



République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



## **Université Amar Thelidji- Laghouat**

FACULTE DE GENIE CIVIL ET D'ARCHITECTURE  
DEPARTEMENT GENIE CIVIL

### **MEMOIRE DE MASTER**

*Présenté par : Yarou Amina*

**DOMAINE SCIENCES ET TECHNOLOGIES**

**Filière Génie Civil**

*Option : Matériaux de Génie Civil*

### **Thème**

*Etude de l'effet du type des fibres sur les performances  
d'un mortier de réparation à base de sable dunaire et  
sable de calcaire*

#### **Jury de soutenance :**

<b>Nom et Prénom</b>	<b>Grade</b>	<b>Qualité</b>
Mr . Bouziani Tayeb	Pr	Président
Mr. Lakhdari Mohamed Fateh	MAA	Examineur
Mr. Krobba Benharzallah	MCA	Rapporteur

**Promotion : Juin 2022**

# اهداء

اشكر لله تعالى أولا وأخيرا على نعمه:

أهدي هذا العمل الى:

من ساندتني في صلاتها و دعائها.....الى من سهرت الليالي تنير دربي

الى من تشاركني افراحي واساتي .....الى نبع الحنان والعطف

الى اروع امرأة في الكون :امي الغالية و العزيزة

الى من علمني ان الدنيا كفاح .....وسلاحها العلم و المعرفة

الى الذي لم يبخل علي باي شيء....الى من كان معي لأجل راحتي ونجاحي

إلى أعظم رجل في الكون:أبي العزيز

الى الذين ظفرت بهم هدية من الاقدار إخوة فعرفوا معنى الاخوة.

إخوتي الأحباء:

أحمد ومحمد و صالح وعبد الرحمن وعبد الباسط و عثمان وابناء عمي وعمتي.

الى اخواتي العزيزات : عائشة وزيب

و اتقدم باهداء خاص الى براعم العائلة و الى جدي وجدتي والى عمي وعمتي واخوالي

وخالاتي و الى جميع افراد عائلتي

والى جميع اساتذتي و اخص بالذكر أستاذي الذي اعده أبا لي: الاستاذ بن حرز الله قربة

و الى كافة الزملاء و زميلاتي في الدراسة : محمد العيد و وليد وجلال ومجيد واحمد و بدر

الدين ومحمد المختار وجهينة وكوثر ومنال وزهور

والى جميع صديقاتي العزيزات و اخص بالذكر ليلي و وسيلة و هجيرة و امينة وفريحة و

حسناء

و الى كل من احبابي في الله.

## شكر و تقدير

الحمد لله الذي بحمده تتم علينا نعمه و نشكره

ثم الصلاة و السلام على

نبينا محمد صلى الله عليه و سلم و بعد:

اتقدم بخالص عبارات الشكر و التقدير و الثناء

إلى استاذي الفاضل : "بن حرز الله قربة " على مساعدته

ودعمه لي طيلة هذا المشوار ودعمه الكبير لي،

و كذلك نشكر أساتذة اللجة المناقشة : الاستاذ "الطيب بوزياني "

والاستاذ "محمد الفاتح الاخضاري "

و الى جميع اساتذة كلية الهندسة المدنية و اخص بالذكر :

الاستاذ "احمد الزيرق" و الاستاذ "فريحات أحميدة"

على الدعم المعنوي و المعلومات القيمة التي قدمها لنا خلال مشواري الدراسي ومهندسي

ومهندسات المخبر على دعمهم الكبير لنا طيلة المشوار الدراسي .

كما اتقدم أيضا بالشكر الاستاذ "بن عرفه كمال" .

كما اشكر ايضا جميع اعضاء مخبر الاشغال العمومية بالأغواط

والى كل من ساعدني من قريب او بعيد.

## الملخص

في السنوات الأخيرة، تم توجيه اهتمام كبير نحو استخدام المواد المحلية والموارد الطبيعية المتجددة في مجال البناء والأشغال العامة وذلك لتلبية الحاجة الكبيرة لهذه المواد والمساهمة في التنمية المستدامة. ومن هنا تطورت تقنية تقوية مواد البناء، في هذه الحالة الملاط المقوى بالألياف وأصبحت مستخدمة بشكل متزايد من أجل تحسين أدائها الميكانيكي، لا سيما قوتها الشد والتكسير الذي كان الغرض من استخدامه في مجال الإصلاح. في هذا السياق، يتمثل هدف عملنا في المساهمة في دراسة تأثير نوع الألياف على أداء ملاط إصلاح مضغوط ذاتياً يعتمد على الكثبان الرملية ورمل الحجر الجيري. تحقيقاً لهذه الغاية، تم إجراء أول دراسة تجريبية تتعلق بتحسين مكونات ملاط ذاتية الضغط، ثم التعرف على تأثير إضافة الألياف (المعدل والنوع) على السلوك الفيزيائي والميكانيكي لهذا الملاط المحسن. من أبرز النتائج التي حصلنا عليها التأثير الإيجابي للألياف المعدنية على الانكماش والمقاومة الميكانيكية للملاط.

**الكلمات المفتاحية:** ملاط إصلاح، ملاط ذاتي الضغط، رمل كثيب، رمل كلسي، ألياف، انكماش، مقاومة ميكانيكية.

## Abstract

In the recent years, great interest has been oriented towards the use of local materials and renewable natural resources in building and public works. This is to satisfy the enormous need for these materials and contribute to sustainable development. Hence, the technique of reinforcing building materials, in this case of repair mortars with fibers has developed and become more and more used in order to improve their mechanical performances, in particular their tensile strengths and cracking whose purpose is to use it in repair field. In this context, this work consists in studying the effect of the type of fibers on the performance of a self compacting repair mortar based on dune-limestone sand. At first part of the work, an experimental investigation was carried out to determine the optimal of the constituents of the self compacting mortar.

In the second part, the effect of adding of fibers (type and ratio) on the physical-mechanical behavior of optimized mortar was assessed. One of the remarkable results obtained is that the favorable effect of steel fiber on the shrinkage and strength of the mortar.

**Keywords:** Repair mortar, Self compacting mortar, dune sand, limestone sand, fiber, shrinkage, mechanical strength.

## Résumé

Depuis quelques années, un grand intérêt s'est orienté vers l'utilisation des matériaux locaux et des ressources naturelles renouvelables dans le domaine du bâtiment et des travaux publics. Ceci pour satisfaire le besoin énorme en ces matériaux et pour contribuer au développement durable. D'où, la technique du renforcement des matériaux de constructions, en l'occurrence les mortiers, par des fibres s'est développée et est devenue de plus en plus utilisée dans le but d'améliorer leurs performances mécaniques, notamment leurs résistances à la traction et à la fissuration dans le but de l'utiliser dans le domaine de réparation. Dans ce cadre, l'objectif de notre travail est de contribuer à l'étude l'effet du type des fibres sur les performances d'un mortier de réparation autoplaçant à base de sable des dunes et sable calcaire. A cet effet, une première investigation expérimentale portant sur l'optimisation des constituants de mortier autoplaçant a été effectuée, ensuite l'effet d'adjonction des fibres (taux et type) sur le comportement physico-mécanique de ce mortier optimisé a été appréhendé. L'un des résultats les plus remarquables que nous avons obtenu est celui de l'effet favorable des fibres métalliques sur le retrait et les résistances mécaniques du mortier.

**Mots clés :** Mortier de réparation, mortier autoplaçant, sable de dune, sable calcaire, fibre, retrait, résistances mécaniques.

## Table de matières

---

---

Liste D'abréviation

Liste Des Figures

Liste Des Tableaux

**Introduction générale**..... 01

### *Chapitre I: Synthèse bibliographique*

<b>I.1 Introduction</b> .....	<b>04</b>
<b>I.2.Compatibilité</b> .....	<b>04</b>
I.2.1.Concept de compatibilité .....	<b>04</b>
<b>I.3.Facteurs influençant la compatibilité dimensionnelle d'une réparation en béton</b> .....	<b>05</b>
I.3.1. Module d'élasticité .....	<b>05</b>
I.3.2. Retrait .....	<b>06</b>
I.3.2.1 Retrait plastique .....	<b>07</b>
I.3.2.3 Retrait endogène .....	<b>07</b>
I.3.2.4 Le retrait thermique .....	<b>08</b>
I.3.3.Fluage .....	<b>08</b>
I.3.4.Dilatation thermique .....	<b>08</b>
<b>I.4.Les mortiers</b> .....	<b>09</b>
I.4.1. Liant .....	<b>09</b>
I.4.1.1La chaux .....	<b>09</b>
I.4.1.2Le ciment .....	<b>09</b>
I.4.1.3 Le polymère .....	<b>10</b>
I.4.2.Sable .....	<b>10</b>
I.4.2.1-Sable calcaire .....	<b>11</b>
I.4.2.2-Sable de dune .....	<b>11</b>
I.4.2.3.Sable alluvionnaire .....	<b>11</b>
I.4.2.L'eau .....	<b>12</b>
I.4.3.Les adjuvants .....	<b>12</b>
I.4.4.Additions .....	<b>13</b>
1.4.4.1 Aditions Pouzzolaniques .....	<b>13</b>
1.4.4.2Addition inertes ou quasi-inertes .....	<b>14</b>

## Table de matières

I.4.5 Les fibres .....	15
I.4.5.1 Leur dimension .....	16
I.4.5.2 Leur forme .....	16
I.4.5.3 Leur origine .....	17
I.4.5.4 Caractéristiques des fibres .....	18
I.4.5.5 Types des fibres .....	18
<b>1-5-Utilisation des Fibres dans la Construction .....</b>	<b>25</b>
<b>I.6-Caractéristiques du mortier hydraulique .....</b>	<b>25</b>
I.6-1-Effet de type de sable .....	26
<b>I.7- l'effet d'ajout des fibres .....</b>	<b>28</b>
I.7.1-Fibres végétales .....	28
I.7.2- Fibre métallique .....	33
I.7.3.Fibre Polypropylène .....	34
<b>Conclusion .....</b>	<b>36</b>

### *Chapitre II: Matériaux Et Méthodes*

<b>II.1 Introduction .....</b>	<b>38</b>
<b>II.2 Matériaux utilisés .....</b>	<b>38</b>
II.2.1 Sables .....	38
II.2.2 Ciment .....	44
II.2.3. EAU .....	46
II.2.4.L'adjuvant .....	46
II.2.5 Les fibres .....	46
<b>II.3 Méthodes expérimentales .....</b>	<b>50</b>
II.3.1 .Procédure de malaxage .....	50
II.3.2 Essais effectués sur les mortiers à l'état frais .....	51
II.3.3 Essai effectués sur les mortiers à l'état durci .....	52
<b>II.4 Conclusion .....</b>	<b>58</b>

### *Chapitre III: Résultats et discussion*

<b>III.1 Introduction .....</b>	<b>60</b>
<b>III.2. Formulation d'un mortier auto plaçant témoin (MT) .....</b>	<b>60</b>
III.2.1 Optimisation de squelette granulaire de sable (sable de dune – sable calcaire) .....	61
III.2.2 Détermination de la composition de mortier autoplaçant témoin MT .....	62
<b>III.3. Effet de dosage et de type des fibres sur les propriétés physico-mécaniques des</b>	<b>65</b>

## *Table de matières*

---

<b>mortiers</b> .....	
III.3.1. Résistances mécaniques .....	<b>65</b>
III.3.1.1. Résistances à la traction par flexion.....	<b>65</b>
III.3.1.2. La résistance à la compression .....	<b>66</b>
III.3.2. Le module d'élasticité dynamique( $E_d$ ) .....	<b>68</b>
<b>Conclusion générale</b> .....	<b>74</b>
<b>References bibliographiques</b> .....	<b>78</b>

## Liste des figures

### Liste des Figures

Figures	Pages
<b>Figure I.1.</b> Facteurs influençant la compatibilité d'une réparation en béton	<b>05</b>
<b>Figure I.2.</b> Effets d'une inadéquation des modules élastiques. (a) Charge parallèle à l'interface (b) Charge perpendiculaire à l'interface.	<b>06</b>
<b>Figure I.3.</b> Phénomène de retrait	<b>06</b>
<b>Figure I.4.</b> Différentes formes de fibres	<b>16</b>
<b>Figure I.5 .</b> Type de fibres utilisées pour renforcer les composites	<b>17</b>
<b>Figure I.6.</b> Propriétés physiques et mécaniques de certaines fibres	<b>18</b>
<b>Figure I. 7.</b> Différents types de fibres métalliques	<b>19</b>
<b>Figure I. 8:</b> Différentes forme de fibres métallique	<b>20</b>
<b>Figure. I.9.</b> fibres de polypropylène.	<b>20</b>
<b>Figure I.10.</b> Classification des fibres végétales	<b>21</b>
<b>Figure I.11 :</b> Processus principales de production des fibres de sisal	<b>23</b>
<b>Figure I.12.</b> Effet des types de sables sur la résistance à 28 jours des MAP	<b>26</b>
<b>Figures I.13.</b> Evolution du retrait en fonction de temps de différents types des mortiers	<b>28</b>
<b>Figures I.14.</b> Effet de l'ajout des fibres de palmier dattier sur la résistance à la compression du béton	<b>29</b>
<b>Figure I.15.</b> Effet de l'ajout des fibres de palmier dattier sur la résistance à la flexion du béton	<b>30</b>
<b>Figure I.16.</b> Résistance à la compression et à la flexion du plâtre	<b>31</b>
<b>Figure I.17.</b> Effet d'ajout des fibres sur l'absorption d'eau.	<b>32</b>
<b>Figure I.18.</b> Variation du retrait plastique du mortier renforcé par les fibres de sisal et de polypropylène	<b>32</b>
<b>Figure I.19.</b> Evolution de retrait total en fonction de temps	<b>33</b>
<b>Figures I.20.</b> Effet du type et de la répartition des fibres sur la résistance à la traction en flexion des mortiers.	<b>33</b>
<b>Figure I.21.</b> Résistances en compression des différentes variantes étudiées en fonction du temps	<b>34</b>
<b>Figures. I .22.</b> Effet de l'ajout des fibres de polypropylène sur les résistances mécaniques du béton de sable	<b>35</b>
<b>Figure I.23.</b> Variation du retrait en fonction du temps.	<b>35</b>
<b>Figure II.1.</b> Courbes granulométriques des deux types de sable	<b>39</b>
<b>Figure II.2.</b> Principe de l'essai d'équivalente de sable.	<b>43</b>
<b>Figure II.3.</b> Découpage des fibres de sisal	<b>46</b>
<b>Figure II.4.</b> Les fibres de sisal découpées	<b>47</b>
<b>Figure II.5.</b> Presse de traction.	<b>47</b>
<b>Figure II.6.</b> Loi de comportement à la traction des fibres de sisal	<b>48</b>
<b>Figure II.7.</b> Fibres métalliques	<b>48</b>
<b>Figure II.8.</b> Fibres Polypropylène	<b>49</b>
<b>Figure II.9.</b> Malaxeur de capacité de 5 litres	<b>50</b>
<b>Figure II.10.</b> Moule tronconique	<b>50</b>

## *Liste des figures*

<b>Figure II.11.</b> Séquence de malaxage.	<b>51</b>
<b>Figure II.12.</b> Essai d'étalement au mini cône.	<b>52</b>
<b>Figure II.13.</b> Dispositif de retrait.	<b>53</b>
<b>Figure II.14.</b> Dispositif pour l'essai de flexion par trois points	<b>54</b>
<b>Figure II.15.</b> Essai de traction par flexion.	<b>55</b>
<b>Figure II.16.</b> Dispositif de rupture en compression	<b>55</b>
<b>Figure II.17.</b> Essai de compression	<b>56</b>
<b>Figure II.18.</b> Schéma d'essai d'absorption d'eau par capillarité.	<b>56</b>
<b>Figure II.19.</b> Dispositif expérimental de l'essai d'absorption d'eau par capillarite.	<b>57</b>
<b>Figure II.20.</b> Appareil d'auscultation dynamique (ultra sonore).	<b>58</b>
<b>Figure III.1</b> Evolution de la compacité de mélange en fonction du taux de substitution de sable calcaire.	<b>62</b>
<b>Figure III.2.</b> Résistance à la flexion de différents types des mortiers à 7 jours	<b>65</b>
<b>Figure III.3 .</b> Résistance à la flexion de différents types des mortiers à 28 jours.	<b>66</b>
<b>Figure III.4 .</b> Résistance à la compression de différents types des mortiers à 7 jours	<b>67</b>
<b>Figure III.5.</b> Résistance à la compression de différents types des mortiers à 28 jours	<b>67</b>
<b>Figure III.6.</b> Module d'élasticité dynamique( $E_d$ ) de différents types des mortiers à 7 jours	<b>69</b>
<b>Figure III.7.</b> Module d'élasticité dynamique( $E_d$ ) de différents types des mortiers à 28 jours	<b>69</b>
<b>Figure III.8.</b> Evolution du retrait en fonction de l'âge pour différents types et dosages des fibres.	<b>70</b>
<b>Figure III.9 .</b> Absorption d'eau par capillarité en fonction du temps à 28 jours pour les différents types de mortiers	<b>71</b>
<b>Figure III.10.</b> Sorptivité des différents types de mortiers à 28 jours.	<b>72</b>

## *Liste des tableaux*

### *Liste des Tableaux*

<b>Tableaux</b>	<b>Pages</b>
<b>Tableau I.1.</b> Caractéristiques des fibres couramment utilisées	<b>19</b>
<b>Tableau I.2.</b> Propriétés des fibres de sisal.	<b>23</b>
<b>Tab I.3.</b> Propriétés mécaniques des fibres	<b>24</b>
<b>Tableau 1.4.</b> Application des divers renforcements de fibres dans les produits à base de ciment	<b>25</b>
<b>Tableau II.1</b> .Résultats d'analyse granulométrique du sable dunaire	<b>39</b>
<b>Tableau II.2.</b> Résultats d'analyse granulométrique du sable calcaire	<b>39</b>
<b>Tableau II.3.</b> Modules de finesse des deux sables.	<b>40</b>
<b>Tableau II.4.</b> Coefficient d'uniformité des deux sables.	<b>40</b>
<b>Tableau II.5.</b> Masse volumique apparente	<b>41</b>
<b>Tableau II.6 :</b> Masse volumique absolue	<b>42</b>
<b>Tableau II .7.</b> Compacité des sables.	<b>42</b>
<b>Tableau II.8.</b> Coefficient d'absorption	<b>43</b>
<b>Tableau II.9.</b> Equivalent de sable.	<b>43</b>
<b>Tableau II.10</b> .Caractéristiques physiques du ciment.	<b>45</b>
<b>Tableau II.11.</b> Classe vraie du ciment.	<b>45</b>
<b>Tableau II.12.</b> Composition chimique et propriétés physiques de ciment et MPa.	<b>45</b>
<b>Tableau II.13.</b> Caractéristiques chimiques et physico-mécaniques des fibres utilisées.	<b>47</b>
<b>Tableau II.14.</b> Caractéristiques chimiques et physico-mécaniques des fibres utilisées	<b>49</b>
<b>Tableau II.15.</b> Données techniques des fibres PP	<b>49</b>
<b>Tableau III.1</b> Formulation de mortier témoin /m <sup>3</sup>	<b>63</b>
<b>Tableau.III.2.</b> Compositions de différents types de mortiers/m <sup>3</sup> .	<b>64</b>
<b>Tableau III.3.</b> Désignation des différentes compositions utilisées	<b>64</b>

## Liste d'abréviations

---

### Notations utilisées

**L** : Longueur de l'éprouvette, longueur des fibres.

**C** : Dosage en ciment du béton.

**E** : Module de young.

**E/C** : Rapport eau / ciment.

**Es** : Equivalent de sable.

**ESv** : Equivalent de sable visuel.

**ESp** : Equivalent de sable au piston.

**Ff** : Charge de rupture par flexion.

**h1** : Hauteur des grains solides sableux.

**h2** : Hauteur des grains solides sableux + des impuretés argileux.

**I** : Indice d'hydraulicité du ciment, indice de Vicat.

**K** : Constante de l'appareil de Blaine.

**M1** : Masse sec avant lavage d'échantillon.

**M2** : Masse sec après lavage d'échantillon.

**Mt** : Masse totale d'échantillon.

**Ms** : Masse des grains solides, masse à l'état sec.

**Mh** : Masse à l'état humide après imbibition.

**Mf** : Module de finesse du sable.

**Rc** : Refus cumulé sur les tamis.

**t** : Temps de passage de l'air à travers la couche de la poudre.

**Vt** : Volume total d'échantillon.

**Vs** : Volume des grains solides.

**v** : Coefficient de Poisson.

**Cp** : Compacité.

# *Introduction Générale*

### **Introduction générale**

Après des années de service, il est fréquent d'apercevoir des structures en béton nécessitant des réparations, d'entretien, ou des reconstructions partielles, à cause des différentes dégradations subies pendant l'exploitation, à vrai dire, la nature et l'origine des défauts sont multiples. Les dommages peuvent apparaître lors du chargement accidentel ou à cause des défauts de conception et de mise en œuvre. Par ailleurs, des pathologies du béton peuvent être à l'origine de graves dégradations, également la carbonatation, la réaction alcali-granulats, les attaques des sulfates...etc. Tout cela mène à des structures en mauvais état qui exigent l'une des deux réparations: une reconstruction partielle ou une réparation.

En Algérie, au cours de ces dernières années, un nombre important de constructions en béton armé nécessitent des réparations ou des reconstructions. Sur les structures à réparer, on pourra relever un endommagement allant du défaut local (fissures, épaufrures...), à des délaminages importants et des attaques chimiques. L'un des aspects les plus importants du problème est celui des matériaux de réparation fiables répondant aux critères de durabilité, de compatibilité et d'économie.

Dans le domaine du développement des matériaux composites, le mortier ne fait pas exception, les chercheurs et les producteurs de fibres ont pensé à l'incorporation de ces dernières comme matériaux de renforcement dans les matrices cimentaires. Depuis lors, l'utilisation des fibres dans le mortier est devenue de plus en plus une pratique courante. Des applications sont développées grâce à la capacité prouvée par l'expérience de ces mortiers fibrés, à limiter et à contrôler la fissuration et à améliorer la résistance d'où vient l'idée ingénieuse d'utiliser ces mortiers pour les travaux de réparation des constructions et par cela augmenter leurs durées de vie.

Notre travail s'inscrit dans cette optique en se fixant pour objectif une contribution à l'étude de l'effet de type de fibres sur les performances d'un mortier de réparation à base de sable dunaire-calcaire.

Le travail présenté dans ce document se compose de trois chapitres :

- Le premier chapitre est une recherche bibliographique sur le thème.
- la caractérisation des constituants élémentaires utilisés dans cette étude, à savoir : le ciment, les deux sables, les trois types des fibres, ainsi que quelques modes opératoires utilisées dans la caractérisation sont présentés dans le deuxième chapitre.

## *Introduction général*

---

➤ Dans le dernier chapitre nous présentons avec discussion les résultats de l'effet de type et de dosage de fibres (Sisal, acier, polypropylène) sur les différentes caractéristiques des mortiers de réparation et particulièrement leurs propriétés à l'état frais et durci, à savoir:

- Résistance à la traction par flexion et à la compression.
- Retrait.
- Absorption d'eau par capillarité.
- Module d'élasticité dynamique.

Enfin, Le mémoire se termine par une conclusion générale qui synthétise le travail expérimental effectué.

***Chapitre I :***

***Synthèse bibliographique***

## **I.1 Introduction**

Ce chapitre s'intéresse tout d'abord à la recherche bibliographique sur les principales notions traitées dans notre étude, Nous allons donner une présentation générale sur la réparation des constructions de génie civil ;et également sur les problèmes des réparation (la compatibilité), Nous allons faire aussi une synthèse sur les différents matériaux de réparation ,plus particulièrement qui concerne le mortier de réparation avec deux types de sables et différents types des fibres utilisés dans le domaine de construction en génie civil.

A l'interface entre la science et l'ingénierie des matériaux, les systèmes et techniques de réparation doivent être choisis dans une optique à court terme, il faut rendre à un ouvrage ses capacités originelles, mais aussi à plus long terme car il s'agit de lui assurer une nouvelle vie.

À savoir, et pour distinguer les différentes opérations qu'on peut réaliser sur une construction, on donne les définitions suivantes :

**Réparation** : opération de remise en état d'un élément ou d'un ouvrage dégradé.

**Restauration** : opération de rétablissement de l'ouvrage à son état originel, avant sa mise en service.

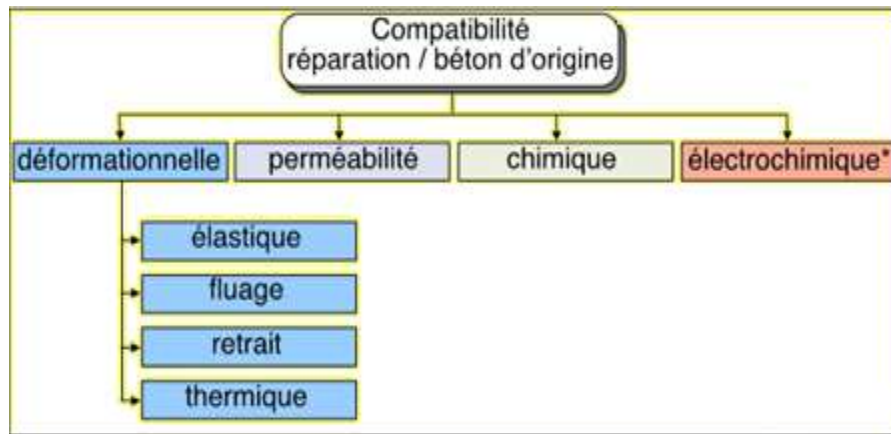
**Renforcement** : ensemble des travaux visant à préparer l'ouvrage à une exploitation plus intensive en tenant compte des sollicitations mécaniques, thermiques ou chimiques. Chacune de ces sollicitations peut prendre un caractère permanent ou non, de courte ou de longue durée, statique ou dynamique. [1]

## **I.2 Compatibilité :**

La compatibilité des produits de réparation vis-à-vis du béton ancien constitue une condition indispensable pour la qualité et la durabilité des réparations, les quelles se mesurent notamment par l'adhérence à long terme du nouveau matériau sur l'ancien béton[2].

