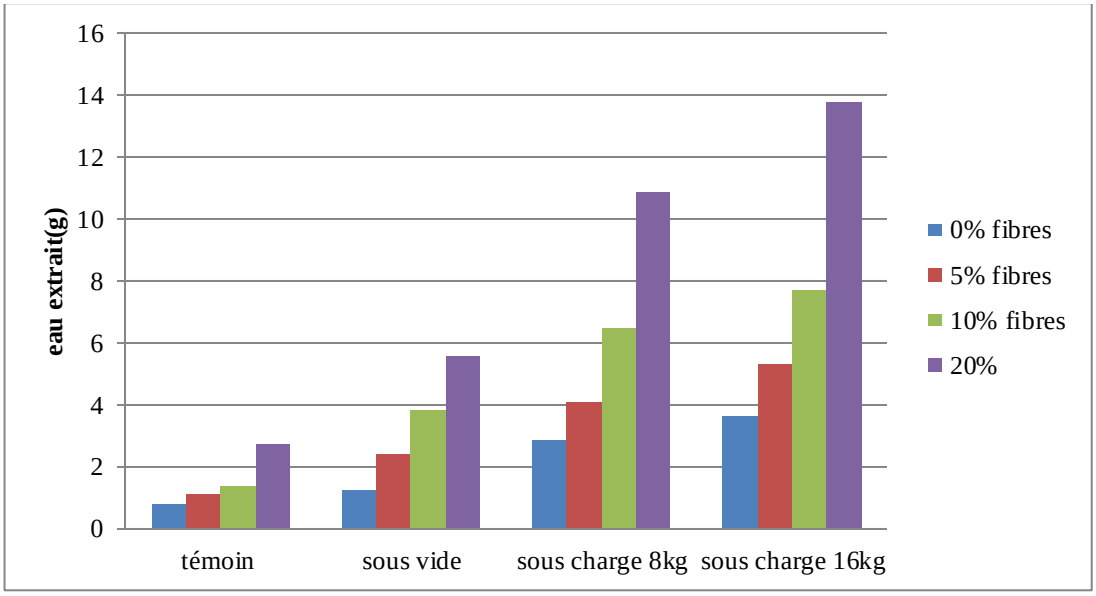



**Figure III.2 :** l'eau extrait du mortier pour différent pourcentage de fibres

D'après la lecture de ces histogrammes on peut dire que, la masse d'eau extraite varie en fonction du type de procédures. On remarque que la masse d'eau extraite d'un mortier témoin est nettement inférieure à celle des autres procédures, et on remarque aussi que l'effet de la charge appliquée sur l'éprouvette est plus grand que l'effet sous vide et le mortier témoin.

On constate aussi que la masse d'eau extraite augmente avec l'augmentation des pourcentages en fibres.

Ce résultat est évident par le fait que le rapport E/C du mortier avec fibres est élevé vue que les fibres de cellulose sont hydrophobes et absorbent une grande quantité d'eau.

La mise en sous pression du mortier avec fibres permet à l'eau de s'échapper par ruissellement mais en quantité faible comparativement au cas de chargement à 8 et à 16 kg dont l'action ressemble à l'extraction d'eau par essorage.

### III.3.1.2. La Masse volumique des éprouvettes

Le résultat de la masse volumique ρ des éprouvettes à l'état frais est défini par :

$$\rho = \frac{M}{v} \qquad \text{III.1}$$

Avec :

$\boldsymbol{M}$ : La masse de l'éprouvette à 24h

$\boldsymbol{v}$ : Le volume d'éprouvette

Après les avoir laissés à l'air du laboratoire pendant 24 h après le coulage, la masse volumique du composite est représentée sur la figure III.3.

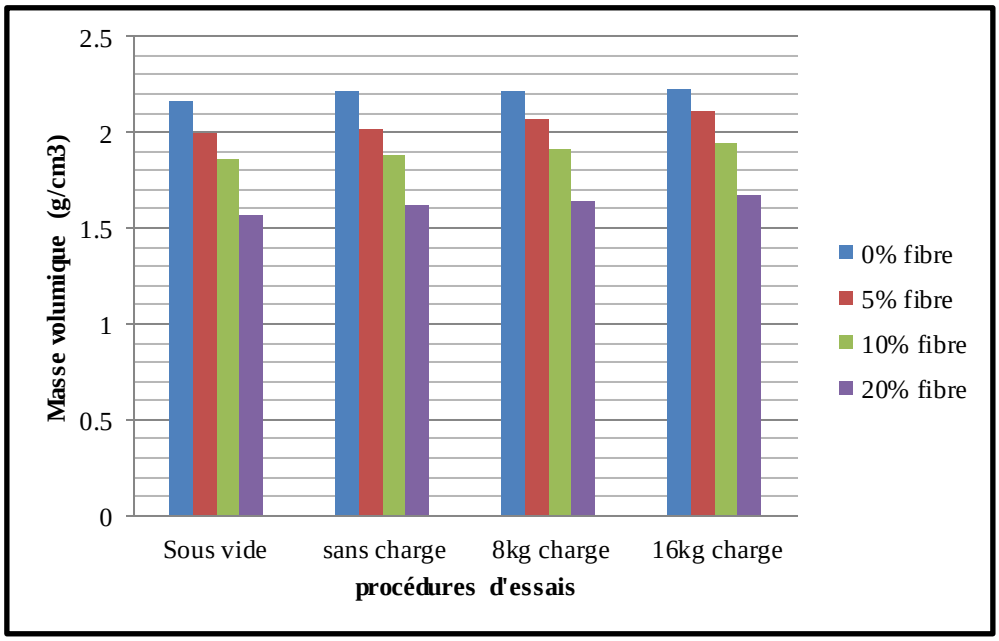



**Figure III.3 :** variation de la masse volumique des éprouvettes à l'état frais

D'après la figure III.3, les résultats obtenus montrent que plus le volume des fibres augmente, plus les masses volumiques diminuent et les composites deviennent plus légers quel que soit la procédure appliquée aux éprouvettes.

On remarque aussi que l'application d'une charge au-dessus du matériau a pour effet une densification de ce dernier quel que soit le pourcentage en fibre dans le matériau, par contre et pour la procédure sous vide on remarque que ρ a une valeur faible par rapport aux autres cas.

### III.3.2. Le mortier à l'état durci

#### III.3.2.1. La Masse volumique des éprouvettes

A l'âge de 90 jours on pèse toutes les éprouvettes et on détermine la masse volumique. Les résultats sont représentés sur la figure III.4.

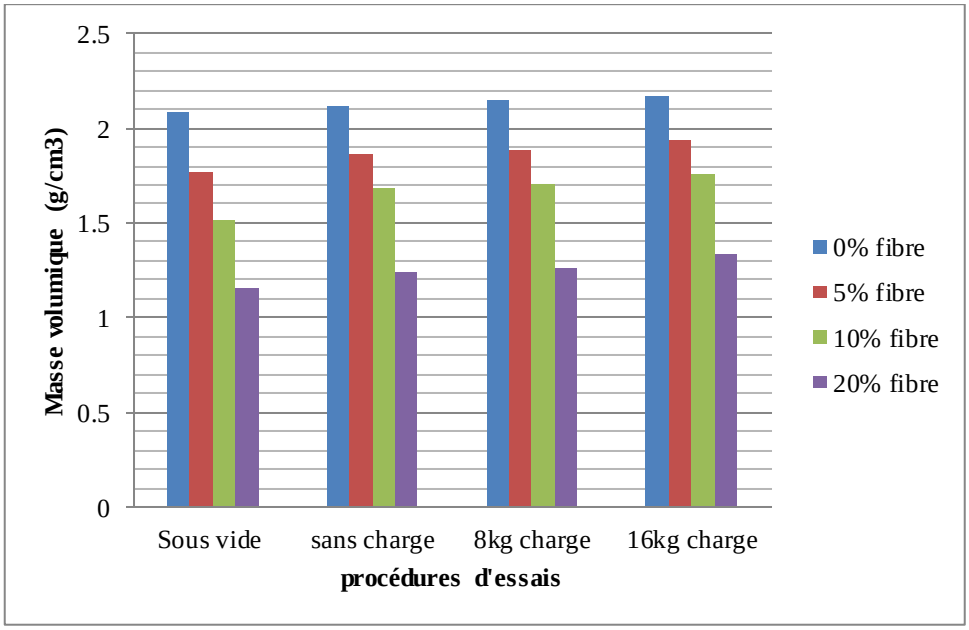



**Figure III.4:** variation de la masse volumique des éprouvettes à l'âge de 90 jours

En plus des remarques indiquées dans le cas du matériau à l'état frais, il est à souligner qu'avec le temps (après 90 j), la masse volumique diminue d'une manière significative par rapport à l'état frais et le matériau devient plus léger.

#### III.3.2.2. Résistance à la compression

Pour chaque essai, le résultat est la moyenne de trois mesures prises sur trois éprouvettes à l'âge de 28 et 90 jours et ceci est valable pour les deux cures. Les résultats sont illustrés dans les figures III.5 à III.10.

