

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique.

جامعة محمد الصديق بن يحيى - جيجل

Université Med-Seddik Benyahia-Jijel

Faculté Des Sciences et Technologies

Département De génie civil et hydraulique



كلية العلوم والتكنولوجيا

قسم الهندسة المدنية والهندسة المائية

Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme : De MASTER ACADEMIQUE

Filière : OUVRAGES D'ART

Option : TRAVAUX PUBLICS

Thème :

**Effets des fibres végétales sur les propriétés physico-mécaniques
du béton**

Encadré par :

M^{me} : BOUNAR SAIDAT Fatma

Présenté par :

- BOUCHEMELLA Mehdi

- YAROU Noureddine

Promotion 2019

Remerciement

Nous tenons tout d'abord à remercier dieu le tout puissant pour nous avoir donné le courage, la force et la volonté pour réaliser ce travail. Sans sa miséricorde, ce travail n'aurait pas abouti.

Avant de présenter ce travail, nous tenons à remercier tous ceux qui, d'une manière ou d'une autre, ont contribué à sa réalisation :

*Que notre encadreur M^m. **BOUNAR. F**, trouve ici notre profonde reconnaissance et notre profonde estime pour avoir cru en notre capacité, pour sa profonde confiance et son attention durant toute la période de réalisation de ce travail. Ses conseils et ses orientations sont gravés dans notre mémoire et guideront à jamais notre prochain pas dans la poursuite de notre carrière.*

Merci, encore merci, bien que ces mots ne sont pas suffisants pour vous remercier.

Nous voudrions exprimer notre gratitude à l'ensemble des membres du jury qui nous ont fait l'honneur d'examiner ce travail.

Nos remerciements s'adressent également à tous nos professeurs pour leurs générosités et la grande patience qu'ils ont eu malgré leurs charges académiques et professionnelles.

Nous tenons également à remercier tous ceux et celles qui nous ont aidés de près ou de loin dans la réalisation de ce travail et nous ont soutenu dans les moments difficiles.

Dédicace

A nos chers parents

Aucune dédicace ne saurait exprimer notre respect, et notre considération pour les sacrifices que vous avez consenti pour notre instruction et notre bien être. Nous vous remercions pour tout le soutien que vous nous avez porté.

Nous espérons que votre bénédiction nous accompagne toujours. Que ce modeste travail soit l'exaucement de vos vœux tant formulés, le fruit de vos innombrables sacrifices, bien que nous ne vous en acquitterons jamais assez. Puisse Dieu, le Très Haut, vous accorde santé, bonheur et longue vie et fait en sorte que nous ne vous décevrons jamais.

A nos chers frères et sœurs

En témoignage de notre affection fraternelle, de notre profonde tendresse et reconnaissance, nous vous souhaitons une vie pleine de bonheur et de succès et que Dieu, le tout puissant, vous protège et vous garde.

A nos chers amis

En souvenir de notre sincère et profonde amitié et des moments agréables que nous avons passés ensemble. Veuillez trouver dans ce travail l'expression de notre respect le plus profond et notre affection la plus sincère.

A tous ceux qui ont participé au développement de ce travail, à tous ceux que nous avons oublié de les mentionner.

Aux personnes qui nous ont toujours aidé et encouragé, qui étaient toujours à nos côtés, et qui nous ont accompagné durant notre chemin d'étude supérieure, nos aimables amis, collègues d'étude.

Résumé

Afin de valoriser les matériaux locaux, de contribuer à la réduction des coûts de construction, des fibres ont été utilisées pour renforcer la résistance mécanique à la compression. L'objectif principal de ce travail est l'étude de l'effet de l'incorporation des fibres végétale (lif de palmier de Jijel) sur les propriétés mécaniques (résistance à la compression) du BFV renforcée par ces fibres. L'étude s'est focalisée sur l'effet de fibre sur la résistance mécanique en compression de béton et l'effet de dosage en fibre en utilisant quatre teneurs en fibres (0.2, 0.4, 0.6 et 1 % avec SP) du poids du ciment. Les résultats indiquent qu'il y a une amélioration légère de la résistance à la compression des bétons avec 0,6% en fibres, mais pour le reste des cas étudiés, l'ajout de fibres a un effet inerte ou négatif sur la résistance à la compression.

Mot clés :

Béton de fibre végétale (BFV), fibres végétales, super-plastifiant(SP), résistance à la compression.

Abstract

In order to valorize local materials, to contribute to the reduction of construction costs, palm fibers have been used to reinforce the compressive strength. The main objective of this work is the study of the effect of the incorporation of vegetable fibers (Jijel palm lif) on the mechanical properties (compressive strength) of concrete reinforced by these fibers. The study focused on the fiber effect on the concrete compressive strength and the fiber dosing effect using four fiber contents (0.2, 0.4, 0.6 and 1% with SP) of the weight of cement. The results indicate that there is a slight improvement in the compressive strength of concretes with 0.6% fiber, but for the rest of the cases studied, the addition of fibers has an inert or negative effect on compressive strength.

Keywords:

Vegetable fiber concrete (BFV), vegetable fibers, superplasticizer (SP), compressive strength.

من أجل تثمين المواد المحلية، للمساهمة في خفض تكاليف البناء ، تم استخدام ألياف النخيل لتعزيز المقاومة الميكانيكية للضغط. الهدف الرئيسي من هذا العمل هو دراسة تأثير دمج الألياف النباتية (ليف جيجل) على الخواص الميكانيكية (القوة الانضغاطية) للخرسانة المسلحة بالألياف المعززة بهذه الألياف. ركزت الدراسة على تأثير الألياف على قوة الضغط الخراسانية وتأثير جرعات الألياف باستخدام أربعة محتويات من الألياف (0.2 ، 0.4 ، 0.6 ، و 1 ٪ مع الملدنات الفائقة) من وزن الألياف الاسمنت . تشير النتائج إلى وجود تحسن طفيف في قوة الضغط للخرسانة مع الألياف بنسبة 0.6 ٪ ، ولكن لبقية الحالات التي تمت دراستها ، فإن إضافة الألياف لها تأثير خامل أو سلبي على مقاومة ضغط .

الكلمات المفتاحية

الخرسانة المسلحة بالألياف ، الألياف النباتية ، الملدنات الفائقة ، قوة الضغط .

Liste des Tableaux

Tableau	pages
Chapitre I Généralité-matrice cimentaire	
Tableau I.1. Exigences mécaniques définies en termes de valeur caractéristiques.	07
Tableau I.2. Caractéristique mécanique des ciments courants.....	10
Tableau I.3. Composition chimique du gypse.....	11
Tableau I.4. Classe de béton en fonction de leur résistance.....	20
Chapitre II Le béton de fibre-généralité sur les fibres	
Tableau II.1. Caractéristiques et les propriétés spécifiques de fibres.	23
Chapitre III les fibres végétales	
Tableau III.1. Les caractéristiques physiques des fibres végétales les plus utilisées.....	33
Tableau III.2. Les caractéristiques physiques et mécaniques de quelques fibres végétales	34
Tableau III.3. la composition chimique de quelques fibres végétales (noix de Coco, sisal, jute et palmier dattier) reproduit selon.....	35
Tableau III.4. Principaux avantages et les inconvénients des fibres végétales.....	36
Chapitre IV Matériaux et Méthodes	
Tableau IV.1. Composition minéralogique de ciment.	47
Tableau IV.2. Propriétés chimiques du ciment utilisé.	48
Tableau IV.3. Propriétés physique du ciment utilisé.	48
Tableau IV.4. Propriétés chimiques du ciment utilisé.	48
Tableau IV.5. Caractéristiques de SP«POLYFLOWLRS 7200 » haut réducteur d'eau.	49
Tableau IV.6. Volume de super plastifiant par rapport un dosage de fibre.	49
Tableau IV.7. Analyse granulométrique de sable oued Zhour	51
Tableau IV.8. Analyse granulométrique de granulat de la carrière Chelghome.....	52
Tableau IV.9. Caractéristiques physiques de fibre utilisée.....	53
Tableau IV.10. Résultat d'absorption de fibre utilisée.	54
Tableau IV.11. Pourcentage des granulats.....	57
Tableau IV.12. Les masses des granulats.	58
Tableau IV.13. Masse des différents Constituants pour 1m ³ du béton.	59
Tableau IV.14. Masse des différents constituants pour 1m ³ du béton (S/G=0.66).	59
Tableau IV.15. Masse différent constituant 6L(10kg) du béton.	60
Tableau IV.16. Classe d'Affaissement selon la norme NF EN 206-1.	64

Chapitre V Résultat et interprétation

Tableau V.1. La masse volumique des différents bétons étudiés.	67
Tableau V.2. La résistance mécanique à la compression de BFV.	70
Tableau V.3. La résistance mécanique à la compression de BFV–différents dosages.	71
Tableau V.4. La résistance mécanique à la compression de BFV–différents dosages de SP...	72

Liste des figures

Figure	pages
Chapitre I Généralité-matrice cimentaire	
Figure I.1. Composition de ciment.....	05
Figure I.2. Cycle de fabrication du ciment.....	06
Figure I.3. Microphotographie d'un clinker.....	11
Figure I.4. Composition chimique du clinker.	13
Figure I.5. L'eau.....	14
Figure I.6. Gravier 3/8.....	16
Figure I.7. Gravier 8/15.....	16
Chapitre III Les fibres végétales	
Figure III.1. Classification des fibres végétales selon l'origine	33
Figure III.2. Différents constituants d'une fibre végétale.....	35
Figure III.3. Plante de chanvre et les fibres de chanvre.	37
Figure III.4. Plante du lin et les fibres de lin.....	38
Figure III.5. Plante et fibres naturelles de coton.	38
Figure III.6. Plante de l'abaca et fibres de l'abaca.	39
Figure III.7. Plante de kenaf avec ces fibres.	39
Figure III.8. Jute :(a) plante, (b) tisse, (c) fibre.....	40
Figure III.9. Fibre naturelles du sisal.	40
Figure III.10. Plante de Ramie et les fibres naturelles de la Ramie.	41
Figure III.11. Fibre naturelles de la plante du coco.....	41
Figure III.12. Palmier et les fibres de palmier dattier.	42
Figure III.13. La plante et les fibres d'Alfa.	42
Figure III.14. Morphologie du palmier dattier [15].....	43
Figure III.15. Schéma d'une palme de palmier dattier [15].	44
Figure III.16. Quelques déchets de palmerai.....	44
Figure III.17. Variation de la résistance à la compression en fonction du pourcentage et de longueurs des fibres à base de CPJ.....	45
Figure III.18. Variation de la résistance à la flexion des longueurs et pourcentages des fibres dans la matrice cimentaire à base CPJ [16].	46

Chapitre IV Matériaux et Méthodes

Figure IV.1. Colonne des tamis.....	50
Figure IV.2. Courbe granulométrique carrière Chelghoum [24].....	52
Figure IV.3. Forme de fibre utilisée (Lif de palmier dattier).	53
Figure IV.4. Essai d'absorption des fibres.	54
Figure IV.5. Abaque permettant la détermination le dosage en ciment.	56
Figure IV.6. Eprouvette utilisée.	60
Figure IV.7. Malaxeur utilisé.	61
Figure IV.8. Confection des éprouvettes pour l'essai de compression.	61
Figure IV.9. Conservation des éprouvettes.	62
Figure IV.10. Equipement nécessaire de l'affaissement.	63
Figure IV.11. Presse hydraulique.	65

Chapitre V Résultat et interprétation

Figure V.1. Amélioration de l'affaissement en présence du SP.....	69
Figure V.2. Effet de lif sur la résistance à la compression au cours du temps.	70
Figure V.3. Effet de SP en présence de lif sur la résistance à la compression au cours du temps.	71
Figure V.4. Effet de SP en présence de lif sur la résistance à la compression par rapport au béton témoin au cours du temps.	72
Figure V.5. Effet de SP en présence de lif sur la résistance à la compression par rapport au béton BFV 0,6% au cours du temps.	73

LISTE DES ABREVIATIONS

BF	Béton Fibre.
BFV	Béton Fibre Végétale.
SP	Super-plastifiant.
BO	Béton Ordinaire.
CPJ	Ciment Portland Compose.

Introduction générale

INTRODUCTION GENERALE

L'Algérie est un des pays qui disposent d'extraordinaires ressources en fibres végétales (de palmier, Alfa, Cotton ...), malheureusement, leur valorisation dans les domaines pratiques, entre autre, dans les matériaux de construction est encore peu exploitée. L'utilisation des fibres de palmier dattier dans le béton s'est avéré comme une solution avantageuse, vu son abondance et ses impacts socioéconomique et environnemental.

L'incorporation des fibres végétales dans le béton a un avenir promoteur est spécialement à cause du problème que pose actuellement l'utilisation des fibres d'amiante et d'acier sur la santé humaine.

La caractérisation de ce nouveau matériau composite nécessite alors, la multiplication des recherches et des essais, ainsi que le développement de nouveaux procédés d'expérimentation.

Actuellement, la fabrication d'éléments de construction en béton de fibre de palmier dattier demeure artisanale. Cependant, les procédés modernes de fabrication et l'amélioration des connaissances de leurs comportements mécaniques et physiques doivent pouvoir contribuer à l'amélioration de leurs performances.

Dans ce cadre, le principal objectif de ce travail est de valoriser l'utilisation d'un matériau de construction, le lif de palmier à Jijel, à impact environnemental limité dans le béton, et étudier l'effet de l'incorporation des fibres végétale (lif de palmier de Jijel) dans le béton sur les propriétés mécaniques (résistance à la compression) du BFV renforcée par ces fibres.

Le travail initié dans le cadre de mémoire, Il consiste à caractériser expérimentalement à l'état frais (affaissement) et à l'état durci (résistance mécanique à la compression) à l'échelle de béton, d'identifier l'effet de fibre végétale et son dosage sur ces propriétés.

Pour réaliser ce travail, une recherche bibliographique est nécessaire sur (la matrice cimentaire, le béton fibré et l'importance d'utiliser les fibres végétales dans la matrice cimentaire). Cette recherche bibliographique est présenté en **chapitre 1, chapitre 2 et chapitre 3.**

En suite, **le chapitre 4** présente un protocole proposé des essais identiques pour faciliter la comparaison entre les mélanges et les descriptions des différents matériaux utilisés (ciment, granulats et superplastifiant, fibre végétale),

INTRODUCTION GENERALE

A la fin, **le chapitre 5** présente l'ensemble des résultats obtenus lors de travail expérimentale des différents mélanges en fonction des dosages en lif de palmier, en absence et présence de superplastifiant. Ce chapitre contient aussi les observations et les interprétations des résultats obtenus.

Chapitre I

Généralité-Matrice cimentaire

1. Introduction

Le ciment est un matériau de base dans les secteurs du bâtiment et du génie civil. Il est utilisé dans la fabrication du béton, qui est le deuxième matériau le plus utilisé sur la planète.

Le matériau béton, est devenu irremplaçable dans le domaine de la construction, pour des raisons économiques et techniques. Simple en apparence, il est en réalité très complexe, avec une diversité d'applications et de méthodes de formulations. C'est le matériau le plus utilisé au monde : environ 7 milliards de mètres cubes de béton sont mis en œuvre annuellement.

La qualité et le potentiel du matériau béton dans la structure dépend bien sûr, des matériaux de base qui entrent dans la formulation mais également des opérations de :

Malaxage, mise en œuvre, vibration et cure (protection contre la dessiccation). Il s'agit de déterminer la meilleure qualité du béton qu'on puisse obtenir.

Pour ne citer que la résistance à la compression du béton qui reste, du point de vue de l'ingénieur, la propriété la plus importante du matériau, si l'on exclut les indicateurs de durabilité, nous allons examiner ci-après les différents facteurs ayant une influence sur cette résistance, et sur lesquels on pourra compter pour l'amélioration de la qualité du béton [1].

2. Historique

L'histoire du béton montre que sa technique, bien fixée empiriquement par les Romains, avec la chaux grasse et la pouzzolane, a évolué seulement au 19ème siècle, après l'apparition des chaux hydrauliques et des ciments.

L'ingénieur Bélidor, auteur de l'architecture hydraulique (1737), étudia la composition du béton et introduisit le mot béton dans son sens actuel.

L'invention de la chaux hydraulique par Louis Vicat en 1817, celle du ciment Portland par Aspidine en Ecosse en 1824 et l'installation des premiers fours par Pavin de Lafarge au Teil en France en 1830 préparent l'avènement du béton.

A l'origine, le béton était constitué d'un mélange de trois matériaux : le ciment, les granulats et l'eau. Dans la plupart des cas, le ciment était du ciment Portland obtenu par mélange homogène d'argile et de calcaire, ou d'autres matériaux contenant de la chaux, de la silice, de l'alumine et de l'oxyde de fer, cuit à la température de clinkérisation, puis broyés.

Par la suite, de petites quantités d'adjuvants chimiques ont été ajoutées au mélange afin d'améliorer certaines des propriétés du béton à l'état frais ou durci. Plus tard, d'autres matériaux de nature inorganique ont été utilisés dans le béton, pour des raisons économiques, dans la plupart des cas. Ces substances inorganiques sont moins coûteuses que le ciment portland en raison de leur disponibilité à l'état naturel [2].

3. Les composants d'un béton

Un béton est constitué de granulats (gravillons + sable), de ciment et d'eau. Le mélange ciment/eau forme une pâte ou colle qui durcit. La pâte de ciment et le sable constituent le mortier. Celui-ci se lie avec les gravillons pour former un conglomerat solide. Les adjuvants et les additions servent à améliorer certaines caractéristiques du béton frais ou durci.

Le gravier et la pierre concassée sont les granulats les plus utilisés. Pour certains types de béton (béton léger, lourd, isolant...) ils sont parfois remplacés totalement ou partiellement par d'autres granulats, dits artificiels. Afin d'économiser les granulats naturels, des granulats provenant de débris de construction sont également utilisés.

Les 'caractéristiques intrinsèques' sont liées à la nature du matériau exploité : résistance à la fragmentation, résistance à l'usure, résistance au polissage.

Les caractéristiques géométriques sont des caractéristiques de fabrication. La forme des granulats a une influence importante sur l'ouvrabilité et la stabilité (résistance à la ségrégation) du mélange, ainsi que sur la quantité nécessaire de mortier et donc de ciment.

L'utilisation de ces éléments fins est toujours combinée à l'emploi de super-plastifiants pouvant réduire ainsi la quantité d'eau nécessaire à l'atteinte d'une fluidité suffisante. Le béton est donc un matériau hétérogène dont les constituants présentent des caractéristiques physico-chimiques et mécaniques différentes et dans le quels chacun de ses composants joue un rôle bien précis dans le mélange [3].

3.1. Le ciment

Le ciment est un liant hydraulique. C'est un matériau anhydre finement broyé qui, par un simple mélange avec l'eau, développe des hydrates dont l'imbrication rigidifie le matériau granulaire non cohésif de départ en matériau cohésif présentant des propriétés mécaniques élevées.

D'un point de vue minéralogique, le ciment peut être définie comme un mélange d'oxyde basique, CaO noté C, et d'oxydes acides ou amphotères comme SiO₂, noté S, AL₂O₃, noté A, ou Fe₂O₃, noté F, en notation cimentaire [4].



Figure I.1. Composition de ciment.

3.1.1. Principe de fabrication des ciments

Le ciment est fabriqué à partir de calcaire et d'argile : 80% + 20% respectivement. Le ciment est fabriqué (par voie sèche) selon le processus suivant :

- Extraction de matière première de la carrière.
- Concassage primaire de la matière première.
- Concassage secondaire de la matière première en taille plus petite.
- Broyage de la matière concassée.
- dosage et homogénéisation de la farine crue (matière broyée).
- Phase de préchauffage de la farine crue (et précarisation) à 850° C, puis la cuisson dans un four rotatif incliné à une température généralement de 1450° C. le produit sortant du four s'appelle le clinker.
- Broyage du mélange : clinker + gypse (≈5%) + ajouts éventuels.
- Le produit fini (ciment) est alors prêt pour être expédié en sacs, en vrac.