### **I.2.1 Concept de compatibilité**

Lorsqu'un matériau de réparation est mis en place sur un support de vieux béton, il se pose alors le problème de leur compatibilité. Cette compatibilité peut prendre différents aspects, tant chimique que du pont de vue déformation ; elle peut encore être exprimée en termes de perméabilité (figure. I.1). Chaque type de compatibilité est sensible à des facteurs différents [2].



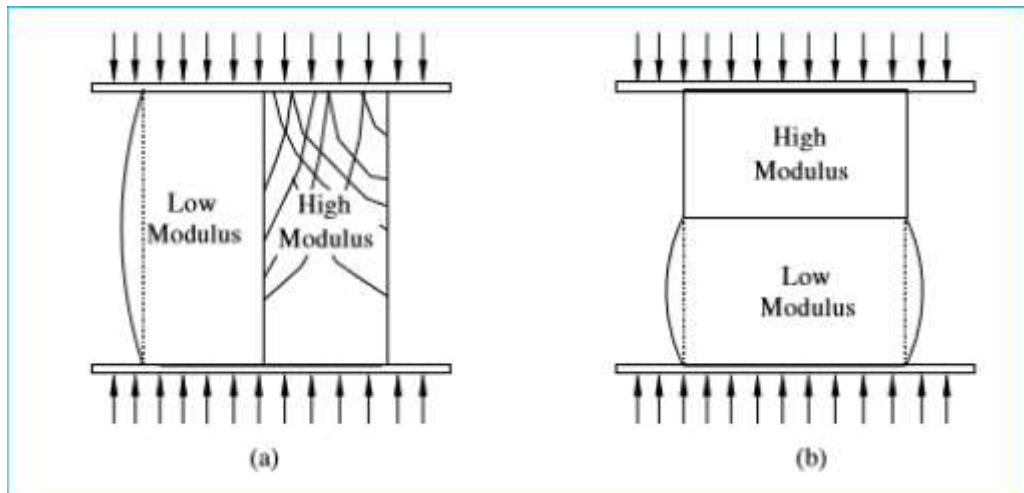
**Figure I.1.**Facteurs influençant la compatibilité d'une réparation en béton [2].

### I.3 Facteurs influençant la compatibilité dimensionnelle d'une réparation en béton :

#### I.3.1 Module d'élasticité :

Le module d'élasticité est une mesure de la rigidité d'un matériau. Un matériau avec un module d'élasticité plus élevé est plus rigide qu'un matériau de module inférieur, qui est plus flexible. Le module d'élasticité est la constante de proportionnalité entre la contrainte appliquée et la déformation dans la gamme contrainte déformation linéaire du matériau. Il correspond à la pente de la partie droite d'un graphique de la contrainte par rapport à la déformation. Le terme élasticité fait référence au caractère réversible du changement dimensionnel (comme un ressort se ressaisirait s'il était comprimé ou étiré) [2].

Les matériaux à faible module d'élasticité se déforment plus que ceux ayant un module élevé sous une charge donnée. Lorsque la charge (compression ou traction) est appliquée parallèlement à l'interface (béton-matériau de réparation) figure. I.2.a, les matériaux ayant des modules élastiques différents transfèrent les contraintes du matériau à faible module (efficacité portante inférieure) au matériau à module élevé. Lorsque la charge est appliquée perpendiculairement à la l'interface (béton-matériau de réparation) Figure I.2.b, la différence de rigidité entre les deux matériaux est moins critique si la charge appliquée est une charge de compression [2]



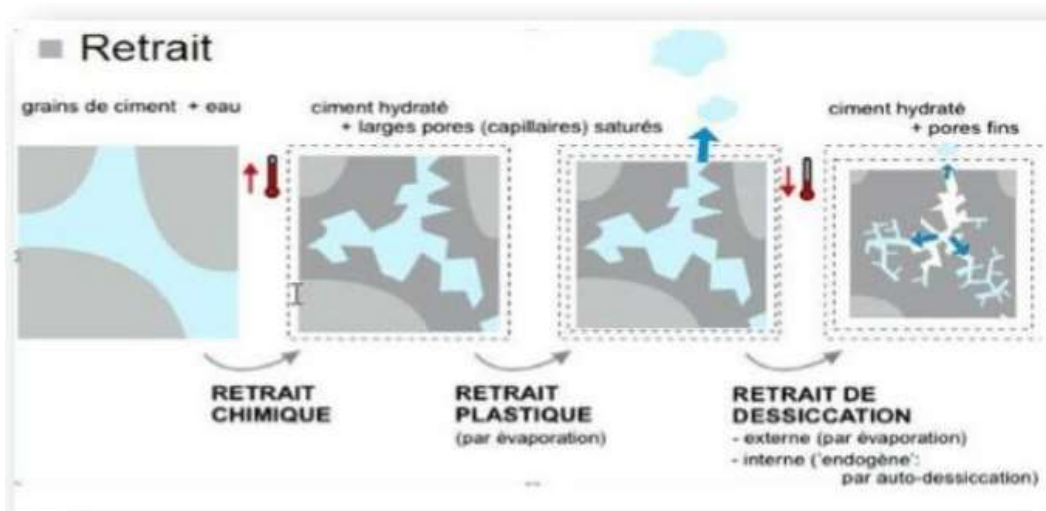
**Figure 1.2.** Effet d'une inadéquation des modules élastique (a) charge parallèle à l'interface (b) charge perpendiculaire à l'interface. [2]

### I.3.2 Retrait :

Le retrait est l'une des causes à l'origine des déformations imposées et qui peut conduire au dépassement de la résistance en traction des matériaux cimentaires. C'est une variation dimensionnelle négative pour la durabilité.

Pour le matériau à base cimentaire, la teneur en eau diminue au cours du temps, surtout quelques heures après la mise en place. Ceci s'accompagne d'une contraction du matériau.

Ainsi le matériau subit un phénomène de variation volumique, généralement désigné par le terme « retrait ». Ce phénomène a lieu à l'état frais comme à l'état durci (figure I.3). Le retrait des matrices cimentaires est un processus relativement complexe. Il peut se décomposer en cinq types différents : plastique, de séchage, thermique, de carbonatation et endogène. Ces cinq composantes du retrait total d'une matrice cimentaire sont cumulatives avec des cinétiques très différentes [2]



**Figure I.3.** Phénomène de retrait [2]

**I.3.2.1 Retrait plastique :**

Le retrait plastique est la variation dimensionnelle qui se produit dans tous les matériaux à base de ciment à l'état frais dans les premières heures suivant leur mise en place. Le retrait plastique résulte d'un séchage rapide du béton en phase plastique. Il n'est ni plus ni moins que le retrait de séchage qui se déroule lorsque le béton n'a pas encore durci. L'ampleur du retrait plastique est influencée par la quantité d'eau qui s'évapore en surface, qui est elle-même fonction de la température, de l'humidité relative ambiante et de la vitesse du vent. Si la quantité d'eau évaporée est beaucoup plus importante que l'apport provenant du ressuage du béton, il peut en résulter des fissures dues à des contraintes de traction un peu supérieures à la résistance du béton. Cette fissuration dépend non seulement de la vitesse d'évaporation en surface, mais aussi de la rigidité et de la résistance précise du béton à ce moment. Finalement, le retrait plastique sera d'autant plus important que la quantité de ciment du mélange est importante et que le rapport E/C est faible. [2]

**I.3.2.2 Le retrait de séchage**

Le retrait de séchage est la réduction de volume causée principalement par la perte d'eau pendant le processus de durcissement. Le retrait de séchage est généralement l'aspect le plus critique à l'égard de la compatibilité déformationnelle d'une réparation. Le retrait de séchage est cette contraction que subit le béton lorsque son contenu en eau s'évapore vers l'extérieur ( $H.R \text{ béton} > H.R \text{ air}$ ). Lors du séchage, le déséquilibre thermodynamique engendré, provoque un échange de vapeur d'eau de la matrice cimentaire vers le milieu extérieur. La dessiccation du milieu va créer une variation de tensions capillaires, de tensions superficielles et des pressions de disjonction. L'addition de ces mécanismes conduit à un retrait apparent de l'ordre de 200 à 1000  $\mu\text{m/m}$ . [2]

**I.3.2.3 Retrait endogène :**

Le retrait endogène du béton (aussi appelé retrait d'auto-dessiccation ou retrait chimique) est une déformation qui résulte du fait que le volume des produits de l'hydratation est plus petit que le volume des réactifs en présence. Cette déformation est présente même sans échange hydrique avec l'environnement. Il s'agit donc d'une dessiccation interne du béton. Par contre au retrait de séchage, celle-ci sera d'autant plus grande que le béton présentera un rapport E/C

faible, souvent synonyme d'une quantité de ciment élevée et par conséquent d'une grande résistance mécanique. Les valeurs du retrait endogène sont d'environ 25 à 200  $\mu\text{m/m}$  en fonction du type de béton. En pratique, on ne tiendra compte de cette déformation que pour des bétons de classe de résistance supérieure à C35/45 ou pour les éléments particulièrement massifs

Le retrait endogène ayant pour origine la réaction d'hydratation du ciment avec l'eau, est le phénomène qui survient en premier au cours de la vie d'une réparation. Au jeune âge du matériau, le retrait endogène est donc le phénomène principal qui influe sur le comportement mécanique d'une réparation. [2]

#### **I.3.2.4 Le retrait thermique :**

Le retrait thermique est lié au retour à la température ambiante des pièces en béton ayant au préalable subi une élévation de température due aux réactions exothermiques d'hydratation du ciment. Ce retour à la température ambiante est accompagné par une contraction qui génère des déformations empêchées susceptibles de conduire à l'apparition du phénomène de fissuration. Ce type de retrait s'étend de quelques dizaines d'heures, jusqu'à quelques semaines après la mise en œuvre. Sa durée est dépendante de la nature des éléments en béton considérés. Toutefois, dans le cas des rechargements minces où leur épaisseur est limitée à quelques centimètres, la chaleur peut se dégager vite à l'extérieur pendant que le matériau est encore déformable. L'effet du retrait thermique peut être négligeable dans ce cas [1]

#### **I.3.3 Fluage :**

Le fluage est la déformation différée que le matériau doit subir sous charge constante au-delà de la déformation instantanée, la déformation de fluage est décomposée en une déformation de fluage propre et de dessiccation. Chacune de ces composantes correspond à un environnement de conservation différent vis-à-vis de l'humidité relative. Dans des conditions de température et d'hygrométrie en équilibre avec les caractéristiques internes du matériau (système thermodynamique fermé), le béton (ou mortier) sous chargement présente des déformations de fluage propre. S'il y a un échange hygrométrique durant le chargement, on considère que le retrait de séchage et le fluage s'ajoutent. Le supplément de fluage observé lors du séchage est appelé fluage de séchage. Le fluage est défini comme la déformation dans le temps causé par une charge constante. Selon divers auteurs, le matériau de réparation doit généralement posséder un très faible potentiel de fluage, sauf si le matériau de réparation est sollicité à la traction, le fluage dans ce cas peut être bénéfique, car il peut compenser ou réduire l'effet négatif du retrait dans le matériau de réparation[1]

#### **I.3.4 Dilatation thermique :**

La compatibilité thermique est une autre caractéristique déterminante d'une réparation, en particulier dans un climat caractérisé par d'importantes amplitudes de température. Un écart significatif entre les coefficients de dilatation thermique du matériau de réparation et du béton d'origine engendre, sous sollicitation thermique, des contraintes internes dans la réparation, notamment à l'interface. L'intensité des contraintes dépend de la variation de température et de

l'importance de l'écart entre les coefficients de dilatation thermique des deux matériaux. La nature cyclique des sollicitations thermiques et le taux de variation de température sont deux facteurs pouvant accélérer le processus de dégradation[1]

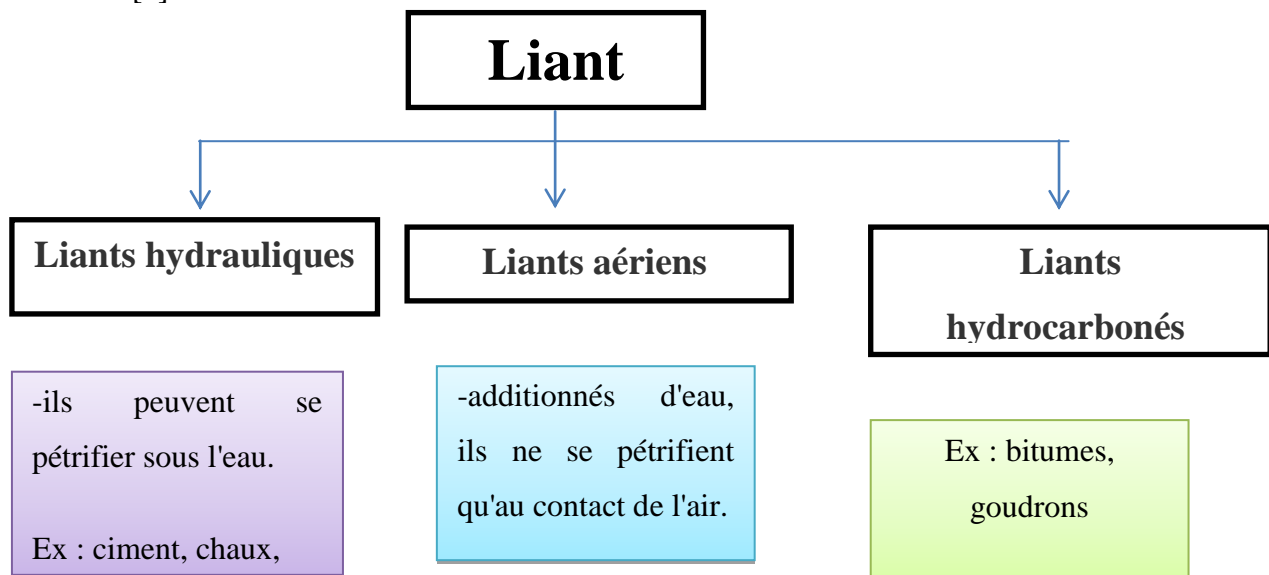
#### I.4 Les mortiers :

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

Il sert à lier les différents éléments de construction tels que des briques, des pierres, des blocs de béton (parpaings)... ou à exécuter des revêtements, des enduits de façade et de réparations.

##### I.4.1 Liant :

Quel qu'il soit, le liant employé doit être de bonne qualité. Son choix pour la confection d'un mortier est très important. Il peut être du ciment portland, du ciment de maçonnerie, de la chaux. . [4]



##### I.4.1.1 La chaux :

Qui est le composant traditionnel du mortier, possède une plasticité et un pouvoir de rétention d'eau excellent, mais sa résistance mécanique est faible et sa cure est lente. La cure des mortiers de chaux s'effectue lentement par carbonatation sous l'effet du gaz carbonique de l'air ; ce processus peut être fortement ralenti par temps froid et humide. [4]

##### I.4.1.2 Le ciment :

Le ciment est un liant hydraulique, c'est-à-dire une matière minérale finement moulue qui, mélangée avec l'eau, forme une pâte qui fait prise et durcit à la suite du processus d'hydratation et qui, après durcissement, conserve sa résistance et sa stabilité même sous l'eau. Le durcissement de la pâte de ciment est principalement dû à l'hydratation des silicates de calcium.

Dans les ciments, les aluminates peuvent également intervenir dans le processus de durcissement. La somme des proportions de l'oxyde de calcium (CaO) et du dioxyde de silicium (SiO<sub>2</sub>) réactifs doit être d'au moins 50 % en masse. Le ciment est constitué principalement de clinker Portland (K) qui est un matériau hydraulique. Il est obtenu à partir de la cuisson à haute température, supérieure à 1450°C, d'un mélange approprié de calcaire et d'argile en proportion moyenne de 80% et 20%. Les silicates et aluminates hydrauliques formés lors de cette cuisson (linéarisation) sont :

- Le silicate tricalcique, 3CaO.SiO<sub>2</sub>, que l'on écrit C3S ;
- Le silicate bi calcique, 2CaO.SiO<sub>2</sub>, que l'on écrit C2S ;
- L'aluminate tricalcique, 3CaO.Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, que l'on écrit C3A ;
- L'aluminoferrite tetracalcique, 4CaO.Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, que l'on écrit C4AF [5].

#### **I.4.1.3 Le polymère :**

Les polymères sont principalement utilisés pour l'élaboration de matériaux polymères, c'est-à-dire toute matière utile d'origine naturelle ou synthétique, le polymère de base est très souvent mélangé avec des additifs, des charges qui modifient les caractéristiques physico-chimiques de la matière plastique et donc ses propriétés.

Les propriétés thermomécaniques spécifiques des matériaux polymères ainsi que leur aptitude à être mis en forme les différencient des autres classes que sont les matériaux inorganiques (métaux, verres, céramiques). Les composites permettent d'allier les propriétés des matériaux polymères et inorganiques.

Les polymères peuvent être issus du milieu naturel (végétal et animal) ou obtenu par polymérisation de monomères. Polymères naturels et synthétiques peuvent aussi subir des réactions chimiques ultérieures pour répondre à un cahier des charges particulier. Plus spécifiquement, un polymère artificiel est un polymère naturel modifié chimiquement. [6]

#### **I.4.2 Sable :**

Il existe plusieurs types de sable naturels et artificiels tels que le sable alluvionnaire SA (rivière), sable de carrière SC, sable de dune SD, sable de mer, le sable recyclé etc. les trois sables SA, SC et SD sont les sables les plus disponibles en Algérie. Le sable SA est couramment utilisé dans les bétons de structures du génie civil, hydraulique et d'ouvrage d'art. Tandis que, le sable SC est utilisé dans le domaine des travaux publics et infrastructures routières. Bien que, le SD est très peu utilisé dans le béton de structure son utilisation reste très limitée dans les travaux secondaires, il peut être utilisé comme lit de pose dans le revêtement du sol, remblai de protection des canaux des réseaux de l'AEP et de l'assainissement et aussi des réseaux d'électricité et du gaz etc. [1]

**I.4.2.1 Sable calcaire :**

Le sable de carrière, dit aussi sable concassé, est un sous-produit des processus industriels contrôlés de concassage, de lavage et de criblage appliqués à des roches massives généralement calcaires. Ce sable, qui se trouve couramment dans la classe granulaire 0/3 mm, est rarement utilisé dans la confection des bétons en raison de son taux élevé en fines qui varié de 8 à 30 % et provoquant ainsi un problème de stockage au niveau des carrières. Plusieurs recherches ont été menées pour la valorisation de sable de carrière dans la confection des mortiers et bétons. En effet, elles ont trouvé que la morphologie de ces grains angulaires est plus adaptée à un meilleur accrochage à la pâte de ciment que celle de sable roulé, ce qui offre plus de résistances au béton.

L'utilisation de sable de carrière est déterminée par sa granulométrie et ses caractéristiques physiques, mécaniques et chimiques. En générale, il s'utilise pour des sous-fondations et fondations, des applications liées au ciment, par exemple du béton, et pour la production de mélanges bitumineux.[8]

**I.4.2.2 Sable de dune :**

Le sable des dunes est le résultant d'une érosion et d'une sédimentation des différentes roches suivie d'un transport fluvial et parfois éolien. La plus grande partie des formations sableuses est constituée de quartz. Il est caractérisé par une granulométrie fine et très serrée

Les dunes se forment dans des zones où le sable est abondant et non fixé par la végétation (désert, plage, lit fluvial à l'étiage). Le sable est érodé et pris en charge par le vent (déflation). Il est transporté aux ras du sol par saltation, puis s'accumule quand la compétence du vent chute (versant sous le vent). Une dune peut se déplacer par érosion du versant au vent et accumulation sur le versant opposé.

Le sable de dune qui s'impose du fait de son abondance dans la nature (Sahara), de son coût d'extraction presque nul, et de sa propreté apparente, forme la solution au problème d'épuisement des ressources naturelles et se présente comme un matériau d'avenir [7].

**I.4.2.3 Sable alluvionnaire :**

Le sable alluvionnaire, dit aussi roulé, dont la forme a été acquise par l'érosion est issu de roches meubles des dépôts des alluvions trouvés dans les lits des fleuves ou des rivières. Bien qu'on puisse trouver différentes roches selon la région d'origine, le sable utilisé pour le béton est le plus souvent siliceux. Ce sable, plus recommandé à la confection des bétons, doit présenter une granularité telle que les éléments fins ne soient ni en excès, ni en trop faible proportion. S'il y a trop de grains fins, il sera nécessaire d'augmenter le dosage en eau du béton tandis que si le sable est trop gros, la plasticité du mélange sera insuffisante et rendra la mise en place difficile.

Cette granularité est caractérisée par le module de finesse (MF). Plus le module de finesse est faible, plus le sable est fin :

$1.8 \leq MF \leq 2.2$  ; le sable convient bien pour obtenir une bonne ouvrabilité et une résistance satisfaisante.

$2.2 \leq MF \leq 2.8$  ; le sable convient bien pour obtenir une ouvrabilité satisfaisante et une bonne résistance avec des risques de ségrégations limités.

$2.8 \leq MF \leq 3.2$  ; le sable convient bien pour obtenir une moins bonne ouvrabilité et une résistance élevée avec des risques de ségrégations[7]

#### **I.4.2 L'eau :**

Le choix de l'eau de gâchage a aussi une grande importance car elle remplit un double rôle : elle sert à hydrater le ciment et ce qui est plus important, elle contribue à son ouvrabilité.

Les mortiers devraient contenir la quantité d'eau maximale compatible avec une ouvrabilité optimale. L'eau devrait être propre et ne pas contenir de produits nocifs tels que des acides, des alcalis ou des matières organiques. Lorsqu'elle est potable, on peut l'utiliser.

#### **I.4.3 Les adjuvants :**

Les adjuvants sont des produits chimiques incorporés au béton frais en faible quantité. Ils améliorent les propriétés des bétons et des mortiers auxquels ils sont ajoutés. Les principaux adjuvants sont :

- les plastifiants (améliorent la maniabilité et sont réducteurs d'eau),
- les entraîneurs d'air (permettent d'incorporer pendant le malaxage, une quantité contrôlée de fines bulles d'air uniformément réparties et qui subsistent après durcissement),
- les modificateurs de prise (retardateurs, accélérateurs),
- les hydrofuges (adjuvants qui réduisent l'absorption capillaire du béton. [9])

##### **I.4.3.1 Adjuvants chimiques :**

Afin d'obtenir une très grande fluidité d'un béton auto plaçant on utilise généralement un adjuvant fluidifiant de la dernière génération, à base de poly carboxylates.

Ces adjuvants permettent de réduire de manière importante le dosage en eau tout en ayant également un effet sur la viscosité durcies).[9]

##### **I.4.3.2 Super plastifiants :**

Les super plastifiants sont des réducteurs d'eau, mais beaucoup plus efficaces et très différents des réducteurs d'eau traités dans la section précédente. Les super plastifiants se distinguent également par leur nature. Le béton étant un matériau composite poreux constitué de ciment, de granulats et d'eau, ses propriétés mécaniques finales dépendent très étroitement de la quantité d'eau introduite lors du gâchage. L'utilisation de super plastifiants permet de modifier la

quantité d'eau ajoutée au béton. En tant qu'adjuvant, le super plastifiant peut avoir plusieurs fonctions dans un mélange cimentaire. La fonction de base est la fluidification, puisqu'il provoque un important gain d'ouvrabilité d'un mélange.

Le super plastifiant est responsable d'un effet de plastification à même teneur en eau, il permet d'augmenter l'ouvrabilité, sans diminuer les résistances à long terme de la pâte du mortier ou du béton. La fonction (réducteur d'eau) se manifeste par la réduction du rapport E /C pour une même ouvrabilité.[10]

#### **I.4.4 Additions :**

##### **1.4.4.1 Additions Pouzzolaniques :**

###### **a) La pouzzolane naturelle :**

La pouzzolane naturelle est une roche naturelle de composition silico- alumineuse et de texture majoritairement vitreuse généralement d'origine volcanique. Il existe toutefois des pouzzolanes d'origine sédimentaire (Diatomite, radiolarite, Gaize) et des pouzzolanes artificielles (cendres volantes, argiles calcinées, ...). Les pouzzolanes développent par hydratation en présence de chaux des hydrates liants de nature analogue à ceux du clinker. Elles sont reconnues comme constituant principal des ciments autre que le clinker. Le terme pouzzolane tire son nom de Pouzzoles, une localité près de Naples en Italie, riche en cendres volcaniques issues du Vésuve. [3]

###### **b) La fumée de silice :**

Les fumées de silice (D) sont des particules minérales amorphes extrêmement fines (1 – 100 µm) (ACI-Committee-234, 2006) qui proviennent de la réduction du quartz de grande pureté dans les fours à arc électrique employés pour la production de silicium et d'alliages de ferrosilicium à 2000 °C. Les gaz alors dégagés s'oxydent et se condensent à faible température en produisant la fumée de silice. La densité apparente de la fumée de silice varie entre 130 et 430 kg/m<sup>3</sup> (Silica Fume Association, 2005). [11]

###### **c) La cendre volante :**

Notées V : elles sont les produits pulvérulents de grandes finesses, provenant du dépoussiérage des gaz de combustion des centrales thermiques. Elles ont des propriétés essentiellement pouzzolaniques (essentiellement  $xAl_2O_3 \cdot ySiO_2$  métastable).