**A. Résistance à la compression à l'âge de 28 jours**

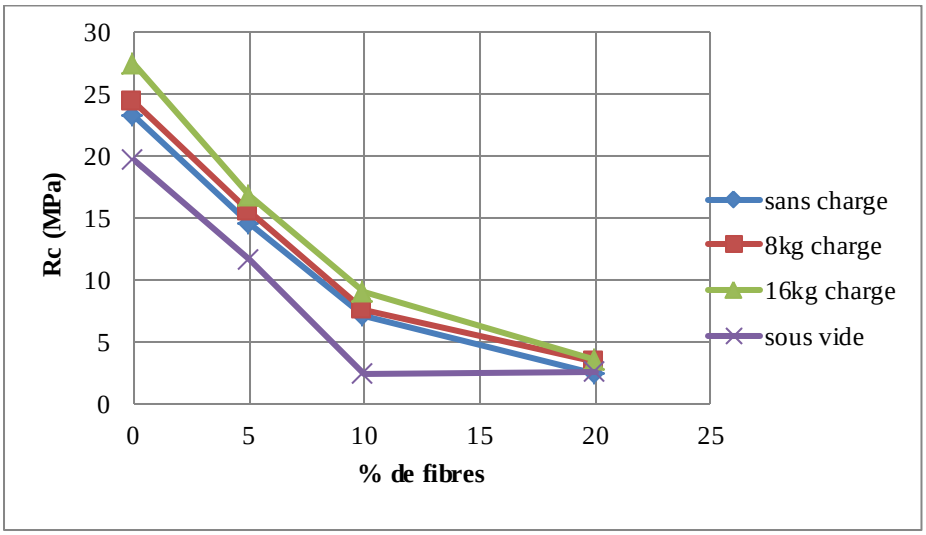



**Figure III.5:** Variation de la résistance à la compression à l'air à 28 jours

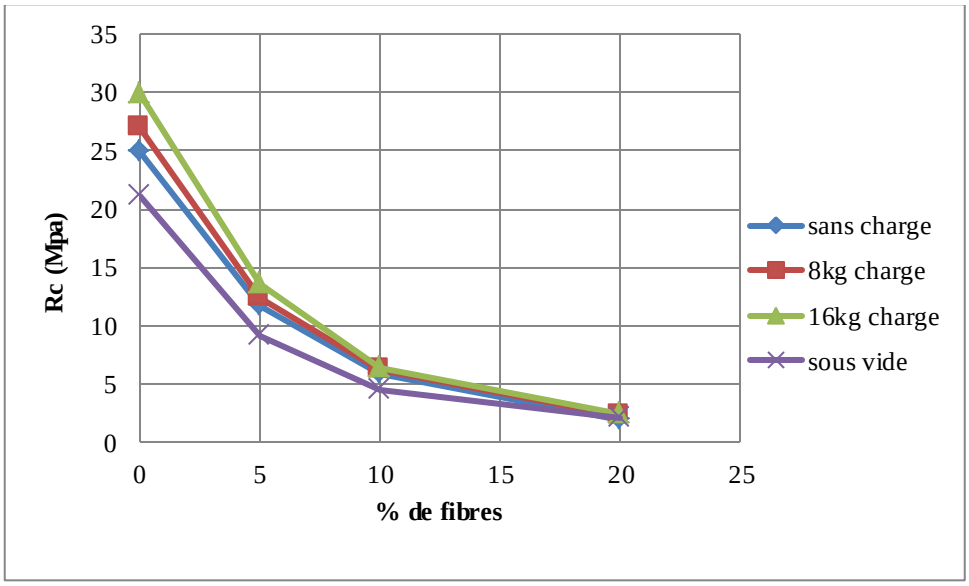



**Figure III.6:** Variation de la résistance à la compression à l'eau à 28 jours

Conservées à l'air ou à l'eau, les résultats montrent que la résistance en compression diminue avec l'augmentation du pourcentage en fibres, cette chute de résistance peut atteindre 87% pour une charge de 16 kg dans le cas du mortier avec 20% de fibres comparativement au mortier de référence conservé dans l'eau, Cette constatation est en accord avec les résultats de Blaifi. [**88]** et de SELLAMI. **[19],** qui ont utilisé les fibres de cellulose pour le renforcement du mortier. Cette chute de

résistance est aussi due à la quantité d'eau nécessaire ou gachet qui, elle augmente avec le pourcentage en fibres.

On constate aussi que la résistance à la compression du mortier augmente avec l'augmentation de la charge appliquée au-dessus de l'éprouvette (avec une charge de16 kg la résistance est supérieure qu'avec une charge de 8 kg et 0 kg).

Une cure préalable sous vide a pour conséquence de diminuer la résistance comparativement au témoin.

**B. Résistance à la compression à l'âge de 90 jours**

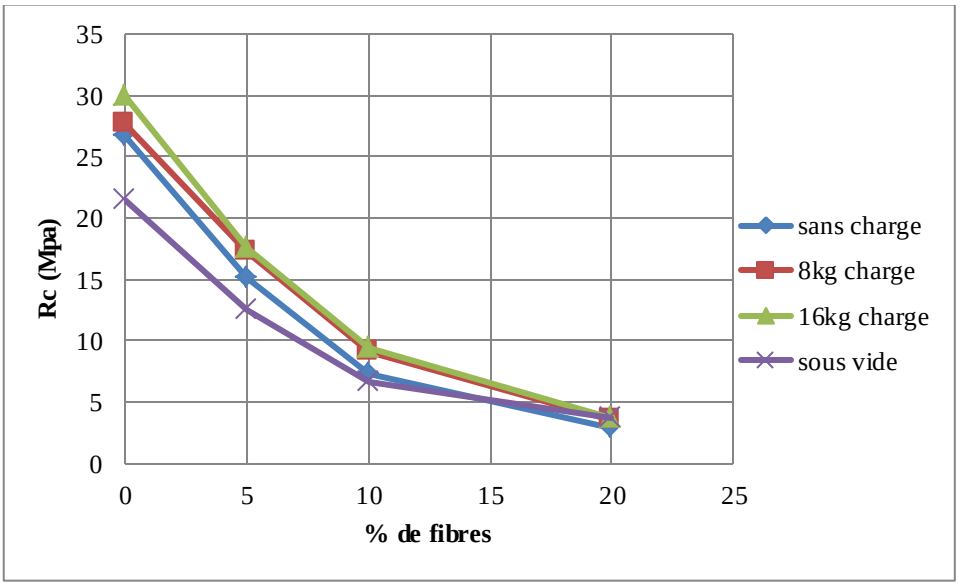



**Figure III.7 :** Variation de la résistance à la compression à l'air à 90 jours

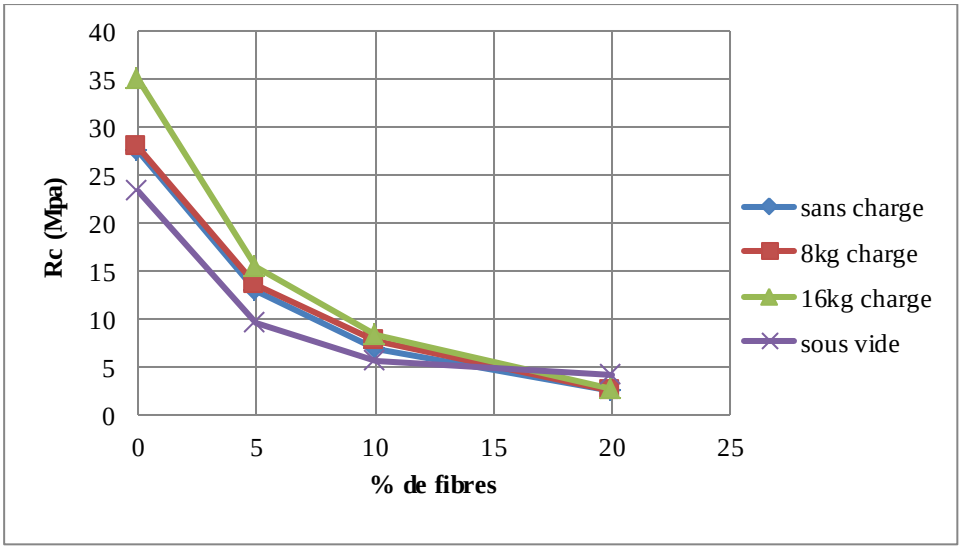
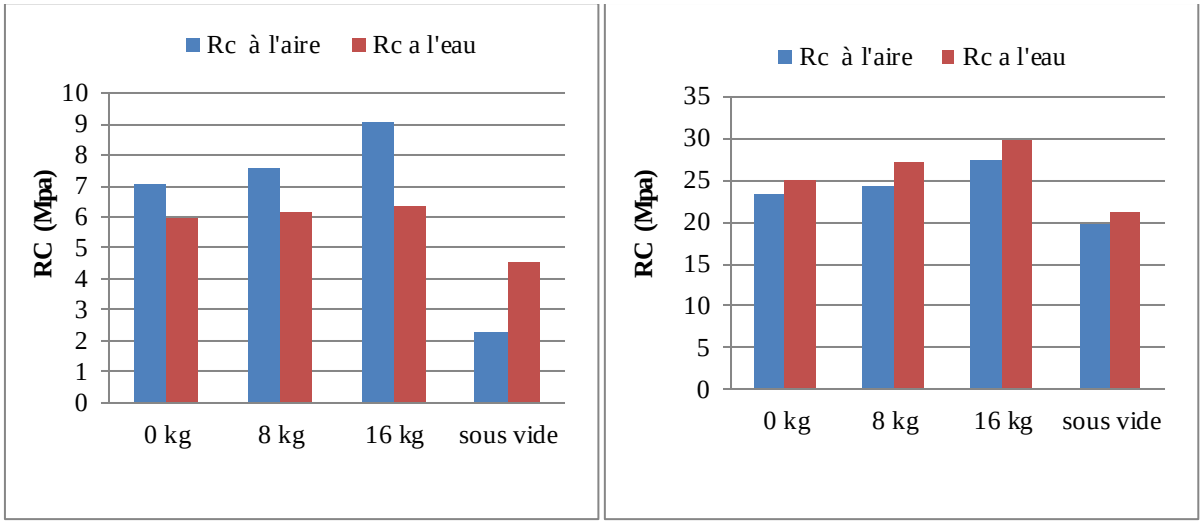



**Figure III.8:** Variation de la résistance à la compression à l'eau à 90 jours

Tout comme pour le cas de la cure à 28 jours, le matériau à 90 jours de cure présente le même comportement tel que décrit dans le paragraphe précèdent.



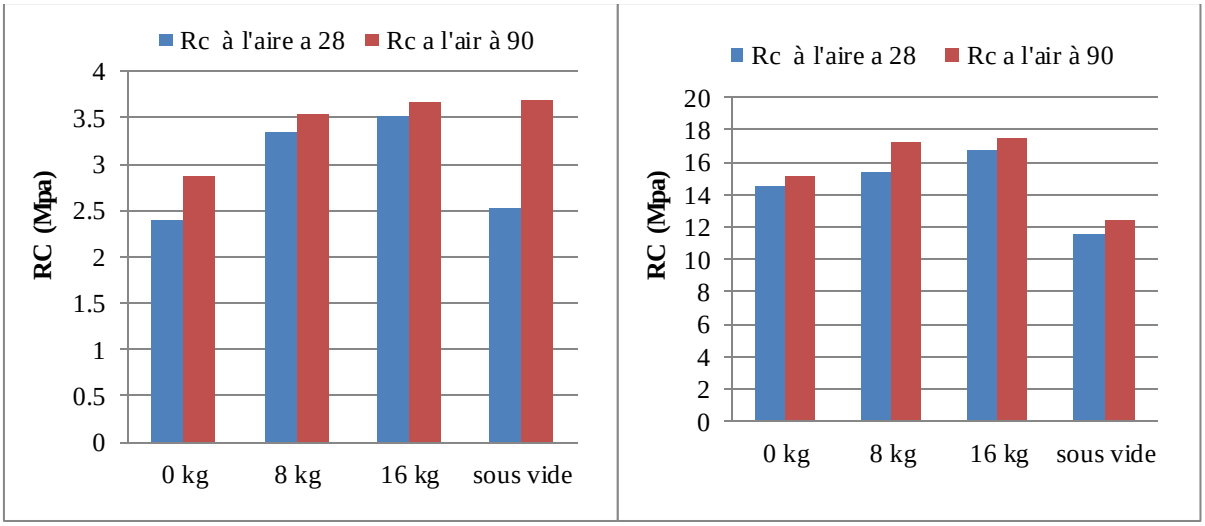

a) : 10 % de fibres b) : 0 % de fibres

**Figure III.9:** la résistance à la compression pour les deux cas de conservation à l'eau et à l'air.

a) : pour le mortier avec 10% de fibres

b) : pour le mortier avec 0% de fibres

Il est à remarquer que la résistance en compression des éprouvettes conservées dans l'eau est meilleure qu'à celle des éprouvettes laissées à l'air pour le cas du mortier sans fibres. La situation est inversée pour le cas du mortier chargé de fibres.




a) : 20 % de fibres b) : 5 % de fibres

**Figure III.10:** la résistance à la compression pour les deux cas de l'âge de conservation

a) : pour le mortier avec 20% de fibres

b) : pour le mortier avec 5% de fibres.

