



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
Université d'El-Oued

Faculté de Technologie

Département d'Hydraulique et de Génie Civil

MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de Master en Génie Civil

Option : matériaux de construction

Thème

**Amélioration d'une formulation de béton
vert à base des matériaux locaux renforcés
par les fibres de palmier**

Présente par :

- DOB Djouhaina
- BEN ZAOUI Rihab
- KHELLAFI Kawther

Dirigé par :

- Mr. SOULIMANE Ilyes

Promotion : Juin /Octobre 2020



Dédicace

C'est avec l'aide et la grâce du Dieu que j'ai achevé ce modeste travail que je dédie :

A mon très cher père Mohamed

Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours eu pour vous. Rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et nuit pour mon éducation et mon bien être. Ce travail est le fruit de tes sacrifices que tu as consentis pour mon éducation et ma formation.

A ma très chère mère Habiba

Tu représentes pour moi le symbole de la bonté par excellence, la source de tendresse et l'exemple du dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager et de prier pour moi. Ta prière et ta bénédiction m'ont été d'un grand secours pour mener à bien mes études. Aucune dédicace ne saurait être assez éloquente pour exprimer ce que tu mérites pour tous les sacrifices que tu n'as cessé de me donner depuis ma naissance, durant mon enfance et même à l'âge adulte.

A mes très chers frères : Mostefa et Arsalene

A ma belle sœur : Hiba

A ma chère sœur : Rania et son mari Abdellah

A mes jolies nièces : Miral, Ritel, Lyna

A mes belles amies : Souha, Nour el-houda, Yousra, Besma

Je ne peux trouver les mots justes et sincères pour vous exprimer mon affection et mes pensées, vous êtes pour moi des frères, sœurs et des amis sur qui je peux compter.

A toute ma grande famille : DOB

DOB Djouhaina



Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

*A ma mère **Fatiha**, ma raison d'être, ma raison de vivre, la lanterne qui éclaire mon chemin et m'illumine de douceur et d'amour.*

*A mon père **Karim**, en signe d'amour, de reconnaissance et de gratitude pour tous les soutiens et les sacrifices dont il a fait preuve à mon égard.*

A mes chères frères et sœurs, aucun mot ne pourra d'écrire vos dévouements et vos sacrifices.

*A mon cher fiancé : **Mohamed***

A tous mes amis, en témoignage de l'amitié sincère qui nous a fiées et des bons moments passés ensemble.

A tous les gens qui ont cru en moi et qui me donnent l'envie d'aller en avant.

Je vous remercie tous pour votre soutien et vos encouragements me donnent la force de continuer.

KHELLAFI Kawther



Dédicace

Je dédie ce mémoire Particulièrement à mes chers parents :

Badjadi Khadidja et Benzaoui M.Chemceddine

Que dieu leur procures la bonne santé et la longue vie pour leur patience, leur amour, leur soutien et leur encouragement.

*A mes chères sœurs : **Nour el-houda, Achwak et Besmala***

A tout ma famille, et mes amis

*A mes binômes : **Kawther et Djouhaina***

A tous ceux qui ont contribué de près ou de loin, je vous remercie tous, votre soutien et vos encouragements me donnent la force de continuer.

BENZAOUI Rihab



REMERCIEMENT

Tous d'abord, nos remerciements les plus sincères et les plus chaleureux s'adressent à ALLAH tout puissant qui nous a permis d'être ce que nous sommes aujourd'hui, et nous avoir donné le courage et la santé pour achevé ce travail.

Ensuite, nos remerciements vont à notre encadreur **Mr. SOULIMANE Ilyes** qui nous a guidés dans notre travail, merci pour nous avoir accordé son temps, merci d'avoir été très patient avec nous.

Nous tenons à présenter notre remerciement à les membres de jury **Dr Ammari Med Seghir** et **Mme Hachem Rafika**, qui ont accepté de juger notre travail.

Mes plus vifs remerciements vont à l'ensemble du personnel du laboratoire LGCR El-Oued pour leurs collaborations, et plus particulièrement à Monsieur **Sedira Abdelhamid** pour son accueil chaleureux à chaque fois que nous avons sollicité son aide.

Je souhaite remercier aussi tous les personnels du laboratoire NEWZILAB El-Oued pour son collaboration pour réaliser ce travail.

Un autre merci particulier à Mr. Badis Abdelghani et à Mr. Fathi Chikha et à Kaid Housseem Eddine pour avoir mis leurs expériences à notre profit et leurs conseils objectifs.

Enfin nous remercions nos familles pour leurs soutiens et leurs aides.

Table des matières

Dédicace	
Remerciement	
Sommaire	
Résumé	
Listes des figures	
Liste des tableaux	
Liste des notations	
Chapitre I : Etude bibliographique	
Introduction générale	1
1. Introduction	3
2. Le béton	3
3. Les propriétés des bétons	3
3-1. Béton frais	3
3-1-1. La consistance	3
3-1-2. L'ouvrabilité / maniabilité	3
3-1-3. La ségrégation	4
3-1-4. Le ressuage	4
3-2. Béton durci	4
3-2-1. Résistance à la compression	4
3-2-2. Résistance à la traction	4
3-2-3. Résistance à la flexion	5
3-2-4. Résistance de cisaillement	5
3-2-5. Le retrait	5
3-2-6. Le fluage	5
4. Avantages des bétons	5
5. Inconvénients des bétons	6
6. Le béton vert	6
7. Les exigences de béton vert	6
8. Les bénéfices environnementaux de l'utilisation du béton vert	7
9. Critères de choisir les matériaux alternatifs	7
9-1. La performance des matériaux	7
9-2. la qualité de l'air dans les endroits fermés	8
9-3. La performance énergétique	8
9-4. Abordabilité	8
10. Matériaux alternatifs utilisés dans le béton vert	8
10-1. Remplacement des agrégats	8
10-2. Remplacement de ciment	9

10-3. Remplacement du sable	12
11. Avantages du béton vert	13
12. Inconvénients du béton vert	13
13. Conclusion	14
Chapitre II : Matériaux composites à base des matériaux locaux	
1. Introduction	15
A- Matériaux composites à bases de fibres naturelles	15
A-1. Définition d'un matériau composite	15
A-2. Les différents types de fibres industrielles utilisées dans le renforcement du béton	16
A-3. Les fibres naturelles	16
A-3-1. Les fibres végétales	17
A-3-1-1. Classification des fibres végétales	17
A-3-1-2. Caractéristiques physiques et mécaniques des fibres végétales	18
A-3-1-3. Utilisation des fibres végétales dans la construction	19
A-3-1-4. Principaux avantages et inconvénients des fibres végétales comme renforts de matériaux composites	19
B- Matériaux locaux	20
B-1. Les palmiers dattiers	20
B-1-1. Généralités sur le palmier dattier	20
B-1-2. La palme	23
B-2. Utilisations des feuilles de palmier dattier	23
2. Conclusion	23
Chapitre III : Caractérisation des matériaux utilisés et techniques expérimentales	
1. Introduction	24
2. matériaux utilisés et ses caractéristiques	24
2-1. Le ciment	24
2-2. Les granulats	25
2-2-1. Le sable	25
2-2-2. Le gravier	26
2-2-3 Caractéristiques des granulats utilisés	26
2-3. Eau de gâchage	31
2-4. Les feuilles de palmiers dattier	31
3. Formulation de biton ordinaire	32
3-1. Données indispensables	32
3-2. Détermination du rapport C/E	32
3-3. Détermination de dosage en ciment	33
3-4. Détermination d'eau	33
3-5. La droite brisée	33
3-6. Les pourcentages	34
3-7. Le coefficients de compacité	34

3-8. Détermination les volumes absolus et les masses des granulats	34
4. Formulation du béton de fibre	35
5. Malaxage du béton	36
6. Affaissement au cône d'Abrams	36
7. Optimisation des proportions du squelette granulaires	37
8. Confection des éprouvettes	37
8-1. Type et taille des moules	37
8-2. Remplissage des moules	38
8-3. Conservation des éprouvettes	38
9. Conclusion	39
Chapitre VI : Résultat et discussion	
1. Introduction	40
2. Essai de traction par flexion	40
2-1. But de l'essai	40
2-2. Conduite de l'essai	40
2-3. Présentation des résultats	41
2-4. Discussion des résultats	42
3. Conclusion	43
Conclusion générale	44
Liste des références	46

Liste des figures

Chapitre I : Etude bibliographiques

Figure 1 : Déchets de béton.

Figure 2 : Les cendres volantes.

Figure 3 : Fumé de silice.

Figure 4 : Poudre de verre.

Figure 5 : Déchets de marbre.

Chapitre II : Matériaux composites à base des matériaux locaux

A- Matériaux composites à base de fibres naturelles

Figure 1 : Schéma d'un matériau composite.

Figure 2 : Présentation schématique d'un palmier dattier.

Figure 3 : Schéma d'une palme.

Chapitre III : Caractérisation des matériaux utilisés et techniques expérimentales

Figure 1 : Le ciment utilisé.

Figure 2 : Analyse granulométrique du sable 0/3 et du gravier 3/8, 8/15, 15/25.

Figure 3 : Equivalant du sable.

Figure 4 : Masse volumique apparence.

Figure 5 : Appareil de Los Angeles.

Figure 6 : Malaxage de béton.

Figure 7 : Essai de cône d'Abrams.

Figure 8 : Optimisation de rapport G/S en fonction de l'affaissement.