La norme distingue les cendres volantes siliceuses (V) et les cendres volantes calciques (W). Il s'agit de matières pulvérulentes de grande finesse ( $0 + 315 \mu\text{m}$ , dont  $50 \% < 40 \mu\text{m}$ ) qui résultent de la combustion des combustibles minéraux solides (houilles, lignites, ...) dans les centrales thermiques. Elles sont des matériaux à caractère pouzzolaniques, ajoutées au clinker au moment du broyage à des teneurs variables (5 – 30 %). [11]

**d) Le métakaolin :**

Le métakaolin est une matière pouzzolanique produite à partir d'une argile blanche appelée le kaolin. Ce dernier est extrait depuis la mine, ensuite il subit un traitement pour le rendre pur. Le kaolin traité est utilisé comme matière première dans les industries de la céramique sanitaire, des carreaux mural et de sol, de la vaisselle, des réfractaires, des matériaux ignifuges, du caoutchouc, des peintures, des papiers et colles. Le kaolin est aussi utilisé dans le domaine de la médecine et plus précisément la médecine dentaire comme pâte dentifrice. Il est considéré comme une argile très fine dont la taille de ses particules peut varier entre 0,2 et 15  $\mu\text{m}$ , alors que sa surface spécifique est de l'ordre de 10000 à 29000  $\text{cm}^2/\text{g}$ . [12]

**e) Le laitier des hauts fourneaux :**

Les Laitiers de haut-fourneaux, sont des matériaux majoritairement vitreux, sous-produits de l'élaboration de la fonte résultant de la réduction des minerais de fer.

C'est un résidu minéral issu de la fabrication de la fonte dans les hauts fourneaux, après refroidissement, à partir du minerai et du coke métallurgique. Le produit qui est sorti à une température de 1500 °C est figé par refroidissement brusque en donnant un matériau granulé qui sera ajouté au clinker pour être moulu avec lui. Ce sous-produit est chimiquement composé de 40 à 50 % de l'oxyde de calcium, 25 à 35 % de la silice, 12 à 30 % d'alumine, de 10 % de la magnésie et de faible quantité de manganèse et d'autres oxydes. Le laitier est un véritable ciment, possédant des propriétés hydrauliques qui sont affectées davantage en présence de clinker. Le laitier retient moins d'eau que le portland, mais il est plus sensible à la dessiccation, son hydratation est moins rapide, notamment au premier temps, donc dégage moins de chaleur, il est plus résistant à la dissolution de la chaux par les eaux pures ou les eaux contenant du gaz carbonique et à l'effet des sulfates, mais plus sensible aux variations de la température. [11]

**1.4.4.2 Addition inertes ou quasi-inertes :****a) La poudre de calcaire**

Les fillers calcaires sont des produits obtenus par broyage fin de roches naturelles (Calcaires, basalte, bentonite, etc.). Présentant une teneur en carbonate de calcium  $\text{CaCO}_3$  Supérieure à 75%. Ces produits désignés dans le commerce comme fillers sont des poudres fines

à granulométries contrôlées et dont les plus gros grains ne dépassent pas 80 micron. Les fillers se différencient les uns des autres par :

- leur origine, leurs compositions chimiques et minéralogiques,
- leurs défauts de structure, les impuretés qu'ils contiennent.
- leur finesse, la forme des grains, leur état de surface.

-leur dureté, leur porosité. Un filler est dit calcaire s'il contient au moins 90% de carbonate de calcium. Dans les autres cas, le filler est désigné par le nom de sa roche d'origine. [13]

#### **b) La poudre de marbre :**

La poudre de marbre (PM) est un déchet résultant des opérations de sciage, façonnage et lustration de la pierre de marbre. Cette pierre naturelle d'origine calcaire met des années pour sa formation. Elle est caractérisée par sa beauté, sa grande variété et son aspect lisse et brillant qui font d'elle l'une des roches les plus nobles que puisse exister. Chaque marbre a son originalité de par sa composition et de part de ses couleurs. Le marbre est couramment utilisé pour fabriquer des objets esthétiques aussi bien pour les maisons (revêtements muraux, des dallages, éléments sanitaires), les jardins publics que pour l'aménagement des voies.

Lorsque la pierre de marbre est transportée de la carrière de marbrier vers l'usine, elle est découpée en de petites pierres dépendant des dimensions recherchées. Ces petites pierres sont ensuite façonnées et lustrées de telle manière à obtenir la taille et l'aspect souhaités. Pendant ces opérations une quantité importante de marbre qui représente presque 20% à 30% de la matière première est perdue et souvent rejetée dans la nature.[12]

#### **I.4.5 Les fibres :**

Les fibres sont définies comme des éléments discontinus, de nature variable, des formes sensiblement cylindriques, d'un diamètre et longueur variable. Elles sont réparties dans la matrice soit d'une façon aléatoire ou orientation préférentielle. Généralement les fibres sont aussi utilisées pour définir le constituant élémentaire des structures textiles.

Par ailleurs, on distingue la fibre de longueur réduite ou fibre courte, de 20 à 150 mm, et la fibre de grande longueur ou filament continu.

Il existe un grand nombre de fibres qui se différencient par :

- ❖ leur dimension (macro ou micro - fibre) et aussi par
- ❖ leur forme (droite, ondulée, aiguille, ...etc.),
- ❖ leur origine (naturelle, artificielle et synthétique),

Cependant, pour faire un choix de fibres à utiliser pour des applications, il est nécessaire de tenir compte de la compatibilité de la fibre avec la matrice, et la mode de performance du composite [14].

**I.4.5.1 Leur dimension :****- Les macro-fibres : ( $\varphi = 300 \div 1000$ )  $\mu\text{m}$** 

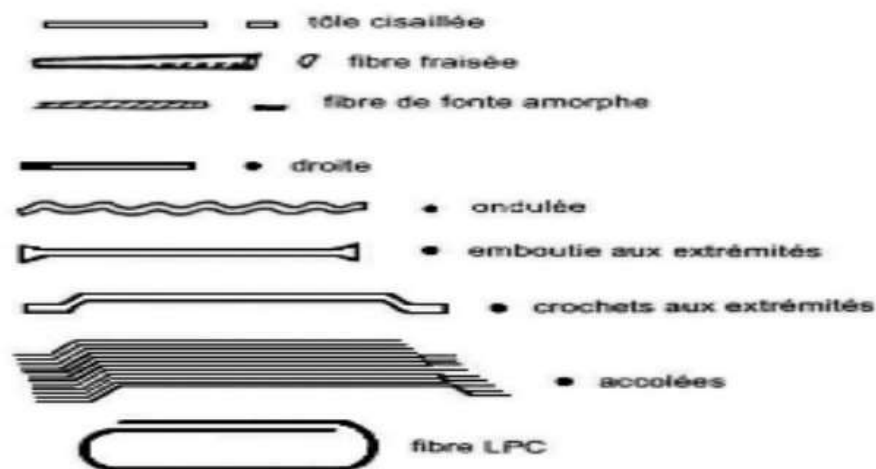
Leur dosage est limité à 2 ou 3% pour des raisons de maniabilité. Leur nombre ne leur permet pas d'intervenir efficacement sur le comportement du matériau. Elles confèrent au béton une ductilité et une résistance améliorées dans le stade de fissuration.

**- Les micros fibres : ( $\varphi = 150 \div 300$ )  $\mu\text{m}$** 

Leur grande surface spécifique, leur nombre et la qualité de leur liaison avec la matrice permettent d'augmenter la résistance à la propagation des microfissures.

**- Les méso-fibres : ( $\varphi \leq 150$   $\mu\text{m}$ )**

Le grand dosage utilisé ( $> 5\%$ ) leur permet d'intervenir avant le début de la fissuration (pic de la contrainte) par la limitation de la coalescence des microfissures lorsque les microfibrilles deviennent inefficaces. Les méso-fibres ont un faible élanement, et elles agissent essentiellement comme élément de couture des macro-fissures sur une courte plage d'ouverture de ces dernières. [14]

**I.4.5.2 Leur forme :**

**Figure. I. 4.** Différentes formes de fibre [15]

I.4.5.3 Leur origine :

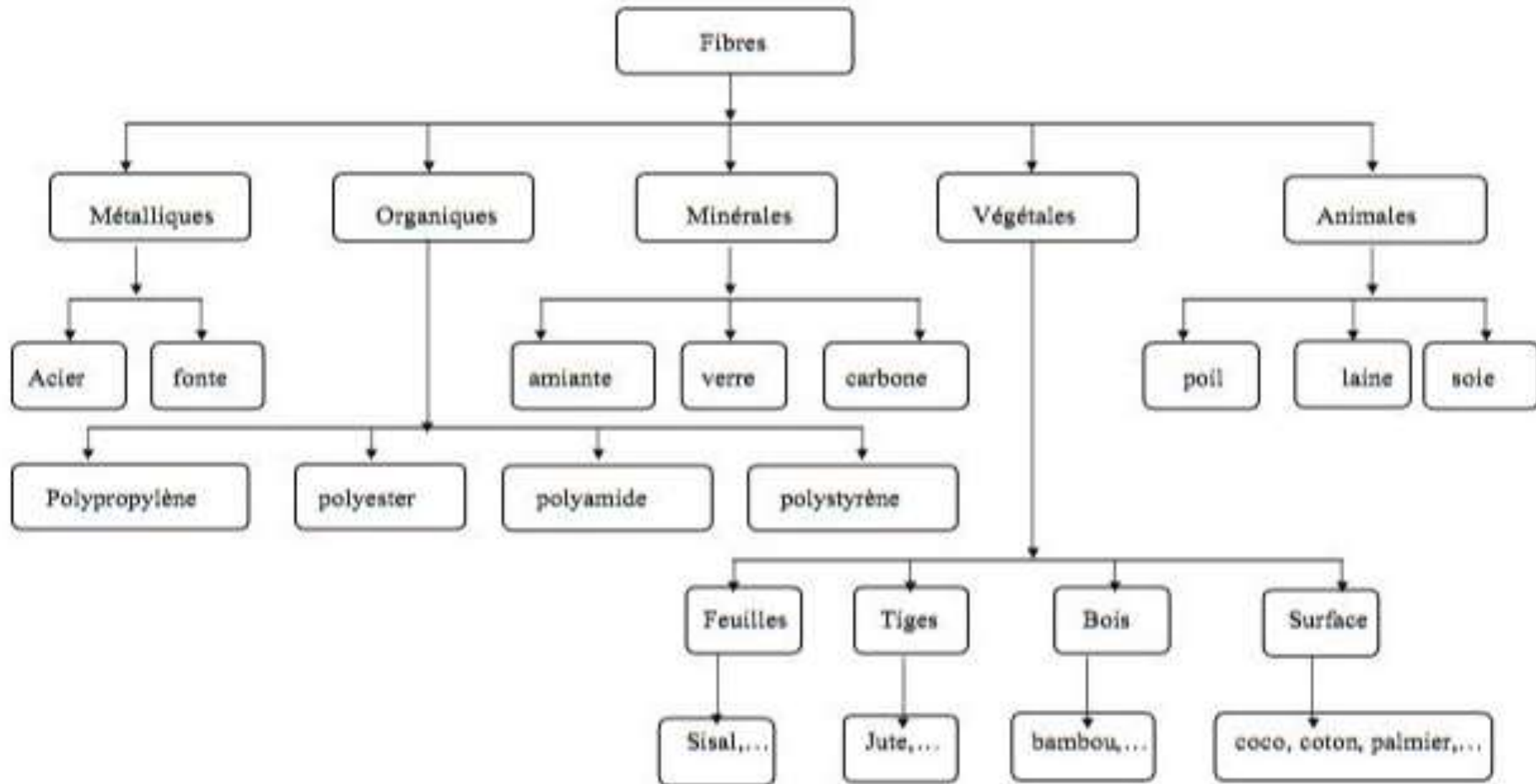


Figure I.5. Type de fibres utilisées pour renforcer les composites.

#### I.4.5.4 Caractéristiques des fibres :

Les fibres sont caractérisées par des propriétés physiques ; chimiques ; mécaniques

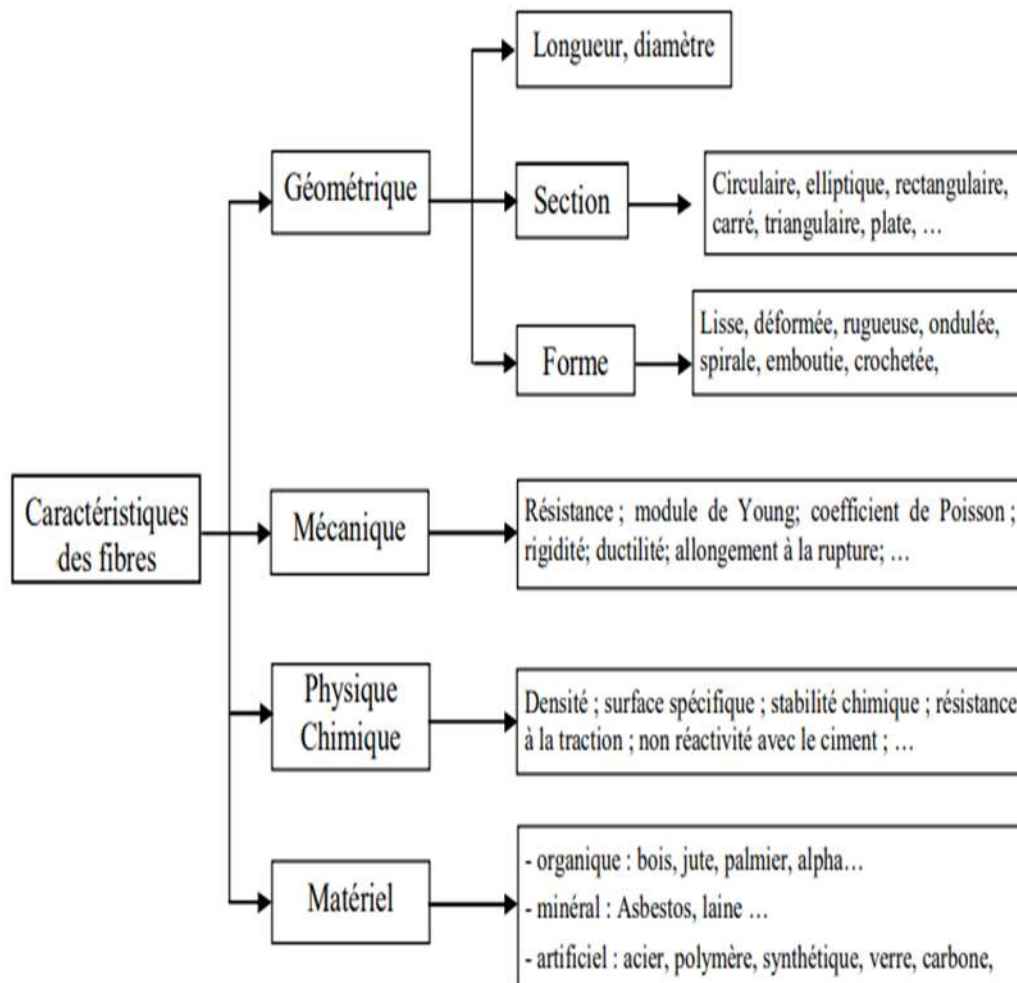


Figure I.6. Propriétés physiques et mécaniques de certaines fibres [16]

#### I.4.5.5 Types des fibres :

##### a- Les fibres métalliques :

La domination de ces fibres pour le renforcement des mortiers et des bétons vient du fait que l'acier a une bonne compatibilité avec le béton. De plus, le module d'élasticité de l'acier qui est environ sept fois plus élevé que celui du béton permet d'améliorer la ductilité du béton en mobilisant des efforts de traction dans ces fibres dès la fissuration. Ces fibres trouvent beaucoup d'applications réelles et potentielles dans le domaine du génie civil. Elles présentent une très bonne compatibilité avec le béton, certaines fibres sont inoxydables ou traitées contre la corrosion, en vue de certains usages particuliers

Il existe de nombreuses variétés de fibres métalliques qui se distinguent par leur diamètre, leur section (ronde, carrée), leur limite élastique, leur longueur.[15]

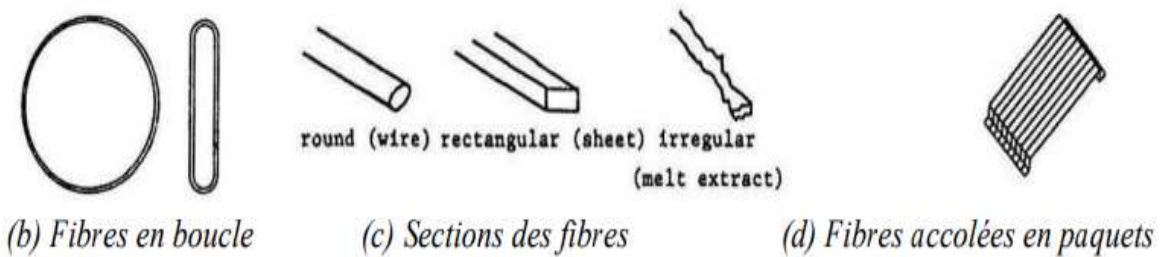
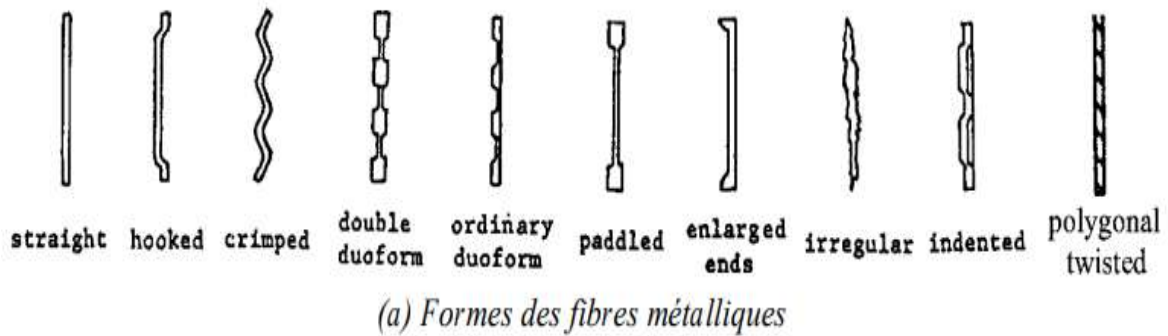


Figure I.7. Différents types de fibres métalliques [15]

Tableau 1.1. Caractéristiques des fibres couramment utilisées [16]

Type de fibre	Forme/ géométrie	Matière constituante	$R_t$ X10 <sup>2</sup> [MPa]	E X10 <sup>5</sup> [MPa]	L [mm]	l [mm]	D [mm]	e [mm]
Bekaert Dramix ZC50/50		Fil d'acier étiré à froid	11	2	50	.....	0,5	.....
Eurosteel 50/80 60/100		Acier tréfilé à moins de 0.15% C	14	2	50 60		0,8 à 1	....
Twincon E à 2 têtes		Acier tréfilé	12	2	54	.....	1	.....
Pont à Mousson		Fonte amorphe à 5% de Cr	20	1,4	60	1,5 à 2	.....	0,03
Harex		Obtenues par le fraisage de blocs d'acier.	7	2	32	2	.....	0,25



**Figure I. 8.** Différentes forme de fibres métallique [9].

### **b-Fibres de polypropylène :**

Les fibres de polypropylène sont fabriquées depuis 1954 par l'industrie textile. Le polypropylène est un polymère cristallisable de la famille des polyoléfinés des produits chimiques. Il a connu une extension croissante dans ce domaine où il apporte les avantages suivants : déformabilité élevée, imputrescibilité et bonne résistance en traction qui peut atteindre 800 MPa. Ces fibres sont utilisées dans les bâtiments pour l'élaboration de revêtement de façades dans plusieurs constructions (Londonderry House Hôtel), ainsi que l'élaboration de panneaux décoratifs de 33cm d'épaisseur et aussi dans la réalisation des canalisations et des pieux

Les fibres de polypropylène sont en général assez longues (30 à 60 mm), légères et ne sont pas attaquées par le ciment. Leur module d'élasticité plus faible que la pâte durcie. Il convient de les utiliser de préférence pour les pièces minces devant résister, soit à l'action corrosive de certaines ambiances dans lesquelles l'acier pourrait se corroder rapidement, soit aux chocs mécaniques [13]



**Figure I. 9.**fibres de polypropylène [10]

Si leurs caractéristiques mécaniques ont des valeurs plus faibles que celles des fibres métalliques, il faut cependant mentionner leur insensibilité chimique, leur souplesse, qui rend aisée leur incorporation au béton et leur allongement à la rupture (15 à 20 %), qui favorise la «

ductilité » du béton. Comme la plupart des matières plastiques, les fibres de polypropylène sont peu résistantes au feu : leur température de fusion est d'environ 160 C mais leur fusion n'affecte pas la résistance du béton

### c- Les Fibres Végétales :

L'utilisation des fibres naturelles d'origine végétales dans la construction remonte aux années où l'on fabriquait des briques renforcées par la paille ou des roseaux. Dans le temps moderne (depuis l'année 1970), le premier composite liant avec les fibres végétales était le plâtre. De ce fait, plusieurs ouvrages sont réalisés avec le plâtre renforcé de fibres végétales [18]

#### c-1-Classification des fibres végétales :

Nous pouvons subdiviser les fibres végétales en 5 groupes selon leur origine. Les fibres provenant des poils séminaux de graines : coton, kapok : Le kapok ou capok est une fibre cellulosique naturelle. Il est obtenu à partir des poils de graines de kapokiers (*Ceiba pentandra*). Kapok est aussi appelé coton de soie ou coton java. Il est lisse, léger, unicellulaire, de forme cylindrique, à corps creux et très flottant, et tord moins de fibres. Mais ça tombe vite en panne. Les fibres de kapok ne conviennent pas à elles seules à la filature. La cause est très lisse, glissante et cassante. Par conséquent, la fibre est difficile à filer en fils.).

- ❖ Les fibres libériennes extraites de liber de plantes (lin, chanvre, jute, ramie).
- ❖ Les fibres extraites de feuilles (sisal, abaca).
- ❖ D'enveloppes de fruits (noix de coco).
- ❖ Les fibres dures extraites des tiges de plantes. [17]

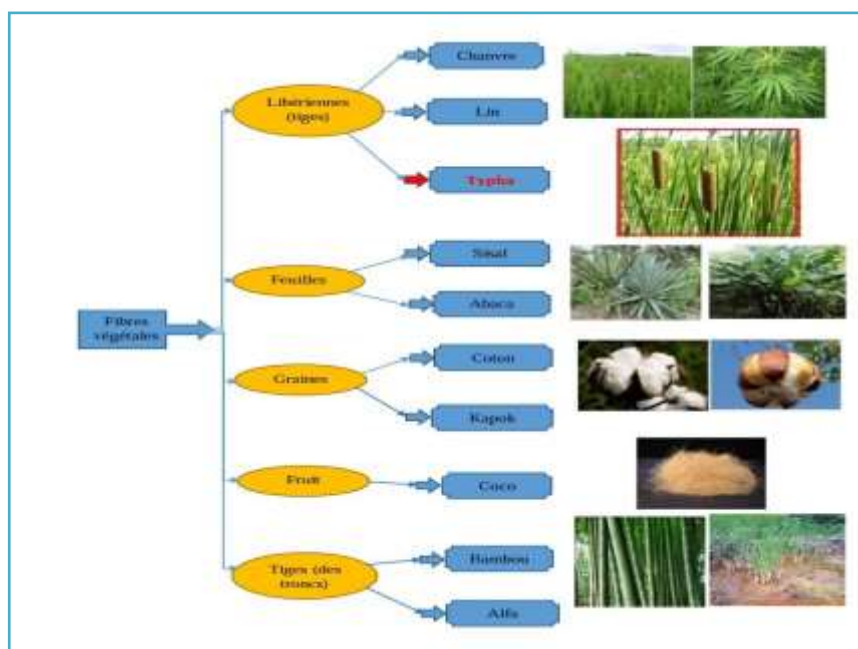


Figure. I.10. Classification des fibres végétales. [17]

**c-1-A. Les Fibres de Feuilles :**

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

Les types de fibres de feuilles les plus cultivées sont la fibre de sisal, de Henequen et d'abaca De ces fait, plusieurs chercheurs tel que : NILSSON ; AYYAR et al ont montré l'efficacité du renforcement du ciment par les fibres de feuilles.[]

**c-1-B. Les Fibres de Tiges**

Les fibres de tige sont obtenues dans les tiges des plantes dicotylédones.

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

**c-1-C. Les Fibres de Bois**

Les fibres de bois proviennent du broyage des arbres tels que les bambous ou les roseaux. Elles sont généralement courtes. Plusieurs chercheurs ont montré l'efficacité de ces fibres dans le renforcement des ciments.