Aussi bien pour le cas à 28 j qu'à 90 j, on remarque une amélioration de la résistance à la compression pour le matériau à différents pourcentage de fibres.

### III.3.2.2 Résistance à la traction par flexion

Les résultats trouvés pour la mesure de la résistance à la traction par flexion sont résumés dans les figures III.11 à III.16.

**A. Résistance à la traction par flexion à l'âge de 28 jours**

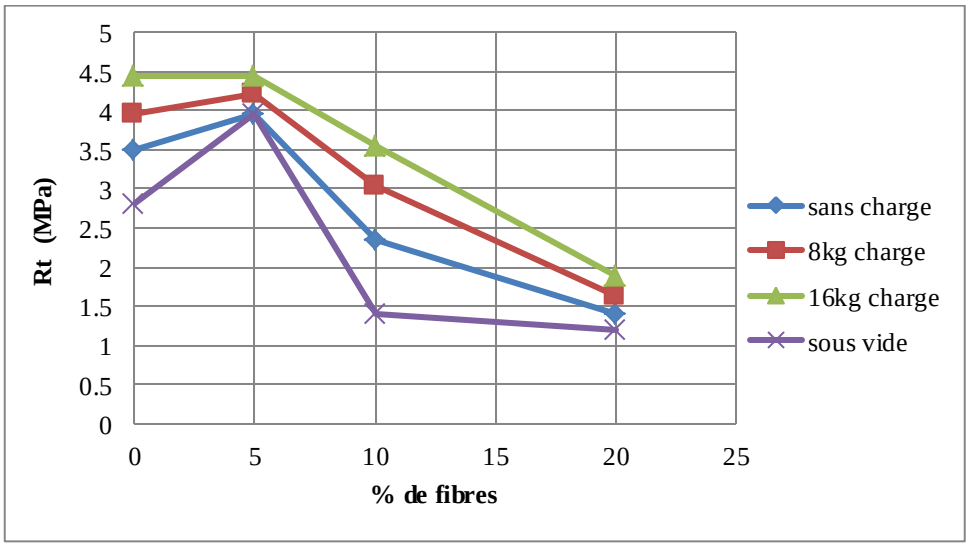



**Figure III.11 :** Variation de la résistance à la traction par flexion à l'air à 28 jours

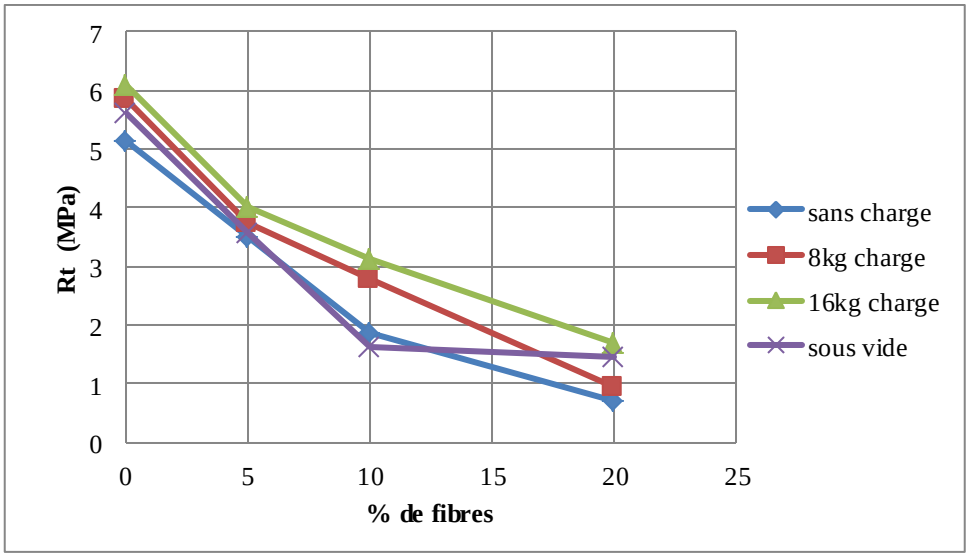



**Figure III.12 :** Variation de la résistance à la traction par flexion à l'eau à 28 jours

Aussi bien dans l'eau qu'à l'air ; on remarque que la résistance à la traction par flexion diminue avec l'augmentation du pourcentage en fibres, avec l'exception pour le cas de 5 % de fibres des éprouvettes laissées à l'air, on remarque la présence d'un extremum qui indique une amélioration de la résistance autour de 5%.

De 0 à 5% les fibres jouent le rôle de pontage entre l'agrégat et le liant mais en augmentant la quantité de fibres, ces derniers ne continuent plus à jouer ce rôle car trouvant moins de matrice à assurer ce lien, et par conséquent la résistance diminue.

**B. Résistance à la traction par flexion à l'âge de 90 jours**

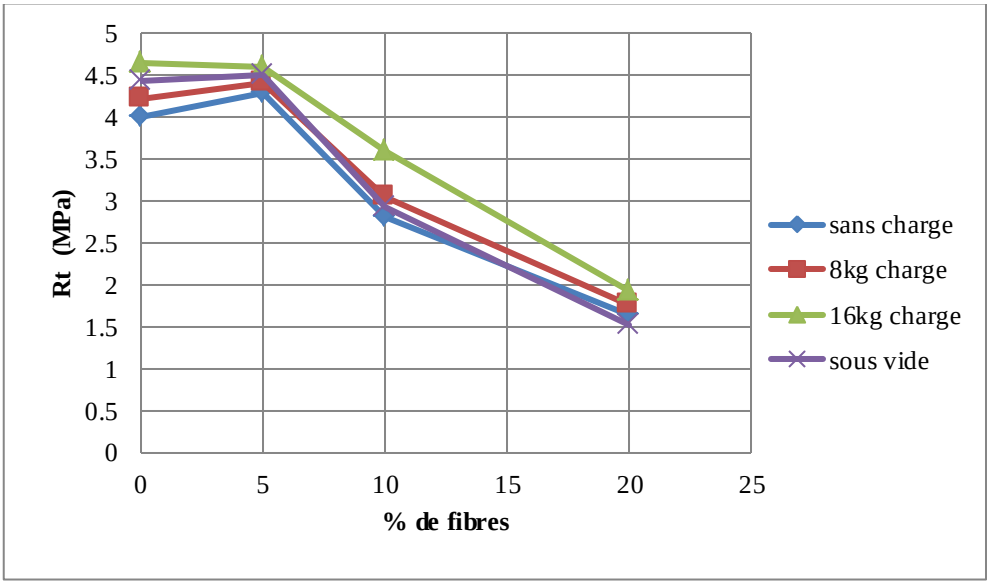



**Figure III.13 :** Variation de la résistance à la traction par flexion à l'air à 90 jours

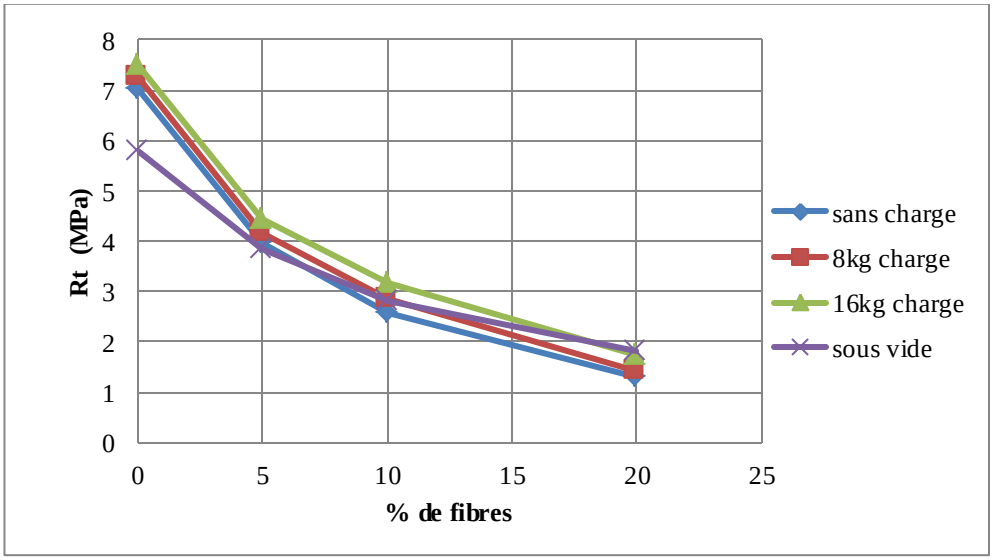
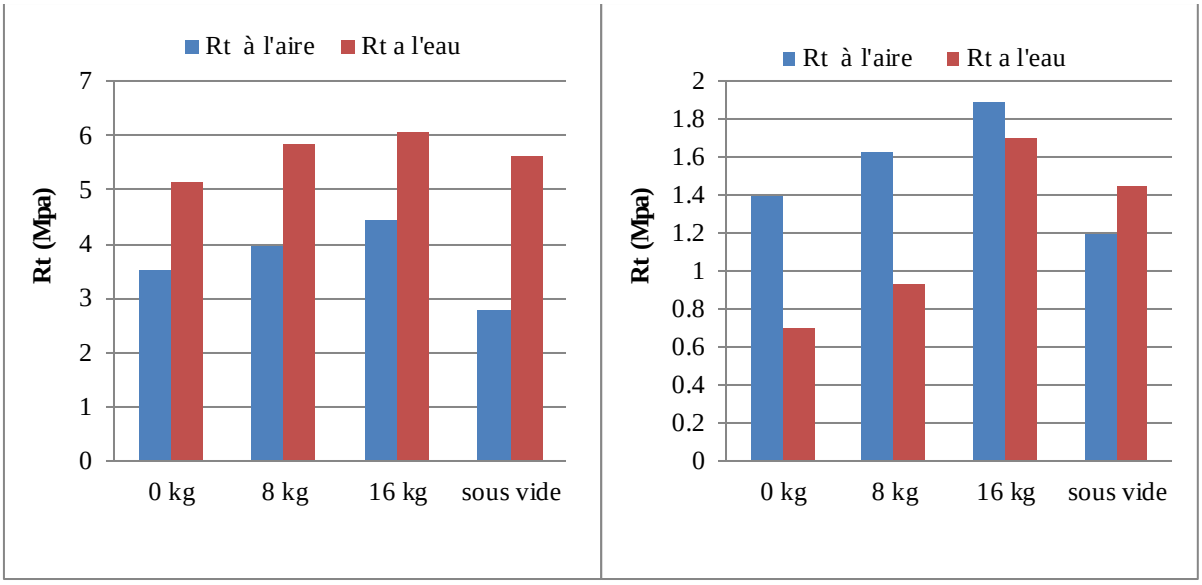



**Figure III.14 :** Variation de la résistance à la traction par flexion à l'eau à 90 jours

Le même constat que celui d'une conservation à 28 jours est fait pour le cas de 90 jours avec en plus une amélioration de la résistance avec l'âge.