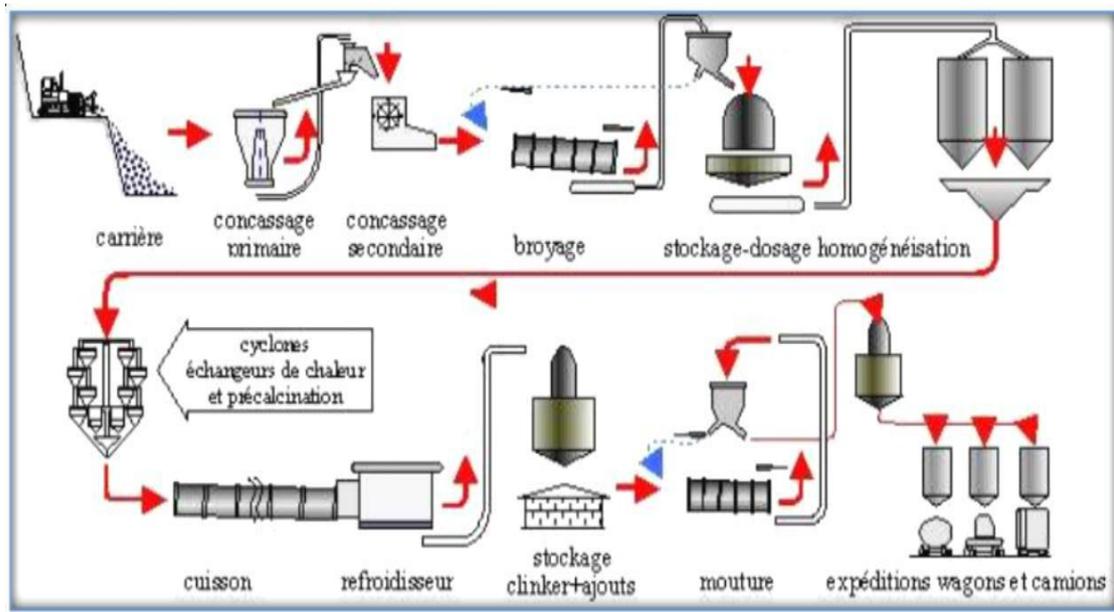


Figure I.2. Cycle de fabrication du ciment.

3.1.2. Types de ciments

Il existe différents types de ciments sur le marché, qui se distinguent par leurs relations avec les propriétés du béton. De ce fait, le choix du type de ciment et son dosage dépendent à la fois des performances recherchées (résistance mécanique, résistance aux agents agressifs) et de la nature des autres composants.

3.1.3. Classification des ciments suivant les résistances à la compression

La norme européenne NF EN 197-1 [1] classe les ciments courant d'après leur résistance à la compression (résistance normale) déterminée conformément à la norme EN 196-1, mesurée à 28 jours en six classes de résistance (Tableau I.1) [5].

Tableau I.1. Exigences mécaniques définies en termes de valeur caractéristiques.

Classe de résistance	Résistance à la compression (MPa)			
	Résistance à court terme		Résistance courante	
	2 jours	7 jours	28 jours	
32,5 N	—	> 16,0	> 32,5	< 52,5
32,5 R	> 10,0	—		
42,5 N	> 10,0	—	> 42,5	< 62,5
42,5 R	> 20,0	—		
52,5 N	> 20,0	—	> 52,5	
52,5 R	> 30,0	—		

3.1.4. Caractéristiques du ciment

3.1.4.1. Caractéristiques physico-chimiques

Comme cela a été étudié précédemment, le ciment est essentiellement constitué de :

- Silicate tricalcique : C_3S ;
- Silicate bicalcique : C_2S ;
- Aluminate tricalcique : C_3A ;
- Ferro-Aluminate tetracalcique : C_4AF .

Une fois la poudre de ciment mélangé à l'eau, les réactions d'hydratation se développent, il se produit alors une cristallisation qui aboutit à un nouveau système de constituants hydrates avec formation de cristaux en aiguilles plus ou moins enchevêtrées produisant la prise. Les réactions chimiques d'hydratation s'accompagnent d'un dégagement de chaleur plus ou moins important selon le ciment et la rapidité de prise.

a. Indice d'hydraulicité

L'indice d'hydraulicité ou indice de Vicat est le rapport de la fraction acide du ciment à la fraction basique :

$$I = \frac{\text{Fraction acide} = SiO_2 + Al_2O_3}{\text{Fraction basique} = CaO + MgO}$$

La résistance chimique des ciments est d'autant meilleure que leur indice d'hydraulicité est plus élevé :

- Quand $I > 0,5$, le ciment est dit basique (Portland) ;
- Quand $I < 0,5$, le ciment est dit neutre (riche en laitier) ;

- Quand $I \neq 1$, le ciment est dit acide (conventionnellement), ce sont ceux qui font prise en mettant en liberté non de la chaux mais de l'alumine (ciment alumineux).

Actuellement on préconise les règles suivantes :

$$1,40 < \text{CaO} < 1,45 \text{SiO}_2$$

$$0,45 < \text{Al}_2\text{O}_3 < 0,50 \text{SiO}_2$$

b. Prise

Le phénomène de prise, qui s'accompagne d'un dégagement de chaleur plus ou moins important, est lié à de nombreux paramètres :

- le type du ciment, certains d'entre eux ayant des temps de prise beaucoup plus courts que d'autres dans les mêmes conditions d'ambiance ;
- la finesse de mouture, le début de prise étant d'autant plus rapide que la finesse de mouture est grande ;
- la température ambiante, la prise étant stoppée à 0 °C, alors qu'elle est très accélérée dès que la température dépasse 30°C ;
- la présence de matières organiques dans l'eau ;

L'excès d'eau de gâchage qui agit alors comme retardateur.

La norme spécifie, suivant les ciments, un temps de prise minimal de :

- 1 h 30 pour les ciments des classes 32,5 et 32,5 R ;
- 1 h pour les ciments des classes 42,5 - 42,5 R - 52,5 - 52,5 R.

D'une façon générale les temps de prise sont supérieurs à ces valeurs minimales, l'ordre de grandeur étant de 2 h 30 à 3 h 30 pour la grande majorité des ciments, ces valeurs s'entendant pour une température ambiante de 20 °C.

c. Durcissement

Le durcissement est l'ensemble des phénomènes physico-chimiques transformant après la prise, le système Ciment – Eau en une masse solide résistant aux efforts mécaniques. Il y a enchevêtrement des cristaux, ce qui donne à la pâte une adhésion et une dureté, c'est le durcissement rapide, on choisit des ciments de classe élevée et de préférence de classe « R » c'est-à-dire ayant la caractéristique complémentaire. « Rapide ». Il est également possible d'utiliser du ciment alumineux fondu CA, qui après quelques jours a atteint la quasi-totalité de sa résistance [6].

d. Chaleur d'hydratation

La dissolution des différents constituants est exothermique et, selon leur pourcentage relatif, le dégagement de chaleur est donc plus au moins important. Suivant le type de ciment, cette chaleur est comprise à 12h, approximativement, entre 65j/g pour certain CPA-CEMI [6].

e. Finesse de mouture

La finesse de mouture, également appelée finesse Blaine, exprimée en cm^2/g , représente la surface spécifique ou surface développée d'une masse de 1kg de ciment. Elle est d'une façon générale, comprise entre 3000 et 3500 cm^2/g , certains ciments prompts naturels « CNP » ont une surface Blaine supérieure à 4500 cm^2/g [7].

Plus la finesse est grande, plus les résistances sont précoces et élevées, mais par contre, plus les risques de retrait et par conséquent de fissuration ainsi que d'évènement du ciment sont accrus.

f. Retrait

C'est la diminution du volume apparent de la matière. On le mesure sur des éprouvettes prismatiques de mortier de 4x4x16cm, conservées dans l'air à une température de 20°C et une hygrométrie de 50%. La norme impose les valeurs limites à 28 jours de:

- 800 $\mu\text{m}/\text{m}$ pour les ciments portland CPA-CEM I et CPJ-CEM II de la classe 32.5.
- 1000 $\mu\text{m}/\text{m}$ pour des types de ciment identiques mais de classes 32.5R-42.5 et 42.5R [6].

g. Expansion

Les causes possibles de l'expansion proviennent de l'hydratation des oxydes de calcium ou de magnésium qui peuvent contenir certains ciments sous forme de chaux ou de magnésie libre.

Les ciments doivent être stables, car les risques d'expansion dans le temps peuvent provoquer des désordres importants par dislocation des maçonneries [6].

h. Gonflement

Bien que non normalisé, il est utile de rappeler qu'alors qu'il se rétracte dans l'air, le ciment augmente de volume lorsqu'il est immergé dans l'eau, sa variation dimensionnelle étant environ 1/10ème de celle constatée dans l'air [6].

3.1.4.2. Caractéristiques mécaniques

Les ciments courants sont classés en fonction de leurs résistances mécaniques à la compression exprimées en MPa à 28 jours, la norme spécifiant une limite inférieure et une limite supérieure dont les valeurs sont les suivantes (Tableau I.2).

Tableau I.2. Caractéristique mécanique des ciments courants [7].

Classe de ciment	Résistance à 2 jours (MPa)	Résistance minimale à 28 jours (MPa)	Résistance maximale à 28 jours (MPa)
32.5	-	≥ 32.5	≤ 52.5
32.5 R	≥ 13.5	≥ 32.5	≤ 52.5
42.5	≥ 12.5	≥ 42.5	≤ 62.5
42.5 R	≥ 20	≥ 42.5	≤ 62.5
52.5	≥ 20	≥ 52.5	-
52.5 R	≥ 30	≥ 52.5	-

3.1.5. Constituants principaux du ciment

A. Les additifs

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

B. Le gypse

Le gypse est la matière première utilisée pour la fabrication du ciment.

Cette roche minérale s'est formée il y a 40 millions d'années grâce à l'évaporation de l'eau de mer, Est une espèce minérale composée de sulfate di-hydraté de calcium de formule $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

Le gypse est le minerai qui permet de fabriquer le plâtre. Il entre aussi dans la composition des ciments.

Le **gypse** est constitué en couches épaisses et se trouve aujourd'hui enterrée sous terre. Ces couches de **gypse** sont séparées entre elles par d'autres masses rocheuses [8].

Tableau I.3. Composition chimique du gypse. [8]

composant	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	Cl-
%	10.05	2.99	1.55	26.90	3.86	0.41	0.05	30.33	0.007

C. Le clinker

Produit obtenue par mélange de matières premières naturelles de composition chimique adéquate. La préparation du cru consiste à mélanger de manière homogène du calcaire (80%) et des minéraux riches en silice et alumine (20%) : l'argile ou le kaolin .le cru et ensuite calciné à 1450°C pour former le clinker.

Les granules de clinker, d'un diamètre compris entre 5 et 40 mm, sont finement broyées avec addition de gypse (CaSO₄, 2H₂O de 3 à 5 % en masse) dont le rôle est de réguler la prise.

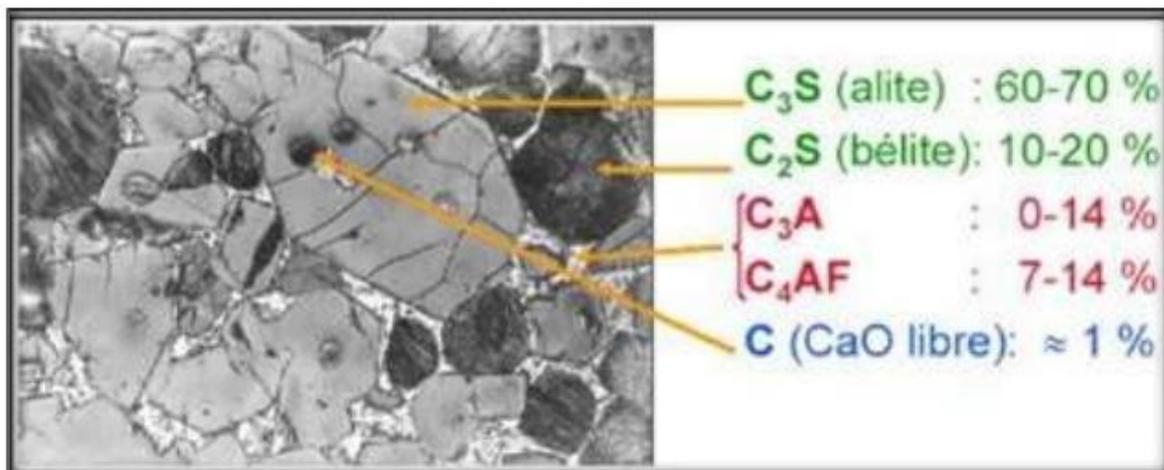


Figure 1.3. Microphotographie d'un clinker.

❖ Composition chimique du clinker

De la composition chimique des matières premières et de leurs proportions dans le mélange, on déduit la nature des éléments chimiques présents dans le ciment portland et leurs concentrations.

Le clinker portland comprend les oxydes suivant : CaO, SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MgO, TiO₂, Na₂O, K₂O, MnO₂.

- **CaO** : Il est lié avec SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, à l'état libre, il provoque une inégalité de changement de volume du ciment lors de l'hydratation (expansion).



La résistance du ciment augmente en cas d'augmentation du pourcentage de CaO lié, cependant, la stabilité chimique diminue en milieu agressif. La teneur de CaO est de 63% à 67% dans le clinker.

- **SiO₂** : Il réagit avec CaO en donnant les silicates de calcium; un pourcentage élevé donne beaucoup de C₂S parce qu'il réagit avec tout le CaO, dans ce cas le ciment durcie lentement, sa résistance augmente à long terme.

L'augmentation de C₂S donne une grande durabilité au ciment et surtout au milieu agressif, sa teneur est de 21% à 24%.

- **Al₂O₃** : Il contribue à la prise et au durcissement rapide du ciment, cependant, une haute teneur en Al₂O₃ donne un ciment très sensible à la corrosion sulfatée, sa teneur est de 4 à 7%.

- **Fe₂O₃** : Il joue le rôle de fondant, il diminue considérablement la température de cuisson du clinker, il contribue à l'augmentation de la stabilité chimique dans les eaux sulfatées, sa teneur est de 2.5% à 4%.

- **MgO** : Une quantité élevée en MgO à l'état libre se trouve sous forme de périclase, provoque l'augmentation de volume lors de l'hydratation, sa teneur est inférieure à 5%.

- **TiO₂** : Sa teneur est inférieure à 0.5%, il provient des argiles.

- **MnO₂**: Il fait partie du clinker au cas où le laitier de haut fourneau est utilisé comme matières secondaire, sa teneur est 1.5%.

- **P₂O₅** : Se trouve sous forme d'impureté dans la composition du clinker, à une teneur de 1 à 2%, il ralentit le processus de durcissement du ciment, sa teneur est de 0.2 à 0.3%.

- **Na₂O et K₂O**: Une partie des alcalis se volatilise lors de la cuisson, sa composition est de 0.5 à 1%. Les alcalis provoquent la diminution de la résistance du ciment, parce qu'ils ralentissent l'hydratation des principaux minéraux.

La silice, l'alumine et le fer donnent à la cuisson un caractère acide, contrairement à la chaux qui est plutôt basique.

Ces proportions permettent de prévoir les qualités ultérieures du ciment. Les oxydes dans le clinker doivent être liés en composés définis appelés minéraux (Figure I.4).

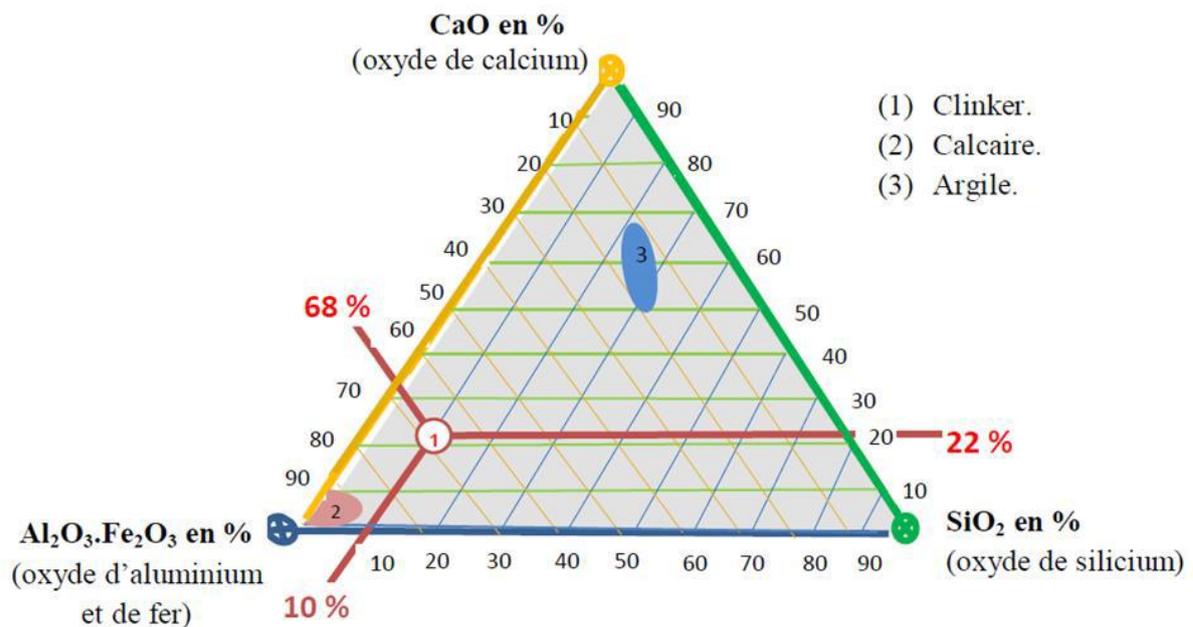


Figure I.4. Composition chimique du clinker.

❖ La Composition minéralogique

Divers composés chimiques se forment, dont les principaux sont :

- Le silicate tricalcique C₃S (alite) : 3CaO, SiO₂ [45 à 65 %] ;
- Le silicate bicalcique C₂S (bélite) : 2CaO, SiO₂ [10 à 30 %] ;
- L'aluminate tricalcique C₃A (célite) : 3CaO, Al₂O₃ [5 à 15 %] ;
- L'alumino-ferrite tétracalcique C₄AF (Aluminoferrite) : 4CaO, Al₂O₃, Fe₂O₃ [5 à 15 %].

Le clinker Portland est un matériau hydraulique qui doit être constitué d'au moins deux tiers, en masse, de silicates de calcium [(CaO)₃.SiO₂] et [(CaO)₂.SiO₂], la partie restante contenant de l'oxyde d'aluminium (Al₂O₃), de l'oxyde de fer (Fe₂O₃) et d'autres oxydes.

Parmi les quatre composants minéralogiques du clinker, ce sont surtout les silicates de calcium (C₃S et C₂S) qui génèrent les performances mécaniques, C₃A et C₄AF permettent surtout la fabrication du clinker à une température industriellement réalisable (± 1450 °C).

D. Le sulfate de calcium (Le gypse – CaSO₄)

Le sulfate de calcium est un corps composé chimique minéral anhydre, solide de structure ionique, formé simplement d'un anion sulfate et d'un cation de calcium, de formule chimique CaSO₄ et de masse molaire 136,14 g/mol.

Il correspond en réalité le plus souvent à un corps minéral naturel, nommé anhydrite, typique des évaporites, assez abondant, quoique caché car il se dégrade en gonflant à l'eau, en engendrant en surface le plus souvent un composé dihydraté, CaSO₄·2H₂O, minéral emblématique des

roches évaporites, encore plus abondant, connu par les minéralogistes ou géologues sous le nom de « gypse »². Il peut aussi former le plus souvent par transformation thermique un corps minéral hémihydraté, $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$, il s'agit de la basanite ou plus communément un des composés majeurs du « plâtre », poudre blanche obtenue par cuisson du gypse et pilage.

E. Les ajouts minéraux

Ces ajouts jouent le rôle suivant d'après leur composition ; ils se présentent principalement par de la silice amorphe qui réagit activement avec l'hydroxyde de chaux qui se forme lors de l'hydratation des minéraux faisant du clinker.

3.2. L'eau

Le dosage en eau est un facteur très important de la composition du béton, ou bien l'influence qu'il a sur la propriété du béton par les vides créés, lorsque l'eau s'élimine pour différentes raisons (évaporation, combinaison chimique, absorption par les granulats).