**c-1-D- Fibre de sisal :**

Le sisal (*Agave sisalana*) est une plante de la famille des agacée, originaire de la ville de Sisal située dans de la péninsule du Yucatán au sud-est du Mexique. la plante est caractérisée par des feuilles qui peuvent dépasser un mètre de longueur composée de fibres longues et très fortes. la récolte est effectuée à la main (figure I.11)[19].

La fibre de sisal (*Agave sisal ana*) est l'un des plus utilisés dans les fibres naturelles et elle est très facile à cultiver. Près de 4,5 millions de tonnes de fibres de sisal sont produites chaque année dans le monde. La Tanzanie et le Brésil sont les deux principaux pays producteurs[19].

Une plante de sisal produit environ 200-250 feuilles et chaque feuille contient  $1000 \pm 1200$  fibres faisceaux qui sont composés de 4% fibre, 0,75% cuticule, 8% matière sèche et 87,25% eau, donc une feuille pesant environ 600 g donnera environ 3% en poids de fibre, avec chaque feuille contenant environ 1000 fibres [19].



**Figure I.11.** Processus principales de production des fibres de sisal. [18].

**Tableau I.2.** Propriétés des fibres de sisal. [20].

Diamètre	0,10-0,13 mm
Résistance à la traction	371±28 MPa
Module d'élasticité	12.43±2.23 GPa
Forme	Droite
Couleur	Blanche crème
Masse volumique	0.113 g/cm <sup>3</sup>

Tab I.3. Propriétés mécaniques des fibres. [21]

Matériel	Densité	Résistance à la traction (MPa)	Module d'élasticité (GPa)	Elongation à la rupture (%)
Acier	7.8	1000 - 3500	200	3 - 4
Verre	2.6	2000 - 4000	70 - 80	2 - 3.5
Asbestos	3.4	3500	196	2-3
Carbone	1.8	Jusqu'à 4500	100 à 300	0.5
Kevlar	1.5	3500 - 3600	65 - 133	2.1 - 4
Polypropylène	0.9	300 - 500	5 - 5	20
Palmier	0.5	72	3	-
Sisal	1.5	300 - 600	13 - 26	3
Bois	1.5	900	71	-
Nylon	1.1	900	2 - 4	13 - 15
Cotton	1.5	400 - 700	4.8	3 - 10

**I.4.6 Utilisation des Fibres dans la Construction :****Tableau 1.4:** Application des divers renforcements de fibres dans les produits à base de ciment [15]

Type de fibre	Application
Verre	Panneaux préfabriqués, murs, rideaux, tuyaux d'égout, toiture en voile Mince, enduit
Acier	Elément de toitures en béton cellulaire, linteau, revêtement de chaussée, tabliers de pont, produit réfractaire, tuyaux en béton, piste d'atterrissage, réservoirs sous pression, travaux de restauration bâtiment
Polypropylène nylon	Pieux de fondation, pieux précontraints, panneaux de revêtement, élément flottant de débarquement et amarres pour les marinas, réparation des routes, tuyau sous-marin, travaux de restauration bâtiments
Amiante	Voiles, tuyau, panneaux matériaux d'isolation thermique, tuyaux d'égouts plaques de toitures plates et ondulées, revêtement des murs
Carbone	Elément ondulé pour la construction des planchers, membrane simple ou double courbure, coques, plancher d'échafaudage.
Particules de mica	Panneaux, tuyaux, travaux de restauration
Végétale	Dalles, tuiles

**I.5 Caractéristiques du mortier hydraulique :**

Le mortier à l'état durci possède un certain nombre de propriétés physico-mécaniques (Résistances mécaniques, retrait, module d'élasticité, ..... ) d'importance majeure. Ces propriétés physico-mécaniques dépendent fortement de sa composition et des propriétés physico-chimiques de ses composants. Or plusieurs chercheurs ont pris ce point en considération, ils ont montré les effets de chaque constituant sur les performances du mortier, en particulier les performances mécaniques.

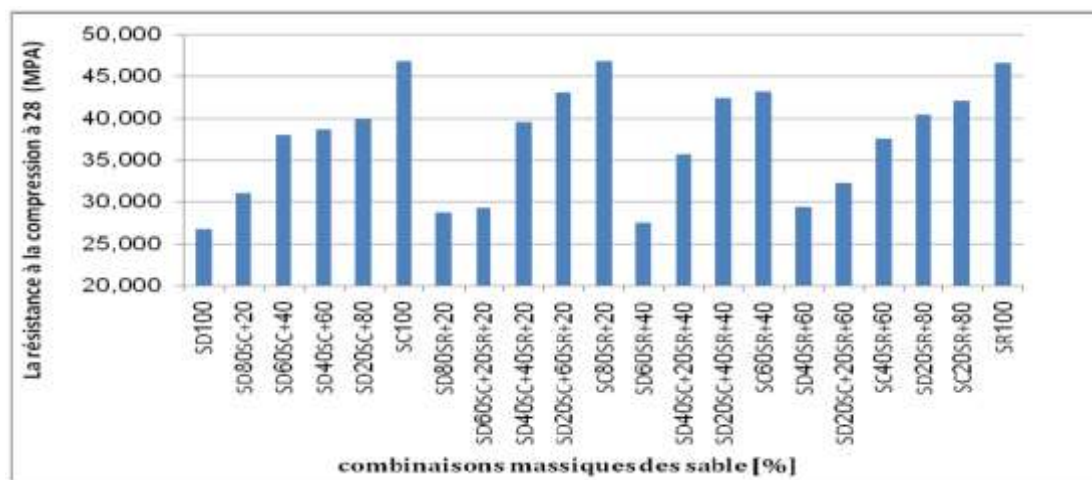
On va citer par la suite quelques travaux jugés intéressants.

### I.5.1 Effet de type de sable :

Le sable est un élément essentiel pour le mortier, il occupe un volume important dans le MAP. La nature et les propriétés du sable influent certainement sur les propriétés physico-mécaniques du MAP

### I.5.2 Résistance à la compression :

Brahim NÉCIRA [9] à étudier l'influence de différents types de sables (sable alluvionnaire, sable calcaire et sable de dune) sur les propriétés de la pâte et du mortier autoplaçant. Les résultats trouvés montrent que la combinaison granulaire de 60%SA + 40%SC donne la meilleure compacité, puis celle de 80%SA + 20%SD et 80%SA + 20%SC. D'autre part, les résultats de l'effet de type de sable sur la résistance après 28 jours présenté dans la figure I.4 montre que le mortier à base de mélange 80%SC + 20%SA présente une résistance à la compression maximale de l'ordre de 47 MPa comparativement aux autres mélanges.



**Figure I.12:** Effet des types de sables sur la résistance à 28 jours des MAP. [9]

M.F. Lakhdari, et al [1] ont rapporté que le mortier à base de mélange (60% sable dunaire, 40% sable alluvionnaire) MSDA4 présente une amélioration de 20 % de la résistance à la compression par rapport au mortier de sable dunaire MS.

Une étude expérimentale a été réalisée par Bouziani Tayeb et al pour étudier l'effet d'addition de sable dunaire de différentes proportions massique (0, 10, 20 et 30) % au sable alluvionnaire. Les résultats trouvés montrent que pour une fraction de 10% de sable dunaire, une amélioration de la maniabilité, ainsi que de la résistance à la compression à 28 jours été remarqué[22]

Yamina.B et al [23] ont montré que l'ajout de 40% à 50% de sable concassé au sable de dune a donné lieu à une augmentation de la résistance mécanique du mortier et du béton.

Douara Taha-Hocine et al ont conclure que la substitution partielle de SA par SC et SD ne doit pas dépasser 20% et 10%respectivement avec la nécessité de corriger la quantité d'eau de gâchage et/ou la quantité du super plastifiant afin d'obtenir un MAP.[24]

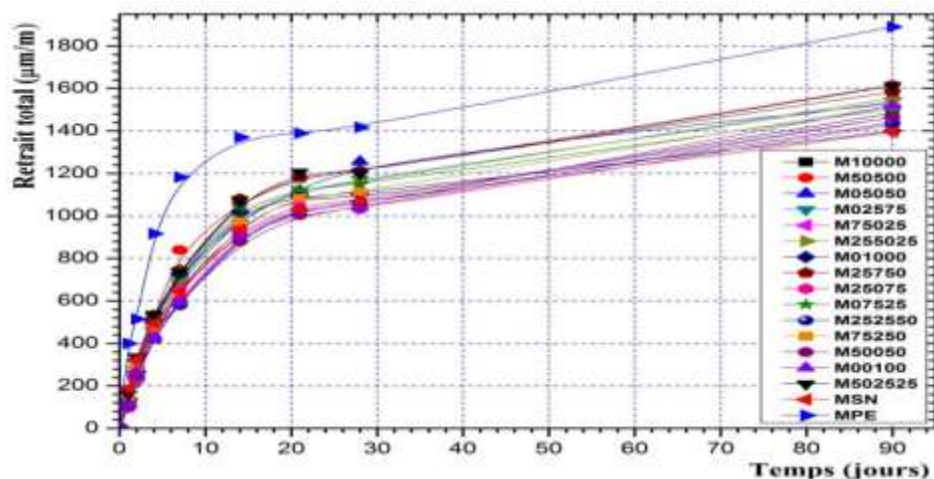
B.Benabed et al ont trouvé que le mortier du sable binaire (alluvionnaire- dunaire 10%) présente les meilleures performances mécaniques, que celles des mortiers du sable dunaire avec super plastifiant et sans super plastifiant. Ils ont noté que la résistance à la compression à 28 est de l'ordre 37 MPa. .[25]

### **I.5.3 Le retrait total :**

Grassl et al mènent une étude sur l'effet de la taille et du volume des agrégats sur la microfissuration induite par le retrait. Les résultats trouvés, montrent que l'augmentation du diamètre des agrégats (à fraction de volumique égal) et fraction de volumique décroissante (à diamètre d'agrégat égal), augmente le taux de fissuration due au retrait. [26]

Dans une étude expérimentale menée par Zhang et al pour clarifier l'effet de diverses caractéristiques d'agrégats sur le retrait au séchage du mortier et du béton. Les résultats trouvés montrent que les caractéristiques des agrégats fins et grossiers jouent un rôle important dans le contrôle de du retrait de séchage. Le sable calcaire et le sable de laitier de haut fourneau peuvent limiter le retrait au séchage du mortier d'environ 22% et 30%, respectivement, par rapport au cas du mortier à base du sable standard. [27]

Merdjani et Bouakkaz mettent une étude de l'influence du mélange de trois sables (sable alluvionnaire SA, sable calcaire SC et sable de dune SD) et de pourcentage de chaque type de sable sur le retrait. la majorité du retrait (~70 %) des mortiers confectionnés s'effectue à jeune âge (les deux premières semaines). En outre, l'évolution du retrait en fonction de l'âge semble montrer la même allure pour tous les mortiers confectionnés. A 28 jours, les mortiers M25075, M252550, M50050 et M00100 présentent un retrait relativement faible de l'ordre de 1030  $\mu\text{m}/\text{m}$ . ce qui est environ 2,3 ; 3,3 et 27% inférieur à celui des mortiers M10000, MSN et MPE. Cela peut être dû à la correction granulométrique du sable qui conduit à une amélioration la compacité de la matrice et par conséquent à une diminution la porosité. Nous constatons aussi que le mortier à base du sable dunaire-calcaire M05050 a affiché une valeur du retrait de l'ordre de 1257  $\mu\text{m}/\text{m}$ , qui est supérieur à celui des mortiers M10000, MSN de 18,5% [1].



**Figure I.13:** Evolution du retrait en fonction de temps de différents types des mortiers. [1]

#### I.5.4 Module d'élasticité :

Le module d'élasticité (Module d'Young) représente l'une des caractéristiques mécaniques les plus importantes des matériaux de réparation (béton, béton armé, mortiers, composites, etc.). Cette propriété intrinsèque est considérée comme l'un des paramètres le plus important de la compatibilité dimensionnelle pour la réparation des éléments des structures en béton armé. Krobba a trouvé que l'optimisation du squelette granulaire du mortier à base de sable dunaire par le remplacement partiel du sable dunaire par un sable calcaire, pour la confection du mortier MDC, a engendré, une augmentation du module d'élasticité de 46% par rapport au mortier MD [28].

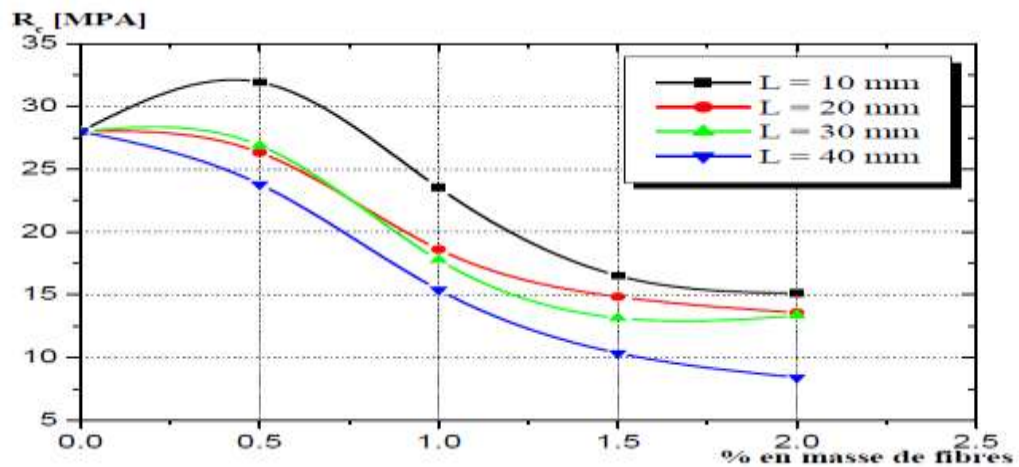
#### I.6 l'effet d'ajout des fibres :

L'étude de l'effet des fibres sur les propriétés physiques et le comportement mécanique des composites à base d'une matrice cimentaire renforcée a été l'objectif de nombreux travaux de recherche récents.

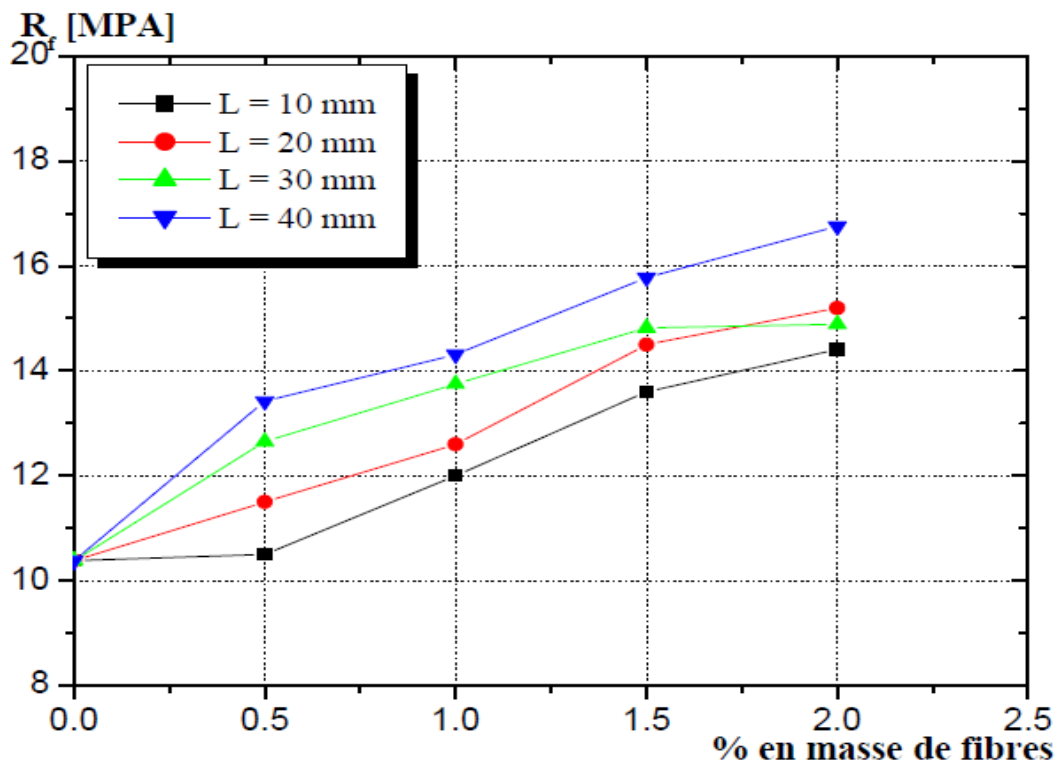
##### I.6.1 Fibres végétales :

Khenfer M [29] a étudié la variation de la résistance à la compression (figure I.14) et la résistance à la traction par flexion (figure.1.14) du béton en fonction de longueur et du pourcentage en masse de fibres de palmier dattier. Les résultats trouvés montrent qu'en générale, l'adjonction des fibres diminue cette résistance. Cette chute de résistance est d'autant plus importante que le pourcentage de fibres ajoutées augmente à l'exception des fibres de longueur  $L = 10\text{mm}$  où on constate une amélioration initiale de la résistance pour un faible pourcentage (0,50%) avant de diminuer pour des pourcentages plus élevés. De plus, l'augmentation de la longueur des fibres entraîne une diminution de la résistance.

Contrairement à la résistance à la compression, la résistance à la traction, figure I .14, augmente aussi bien avec le volume des fibres incorporées qu'avec la longueur de ces fibres. [29]



Figures I.14. Effet de l'ajout des fibres de palmier dattier sur la résistance à la compression du béton [29]



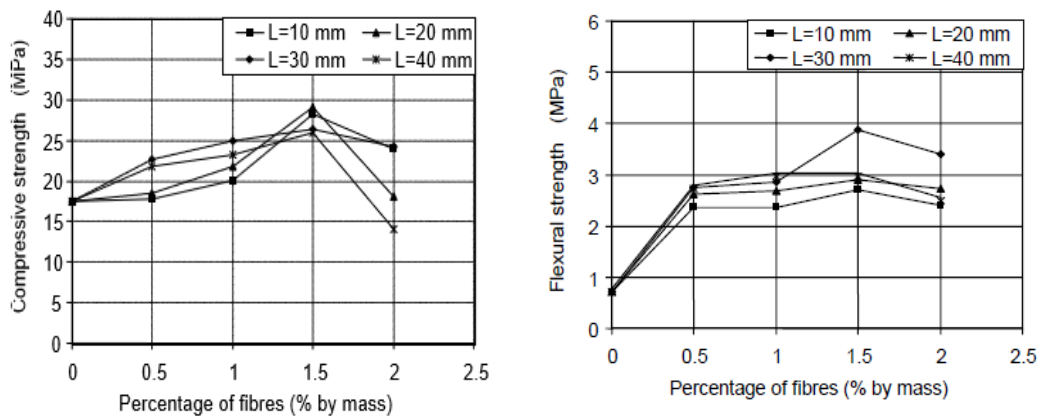
Figures I.15. Effet de l'ajout des fibres de palmier dattier sur la résistance à la flexion du béton. [29]

Kwan et al [30] mènent une étude sur le renforcement des bétons par des fibres de noix de coco. Ils ont été renforcés par des fibres selon quatre teneurs : 0,6 ; 1,2 ; 1,8 et 2,4% en volume du liant et une longueur variant entre 20 et 30 mm. Les essais mécaniques indiquent une

performance optimale pour une fraction volumique de 1.8% de fibre, avec une augmentation de la résistance à la flexion à 28 jours des bétons fibrés de 18% par rapport à celle du béton non fibré. Ils observent également une amélioration de la résistance au choc des composites renforcés par rapport au témoin.

A.Djoudi et al [29] mènent une étude de performance d'ajout de différents dosages massiques (0,5 ; 1 ; 1,5 et 2)% et longueurs (10, 20, 30 et 40) mm de fibres de palmier dattier sur le plâtre.

Les résultats montrent que la résistance à la compression et à la flexion augmente avec l'augmentation de dosage de fibre jusqu'à 1,5%, et se diminue à un pourcentage élevé de 2 % (figure I.16). Cette diminution est due à une mauvaise distribution et à un excès de dosage de fibre.



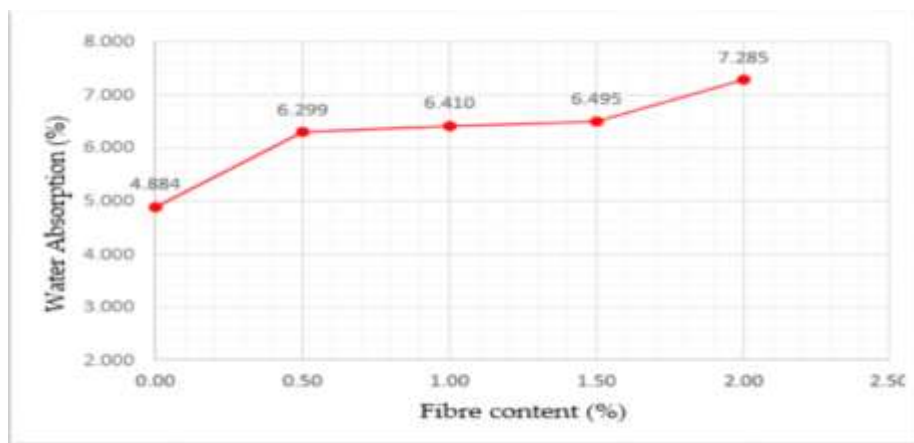
**Figure I.16.** Résistance à la compression et à la flexion du plâtre [29].

Ramli et al [31] ont étudiés l'effet d'incorporer des fibres courtes (fibre de coco, de bar chip et de verre) dans un béton à haute résistance, chaque type de fibre est ajouté par des volumes différents (0,6 ; 1,2 ; 1,8 ; et 2,4)%. Les essais mécaniques indiquent une augmentation de la résistance. La résistance à la compression a augmenté de 71,8-79 MPa en utilisant 1,8% de fibre de barchip, bien que la résistance à la flexion augmente de 5,21-6,5MPa.

Dawood et al ont examiné l'influence de l'ajout des fibres de palmier à huile sur le comportement mécanique des mortiers. La fibre de palmier d'une longueur de 3 cm et des fractions volumétriques 0,25 ; 0,5 ; 0,75 et 1,0% de la teneur en ciment ont été utilisés dans la préparation des mélanges de mortier fibrés. Les auteurs ont observé qu'il existe une teneur en fibre optimale. En effet, à 90 jours, les résistances à la compression et à la flexion des composites ont augmenté respectivement, de 12 et 21% par rapport au mortier témoin avec l'augmentation de la teneur en fibres jusqu'à la teneur de 0,5%. (Au-delà de cette teneur en

fibres, les résistances à la compression et à la flexion amorcent une diminution douce. Ils expliquent cette diminution par l'augmentation de la porosité due à l'accroissement de la teneur en fibres dans la masse du mortier. [32]

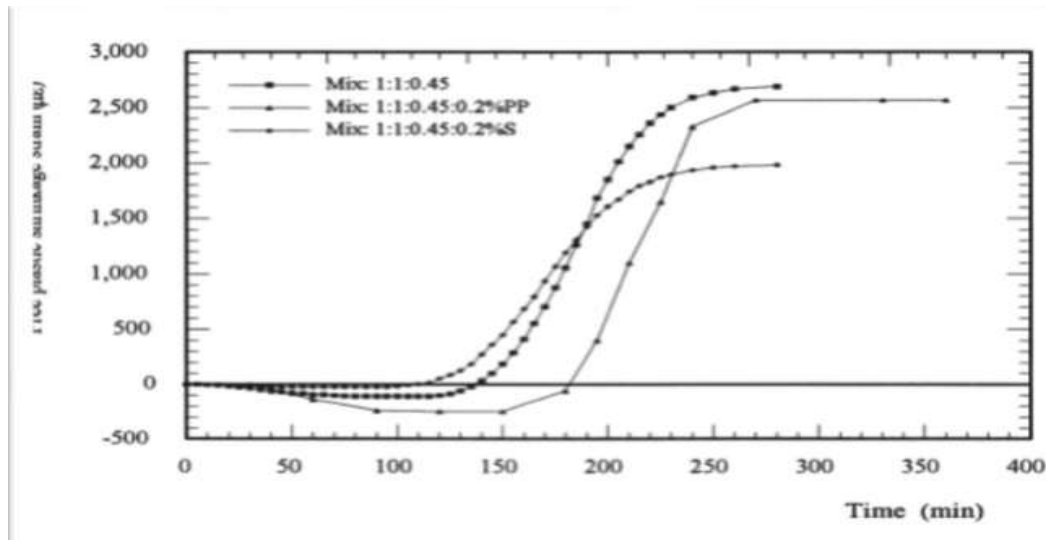
L'étude réalisée par A.Okeola et al, consiste à voir l'évolution des propriétés physiques et mécaniques du béton renforcé par des fibres de sisal. Ce qui correspond à l'ajout de 0,5 % ; 1,0 % ; 1,5 % et 2,0 % de fibre de sisal en poids de ciment, ils résultent que l'augmentation de la teneur en fibres est suivie d'une augmentation de l'absorption d'eau [33]



**Figure I.17.** Effet d'ajout des fibres sur l'absorption d'eau [33].

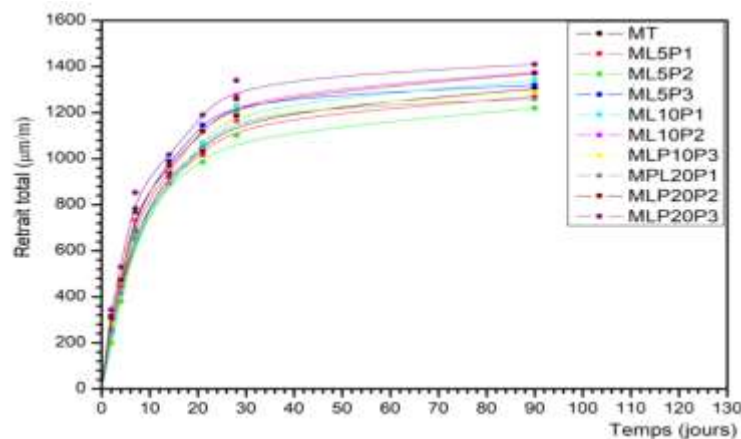
Le retrait du béton est souvent l'origine de la fissuration, d'une redistribution des contraintes, et même, plus rarement, de la ruine de l'ouvrage. Cette variation dimensionnelle dépend de plusieurs paramètres tels que la composition de mortier, la qualité de ses constituants, la taille des éléments ainsi que les conditions extérieures de conservation.