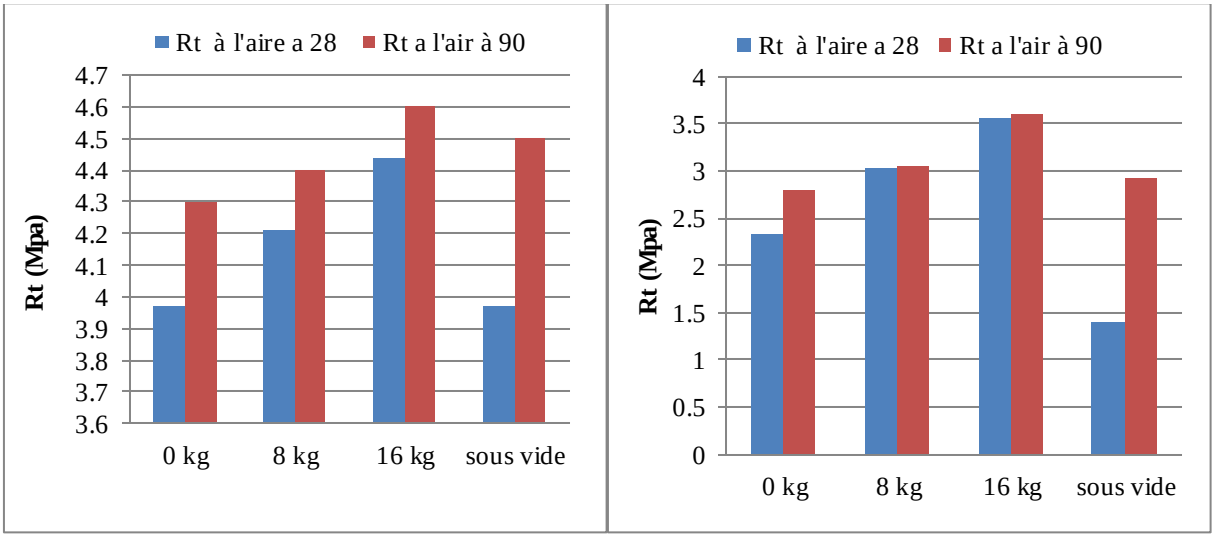

a) : 0 % de fibres b) : 20 % de fibres

**Figure III.15:** la résistance à la compression pour les deux cas de conservation à l'eau et à l'air

a) : pour le mortier avec 0% de fibres

b) : pour le mortier avec 20% de fibres

Il est à remarquer que la résistance en traction par flexion des éprouvettes conservées dans l'eau est meilleure qu'à celle des éprouvettes laissées à l'air pour le cas du mortier sans fibres. La situation est inversée pour le cas du mortier chargé de fibres.




a) : 5 % de fibres b) : 10 % de fibres

**Figure III.16:** la résistance à la compression pour les deux cas de l'âge de conservation

a : pour le mortier avec 5% de fibres

b : pour le mortier avec 10% de fibres

En général, aussi bien pour le cas à 28 j qu'à 90 j, on remarque une amélioration de la résistance à la compression pour le matériau à différents pourcentage de fibres.

On constate aussi que l'application d'une charge sur l'éprouvette augmente la résistance à la traction mais pour le cas d'une cure sous vide la résistance reste faible par rapport au témoin.

### III.3.2.4 Absorption d'eau par capillarité

Les résultats de l'essai d'absorption d'eau par capillarité des différents mortiers réalisés sont résumés dans les figures III.17 à III.20.

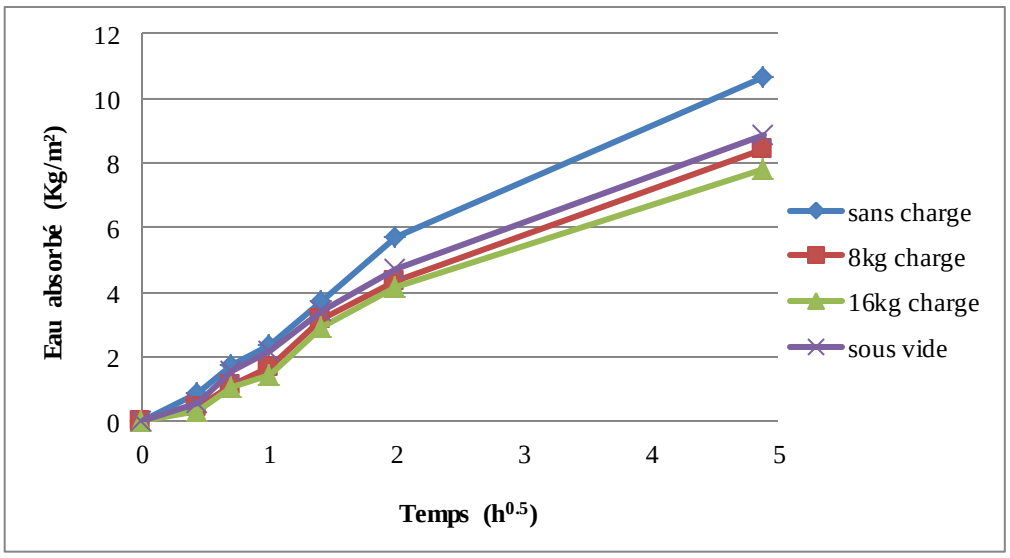



**Figure III.17 :** Absorption d'eau des mortiers sans fibres

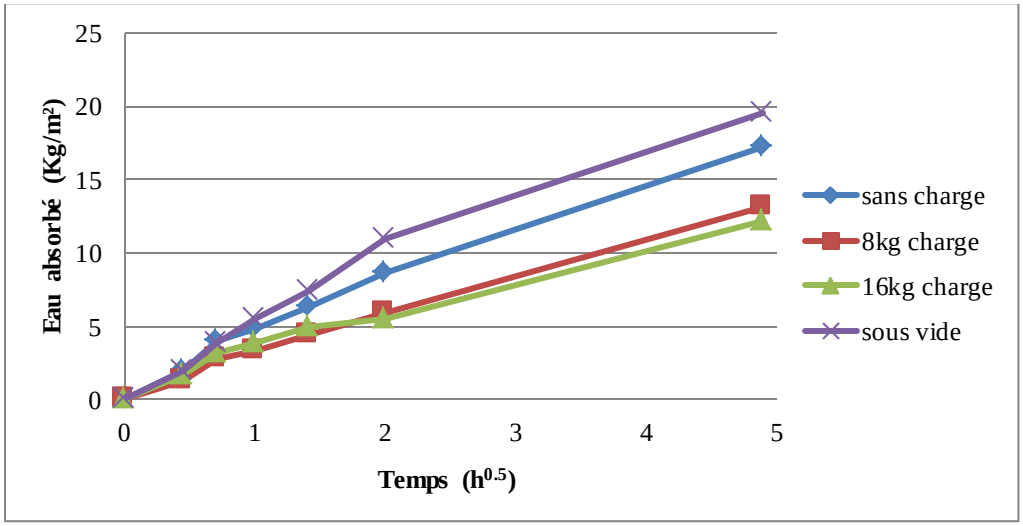



**Figure III.18 :** Absorption d'eau des mortiers à 5% de fibres

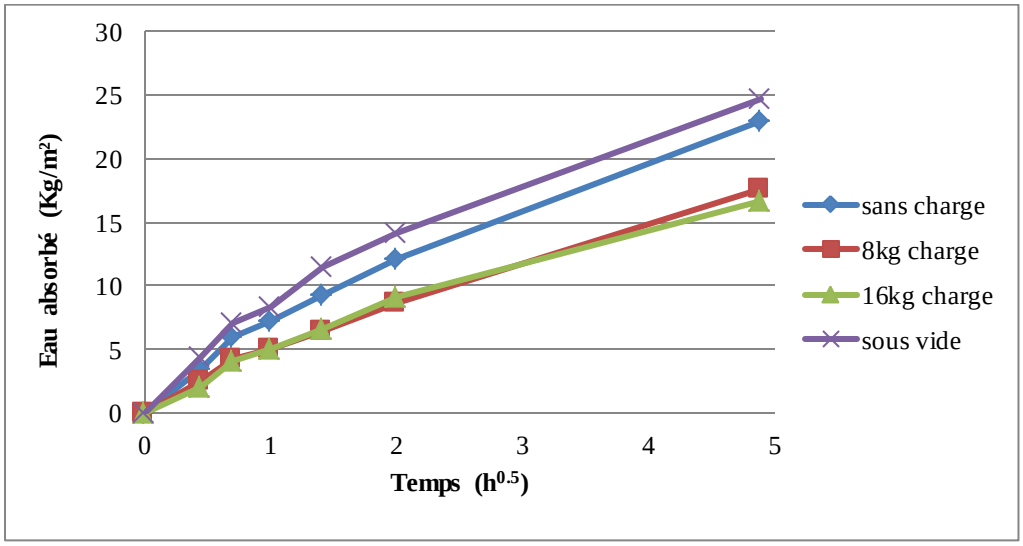



**Figure III.19 :** Absorption d'eau des mortiers à 10% de fibres

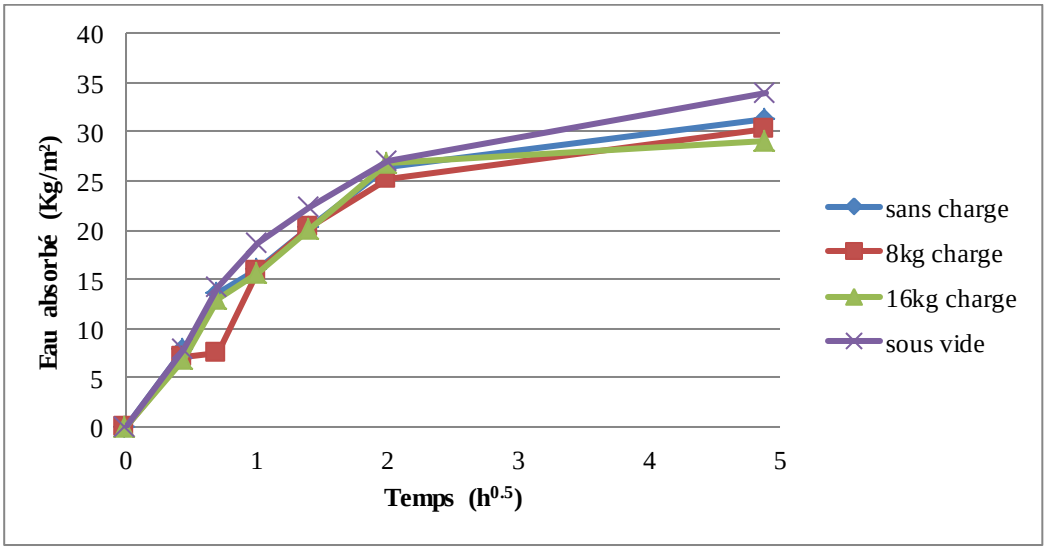



**Figure III.20 :** Absorption d'eau des mortiers à 20% de fibres

A partir des résultats montrés sur les figures précédentes, on remarque que l'absorption d'eau augmente avec l'augmentation du pourcentage en fibre et peut atteindre environ 34 kg/cm² pour le composite à 20% de fibres alors qu'à 0%, l'absorption est au maximum égale à 11 kg/cm² ; les mêmes résultats ont été trouvés par Benmansour **[89]** qui montre que l'ajout des fibres de bois de palmier dattier augmente l'absorption d'eau, Ceci est dû au fait que les fibres de cellulose absorbent une grande quantité d'eau.