Avec E/C couramment utilisé de 0,5 on estime que la moitié de l'eau de gâchage sert à l'hydratation du ciment, l'autre moitié est eau de mouillage interstitielle qui contribue à la plasticité du béton requise pour sa mise en œuvre (figure I.5).



Figure I.5. L'eau.

3.3. Les adjuvants

Les adjuvants sont des produits chimiques de plus en plus courants lors de la fabrication du béton. Ajoutés à faible dose lors de la préparation du béton (les adjuvants représentent moins de 5% de la masse du béton), ces produits améliorent certaines caractéristiques de ce matériau (l'étanchéité ou le temps de prise par exemple).

Les différents types d'adjuvants qui existent vous permettront d'obtenir un béton avec les caractéristiques spécifiques que vous souhaitez lui donner.

Les principaux adjuvants sont les suivants :

-  Accélérateur de prise
-  Accélérateur de durcissement
-  Retardateur de prise
-  Plastifiant
-  Super-plastifiant
-  Entraîneur d'air
-  Pigments

Les adjuvants contribuent à maîtriser :

- ❖ des **caractéristiques finales** d'un **béton durable** en influençant :
 - ✓ sa résistance mécanique.
 - ✓ sa résistance aux chocs.
 - ✓ sa résistance à l'abrasion.
 - ✓ sa résistance au gel.
 - ✓ sa résistance chimique.
 - ✓ sa couleur et son esthétique.
 - ✓ son imperméabilité.
- ❖ des contraintes de mise en œuvre :
 - ✓ en optimisant les coûts de production,
 - ✓ en optimisant les cadences de rotation des coffrages, les cadences de manutention des pièces,
 - ✓ en optimisant les délais et difficultés d'exécution et de remise en service,
 - ✓ en optimisant les conditions d'application : température, humidité, immersion,
 - ✓ en améliorant les conditions de travail,
 - ✓ en respectant l'environnement.

3.4. Les granulats

Les granulats désignent un ensemble de grains minéraux d'origine naturelle ou artificielle utilisés pour la réalisation d'ouvrages de travaux publics et de bâtiments collectifs ou individuels. Les granulats sont notamment nécessaires pour la fabrication du béton, mais ils doivent répondre à des exigences de qualité et être associés à des liants en quantité suffisante.

Les granulats se situent dans l'une des 7 familles suivantes :

-  Fillers
-  Sablons

- ✚ Sables
- ✚ Graves
- ✚ Gravillons
- ✚ Ballast
- ✚ Enrochements



Figure I.6. Gravier 3/8.



Figure I.7. Gravier 8/15.

3.4.1. Catégories de granulats

On distingue principalement 2 catégories de granulats : les granulats naturels et les granulats artificiels.

a. Les granulats naturels

Les granulats naturels sont issus de gisements alluvionnaires ou de carrières. Les granulats alluvionnaires sont calcaires, silico-calcaires et siliceux. Les granulats de carrière sont obtenus par un concassage permettant de diminuer la taille des éléments. Il existe plusieurs types de concasseurs : concasseurs à percussion, concasseurs giratoires, concasseurs à mâchoires, concasseurs à projection centrifuge.

Le concassage est suivi d'opérations de triage et de lavage aboutissant à l'obtention de granulats aux caractéristiques variées.

b. Les granulats artificiels

Quant aux granulats artificiels, ces granulats sont d'origine industrielle. Ce sont principalement des granulats de laitier. Ces granulats correspondent aux déchets obtenus lors de la fonte des métaux.

3.4.2. Classification des granulats

Les granulats sont classés en fonction de leur nature diamètre en mm. Pour ce faire, deux paramètres sont pris en considération : le plus petit diamètre et le plus grand.

La Norme NFP18-101 a déterminé **5 classes granulaires** :

- ✓ les fines (0/D avec $D \leq 0,08$ mm).
- ✓ les sables (0/D avec $D \leq 6,3$ mm).
- ✓ les gravillons (d/D avec $d \geq 2$ mm et $D \leq 31,5$ mm).
- ✓ les cailloux (d/D avec $d \geq 20$ mm et $D \leq 80$ mm).
- ✓ les graves (d/D avec $d \geq 6,3$ mm et $D \leq 80$ mm).

Le béton peut être fabriqué, soit sur chantier, soit dans des centrales à béton, soit dans des usines de préfabrication.

Le béton peut être :

- ✓ Non armé.
- ✓ Armé (béton armé).
- ✓ Précontraint (béton -précontraint) ou fibres.

La formulation de la majorité des bétons est généralement établie pour atteindre trois objectifs principaux :

- ✚ Obtenir une résistance mécanique acceptable ;
- ✚ Obtenir un bon écoulement ;
- ✚ Limiter les effets secondaires.

3.5. Les sables

Le sable est un élément essentiel entrant dans la composition du béton. Son utilisation permet d'assurer une continuité granulaire nécessaire entre le ciment et le gravier pour une meilleure cohésion du béton.

Le sable est un matériau granulaire composé de particules (quartz, micas, feldspaths) issues de la dégradation de roches. La dimension des grains de sable est comprise entre $1/16^e$ de millimètre et 2 millimètres.

a. Sables naturels

Les sables naturels peuvent être issus des rivières. Il se caractérise par sa forme arrondie et sa dureté, et il provient de l'action de l'eau sur les rochers.

❖ type de sable naturel

- ✓ sable des rivières
- ✓ sable de carrière
- ✓ sable de mer
- ✓ sable de feuilles

b. Sables artificiels

Les sables artificiels comprennent les sables résultant du concassage de blocs de laitier des hauts-fourneaux, le sable concassé obtenu de façon identique mais sans filler, le laitier granulé ayant subi un refroidissement rapide, et le laitier broyé obtenu à partir du concassage du laitier granulé ; Le diamètre maximum des grains de sable utilisé pour les mortiers est :

- ✚ Extra-fins : jusqu'à 0.8mm (en tamis), soit 1 mm (en passoire).
- ✚ Fins : jusqu'à 1.6 mm.
- ✚ Moyens : jusqu'à 3.15 mm.
- ✚ Gros : jusqu'à 5 mm.

3.5.1. Classification des sables selon leurs provenances

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

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

Les sables retenus sont ceux issus des dunes continentales. Ces dunes sont constituées des nombreux amas de sables fins accumulés dans certaines régions spécifiques du Sahara.

4. Classification des bétons

Le béton fait partie de notre cadre de vie. il a mérité sa place par sa caractéristique de résistance, ses propriétés en matière thermique, sa résistance au feu, son isolation phonique, son aptitude au vieillissement, ainsi que par la diversité qu'il permet dans les formes, les couleurs et les aspects. Le béton utilisé dans le bâtiment, ainsi que dans les travaux publics comprend plusieurs catégories.

En général le béton peut être classé en 4 groupes, selon la masse volumique:

- ✚ Béton très lourd: $> 2500 \text{ kg/m}^3$.
- ✚ Béton lourd (béton courant): $1800 - 2500 \text{ kg/m}^3$.
- ✚ Béton léger: $500 - 1800 \text{ kg/m}^3$.
- ✚ Béton très léger: $< 500 \text{ kg/m}^3$.

Béton de ciment (le ciment), Béton silicate (la chaux), Béton de gypse (le gypse) et Béton asphalte.

Le béton peut varier en fonction de la nature des granulats, des adjuvants, des colorants, des traitements de surface et peuvent ainsi s'adapter aux exigences de chaque réalisation, par ses performances et par son aspect.

4.1. Les bétons courants

Ce sont les plus utilisés, aussi bien dans le bâtiment qu'en travaux publics. Ils présentent une masse volumique de 2003 kg/m^3 environ. Ils peuvent être armés ou non, et lorsqu'ils sont très sollicités en flexion, précontraints.

4.2. Les bétons lourds

Dont les masses volumiques peuvent atteindre 6000 kg/m^3 servent, entre autres, pour la protection contre les rayons radioactifs.

4.3. Les bétons de granulats légers

Dont la résistance peut être élevée, sont employés dans le bâtiment, pour les plates-formes offshore ou les ponts.

4.4. Les bétons cellulaires (bétons très légers)

Dont les masses volumiques sont inférieures de 500 kg/m^3 . Ils sont utilisés dans le bâtiment, pour répondre aux problèmes d'isolation.

4.5. Les bétons de fibres

Correspondent à des usages très variés: dallages, éléments décoratifs, mobilier urbain. La norme ENV 206 classe les bétons en fonction de leur résistance caractéristique à la compression conformément au tableau I.4. Dans ce tableau $f_{ck,cyl}$ est la résistance caractéristique

mesurée sur cylindres (c'est cette résistance qui correspond à la résistance caractéristique à laquelle il est fait référence dans l'Euro code 2) ; $f_{ck\ cube}$ est la résistance caractéristique mesurée sur cubes. Les valeurs soulignées sont les valeurs recommandées.

Tableau I.4. Classe de béton en fonction de leur résistance.

Classe	<u>C12/15</u>	<u>C16/20</u>	<u>C20/25</u>	<u>C25/30</u>	<u>C30/37</u>	<u>C35/45</u>	<u>C40/50</u>	<u>C45/55</u>	<u>C50/60</u>
$f_{ck\ cyl}$ (Mpa)	12	16	20	25	30	35	40	45	50
$f_{ck\ cube}$ (Mpa)	15	20	25	30	37	45	50	55	60

5. Principaux Avantages et inconvénients du béton

5.1. Avantages du béton

- ✓ Il est peu couteux, facile à fabriquer et nécessite peu d'entretien.
- ✓ Il épouse toutes les formes qui lui sont donnés, des modificateurs et adaptations des projets sur le chantier sont faciles à effectuer.
- ✓ Il devient solide comme la pierre. Correctement utilisé, il dure des millénaires .il résiste bien au feu et aux actions mécaniques usuelles.
- ✓ Associé à des armatures en acier, il acquiert les propriétés nouvelles qui en font un matériau de construction aux possibilités immenses (béton armé ; béton précontraint).
- ✓ Il exige peu d'énergie pour sa fabrication.
- ✓ excellente isolation aux vibrations et aux sons.

5.2. Inconvénients du béton

- ✓ Son poids propre élevé (densité de 2.4 environ peut être réduite à1.8 dans le cas des bétons légers de structure et à moins de 1.0 dans le cas de béton léger d'isolation).
- ✓ Sa faible isolation thermique (elle peut être facilement améliorée en ajoutant une couche de produit isolant ou en utilisant des bétons légers spéciaux).
- ✓ Le coût élevé entraîné par la destruction du béton en cas de modification d'un ouvrage

Chapitre II

Le Béton de fibre-généralité sur les fibres

1. Définition de béton de fibres

Un béton de fibres est un béton dans lequel sont incorporées des fibres. À la différence des armatures traditionnelles, les fibres sont réparties dans la masse du béton, elles permettent de constituer un matériau qui présente un comportement plus homogène. Les fibres, selon leur nature ont un comportement contrainte-déformation très différent. Elles peuvent, sous certaines conditions et pour certaines applications ou procédés, remplacer les armatures traditionnelles passives. Les fibres présentent des caractéristiques géométriques et mécaniques intéressantes selon leur nature. Chacune a une influence particulière sur les lois de comportement mécanique du béton, ce qui se traduit par des applications adaptées et spécifiques.

2. Définition des fibres

Le terme fibre se rapporte à un corps solide flexible. La fibre est un composant filiforme (rapport longueur /diamètres est très élevé : 25-1500) de faible longueur (5- 60mm) et dont l'épaisseur est comprise entre 0.005-0.75mm les fibres sont disponibles sous différentes formes (rondes, plates, gaufrées) d'origine minérale, organique ou métallique, les fibres sont courtes et dispersées dans toute la masse de béton [9].

3. Les différents types de fibres

On distingue trois grandes familles de fibres :

- ✓ Les fibres métalliques :
 - ✚ Aciers.
 - ✚ Inox.
 - ✚ Font.
- ✓ Les fibres organiques :
 - ✚ Polypropylène.
 - ✚ Polyamide.
 - ✚ Acrylique.
 - ✚ mélange polypropylène/polyéthylène.
 - ✚ kevlar.
 - ✚ aramide.
 - ✚ carbone.
- ✓ Les fibres minérales :
 - ✚ Verre.

- ✚ Wollastonite.
- ✚ Basalte.
- ✚ Mica.

Chaque type de fibre présente des caractéristiques et des propriétés qui lui sont propre : Dimensions (diamètre, longueur...), forme (lisse, rugueuse, plate, ondulée, crantée...), Résistance à la traction et adhérence au béton, qui procurent un comportement mécanique spécifique aux structures renforcées de fibre.

3.1 Les fibres métalliques

Les fibres métalliques caractérisées par un module d'élasticité élevé, offrent au béton, une meilleure résistance à la traction, au choc et améliore sa ductilité en augmentant son pouvoir de résister aux déformations dues à la rupture, de même donne une ténacité appréciable, leur forme et leur dimensions améliorent leur ancrage et leur adhérence (fibres, copeaux, fibres tréfilées, ondulées, déformées aux extrémités).

3.2 Les fibres de fonte amorphe

Ces types de fibres sont obtenus par refroidissement brusque d'un alliage métallique à base de fer, sont constituées de petits rubans de 3mm de largeur, et contribuent à la limitation des fissures sous chocs.

3.3 Les fibres de verre

Sous leur forme habituelle, elles sont caractérisées par une très grande fragilité aux chocs attribuée à une sensibilité élevée à la fissuration, sous la forme de fibre de faible diamètres, le verre perd ce caractère acquière de bonnes caractéristique mécanique et sont utilisées pour fabriquer des éléments de faible épaisseurs, avec des matrices de pâte ou mortier ou de micro béton.

3.4 Les fibres de polypropylènes

Sont des produits d'origine pétrolifère, découverts en 1954, ces matériau de synthèse ont connu une extension dans l'industrie textile ou ils apportent les avantages suivants :

- ✚ Disponibilité à prix relativement faible.
- ✚ Résistance aux attaques en milieux alcalins et corrosifs.
- ✚ Augmentation notable de la résistance aux chocs.

- ✚ Limite l'ouverture des fissures.

Ces fibres sont fréquemment utilisées dans les bâtiments, en particulier dans réalisation des panneaux décoratifs, revêtement de façade de tuyaux et pieux.

4. Les caractéristiques et les propriétés des fibres

Chaque famille de fibres présente des caractéristiques et des propriétés spécifiques. Le tableau II.1 résume les caractéristiques et les propriétés spécifiques de ces familles.

Tableau II.1. Caractéristiques et les propriétés spécifiques de fibres.

	Masse volumique (g/cm ³)	Diamètre moyen (µm)	Résistance à la traction (N/mm ²)	Module d'élasticité (Gpa)	Allongement à la rupture (%)
Fibres métalliques	7,85	50-1000	1000-2500	150-200	3-4
Fibres de verre	2,6	9-15	2000-3000	80	2-3,5
Fibres polypropylène	0,9	>4	500-750	5-10	10-20

5. Le rôle des fibres

Les fibres ont généralement pour rôle de renforcer ou remplacer l'action des armatures traditionnelles en s'opposant à la propagation des microfissures. Elles peuvent également dans certaines applications remplacer les armatures passives. Selon les fibres utilisées (forme et nature) et les ouvrages auxquels elles sont incorporées, ce rôle se traduit par des améliorations relatives à :

- ✚ la cohésion du béton frais.
- ✚ la déformabilité avant rupture.
- ✚ la résistance à la traction par flexion.
- ✚ la ductilité et la résistance post fissuration.
- ✚ la résistance aux chocs.

- ✚ la résistance à la fatigue.
- ✚ la résistance à l'usure.
- ✚ la résistance mécanique du béton aux jeunes âges.
- ✚ la réduction des conséquences du retrait par effet de couture des microfissures.
- ✚ la tenue au feu.
- ✚ la résistance à l'abrasion.

6. Les atouts des fibres

Les fibres permettent de mieux mobiliser la résistance intrinsèque du béton, de réaliser des pièces minces de grandes dimensions et d'offrir au concepteur une plus grande liberté architecturale. Elles confèrent aux bétons de nombreux atouts :

- ✚ La maîtrise de la fissuration.
- ✚ Une facilité et rapidité de mise en œuvre.
- ✚ Un renforcement multidirectionnel et homogène.
- ✚ Un remplacement partiel ou total des armatures passives [10].

7. Les fibres plus utilisés

7.1. Les fibres polypropylène

Ces fibres obtenues par extrusion du polypropylène, se présentent en faisceaux ou sous forme de filament individuel. Les fibres polypropylène permettent en particulier de mieux contrôler le retrait plastique du béton frais mais n'améliorent pas son comportement à la fissuration (contrairement aux fibres métalliques).

7.1.2. Rôle des fibres propylène

Améliorent la maniabilité et la cohésion du béton (en particulier dans le cas de béton projeté), elles sont particulièrement souples et insensibles chimiquement.

7.1.3. Domaine d'application des fibres propylènes

- ✚ Dallages et aménagements urbains.
- ✚ Produits préfabriqués (parements).
- ✚ Mortiers projetés.
- ✚ Enduits.
- ✚ Sculptures.

7.2. Les fibres métalliques

Les fibres métalliques, notamment d'acier, ont fait l'objet de nombreuses recherches pour développer leurs emplois dans le béton. Elles présentent une très bonne compatibilité avec le béton.

7.2.1. Différents types des fibres métalliques existants

- ✚ fibres ondulées - crantées - torsadées-droites.
- ✚ fils, rubans.
- ✚ fibres à extrémités aplaties, à crochets, à têtes coniques, etc.

7.2.2. Rôle des fibres métalliques

- ✚ Une bonne résistance à la traction.
- ✚ Une bonne résistance à la flexion.

7.2.3. Domaine d'application des fibres métalliques

Ils sont utilisés :

- ✓ Dans les dallages et les sols industriels.
- ✓ Pour la fabrication des tunnels, de coques.
- ✓ Pour réaliser des bétons projetés (la réparation de revêtements de tunnels et galeries).
- ✓ Le confortement de parois de soutènement en béton).
- ✓ Pour la réalisation de produits préfabriqués.
- ✓ Pour la confection de mortier de réparation.

7. 3. Les fibres de verre

Les fibres de verre sont, grâce à leurs qualités mécaniques et leur rigidité, des renforts très efficaces, mais elles sont sensibles aux alcalis libérés par l'hydratation du ciment (protection ou imprégnation nécessaire).

7.3.1. Domaine d'application des fibres de verre

En préfabrication, les domaines d'application sont très vastes. Les fibres de verre permettent la réalisation d'éléments de faible épaisseur.

- ✚ Panneaux de façade minces à faible épaisseur.
- ✚ Panneaux sandwich pour l'isolation.
- ✚ Éléments décoratifs.

- ✚ Produits d'assainissements : tuyaux, caniveaux.

7.3.2. Utilisation des fibres de verre et les techniques de mise en œuvre

Les bétons fibrés peuvent être mis en œuvre sous différentes formes :

- ✚ Béton coulé en place : (à la pompe ; à l'aide d'une benne munie d'un manchon).
- ✚ Béton préfabriqué.
- ✚ Béton projeté.

8. Les domaines d'application des bétons de fibres

Les bétons de fibres peuvent être utilisés pour une grande variété d'applications en bâtiment et en génie civil :

- ✚ béton coulé en place (dalles, planchers, fondations, voiles, pieux, etc.).
- ✚ béton préfabriqué (poutres, voussoirs, tuyaux d'assainissement, etc).
- ✚ béton projeté (voie mouillée/voie sèche, construction et réparation de tunnels, confortement de parois, etc).
- ✚ mortiers (prêts à l'emploi) de réparation et de scellement. Le choix du type de fibres est fonction du domaine d'application et des performances souhaitées [11].

9. Fabrication de béton de fibres

Avant de mélanger le béton, la longueur des fibres, leur quantité et la composition du mélange sont choisies pour éviter la formation de boules de fibres. Dans les mélanges renforcés, le mortier occupe d'habitude environ 70 % du volume, contre 50 % pour les mélanges de béton courants, non renforcés de fibres.