R.D. Tolêdo Filho et al ont examiné l'influence de l'ajout des fibres des fibres de sisal et de polypropylène de (0,1% et 0,2%) pour chaque type sur le retrait libre des mortiers à jeune âge. Les résultats trouvés montrent que l'ajout de 0,2% de fibres de sisal diminue le retrait plastique libre plus que l'ajout de 0,2% de fibres de polypropylènes.[34]



**Figure I.18.** Variation du retrait plastique du mortier renforcé par les fibres de sisal et de polypropylène [34]

Krobba et al mènent une étude sur l'effet d'ajout de différents dosages massiques des fibres de sisal (0,1 ; 0,2 ; et 0,3)% et longueurs (5, 10, et 20) mm sur le retrait (figure I.19). Les résultats trouvés montrent que la majorité du retrait ( $\cong 70\%$ ) des mortiers confectionnés s'effectue à jeune âge (les deux premières semaines). Ils observent aussi une diminution de retrait du mortier renforcé par 0,2 % des fibres de 5mm de longueur par rapport au mortier témoin à 28 jours. [28]



**Figure I.19.** Evolution de retrait total en fonction de temps.[28]

### 1.6.2- Fibre métallique :

P. Mahakavi a étudié l'effet d'incorporer des fibres métallique sans et avec crochets sur la résistance à la traction par flexion du mortier. Les résultats de l'essai de flexion indiquent une amélioration de la résistance à la traction par flexion de 53,52% pour les mortiers préparés avec des fibres métallique droites T1 et de 71,83% pour les mortiers contenant des fibres métallique avec un crochet à une extrémité T2.[35]

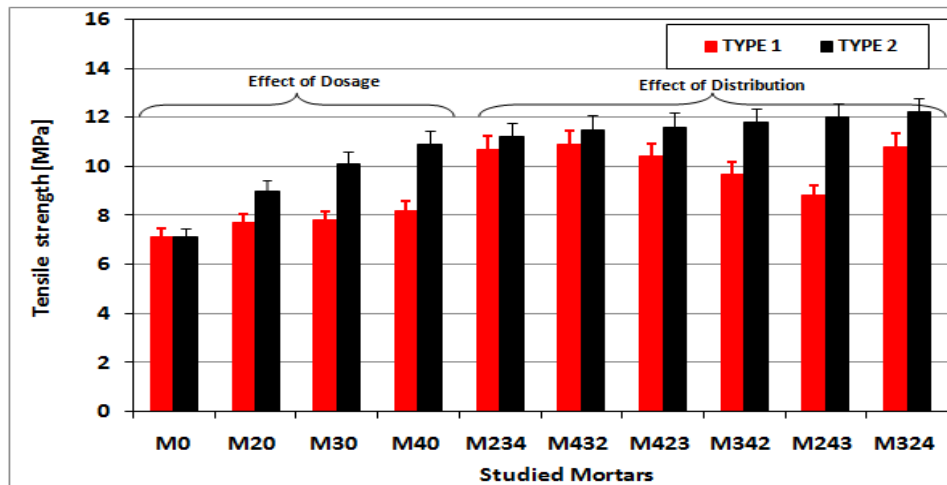


Figure I.20. Effet du type et de la répartition des fibres sur la résistance à la traction en flexion des mortiers [35].

Les résultats travaux de H. Suiffi, présentés dans la figure ci-dessous montrent que l'introduction des fibres métalliques permet d'améliorer d'une manière très significative la résistance à la flexion. L'augmentation notée lors de l'introduction de 2 % est estimée à 111,18 % et 144,18 % aux âges de 7 et 28 jours respectivement. L'introduction des fibres métalliques permet également d'améliorer les résistances en compression, de 15,56 % à 14 jours pour un taux de 2 % des fibres. [36]

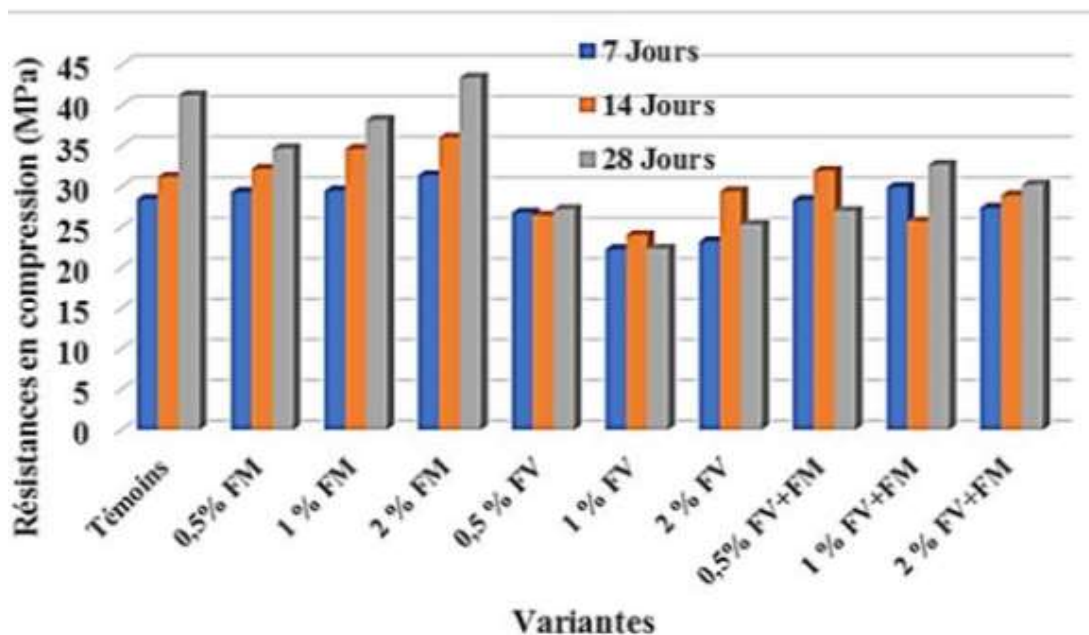
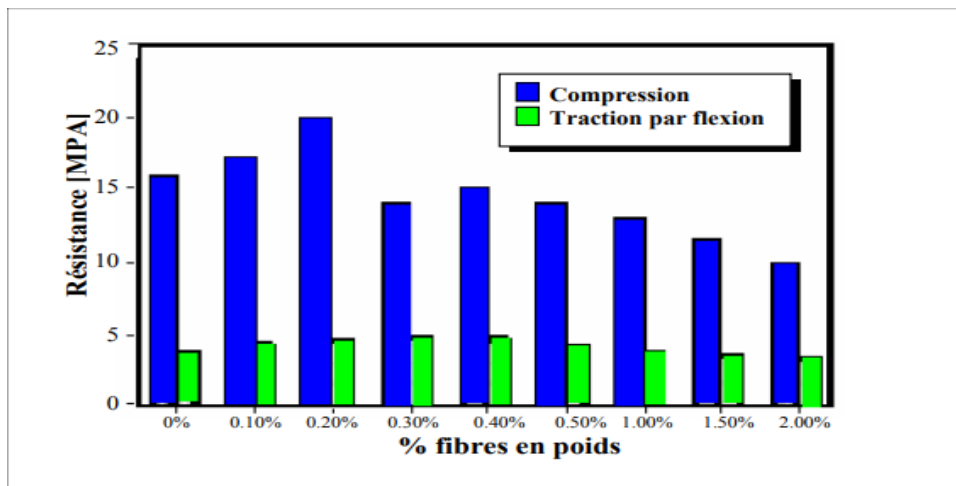


Figure I.21. Résistances en compression des différentes variantes étudiées en fonction du temps [36].

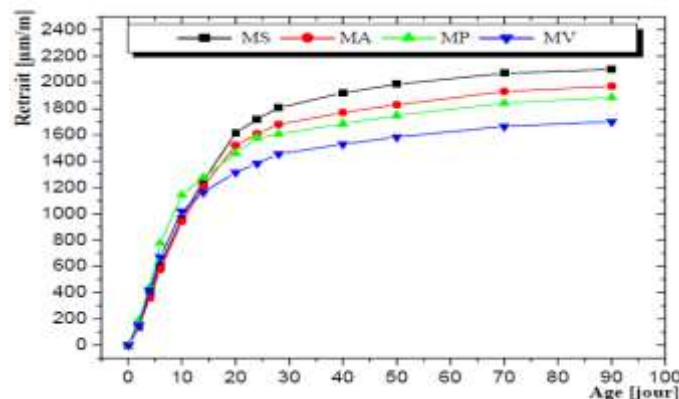
### 1.6.3.Fibre Polypropylène :

Il est reporté dans la littérature qu'un ajout de fibres de polypropylène avec les pourcentage (0%,0.1%, 0.2% ,0.3%, 0.4%,0.5%,1%,1.5%, 2%) est reporté dans la littérature qu'un ajout de fibres de polypropylène à des taux qui varient de 0,2 à 0,30% améliore la résistance en flexion et légèrement la résistance en compression .Cependant, au-delà de ces valeurs, l'ajout en fibres n'a aucun effet bénéfique sur les performances mécaniques du béton de sable. [16]



**Figures.I.22** Effet de l'ajout des fibres de polypropylène sur les résistances mécaniques du béton de sable [16]

L'étude de Krobb.B porte sur l'effet de l'incorporation des fibres végétales d'Alfa et synthétique de polypropylène sur le retrait total des composites MV et MP. D'après les résultats présentés dans la figure 1.23 l'auteur a observé que le retrait à 90 jours du mortier MV est 20% plus petit que celui du MS (témoin), pendant que celui du mortier MP est de 10,20 % plus petit que celui du MS. Ceci confirme que les microfibrilles végétales ont l'effet favorable le plus remarquable. [16]



**Figure I.23.**Variation du retrait en fonction du temps. [16]

## **Conclusion**

L'utilisation des fibres comme renfort dans les matériaux est largement applicable, vue l'amélioration des propriétés techniques de ses derniers notamment la résistance à la flexion, par leurs rôles de renforcement et la limitation du phénomène de propagation des fissures, et à maîtriser à savoir leurs effets sur le comportement leurs durabilités (le module d'élasticité, le retrait).

## *Chapitre II*

### *Matériaux Et Méthodes*

**II.1 Introduction :**

Dans ce chapitre nous allons exposer tous les essais de caractérisation effectués pour l'identification des matériaux utilisés dans notre étude (ciment, poudre de marbre, sable de dune, sable calcaire et fibres). Par la suite, les différents essais expérimentaux. A l'état frais la caractérisation est effectuée par des essais d'étalement au mini-cône, et à l'état durci des essais physico-mécaniques (auscultation sonore, résistance à la compression, résistance à la traction par flexion, retrait, absorption d'eau par capillarité)

**II.2 Matériaux utilisés :**

Dans ce travail nous allons utiliser deux types de sables (sable dunaire et sable calcaire), un ciment, un super plastifiant et trois types de fibres (synthétique, végétale de sisal, métallique).

**II.2.1 Sables :**

Nous avons utilisé deux types de sables : un sable de dune dénoté par SD et un sable calcaire dénoté par SC. Le sable de dune utilisé est un sable de dunes provenant de la région nord de la ville de Laghouat (Oasis Nord). C'est un sable fin d'origine éolienne.

Le sable calcaire est issu des résidus de la station de concassage des roches calcaires située au nord de la commune de Laghouat.

En vue de son utilisation dans la confection des mortiers et bétons, le sable doit être soumis à des essais de laboratoire tels que l'analyse granulométrique, l'essai de l'équivalent de sable.

**II.2.1.1 Caractéristiques physiques :****II.2.1.1.1 Essai d'analyse granulométrique : [NF EN P18-650]**

La granulométrie est la distribution par dimension des grains d'un granulat. L'analyse granulométrique est l'un des essais les plus indispensables effectués dans la composition du béton et mortier. C'est un essai qui est réalisé selon la norme NFP 18-431 et qui consiste à classer les granulats suivant leurs grosseurs. [37]

Les résultats d'analyse granulométrique des sables utilisés sont donnés dans les tableaux II.1 et II.2 et présentés dans les figures II.1 et II.2.

Tableau II.1. Résultats de l'analyse granulométrique du sable dunaire

Diamètre des tamis (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumulé (g)	Refus cumulé %	Tamisât %
1,25	0	0	0	100
0,63	16,91	16,91	3,382	96,618
0,315	147,06	163,97	32,794	67,206
0,16	202,31	366,28	73,256	26,744
0,08	108,39	474,67	94,934	5,066
fond	24,33	499	99,8	0,2

Tableau II.2 : Résultats de l'analyse granulométrique du sable calcaire

Diamètre des tamis (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumulé (g)	Refus cumulé %	Tamisât %
5	0	0	0	100
2,5	30,22	30,22	6,044	93,956
1,25	102,49	132,71	26,542	73,458
0,63	150,17	282,88	56,576	43,424
0,315	52,62	335,5	67,1	32,9
0,16	83,15	418,65	83,73	16,27
0,08	43,4	462,05	92,41	7,59
fond	28,75	490,8	98,16	1,84

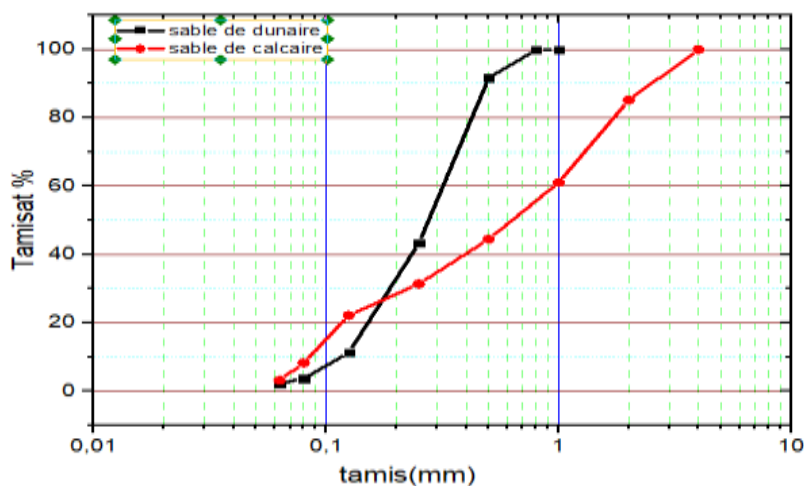


Figure II.1. Courbes granulométriques des deux types de sable.

D'après la figure de l'analyse granulométrique des deux sables, le sable de dune est défini comme étant un sable fin et d'une granulométrie serrée. Et le sable calcaire est un sable grossier et d'une granulométrie étalée.

#### II.2.1.1.2 Module de finesse : [NF EN P 18-30]

Le module de finesse MF est défini comme étant la somme des pourcentages ramenés à l'unité, des refus cumulés sur la série de tamis d'ouvertures suivantes : (0,16 – 0,315 – 0,63 -1,25 – 2,5 - 5).[37]

$$M_f = \frac{\sum \text{des refus cumulés (en \%)} \text{ les tamis (0.16 - 0.315 - 0.63 - 1.25 - 2.5 - 5)}}{100}$$

Sable Grossier :  $2,8 < MF < 3,2$

Sable Moyen :  $2,2 < MF < 2,8$

Sable fin :  $1,8 < MF < 2,2$  [37]

**Tableau II.3.** Modules de finesse des deux sables.

	sable dunaire	sable calcaire
Module de finesse $M_f$	1.09	2.39

La valeur du module de finesse confirme que le sable dunaire est un sable très fin. Et pour le sable calcaire est un sable préférentiel.

#### II.2.1.1.3 Le coefficient d'uniformité : $c_u$

Est donné par la relation suivante :

$$c_u = \frac{d_{60}}{d_{10}}$$

Avec :

$d_{60}$ : Diamètre correspondant à 60 % des passants

$d_{10}$ : Diamètre correspondant à 10 % des passants

**Tableau II.4.** Coefficient d'uniformité des deux sables.

	sable dunaire	Sable calcaire
$d_{60}$	0.25	1
$d_{10}$	0.125	0.08
$c_u$	3.125	12.5

II.2.1.1.4 Masse volumique

a. Masse volumique apparente [NF EN P 18-555] :

La masse volumique apparente  $\rho_{app}$  est la masse de l'unité de volume du matériau à l'état naturel ; par la formule suivante :

$$\rho_{app} = \frac{M1 - M0}{V0}$$

Avec :

**M1**: masse de l'échantillon+ récipient

**M0** : masse de récipient vide


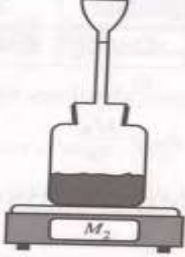
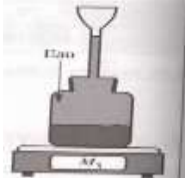
**V0** : Volume total de récipient m<sup>3</sup>

Tableau II.5. Masse volumique apparente.

	sable dunaire	sable calcaire
$\rho_{app}$ (kg/m <sup>3</sup> )	1529,30	1566,05

b. Masse spécifique (absolue): (Méthode du pycnomètre)

Il existe plusieurs méthodes pour déterminer la masse volumique absolue, dans ce projet nous utilisons la méthode du pycnomètre. Les étapes d'essai sont comme suit :

1	Remplir le pycnomètre de l'eau jusqu'au repère, puis peser le volume d'eau (M <sub>0</sub> ), à refus ou jusqu'au trait repère puis peser cet ensemble	M <sub>1</sub>	
2	Peser précisément une masse M de matière compatible avec les dimensions du pycnomètre.	M	
3	Remplir le pycnomètre à l'eau, chasser les bulles d'air puis compléter le volume avec de l'eau. En fin peser l'ensemble eau + matière (M <sub>2</sub> ).	M <sub>2</sub>	

$$\rho_{abs} = \rho_e \frac{M}{M1 + M - M2}$$

**Avec :**

$\rho_{abs}$ : Masse volumique d'eau

M1 : Volume d'eau (kg).

M : Masse du pycnomètre + sable

M2 : Masse d'eau + sable (kg).

**Tableau II.6 :** Masse volumique absolue.

	sable dunaire	sable calcaire
$\rho_{abs}$ (kg/m <sup>3</sup> )	2500,92	2672,86

### II.2.1.1.5 Compacité Cc :

La compacité (Cc) est le rapport du volume de la matière pleine au volume total.

$$c_c = \frac{\rho_{abs}}{\rho_{app}}$$

**Avec :**

Cc : Compacité (%).

$\rho_{app}$  : Masse volumique apparente (kg/m<sup>3</sup>).

$\rho_{abs}$ : Masse volumique absolue (kg/m<sup>3</sup>).

**Tableau II .7.**Compacité des sables.

	sable de dunaire	sable calcaire
$c_c$	0.61	0.58

### II.2.1.1.6 Coefficient d'absorption : (NFP18-555)

Le coefficient d'absorption est défini comme le rapport de l'augmentation de la masse de l'échantillon après imbibition dans l'eau à 20°C pendant 24 heures

$$Ab = \frac{Ma - Ms}{Ms} .100$$

**Avec :**

**Ms** : est la masse de l'échantillon séché à l'étuve à 105 °C jusqu'à masse constante ;

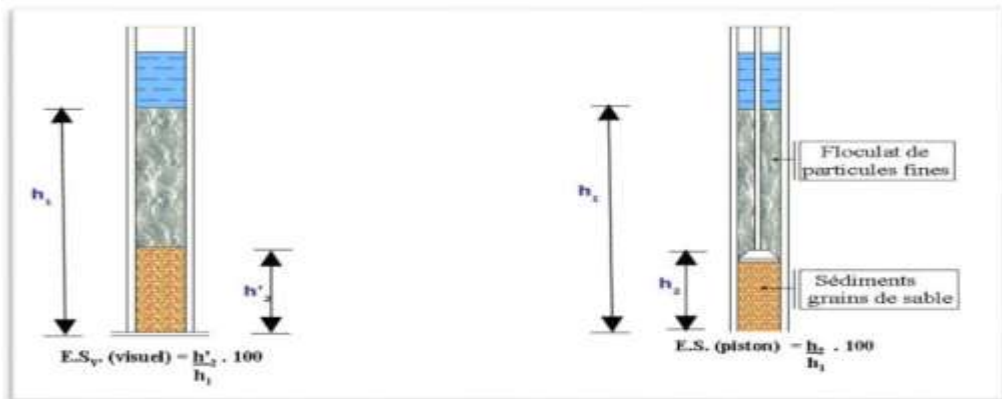
**Ma** : est la masse de l'échantillon après imbibition dans l'eau pendant 24h à T=20°C.

**Tableau II.8.** Coefficient d'absorption

	sable de dunaire	sable de calcaire
<b>Ab</b>	0.7	2.1

**II.2.1.1.6 Equivalent de sable [NF EN 18-598] :**

L'équivalent de sable (Es) indique les degrés de pollution des éléments d'un sol. Il permet de contrôler la propreté d'un sable et de déterminer le pourcentage des poussières nuisibles dans le matériau.



**Figure II.2.** Principe de l'essai d'équivalente de sable.

On déduit la valeur de l'équivalent de sable par l'équation suivante :

$$ES = \frac{h_1}{h_2} * 100$$

**Avec :**

Hauteur **h1** : sable propre + éléments fins,

Hauteur **h2** : sable propre seulement.

**Tableau II.9.** Equivalent de sable.

	sable dunaire	sable calcaire
H1 (cm)	12.5	12
H2 (cm)	9.5	9.2
ES (%)	<b>76</b>	<b>75.9</b>

**II.2.2 Ciment :**

Un seul type de ciment a été utilisé au cours de cette étude expérimentale. Le ciment utilisé est un ciment de type de CEM I 42.5 R (Beskria) provenant des usines de Biskra, confectionné et mis en sacs de 50 kg.

**II.2.2.1 Caractéristiques physiques du ciment :****II.2.2.1.1 Finesse de ciment :**

La finesse d'un ciment se caractérise par sa surface massique : c'est la surface totale des grains contenus dans une unité de masse exprimée en  $m^2 / kg$  de poudre ou ( $cm^2/g$ ). Elle est calculée en fonction du temps au moyen de l'appareil de Blaine ou « perméabilité de Blaine » selon la norme NF EN 196-6 [38]

**II.2.2.1.2 La surface spécifique :** c'est le temps que met un volume d'air que l'on fait passer à travers une poudre de ciment. Plus la surface spécifique de cette poudre est élevée et plus le temps mis par l'air

$$Sp = K \cdot \sqrt{t} \cdot \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\sqrt{e^3}}{1-e} \cdot \frac{1}{\sqrt{\eta}}$$

Avec

$Sp$  : Surface spécifique ( $cm^2/g$ )

$K$  : Constante de l'appareil.

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

$t$  : Temps mesuré en seconde.

$e$  : Porosité.

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

**II.2.2.1.3 Consistance normale :**

L'essai de consistance consiste à déterminer la quantité optimale d'eau de gâchage. La consistance est évaluée en mesurant l'enfoncement dans la pâte d'une tige cylindrique sous l'effet d'une charge constante, cette consistance mesurée est appelée « consistance Vicat » selon la norme NF EN 196-3[39]

**II.2.2.1.4 Temps de prise :**

L'essai consiste à suivre l'évolution de la consistance d'une pâte de consistance normalisée, l'appareil utilisé est l'appareil de Vicat. Il varie en fonction de la nature de ciment, de la finesse de mouture qui favorise l'hydratation et de la température qui influe sur la vitesse des réactions chimiques et accélère la prise. Il est mesuré suivant la norme NF EN 196-3. Le tableau II.10 présente les Caractéristiques physiques du ciment . [39]

**Tableau II.10** Caractéristiques physiques du ciment.

Caractéristiques	Masse volumique apparente ( $kg/m^3$ )	Masse volumique absolue ( $kg/m^3$ )	Surface spécifique ( $cm^2/g$ )	Consistance (%)	Début de prise (min)	Fin de prise (min)
Moyenne	1,40	3,04	4100	25,8-26,4	170-190	230-280

### II.2.2.2 Caractéristiques mécaniques du ciment

Les résultats de la résistance à la compression et la flexion du ciment sont présentés dans le tableau suivant :

**Tableau II.11.** Classe vraie du ciment.

Résistances (MPa)	28 jours
Compression	45,03±2,35
Flexion	8,08±0,4

### II.2.2.3 Composition chimique et propriétés physiques de ciment :

Nous utilisons le ciment mélangé avec une poudre de marbre noté par (MP). Leurs propriétés chimiques et physiques sont classées dans le tableau II.12

**Tableau II.12.** Composition chimique et propriétés physiques de ciment et MP.

Composition chimique (%)	Ciment	MP [22]
CaO	65.9	55.6
SiO <sub>2</sub>	21.9	0.6
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.8	0.4
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.5	0.2
MgO	1.6	0.1
K <sub>2</sub> O	0.5	-
SO <sub>3</sub>	0.48	-
CaCO <sub>3</sub>	-	90
Na <sub>2</sub> O	-	-
Cl	0.1	0.1
Perte au feu	1.2	43

Propriétés physiques		
Densité	3.1	2.7
Indice d'activité à 28 jours	-	0.79
Résistance à la compression à 28 jours (MPa)	44	-
Finesse (m <sup>2</sup> /kg)	279.2	212.6

### II.2.3. EAU :

L'eau de gâchage utilisée c'est l'eau potable (eau de robinet) du réseau publique de la ville de Laghouat.