On remarque aussi que l'absorption d'eau diminue avec l'effet de charge, et que le mortier fabriqué avec la procédure sous vide reste le grand absorbant, Ceci est probablement dû à sa structure poreuse.

### III.3.2.5 Le retrait

Les résultats des essais de retrait **(ε)** sont illustrés sur les figures III.21 à III.24.

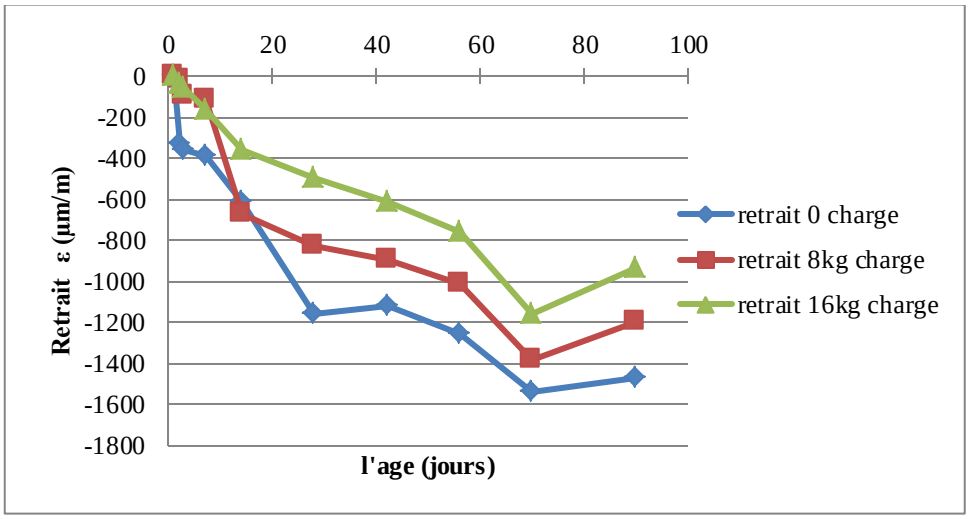



**Figure III.21 :** variation de retrait pour mortier sans fibres

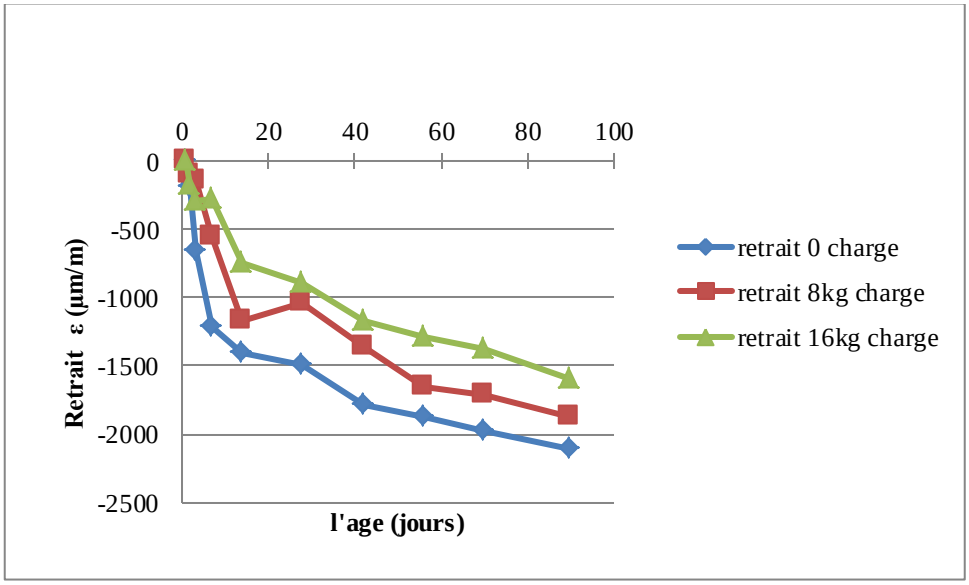



**Figure III.22:** variation de retrait pour mortier à 5% de fibres

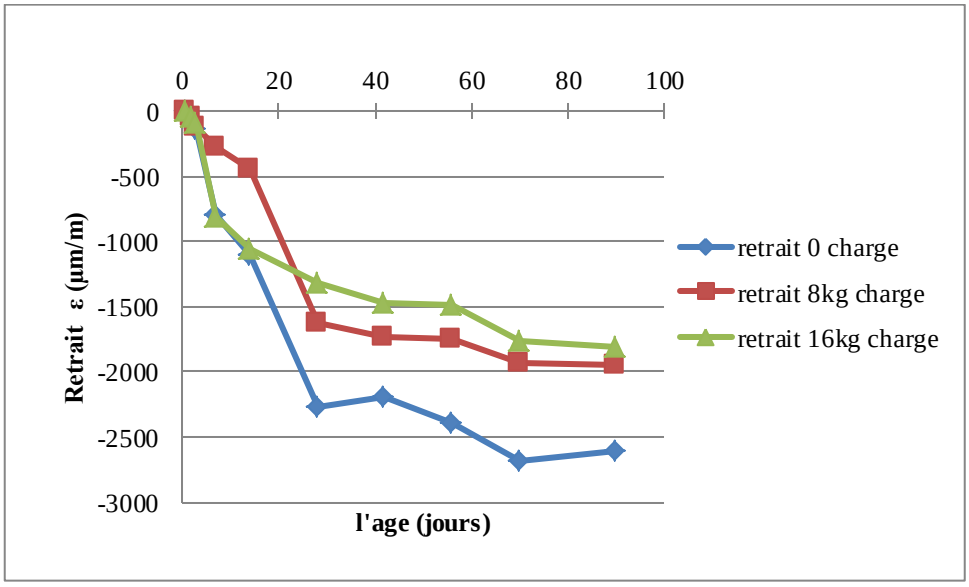



**Figure III.23 :** variation de retrait pour mortier à 10% de fibres

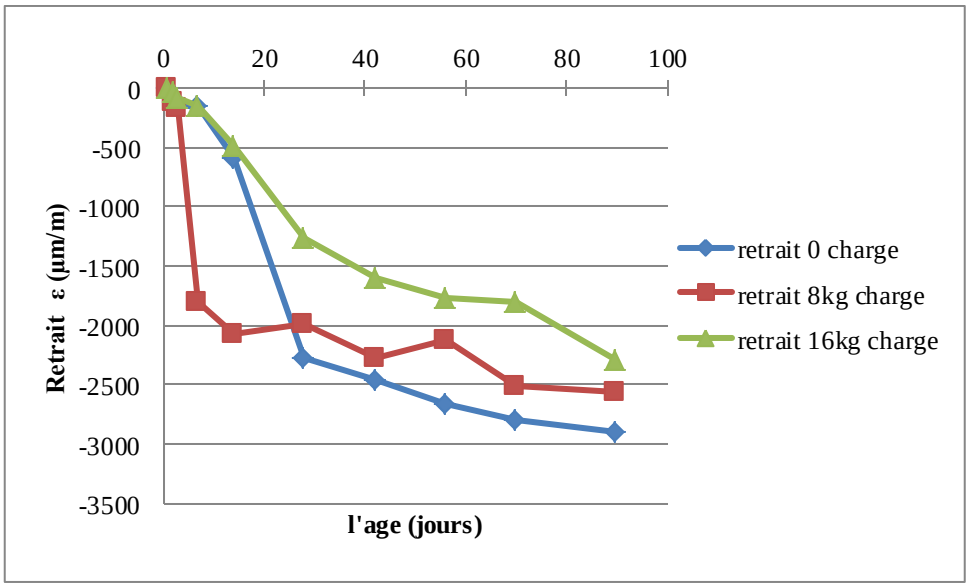



**Figure III.24 :** variation de retrait pour mortier à 20% de fibres

D'après les figures ci-dessus, on remarque que les valeurs de retrait augmentent en fonction du temps, et aussi en fonction du dosage en fibres.

L'application de charges sur les éprouvettes a un effet bénéfique sur le retrait qui démunie avec l'augmentation des valeurs de la charge.

### III.3.2.6. La variation massique

Les résultats de variations massiques dues au séchage sont illustrés dans les figures III.25 à III.28.