Figure 9 : Remplissage des moules.

Figure 10 : Conservation des moules dans l'eau (28 jours).

Chapitre VI : Résultat et discussion

Figure 1 : Formule de calcul de la résistance de traction par flexion.

Figure 2 : Essai de traction par flexion.

Figure 3 : Présentation des résistances en traction par flexion des bétons ordinaires et fibrés.

Liste des tableaux

Chapitre II : Matériaux composites à base des matériaux locaux

A- Matériaux composites à base de fibres naturelles

Tableau 1 : Propriété physique et mécanique de certaines fibres.

Tableau 2 : Les caractéristiques physiques et mécaniques de quelques fibres végétales.

Tableau 3 : Principaux avantages et inconvénients des fibres végétales.

B- Matériaux locaux

Tableau 4 : Différentes variétés de palmiers dattier en Algérie.

Chapitre III : Caractérisation des matériaux utilisés et techniques expérimentales

Tableau 1 : Caractéristiques physiques du CPJ-CEM/42.5.

Tableau 2 : Classification des sables suivant leur grosseur.

Tableau 3 : Classification des sables suivant la valeur du module de finesse.

Tableau 4 : Analyse granulométrique du sable.

Tableau 5 : Analyse granulométrique des graviers (3/8) , (8/15), (15/25).

Tableau 6 : La masse volumique apparente des granulats.

Tableau 7 : La masse volumique absolue des granulats.

Tableau 8 : Les pourcentages d'impuretés des graviers.

Tableau 9 : Les pourcentages de Los Angeles de graviers utilisés.

Tableau 10 : Les propriétés physiques et mécaniques de feuilles de palmiers dattier.

Tableau 11 : Coefficient granulaire G.

Tableau 12 : Les masses de constituants de béton pour $1m^3$.

Tableau 13 : Les masses de constituants de béton de fibre pour $1m^3$.

Tableau 14 : L'affaissement des trois mélanges en fonction de rapport G/S.

Chapitre VI : Résultat et discussion

Tableau 1 : Caractéristique mécanique des bétons ordinaires témoins.

Tableau 2 : Caractéristique mécanique des bétons fibrés (feuille de palmier dattier) : pourcentage de 0.75%.

Tableau 3 : Caractéristique mécanique des bétons fibrés (feuille de palmier dattier) : pourcentage de 1.5%.

Tableau 4 : Les caractéristiques mécaniques des bétons témoins et fibrés pour l'étude 2019/2020.

Liste des notations

Alphabétiques

A : Affaissement	cm
a : Dimension	cm
C : Dosage de ciment	<i>kg/m³</i>
D : Dimension	cm
E : Dosage en eau	L
E.S.P : Equivalent de sable par piston	%
F : Force appliquée	KN
G : Coefficient granulaire	%
h : Hauteur	cm
L : Longueur	cm
L.A : Los Angeles	%
M : Masse	Kg
MF : Module de finesse	%
P : Propreté des graviers	%
Rc : Refus cumulé	%
Rtf : Résistance a la traction par flexion	MPa
V : Volume	<i>m³</i>
Va : Volume absolue	<i>m³</i>

Romains

ρ_a : Masse volumique apparente	<i>g/cm³</i>
ρ_s : Masse volumique absolue	<i>g/cm³</i>
ε : Déformation	<i>g/cm³</i>
f_{c28} : Résistance a la compression a 28j du béton	MPa
σ'_{28} : Classe vraie du ciment a 28j	MPa
σ_t : Contrainte de traction	MPa
σ_{tf} : Contrainte de traction par flexion	MPa

Abréviations

EPA: Environmental Protection Agency.

ASTM: AgencyStandard Test Method.

GCC: Green Concrete Center.

RHA: Rice Husk Ash.

Résumé :

Les matériaux cimentaires sont des matériaux fragiles en raison de leur faible résistance à la traction, l'addition des fibres végétales peut améliorer considérablement leur résistance à la traction (fissuration). Cependant, l'addition dans le béton ordinaire pose des problèmes de la maniabilité du mélange, ce qui génère des difficultés lors de l'utilisation du mélange. Par conséquent, l'étude de ces composés devrait être bien étudiée.

L'objectif principal de ce travail c'est la valorisation des ressources naturelles locales abondants et peu couteux dans la région de oasis (les feuilles de palmier dattier), et de les introduire dans le domaine de la construction de manière scientifique, utilisés comme renfort dans le béton. Pour réduire l'impact environnemental et améliorer le comportement mécanique du béton à la traction. Nous étudierons dans ce travail, la méthode d'obtention d'une composition optimale, à partir d'une bonne ouvrabilité d'une part et une meilleure performance mécanique (résistance a la traction par flexion) d'autre part, en tenant compte les différents facteurs influençant sur cette composition tel que : le pourcentage des fibres.

Mots clés : Matériaux composites, Béton vert, Les feuilles de palmier dattier, Matériau locale, Résistance à la traction par flexion.

ملخص:

المواد الأسمنتية هي مواد هشة بسبب قوتها المنخفضة في الشد، ويمكن أن تؤدي إضافة الألياف النباتية إلى تحسين قوة الشد (التكسير) بشكل كبير ومع ذلك، فإن الإضافة إلى الخرسانة العادية تسبب مشاكل في قابلية عمل الخليط، مما يخلق صعوبات عند استخدام الخليط. لذلك، يجب دراسة هذه المركبات جيدًا.

الهدف الرئيسي من هذا العمل هو تامين الموارد الطبيعية المحلية الوفيرة وغير المكلفة في منطقة الواحات (سعف النخيل)، وإدخالها في مجال البناء بطريقة علمية، تستخدم كتعزيز. في الخرسانة. لتقليل التأثير البيئي وتحسين السلوك الميكانيكي للخرسانة في الشد. سوف ندرس في هذا العمل، طريقة الحصول على التركيبة المثلى، بداية من قابلية التشغيل الجيدة من ناحية والأداء الميكانيكي الأفضل (مقاومة الشد بالانحناء) من ناحية أخرى، مع مراعاة العوامل المختلفة التي تؤثر على هذا التركيب مثل: نسبة الألياف.

الكلمات المفتاحية: المواد المركبة، الخرسانة الخضراء، سعف النخيل، المادة المحلية، مقاومة الشد بالانحناء.

Abstract:

Cementitious materials are fragile materials due to their low tensile strength, the addition of plant fibers can significantly improve their tensile strength (cracking). However, addition to ordinary concrete poses problems with the workability of the mixture, which creates difficulties when using the mixture. Therefore, the study of these compounds should be well studied.

The main objective of this work is the valorization of the abundant and inexpensive local natural resources in the region of oasis (the date palm leaves), and to introduce them in the field of construction in a scientific way, used as reinforcement in concrete. To reduce the environmental impact and improve the mechanical behavior of concrete in traction. We will study in this work, the method of obtaining an optimal composition, from a good workability on the one hand and a better mechanical performance (tensile strength by bending) on the other hand, taking into account the various factors influencing this composition such as: the percentage of fibers.

Key words: Composite materials, Green concrete, Date palm leaves, Local material, Bending tensile strength.

Introduction générale

Un matériau composite est constitué généralement d'une ou de plusieurs phases discontinues réparties dans une phase continue. Les matériaux composites sont anciens, il y a plusieurs millénaires, les artisans de l'Égypte ancienne augmentaient les propriétés mécaniques des briques par adjonction de pailles courtes à l'argile fraîche.

Le béton et le mortier sont les matériaux les plus utilisés dans la construction, mais, ils résistent mal à la traction et à la fissuration, même il est également nécessité beaucoup d'énergie pour sa production. À la suite de ce que nous avons évoqué, est venu le concept de béton vert "respectueux de l'environnement " qui consiste à fabriquer un béton à base des déchets respectueux à l'environnement et réduire les émissions de dioxyde de carbone. Cela peut offrir des solutions techniques pour l'amélioration des performances mécaniques.

Le renforcement des matériaux cimentaires par les fibres végétales est relativement nouveau par rapport à celui des fibres d'amiante ou d'aciers. Depuis lors, l'utilisation des fibres végétales dans le béton est devenue de plus en plus une pratique courante. Des applications sont développées grâce à la capacité prouvée par l'expérience de ces nouveaux composites, à limiter et à contrôler la fissuration sous sollicitations mécaniques et à améliorer la résistance à la traction et au choc.

Le renforcement par les fibres végétales à un avenir promoteur est spécialement pour les pays de tiers-monde, qui possèdent d'énorme quantité de ces fibres, l'Algérie est parmi les pays, qui dispose d'extraordinaires ressources en fibres végétales (de palmier, Alfa Abaca, Chanvre, Cotton ...), malheureusement, leur valorisation dans les domaines pratiques, entre autre, dans les matériaux de construction est encore peu exploitée.

L'objectif de ce travail consiste à apporter notre contribution à la valorisation des ressources locales en l'occurrence les fibres végétales (feuilles de palmier dattier) de manière organisé dans les bétons peut améliorer considérablement leur résistance à la traction et à la flexion. Plus particulièrement le présent travail s'intéresse, donc, à l'étude de l'amélioration d'une formulation de béton vert à base des matériaux locaux renforcés aux fibres de palmiers.

L'organisation du travail s'est faite de la manière suivante :

➤ Le premier chapitre est consacré à la recherche bibliographique, en présentant les notions fondamentales des bétons conventionnelles et verts et savoir leur avantages et inconvénients.