Les panneaux en ciment renforcé de fibres ne contiennent pas de granulats grossiers. Ces produits sont généralement réalisés en projetant simultanément le mortier et les fibres hachées. Un mortier ayant un rapport eau/ciment élevé facilite la projection. Il existe d'autres méthodes de fabrication, dont le coulage, moins universel que la projection, et le moulage sous pression, où le rapport eau/ciment moins élevé permet d'obtenir un produit plus résistant.

Des adjuvants chimiques sont ajoutés au mélange de béton renforcé de fibres, notamment pour augmenter son ouvrabilité. En Amérique du Nord, les entraîneurs d'air et les réducteurs d'eau sont ordinairement additionnés aux mélanges qui contiennent une proportion de 50 % ou plus de granulats très fins.

Les super-plastifiants incorporés à des bétons renforcés de fibres peuvent abaisser le rapport eau/ciment et améliorer la résistance, la stabilité volumétrique et l'ouvrabilité des mélanges frais.

10. Propriétés des bétons de fibres

On observe une différence de comportement sous sollicitation du béton renforcé de fibres et du béton traditionnel. Leurs courbes effort-déformation sont très différentes. Il en résulte certaines modifications dans les propriétés du béton. La courbe dépend des paramètres suivants :

- ✚ Pourcentage de fibres.
- ✚ Longueur des fibres.
- ✚ Forme de la section dont dépend la surface latérale d'adhérence et notamment du rapport de la section sur le périmètre.
- ✚ Forme des fibres (à crochets, ondulées, plates, droites).
- ✚ Nature des fibres.
- ✚ Béton de la matrice (formation, dimension de granulats, teneur en ciment, maniabilité).
- ✚ Orientation des fibres vis à vis de la direction de l'effort.

10.1. Propriétés mécaniques

10.1.2 Résistance a la compression

La résistance à la compression simple qui est déterminée par la valeur maximum de l'effort appliqué, est la caractéristique de base des bétons employés dans les structures. Dans le cas du béton de fibres, l'introduction des fibres dans la matrice peut avoir deux effets contradictoires : d'une part02. Maintenir les fissures, ce qui est favorable pour la phase post pic, mais d'autre part créer des défauts supplémentaires à l'interface fibre- matrice. Ces défauts peuvent servir d'amorce à l'endommagement et donc limiter la charge maximale.

Généralement, la plupart des résultats de la littérature qui comparent un béton normal à un béton de fibres, montrent une légère augmentation de l'effort maximum de compression avec la teneur en fibres.

10.1.3 Résistance a la traction

Comme il a été illustré au dessus, les fibres modifient principalement le comportement après fissuration. Les fibres ont deux rôle: d'une part elles sont susceptibles de retarder l'apparition de la macrostructure de la matrice et d'autre part, elles réalisent une couture sur les lèvres de la fissure formé dans l'éprouvette, ceci augmente de la "ductilité" au matériau. Durant la première phase, la microfissuration se répartit uniformément dans le volume. Le matériau est

caractérisable par une loi de comportement. Pour augmenter la résistance à la fissuration. Il semble logique en utilisant un fort pourcentage de fibres courtes.

Les fibres sont introduites dans le béton pour compenser la fragilité du matériau en traction par une couture de la microfissuration. En revanche, le comportement post fissuration est fortement lié à la teneur en fibres, à leur orientation et à leur mode de fonctionnement. Mais la contrainte post fissuration n'est pas directement proportionnelle à la quantité de fibres introduite.

Plusieurs méthodes expérimentales ont été développées pour quantifier l'action des fibres sur le contrôle de la fissuration. Ce sont l'essai de fendage et de module de rupture (qui ne donnent accès qu'à une valeur pic qualifiée de résistance, l'essai de flexion (avec mesure de la flèche et du comportement post fissuration) et l'essai de traction uni axiale. Cependant, la plupart de ces essais ne permettent pas de déterminer un comportement intrinsèque du matériau. En effet, les résultats dépendent généralement de la taille des éprouvettes et font intervenir des effets structuraux qu'il est difficile d'analyser en terme de comportement en traction.

10.1.4 Résistance en flexion

Le comportement en flexion est l'aspect le plus important pour un béton de fibre car ce matériau composite subit le plus souvent ce type de chargement dans ses applications. On ajoute des fibres dans la matrice pour améliorer la ductilité et fournir un contrôle du mécanisme de fissuration. L'amélioration de la résistance de première fissuration est ordinairement un gain secondaire. En flexion, la structure fissurée peut reprendre des efforts bien supérieurs à ceux relevés lors de l'apparition de la première fissure.

10.1.5 Résistance aux chocs

Le cas de chargement dynamique, tel que le choc, remet en question les modélisations et les lois de comportement du béton de fibre sous chargement statique ou quasi-statique. La structure interne hétérogène fait que chaque composant se déforme différemment et que l'interaction inter granulaire engendre des frictions internes différentes pour chaque niveau de contrainte.

10. 2 Autres propriétés du béton de fibres

a) Retrait

Le durcissement du béton dans l'air s'accompagne d'une variation de son volume apparent : le retrait dont les causes ont fait l'objet de nombreuses hypothèses et théories et dont

les conséquences sont importantes pour la fissuration. Si le retrait est gêné, ce qui est le cas courant, le béton est mis en traction et la fissuration se produit lorsque la résistance du béton est insuffisante.

Le retrait est un phénomène complexe d'équilibre hygrométrique, qui dépend, non seulement des facteurs internes tels que la nature et le dosage du ciment, la compacité et la granulométrie du mortier ou du béton, mais aussi de facteurs extérieurs, tel que hygrométries ambiants. Si l'atmosphère est sèche, il y a évaporation en surface : le retrait augmente. Si l'atmosphère devient humide, de la vapeur se condense dans les capillaires, le retrait diminue.

En règle générale, le retrait du béton, avec ajout de fibre, est plus faible que celui du béton témoin sans fibres [12].

Des essais sur des bétons de fibres de fonte par exemple, que le premier retrait d'hydratation, dû à la prise et au début du durcissement du béton les premières heures qui suivent le gâchage, ainsi que le retrait de dessiccation après durcissement du béton, sont inférieurs à ceux du béton témoin, sans fibres, de même composition [13].

Cette diminution du retrait, en présence de fibres, est d'autant plus remarquable que le départ d'eau du béton est accéléré par la présence de fibres.

Ce phénomène peut être expliqué par le fait que la présence de fibres dispersées augmente la grosseur des pores dans le matériau ainsi que leur volume, en diminuant ainsi l'intensité des étreintes capillaires, tout en facilitant l'évaporation de l'eau libre.

Pour conclure donc, la présence de fibres dans le béton diminue notablement le risque de fissuration due au retrait de dessiccation.

b) Comportement Au Fluage

Contrairement au mortier et béton conventionnel, les éprouvettes renforcées de fibres sont moins sensibles aux phénomènes de fluage en compression par rapport à la traction.

Conclusion

Le béton de fibres est un matériau composite constitué d'une matrice béton et d'un renfort par inclusion directe de fibres isolées.

L'ajout des fibres a pour rôle principal dans le béton est de modifier ces propriétés, Les fibres sont introduites dans le béton pour compenser la fragilité du matériau en traction par une couture de la microfissuration.

Les fibres sont classée selon leur origine (naturelle, synthétique ou artificielle, leur forme (droite, ondulée, aiguille, etc.), leur dimension (macro ou microfibre) et aussi par leur propriétés mécaniques.

L'analyse d'Effet des fibres sur l'étalement montre que l'étalement diminue lorsque la teneur en fibres augmente.

Chapitre III
Les Fibres Végétales

1. Introduction

L'introduction des fibres naturelles dans des matrices polymères peut apporter des avantages notoires par rapport aux fibres traditionnellement utilisées dans les composites. Les matériaux composites renforcés par des fibres végétales sont en cours de développement et leurs applications sont encore limitées mais ils sont amenés à jouer un rôle dans le domaine d'industrie future, notamment dans le domaine de la construction. Les fibres sont caractérisées par une longueur au moins trois fois supérieure à leur diamètre. Elles peuvent être classées selon plusieurs critères, leur nature chimique, leur longueur, leur origine.....etc.

2. Fibres naturelles

On peut subdiviser les fibres naturelles en trois grands groupes selon leur origine, les fibres végétales qui comprennent :

- + les fibres provenant des poils séminaux de gaines (coton kapok).
 - + les fibres libériennes extraites de tiges de plantes (lin, chanvre, jute, ramie).
 - + les fibres dures extraites de feuilles (sisal), de troncs (chanvre de manille) d'enveloppes de fruits (noix de coco).
- les fibres animales qui proviennent des poils, telle que la toison animale, et sécrétions telle que la soie.
- les fibres minérales_ telles que le basalte.

2.1. Définition des fibres végétales

Les fibres végétales sont des structures biologiques fibrillaires composées de cellulose, hémicelluloses et de lignine. En proportion relativement faible d'extractibles non azoté, de lipide et de matières minérales. Les proportions de ces constituants dépendent énormément de l'espèce, de l'âge et des organes de la plante [14].

Les proportions de ces constituants dépendent énormément de l'espèce, de l'âge et des organes de la plante. Ils sont assimilables à un empilement de plis dont la structure est constituée d'une lamelle mitoyenne, d'une paroi primaire et d'une paroi secondaire.

2.2. Classification des fibres végétales

Les fibres végétales sont classées en quatre groupes (Figure III.1) suivant leur provenance. A s'avoir : les fibres de feuille, de tiges, de bois et de surface [15].

2.2.1. 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.

2.2.2. 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. Ces fibres sont commercialisées sous forme de paquet de cor et en toute longueur. Exemple : fibres de jute, de lin, de ramie, de kenaf, et de chanvre.

2.2.3. 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.

2.2.4. Les Fibres de Surface

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

Il est à noter que, les fibres de palmier, qui entourent son tronc, appartiennent à cette famille de fibres.

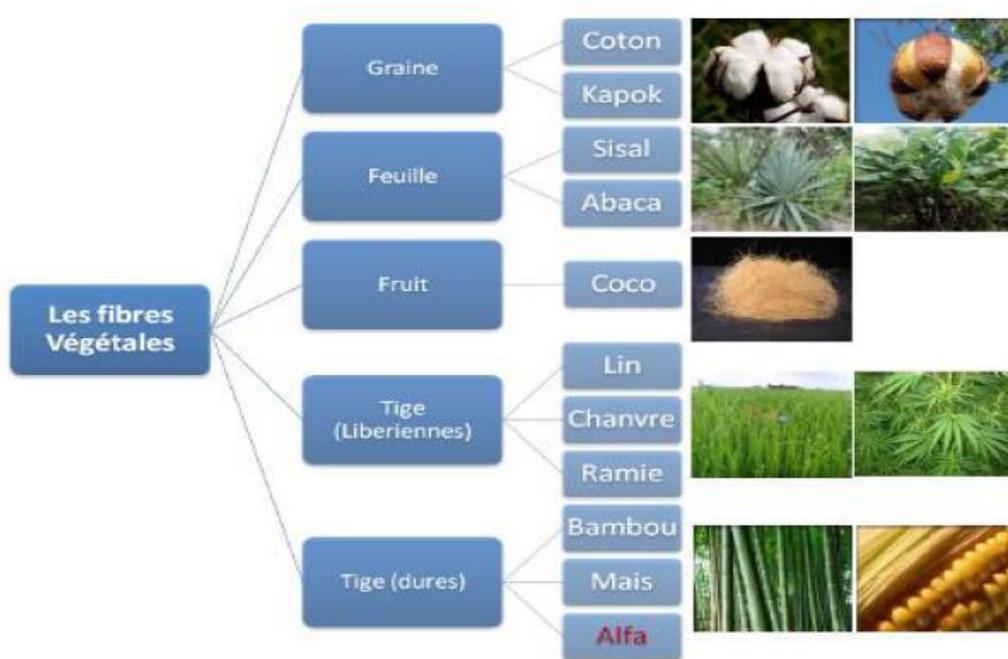


Figure III.1. Classification des fibres végétales selon l'origine [16].

2.3. Caractéristiques Physiques et Mécaniques des Fibres Végétales

Généralement une fibre végétale est caractérisée physiquement par son diamètre sa densité et son teneur en eau et son pourcentage d'absorption d'eau. Et elle est caractérisée mécaniquement par sa résistance à la traction, son élongation à la rupture et son module d'élasticité [16].

A titre d'exemple sur le tableau III.1 et III.2 :

Tableau III.1. Les caractéristiques physiques des fibres végétales les plus utilisées [16].

Fibre	Diamètre (mm)	Diamètre (mm)	Teneur en eau à l'état naturel (%)	Absorption d'eau après 5 min (%)	Absorption d'eau à la saturation (%)
Sisal	0.08-0.30	1.5 1.37 0.75- 1.07	10.97-14.44	89.30 67-92	92 190-250
Noix de coco	0.11-0.53	1.2 1.17 0.67-1.00	11.44-15.85	43.20 22-28	80.40 85-135

Tableau III.2. Les caractéristiques physiques et mécaniques de quelques fibres végétales [16].

Fibres	Densité (g/cm ³)	Allongement à la rupture (%)	Résistance à la traction (MPa)	Module de Young (GPa)
Cotton	1.5-1.6	7.0-8.0	587-597	5.5-12.6
Jute	1.3	1.5-1.8	393-773	26.5
Lin	1.5	2.7-3.2	345-1035	27.6
Chanvre	--	1.6	690	--
Ramie	--	3.6-3.8	400-938	61.4-128
Sisal	--	2.6	278	--
	1.37	5.2	363	15.2
	0.75-1.07	2.08-4.08	577.50	10.94-26.70
	1.5	2.0-2.5	511-635	9.4-22.0
Noix de Coco	1.2	30.0	175	4.0-6.0
	1.17	37.7	107	2.8
	0.67-1.00	13.7-41.0	174	2.5-4.5
	1.33	--	72	2.0
Palmier	0.51-1.08	7.5-17.4	170-290	2.1-5.25
Dattier				

2.4. La composition chimique d'une fibre végétale

La composition chimique varie d'une plante à une autre et dépend de l'espèce, de l'âge de la plante, des conditions climatiques, de la composition du sol et de la méthode d'extraction utilisée.

Les différents constituants des fibres végétales (Figure III.2) sont [16] :

La Cellulose : C'est la principale composante des fibres végétales. C'est un polymère naturel du premier plan. Généralement, les fibres végétales sont constituées par une chaîne de fibres en cellulose.

Hémicellulose : L'hémicellulose présente dans toutes les parois de ces fibres. C'est le constituant responsable de l'élasticité des fibres.

Lignine : La lignine constitue la colle qui lie les fibres végétales entre elles ainsi que leurs parois. C'est un polymère tridimensionnel.

Tableau III.3. La composition chimique de quelques fibres végétales (noix de Coco, sisal, jute et palmier dattier) reproduit selon [16].

Fibres	Cendre (%)	Cellulose (%)	Hémicellulose (%)	Lignine (%)
Noix de coco	1,44	32-43	0,15-0,25	40-45
Sisal	1,13	66-72	12,0	10-14
Jute	7,6	63	-	-
Palmier dattier	1,2	41-45	6-10	30-40

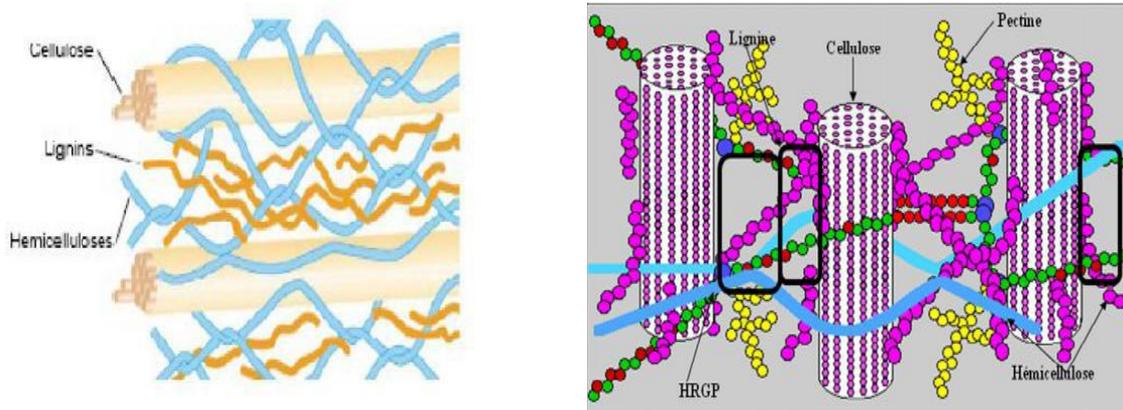


Figure III.2. Différents constituants d'une fibre végétale.

2.5 Propriétés écologiques des fibres végétales

- ✚ La fibre végétale est naturelle et ne cause pas d'irritation pour la peau.
- ✚ Plus de confort pendant la manipulation et renouvelables.

2.6. Autres propriétés spéciales sur les fibres végétales

La fibre végétale contient plusieurs propriétés fondamentales qui définie le comportement de la fibre, elle à aussi [17]

- ✓ Bonne absorption des vibrations.
- ✓ Fibres moins abrasive.
- ✓ Bonne isolation acoustique et thermique.

3. Principaux avantages et inconvénients des fibres végétales comme renforts de matériaux composites

Ces fibres présentent de nombreux avantages comme renfort de matériaux composites. En revanche, certains inconvénients peuvent être un frein au niveau du développement industriel qui est indiquées dans le (Tableau III.4) ci-dessous [18]:

Tableau III.4. Principaux avantages et les inconvénients des fibres végétales.

Avantages	Inconvénients
Faible cout	Absorption d'eau
Biodégradabilité	Faible stabilité dimensionnelle
Neutre pour l'émission de Co2	Mauvaise tenue thermique (200à230°C Max)
Pas d'irritation cutanée lors de la manipulation des fibres	Faible tenue en vieillissement
Pas de résidus après incinération	Fibres anisotropes
Ressource renouvelable	Variation de qualité en fonction du lieu de croissance, de la météo.....
Demande peu d'énergie pour être produite	Pour des applications industrielles, demande la gestion d'un stock
Propriété mécaniques spécifiques importantes (résistance et rigidité,)	Renfort discontinue
Bonne isolation thermique et acoustique	
Non abrasif pour les outillages	

4. Les différents renforcements à base de fibres végétales

Dans la nature il y a plusieurs de plantes végétales, qu'on peut utiliser comme des renforts au niveau de la matrice composite. On trouve :

A. Le chanvre

Le chanvre est une fibre libérienne (Figure III.3). Les plantes de cette famille présentent toutes des fibres externes longues et étroites et des fibres internes ligneuses.

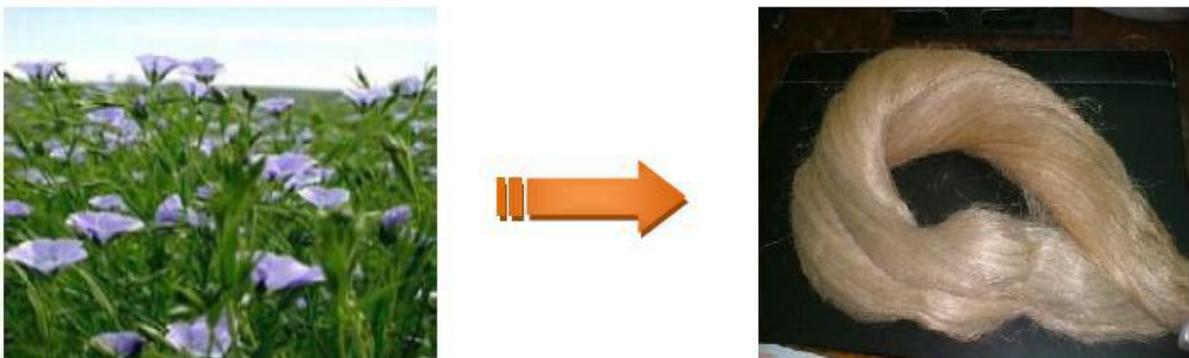
La France est le premier producteur de chanvre en Europe, sont généralement transformées en textiles (tapis et vêtements) et en produits industriels comme des géotextiles, de la toile anti-érosion, du renfort de composite et du remplissage. A cause de sa grande solidité et de son intérêt économique [18].