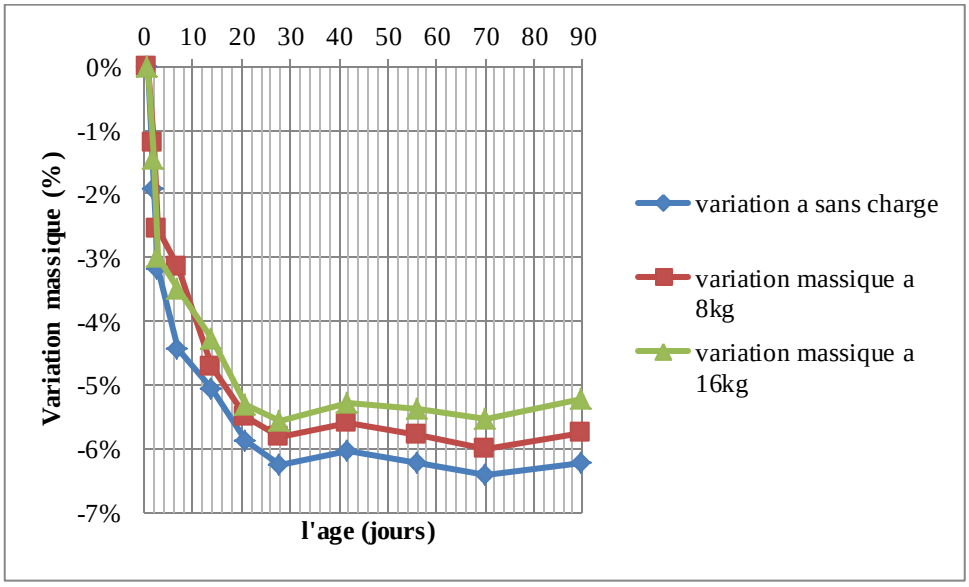



**Figure III.25 :** variation massique pour mortier sans fibres

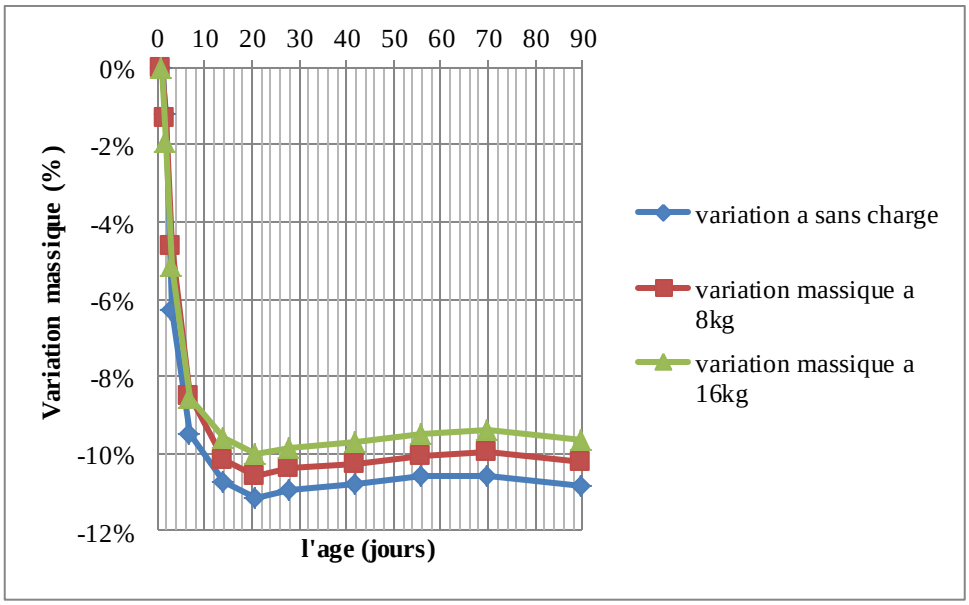



**Figure III.26 :** variation massique pour mortier avec 5% de fibres

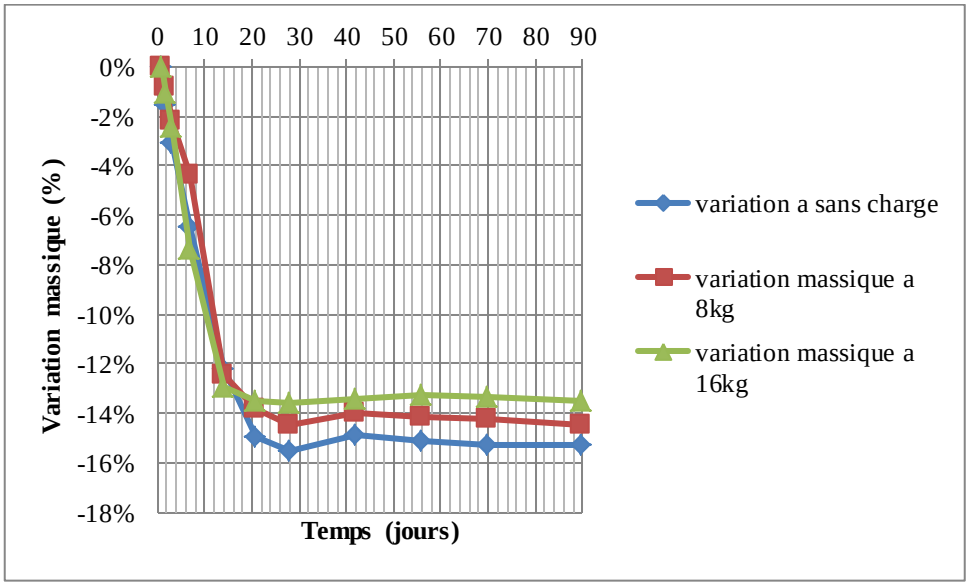



**Figure III.27 :** variation massique pour mortier avec 10% de fibres

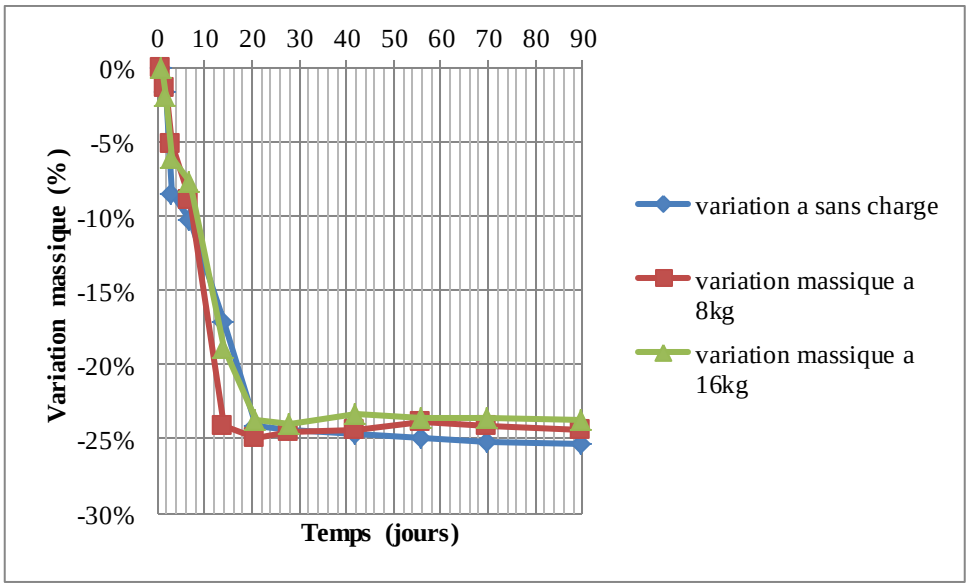



**Figure III.28 :** variation massique pour mortier avec 20% de fibres

Conjointement au retrait, on représente sur les figures III.25 à III.28 le résultat de variation massique des éprouvettes des mortiers étudiés en fonction de l'âge, du % en fibres et du chargement.

On constate qu'il y a une perte en masse plus importante entre 0 et 20% en fibres, cette perte est d'environ de 26% pour un dosage de 20 % de fibres.

On constate aussi que pour chaque pourcentage de fibre l'effet de charge est remarquable par la diminution de la perte de masse.

## III.4. Conclusion

Les résultats qui sont présentés dans ce chapitre nous amènent à constater et tirer les conclusions suivantes :

- L'effet de compactage diminue la quantité d'eau dans le composite.
- L'augmentation des pourcentages en fibres diminue la masse volumique des éprouvettes.
- La résistance en compression et à la traction diminue avec l'augmentation des fibres, et augmente en fonction de l'âge pour tous les composites sauf dans e cas de 5% de fibres ou on observe un optimum.
- Les mortiers sans fibres conservés à l'eau sont plus résistant que ceux conservés à l'air, par contre les mortiers chargés de fibres qui sont conservés dans l'air sont plus résistant que ceux conservés à l'eau.
- Sous l'effet de compactage, la résistance augmente pour tous les pourcentages en fibres pour les deux types de conservation des éprouvettes. mais avec la procédure sous vide, la résistance est faible.
- L'absorption d'eau par le composite augmente avec l'augmentation du pourcentage en fibres et diminue en fonction de la charge de compactage, par contre avec la procédure sous vide elle est importante.
- Le retrait et la variation massique sont augmentés avec l'augmentation du pourcentage en fibre mais sont diminués avec l'augmentation de charge.

# Conclusion Générale

L'objectif de ce travail est de déterminer l'effet de compactage et de l'extraction de l'eau sous vide sur les comportements d'un mortier à base des fibres de cellulose à l'état frais et à l'état durci. L'analyse des résultats expérimentaux nous permettent de tirer les conclusions suivantes :

- Sachant que les fibres de cellulose absorbent l'eau ce qui a pour conséquence d'utiliser un rapport E/C élevé pour la préparation du composite et cela a entrainé une diminution de la résistance en compression et en traction, d'un autre coté il est à retenir que ces fibres ont contribué à la légèreté des éprouvettes.
- Le compactage de mortier diminue la quantité d'eau dans le composite qui augmente la cohérence entre les granulats ainsi que la masse volumique, tout cela entrainé une amélioration de la résistance en compression et en traction, une diminution de la quantité d'absorption d'eau par les composites, ainsi que la diminution de retrait et la variation massique.
- Les éprouvettes chargées en fibres ont meilleure résistance à l'air par contre les éprouvettes sans fibres développent une meilleure résistance à l'eau.
- De 0 à 5% de fibres, le matériau connait une amélioration de la résistance en traction car les fibres de cellulose jouent le rôle de pontage entre l'agrégat et le liant.
- La procédure sous vide extrait une quantité d'eau au composite, mais elle induit des pores dans les éprouvettes, ces pores sont responsables de la diminution de la résistance à la traction et à la compression, et une augmentation de la quantité d'eau absorbée.

# Recommandations

Les observations et analyses qu'on a effectué dans le cadre de cette recherche pourraient mener à des développements futur dans le domaine les matériaux de construction et, en particulier, les aspects suivants restent encore à tenir compte. Nous recommandons pour le matériau :

- Qu'il soit à l'abri des entreprises (exposé à l'eau)
- Si on recherche une amélioration de la résistance à la traction un taux de chargement autour de 5% est à appliquer.
- Il serait intéressent de compléter l'étude par tester simultanément l'extraction sous vide et le chargement des échantillons.

# Référence Bibliographique

**[1]** LUBIN.G., (1982), «Handbook of Composites», Ed .Van No strand Reinhold, New York.

**[2]** BOUDJEMA Hayet Latifa., (2016), «Elaboration De Matériaux Composites Biodégradables Issus De Ressources Renouvelables».Thèse de Doctorat, Université d'Oran 2.

**[3]** MAGNIONT .C. (2010), « Contribution A La Formation Et A La Caractérisation D'unEco-Matériau De Construction A Base D'agro Ressources». Thèse de doctorat, Université de Toulouse III-Paul Sabatier, laboratoire deMatériaux et Durabilité des constructions.

**[4]** FRIEDBERT Kind-Barkauskas., (2006),«Construire En Béton: Conception Des Bâtiments En Béton Armé ». Édition française, première édition. Presses Polytechniques et Universitaires Romande.

**[5]** BOUALI Khaled., (2014), « Elaboration Et Caractérisation Thermomécanique DesMortiers A Base D'ajouts De Déchets De Briques Réfractaires », Mémoire de Magister, Université de Boumerdes.

**[6]** VALERIE Polet, et all., (2010), «Les Mortiers De Réparation En Belgique Et Au Niveau Européen », Belgique.

**[7]** R.DUPAIN, R.LANCHON, J-C.SAINT-ARROMAN., (2004), « Granulat, sols, ciment et béton», Edition CASTEILLA-PARIS.

**[8]** BOUKERROU Mohamed., (2012), « Étude Des Propriétés Rhéologiques Et Physico-Mécaniques Du Béton De Sable Avec Référence Particulière Au Sable De Dune», Mémoire deMagister, Université de Alger.

**[9]** CHEKHTOUHAMI M.A., (2012),« Étude De L'influence Des Différents Super Plastifiants Sur Les Propriétés Rhéologiques Et Mécaniques D'un Béton Fluide (Autoplaçant) » mémoire master, Université de Médéa.