➤ Le deuxième chapitre présente les matériaux composites a base des matériaux locaux, on y aborde en premier les matériaux composites a base des fibres végétales. Dans un second temps, on présente les fibres de palmier dattier comme un matériau local.

➤ Le troisième chapitre s'intéresse à l'étude des caractéristiques physiques et mécaniques des constituants élémentaires utilisées à savoir : le ciment, le sable, le gravier, l'eau de gâchage et les fibres de palmier. Et nous avons également étudié la composition du béton témoin et du béton fibré. Ensuite l'étape expérimentale de notre travail qui consiste à confectionner d'un coté des éprouvettes de béton ordinaire témoin et de l'autre coté des éprouvettes renforcées par les feuilles de palmier dattier.

Le dernier chapitre expose l'étape des essais mécaniques sur des éprouvettes de bétons ordinaires témoins et celles de bétons de fibres. Grâce à quoi nous avons étudié le comportement mécanique du béton de fibres en termes de quantité de fibres et donc la quantité optimale a été déterminée.

Chapitre I

Etude bibliographique

1. Introduction :

Le Béton dans des conditions naturelles normales est resté le matériau le plus couramment utilisé depuis l'antiquité. Il a l'avantage du coût faible et de sa technique de mise en œuvre assez facile. Ce mélange de produit d'origine naturelle présente en particulier une bonne résistance aux forces de compression, Par contre, son comportement à la traction doit être amélioré par l'ajout d'autres éléments. Parmi les anciennes solutions appliquées pour le renforcement du béton afin d'améliorer ses propriétés, on rajoutait souvent les fibres. Notez qu'ils existent plusieurs types de fibres, cependant, les fibres d'origine végétale ont démontré une efficacité remarquable dans l'amélioration de la tenue mécanique du béton [1].

2. Le béton :

Le béton est un mélange, en proportions diverses, de granulats, de ciment, d'eau, d'additions minérales (remplaçant parfois le ciment), souvent d'adjuvants et parfois de fibres. C'est le matériau de construction le plus utilisé au monde : on estime que sa production annuelle correspond à environ une tonne par habitant de notre planète. Ce succès est dû à plusieurs facteurs : le béton est un matériau économique, fabriqué à partir de ressources le plus souvent locales ; il est résistant, durable, isolant thermique et phonique ; il est facile à mettre en œuvre et se marie bien avec l'acier [2].

3. Les propriétés des bétons :

Le béton se caractérise par des propriétés à l'état frais et à l'état durci :

3-1. Béton frais :

3-1-1. La consistance :

La consistance du béton frais exprime la liquidité relative du béton, c'est-à-dire le rapport entre la quantité d'eau de malaxage et la quantité de matériaux secs dans le béton.

- Il existe trois méthodes principales pour déterminer la consistance du béton :
 1. Test d'affaissement.
 2. Test d'étalement.
 3. Test de balle de pénétration (Kelly).

3-1-2. L'ouvrabilité / maniabilité :

L'ouvrabilité est la capacité du béton à pouvoir être mis en œuvre facilement (remplissage des coffrages et enrobage des armatures) : elle caractérise, avant que le matériau ne durcisse, la fluidité du béton.

- Il existe trois essais pour déterminer la maniabilité du béton :

1. Test d'affaissement.
2. Test de facteur de compactage.
3. Test de Vébé.

3-1-3. La ségrégation :

La ségrégation est la séparation des composants de tout mélange hétérogène (tel que le béton) dont la distribution de ces composants devient irrégulière.

- Il existe deux types de ségrégations du béton :
 1. La séparation de gros granulats des agrégats est plus sédimentaire. C'est dans des mélanges très secs, en particuliers les pauvres en ciment.
 2. La séparation du (ciment et l'eau) se produit dans des mélanges très humides.

3-1-4. Le ressuage :

Le ressuage dans le béton est un phénomène dans lequel une formation d'une couche d'eau à la surface du béton nouvellement coulé après avoir été compacté et nivelé.

3-2. Béton durci :

3-2-1. Résistance à la compression :

La résistance a la compression est la propriété la plus importante du béton durci. Elle exprime leur qualité et leur validité, cette résistance est mesurée en expérimentant la compression sur des échantillons cylindriques ou cubique. La résistance du béton à la compression est également liée à plusieurs facteurs comme (les matériaux de composition et les rapports du mélange ; la façon de fabriquer du béton à partir du mélange, du transport, du moulage et du compactage, les conditions de conservation, condition d'essai) [3].

3-2-2. Résistance à la traction :

Le béton ordinaire (sans armature) est connu comme une matière très faible en tension par rapport a sa résistance a la compression. La résistance du béton ordinaire a la traction varie entre environ 7 et 10 % de la résistance a la compression [3].

- On peut l'obtenir expérimentalement avec trois types d'essais :
 - 1- Essai de traction par fendage (indirect).
 - 2- Essai de traction direct.
 - 3- Essai de traction par flexion.

3-2-3. Résistance à la flexion:

C'est une mesure d'une poutre ou d'une dalle en béton non armé qui résiste aux défaillances de flexion. Elle est déterminée par les méthodes de test standard ASTM C 78 (charge au troisième point) ou ASTM C 293 (CHARGE AU POINT CENTRAL). La résistance à la flexion représente environ 10 à 20% de la résistance à la compression et plus de 60 à 100% à la résistance de traction [4].

3-2-4. Résistance de cisaillement :

C'est une contrainte mécanique appliquée de manière parallèle ou tangentielle à une face d'un matériau. La résistance à le cisaillement du béton représente environ 10 à 12% de la résistance à la compression, et elle est supérieure à la résistance à la traction d'environ 20 à 30%, en raison de la faiblesse du béton à des contraintes de cisaillement, une armature transversale est mise en place pour résister à ces contraintes, qui augmentent près des appuis [3].

3-2-5. Le retrait :

Il s'agit d'une diminution des dimensions du béton, pendant et après les périodes de durcissement. Le retrait ne pose pas de problème à moins qu'il n'y ait une restriction de mouvement, car il provoque une tension dans le béton, ce qui conduit à sa fissuration [5].

Il existe trois types de retrait :

1. Retrait de séchage.
2. Retrait plastique.
3. Retrait endogène.

3-2-6. Le fluage :

Le fluage du béton est les différentes variations qui se produisent au fil du temps pour les déformations du béton (chargé ou déchargé) [6].

4. Avantages des bétons :

Le béton présente de nombreux avantages parmi eux :

- Résistance à la compression.
- Durabilité dans tout environnement.
- Un matériau de construction qui ne brûle pas, ne rouille pas ou ne pourrit pas.
- Versatilité, moulable sous toutes formes, couleurs et motifs imaginables.
- Excellente isolation aux vibrations et aux sons.
- Économique par rapport à certains matériaux.
- 100% recyclable.

5. Inconvénients des bétons :

- Faible résistance à la traction.
- Faible résistance à la flexion.
- Faible résistance au cisaillement.
- Distorsion de l'environnement lors de la construction et de la démolition.
- Nécessite des grandes quantités des matériaux.
- Difficulté à s'adapter après le coulage.
- Émissions de CO₂ lors de la production de ciment.

6. Le béton vert :

Le béton fabriqué à partir de déchets respectueux de l'environnement est appelé « **béton vert** ». Cela a été inventé pour la première fois au Danemark en 1998 par Dr. WG [7]. Le béton vert est également très populaire et il n'est pas cher en production, car par exemple, les déchets sont utilisés comme alternative partielle au ciment pour éviter la charge de l'élimination des déchets et réduire la consommation d'énergie pendant le processus de production, et par la suite il est également plus durable.

Aujourd'hui, le mot vert ne se limite pas à la couleur, il représente l'environnement qui nous entoure.

7. Les exigences de béton vert :

L'objectif du "Green Concrete Center" était de réduire l'impact environnemental du béton. Pour ce faire, une nouvelle technologie a été développée afin que toutes les étapes du cycle de vie de la structure en béton soient prises en compte en termes de conception structurelle, de spécifications, de fabrication et de maintenance et incluent les aspects de performance suivants :

- ✓ Propriétés mécaniques (résistance, retrait, fluage, etc.).
- ✓ Résistance au feu (effritement, transfert de chaleur, etc.).
- ✓ Qualité d'exécution (ouvrabilité, durcissement, etc.).
- ✓ Durabilité (protection contre la corrosion, gel, nouveaux mécanismes de détérioration, etc.).
- ✓ Aspects environnementaux (émission de CO₂, énergie, recyclage etc...)

Il existe un certain nombre d'exigences environnementales alternatives aux quelles les structures en béton vert doivent se conformer :

- ✓ Les émissions de CO₂ doivent être réduites d'au moins 30%.
- ✓ Au moins 20% du béton doivent être des produits résiduels utilisés comme granulats.

- ✓ Évitez d'utiliser des matériaux qui contiennent des substances indésirables spécifiées dans les listes de l'EPA.
- ✓ Le béton vert devrait avoir une recyclabilité plus élevée que le béton conventionnel.
- ✓ L'eau utilisée ne devrait contenir pas des substances nocives et dangereuses [7].