### II.2.4.L'adjuvant :

Utilisé est un super plastifiant algérien MEDAFLOW30 conforme à la norme EN 9342: NA 774. C'est un super plastifiant haut réducteur d'eau de la troisième génération. Il est conçu à base de polycarboxylates d'Ether qui améliorent considérablement les propriétés des bétons. Selon la notice technique GRANITEX :

**Aspect :** liquide.

**Couleur :** Brun clair.

**Ph :** 6-6,6.

**Densité:** 1,07±0,01.

**Teneur en chlore :** <0,1g/l.

**Extrait sec :** 30%.

**Dosage :** 0.90±0.98 %.

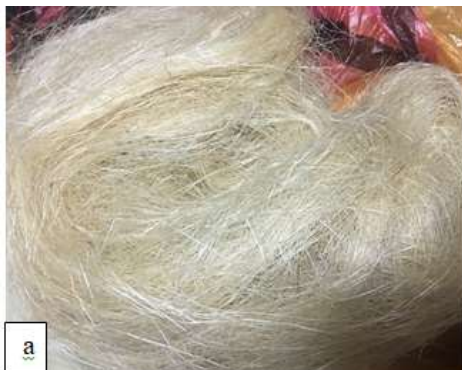
**Equivalent Oxyde de Sodium :** ≤ 1 %

### II.2.5 Les fibres :

Les fibres utilisées sont des :

#### II.2.5.1 les fibres végétales

Les fibres végétales de sisal disponible sur le marché. Les fibres sont découpées en morceaux à l'aide d'un massicot suivant de longueur 12 mm :



**Figure II.3.** Découpage des fibres de sisal.

L'essai de traction au niveau de laboratoire de mécanique à l'université de Laghouat à l'aide d'une presse de traction de 5KN de capacité comme le montre la figure II.8 a été effectués, les résultats trouvés nous a permis de déterminer la loi de comportement des fibres de sisal représenté par la figure II.4.



**Figure II.4.** Les fibres de sisal découpées.



**Figure II.5.** Presse de traction.

Les caractéristiques physiques des fibres utilisées sont présentées dans le tableau suivant :

**Tableau II.13.** Caractéristiques chimiques et physico-mécaniques des fibres utilisées.[2]

<b>Propriétés</b>	<b>Valeurs</b>
Densité	1,3
Taux d'absorption d'eau à l'état saturée (%)	143,78%
Résistance à la traction (MPa)	572,95
Module d'élasticité (GPa )	4,77
Déformation à la rupture (mm/mm)	0,191
Hémicellulose (%)	9,9

Cellulose (%)	65,8
Lignin (%)	9,91

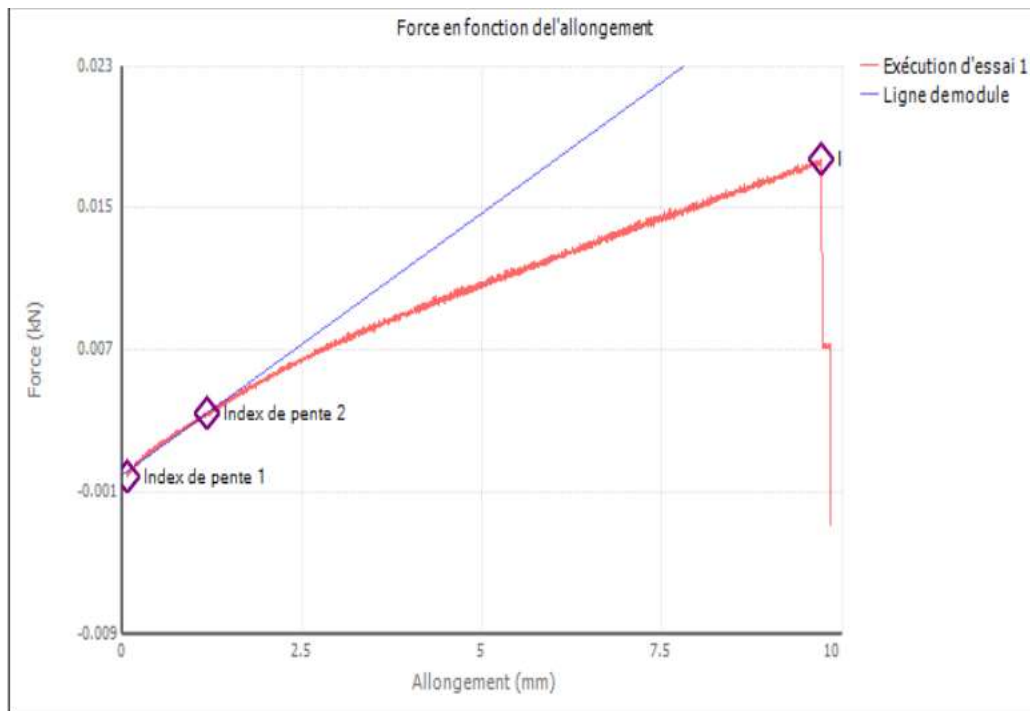


Figure II.6. Loi de comportement à la traction des fibres de sisal.[2]

II.2.5.2 les fibres métalliques :



Figure II.7. Fibres métalliques

Tableau II.14. Caractéristiques physiques des fibres métalliques.

Caractéristique et propriétés	Fibre métallique
Masse volumique ( $\text{kg/m}^3$ )	7850
Longueur (mm)	12
Diamètre (mm)	0,4
Elancement	30

## II.2.5.3 Fibres Polypropylène :



Figure II.8. Fibres de polypropylène

Tableau II.15. Données techniques des fibres de polypropylène

Caractéristique et propriétés	Fibre polypropylène
Densité	0,91
Longueur (mm)	12
Diamètre ( $\mu\text{m}$ )	25
Résistance à la traction (MPa)	400
Module d'élasticité (GPa)	1,6

**II.3 Méthodes expérimentales :**

Les mortiers ont été confectionnés conformément à la norme ASTM C 305, [40] avec un malaxeur de 5 litres de capacité (figure II.7). L'ouvrabilité des mortiers a été étudiée en utilisant un moule tronconique (D= 100 mm, d= 70 mm, h=50 mm)



**Figure II.9.** Malaxeur de capacité de 5 litres.



**Figure II.10.** Moule tronconique.

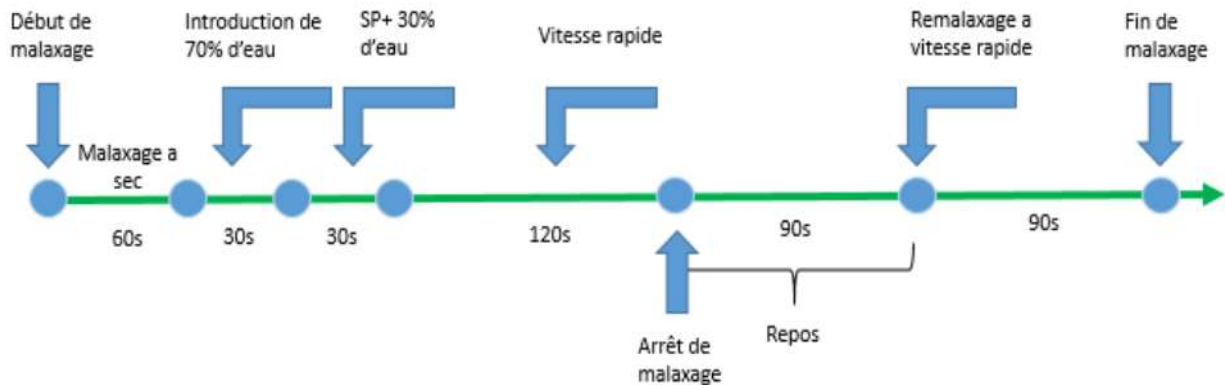
**II.3.1 .Procédure de malaxage**

Après avoir déterminé les quantités de chaque élément entrant dans la composition du mortier auto plaçant (MAP), on procède à un malaxage du MAP sans fibre et un MAP avec fibre:

**II.3.1.1 Mortier auto plaçant sans fibre :**

Le début du malaxage se fait par un malaxage des constituants sec (ciment + poudre de marbre + sables) pendant 60 secondes tout en malaxant à une vitesse définie comme une vitesse lente pour bien homogénéiser le mélange, ensuite 70% de l'eau de gâchage est ajoutée pendant 30 secondes. Après une minute et 30s, le super plastifiant et l'eau restante sont mélangés sont

introduit régulièrement. [Boukendakdji] [41] a apporté que l'efficacité du SP est autant plus grande lorsqu'il est rajouté avec 30% d'eau. Le malaxage continu encore 2 minutes à grande vitesse, ce qui a pour effet d'assurer une meilleure dispersion des particules, le mélange doit reposer 90 secondes puis une autre 90 secondes à vitesse rapide. Ce qui fait un totale de 7 minutes de malaxage.



**Figure II.11.** Séquence de malaxage.

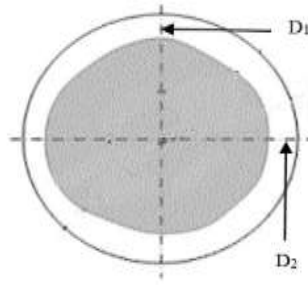
### II.3.1.2 Mortier auto plaçant avec fibre :

Pour la procédure du malaxage du MAP avec fibre, c'est le même principe que le MAP sans fibre à part que les fibres est rajoutées après 3 minutes de début du malaxage (60 seconde avant le repos). Et une autre 30 secondes sont rajoutées pour la dernière étape après le repos, ce qui donne 120 secondes de malaxage à vitesse rapide.

## II.3.2 Essais effectués sur les mortiers à l'état frais

### II.3.2.1 Etalement au mini cône :

L'essai d'étalement consiste à remplir un mini cône placé sur une surface horizontale lisse et à le soulever verticalement, une fois le cône est soulevé, le mortier auto plaçant s'étale sur la plaque. Le diamètre d'étalement du mortier est mesuré suivant deux directions perpendiculaires pour retenir une moyenne des deux valeurs (figure II.10). Le diamètre de la galette du mortier doit être compris entre 270 et 330 mm pour avoir un mortier autoplaçant. Cet essai permet également d'observer l'homogénéité de la suspension à travers l'apparition ou non d'une auréole autour de l'étalement.



**Figure II.12.** Essai d'étalement au mini cône.

### II.3.3 Essai effectués sur les mortiers à l'état durci

**II.3.3.1 Confection et cure des éprouvettes :** Les mortiers ont été coulés dans des moules prismatiques (4x4x16cm<sup>3</sup>). Les moules contenant les spécimens ont été couverts de film plastiques et stockés dans l'environnement du laboratoire (figureII.11.a). Après 24 heures de confection, les échantillons ont été démoulés soigneusement et conservés jusqu'à l'âge de l'essai dans l'environnement suivant :

- A une température de  $(21 \pm 2) ^\circ \text{C}$  et  $(60 \pm 10) \% \text{HR}$  pour l'essai de retrait (figure II.11.b).
- A la chambre de conservation de  $(21 \pm 2) ^\circ \text{C}$  et  $(90 \pm 5) \% \text{HR}$  pour les autres essais (flexion et compression, module d'élasticité, absorption d'eau) (figure II.11.c).

### II.3.3.2 Caractérisation physico-mécanique des mortiers élaborés

#### II.3.3.2.1 Variations dimensionnelles (retrait) :

L'essai est réalisé selon la norme EN 12617-4 sur des éprouvettes prismatiques 4x4x16 cm<sup>3</sup>. La mesure du retrait est effectuée à l'aide d'un réfractomètre muni d'un comparateur digital de division 10-3 (figure II.11.b). Après démoulage, on initialise le comparateur à la valeur zéro à l'aide d'une tige étalon, et ensuite les éprouvettes munies de plots à leurs extrémités sont placés en position verticale sur le réfractomètre et la lecture  $L_0$  est prise. Après cela, les lectures sont effectuées au cours du temps. Le changement de longueur doit être calculé par rapport à la lecture initiale ( $L_0$ ) effectuée après 24 h. La déformation de déplacement doit être exprimée comme la variation de longueur ( $\Delta L$ ) sur la longueur de repère ( $L$ ), exprimée en mm / m, en 0,001 mm / m près.

Conduite de l'essai Au moment de la mesure, le comparateur est mis au zéro sur la tige étalon en Invar de longueur  $L = 160 \text{ mm}$ . Soit  $dl(t)$  la valeur lue sur le comparateur au temps  $t$ , l'éprouvette a une longueur au temps considéré:

$$l = L + dl(t)$$

Soit  $l(t_0)$  la longueur de l'éprouvette au temps  $t_0$  choisi d'origine. En général, cette origine est prise au moment du démoulage, 24 h après la confection des éprouvettes. La variation de longueur au temps  $t$  sera:

$$\Delta l(t) = l(t) - l(t_0) = dl(t) - dl(t_0)$$

La variation relative de longueur est généralement désignée par  $\varepsilon$  et a pour expression:

$$\varepsilon(t) = \frac{\Delta l(t)}{L} = \frac{dl(t) - dl(t_0)}{L}$$

$\Delta l(t)$  est obtenu en faisant la moyenne sur les 3 éprouvettes issues du même moule. Lorsque les éprouvettes sont conservées à l'air,  $\Delta l(t)$  est généralement négatif et c'est le retrait. Lorsque l'éprouvette est conservée dans l'eau,  $\Delta l(t)$  peut être positif alors c'est le gonflement.

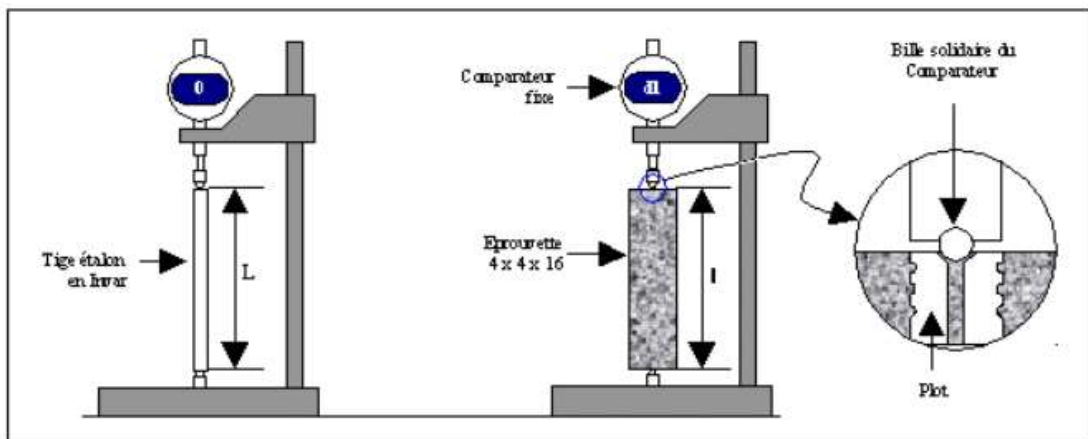


Figure II.13. Dispositif de retrait.

### II.3.4 Résistances mécaniques

Des essais mécaniques sont effectués pour caractériser les mortiers à différents âges : Résistance à la traction par flexion sur trois éprouvettes prismatiques 4x4x16 cm<sup>3</sup>. Résistance à la compression sur six demi prismes issues des essais de traction par flexion.

#### II.3.4.1 Résistance à la traction par flexion

L'essai est déterminé selon la norme NF EN 196-1 [41] par un dispositif de flexion trois points (figure II.12) La résistance à la rupture en traction par flexion est déterminées à partir des essais destructifs de flexion trois points effectués sur trois éprouvettes prismatiques 4x4x16 cm<sup>3</sup>

(Figure II.12). La machine utilisée est une presse hydraulique de charge maximale 100 KN. L'acquisition et le pilotage sont gérés par un ordinateur muni d'un logiciel de commande qui traite les résultats. La vitesse de chargement a été réglée à 50N/s jusqu'à la rupture. La charge à la rupture  $F_f$  est lue sur le cadran de la presse et la résistance à la traction par flexion est calculée par la relation suivante :

$$R_f = \frac{1.5 * F_f * L}{b^3}$$

Avec :

$R_f$  : Résistance de flexion (MPa).

$F_f$  : Charge de rupture (N).

$L$  : Distance entre les appuis ( $L=100\text{mm}$ ).

$b$  : Largeur de la section droite de l'éprouvette ( $b=40\text{mm}$ ).

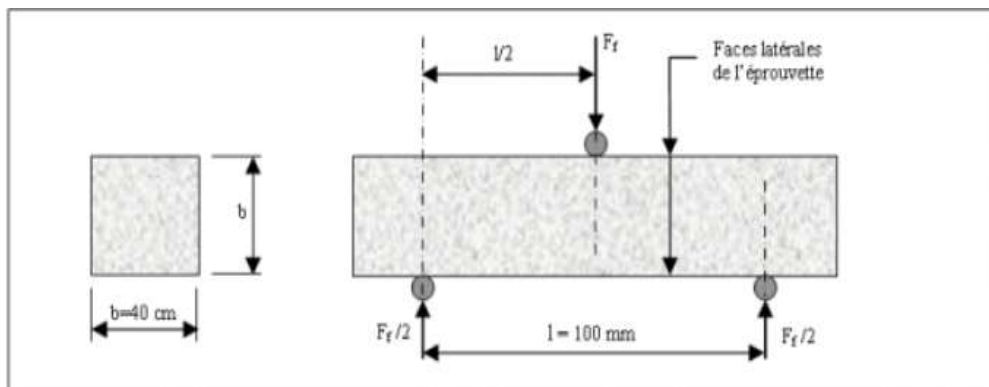


Figure II.14. Dispositif pour l'essai de flexion par trois points.



Figure II.15. Essai de traction par flexion.

### II.3.4.2. Résistance à la compression :

La résistance à la compression est mesurée conformément à la norme NF EN 196-1[41] sur les demi prismes des éprouvettes obtenus après rupture en flexion, comme indiqué sur la figure II.18 et figure II.13. Si  $F_c$  est la charge de rupture à la compression, et  $b$  est le côté de la section, la contrainte de rupture sera :

$$R_c = \frac{F_c}{b^2}$$

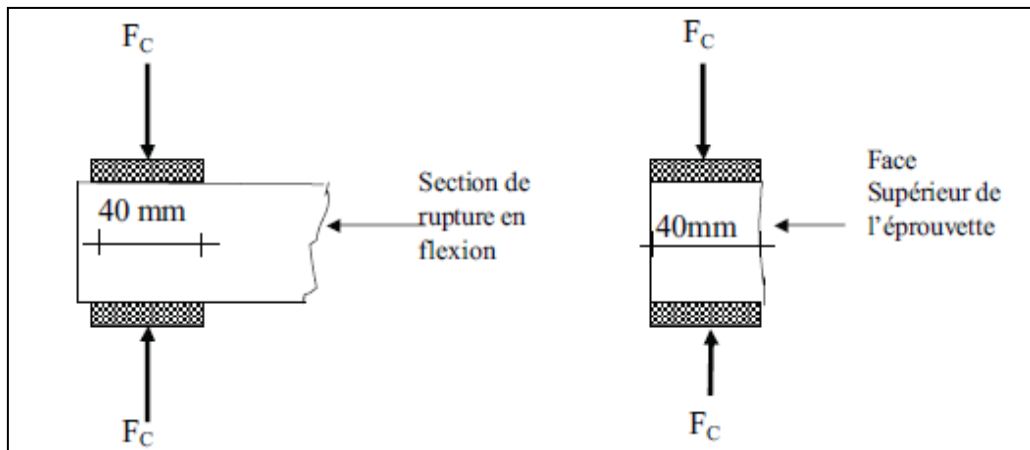


Figure II.116. Dispositif de rupture en compression.

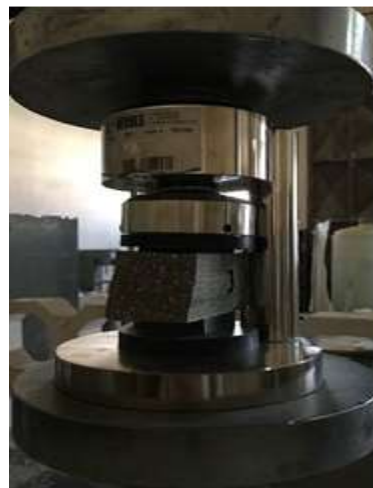
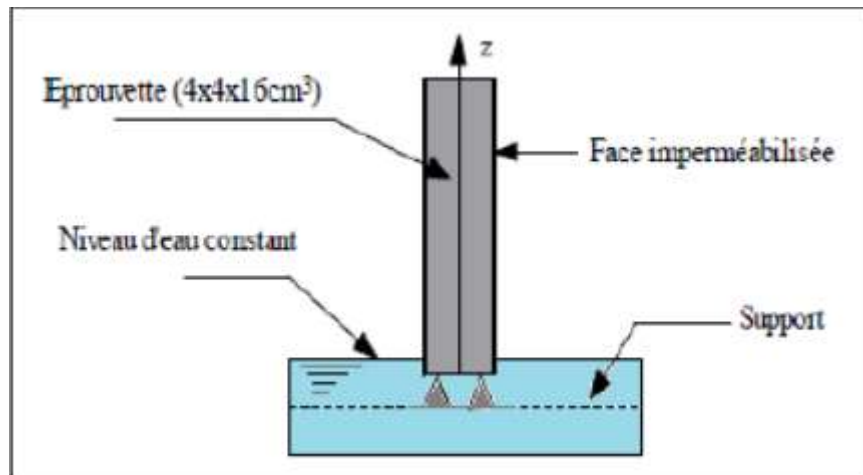


Figure II.17. Essai de compression

### II.3.5 Absorption d'eau par capillarité :

L'essai d'absorption d'eau par capillarité permet de caractériser la capacité d'un mortier à absorber et transmettre l'eau par capillarité. Dans cette étude, l'essai est effectué sur des échantillons prismatiques de 4x4x16 cm<sup>3</sup> selon la norme EN 1015-18 [42] préalablement séchés dans le four à environ 80°C jusqu'à poids constant. Ils sont ensuite placés dans un bac de sorte

que leur surface inférieure jusqu'à 5 mm soit en contact avec l'eau (figure II.17). L'étanchéité latérale est assurée au moyen d'un ruban adhésif pour obtenir un écoulement unidirectionnel (figure II.16). Le poids des échantillons est mesuré à différents moments : 0, 15, 30, 60, 120, 240, 360, 480 et 1440 min. La seule précaution à prendre consiste à éliminer la pellicule d'eau retenue sur la face inférieure de l'échantillon avant chaque pesée à l'aide d'un chiffon. L'essai d'absorption d'eau par capillarité a été effectué après 28 et 180 jours de durcissement.



**Figure II.18.** Schéma d'essai d'absorption d'eau par capillarité.

Le coefficient de capillarité  $C_c$  est obtenu en utilisant la formule suivante :

$$C_c = \frac{M}{S * \sqrt{t}}$$

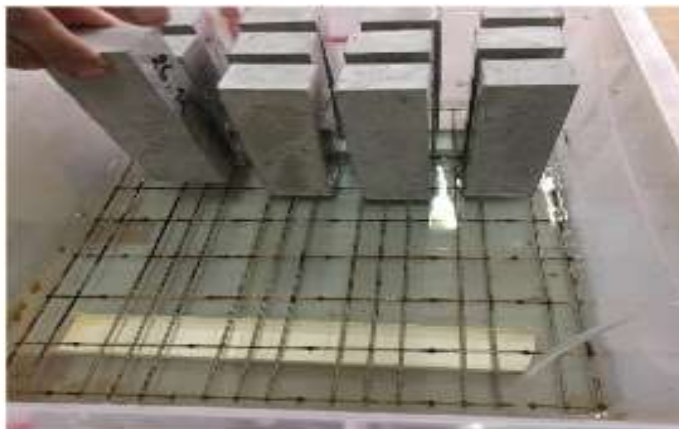
Avec :

$C_c$  : Coefficient de capillarité ( $g.cm^{-2}.min^{-1/2}$ )

M : Quantité d'eau absorbé (g).

S : Surface d'éprouvette qui est en contact avec l'eau

t : Durée d'absorption (min)



**Figure II.19.** Dispositif expérimental de l'essai d'absorption d'eau par capillarité.

### II.3.6 Auscultation sonore :

L'essai non destructif ultrasonique est la technique utilisée fréquemment pour estimer la qualité de béton ou mortier selon la norme NF EN 12504-4 [43]. Cette méthode est basée sur la mesure de la vitesse de la propagation d'onde qui est en rapport avec les propriétés mécaniques et, plus directement, avec le module d'élasticité dynamique (figure II.17). Le module d'élasticité dynamique  $E_d$  peut être déterminé à partir de l'équation suivante de la vitesse de propagation d'onde :

$$E_d = V^2 \rho \frac{(1 + \nu)(1 - 2\nu)}{(1 - \nu)}$$

**Avec :**

**$E_d$**  : Module d'élasticité dynamique (GPa).

**$\rho$**  : Masse volumique ( $\text{kg/m}^3$ ).

**$\nu$**  : Coefficient de poisson.

**$V$**  : Vitesse de propagation d'onde au sein du matériau (m/s).

Cette vitesse est le rapport de la longueur d'éprouvette sur le temps de propagation d'onde. Cette dernière mesure peut être faire sur l'ouvrage lui-même et permet de rendre compte in situ de la qualité du béton et de sa régularité.