**[10]** ERIK B Nelson, Jean-François Baret and Michel Michaux., (1990), « Cément Additives And Mechanisms Of Action ».

**[11]** GEORGES DREUX, JEAN FESTA., (1998), « Nouveau Guide Du Béton Et Ses Constituants», 8eme édition, Eyrolles.

**[12]** DTR BE 2.1., « Règles D'execution Des Travaux De Construction D'ouvrages En Béton Armé», version 2011.

**[13]** TAALLAH Bachir.,(2014), « Etude Du Comportement Physico-Mecanique Du Bloc De Terre Comprimée Avec Fibres», Thèse de Doctorat, UNIVERSITE de BISKRA.

**[14]** SUKONTASUKKUL P., (2004),«Toughness Evaluation Of Steel And Polypropylene Fibre Reinforced Concrete Beams Under Bending», Thammasat international journal of science and technology 9, 3 (Jul.-Sep. 2004) pp. 35-41.

**[15]** COTTERELL B., MAI Y.W. (1996**),** «Fracture Mechanics OfCementitious Materials. BlackieAcademic&Professional», London/Chapman and Hall. p. 294.

**[16]** BENDJILLALI Khadra ., (2015), «Etude De L'influence Du Renforcement Fibreux En Polypropylène Sur Les Performances Physicomécaniques Et Sur La Durabilité Des Mortiers De Ciment A Base De Sable Calcaire»,thèse de doctorat, Université de Alger.

**[17]** DE LARRARD. F., (2002), «Construire En Béton», L'essentiel sur les Matériaux, Collections du Laboratoire Central des Ponts & Chaussées.

**[18]** CIMbéton, (2006). «Les bétons: Formulation, Fabrication et Mise en OEuvre», Fiches Techniques, T 2, G 11, Paris.

**[19]** SELLAMI Asma., (2015), «Elaboration des composites cimentaires à base de fibres

Végétales locales (le diss) : Caractérisation, Durabilité et Application au cas de la maçonnerie», thèse de doctorat, Université de Annaba.

**[20]** ANNE Barnett., (1997), « Examining Textiles Technology », PAGE 30, British Library Cataloguing in Publication Data.

**[21]** VON MOODY, Howard L. Needles.,(2004), «Tufted Carpet: Textile Fibers, Dyes, Finishes, And Processes », éditeur: Brent Beckley/William Andrew, Inc.

**[22]** SABU Thomas, Laly A. Pothan.,(2009), « Natural Fiber Reinforced Polymer Composites: From Macro ToNanoscale ». editeurs: Sabu Thomas &Laly A. Pothan, p:3.

**[23]** CHRISTOPHE Baley., « Fibres Naturelles De Renfort Pour Matériaux Composites », REF N 2 220, Techniques de l'ingénieur, p : 3 - 6.

**[24]** HAMEED R., (2010). «Apport D'un Renfort De Fibres Sur Les Performances Des Structures En Béton Armé Pour Les Applications Parasismiques», thèse de doctorat, université de Toulouse.

**[25]** JOSHI, S.V.; Drzal, L.T.; Mohanty, A.K.; Arora, A., (2004),«Are Natural Fiber Composites Environmentally Superior To Glass Fiber Reinforced Composites? Compos»,Part A Appl. Sci. Manuf, , 35, 371–376.

**[26]** KERSANI Malika., (2015), « Etude Comparative De L'endommagement D'un Matériau Composite A Fibres De Verre Avec Un Matériau Composite A Fibres Naturelles»,thèse de doctorat, Université de Alger.

**[27]** JEAN-LUC Wertz, Olivier Bédué, Jean P. Mercier., (2010),« Cellulose Science And Technology »**,** 1ière édition, EPFL Press, distribués par CRC press.

**[28]** JOHN Wiley., (2007), « Handbook Of Plant Science », Volume 1. Éditeur Keith Roberts.**[29]** Roland W. J. McKinney.,(1995), « Technology Of Paper Recycling » 1 ère edition. Éditeur: R.W. J. McKinney.

**[30]** OCDE (2001), « Développement Durable: Les Grandes Questions », Organisation De Coopération Et De Développement Économique, publié sous la responsabilité de secrétaire général de l'OCDE. Thorfald Moe.

**[31]** A. K.Bledzki,V. E. Sperber,O. Faruk.,( 2002),« Natural And Wood Fiber Reinforcement In Polymers », volume 13, N°8,. Rapra Review Reports.

**[32]** JEAN-JACQUES Macheix, Annie Fleuriet, Christian Jay-Allemand.,(2005), « Les composés phénoliques des végétaux: un exemple de métabolites secondaires d'importance économique », presses polytechniques et universitaires romandes, p : 165.

**[33]** MICHEL Vernus., (Mai 2004), « La Fabuleuse Histoire Du Papier » éditeur Cabidita, collection : Archive Vivante.

**[34]** JEAN-CLAUDE Daumas.,(2006), « La Mémoire De L'industrie: De L'usine Au Patrimoine », presses universitaires de France compté.

**[35]** JEANNE MagerStellman., (2000), « Encyclopédie De Sécurité Et De Santé Au Travail», Volume 4. P : 72.6 – 72.10.

**[36]** FREDERIC Barbier.,(2001), « Les Trois Révolutions Du Livre »: actes du colloque international de Lyon /Villeurbanne. Louis ANDRÉ, Le papier et la « Seconde Révolution Du Livre»,

**[37]** BERTOLINI L'Harmattin., (1999), « Le Papier A Travers Les Ages: Du Premier Age Au Recyclage» Gérard ISBN : 2-7384-7624-4).

**[38]** FAO., (2001), «Pate Et Vieux Papier », éditeur: Food and Agriculture Organization of the United Nations 1995-1999 FAO Produits forestiers.

**[39]** OCDE., (1972), « Manuel D'analyse Des Projets Industriels Dans Les Pays en Voie De Développement » édition corrigé, Paris.

**[40]** MICHEL M.,(1981), « Valorisations Des Déchets Et Des Sous-Produits Industriels», Ed Massion, Paris.

**[41]** LANGUEDOC R.,(2001),« Guide Pratique Des Déchets», (site Internet google.fr).

**[42]** PLANETE-GAIA.e-monsite.com., (2015),«Les Déchets Et L'homme», (site Internet google.fr).

**[43]** SAADANI Sabrina., (2008), « Comportement Des Bétons A Base De Granulats Recycles », mémoire de magister, Constantine Alger.

**[44]** DOSSIER DE PRESSE. (3 juillet 2013), « Une Solution Innovante De Granulats Recyclés Et De Services », Paris.

**[45]** RECYCLAGE., (2014), «Encyclo-Ecolo.Com», l'encyclopédie écologique.

**[46]** OCDE., (2001), « Les Perspectives De L'environnement De L'ocde», Chapitre 18 « Industrie Des Pâtes Et Papiers », p : 239.

**[47]** WEN-JieGuoa, Yan Wanga, Jin-QuanWana,b, Yong-Wen Maa., (2011),« Effects Of Slushing Process On The Pore Structure And Crystallinity In Old Corrugated Container Cellulose Fibre, Carbohydrate Polymers», volume 83, 1–7.

**[48]** PIERRE Melquiot., (2003),«1001 Mots Et Abréviations De L'environnement Et Du Développement Durable » édition RECYCONSULT Version1.1.

**[49]** KRIKER. A., G. Debicki, A. Bali, M.M. Khenfer, M. Chabannet.,(2005),«Mechanical Properties Of Date Palm Fibers And Concrete Reinforced With Date Palm Fibers In Hot-Dry Climate»,Cement and Concrete Composites, Volume 27, 554-564.

**[50]** Castro .J, A.E. Naaman.,(1981),«Cement Mortar Reinforced With Natural Fibers».ACI Materials Journal. Volume 78-6 69-78 ,citée parC. Magniont.

**[51]** REPORTED by ACI Committee 544,«State-Of-The-Art Report On Fiber Reinforced Concrete».ACI 544.1-96.

**[52]** BAHLOUL. O., A. Bourzam, A. Bahloul.,(2009), «Utilisation Des Fibres Végétales Dans Le Renforcement De Mortiers De Ciment».SBEIDCO, 1st International Conference on SustainableBuiltEnvironment Infrastructures in Developing Countries ENSET Oran (Algeria) - October 12-14.

**[53]** M.A. Aziz, P. Paramasivam, S.L.Lee.,(1984),«New Reinforced Concretes "Concrete Reinforced With Natural Fibers».Surrey University Press.

**[54]** R.D. Toledo Filho, K. Ghavami, M. A. Sanjuan, G. L. England Free.,(2005), «Restrained And Drying Shrinkage Of Cement Mortar Composites Reinforced With Vegetable Fibres» Cement and Concrete Composites, Vol 27 537-546.

**[55]** YINGZI Yang 1, Michael D. Lepech, En-Hua Yang, Victor C. Li, (2009),« AutogenousHealing Of Engineered Cementitious Composites Under Wet–Dry Cycles » Cement and concrete research vol 39 382–390).

**[56]** X.LIN, M.R.SILSBEE and D.M.ROY., (1995), « Improvements In The Durability Of Cellulose ReinforecedCementitious Composites ». Intercollege Materials Laboratory, the Pennsylvania State University, PA, USA. 370 487–496.

**[57]** PAR K. L. Scrivener, J. Francis Young.,(1997),« Mechanisms Of Chemical Degradation Of Cement-Based Systems »: 1ère edition, 1997 E et FN Spon. pp 106-113.

**[58]** SAVASTANO. H Jr., P.G. Warden, R.S.P. Coutts., (2003), « Mechanically Pulped Sisal as Reinforcement in Cementitious Matrices », Cement and Concrete Composites, Volume 25, 311-319.

**[59]** PAVOINE .A, L. Divet l, S. Fenouillet, V. Randazzo et J.-P. Davy, Novembre., (2003), « Impact De Conditions Des Cycles De Séchage Et D'humidification Sur La Formation Différée D'ettringite Dans Les Bétons Matériaux Et Constructions », Vol. 36, pp 587-593.

**[60]** M.A.Mansur, M.A.Aziz., (1982),« A Study of Jute Fibre Reinforced Cement Composites »International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete, Volume 4-2, 75-82.

**[61]** B.J. Mohr, H. Nanko , K.E. Kurtis., (2006), « Aligned Kraft Pulp Fiber Sheets For Reinforcing Mortar» Cement & Concrete Composites volume 28,161–172.

**[62]** R. MacVicar, L.M. Matuana, J.J. Balatinecz. (1999), « Aging Mechanisms In Cellulose Fiber Reinforced Cement Composites », Cement & Concrete Composites 21, 189-196.

**[63]** FREIDIN.C., (2007), «Cementless Pressed Blocks From Waste Products Of Coal-Firing Power Station», Construction and Building Materials Volume 21,12–18.