8. Les bénéfices environnementaux de l'utilisation du béton vert :

- **Dure plus longtemps :** Le béton vert a une résistance plus élevée et a un taux de retrait inférieur à celui du béton fabriqué uniquement à partir de ciment Portland. Les structures construites en béton vert ont de meilleures chances de survivre à un incendie, car elles peuvent résister à des températures allant jusqu'à 2400 ° F. Il a également une plus grande résistance à la corrosion, ce qui est important avec l'effet de la pollution sur l'environnement. Les pluies acides réduisent considérablement la longévité des matériaux de construction traditionnels. Tous ces facteurs s'ajoutent à un bâtiment qui durera beaucoup plus longtemps qu'un bâtiment en béton ordinaire [8].
- **Réduit la consommation d'énergie :** Si vous utilisez moins de ciment Portland et plus de cendres volantes lors du mélange du béton, vous utiliserez moins d'énergie. Les matériaux utilisés dans le ciment Portland nécessitent d'énormes quantités de charbon ou de gaz naturel pour chauffer. Les cendres volantes existent déjà en tant que sous-produit d'un autre processus industriel, vous ne dépensez donc pas beaucoup plus d'énergie pour l'utiliser pour créer du béton vert [8].
- **Réduit les émissions de dioxyde de carbone :** Parmi les principaux ingrédients du ciment ordinaire, on trouve le calcaire pulvérisé, l'argile et le sable chauffés à haute température. Ce processus est responsable de 5 à 8% de toutes les émissions de dioxyde de carbone dans le monde. La fabrication de béton vert libère jusqu'à 80% d'émissions de dioxyde de carbone en moins. Dans le cadre d'un effort mondial pour réduire les émissions, le passage complet au béton vert pour la construction contribuera considérablement [8].

9. Critères de choisir les matériaux alternatifs :

9-1. La performance des matériaux : Contient certaines caractéristiques :

- Ressources naturelles ou renouvelables.
- Disponibilité locale des matériaux **destinés à réutilisés ou recyclés**.
- Durabilité des matériaux [3].

9-2. La qualité de l'air dans les endroits fermés : La qualité de l'air intérieur est améliorée par l'utilisation de matériaux répondant à ces caractéristiques :

- Matériaux peu toxiques ou non toxiques.
- Les émissions chimiques de matériaux sont peu nombreuses.
- Matériaux résistants à l'humidité.
- Matériaux non nocives pour la santé [3].

9-3. La performance énergétique : Il s'agit principalement de l'énergie utilisée pour la fabrication du béton, et ces matériaux nécessitent de préférence une quantité minimale d'énergie pendant la période de production du béton [3].

9-4. Abordabilité : L'abordabilité peut être prise en considération lorsque nous voulons comparer les coûts du cycle de vie de construction résultant avec ce qui est construit avec des matériaux traditionnels, dans un pourcentage spécifié dans le budget général du projet [3].

10. Matériaux alternatifs utilisés dans le béton vert :

10-1. Remplacement des agrégats :

Les matériaux qui peuvent être utilisés comme alternative aux granulats naturels dans la production de béton sont appelés substituts aux granulats. Les éléments suivants sont des matériaux verts qui peuvent être utilisés sur place.

• Agrégats de cendres volantes :

De nombreux agrégats légers peuvent être produits à l'aide de cendres volantes. D'utiliser des cendres au bas du four dans le processus de fabrication du béton, les grains de cendres volantes peuvent être fondus chimiquement ou thermiquement en utilisant du ciment ou de la chaux, car ces matériaux ont de nombreuses propriétés souhaités.

Au milieu des années quatre-vingt-dix du siècle dernier, une étude a été menée sur la production d'agrégats de cendres volantes et l'utilisation de cet agrégat dans la production de béton. Les cendres volantes sont transportées et brûlées à un certain degré de chaleur pour produire un agrégat industriel fin et rugueux, et la densité en surface est de 650 à 790 kg/m³, et son taux d'absorption est très élevé de 16 à 24,8%. Ces propriétés nous montrent des résultats très positifs lors de l'utilisation des cendres volantes comme agrégats [3].

• Agrégats de béton ou de pierres recyclés :

Les agrégats rugueux fabriqués et recyclés sont des granulats graduels qui sont produits à partir de déchets de béton propres et classés, et qui sont généralement fabriqués pour être utilisés dans les couches de revêtement routier. Ce matériau peut contenir de petites quantités de briques, tuiles, pierres brisées ou autres formes comme mélange des matériaux en pierre.

La source d'agrégats fins du processus de recyclage peut être retracée aux grains fins du béton concassé, la forme, le gradient et les quantités excessives de grains fins peuvent également affecter sur l'ouvrabilité du béton, sa teneur en eau, sa forme finale et sa sensibilité pour les fissures molles [3].



Figure 1 : Déchets de béton.

10-2. Remplacement du ciment :

Les matériaux qui peuvent remplacer le ciment partiellement ou totalement dans la fabrication du béton sont appelés substituts au ciment.

Deux types d'alternatives sont disponibles pour le ciment, l'un provient généralement des déchets industriels et le second des déchets agricoles.

a) Déchets industriels :

• Cendres volantes :

Les cendres volantes sont une poudre très fine qui a tendance à voyager loin dans l'air. Elle est connue pour polluer l'air et l'eau et causer des problèmes respiratoires lorsqu'elle n'est pas éliminée correctement ; Et lorsqu'elle s'installe sur les feuilles des arbres dans les champs entourant les centrales électriques, il réduit la production agricole.

Lors de la combustion de poudre de charbon pour générer de la chaleur, les déchets de combustion contiennent 80% de cendres volantes et 20% des cendres restantes au fond. La couleur des cendres volantes générées par les centrales électriques varie du gris clair au gris moyen et prend l'apparence de la poudre de ciment.

L'utilisation de cendres volantes dans le béton au lieu du béton avec le ciment portland permettra d'importantes économies dans la consommation de ciment et d'énergie. L'utilisation de cendres volantes a plusieurs avantages. En théorie, les cendres volantes peuvent être utilisées à 100% au lieu du ciment Portland, mais si le taux de substitution est supérieur à 80%, il nécessite généralement un stimulant chimique. Par conséquent, des études ont montré que le taux de substitution optimal est d'environ 30%. De plus, les cendres volantes sont capables d'améliorer certaines propriétés du béton telles que la durabilité, car elles génèrent

moins de chaleur pendant la réaction, elles sont convenues bien aux applications des bétons massiques qui nécessitent utiliser de grandes quantités de béton.

L'utilisation de cendres volantes dans le béton dans la proportion idéale mentionnée précédemment améliore les performances du béton à l'état frais et à l'état durci, donc il augmente la maniabilité du béton frais et augmente la résistance et la durabilité du béton durci[3].



Figure 2 : Les cendres volantes.

• Fumé de Silice :

Depuis l'apparition de la civilisation, divers types de matériaux cimentaires ont été utilisés pour les pratiques de construction. L'arrivée de ciment portland ordinaire a complètement changé les activités de construction. Cependant, en raison de plusieurs inconvénients associés aux propriétés du ciment et des matériaux de construction fabriqués par le ciment ordinaire, ainsi que le facteur de coût tentent un mode pour utiliser d'autres matériaux pour des constructions économiques et des caractéristiques améliorées de mortier et de béton. De plus, plusieurs déchets sont générés en grandes quantités par différentes activités industrielles. Désormais, des tentatives ont été faites pour utiliser ces déchets ou sous-produits industriels dans les activités de construction afin de résoudre les problèmes de pollution de l'environnement. La fumée de silice est un de ces sous-produits industriels qui est utilisé et expérimenté pour obtenir un béton plus solide et durable. C'est l'une des pouzzolanes ayant une très grande surface qui se traduit par une utilisation meilleure de l'hydroxyde de calcium libéré lors de l'hydratation de Ciment. De plus, en raison de sa taille très fine, il agit comme matériau de remplissage entre les grains de gels de ciment.

Cette étude a démontré que l'ajout de fumé de silice améliore la résistance d'adhérence du béton et augmente considérablement la résistance à la compression du béton (6-57%). "L'augmentation dépend du niveau de remplacement" [9].



Figure 3 : Fumé de silice.

• **Déchets de verre (poudre de verre) :**

Les déchets de verre augmentent en raison du développement technologique et l'augmentation de la population. Donc dans le cadre de la valorisation de ces déchets pour les réduire, Ils ont choisi les déchets de verre sous forme de poudre pour les remplacer par du ciment.

L'ajout de poudre de verre donne des bons résultats, Par conséquent, des études ont montré que le taux de substitution optimal de poudre de verre est d'environ 15% ce qui améliore la maniabilité et la résistance mécanique [10].



Figure 4 : poudre de verre.

• **Déchets de marbre :**

Les déchets de l'industrie du marbre ont un impact négatif sur l'environnement, qui peuvent réduire la porosité et la perméabilité du sol à absorber l'eau et provoquant certaines maladies respiratoires de la population. Dans ce cadre une étude a été menée afin de mettre en évidence la possibilité d'utiliser la poudre de marbre comme substituant du ciment dans le béton.

Cette valorisation améliore les performances du béton à l'état frais et à l'état durci et la pâte cimentaire.



Figure 5 : Déchets de marbre.

b) Déchets agricoles :

• La cendre de cosse de riz :

Est un sous-produit des déchets agricoles produits dans les rizeries, ce sous produit est utilisé comme substituant de ciment afin de contrôler la pollution atmosphérique résultants de l'industrie de la production de ciment. Les résultats des tests de ce type de remplacement ont indiqué la relation positive entre le remplacement de 15% (% optimale) du RHA et l'augmentation des résistances à la compression d'environ 20%. Aussi cette étude conduit a une réduction de 26% de la perméabilité a l'eau [11].