Figure III.3. Plante de chanvre et les fibres de chanvre.

B. Le lin

Le lin est une plante annuelle (Figure III.4), qui pousse dans le monde entier, aussi bien en Asie. La fibre de lin vient des tiges de la plante mais aussi de l'huile extraite des graines. L'avantage de cette fibre est sa longueur élevée, en moyenne 25 mm et sa bonne résistance. Le lin peut être utilisé comme substitut au coton. Cette fibre est utilisée pour fabriquer des papiers fins comme les papiers à cigarette ou le papier Bible [18].



C. Le Coton

Le cotonnier est un petit arbuste annuel de 1 à 1,50 m de haut. Il est cultivé dans les zones chaudes d'Amérique, d'Afrique, d'Asie. Les fibres de coton proviennent des graines, et sont appelés linters. Cette fibre (Figure III.5) est utilisée pour ses bonnes caractéristiques physique et mécanique. Elle est utilisée pour des papiers dits de luxe. Elles sont également utilisées pour les papiers fiduciaires et principalement pour les billets de banques, papiers pour lesquels la caractéristique essentielle est la résistance au pliage [18].

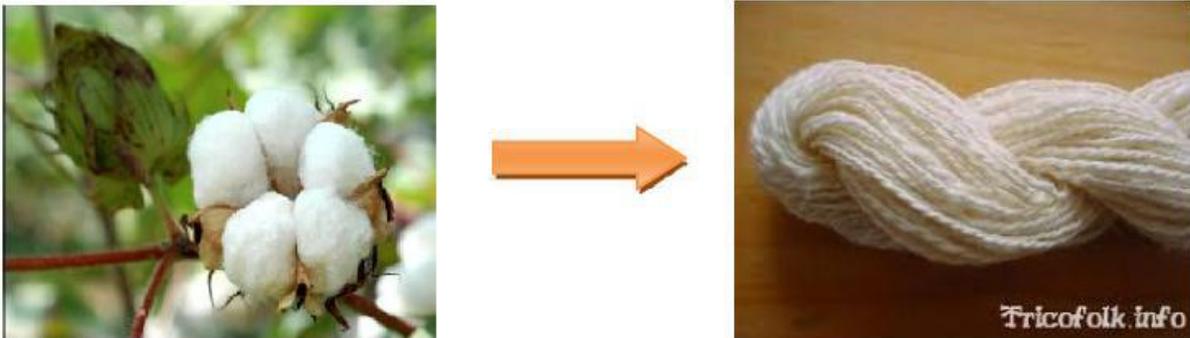


Figure III.5. Plante et fibres naturelles de coton.

D. L'Abaca

L'Abaca de Manille est un bananier textile qui pousse aux Philippines les fibres dans les gaines foliaires forment un pseudo tronc très recherché pour la fabrication de cordages légers et insubmersibles, pour des rabanes, des nappes. La fibre d'Abaca (Figure III.6), a une longueur de 6 mm pour un diamètre de 22 μm . Elle est utilisée principalement dans la composition des papiers filtres, des sachets de thé. Ce sont des papiers poreux demandant une bonne résistance.



Figure III.6. Plante de l'abaca et fibres de l'abaca.

E. Le Kenaf

Le kenaf est une plante herbacée (Figure III.7), dont la tige peut atteindre 3 m de haut. Il se trouve principalement dans les régions tropicales et en Amérique du Sud. La production de kenaf est rare. Elle est destinée uniquement pour le domaine papetier. La longueur moyenne des fibres (1,5 mm) est comprise entre celle des fibres de feuilles [18].

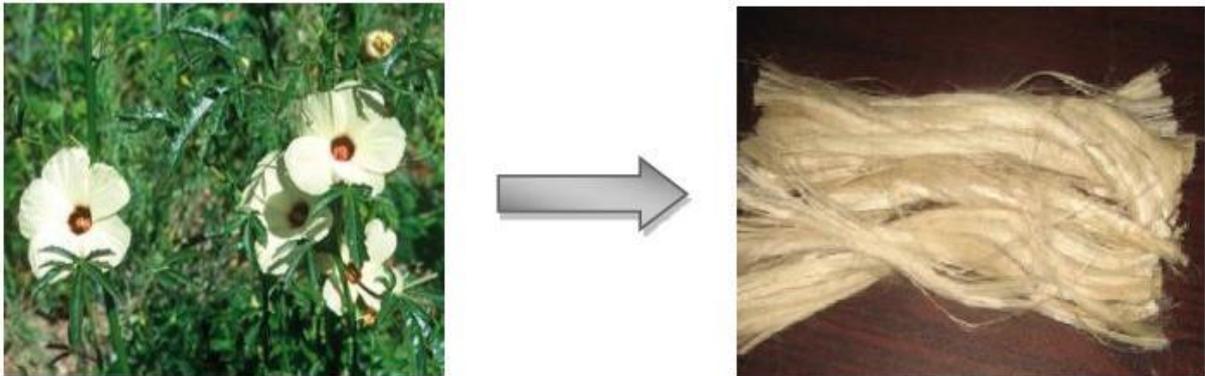


Figure III.7 : Plante de kenaf avec ces fibres.

F. Le Jute

Le jute est une plante buissonnante (Figure. III.8), originaire du sud-est asiatique. Les principaux producteurs sont l'Inde et le Bangladesh. Les fibres utilisées en papeterie sont les déchets de culture et de filature. La longueur moyenne des fibres est de 2 mm, avec une largeur de 20 μm . Les caractéristiques de ces fibres sont généralement assimilées à celles du kenaf.



Figure III.8. Jute :(a) plante, (b) tisse, (c) fibre.

G. Le Sisal

Le sisal est une plante vivace (Figure III.9), constituée par une rosette de grandes feuilles à section triangulaire allant jusqu'à 2 m de long. Il s'agit d'une plante tropicale, principalement cultivé en Amérique du sud et en Afrique. La longueur moyenne de ces fibres est de 3 mm.



Figure III.9. fibre naturelles du sisal.

I. Le Ramie

La Ramie est une plante arbustive (Figure III.10). Originaires d'Asie de l'Est, la ramie a pour principaux producteurs la Chine, le Japon et l'Amérique. La longueur moyenne des fibres est comprise entre 40 et 250 mm, pour un diamètre moyen de 45 μm . Ces fibres ressemblent aux fibres de lin mais sont encore plus longues, plus solides et plus rigides.



Figure III.10. Plante de Ramie et les fibres naturelles de la Ramie.

J. Le Coco

Les fibres de coco proviennent de la couche fibreuse qui entoure la noix de coco (Figure III.11). Elles sont filées et tissées après avoir été assouplies dans l'eau. Le filage grossier et irrégulier donne au coco un aspect rustique. Le coco est très résistant, il est isolant, imputrescible et antibactérien. On utilise plutôt dans des pièces spacieuses.



Figure III.11. Fibre naturelles de la plante du coco.

K. Palmier dattier

Le palmier dattier il a un stipe solitaire de couleur marron ou gris qui atteint jusqu'à 20 mètres de hauteur et 60 cm de diamètre à l'âge adulte (Figure III.12). Leur couronne se compose de plus d'une centaine de feuilles pennées qui mesurent plus de 5 mètres de longueur. Le pétiole peut mesurer jusqu'à un mètre, et est recouvert d'épines sur ses bords. Les folioles sont de couleur verte. Elles sont étroites, rigides et disposées de manière irrégulière sur le rachis. Les types les plus connus sont : Deglette Nour, Dokar, Elghers (appellation locale).

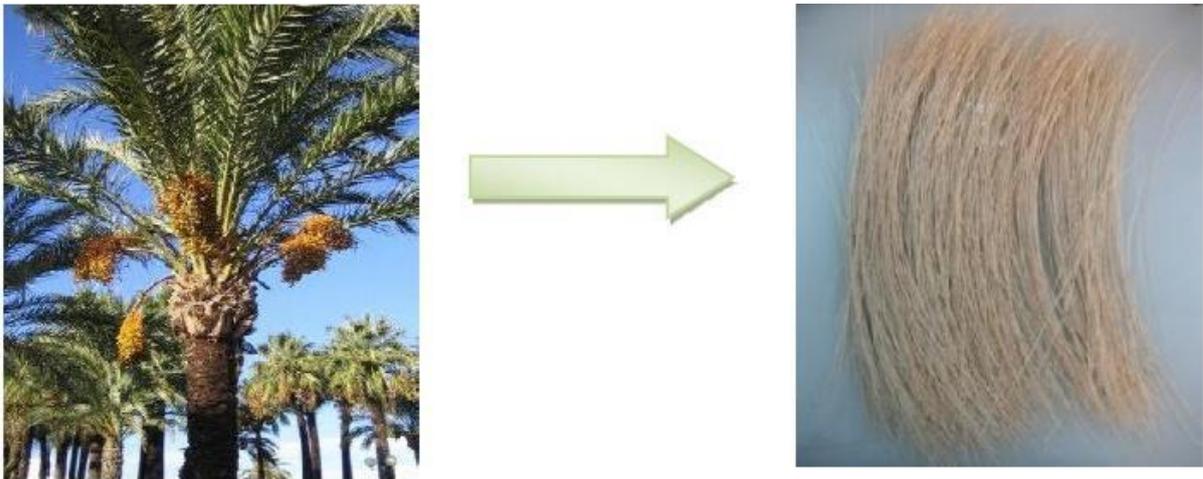


Figure III.12. Palmier et les fibres de palmier dattier.

L. L'Alfa

L'Alfa est une herbe vivace typiquement méditerranéenne, elle pousse en touffes d'environ 1m à 1m20 de haut formant ainsi de vastes nappes (Figure III.13). Elle pousse spontanément notamment dans les milieux arides et semi arides, elle délimite le désert, là où l'Alfa s'arrête, le désert commence. Elle est employée dans la fabrication de sparterie, des cordages, des espadrilles, des tissus grossiers, des papiers d'imprimerie.....etc [19].



Figure III.13. La plante et les fibres d'Alfa.

5. Utilisation des Fibres dans la Construction

Les fibres de toute nature sont très employées dans différents ouvrages dans le but d'améliorer leurs performances mécaniques et physiques. L'utilisation des fibres végétales dans le renforcement des ciments est relativement récente. En effet, beaucoup de recherches sont en cours dans le but d'arriver à substituer les fibres d'amiante par les fibres végétales.

Actuellement, les fibres végétales sont de plus en plus utilisées dans les dalles et la production des tuiles et les dallages de parking ainsi que dans le renforcement du plâtre.

Par ailleurs, l'utilisation des fibres de polymère, de carbone et d'acier est de plus en plus pratiquée dans plusieurs domaines et spécialement dans la fabrication des panneaux et dans la restauration et la réparation des ouvrages anciens endommagés [20].

6. Phénologie du palmier dattier

Le palmier dattier est un arbre à feuilles persistantes. Celles-ci portent le nom de palmes et ont une durée de vie de 3 à 7 ans, leur formation s'achève en une année. Après une légère période de repos, la période végétative commence par l'apparition de nouvelles palmes ou palmes de l'année. Au début de la période reproductrice, et à l'aisselle des feuilles ou palmes, des bourgeons donnent naissance à des spathes. Le palmier dattiers est dioïque. En effet, Le palmier est une herbe géante de 20 à 30m de hauteur, au tronc cylindrique (le stipe), portant une couronne de feuilles, les feuilles sont pennées, divisées avec une longueur de 4 à 7m. Il porte des inflorescences mâles ou femelles [21].

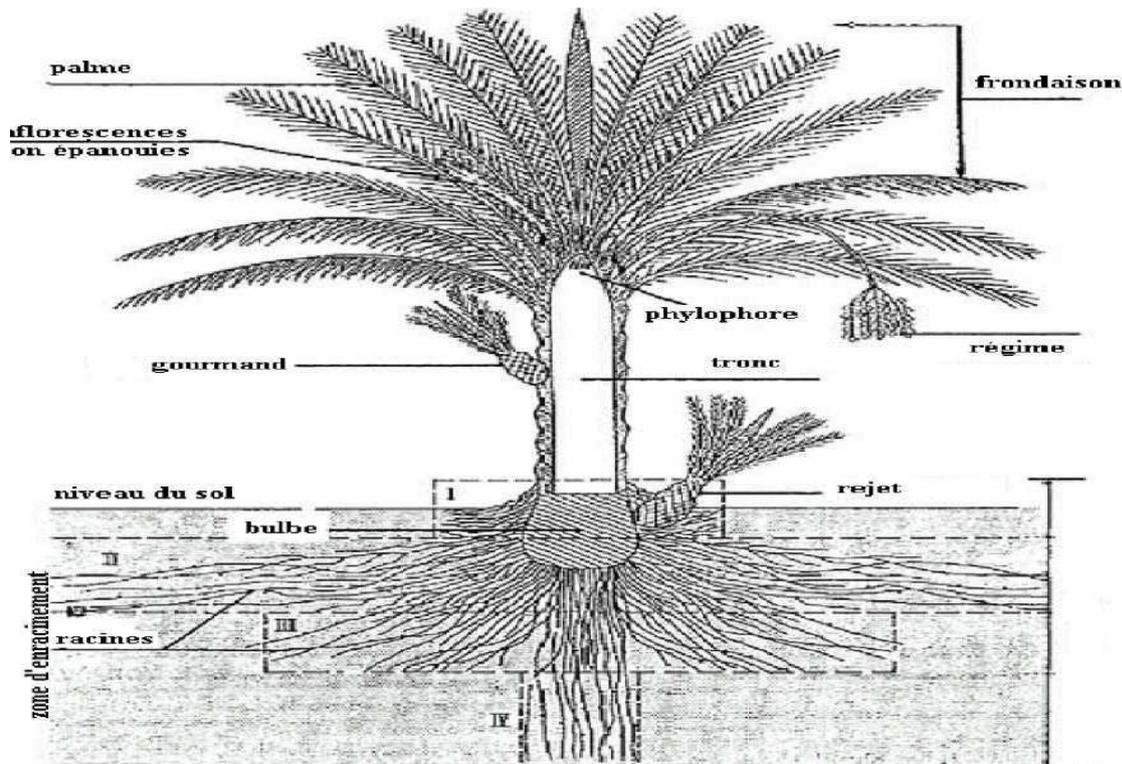


Figure III.14. Morphologie du palmier dattier [15].

6.1. Palme

La palme ou « Djérid » est une feuille pennée dont les folioles sont régulièrement disposées en position oblique le long du rachis qui s'étend au pétiole.

Les segments inférieurs sont transformés en épines, plus ou moins nombreuses, et plus ou moins longues. Le pétiole (Kornaf) est dur et relativement rigide.

Chaque année, le palmier dattier produit un certain nombre de palmes à partir de bourgeon et perd un nombre.

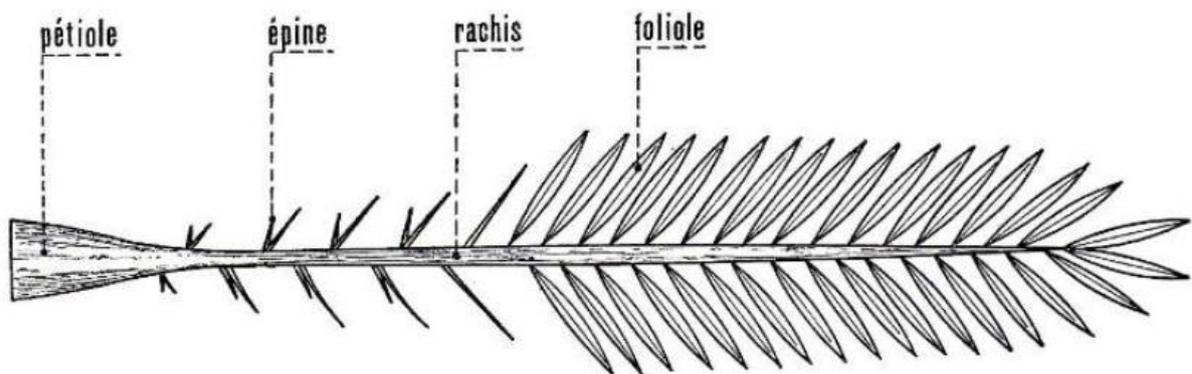


figure III.15. Schéma d'une palme de palmier dattier [15].

6.2. Fibre de palmier dattier

Le palmier dattier a une structure fibreuse, possédant quatre types de fibres (figure III-5).

- ✚ fibres de bois de tronc.
- ✚ fibres de feuilles au niveau des pédoncules.
- ✚ fibres de tige au niveau des tiges des pédoncules et du support dattier (grappe).
- ✚ fibres de surface autour de son tronc ou de bases de palmes (pétiole)
- ✚ fibres de liffe (entre les Kornafs, le tronc est recouvert d'une bourre fibreuse que l'on appelle le liffe).



Figure III.16. Quelques déchets de palmerai.

6.2.1 Résistance à la Compression

D'après A.MOKHTARI [16] l'influence des fibres végétales (lif) sur le mortier dans la matrice cimentaire à base du ciment CPJ est négative, surtout après 90 jours.

La résistance à la compression chute pour tous les mortiers des fibres (figure III.17):

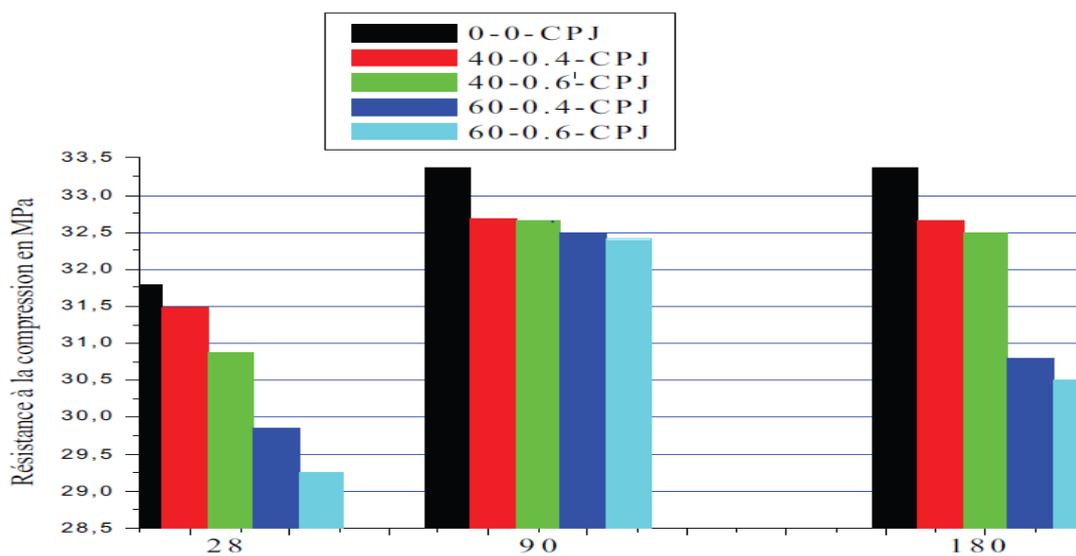


Figure III.17. Variation de la résistance à la compression en fonction du pourcentage et de longueurs des fibres à base de CPJ [16].

D'après D.BELKARCHOHE et A.CHAKER la résistance à la compression diminue sensiblement quand le pourcentage en fibre augmente (les fibres utilisés c'est les grignons d'olives) [22].

6.2.2 Résistance à la flexion

D'après (A.MOKHTARI) [16] la variation de la résistance de flexion en fonction de pourcentage et de la longueur des fibres (lif) dans la matrice cimentaire à base du ciment CPJ. Il y a une progression positive de résistance dans la période de 28 à 90 jours, au-delà de 90 jours, il y a une chute.