**[64]** J-M. Durand, G. Degoutte, P. Royet, M. Jensen.,( 1998 ), « La Technique Du Béton Compacte Au Rouleau (B.C.R.) »,sud sciences & technologies N 1, pp 56-62.

**[65]** M.R. kazi Aoual, A.kenadil., (2016), «Effet Du Mode De Compactage Sur Le Comportement Mécanique Et Hydrique Des Sols Fins », Mémoire De Master, Université Tlemcen.

**[66]** NA 451, Normes Algérienne : (1989), « Essais Pour Déterminer Les Caractéristiques Mécaniques Et Physiques Des Granulats - Détermination De La Teneur En Eau Par Séchage En Etuve Ventilée ».

**[67]** CHERAIT Yacine, Mr NAFA Zahreddine., (2007), « Eléments De Matériaux

De Construction Et Essais », Direction de la publication universitaire de Guelma.

**[68]** NF P 18-598, Normes AFNOR:(1991), « Granulat- Equivalent de sable ».

**[69]** DUPAIN.R et aL., ( 2000), « Granulats, Sols, Ciment Et Béton : Caractérisation DesMatériaux De Génie Civil Par Les Essais De Laboratoire » ,2eme édition CASTEILLA, Paris.

**[70]** NA 2607, Normes Algérienne : (1990), « Granulats - Analyse Granulométrique Par Tamisage ».

**[71]** NF EN 933-1, (1997), « Essais Pour Déterminer Les Caractéristiques Géométriques Des Granulats. Partie 1: Détermination De La Granularité. Analyse Granulométrique Par Tamisage », AFNOR.

**[72]** DREUX G. & Festa j. (2002), « Nouveau Guide Du Béton Et De Ses Constituants », Edition Eyrolles, Paris, France.

**[73]** NF P 15-476, Normes AFNOR : (1990), « Méthodes D'essais Des Ciments-

Détermination De La Finesse ».

**[74]** NF P 15-431, Normes AFNOR : (1994), « Liants Hydrauliques – Technique Des

Essais-Détermination Du Temps De Prise Sur Mortier Normal ».

**[75]** NF P 15-471, Normes AFNOR : (1995), « Méthodes D'essais Des Ciments - Partie 1 : Détermination Des Résistances Mécaniques».

**[76]** CEN EN 196-1, Normes AFNOR : (1995), « Méthodes d'essais des ciments –partie 1 : détermination des résistances mécaniques (indice de classement P15-471).

**[77]** NBN NE 13057, Normes Belge : (1997), « Produits et systèmes pour la protection etla réparation des structures en béton-Méthodes d'essai-détermination del'absorption capillaire », Octobre 1997, Mai 2002.

**[78]** NF P 15-433, Normes AFNOR Méthodes d´essais des ciments. - Détermination du retrait et du gonflement.

**[79]** MAGNIONT Camille, (2010), « Contribution à la formulation et à la caractérisation d'un éco matériau de construction à base d'agro ressources », Mémoire de Doctorat, Université Toulouse III - Paul Sabatier.

**[80** NF EN 196-6**.**, (1990), « Méthodes d'essais des ciments. Partie 6: Détermination de la finesse », AFNOR.

**[81]** NF EN 459-2**.**, (2002), « Chaux de construction. Partie 2 : Méthode d'essai », AFNOR.

**[82]** NF EN 196-3., (1995), « Méthodes d'essais des ciments. Partie 3 : Détermination du temps de prise et de la stabilité », AFNOR.

**[83**] NF EN 196-1., (1995), « Méthodes d'essais des ciments. Partie 1: Détermination des résistances mécaniques », AFNOR

**[84]** BENTCHIKOU. M., (2000), « Élaboration et étude de deux matériaux composites à fibres cellulosiques et matrice minérale et organique. Application à l'isolation thermique », Mémoire de Magister, Université De Médéa, Algérie.

**[85]** NF EN 196-3, (1995), « Méthodes d'essais des ciments. Partie 3 : Détermination du temps de prise et de la stabilité », AFNOR.

**[86]** NFP 18-303**,** Normes AFNOR : « Eau de gâchage pour béton », Aout 1990.

**[87]** PIERRE Rossi, Gilles ., (2000), « Chanvillard PRO 15: 5th RILEM Symposium on Fibre-Reinforced Concretes (FRC) - BEFIB'».

**[88]** BLAIFI Habiba ., (2012), «Evaluation des performances d'un matériau composite a matrice minérale et fibre cellulosique soumis à des ambiances climatiques instables», Mémoire de magister, Université Dr Yahia Farés, Médéa, Algérie.

**[89]** BENMANSOUR Nadia., (2015), «Developpement Et Caracterisation De Composites Naturels Locaux Adaptes A L'isolation Thermique DansL'habitat», Thèse de doctorat, Université de Batna.

# CIMENT PORTLAND COMPOSE
# CPJ-CEM II/A 42.5
## NORME ALGERIENNE NA 442-2000

Conforme à l'arrêté interministériel du 04 juin 2003 portant
sur les spécifications techniques et les règles applicables aux ciments

### Notre ciment

L'activité principale de l'entreprise est la fabrication et la commercialisation du ciment portland composé CPJ CEM II/A 42.5.
ECDE produit à la commande d'autres types de ciments tels que : Le CPJ CEM II/A 52.5 et le CPJ CEM II/A 32.5



Aperçu d'un sac de ciment (50 Kg)

### Présentation

Le ciment CPJ-CEM II/A 42,5 est un ciment Portland composé obtenu par le mélange finement broyé de clinker et d'ajouts.
Du sulfate de calcium est ajouté sous forme de gypse en tant que régulateur de prise.

### Composition

Le ciment Portland compsé CPJ-CEM II/A 42.5 est constitué de:
- 80 à 94% de clinker Portland.
- 6 à 20% maximum d'ajouts (calcaire pur).
- Constituants secondaires (0 à 5% sulfate de calcium comme régulateur de prise).

### Spécification

Le CPJ-CEM II/A 42,5 de l'ECDE répond aux exigences de la norme NA 442- 2000

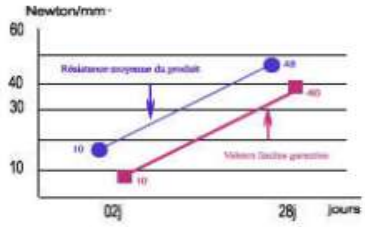
| CARACTERISTIQUES CHIMIQUES | |
|---|---|
| **Norme NA 442** | **Ciment ECDE** |
| Sulfates SO3 ≤ 3.5 % | SO3 ≤ 2.00 % |
| Chlorures Cl- ≤ 0.1 % | Cl- ≤ 0.08 % |

| CARACTERISTIQUES PHYSIQUES | |
|---|---|
| **Norme NA 442** | **Ciment ECDE** |
| Début de prise ≥ 60 mn | Début de prise> 60 mn |
| Stabilité à chaud ≤ 10mm | Stabilité à chaud < 7mm |
| Retrait 28j ≤ 1000 µm/m | Retrait 28j < 650 µm/m |

### EVOLUTION DES RESISTANCES A LA COMPRESSION

Les résistances mécaniques à la compression, mesurées sur éprouvettes de mortier normal à 28 jours d'âge conformément à la norme NA 234 donnent les résultats suivants:

- Limite inférieure (Li) : ≥ 42.5 Newtons/mm2
- Limite supérieure (Ls) : ≤ 62.5 Netons/mm2




**Valeurs limites garanties:**

- A 02 jours d'âge : 10.0 Newtons/mm2
- A 28 jours d'âge : 40.0 Newtons/mm2

### Domaine d'utilisation

- Béton courant (non armé ou faiblement armé: fondations, portées réduites, décoffrage différé).
- Produits préfabriqués en béton non armé (blocs, hourdis ... )
- Maçonnerie.
- Stabilisation des sols.
- Travaux en grande masse (barrages etc ... )
- Béton routier.
- Béton fortement sollicité.

### Précautions et recommandations pour l'emploi

- Il est recommandé de stocker le ciment dans les endroits étanches secs pour éviter l'hydratation du produits.
- Pendant le durcissement et en saison chadue, maintenir le béton humide en l'arrosant régulièrement ou en utilisant des produits de cure afin d'éviter la dessiccation des parties superficielles.
- Eviter les décoffrages prématurés pour préserver les résistances à long terme.
- Utiliser les agrégats propres (sable, gravier ...).
- Respecter le dosage ciment – eau – agrégats.
- Utiliser tout moyen (vibreur ...) pour assurer une compacité maximale du béton, facteur important pour la garantie de résistance mécanique optimums.
- Eviter un surdosage de ciment qui provoquerait une tendance à la fissuration du béton et donc une perte de résistance.

**Figure :** La fiche technique de ciment CHLEF utilisé

**Figure :** Tamiseuse électrique



**Figure :** Malaxeur de mortier



**Figure :** Dessiccateur avec pompe à vide utilisé



**Figure :** La presse utilisée pour la compression

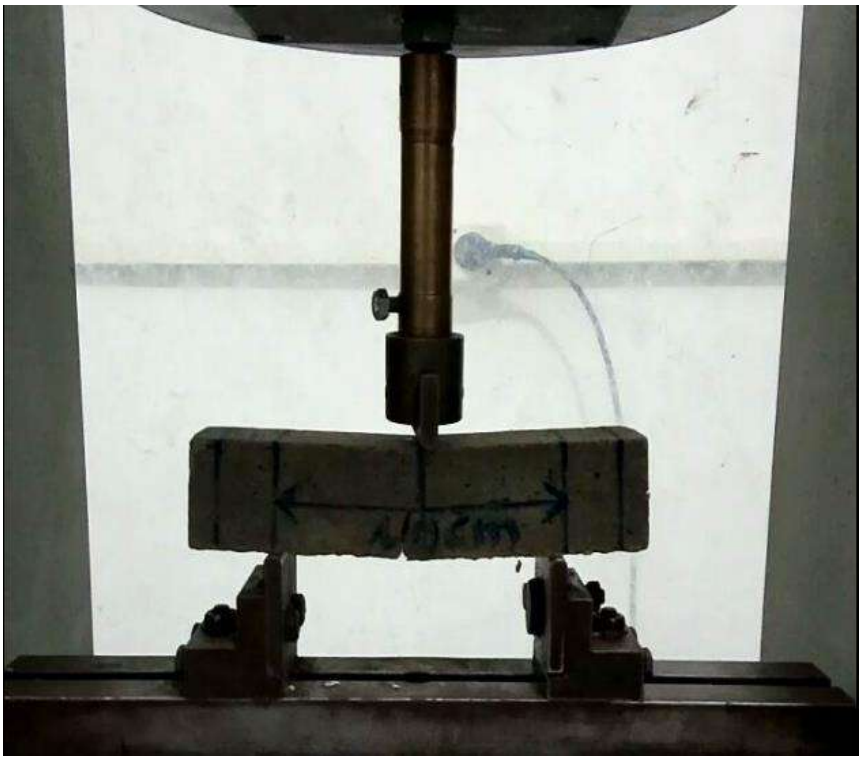


**Figure :** Dispositif Traction Pare Flexion