Ces résultats bénéficient considérablement à la durabilité et à la résistance des constructions en béton et à leur durée de vie [11].

10-3. Remplacement du sable :

Les matériaux utilisés pour remplacer partiellement ou complètement le sable naturel sont appelés substituts du sable. Un supplément écologique est mentionné ci-dessous :

• Résidus de pierre brisée sous forme d'agrégat fin :

La poussière de carrière (carrières ou pierre brisés) peut être définie comme des sédiments, des résidus ou d'autres déchets présents après l'extraction et le traitement des roches pour former des grains fins de moins de 4,75 mm de diamètre.

L'utilisation de matériaux alternatifs du sable dans les travaux de construction doit être prise en compte en termes d'applications. L'utilisation de poussières de carrière peut parfois augmenter la quantité de ciment nécessaire pour maintenir la maniabilité.

En comparaison avec le béton ordinaire, des expériences ont prouvé que le béton de poussière de carrière résiste mieux à l'acide et au sulfate et a moins de perméabilité. Cependant, le degré d'absorption d'eau dans le béton de poussière de carrière est légèrement plus élevé que le béton ordinaire.

L'utilisation du sable de carrière est généralement limitée en raison du grand volume de ciment requis pour obtenir une ouvrabilité adéquate du béton. La quantité de contenu supplémentaire de la pâte de ciment dépend de la forme, de la rugosité de la surface et de la teneur en poussière dans le sable. L'augmentation de l'eau de mélange dans les mélanges de béton aura des effets négatifs sur la forme et la texture du sable de carrière, pour résoudre ce problème, nous pouvons également réduire la proportion d'eau de mélange en utilisant des additifs réducteurs d'eau, mais ces traitements augmentent le coût de construction [3].

11. Avantages du béton vert :

- Beaucoup de changements ne sont pas nécessaires pour la préparation du béton vert par rapport au béton classique.
- Réduction de la pollution de l'environnement.
- Réduction de 30% des émissions de CO₂ dans la production du béton.
- Augmentation de 20% de l'utilisation des déchets dans la production du béton.
- Contribuer au développement durable.
- Bonne résistance au feu et insonorisée par rapport au béton conventionnel.
- Meilleur comportement de résistance à la compression du béton vert que le béton ordinaire.
- Maniabilité parfois supérieure à celle du béton ordinaire.
- Moins perméable par rapport au béton conventionnel.
- La durabilité du béton est supérieure à celle du béton conventionnel.
- Il nécessite moins d'entretien et de réparations [3].

12. Inconvénients du béton vert :

- Dans le béton écologique, le coût de l'armature augmente avec l'utilisation d'acier inoxydable.
- Une analyse détaillée du cycle de vie du béton vert en considérant différents paramètres est indispensable pour comprendre les propriétés du béton résultant.
- L'absorption d'eau est élevée par rapport au béton conventionnel [12].

13. Conclusion :

L'objectif de cette étude est d'éviter la pollution des environnements, donc le béton vert est une excellente alternative au béton ordinaire car il est moins cher et les déchets sont utilisés et permettent d'économiser l'énergie consommée dans la production, mais surtout le béton vert a plus de résistance et de durabilité que le béton ordinaire. Il est certain que cette technologie prendra du temps pour commencer son application réelle. Pour les pays arabes, Dubaï a commencé à appliquer ce système dans le cadre de sa stratégie pour rendre la ville verte, et le ciment portland ordinaire est remplacé par d'autres matériaux de ciment respectueux de l'environnement dans le cadre d'une initiative qui contribue à convertir les bâtiments de l'émirat en futur vert écologique [1].

Chapitre II

Matériaux composites à base des matériaux locaux

1. Introduction :

Le renforcement des bétons et le mortier par les fibres végétales est relativement nouveau par rapport à celui des fibres métalliques ou synthétique.

Depuis, l'utilisation des fibres dans le béton est devenue de plus en plus une pratique courante. Des applications sont développées grâce à la capacité prouvée par l'expérience de ces nouveaux composites, à limiter et à contrôler la fissuration sous sollicitations mécaniques et à améliorer la résistance à la flexion et au choc [12].

L'objectif de ce chapitre est de présenter une étude bibliographique sur les composites à base des matériaux locaux, la première partie s'intéresse aux matériaux composites à base de fibres naturelles. Dans la deuxième partie, on se focalisera sur les matériaux locaux inclus dans la composition des bétons.

A. Matériaux composites à bases de fibres naturelles :

A-1 Définition d'un matériau composite :

Un matériau composite est constitué généralement d'une ou de plusieurs phases discontinues réparties dans une phase continue. Dans le cas de plusieurs phases discontinues de natures différentes le composite est dit hybride. La phase discontinue est habituellement plus dure et avec des propriétés mécaniques en traction supérieures à celle de la phase continue. La phase continue est appelée matrice et la phase discontinue est appelée renfort [1].

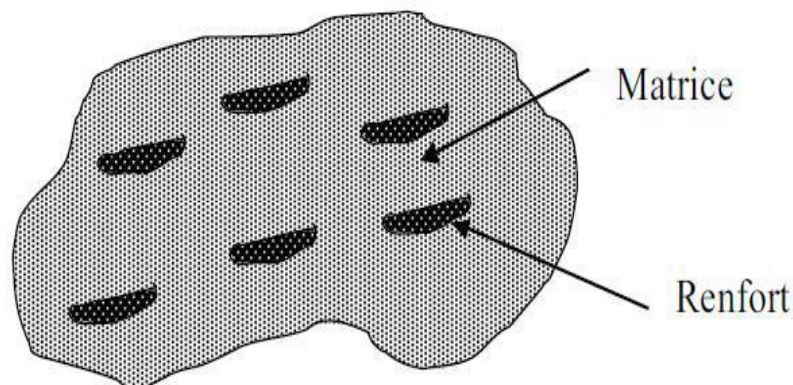


Figure 1 : Schéma d'un matériau composite [1].

A-2 Les différents types de fibres industrielles utilisées dans le renforcement du béton :

Plusieurs types des fibres sont utilisés dans la construction, parmi eux nous citons :

- a) Les fibres métalliques (acier, fonte).
- b) Les fibres organiques (polypropylènes, polyesters, polyamides et polystyrènes).
- c) Les fibres minérales (amiante, verre, carbone).
- d) Les fibres végétales (jute, sisal, coir, bois, bambou, palmier).
- e) Les fibres animales (poil, laine, soie) [1].

Le tableau 1 ci-dessous donne quelques caractéristiques des différentes fibres utilisées.

Tableau 1 : Propriétés physiques et mécaniques de certaines fibres [1].

Fibre	Diamètre en μm	Densité en (g/cm^3)	Module d'élasticité en GPa	Résistance a la traction en GPa	Allongement de rupture en %
Acier	5-500	7.8	200	1-3	3-4
Verre	5-20	2.6	80	1.5-3	2-3.5
Polypropylène	7-5	0.9	5-10	0.4-0.75	15.25
Amiante	0.02-20	2.5-3.4	200	3	2.3
Jute	18-2000	1.45	-	0.35	3-4
Polyester	-	1.4	8	0.7-0.85	11-13
Sisal	10-50	1.5	15.2	0.8	3
Cellulose	14-45	1.5	20-40	0.15-0.5	8-12
Coir	20-700	1.08	2.8	0.17	37.7
Carbone	5-9	1.7-2.0	250-400	2-3	0.5-1.5

A-3 Les fibres naturelles :

Les fibres naturelles peuvent être classées selon leur origine. Il est donc possible de distinguer trois grandes familles :

- Les fibres végétales : Elles se subdivisent elles-mêmes selon leur provenance. On peut donc citer les fibres libériennes qui sont extraites de tiges de plantes (chanvre, lin, ramie, jute), les fibres dures qui sont extraites de feuilles, de troncs ou d'écorces de fruits (sisal, chanvre de manille, noix de coco, palmier), et les fibres qui proviennent des poils séminaux de graines (coton, kapok).

- Les fibres animales : Elles peuvent émaner des poils (toison animale) ou encore des sécrétions (soie).
- Les fibres minérales (amiante) [14].

L'utilisation des fibres naturelles est en expansion dans le domaine du bâtiment à cause de leurs performances mécaniques et thermiques intéressantes qu'elles fournissent aux ouvrages.

A-3-1 Les fibres végétales :

Les matériaux à base de fibres végétaux ont les avantages suivants :

- Ce sont des ressources abondantes, renouvelables et durables. Les végétaux se renouvellent périodiquement et par conséquent assurent une ressource abondante sachant que les autres ressources (charbon, pétrole, gaz) seront épuisées d'ici quelques décennies.
- Réduction des émissions de gaz à effet de serre.
- Propriétés mécaniques et spécifiques importantes.

Cependant, il y a des inconvénients correspondants à ces fibres, on peut citer par exemple :

L'absorption d'eau, fibres anisotropes (les propriétés diffèrent) et faible stabilité dimensionnelle, faible tenue thermique (200 à 300°C max), variation de la qualité en fonction du lieu de croissance et des conditions météorologiques [15].

A-3-1-1 Classification des fibres végétales :

Les fibres végétales sont classées en quatre groupes suivant leur provenance. À savoir : les fibres de feuille, de tiges, de bois et de surface.