Les résultats obtenus sont représentés dans l'histogramme suivant (figure III.18):

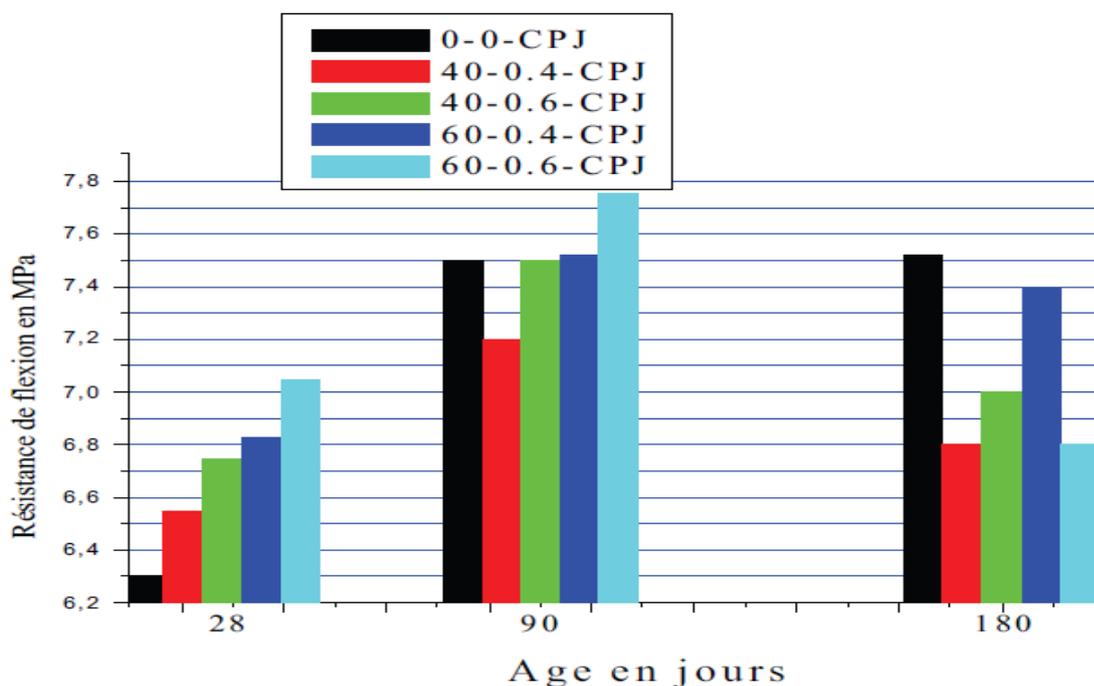


Figure III.18. Variation de la résistance à la flexion des longueurs et pourcentages des fibres dans la matrice cimentaire à base CPJ [16].

7. Conclusion

L'utilisation de fibres végétales dans le domaine de génie civil est expansée et prend un champ très large d'application, compte tenu des caractéristiques physiques, mécaniques, chimiques et écologiques, ainsi que grâce à leurs disponibilités dans la nature et trouvent des applications dans le domaine de la construction.

Chapitre IV
Matériaux & méthodes

1. Introduction

Ce chapitre est pour la présentation des matériaux et appareils utilisés, ainsi qu'à la description des méthodes expérimentales nécessaires aux études.

Les matériaux utilisés dans le béton sont cités comme suit :

- ✚ Le sable fin de la région d'Oued Zhour.
- ✚ Le sable de carrière 0/3 de chalghoum.
- ✚ Le gravier 3/8, 8/16 de carrière située à 24 Km de chalghoum
- ✚ Le ciment CPJ de MHAMDI OUA AMMAR (haddada jjel).
- ✚ Les adjuvants : POLYFLOW LSR 7200 (super-plastifiant)
- ✚ L'eau potable du laboratoire.
- ✚ Les fibres végétales.

2. Matériaux et méthodes utilisés

2.1. Le ciment

Le ciment utilisé dans notre travail est un ciment Portland composé CPJ (CEMII/42.5) de la Société Des Ciments DE MHAMDI OUA AMMAR. Le ciment CPJ est le seul type de ciment commercialisé dans le marché Algérien. Les différentes caractéristiques chimiques, physiques et mécaniques du ciment utilisé sont établies sur les fiches techniques élaborées au niveau des laboratoires de l'usine même.

Les caractéristiques physiques et mécaniques du ciment utilisé sont présentées dans les tableaux suivants :

Tableau IV.1. Composition minéralogique de ciment.

Composition minéralogique du ciment		
Eléments	Abréviation	Teneur (%)
Silicates tri calciques	C ₃ S	56.60
Silicates bi calciques	C ₂ S	22.98
Aluminates tri calciques	C ₃ A	9.87
Alumino-ferrites tetracalciques	C ₄ AF	8.25

Tableau IV.2. Propriétés chimiques du ciment utilisé.

Composition chimique du ciment									
Na ₂ O	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO ₃	MgO	K ₂ O	SO ₃	Cl	P.A.F
0.27	60.24	23.25	5.69	3.36	0.74	0.45	1.94	0.006	1.67

Tableau IV.3. Propriétés physique du ciment utilisé.

Propriétés physiques du ciment				
Temps de prise		Consistance normale	Masse volumiques (g/cm ³)	Surface spécifiques (BLAINE)(cm ² /g)
Début de prise	Fin de prise	26.91	3.1	3891
2h50min	4h06min			

Tableau IV.4. Propriétés chimiques du ciment utilisé.

Résistance mécaniques du ciment (Mpa)			
Essais	Age		
	2 jours	7 jours	28 jours
Compression	13.6	24.6	42.6
Flexion	2.59	4.81	6.6

2.2. L'eau

L'eau utilisée pour la confection de différents mortiers est l'eau potable du réseau (ville de Jijel). L'eau de mer est interdite pour les bétons armés et précontraints. Toutes les eaux usées, de rejets industriels, de ruissellements doivent faire l'objet d'un contrôle selon la norme NF.

2.3. L'adjuvant

L'adjuvant utilisé est un super-plastifiant haut réducteur d'eau nommé « POLYFLOW LRS 7200 » à base de poly-carboxylate conforme à la norme NF EN934.2. Il est sous la forme liquide de couleur brun clair produit par la société Solu Est (**Annexe A**). Il permet d'obtenir des bétons fluides et de très haute qualité.

Les caractéristiques de cet adjuvant sont portées sur le tableau IV.5.

Tableau IV.5. Caractéristiques de SP«POLYFLOWLRS 7200 » haut réducteur d'eau.

SP «POLYFLOW LRS 7200 » haut réducteur d'eau	
Forme	Liquide
Couleur	Brun clair
Densité	1.06 ± 0.01
PH	4.5 à 6.5
Teneur en ions chlore cl-	≤ 0.1%
Extrait sec	33% à 1%

Pour le dosage en SP on a utilisé deux dosages 1 et 2% pour 0,6% de fibre végétale utilisé. La quantité de SP utilisé pour une gâchée est présentée dans le tableau suivant (Tableau IV.6).

Tableau IV.6. Volume de super plastifiant par rapport un dosage de fibre.

Pourcentage des fibres	1 %
Volume super plastifiant	
Pour 50 kg de ciment (L)	0.5
Pour 397 kg de ciment (L)	4

2.4. Les granulats

Les granulats utilisés dans ce travail sont deux types des granulats, un sable fin de la région d'Oued Zhou et un sable plus un gravier de la carrière de Chelghome.

L'utilisation d'un granulats impose la maîtrise de ses caractéristiques ; d'où le concept de qualité. La qualité définie par des essais faisant l'objet de normes fondées sur un jugement concernant l'emploi des granulats (les spécifications propre à chaque utilisation). Certaines caractéristiques des matériaux sont peu modifiables car elles sont intimement liées aux propriétés intrinsèques du matériau ; ce sont les propriétés physico-mécaniques. D'autre par contre, sont améliorables par la mise en œuvre de matériels et méthode d'exploitation et d'élaboration appropriées, ce sont la granulométrie et la propreté.

2.4.1. Analyse granulométrique (NF EN 933-1)

L'analyse granulométrique permet de déterminer la grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs des différentes familles de grains constituant l'échantillon. Elle s'applique à tous les granulats de dimension nominale inférieure ou égale 63 mm, à l'exclusion des fillers.

2.4.1.1. Principe de l'essai

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

Avant l'opération de tamisage, l'échantillon est lavé au dessus d'un tamis 0.063mm afin d'éliminer les fins et éviter ainsi l'agglomération des grains, ceci pouvant fausser les résultats de l'analyse. L'analyse granulométrique est conduite sur la fraction refusée par le tamis de 0.063mm.

2.4.1.2. Equipement nécessaire

Ce sont des tamis figure IV.1, dont les ouvertures carrées, de dimensions normalisées, sont réalisées soit à partir d'un maillage métallique, soit par perçage d'une tôle. Les passoires, qui comportent des trous ronds percés dans une tôle, ne sont plus utilisées actuellement. Pour un travail aisé et aux résultats reproductible, il est conseillé d'utiliser une machine à tamiser électrique qui imprime un mouvement vibratoire horizontal, ainsi que des secousses vertical, à la colonne de tamis.

Un tamis et une passoire équivalents étaient alors désignés par un même numéro de module la classification des tamis est selon l'ancienne norme NF P18-560.



Figure IV.1. colonne des tamis.

2.4.1.3. Description de l'essai

- Sécher la prise d'essai à une température $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$ jusqu'à masse constant M1.
- En réalise en suite un tamisage par lavage afin de séparé les éléments de dimension inférieur à 0.063mm .au cours de lavage, protéger le tamis 0.063mm par un ou deux tamis (1mm ou 2mm).
- Pour suivre le lavage jusqu'à ce que l'eau passant a travers le tamis 0.063mm soit claire.
- Sécher l'échantillon lavé à $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$.
- Laisser refroidir, puis peser jusqu'à masse constante M2.
- Le matériau sécher est versé sur une série de tamis choisis de telle manière que la progression des ouvertures soit croissante de bas vers le haut.
- Le refus du tamis ayant la plus grande maille est peser soit R1.
- Le refus du tamis immédiatement inférieur est pesé soit R2 la somme de R1+R2 représente le refus cumulé sur le deuxième tamis.
- Cette opération est pour suivie pour tous les tamis, ceci permet de connaitre la masse de refus cumulés Rn. La somme des refus cumulés mesurées sur les différents tamis et du tamisât sur le fond doit coïncider avec le poids de l'échantillon introduit en tête de colonne .le perte éventuelle de matériau pendant l'opération de tamisage ne doit pas excéder plus de 1% du pois total de l'échantillon .
- Calculer le pourcentage des fines (f) passant à travers le tamis de 0.063mm.

Nous avons utilisé le sable d'Oued Zhour et les granulats de la carrière Chelghom dont les résultats de l'analyse granulométrique sont présentés dans les tableaux suivants Tableau IV.7 et Tableau IV.8.

Tableau IV.7. Analyse granulométrique de sable oued Zhour [23].

Ouverture des tamis (mm)	Masse de refus Cumulés (g)	Pourcentage de refus Cumulés	Pourcentage cumulés Des tamisât
1	4.5	0.3	100
0.5	42.5	2.83	97
0.315	743.9	49.59	50
0.25	1451.9	96.76	3
0.125	1482.2	98.81	1
0.08	1483.6	98.9	1

Tableau IV.8. Analyse granulométrique de granulat de la carrière Chelhome [24].

Granulat Ouverture des tamis (mm)	Pourcentage cumulé de tamisât %		
	0/3	3/8	8/15
20.0	-	-	100
16.0	-	-	98
14.0	-	-	86
12.5	-	-	75
10.0	-	100	44
8.0	-	99	15
6.3	100	90	05
4.0	98	20	02
2.0	62	04	02
1.0	37	03	01
0.5	23	02	01
0.25	19	02	00
0.125	11	02	00
0.063	09	02	00

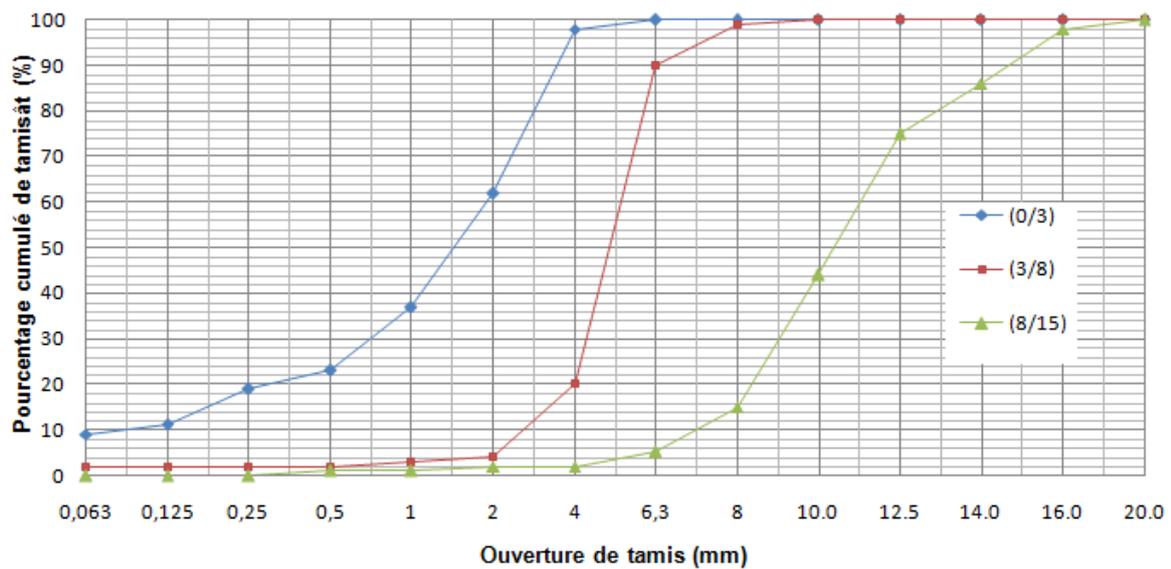


Figure IV.2. Courbe granulométrique carrière Chelghoum [24].

2.4.1.4. Fibre utilisée

Nous avons utilisé un seul type de fibre végétale qui est le lif de palmier dattier figure IV.3. Dont les caractéristiques physiques sont présentées dans le tableau IV.9.



Figure IV.3. Forme de fibre utilisée (Lif de palmier dattier).

Tableau IV.9. Caractéristiques physiques de fibre utilisée.

Propriété	Lif
Diamètre (mm)	0.1-0.5
Longueur (cm)	3-4
Masse volumique apparente g /cm ³	0.012
Masse volumique absolue g /cm ³	0.2

2.4.1.5. Teste d'absorption

Nous avons pris 10 g de fibre, puis on l'a immergé dans l'eau durant 24h. Les résultats sont illustrés sur la figure IV.4 ci-après.



Au début de l'essai

Après 24 heures

Figure IV.4. Essai d'absorption des fibres.

Tableau IV.10. Résultat d'absorption de fibre utilisée.

Le temps (t)	t= 0	t=24 ^h 00
La masse de fibre (g)	10	20
La masse d'eau (ml)	1000	930

3. Choix de la méthode de formulation de béton

Il existe de nombreuses méthodes de formulation de bétons, comme par exemple celles de Dreux-Gorisse, de Bolomey, de Faury, d'Abrams, de Vallette et de Joisel. Elles sont de nature empirique. La méthode la plus pratiquée est celle de DREUX GORISSE. Cette méthode est une synthèse des diverses théories existantes sur la composition des bétons, appuyée sur un examen statique de nombreux chantiers sérieusement contrôlés. Son but est de définir d'une manière simple et rapide une première formulation de béton en fonction de deux paramètres principaux de béton : résistance et ouvrabilité.

Plusieurs étapes de calculs successives sont nécessaires à l'obtention de la formulation théorique de béton:

- Détermination du rapport C/E.

- Détermination de C et E.
- Détermination du mélange optimal à minimum de vides.
- Détermination de la compacité du béton.
- Détermination des masses de granulats

3.1. Résistance souhaitée

Résistance nominale σ_n en compression à 28 jours $\sigma_{28} > \sigma_n$.

Par sécurité, la résistance visée, représente une majoration de 15% de la résistance désirée.

$$\sigma_{28} = \sigma_n + 15\%$$

Tel que : $\sigma_n = 25$ MPA [BAEL]

$$\text{Donc : } \sigma_{28} = 250 + 250 \times 15 / 100 = 287.5 \text{ Bar}$$

3.2. Consistances désirées

L'ouvrabilité désiré est caractérisée par un affaissement $A=6$ cm.

3.3. Dosage De Ciment

Le ciment employé à une résistance varie moyenne à 28 jours.

$\sigma_{28} = 287.5$ bar, est une classe vraie de ciment à 28 jours

$\sigma_c = 450$ bar (**Tableau. 1) Annexe B**)

Remarque :

Par mesure de sécurité la valeur prise de la classe vraie de ciment est égale à 45 MPa.

On peut calculer C/E par la formule :

$$\sigma_{28} = G. \sigma_{28c} (C/E - 0.5)$$

σ_{28} : Résistance visée à 28 jours.

C : dosage du ciment en kg/m^3 de béton.

E : dosage de l'eau en kg/m^3 de béton.

σ_c : Classe varie du ciment en **MPA**.

G : coefficient granulaire. Ce coefficient représente la qualité des granulats.

La qualité des granulats : **bonne** et **D=16 mm** donc **G=0.45** (Tableau. 2) Annexe B

$$287.5 = 0.45 \times 450 \text{ (C/E-0.5)} ; \text{ C/E} = 1.92$$

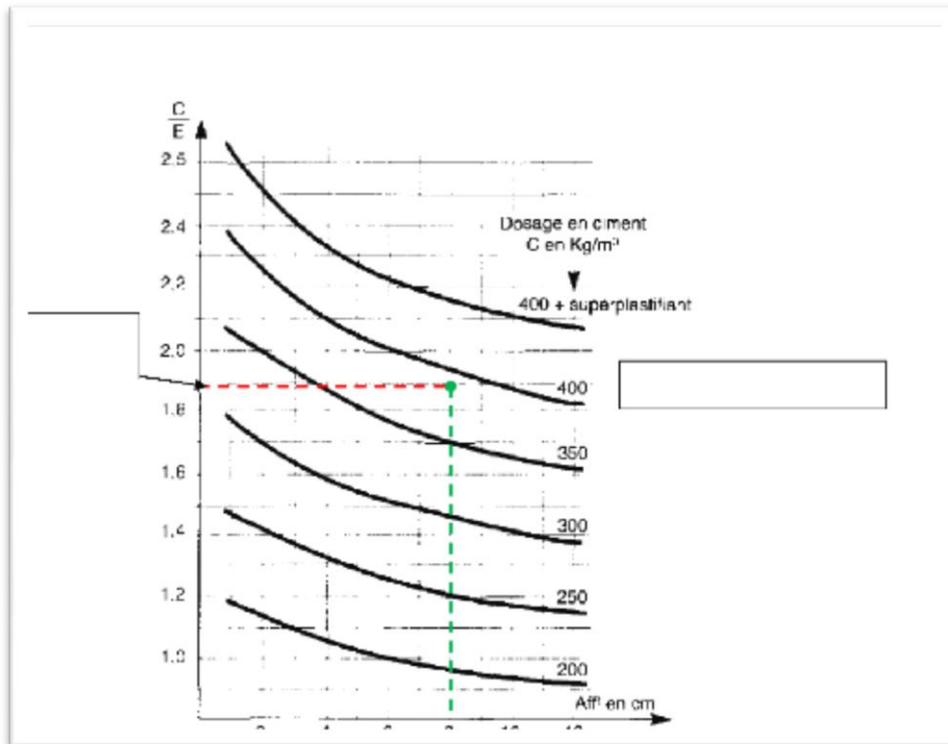


Figure IV.5 : Abaque permettant la détermination le dosage en ciment.

À partir de l'abaque nous avons trouve : $C = 390 \text{ kg/m}^3$.

3.4. Dosages en eau

$$C/E = 1.92 \quad E = \frac{390}{1.92} = 203L$$

La qualité d'eau de gâchage s'en déduit alors immédiatement il convient néanmoins d'effectuer une correction sur cette quantité lorsque la dimension maximale des granulats différente de 25 mm. pour des valeurs inférieur à 25mm, il convient d'ajouter un peu d'eau. (Tableau 3)

Annexe B

$$D_{max} = 16\text{cm} \quad \text{donc} \quad E = 207L$$

3.5. Correction le dosage de ciment

$$E = 207L ; \quad C/E = 1.92 \quad ; \quad C = 397\text{kg/m}^3$$

3.6. La courbe de référence OAB

Point de brisure A

- **En abscisse :**

Si $D_{max} \leq 20\text{mm}$ l'abscisse est $D_{max}/2$.

si $D_{max} \geq 20\text{mm}$ l'abscisse est située au milieu du << segment gravier >> limité par le module 38 (5mm) et le module correspondant à D_{max} .