**Figure II.20.** Appareil d'auscultation dynamique (ultra sonore).

### II.4 Conclusion

Dans ce deuxième chapitre, nous avons présenté les matériaux et les méthodes expérimentales utilisées dans cette étude. Le présent travail a nécessité la confection environ de 180 éprouvettes prismatiques.

## ***Chapitre III :***

### ***Résultats et discussion***

**III.1 Introduction**

Pour formuler un mortier de réparation, il est nécessaire de choisir les constituants et les proportionner en vue d'obtenir des propriétés rhéologiques et physico-mécaniques répondant aux critères techniques et économiques, autorisant une meilleure application dans le domaine de la réparation. Ce chapitre traite l'analyse et la discussion des différents résultats obtenus au cours de cette étude. Le chapitre est structuré en trois parties :

- 1<sup>ère</sup> étape consiste à formuler un mortier auto plaçant (mortier témoin).
- 2<sup>ème</sup> étape repose sur la formulation d'un mortier auto plaçant en incorporant les différents types et les pourcentages des fibres. Nous exposons la méthode utilisée pour l'optimisation des dosages des constituants du mortier autoplaçant témoin MT
- 3<sup>ème</sup> étape repose sur l'étude de l'effet de type et de pourcentage des fibres sur les performances des mortiers élaborés à l'état frais et durci. Par la suite les résultats des essais et discussions.

Le mortier à formuler est un mortier de réparation auto plaçant qui doit satisfaire aux critères de maniabilité, de compatibilité et de durabilité :

- Etallement.
- Résistances mécaniques.
- Retrait.
- Module d'élasticité dynamique.
- Absorption d'eau par capillarité.

**III.2. Formulation d'un mortier auto plaçant témoin (MT) :**

La formulation des MAP la plus connue est celle développée à l'université de Kochi. Pour obtenir des compositions fluides et en même temps stables vis-à-vis au phénomène de ségrégation. La fluidité peut être obtenue par l'introduction des superplastifiants hauts réducteurs d'eau et la stabilité peut être obtenue par l'introduction des viscosifiants ou l'introduction des fillers calcaire, le principe de cette approche repose sur les conditions suivantes :

- Limitation de volume des granulats (volume important de pâte)
- Diminution de rapport Eeff /L
- Utilisation des superplastifiants

La formulation repose sur l'hypothèse suivante :

• Le volume totale  $V_m=1000 \text{ l}$  ,  $V_s/V_m=0.5$ . Si on parle en terme de volume de pâte  $V_s/V_p= 1$ .

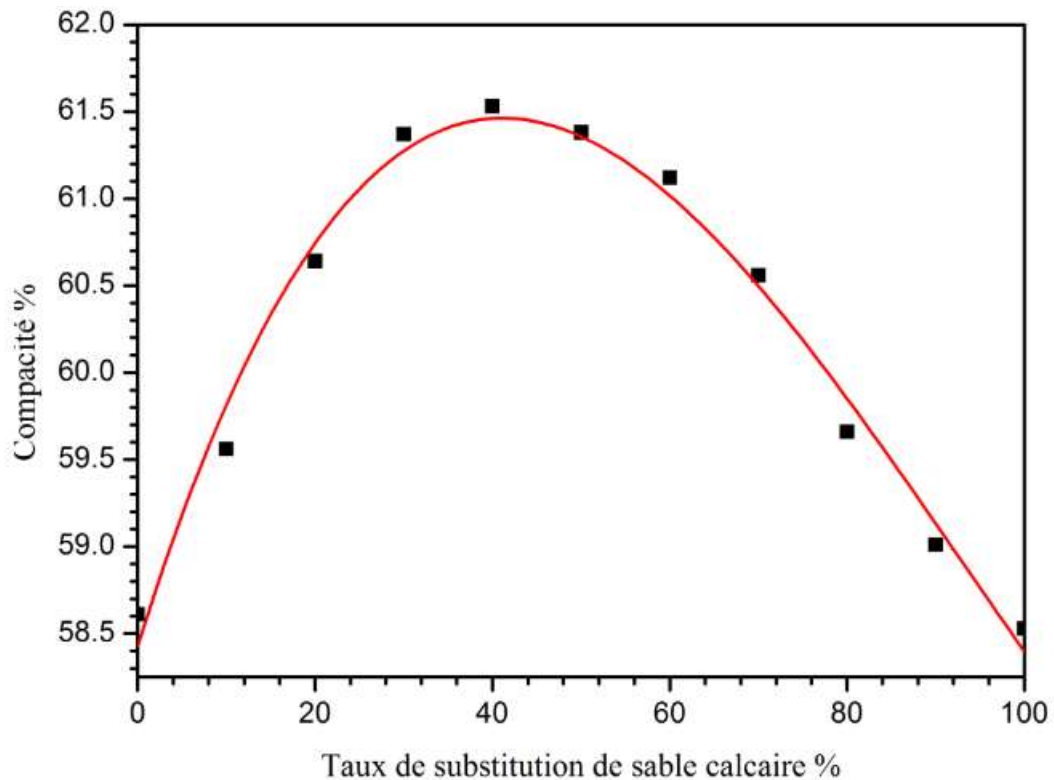
- un étalement d'environ  $28 \pm 2 \text{ cm}$  avec le mini cône
- En connaissant d'avance les paramètres suivants :
  - Rapport eau sur liant (E/L)
  - Air occlus( $V_a$ ), en%
  - Dosage de d'adjuvant superplastifiant (SP), en % ; ce dosage est ajusté en

fonction de la fluidité désirée.

- Masse volumique spécifique de sable ( $\rho_s$ ).
- Masse volumique spécifique de ciment ( $\rho_c$ )
- Masse volumique spécifique de fillers calcaire ( $\rho_{pm}$ )
- Extrait sec du SP (Esp), en %.
- Coefficient d'absorption du sable (Abs), en %
- Rapport poudre de marbre sur ciment (PM/C)%

### **III.3 Optimisation de squelette granulaire de sable (sable de dune – sable calcaire) :**

La compacité d'un mélange granulaire est une étape primordiale pour la formulation du mortier. Pour un squelette granulaire composé de deux sables de grains solides de tailles différentes, il existe un mélange optimum qui permet d'obtenir la compacité maximale du mélange, c'est-à-dire le pourcentage minimum de vides entre les grains solides. La compacité C (%) est définie par le rapport du volume de matière pleine ( $V_s$ ) au volume total ( $V_t$ ).



**Figure III.1** Evolution de la compacité de mélange en fonction du taux de substitution de sable calcaire. [16]

La courbe obtenue de la figure III.1 se présente sous forme de cloche et les résultats montrent bien que l'optimum de la compacité se trouve à un taux de substitution de sable calcaire = 40%. Le mélange qui nous a donné la compacité maximale est celui de (60% de sable dunaire et 40% de sable calcaire) avec un optimum de 61,53%. [16]

#### III.4 Détermination de la composition de mortier autoplaçant témoin MT

Après avoir déterminé la composition de mortier en maintenant tous les autres paramètres fixes, le dosage en SP est varié de 0.7 % à 0.8 % (tableau III.1), pour obtenir un étalement d'environ  $(28 \pm 2)$  cm avec le mini cône.

Tableau III.1 Formulation de mortier témoin kg /m<sup>3</sup>

Constituants		Valeurs	
Référence		MT1	MT2
Ciment(kg)		503,02	503,02
Poudre de marbre(kg)		89,74	89,74
Sable D (kg)		660,16	660,16
Sable C (kg)		442,29	442,29
SP	%	0.61%	0.65%
	(kg)	3,62	3,85
Eau totale(L)		241,31	241,31
Étalement (cm)		20	29.5

### III.5 Formulation des composites :

Après avoir déterminé le dosage d'eau, de sable et le dosage en super plastifiant, nous pouvons dire qu'on a obtenu la composition du mortier autoplaçant sans fibres. L'étape suivante consiste à déterminer les différentes compositions de MAPF (Mortier Autoplaçant Fibré).

Le but de la formulation de cette série de mortier consiste à étudier l'effet de type et du pourcentage de fibres sur les performances des mortiers élaborés (Résistances mécaniques, module d'élasticité, retrait, absorption d'eau par capillarité). Nous devons chaque fois substituer et remplacer une quantité des sables par les fibres en prenant en considération le taux d'absorption d'eau des fibres végétales, et en corrigeant les dépenses en sable, en eau et superplastifiant de manière à garder le dosage en liant constant (ciment et poudre de marbre) de 592.7 kg/m<sup>3</sup>.

On a choisi trois types des fibres (végétale, synthétique et métallique) de même longueur (12 mm). L'augmentation de dosage en fibre et du rapport (l/d) accroît le problème de distribution hétérogène et de floculation des fibres. Pour une longueur donnée, plus le pourcentage est important, plus l'étalement du mortier diminue et pour un dosage en fibre donné, plus l'élancement est important, plus l'étalement du mortier diminue. Donc il est nécessaire d'ajuster la quantité de superplastifiant pour garder l'étalement dans l'intervalle de 28±2 cm. Les proportions des constituants des mortiers élaborés sont détaillées dans le Tableau ci-dessous.

Tableau.III.2. Compositions de différents types de mortiers/m<sup>3</sup>.

Notation		SD(kg)	SC (kg)	C(kg)	PM(kg)	SP%	E (L)	Fibre(%)
1	MT	660,16	442,29	503,02	89,74	0,61 ÷ 1,3	241,31	0
2	MFM25	656,82	440,06				241,13	0,25
3	MFM50	653,49	437,82				240,95	0,50
4	MFM75	650,15	435,59				240,86	0,75
5	MFM100	646,82	433,36				240,68	1,00
6	MFP02	657,49	440,51				241,31	0,20
7	MFP03	656,16	439,61				240,11	0,30
8	MFP04	654,82	438,72				239,12	0,40
9	MFV02	657,49	440,51				244,29	0,20
10	MFV03	656,16	439,61				245,72	0,30
11	MFV04	654,82	438,72				247,19	0,40
12	MFV05	653,49	437,82				248,58	0,50

Tableau III.3. Désignation des différentes compositions utilisées

NOTATION	DESIGNATION
MT	Mortier Témoin
MFM100	Mortier renforcé de 1% de fibre métallique
MFM75	Mortier renforcé de 0.75% de fibre métallique
MFM50	Mortier renforcé de 0.5% de fibre métallique
MFM25	Mortier renforcé de 0.25% de fibre métallique
MFP02	Mortier renforcé de 0.2% de fibre polypropylène
MFP03	Mortier renforcé de 0.3% de fibre polypropylène
MFP04	Mortier renforcé de 0.4% de fibre polypropylène
MFV02	Mortier renforcé de 0.2% de fibre végétale
MFV03	Mortier renforcé de 0.3% de fibre végétale
MFV04	Mortier renforcé de 0.4% de fibre végétale
MFV05	Mortier renforcé de 0.5% de fibre végétale

### III.6. Effet de dosage et de type des fibres sur les propriétés physico-mécaniques des mortiers :

#### III.6.1. Résistances mécaniques :

##### III.6.1.1. Résistances à la traction par flexion:

A 7 et à 28 jours, les résistances mécaniques en flexion trois points des mortiers obtenus sur trois éprouvettes prismatiques  $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$ , sont présentées dans les figures III.2 et II.3. Nous constatons que :

- Une augmentation de la résistance à la flexion de différents types des mortiers en fonction du temps a été remarquée. On note un développement de 66 à 98 % de la résistance à 7 jours par rapport à sa résistance à 28 jours.
- La meilleure résistance qui a été enregistré est pour le mortier MFV04. On note une résistance de 6,3 à 7 jours environ 10% comparativement à celle du mortier sans fibres.
- Le mortier renforcé de 0,75% de fibres métallique indique une augmentation maximale de la résistance à la traction par flexion environ 27 % et de 4 % pour le mortier renforcé par des fibres végétales, de 0,40% de dosage comparativement à celle du mortier témoin à 28 jours. La valeur la plus faible est remarquée pour un dosage de 0,40 % des fibres de polypropylène.

A partir de ces résultats, on peut conclure que lors de l'essai de flexion, les fibres métalliques limitent la progression de la fissure, ce qui pourrait entraîner une résistance à la rupture plus élevée. Elles sont les plus remarquables pour le mortier MFM75.

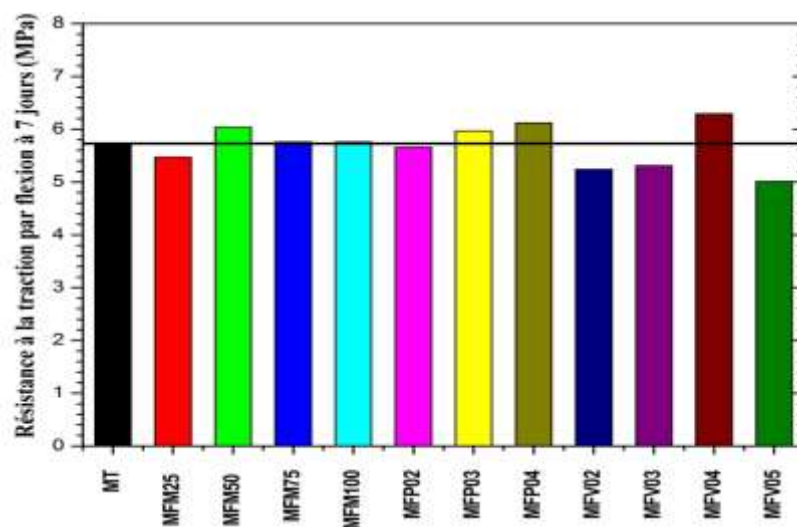
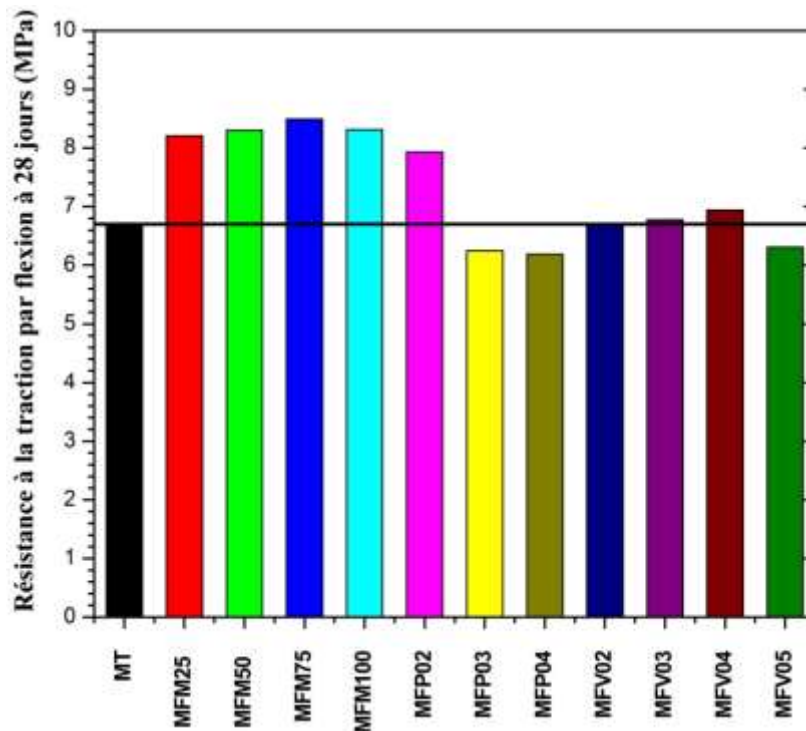


Figure III.2 : Résistance à la flexion de différents types des mortiers à 7 jours



**Figure III.3 :** Résistance à la flexion de différents types des mortiers à 28 jours.

### III.6.1.2. La résistance à la compression :

Les résultats de l'essai de la résistance à la compression du mortier avec différentes fractions et types de fibres obtenues sur six demi prismes issues des essais précédents à 7 et 28 jours sont représentés dans les figure III.4 et III.5.

D'après les III.4 et III.5 on peut constater que :

Une augmentation de l'ordre de 10 % et de 18% de la résistance à la compression à 7 et à 28 jours pour le mortier renforcé par un taux de 0,5 à 1% et de 0,75 à 1% des fibres métallique respectivement par rapport au mortier témoin a été remarquée.

Les comportements en compression ont présenté des tendances claires en fonction de dosage des fibres végétales et synthétiques. Des diminutions à 28 jours avec l'augmentation du dosage en fibres de 1 à 11 % et de 1 à 10 % de la contrainte maximale ont été observées pour des taux de 0,2 à 0,5% et de 0,2 à 0,4 % des fibres végétales et synthétiques respectivement.

Il est bien clair que l'amélioration apportée par l'ajout des fibres sur le comportement mécanique en traction par flexion est beaucoup plus importante que celle à la compression, cette amélioration est due à la participation de la fibre à la couture de fissures.

De plus, quel que soit le type de mortier, la contrainte à la compression mesurée est supérieure à la valeur minimale de 45 MPa, requise par la norme EN1504-3 pour une réparation structurelle de classe R4.

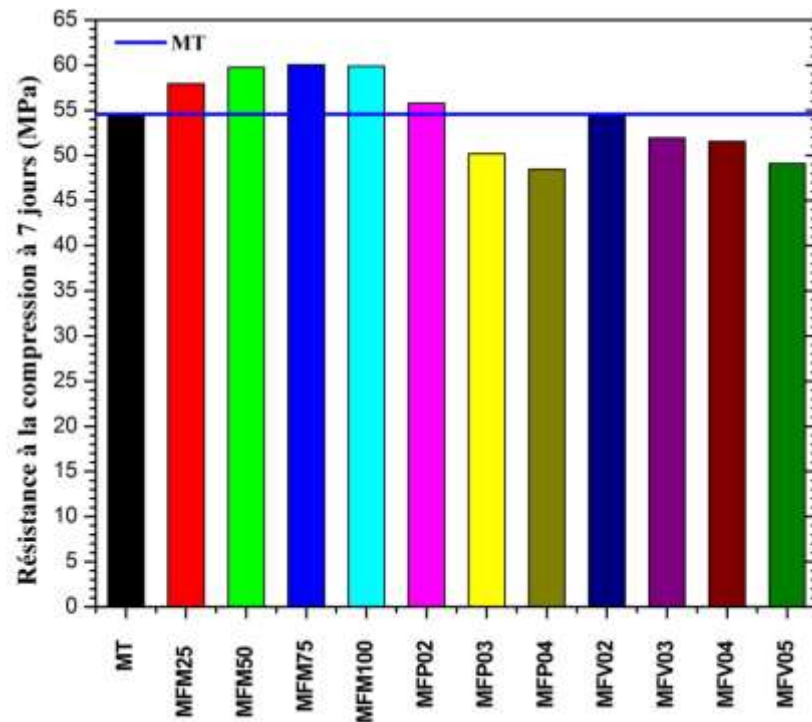


Figure III.4 : Résistance à la compression de différents types des mortiers à 7 jours

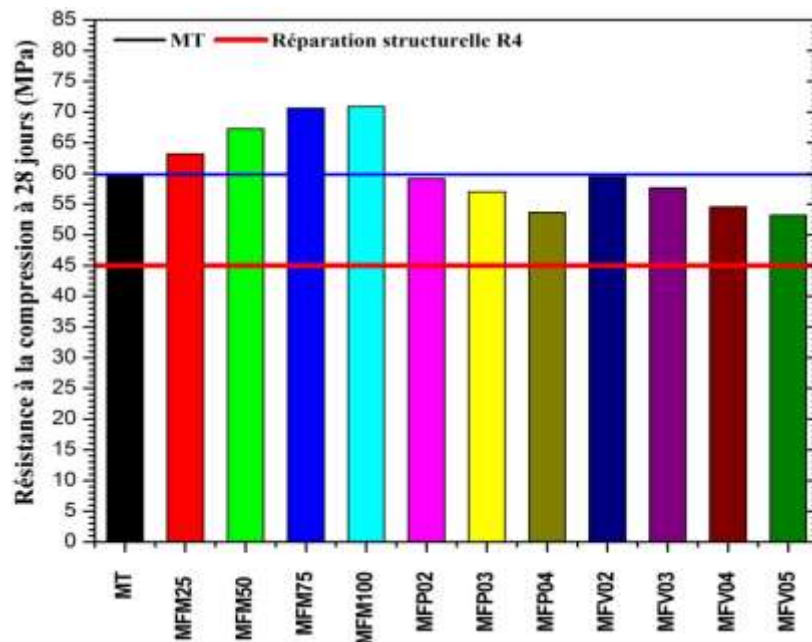


Figure III.5: Résistance à la compression de différents types des mortiers à 28 jours.

On observe que le dosage optimal de volume de fibres pour la résistance à la compression diffère de celui correspondant à la résistance à la traction par flexion.

Cela pourrait être attribué à la différence de mécanisme d'essai, car le mécanisme de compression tient davantage compte de la dureté des matériaux et de la répartition des contraintes sur l'ensemble de la matrice, tandis que pour le mécanisme de flexion, la résistance à la rupture des matériaux dépend de la résistance à la traction, du dosage, de la liaison avec la matrice et de l'orientation des fibres qui sont d'une importance capitale pour améliorer le comportement à la flexion du composite. La meilleure orientation des fibres sera parallèle à la direction de la contrainte de traction imposée. Cependant, cela sera hors de contrôle, car la fibre a été incorporée et distribuée de manière aléatoire dans la matrice. [1]

### **III.3.2. Le module d'élasticité dynamique( $E_d$ )**

Le module d'élasticité est l'un des facteurs le plus important de la compatibilité dimensionnelle entre le béton substrat et le mortier de réparation. L'essai d'auscultation sonore réalisé sur des éprouvettes prismatiques  $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$  permet de calculer la vitesse d'auscultation sonore et d'estimer le module d'élasticité dynamique pour les différents types des mortiers.

Les résultats obtenus à 7 et à 28 jours sont représentés par les figures III.6, III.7.

Les résultats de l'essai d'auscultation sonore montrent que le module d'élasticité dynamique de différents mortiers fibré est inférieur au module d'élasticité de mortier témoin à l'exception du MFM25 et MFM50 à 7 jours et MFM25, MFM75 et MFM100 à 28 jours qui présentent des valeurs similaires à celle de mortier témoin.

Les modules d'élasticités obtenues lors de l'essai d'auscultation sonore à 28 jours pour les différents mortiers élaborés varient entre 29,50 GPa pour le mortier MFV05 et 35,13 GPa pour le mortier MFM25. Elles sont, donc, supérieures à la valeur requise par la norme EN1504-3 (20 GPa) pour une réparation structurelle de classe R4.

Le module d'élasticité du mortier est fortement relié à la rigidité et à la proportion volumique des granulats et des fibres. Lors de la formulation des composites renforcés des fibres végétales ou synthétique, un volume de granulat a été substitué par un volume équivalent de fibres. Le volume de granulat est donc plus faible dans les composites que dans les mortiers sans fibres, ce qui pourrait peut-être par conséquent expliquer la diminution du module d'élasticité des mortiers fibré par rapport aux mortiers sans fibres.

En outre, l'incorporation des fibres entraînent des bulles d'air supplémentaires ce qui conduit à une augmentation de la porosité du matériau. De manière générale, l'augmentation du taux de fibres entraîne une diminution du module d'élasticité des mortiers, ce qui par conséquent augmente sa ductilité. [16]

Page [46] a étudié l'effet d'ajout des fibres de lin sur les caractéristiques mécaniques des composites. Il a trouvé que le béton avec 0,3 % de fibres de 12 mm possède le plus faible module d'élasticité, soit une diminution de 12 % par rapport au béton témoin.