(a) Les fibres de feuilles :

Ces fibres sont obtenues grâce au rejet des plantes monocotylédones. Ces fibres sont caractérisées par sa dureté et sa rigidité.

Les types de fibres de feuilles les plus cultivées sont la fibre de sisal, de palmier dattier d'Henequen et d'abaca.

De ces faits, plusieurs chercheurs tel que : NILSSON, AYYAR ont montré l'efficacité du renforcement du ciment par les fibres de feuilles [1].

(b) Les fibres de tiges :

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

individuellement par un processus de défilage. Les fibres, une fois séparées, sont utilisées dans la fabrication des cordes ou de textile ou bien dans le renforcement du ciment et béton. Les fibres de tige les plus utilisées sont les fibres de jute, de lin, de ramie de sun, de kenaf, d'urina et de chanvre.

NILSSON rapporte que les fibres de tige les plus utilisées dans le renforcement du ciment sont celles de sun, de chanvre et de jute [1].

(c) Les fibres de bois :

Les fibres de bois proviennent du broyage des arbres tels que les bambous ou les roseaux. Elles sont généralement courtes. Plusieurs chercheurs ont montré l'efficacité de ces fibres dans le renforcement des ciments [1].

(d) 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. 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 [1].

A-3-1-2 Caractéristiques physiques et mécaniques des fibres végétales :

Généralement une fibre végétale est caractérisée physiquement par son diamètre, sa densité, sa teneur en eau et son pourcentage d'absorption d'eau. Elle est caractérisée mécaniquement par sa résistance à la traction, à la rupture et par le module d'élasticité [1].

Les propriétés physiques et mécaniques des fibres végétales ont été traitées par plusieurs chercheurs (Tableau 2) [1].

Tableau 2 : Les caractéristiques physiques et mécaniques de quelques fibres végétales [1].

Fibre	Densité (g/cm ³)	Allongement a la rupture (%)	Résistance a 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	--
Noix de coco	1.2	30.0	175	4.0-6.0
Feuille de palmier	1-1.2	2-4.5	97-196	2.5-5.4

A-3-1-3 Utilisation des fibres végétales 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 [1].

A-3-1-4 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 3 [16].

Tableau 3 : Principaux avantages et inconvénients des fibres végétales [16].

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 fibre	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 application industrielles, demande la gestion d'un stock
Propriété mécanique spécifiques importantes (résistance et rigidité, ...)	Renfort discontinue
Bonne isolation thermique et acoustique	
Non abrasif pour les outillages	

B. Matériaux locaux :

La région saharienne est riche en matériaux de construction dans ses différentes régions.

B-1 Les palmiers dattiers :

B-1-1 Généralités sur le palmier dattier :

Le palmier-dattier, comme le précise son nom, appartient à une grande famille d'arbres à palmes et produit des dattes. Le palmier dattier est aussi date palm en anglais, Nakhilou Tamr en arabe. Mais, dans tous les pays, il porte le même nom latin *Phoenixdactylifera*, qui est un terme générique, utilisé par les grecs pour dénommer les plantes de ce genre. Celui-ci est dérivé de (phoenix= phénicien), car ça serait justement les phéniciens qui auraient diffusé cette plante. Le terme spécifique est composé de (dactylus= dattes) du grec dactylo et (fero= je porte), soit porteur de dattes (Guglielmo et al., 2002).

L'Algérie est un pays phoenicicole classé au septième rang mondial et au premier rang dans le Maghreb pour ses grandes étendues de culture sur plus 160 000 ha dans plus de 2 millions de jardins et sa production annuelle moyenne de dattes de 500 000 tonnes (Aberlenc-Bertossi, 2010). Le palmier dattier en Algérie est établi en plusieurs oasis réparties sur le sud du pays ou le climat est chaud et sec (zone saharienne). Sa culture s'étend depuis la frontière

Marocaine à l'ouest jusqu'à la frontière tuniso-libyenne à l'est et depuis l'Atlas Saharien au nord jusqu'à Reggane (sud-ouest), Tamanrasset (centre) et Djanet (sud-est).

Le nombre de palmier dattier actuelle est supérieur à 18 millions d'arbres (Sidab, 2015), avec plus de 800 variétés. Le tonnage de la partie consommable des palmes sèches est environ de 135103 tonnes de palmes sèches / an, les pédicelles des dattes est environ de 5 103 tonnes de pédicelles / an, avec 67 500 tonnes de rebuts de dattes (Kareche, 2014).

Au plan mondial, l'Algérie se classe à la 7^{ème} position en termes de production derrière l'Egypte (1^{er} producteur mondial), l'Iran, l'Arabie Saoudite, les EAU, l'Irak et le Pakistan. L'Algérie produit environ 10% de la production mondiale des dattes répartie dans les différentes régions de production [13] (Tableau 4).

Tableau 4 : Différentes variétés de palmier dattier en Algérie [13].

Wilaya	Superficie (ha)	Nombre palmiers dattiers	Production en quintal
Biskra	42 000	4 213 000	2 917 180
El Oued	36 200	3 730 000	2 022 870
Adrar	27 700	3 705 000	865 080
Ouargla	21 400	2 507 000	1 131 300
Bechar	13 900	1 591 000	239 240
Ghardaïa	10 500	1 214 000	470 000
Tamanrasset	7 000	698 000	108 590
Illizi	1 200	126 000	15 580
El Bayadh	920	78 000	6 810
Tebessa	810	61 000	18 000
Khenchela	750	122 000	58 900
Naâma	500	51 000	8 800
Tindouf	430	45 000	6 080
Laghouat	310	33 000	10 860
Batna	190	29 000	12 790
Djelfa	100	9 000	1 500
Total	163 910	18 203 000	7 893 580

- La région d'Oued Souf est caractérisée par l'un des types de palmiers les plus courants en Asie et en Afrique, qui est le palmier dattier qui a été classé par le botaniste suédois (Linnaeus) dans le genre Phoenix (qui contient 14 types de palmiers).

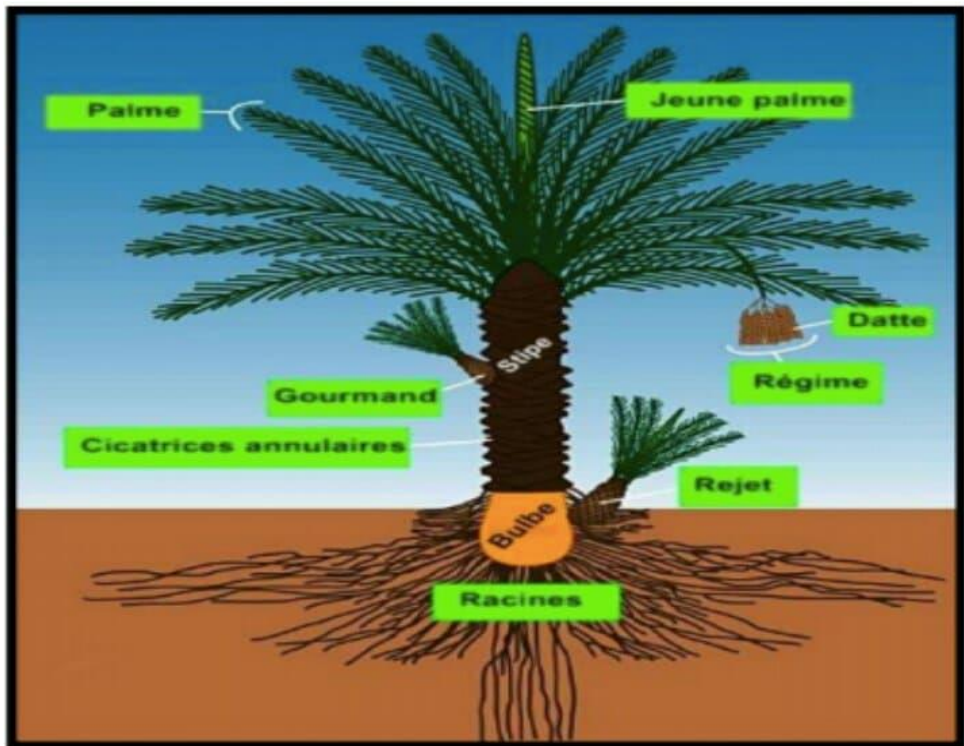


Figure 2 : Présentation schématique d'un palmier dattier [17].

• **Estimation du tonnage des sous produits du palmier dattier (palmes) :**

On se basant sur le fait que :

- Une foliole pèse en moyenne 5 g.
- Une palme comporte en moyenne 180 folioles.
- Un palmier dattier donne moyennement 15 palmes par an.

On dénombre vers 18 millions de palmiers dattiers en Algérie, on peut estimer le tonnage de la partie consommable des palmes de la façon suivante :

$$5 \times 180 = 900 \text{ g: soit } 0,9 \text{ kg /palme}$$

$$0,9 \times 15 = 13,5 \text{ kg palmier / an}$$

$$13,5 \times 18\,000\,000 = 243\,000\,000 \text{ kg}$$

Soit : **243.10'' tonnes de palmes/ an**

B-1-2 La palme :

La palme ou « Djérid » est une feuille pennée dont les folioles qui sont régulièrement disposées en position oblique le long du rachis. Les segments inférieurs sont transformés en épines, plus ou moins nombreuses, et plus ou moins longues [17].