Dans notre cas $D_{max} = 16\text{mm} < 20\text{mm}$; alors l'abscisse est **16/2**

$$\mathbf{X=8\text{mm}}$$

- **En ordonnée :**

On définit l'ordonnée par la formule :

$$Y=50-\sqrt{D_{max}}+K+K_s+K_p$$

K : vibration normale ; granulats concassés ; dosage de ciment $397\text{kg}/\text{m}^3$.

K=1.88, interpolation (**Tableau. 4**) **Annexe B**

$$K_s=6M_f-15 \quad K_s=6.(2.32)-15 \quad K_s = -1.08$$

Béton non pompé K_p n'est pas nécessaire.

$$\mathbf{Y=50-\sqrt{16}+1.88-1.08=47}$$

Ce béton est réalisé par quatre granulats :

- sable d'oued Zhou.
- Sable 0/4.
- Gravier 3/8.
- Gravier 8/15.

Dont les courbes granulométriques ont été représentés sur la figure IV.5.

On obtient les pourcentages de ces constituants par l'intersection des lignes de partage entre les 04 granulats, s'obtient en joignant le point 95% de la courbe de sable au 5% de gravier 3/8 OBA.

Tableau IV.11. Pourcentage des granulats.

Granulat	Pourcentage
Sable d'Oued Zhour (S1)	18.36
Sable 0/4 (S2)	17.64
Gravier 3/8 (G1)	9
Gravier 8/15 (G2)	55

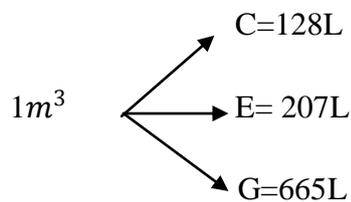
3.7. La compacité

$$y' = 1000L - E = 1000 - 207 \longrightarrow y' = 793$$

3.8. Volume de ciment

$$V_c = C / y'_c \longrightarrow V_c = 397 / 3.1 \longrightarrow V_c = 128L$$

$y'_c = 3.1$: Masse volumique du ciment



Donc le poids des différents constituants sont :

- Masse de sable (oued Zhour) : $M_{S1} = V_{S1} \times y'_{S1} = 122 \times 2.58 = 315 \text{kg}$
- masse de sable (0/4) : $M_{S2} = V_{S2} \times y'_{S2} = 117 \times 2.61 = 305 \text{kg}$
- masse de gravier (3/8) : $M_{G1} = V_{G1} \times y'_{G1} = 60 \times 2.62 = 157 \text{kg}$
- masse de gravier (8/15) : $M_{G2} = V_{G2} \times y'_{G2} = 366 \times 2.60 = 951 \text{kg}$

V_{S1} : volume de sable ; y'_{S1} : la densité absolue du sable.

V_{S2} : volume de sable (0/4) ; y'_{S2} : la densité absolue du sable (0/4).

V_{G1} : volume de gravier (3/8) ; y'_{G1} : la densité absolue du G1 (3/8).

V_{G2} : volume de gravier (8/15) ; y'_{G2} : la densité absolue du G2 (8/15).

Tableau IV.12. Les masses des granulats.

Constituants	masse (kg)
Sable oud Zhour	315
Sable (0/4)	305
G1 (3/8)	157
G2 (8/15)	951

Tableau IV.13. Masse des différents Constituants pour 1m³ du béton.

Constituants	Mase (kg)	Volume (l)
Sable oud Zhour	315	228
Sable (0/4)	305	222
G1 (3/8)	157	95
G2 (8/15)	951	576
Ciment	397	128
L'eau	207	207
Totale	2331	1458

4. Préparation et mesure de l'ouvrabilité du béton de fibre

Pour la préparation du béton fibré, nous avons utilisé la méthode de Baron-lesage, La procédure consiste à fixer le rapport eau/ciment ($E/C = 0.52$) et faire varier le rapport sable/gravier (S/G) à partir de la composition du béton témoin, pour améliorer l'ouvrabilité on augmente le dosage du super-plastifiant à chaque fois par apport au poids de ciment ou on cherche par approximation successive, l'ensemble de ces proportion pour, lesquelles, on obtient simultanément, le meilleur affaissement au cône d'Abrams pour le béton frais, et la meilleur résistance en compression et un rapport S/G optimum qui nous facilite a formulation du BFV. Cette méthode nous permet probablement, d'avoir une formulation locale, en fonction des matériaux et des conditions réelles de laboratoire.

Nous avons confectionné un béton de fibre, trois dosages en fibre végétale sont utilisées (0.2%, 0.4%, 0.6%) de la masse de ciment et 1% de fibre plus 1% et 2% de SP. Le rapport S/G a été gardé constant pour toute les pourcentages ($S/G = 0.66$). Le super-plastifiant devrait être utilisé pour les bétons fibré très ferme (tableau IV.6), la quantité de granulat est réduite pour permettre l'insertion des fibres. La formulation est donnée dans le (Tableau IV.14).

Tableau IV.14. Masse des différents constituants pour 1m³ du béton (S/G=0.66).

Les constituants	Les masses (kg)	Les volumes (L)
Sable oued Zhour	343.1	248.62
Sable carrière	347.9	253.94
Gravier 3/8	139.36	84.46
Gravier 8/15	898.99	544.84
Ciment	397	128.06
L'eau	207	207
Totale	2333.35	1466.92

Tableau IV.15. Masse différent constituant 6L(10kg) du béton.

Les constituants	Les masses (kg)	Les volumes (L)
Sable oued zhour	1.47	1.07
Sable carrière	1.49	1.09
Gravier 3/8	0.60	0.36
Gravier 8/15	3.85	2.33
Ciment	1.70	0.55
L'eau	0.88	0.88
Totale	10	6

4.1. Confection du béton

4.1.1. Mode opératoire

1. Contrôler que tous les composants nécessaires sont préparés.
2. Vérifier que les granulats sont bien secs.
3. Mouiller l'intérieur du malaxeur (figure IV.7).
4. Mouiller les appareils de mesure de la consistance.
5. Introduire les granulats et le ciment dans le malaxeur.
6. Mélanger 15 secondes à sec puis introduire au fur et à mesure l'eau de gâchage contenant 1/3 de SP.
7. Introduire 2/3 de SP à la fin de malaxage.
8. Malaxer en tout 2 minutes.



Figure IV.6. Eprouvette utilisée.



Figure IV.7. Malaxeur utilisé.

5. Fabrication des éprouvettes

Des éprouvettes de béton avec fibre végétale (lif) avec et sans super-plastifiant SP ont été réalisées.

Six mélanges ont été étudiés, un mélange témoin sans fibre et trois mortiers avec fibre (lif) trois dosages 0,2%, 0,4%, 0,6% en masse de ciment et deux mortiers fibré (1%) adjuvantés 1% et 2% SP.

Le dosage en SP a été fixé à 1% et 2% en masse de ciment.

Nous avons eu un béton très ferme avec un dosage de 1% de fibre végétale et une mise en place difficile dans les moules donc nous avons rajouté 1% puis 2% de SP dans le malaxeur directement.

Le béton frais a été mis en place dans des moules 16x32 Cm².



Figure IV.8. Confection des éprouvettes pour l'essai de compression.

5.1. Conservation des éprouvettes

Afin d'obtenir une résistance suffisante au jeune âge et pouvoir décoffrer, les éprouvettes ont été démoulées 24 heures après le coulage, période durant laquelle toute évaporation d'eau a été évitée.

Après démoulage, les éprouvettes ont été conservées à 20°C et 95% HR soit dans un bassin rempli d'eau jusqu'au moment de l'essai de compression (figure IV.9).



Figure IV.9. Conservation des éprouvettes.

6. Essai d'affaissement au cône d'Abrams « slump test » (NF P 18-451)

6.1. Définition

C'est l'essai le plus couramment utilisé car il est très simple à mettre en œuvre. Il est utilisable tant que la dimension maximale des granulats ne dépasse pas 40 mm.

6.2. But de l'essai

Il s'agit de constater l'affaissement d'un cône de béton sous l'effet de son propre poids. Plus cet affaissement sera grand et plus le béton sera réputé fluide.

6.3. Matériel nécessaire

Le moule : sans fond, de forme tronconique, a les dimensions inférieures suivantes (en mm) :

- Diamètre du cercle de la base supérieure : $100 \pm 0,5$.
- Diamètre du cercle de la base inférieure : $200 \pm 0,5$.
- Hauteur : 300 ± 1 .

Il est construit de manière à être indéformable. La paroi intérieure est non absorbante, non réactive au liant, lisse et sans aspérités. Il doit être muni :

- Aux 2/3 de la hauteur à partir de la base, de deux poignées,
- A la partie inférieure, de dispositifs de fixation ou d'appuis pour les pieds de l'opérateur, permettant de l'assujettir sur la surface d'appui.



Figure IV.10. équipement nécessaire de l'affaissement.

Tige de piquage : en acier, diamètre 16 mm, longueur 600 mm, à extrémités hémisphériques.

Portique de mesure : constitué par deux montants verticaux distants d'environ 300 mm et reliés rigidement à la partie supérieure, sur laquelle coulisse une règle de lecture susceptible d'être immobilisée par une vis de pression.

Surface d'appui de l'ensemble : doit être plane et horizontale, rigide et non absorbante ; elle ne doit pas recevoir de chocs ou vibrations pendant l'essai.

6.4. Mode opératoire

- Humidifier la surface d'appui et y assujettir le moule dont la paroi intérieure, bien propre, aura été légèrement huilée.
- Au moyen d'une pelle creuse, introduire le béton dans le moule en 03 couches, chacune ayant une hauteur égale au tiers de la hauteur du cône, cette introduction doit commencer en deux minutes, au maximum, après prélèvement et homogénéisation du béton destiné à l'essai.
- Piquer chaque couche 25 fois, avec la tige de piquage, en répartissant les enfoncements uniformément sur la surface du béton et en faisant pénétrer la tige dans la couche sous-jacente s'il y a lieu.
- A la dernière couche, au cours du compactage, ajouter le béton nécessaire pour que le moule soit juste rempli à ras bords.
- Araser en roulant la tige de piquage sur le bord supérieur du moule. Eviter pendant cette opération un compactage supplémentaire du béton.
- Démouler immédiatement en soulevant le moule avec précaution, lentement, à la verticale et sans secousses.
- Après démoulage, procéder dans la minute à la lecture de l'affaissement, en mesurant le point le plus haut du béton affaissé.
- Si l'on constate un éboulement ou un cisaillement partiel du béton, recommencer l'essai.

La mesure de l'affaissement permet de vérifier si l'ouvrabilité du béton est conforme à l'ouvrabilité souhaitée.

Tableau IV.16. Classe d’Affaissement selon la norme NF EN 206-1.

Affaissement en cm	Plasticité	Désignation	Vibration conseillée	Usages fréquents
0 à 4	Ferme	F	Puissante	Bétons extrudés Bétons de VRD
5 à 9	Plastique	P	Normale	Génie civil Ouvrages d’art Béton de masse
10 à 15	Très plastique	TP	Faible	Ouvrages courants
>16	Fluide	FL	Léger piquage	Fondations profondes Dalles et voiles minces

7. Essai de compression

7.1. L’objectif de l’essai

L’essai a pour but de connaître la résistance à la compression du béton, qui peut être mesurée en laboratoire sur des éprouvettes.

7.2. Principes de l’essai

L’éprouvette étudiée est soumise à une charge croissante jusqu’à la rupture. La résistance à la compression est le rapport entre la charge de rupture et la section Transversale de l’éprouvette.

7.3. L’équipement nécessaire

On a besoin de :

- une machine d’essai qui est une presse de force et de dimension appropriées à l’éprouvette à tester et répondant aux prescriptions des normes NF P 18-411 et NF P 18-412 (figure IV.11).
- un moyen pour rectifier les extrémités des éprouvettes : surfaçage au soufre, ou disque diamanté.



Figure IV.11. presse hydraulique.

7.4. Conduite des essais

- Nettoyer les plateaux de la presse.
- Mettre en place l'éprouvette verticalement et la centrer sur le plateau.
- Amener le plateau supérieur au contact de l'éprouvette.
- Remettre les capteurs à zéro.
- presse en mode manuel.

7.5. Echéances

La résistance à la rupture par compression à 28 jours a un sens pour le béton ou le ciment car on considère qu'à cette échéance le matériau a quasiment acquis toutes ses résistances mécaniques. Il est important de connaître les résistances à la rupture par compression à 28 jours. En effet, ce sont les données les plus fréquemment utilisées en génie civil et nous sommes toujours dans l'optique de comparer les performances de nos matrices alternatives avec les matrices cimentaires classiques. La résistance à la rupture par compression à 7 jours est aussi fréquemment utilisée, pour avoir des données rapidement, nous avons choisi de déterminer également une valeur à 14 jours. Finalement, nous avons donc choisi comme échéances 7,14 et 28 jours.

8. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté l'ensemble de méthodes expérimentales mis au point durant ce travail et les différents matériaux utilisés pour valoriser l'effet de l'utilisation des fibres végétale (lif de palmier) dans le béton.

Chapitre V
Résultats et discussions

1. Introduction

Après avoir caractérisé les matériaux utilisés à l'étude du béton présenté au chapitre IV. La procédure proposée pour le malaxage des constituants et le déroulement de travail expérimental sont identiques pour tous les bétons étudiés afin de faciliter la comparaison entre les différents mortiers en basant sur l'effet de la présence de lif dans le béton et la variation de dosage sur la résistance mécanique à la compression. L'utilisation de super-plastifiant est pour améliorer l'affaissement. La résistance à la compression est présentée par la moyenne des résistances des trois éprouvettes normalisées (16x32) Cm², ces trois éprouvettes sont pour minimiser les erreurs de mesures.

Après sept, quatorze et vingt huit jours de condition de cure les échantillons sont écrasés pour avoir la résistance en compression simple.

Vu la non disponibilité au laboratoire d'un dispositif de mesure de **la résistance à la traction** par le biais de flexion, et en vue d'estimer le comportement des bétons renforcés par des fibres végétales, On s'intéresse dans cette étude seulement à la mesure des **résistances à la compression** des bétons.

2. La masse volumique.

Les résultats des mesures de la masse volumique des bétons étudiés à l'état frais sont présentés dans le tableau suivant (Tableau V.1).

Tableau V.1. La masse volumique des différents bétons étudiés.

Béton	La masse volumique MV (KN/m ³)
BO	24.55
BFV 0.2 %	24.47
BFV 0.4 %	24.34
BFV 0.6%	24.42
BFV 1% + SP 1%	24.70
BFV 1% + SP 2%	24.76

La masse volumique de béton a été mesurée pour confirmer la valeur de la masse volumique qui ne doit pas être inférieure à 24 KN/m³.

Les résultats des masses volumiques sont relativement proches pour l'ensemble de formulation des différents mortiers. Les valeurs obtenues sont celles d'un béton fibré de fibre végétale BFV. La masse volumique d'un béton est comprise en général entre 2412 kg/ /m³ et 2509 kg/m³.

La masse volumique d'un béton est essentiellement liée à la densité des granulats qui le composent. Il est donc logique de penser que la substitution de gravillons par des granulats fins (sable) de densité plus faible aura comme conséquence une diminution de la masse volumique du béton à l'état frais.

3. Essais d'affaissement

Pour l'essai d'affaissement nous avons utilisé le cône d'Abrams présenté dans le chapitre précédent.

Les principaux avantages que cet essai est facile à mettre en œuvre, il est effectué directement après la fin du malaxage du béton. Le volume de béton nécessaire pour cet essai inférieur à un volume d'une éprouvette 16x32; le faible volume manipulé implique une moindre complexité de l'expérience et une durée réduite.

4. Effet de l'introduction de lif

Toujours avec une quantité d'eau constante le rapport (E/C) égale à 0,5 en présence de différents dosages en lif ; la figure V.1 montre l'influence de fibre végétale (lif) sur l'affaissement.

On s'aperçoit qu'il y a une diminution d'affaissement avec l'incorporation des fibres végétale (lif) dans le béton, l'augmentation de dosage de lif rend le béton très ferme avec un affaissement très faible à cause de l'absorption d'eau élevée de lif. Il est nécessaire de rajouter un superplastifiant pour le dosage 1% de lif afin d'améliorer l'affaissement et rendre le béton plus fluide. Ces résultats sont en concordance avec ceux de Mokhtari [25].

5. Effet de l'introduction de SP en présence de 1% de lif

La figure V.1 présente les valeurs d'affaissement avec l'ajout de superplastifiant SP dans un béton contenant 1% de fibre végétale.

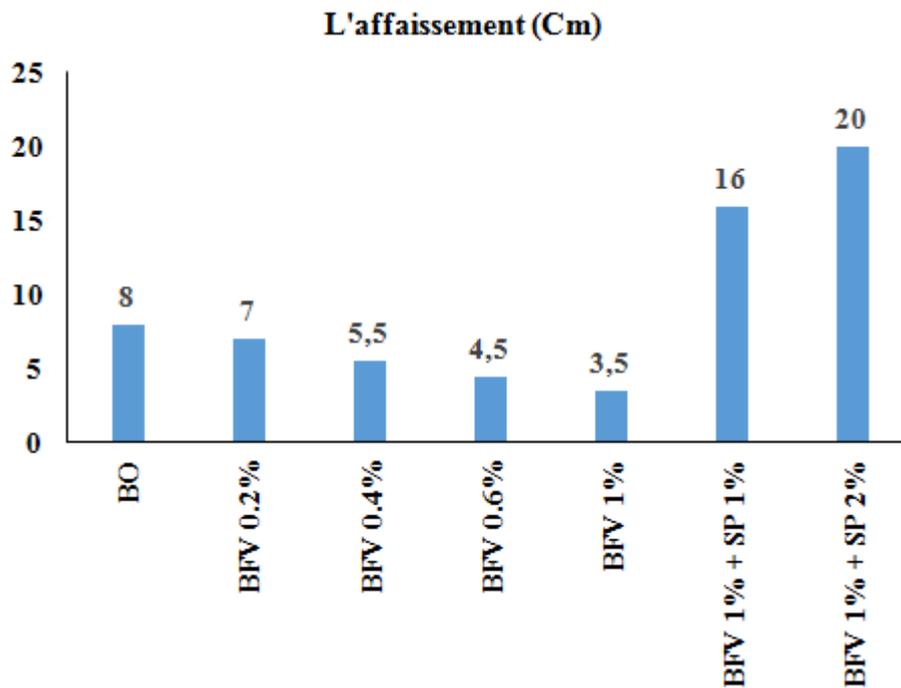


Figure V.1. Amélioration de l'affaissement en présence du SP.

L'utilisation de dosage 1% et 2% de SP en présence de 1% de fibre lif augmente la fluidité de béton fibré avec une légère différence entre les deux dosages en SP, ce signifie qu'avec l'utilisation de SP les grains de ciment sont défloculés.

L'action d'un super-plastifiant lorsqu'il est introduit dans un mélange se décompose selon trois mécanismes [26].

- ✚ une partie est adsorbée.
- ✚ une partie est consommée par les réactions avec les hydrates.
- ✚ une partie, en excès, reste en solution.

6. Résistance en compression simple

Les essais de compression sont exécutés selon la norme (NF P 18-411) et (NF P 18-412) sur des éprouvettes cylindriques (16 cm x32 cm).

Les béton utilisés pour la confection de ces éprouvettes sont béton ordinaire témoin (BO), le Béton fibre végétale sans et avec super-plastifiant.

Les résultats des résistances mécaniques à la compression de béton étudiés au cours de temps sont présentés comme suivant.

6.1. Effet de la présence de lif

Le tableau V.2 et la figure V.3 présentent les résultats de la résistance mécanique à la compression d'un béton fibré de 0,4% de lif.

Tableau V.2. La résistance mécanique à la compression de BFV.