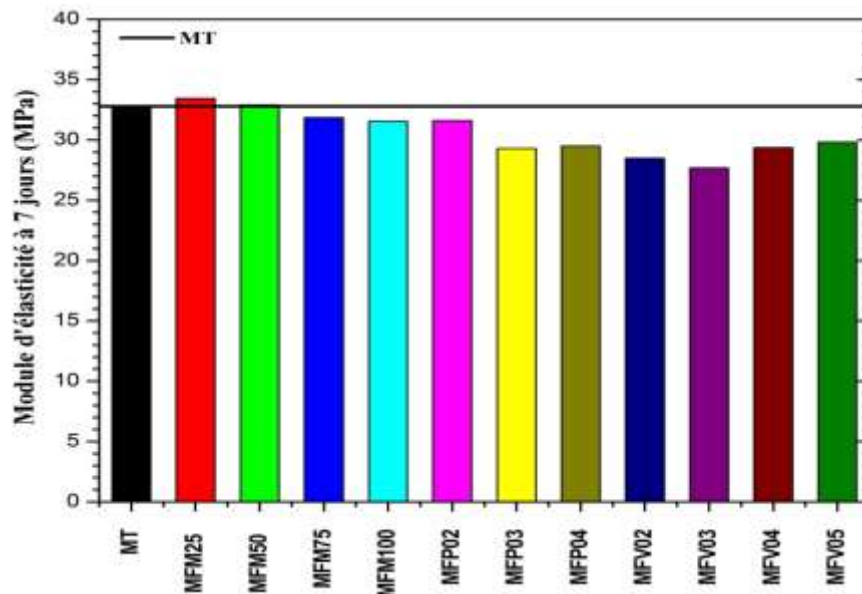


Figure III.6 : Module d'élasticité dynamique( $E_d$ ) de différents types des mortiers à 7 jours

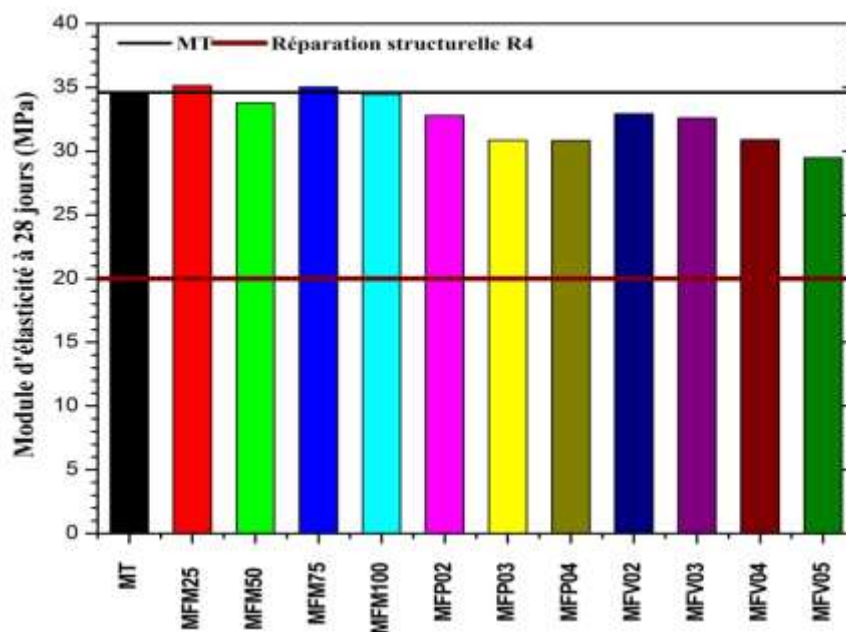
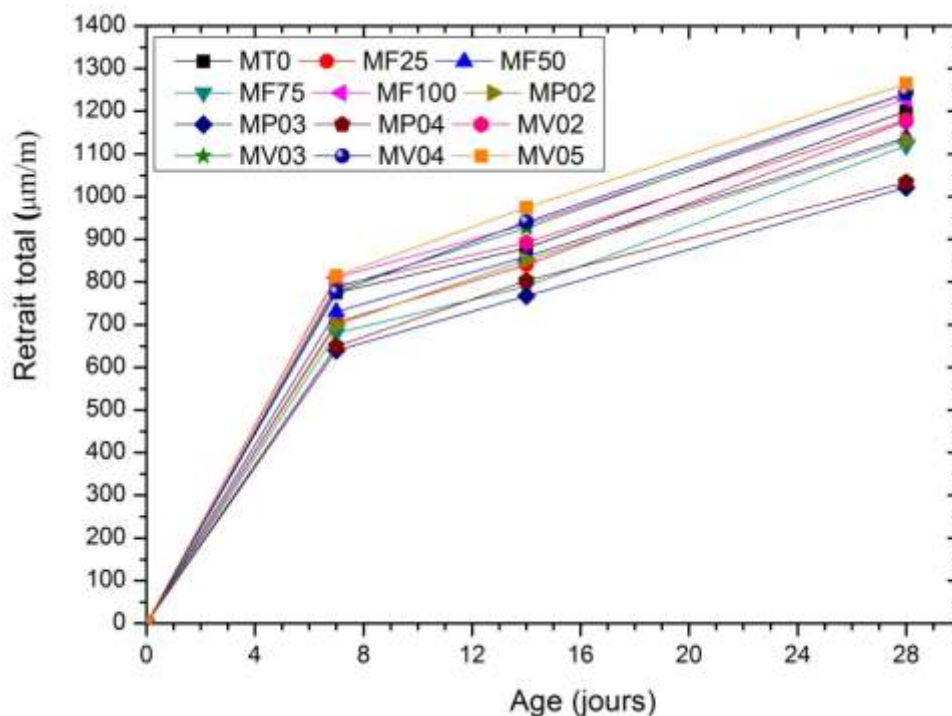


Figure III.7 : Module d'élasticité dynamique( $E_d$ ) de différents types des mortiers à 28 jours.

### III.3.3 Retrait :

Le retrait du béton est souvent à l'origine de la fissuration, d'une redistribution des contraintes, et même, plus rarement, de la ruine de l'ouvrage. Cette variation dimensionnelle dépend de plusieurs paramètres tels que la composition de mortier, la qualité de ses constituants, la taille des éléments ainsi que les conditions extérieures de conservation. Les courbes illustrées à la figure III.8 montrent l'effet de types et de dosages des fibres sur le retrait total en fonction du temps. La variation du retrait des mortiers en fonction du temps représentée dans la figure III.8 confirme la tendance trouvée dans la plupart des matériaux cimentaires. En effet, la majorité du retrait (60 à 65%) des mortiers confectionnés s'effectue à jeune âge (la première semaine). En outre, l'évolution du retrait en fonction de l'âge semble montrer la même allure pour tous les mortiers confectionnés. Les résultats de retrait total montrent, aussi, que le retrait des mortiers MFP03 et MFP04 sont ceux qui présentent le plus faible retrait à 28 avec une diminution de l'ordre de 15 % par rapport au mortier témoin (sans fibres). Par contre le mortier renforcé de 0,5% des fibres de sisal (MFV05) présente le plus grand retrait à 28 jours avec une augmentation de 5,4%.



**Figure III.8** : Evolution du retrait en fonction de l'âge pour différents types et dosages des fibres.

III.3.4 Absorption d'eau par capillarité :

L'absorption capillaire caractérise l'aptitude d'un matériau poreux à absorber l'eau lorsqu'il est exposé à une source d'eau dans son réseau capillaire sans pression hydraulique. Cette propriété est traduite par le coefficient de sorptivité ( $C_c$ ) qui est influé par plusieurs facteurs tels que l'âge du béton, la composition, la porosité, le temps d'immersion, la cure.... etc. L'absorption d'eau est un facteur déterminant pour la qualité et la durabilité du béton.

La figure III.8 illustre la cinétique d'absorption d'eau cumulée par unité de surface  $C_c$  [ $g/(cm^2 \cdot min^{0,5})$ ], en fonction de la racine carrée du temps à 28 jours de cure. La figure III.8 montre que la quantité cumulée de l'eau absorbée par unité de surface augmente avec la racine carrée du temps pour les différents types de mortiers de réparation. Des tendances similaires ont été observées pour tous les types de mortiers.

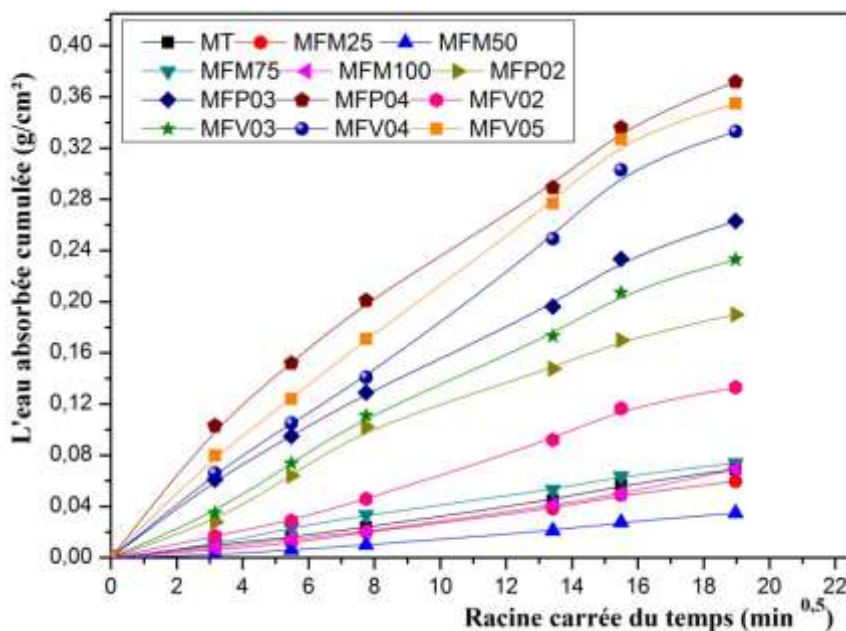


Figure III.9 : Absorption d'eau par capillarité en fonction du temps à 28 jours pour les différents types de mortiers

La figure III.9 présente les valeurs de sorptivité  $C_c$  obtenues à partir des graphes de la figure III.8. Les résultats montrent que le coefficient d'absorption augmente avec l'accroissement du pourcentage de fibres végétales. La même tendance est constatée en ce qui concerne les fibres synthétiques. Le mortier renforcé de 0,5% de fibres de sisal (MFV05) est nettement supérieur par rapport aux autres formulations. De plus, on observe que le mortier renforcé de 0,4% de fibres de polypropylène MP04 a de coefficient de sorptivité supérieur, par environ 4 fois, par rapport à celui de mortier témoin. Cela peut être attribué à l'augmentation du volume des pores par l'ajout de fibres végétales ou synthétiques et aussi par

la capacité d'absorption des fibres des fibres végétales qui entraînent une augmentation de la quantité d'eau absorbé par rapport au mortier témoin. Par contre, le mortier MFM50 offre un coefficient d'absorption plus faible que les autres mortiers, ce qui est environ 48% inférieur à celui du mortier sans fibres (témoin).

Il convient de noter que les mortiers renforcés par des fibres métalliques ont des coefficients d'absorption inférieurs à ceux du mortier témoin et de la valeur requise par la norme EN1504-3 ( $6,5 \cdot 10^{-3} \text{ g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{min}^{0,5})$ ) [51] pour une réparation structurelle de classe R4.

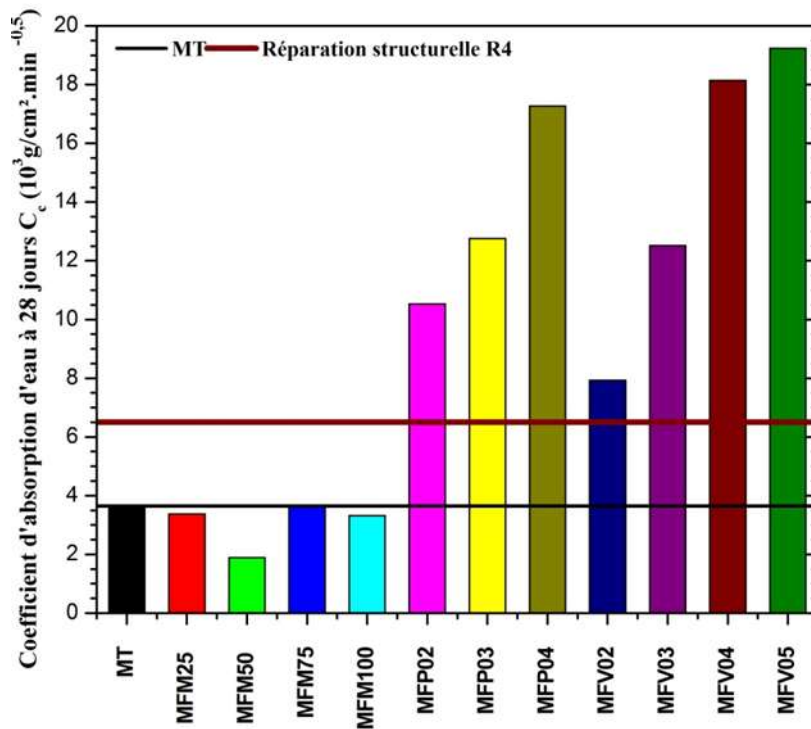


Figure III.10: Sorptivité des différents types de mortiers à 28 jours.

## ***Conclusion Générale***

## Conclusion générale

Au cours de ce travail, nous nous sommes intéressés à contribuer à l'étude de l'effet de type et de dosage de fibres sur les propriétés physico-mécaniques d'un mortier de réparation autoplaçant MRAP à base de sable binaire (dunaire-calcaire)

Afin d'atteindre notre objectif, 12 mélanges de différents types et dosage de fibres ont été confectionnés pour l'étude de chaque paramètre (l'étalement, la résistance à la flexion, la résistance à la compression, le module d'élasticité, et l'absorption d'eau par capillarité).

Le travail que nous présentons a nécessité la confection d'un nombre important d'éprouvettes dépassant le nombre de 180 éprouvettes et il s'articule sur les phases principales suivantes :

- Recherche bibliographique dans laquelle nous avons essayé de faire le point sur l'état de l'art en la matière.
- Optimisation des compositions de mortier témoin MT en utilisant de critères de compacité maximale du squelette granulaire ; elle est obtenue pour un mélange de 60% de sable dunaire et 40% de sable calcaire ; avec un optimum de 61.53%.
- Détermination la composition de mortier autoplaçant témoin en tenir en compte les valeurs de  $V_s/V_M = 0,5$  et  $E/L = 0,4$  et l'ajustement de dosage de superplastifiant pour obtenir un étalement d'environ  $(28 \pm 2\text{cm})$  avec le mini cône.
- Optimisation de dosage en superplastifiant de chaque composition afin d'atteindre l'étalement souhaité  $(28 \pm 2\text{cm})$ .
- L'étude de l'effet de l'ajout de différents types et pourcentages de fibres sur le comportement physico-mécanique des mortiers élaborés.

Les résultats que nous avons obtenus nous permettent de conclure que :

- Un développement de 66 à 98 % de la résistance à la flexion de différents types des mortiers à 7jours par rapport à ses résistances à 28jours a été remarqué.
- Le mortier renforcé de 0,75% de fibres métallique indique une augmentation maximale de la résistance à la traction par flexion environ 27 % par rapport au mortier sans fibres.
- L'ajout 0,4% de fibre de sisal augmente légèrement la traction par flexion de 4% par rapport au mortier sans fibre (témoin).
- Une augmentation de l'ordre de 10 % et de 18% de la résistance à la compression à 7 et à 28 jours pour le mortier renforcé par un taux de 0,5 à 1%

et de 0,75 à 1% des fibres métallique respectivement par rapport au mortier témoin a été remarquée.

- Des diminutions de la contrainte maximale à 28 jours avec l'augmentation du dosage en fibres de 1 à 11 % et de 1 à 10 % ont été observées pour des taux de 0,2 à 0,5% et de 0,2 à 0,4 % des fibres de sisal et de polypropylène respectivement.
- Les modules d'élasticités obtenues lors de l'essai d'auscultation sonore à 28 jours pour les différents mortiers élaborés varient entre 29,50 GPa pour le mortier MFV05 et 35,13 GPa pour le mortier MFM25. Elles sont, donc, supérieures à la valeur requise par la norme EN1504-3 (20 GPa) pour une réparation structurelle de classe R4.
- Une réduction du retrait total atteinte 15 % pour les mortiers renforcé de 0,3% et 0,4% de fibres de polypropylène par rapport au mortier témoin (sans fibres).
- Le mortier renforcé de 0,5% des fibres de sisal (MFV05) présente le plus grand retrait à 28 jours avec une augmentation de 5,4%.
- Les mortiers renforcés par des fibres métalliques ont des coefficients d'absorption inférieurs à ceux du mortier témoin et de la valeur requise par la norme EN1504-3 ( $6,5 \cdot 10^{-3} \text{ g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{min}^{0,5})$ ) pour une réparation structurelle de classe R4.

## ***Références bibliographiques***

- [1] Merdjani.F & Bouakkaz.Y«Etude de l'effet du type de sable sur les performances d'un mortier de réparation» Mémoire de master, Université Laghouat,2020,p75.
- [2] Mhissat,s & Mahçar,N « Étude physic-mécanique d'un mortier de réparation à base des matériaux locaux renforcé par des fibres de sisal» Mémoire de master, Université Laghouat,2019. p113 .
- [3] O. Laurence, “La fissuration due au retrait restreint dans les réparations minces en béton: apports combinés de l'expérimentation et de la modélisation,” p. 347.
- [4][https://elearning.facsct.univ\\_annaba.dz/pluginfile.php/3933/mod\\_resource/content/1/Les%20mortiers.pdf](https://elearning.facsct.univ_annaba.dz/pluginfile.php/3933/mod_resource/content/1/Les%20mortiers.pdf), p13
- [5] Drici , N « L'optimisation des performances d'un bap modifié par un plan d'expériences», Mémoire de Master, Université BBA,2020,p126
- [6]<https://culturesciences.chimie.ens.fr/thematiques/chimie-des-materiaux/polymeres/materiaux-polymeres-architecture-macromoleculaire>
- [7]Yahioui, K. and Sadki, M. « propriétés de mortier autoplçant à base de différents types de sables»,2017.
- [8] Mekhermeche, A.; Hatia, M.; Kriker, A. and Abbani, S.: Contribution à L'étude des Propriétés Thermiques des Briques en Terre, (2013) 5 حوليات العلوم والتكنولوجيا, no. 1, pp. 81–89.
- [9] H. Brahim, « Etude comparative entre les mortiers renforcés avec la fibre métalliques et verre. », Mémoire de magister, Université Bouira, 2019,p91.
- [10] Kadid Saidi & Boucetha Zakia ; « influence des milieux de conservation sur la durabilité des mortiers autoplçants ». mémoire de master université m'hamedbougara –boumerdes 2016/2017Algerie.
- [11] cours K.Bendjiliali.
- [12] Boukhelkhal,A «Comportement physico-mecanique et durabilité en climat chaud des mortiers autoplçants a base d'ajouts binaires et ternaires» Thèse De Doctorat , Université Laghouat, 2019.
- [13] Belhadji .F et Benaida. H« Formulation et cure du mortier autoplçant»,mémoire de master, Université Laghouat,2019,p106.
- [14] Krobba, B. H. « Contribution à la Formulation d'un Mortier de Réparation à Base de Sable de Dune»,Doctoral dissertation, Université de Laghouat-Amar Telidji ,2005,P 86.
- [15] M ,Yagoub , <http://thesis.univ-biskra.dz/1328/4/partieI>, chapitre1, 2009.p24

- [16] Djebali, S, "caracterisation des elements de structures en beton de fibres metalliques", these de doctorat, université de tizi-ouzou,2013,p 204.
- [16] Krobba, B. " Formulation et performance d'un mortier de reparation a base de sable dunaire" Thèse de doctorat, Université de Blida, (2020), p. 185.
- [17] Zabia Badr Eddine. Hidani Ibrahim Extraction et caractérisation mécanique des biofibres.Mimoire master.2016.2017no date.
- [18]Lima, P.R.L.; Toledo Filho, R.D. and Melo Filho, J.A.: Compressive stress-strain behaviour of cement mortar-composites reinforced with short sisal fibre, *Materials Research*, 17 (2013), no. 1, pp. 38–46.
- [19] Nassah, D.: Influence de la quantité de fibres naturelles (alfa) et commerciales (polypropylène) sur les propriétés physico-mécaniques des mortiers fibrés2017.
- [20] Yahiaoui, L.: Caractérisation d'un composite à la rupture à base des fibres végétales (Diss)2018.
- [21] A.K. Bledzki, J. Gassan, "Composites reinforced with cellulose based fibres", *Prog. Polym. Sci.* 24 221–274, 1999 [11] : C Couhert. Pyrolyse flas
- [22]Bouziani, T.; Benmounah, A.; Makhloufi, Z.; Bédérina, M. and Queneudec T'kint, M.: Properties of flowable sand concretes reinforced by polypropylene fibers, *Journal of Adhesion Science and Technology*, 28 (2014), no. 18, pp. 1823–1834.
- [23] Yamina, D. Souad, M. Mekki, Z. Salim, and N. Abdelghani, "Micro-Béton à base de sable mixte (sable de dune et sable concassée) avec poudre de marbre et adjuvant," memoire master, p. 82, 2019.
- [24] Douara .T , Guettala. S, Tarek .H, Attia.A, "Effet de la nature de sable et la température de mûrissement sur les propriétés d'un mortier autoplaçant."
- [25] B.Benabed, L.Azzouz, E.Kadri, S.E.Belaidi, and H. Soualhi, "Propriétés physicomécaniques et durabilité des mortiers à base du sable de dunes," p. 11, 2012.
- [26] P. Grassl, H. S. Wong, and N. R. Buenfeld, "Influence of aggregate size and volume fraction on shrinkage induced micro-cracking of concrete and mortar," *Cement and concrete research*, vol. 40, no. 1, pp. 85–93, 2010.

- [27] W. Zhang, M. Zakaria, and Y. Hama, “Influence of aggregate materials characteristics on the drying shrinkage properties of mortar and concrete,” *Construction and Building Materials*, vol. 49, pp. 500–510, Dec. 2013.
- [28] Krobba, B.; Bouhicha, M.; Kenai, S. and Courard, L.: Formulation of low cost eco-repair mortar based on dune sand and *Stipa tenacissima* microfibers plant, *Construction and Building Materials*, 171 (2018), pp. 950–959.
- [29] A. Djoudi; M.M. Khenfer; A. Bali; E.H. Kadri and G. Debicki: Performance of date palm fibres reinforced plaster concrete, *International Journal of the Physical Sciences*, 7 (2012), no. 21.
- [30] Kwan, W.H.; Ramli, M. and Cheah, C.B.: Flexural strength and impact resistance study of fibre reinforced concrete in simulated aggressive environment, *Construction and Building Materials*, 63 (2014), pp. 62–71.
- [31] Ramli: Influences of Short Discrete Fibers in High Strength Concrete with Very Coarse Sand, *American Journal of Applied Sciences*, 7 (2010), no. 12, pp. 1572–1578.
- [32] Dawood, E.T. and Ramli, M.: Evolution of Durable High-Strength Flowable Mortar Reinforced with Hybrid Fibers, *ISRN Civil Engineering*, 2012 (2012), pp. 1–10.
- [33] Okeola, A.; Abuodha, S. and Mwero, J.: Experimental Investigation of the Physical and Mechanical Properties of Sisal Fiber-Reinforced Concrete, *Fibers*, 6 (2018), no. 3, p. 53.
- [34] Filho, R.D.T. and Sanjuán, M.A.: Effect of low modulus sisal and polypropylene fibre on the free and restrained shrinkage of mortars at early age, *Cement and Concrete Research*, 29 (1999), no. 10, pp. 1597–1604.
- [35] P. Mahakavi & R. Chithra. (2019). Impact resistance, microstructures and digital image processing on self-compacting concrete with hooked end and crimped steel fiber. *Construction and Building Materials*. Volume (220).pp 651-666.
- [36] H. Suiffi, A. E. Maliki, O. Cherkaoui, et M. Dalal, « Influence de fibres en polypropylene sur la ductilite d’un béton de sable », 2019 ,p. 10.
- [37] N. P 18-540, Granulats: Définitions, conformités et spécifications. Afnor Paris, 1997.
- [38] EN, N.: 196-6, Methods of testing cement-Part, 6 (2010).

- [39] EN, N.: 196-3: Méthodes d'essais des ciments–Partie 3: Détermination du temps de prise et de la stabilité (March), Comité Européen de Normalisation (CEN), AFNOR, Paris, France, (2006).
- [40] ASTM: ASTM C642: Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete, ASTM Philadelphia^ ePA PA, 2001.
- [41] Boukendakdji, O.; Kadri, E.-H. and Kenai, S.: Effects of granulated blast furnace slag and superplasticizer type on the fresh properties and compressive strength of self-compacting
- [42] EN, N.: 933-1. Mai 2012, Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats, Partie, 1 (no date). concrete, Cement and Concrete Composites, 34 (2012), no. 4, pp. 583–590.
- [43] B. EN, “12617-4. Products and systems for the protection and repair of concrete structures-test methods-Part 4: Determination of shrinkage and expansion,” Br Stand Inst. London, 2000.
- [44] B. EN, “1015-18 (2002) Methods of test for mortar for masonry,” Determination of water absorption coefficient due to capillary action of hardened mortar, 2002.
- [45] BS EN 12504-4, Testing concrete: part 4 : determination of ultrasonic pulse velocity., British Standards Institution. London, 2004.
- [46] Page, J. "Formulation et caractérisation d'un composite cimentaire biofibré pour des procédés de construction préfabriquée", Thèse de doctorat, Université de Caen Normandie, (2017), p. 241
- [47] Raouf. M « The influence of fiber types on some properties of self-compacted mortar» Université Baghdad, Iraq,2021.
- [48] Amran, M., Fediuk, R., Abdelgader, H. S., Murali, G., Ozbakkaloglu, T., Lee, Y. H., & Lee, Y. Y. (2022). Fiber-reinforced alkali-activated concrete: A review. *Journal of Building Engineering*, 45, 103638.
- [49] Afroughsabet, V., Biolzi, L., & Monteiro, P. J. (2018). The effect of steel and polypropylene fibers on the chloride diffusivity and drying shrinkage of high-strength concrete. *Composites Part B: Engineering*, 139, 84-96.
- [50] Mokhtari, A. (2006). Influence des ajouts de fines minérales sur les performances mécaniques des bétons renforcés de fibres végétales de palmier dattier (Doctoral dissertation, Ouargla, Université Kasdi Merbah. Faculté des Sciences et Sciences de L'ingénieur).

## *Références bibliographiques*

---

- [51] Ślosarczyk, A. (2012). The influence of non-metallic and metallic fibres on the mechanical properties of cement mortars. In *Brittle Matrix Composites 10* (pp. 167-176).
- [52] Woodhead Publishing. study of fibre reinforced concrete in simulated aggressive environment, *Construction and Building Materials*, 63 (2014), pp. 62–71