Grâce à l'estimation approximative des résidus de palmier dattier mentionnée sus dessus, nous avons choisis les feuilles de palmier dattier (folioles) comme additif au béton. Comme nous l'avons mentionné précédemment, la classification de fibres végétales, la feuille de palmier dattier fait partie des fibres de feuilles. La figure (3) montre les composants de la feuille de palmier.

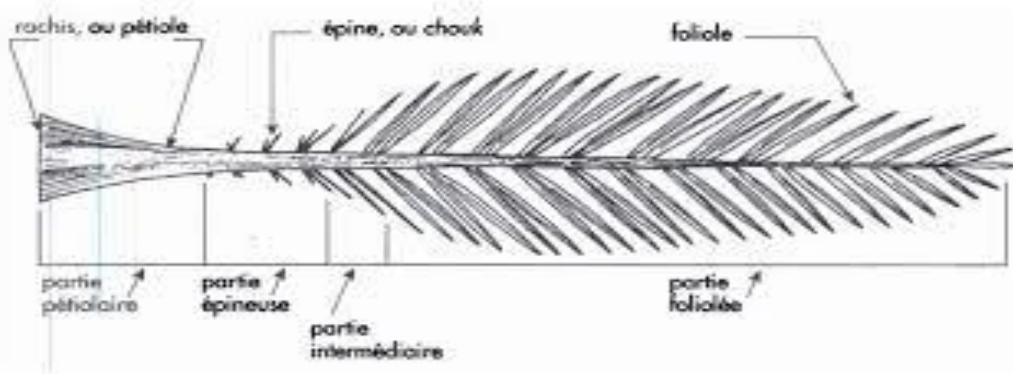


Figure 3 : Schéma d'une palme [17].

B-2 Utilisations des feuilles de palmier dattier :

- Feuille de palmier pour la construction d'un toit écologique. Sachez qu'une toiture en feuille de palmier offre une longévité intéressante, d'une dizaine d'années.
- Feuille de palmier tressée pour la création d'objets décoratifs et utiles comme des chapeaux, des paniers, des plateaux, des hamacs, des cordes, des éventails, des balais.
- Carburant de feu.
- Protection des zones urbaines contre la menace de désertification.

2. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous nous sommes intéressés aux fibres végétales dans leur globalité, puis à la fibre de palmier dattier en particulier. Cette dernière est une ressource naturelle renouvelable, abondante en Algérie. De plus, la fibre de palmier dattier se distingue par des propriétés mécaniques spécifiques.

Chapitre III

Caractérisation des matériaux utilisés et techniques expérimentales

1. Introduction :

Ce chapitre s'articule dans deux parties. Dans la première partie, nous nous intéressons aux caractéristiques des différents matériaux utilisés pour élaborer du béton ordinaire et des composites à base du béton et des fibres de palmier dattier. La deuxième partie de ce chapitre est consacrée à la présentation détaillée de la méthode de mise en œuvre de ces composites.

2. Matériaux utilisés et ses caractéristiques :

2.1 Le ciment :

Le ciment est un liant hydraulique qui se présente sous la forme d'une poudre très fine, composée d'oxydes minéraux dont les deux principaux sont la chaux (CaO) et la silice (SiO₂). Il réagit avec l'eau en donnant des hydrates stables qui lui donnent une résistance mécanique. Les réactions d'hydratation du ciment conduisent à la formation d'une pâte **durcissent** progressivement dans l'air ou dans l'eau [18].

Le ciment utilisé dans cette recherche est un ciment "MATINE" CEM II/B-L 42,5 N.



Figure 1 : Le ciment utilisé [19].

A. Caractéristiques physiques :

Tableau 1 : Caractéristiques physiques du CPJ-CEM II/B-L 42.5 [19].

		Unité	Valeur
Masse volumique absolue		g/cm^3	3.1
Consistance normale		%	25
La finesse (Blaine)		cm^3/g	3000 - 3200
Temps de prise	Début	Min	2:30
	Fin		2:30
Résistance à la compression	2 jours	MPa	18
	7 jours		32
	28 jours		plus de 42.5

2.2 Les granulats :

C'est l'ensemble des matériaux inertes, comme le sable et le gravier, que l'on utilise pour réaliser des mortiers et des bétons [19]. Pour avoir un bon béton ou mortier, nous devons choisir les bonnes propriétés physiques des granulats que nous listons dans les essais suivants :

- Essai d'analyse granulométrique.
- Essai de l'équivalent de sable.
- Essai de la masse volumique.
- Essai de la pureté des graviers.
- Essai de Los Angeles.

2.2.1 Le sable:

On appelle sable, les matériaux de petites dimension issus de désagrégation des roches, le sable est l'élément qui assure au béton et au mortier, selon ses qualités, une influence prépondérante, il participe à la résistance, il donne la cohésion du mélange [19].

Le sable utilisé (0/3) est un sable qui provient des carrières de Djamaa la Wilaya d'El-Oued.

A. Classification des sables :**• Suivant leurs grosseurs :****Tableau2 :** Classification des sables suivant leur grosseur [19].

Qualité de sable	Grosseur
Sable fin	0.008 à 0.315 mm
Sable moyen	0.315 à 2.00 mm
Sable gros	2.00 à 5.00 mm

• Suivant leurs provenances :

- Sable de rivière : absence de grains fins.
- Sable de dune : prédominance de grain fin.
- Sable de carrière ou de concassage : composition variable [19].

• Suivant la valeur du module de finesse :

On peut classer les sables comme suit :

Tableau 3 : Classification des sables suivant la valeur de module de finesse [19].

Sable	Module de finesse (MF)	Refus cumulé sur les tamis 0.663 (%)
Gros	2.4 à 3.4	50 à 75
Moyen	1.9 à 2.5	35 à 50
Fin	1.5 à 2	20 à 35

2.2.2 Le gravier :

On appelle « gravier » les matériaux inertes, autres que le sable, qui entrent dans la composition des bétons forment leurs squelettes, tandis que le ciment joue le rôle du liant qui lie les grains de gravier en particulier et granulats en général pour former un corps solide (béton).

Le gravier utilisé est du gravier concassé sur plusieurs sections (3/8), (8/15) et (15/25) extrait d'une carrière de Ain Touta la wilaya de Batna.

2.2.3 Caractéristiques des granulats utilisés :**A. Essai de l'analyse granulométrique : (NF P18-650)**

L'analyse granulométrique permet de mesurer la distribution dimensionnelle en poids des éléments d'un matériau, elle comprend deux opérations :

- Tamisage.
- Sédimentation.

➤ Pour le sable :

Tableau 4 : Analyse granulométrique du sable (0/3).

Ouverture des tamis	Refus partiel	Refus cumulé	Refus cumulé (%)	Tamisât cumulé (%)
5	0.00	-	-	100
2.5	72.62	72.62	7.26	93
1.25	289	361.62	36.20	64
0.63	481	842.62	84.30	16
0.315	93.52	936.14	93.61	6.4
0.160	3.42	939.56	94.00	6.00
0.080	1.20	940.76	95.00	5.00

• **Le module de finesse :** C'est un facteur très important, qui nous permet de juger la grosseur du sable, il est exprimé par le rapport de la somme des pourcentages des refus cumulés des tamis de mailles :(0.16-0.315-0.63- 1.25-2.5) sur 100 et calculé par la relation suivante :

$$Mf = \sum Rc/100$$

Mf = 3.15

Le module de finesse : **Mf = 3.15 > 2.5** c'est un sable gros.

➤ Pour les graviers :

Tableau 5 : Analyse granulométrique des gravier (3/8), (8/15), (15/25).

Ouverture des tamis (mm)	Tamisât cumulé (%)		
	Gravier 3/8	Gravier 8/15	Gravier 15/25
31.5	100	100	100
25	100	100	100
20	100	100	92
16	100	97	32
14	100	88.2	7
12.5	100	76.9	2
10	100	44.8	0.5
8	100	20.1	-
6.3	86	3.1	-
5	55	0.6	-
4	35	0.4	-
2.5	4	-	-
1.25	1	-	-
0.63	0.7	-	-

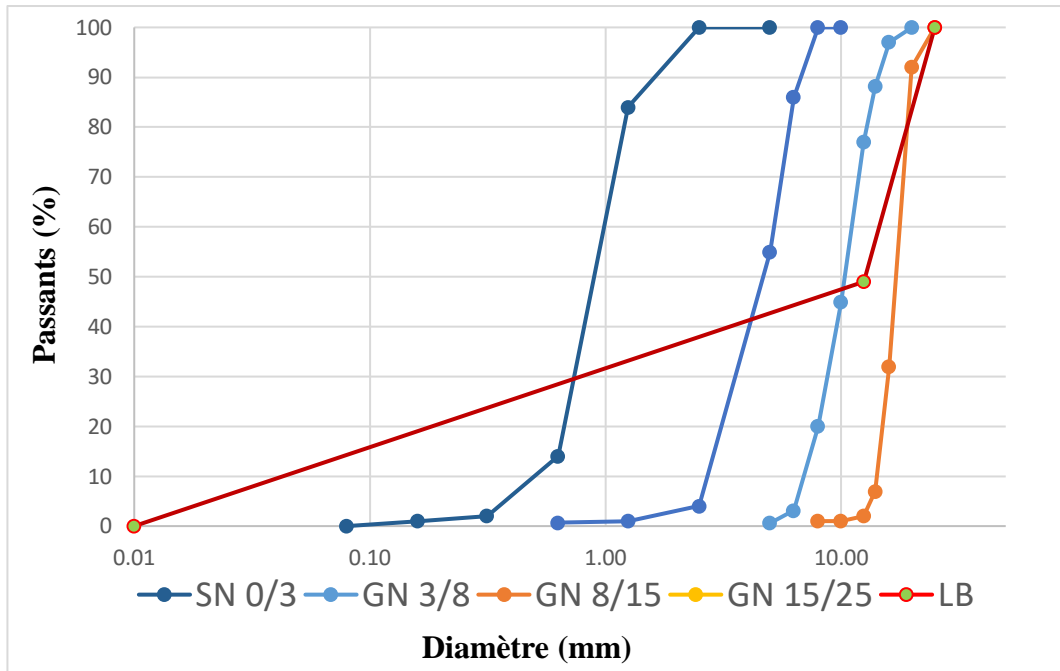


Figure 2 : Analyse granulométrique du sable 0/3 et du gravier 3/8, 8/15, 15/25.