Résistance à la compression (MPa)			
Age de béton (jours)	7	14	28
BO	26.38	27.45	33.83
BFV 0.4%	26.42	28.36	32.04

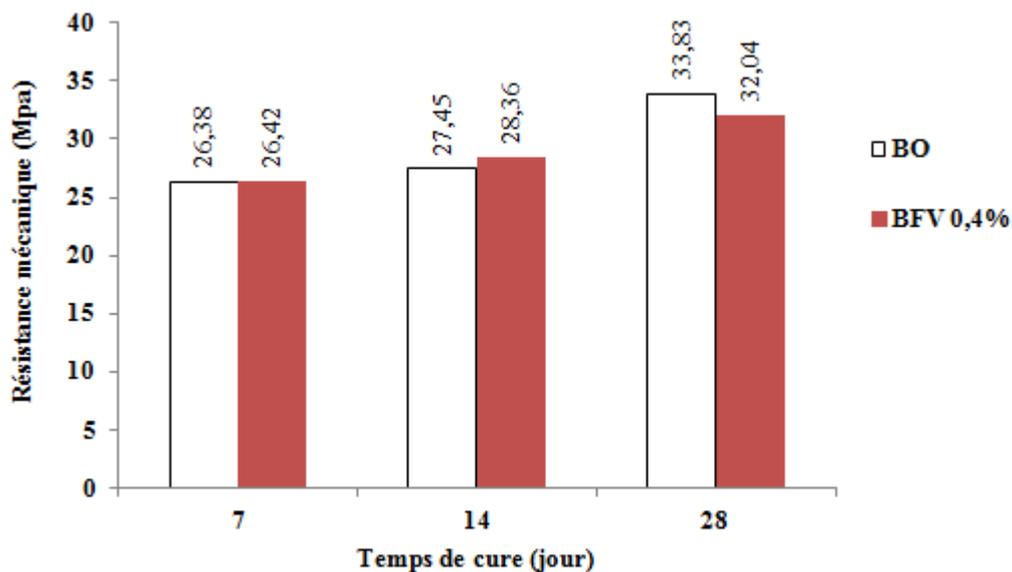


Figure V.2. Effet de lif sur la résistance à la compression au cours du temps.

L'incorporation de 0,4% de lif dans le béton apporte une légère différence de résistance en compression par rapport à un béton ordinaire témoin sans lif au cours de temps 7,14 et 28 jours.

6.2. Effet de différent dosage en lif

Afin de voir si les valeurs obtenues des résistances du béton avec 0,4% de lif pourraient être étendues à l'utilisation d'un autre dosage de lif et améliorer la résistance à court, moyen et long terme. Nous utilisons deux différents dosages 0,2% et 0,6% de lif pour voir leur effet sur la résistance mécanique à différentes échéances 7, 14,28 jours (Tableau V.3 et figure V.3).

Tableau V.3. La résistance mécanique à la compression de BFV–différents dosages.

Résistance à la compression (MPa)			
Age de béton (jours)	7	14	28
BO	26.38	27.45	33.83
BFV 0.2%	21.20	22.07	26.38
BFV 0.4%	26.42	28.36	32.04
BFV 0.6%	30.14	30.70	34.04

On constate que l'augmentation de résistance en compression est selon l'augmentation de dosage en lif à 7, 14 et 28 jours cela peut être expliqué par la l'augmentation de quantité en fibre qui sert à combler les vides entre les grains fins de ciment et augmenter la résistance mécanique à la compression. La résistance mécanique à la compression avec l'incorporation de 0,6% de lif dans le béton semble être supérieure ou égale à celle de béton témoin au cours de temps.

L'augmentation de résistance peut être justifiée aussi par l'augmentation de la quantité des C-S-H issues de la réaction d'hydratation (hydrates conférant au matériau sa résistance) qui précipitent. L'introduction de lif dans la matrice cimentaire reste bénéfique sur des critères de performance mécanique. D'autres caractéristiques sont peut être améliorées par exemple la durabilité, les déformations différées ...

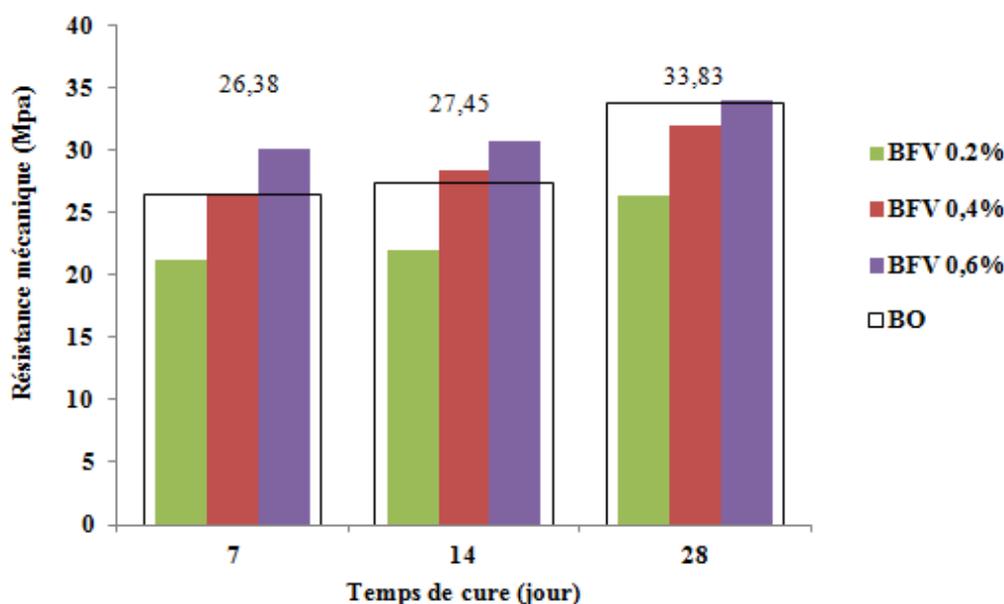


Figure V.3. Effet de SP en présence de lif sur la résistance à la compression au cours du temps.

Pour la résistance à la compression, nous remarquons que le gain de résistance est presque négligeable par rapport les résistances de témoin. Et cela est en accord avec la littérature.

En effet, la majorité des auteurs rapportent que l'ajout des fibres végétales au béton ou au mortier n'améliore pas sa résistance à la compression.

Ces résultats sont en concordance avec ceux de Namango [25], dans son étude sur les BTC à base de ciment et avec l'ajout des fibres de sisal. L'auteur a conclu que, la teneur en sisal en présence de ciment, semble ne pas avoir d'effet sur la résistance du BTC.

6.3. Effet de super-plastifiant en présence de lif

Tableau V.4. La résistance mécanique à la compression de BFV–différents dosages de SP.

Résistance à la compression (MPA)			
Age de béton (jours)	7	14	28
BO	26.38	27.45	33.83
BFV 1%+SP 1%	19.93	28.14	38.15
BFV 1%+SP 2%	19.26	23.07	34.12

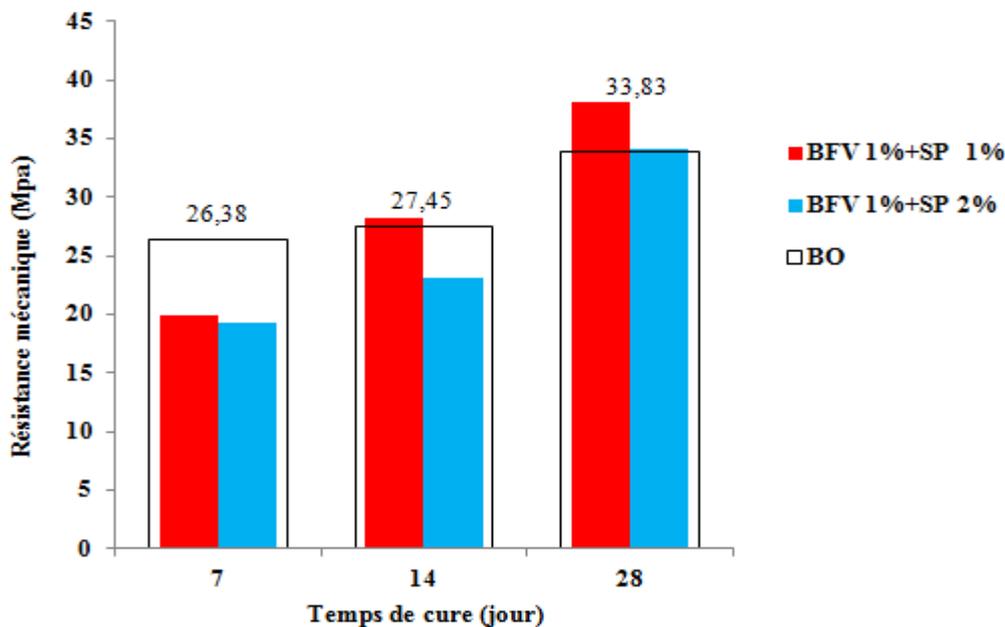


Figure V.4. Effet de SP en présence de lif sur la résistance à la compression par rapport au béton témoin au cours du temps.

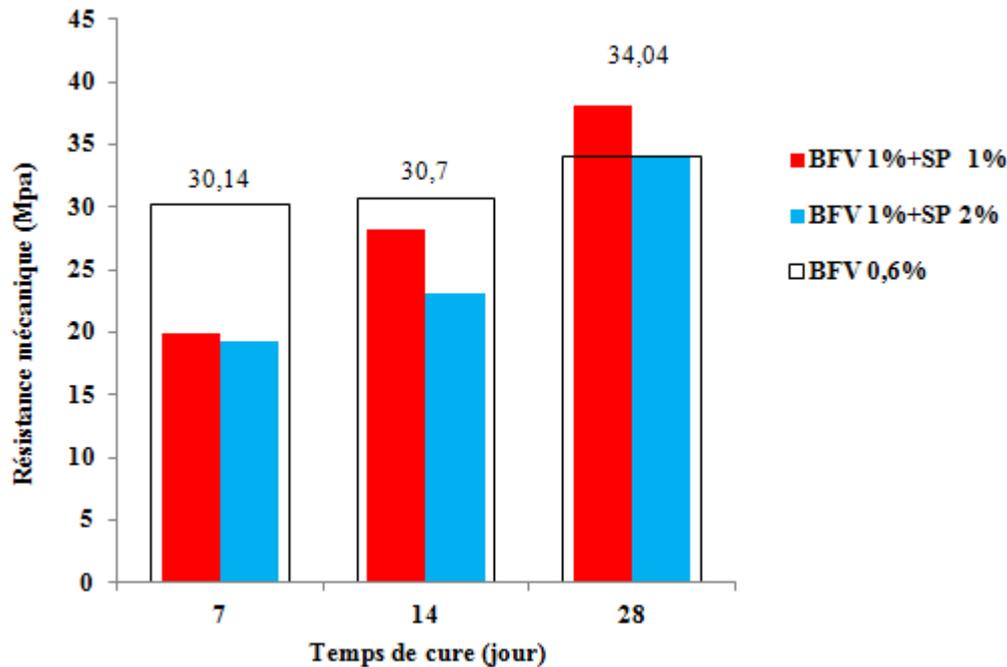


Figure V.5. Effet de SP en présence de lif sur la résistance à la compression par rapport au béton BFV 0,6% au cours du temps.

La variation de la résistance à la compression des bétons fibrés de 1% de lif plus 1% et 2% de super-plastifiant SP en fonction de temps peut montrer une diminution de la résistance à court terme 7 et 14 jours mais la résistance reste bénéfique qu'avec 1% SP à 28 jours soit par rapport le béton témoin ou par rapport le béton fibré de 0,6% lif. Malgré que la présence de super-plastifiant a un effet positif sur l'affaissement de béton fibré mais sa présence rend le béton fibré moins résistant à court terme. Donc la présence de super-plastifiant dans des bétons fibres avec une quantité de fibres qui dépassent 0,6% a un effet négatif sur la résistance mécanique à la compression à court terme 7 et 14 jours, Cela est dû probablement à la favorisation de l'ouvertures des bielles en fonction de l'augmentation du pourcentage de super-plastifiant, ce qui favorise la formation des microfissures d'où la diminution de la résistance à la compression.

7. Conclusion

Ce chapitre rapporte les résultats d'une étude de l'effet de fibre végétale et de son dosage dans la matrice cimentaire sur l'affaissement et la résistance mécanique du béton. L'essentiel des résultats a été basé sur la résistance mécanique en compression à court (7j), moyen (14j) et long (28j) terme.

Nous citons les résultats suivants :

- L'ouvrabilité diminue en fonction de l'augmentation du pourcentage des fibres.
- La résistance à la compression des bétons des fibres avec 0,4% lif de palmier restent presque inchangeable avec une légère différence de un ou deux Mpa par rapport le béton témoin sans lif.
- L'incorporation de 0,6% de lif dans le béton présente un dosage max pour une maniabilité souhaité et une résistance mécanique à la compression acceptable.
- L'ajout de super-plastifiant peut améliorer la maniabilité de béton fibré mais il entraîne une diminution de la résistance à la compression.

En général, dans les bétons fibrés, il est difficile d'assurer une distribution homogène des fibres dans un volume de béton ; on peut s'approcher à une distribution idéale par un meilleur malaxage et une bonne caractérisation des fibres.

Conclusion générale

Conclusion générale

La problématique traitée dans ce travail de mémoire concerne l'influence d'utilisation de fibre végétale (lif de palmier de Jijel) sur la résistance mécanique à la compression du béton fibré. Nous tenons à rappeler que l'objectif principal du présent travail est de montrer les avantages de l'utilisation des fibres végétales dans le béton.

Nous pouvons mentionner les conclusions suivantes :

- L'ouvrabilité diminue en fonction de l'augmentation du pourcentage des fibres.
- La résistance à la compression des bétons des fibres avec 0,4% lif de palmier restent presque inchangeable avec une légère différence de un ou deux Mpa par rapport le béton témoin sans lif.
- L'incorporation de 0,6% de lif dans le béton présente un dosage max pour une maniabilité souhaité et une résistance mécanique à la compression acceptable.
- L'ajout de superplastifiant peut améliorer la maniabilité de béton fibré mais il entraîne une diminution de la résistance à la compression.

Finalement on peut dire qu'on peut formuler un béton fibré de fibre végétale type fil de palmier, avec un dosage de 0,6% de la masse de ciment sans l'ajout de superplastifiant.

Nous recommandons :

- D'étudier expérimentalement l'effet de lif sur la résistance à la traction et flexion.
- D'étudier le potentiel d'utilisation des bétons fibrés avec lif de palmier
- D'étudier le potentiel d'utilisation de lif de palmier dans le béton à un traitement alcaline, des pourcentages plus élevés avec la présence des additions et différents longueurs des fibres végétales.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- [1] **ADAM. M. NEVILLE.** (Propriétés des bétons) Eyrolles Paris, 2000.84, P271-27.
- [2] **GEORGES DREUX, JEAN FESTA** « Nouveau guide de béton et de ses constituants » 8ème édition Eyrolles Paris 1998.
- [3] **Thèse doctorant Stéphan ASSIE**, «durabilités de béton. laboratoire matériaux et durabilités des constructions INSA-UPS génie civil, » 135 avenue de Ranguil, 31077 Toulouse cedex.année 2004.
- [4] **YAHIAOUI LAMIA**, «Caractérisation d'un composite à la rupture à base des fibres Végétales (diss)» Thèse de magister 2011.
- [5] **BOUTIBA ALDJIA**, «Accélération du durcissement par énergies renouvelables du béton frais et caractérisation du béton durci» Thèse de magister, Université M'hamed Bougarra.
- [6] **D.SCHLUUMMBERGER**, «Cementent technology, édition nova communication, London, ».
- [7] **G. Dreux** «Nouveau guide du béton » Edition, Eyrolles- Paris- 1998, P 29-41.
- [8] **Erik B Nelson, Jean-François Baret and Michel Michaux** (1990), « Cement Additives and Mechanisms of Action ».
- [9] **BOULEKBACHE B. HAMRAT M. CHEMROUK M. and AMZIANE S**, 2009, «Influence of the rhéologie of steel fibers' Reinforced Concretes on their Mechanical Properties». European Journal of Environmentalkj and Civil Engineering.
- [10] **COTTERELL B**, (1996), « Fracture mechanics of cementations materials», blackie academic et professional, London/Chapman and hall.
- [11] **COLLECTION TECHNIQUE CIM-BÉTON**, « Les bétons : formulation, fabrication et mise en œuvre » chapitre 3 ; Tome II., Ecole Française du Béton.
- [12] http://www.ifsttar.fr/collections/BLPCpdfs/blpc_215_41-51.pdf.
- [13] **Benaissa, A., Morlier, P., Viguier, C.**, (1993b). «Fluage et retrait du béton de sable. Materials and structures 26(6) p: 333-339».
- [14] **Yahiaoui Lamia**, « caractérisation d'un composite à la rupture à base des fibres végétales Diss », mémoire magister, option mécanique appliquée, université de Sétif, 2011.
- [15] **Baali Hafida**, « étude de l'effet du traitement chimique des fibres de palmier dattier sur le comportement mécanique du béton polymère », mémoire master, université de M'sila, juin 2014.
- [16] **Moktari Abdessamed**, « influence des ajouts de fins minérales sur les performances mécaniques des bétons renforcé de fibre végétales de palmier dattier », université de Kasdi Merbah Ouargla option génie civil, novembre 2006.
- [17] **Sofien Bouzouita**, « optimisation des interfaces fibre-matrice de composites à renfort naturel », thèse doctorat, école centrale de Lyon, France, janvier 2013.

Références bibliographiques

- [18] **CARMA**, « Glossaire des matériaux composites renforcés des fibres d'origine renouvelable », centre d'animation régional en matériaux avancés, Décembre 2006.
- [19] **Daghefel Azzedine**, « Étude du comportement à la rupture du béton polymère renforcé par des fibres végétales », mémoire master, université de M'sila, juin 2012.
- [20] **Kouici abir**, « Etude de l'effet de l'introduction des fibres végétales sur les propriétés des bétons autoplaçant (BAP) à l'état frais et durcis », mémoire master, université de M'sila, juin 2016.
- [21] **KARECHE ABDELHAK**, «Etude des matériaux à base de bois de palmier dattier : durabilité, dégradation et propriétés structurales et des transferts » Mémoire de magister 2014.
- [22] **D.BELKARCHOUCHE et A.CHAKER** « Caractérisation thermo physique et mécanique de matériaux de construction : béton de fibre naturelle », université de Constantine 2013.
- [23] **BOUNAR et HALA**, «Etude de comportement de béton fibre métallique à la compression et à la traction par flexion », université de jijel 2015.
- [24] **BOUBAA et KHELF** «Etude de la durabilité des BHP» (Effet de la carrière des granulats sur la résistance mécanique), université de jijel 2018.
- [25]**MOKHTARI ABDESSAMED**, « Influence des ajouts de fines minérales sur les performances Mécanique des bétons Renforcés de fibres végétales de palmier dattier».
- [26] **Sandrine B**, « Mèmoire ISLAM et AZIZ ».

ANNEXE A

ANNEXE A

ANNEXE B

Tableau 1 : classe varie de ciment

Dénomination normalisée	32.5 MPa	42.5 MPa	52.5 MPa
Classe vrai du ciment f_{CE}	45 MPa	55 MPa	60 MPa

Tableau 2 : coefficient granulaire G

Qualité des granulats	Fins ($D \leq 16\text{mm}$)	Moyens ($20 < D < 40\text{mm}$)	Gros ($D = 50\text{mm}$)
Excellente	0.55	0.6	0.65
Bonne, courante	0.45	0.5	0.55
passable	0.35	0.4	0.45

Tableau 3 : correction du dosage en eau selon le diamètre D des plus gros granulats.

Diamètre en mm	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50
Correction en %	+9	+6	+4	+2	0	-2	-4	-6

Tableau 4 : valeur du coefficient correcteur K

Vibration		Faible		Normale		Puissante	
Forme des granulats (du sable en particulier)		Roulé	Concassé	Roulé	Concassé	Roulé	Concassé
Dosage en ciment	400+ Fluidifiants	-2	0	-4	-2	-6	-4
	400	0	+2	-2	0	-4	-2
	350	+2	+4	0	+2	-2	0
	300	+4	+6	+2	+4	0	+2
	250	+6	+8	+4	+6	+2	+4
	200	+8	+10	+6	+8	+4	+6