B. Equivalent de sable : (NF 18-598)

L'essai de l'équivalent de sable est utilisé de manière courante pour évaluer la propreté des sables.

Cet essai consiste à plonger un poids défini de sable dans une éprouvette normalisée remplie par une solution flocculant ; après agitation, on laisse décanter le mélange pendant 20 minutes, ensuite on mesure la hauteur du sédiment + flocculant (h_1) et du sédiment (h_2).

$$E.S.P = (h_2/h_1) * 100(\%)$$

Où : h_1 : la hauteur du sable +flocculat.

h_2 : la hauteur du sable ($h_2 < h_1$).



Figure 3 : Equivalent de sable.

$$E.S.P : \frac{9.3}{10.4} = 89\% > 80\% \text{ (Sable très propre).}$$

C. La masse volumique : (NF EN 1097-3)

➤ La masse volumique apparente :

La masse volumique apparente est la masse d'un corps par unité de volume, y compris les vides et les pores.

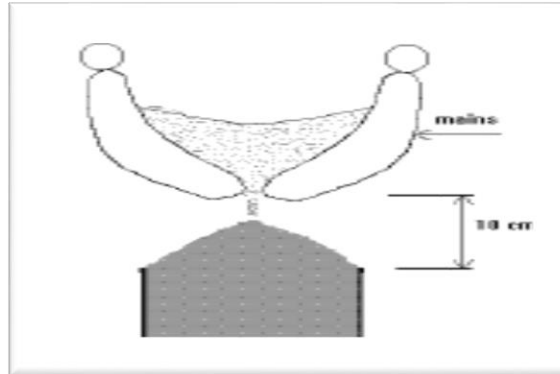


Figure 4 : La masse volumique apparente [20].

La masse volumique apparente est déterminée par la formule suivante :

$$\rho_a = (M_2 - M_1) / V$$

Où : V : volume du récipient.

M_2 : Poids de l'ensemble (granulats + récipient).

M_1 : Poids de récipient à l'état vide.

Tableau 6 : La masse volumique apparente des granulats.

Granulats	La masse volumique apparente (g/cm^3)
Sable 0/3	1.65
Gravier 3/8	1.40
Gravier 8/15	1.42
Gravier 15/25	1.36

➤ La masse volumique absolue :

La masse volumique absolue est la masse d'un corps par unité de volume, sans y compris les pores et les vides.

La masse volumique absolue est déterminée par la formule suivante :

$$\rho_s = M / (V_2 - V_1)$$

Où : M : la masse de granulat.

V_2 : Volume d'ensemble (granulat + eau).

V_1 : Volume d'eau.

Tableau 7 : La masse volumique absolue des granulats.

Granulat	La masse volumique absolue (g/cm^3)
Sable	2.67
Gravier 3/8	2.61
Gravier 8/15	2.62
Gravier 15/25	2.61

D. La propreté des graviers :

Les granulats employés pour le béton peuvent contenir des impuretés (argile, matières organiques...etc.) qui perturbent l'hydratation du ciment et entraînent une mauvaise adhérence entre les granulats et la pâte [21].

Cette essai consiste à prendre une certaine quantité de gravier à l'état sec et on le lavant bien avec de l'eau, nous le mettons dans l'étuve jusqu'à ce qu'il sèche, finalement nous pesons l'échantillon.

La propreté de gravier se calcule par la relation suivante :

$$P = (M_1 - M_2) / M_2 \times 100\%$$

Ou : M_1 : la masse des granulats secs avant lavage.

M_2 : la masse des granulats secs après lavage au tamis 0.5mm.

Tableau 8 : Les pourcentages d'impuretés des graviers.

Gravier	Pourcentage d'impuretés (%)
3/8	0.98
8/15	0.22
15/25	0.20

D'après les résultats, nous notons que le pourcentage d'impuretés est minime (moins de 1,5%), donc le gravier utilisé est propre et utilisé dans le béton ordinaire.

E. Los Angeles: (N.F. P18.573)

L'essai de Los Angeles permet de mesurer les résistances combinées à la fragmentation par chocs et à l'usure par frottements réciproques des éléments d'un granulat. [22]

Cette essai consiste à mesurer la masse d'éléments inférieurs à 1.6mm, produits par la fragmentation du matériau (diamètres compris entre 4 et 50 mm) et que l'on soumet aux chocs de boulets normalisés, dans le cylindre de la machine Los Angeles en 500 rotations.

Si (M) est la masse du matériau soumis à l'essai et (m) la masse des éléments inférieurs à 1.6 mm produits au cours de l'essai, la résistance à la fragmentation aux chocs s'explique par le coefficient los Angeles LA :

$$LA = (M - m / M) \times 100\%$$



Figure 5 : Appareil de Los Angeles.

Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 9 : Les pourcentages de Los Angeles de graviers utilisés.

Gravier	Masse initiale M(g)	Masse m(g)	Coeff de LA (%)
3/8	5000	3865	22.7
8/15	5000	3750	23.9
15/25	5000	3989	20.2

D'après les résultats obtenus nous remarquons que les graviers 3/8, 8/15, 15/25 convient à une utilisation dans le béton ordinaire.

LA : 20-25 % (graviers dures).

2.3 Eau de gâchage :

L'eau de gâchage utilisée pour la confection de différents bétons est une eau potable de robinet du laboratoire.

2.4 Les feuilles de palmier dattier :

Dans notre étude nous avons utilisé les feuilles de palmier dattier qui sont récoltés de la région d'Oued-Righ. Ce type de fibre est caractérisé par les propriétés physiques suivantes :

Tableau 10 : Les propriétés physiques de feuilles de palmier dattier [1].

Fibre	Densité g/cm ³	Allongement a la rupture (%)	Résistance a la traction MPa	Module de Young GPa
Feuille de palmier dattier	1-1.2	2-4.5	97-196	2,5-5.4



Figure 6 : Les fibres de palmier utilisées.

3. Formulation de béton ordinaire :

Notre formulation des bétons ordinaires a été faite d'après la méthode de Dreux Gorisse. Cette méthode permet de déterminer les quantités optimales des matériaux (eau E, ciment C, sable S, gravillons g et gravier G) nécessaires à la confection d'un mètre cube de béton.

3.1 Données indispensables :

➤ Données de béton :

- ✓ Résistance a 28 jours $f_{c28} = 30$ MPa.
- ✓ Affaissement $A = 7$ cm.
- ✓ Serrage : Vibration normale.
- ✓ Pompage ou non du béton : Non pompage.

➤ Données de ciment :

- ✓ Classe vraie a 28 jours : 42.5 MPa.
- ✓ Masse volumique réelle : 3.1 g/cm^3 .

➤ Données des granulats :

- ✓ Qualité des granulats : Courante.
- ✓ Forme des granulats : Concassées.
- ✓ Module de finesse de sable : 3.15 (sable grossier).
- ✓ $D_{max} = 25$ mm.
- ✓ Masse volumiques absolues des granulats : (Sable $\rho_s = 2.67 \text{ g/cm}^3$), (Gravier3/8 $\rho_g = 2.61 \text{ g/cm}^3$), (Gravier8/15 $\rho_g = 2.62 \text{ g/cm}^3$), (Gravier15/25 $\rho_g = 2.61 \text{ g/cm}^3$).

3.2 Détermination du rapport C/E :

Le rapport C / E est calculé grâce à la formule suivante :

$$\sigma'_{28} = G' \sigma'_c \left(\frac{C}{E} - G' \right)$$

σ'_{28} : Résistance moyenne en compression du béton à 28 jours en MPa.

σ'_c : Classe vraie du ciment en kg par m^3 de béton.

C: Dosage de ciment en kg par m^3 de béton.

E: Dosage d'eau total sur matériau sec en litre par m^3 de béton.

G : Coefficient granulaire en fonction de la qualité de la taille maximale des granulats D_{max} , illustré dans le tableau 11 suivant :

Tableau 11 : Coefficient granulaire G [23].

Qualité des granulats	Fins $D_{max} < 12.5mm$	Moyens $20 < D_{max} < 31.5$	Gros $D_{max} > 50mm$
Excellente	0.55	0.60	0.65
Bonne, courante	0.45	0.50	0.55
Passable	0.35	0.40	0.45

- Donc : $G = 0.50$
 - $\sigma'_{28} = f_{c28} \times 1.15 = 34.5MPa$
 - $\sigma'_c = 42.5$
- $\Rightarrow 34.5 = 0.50 \times 42.5(C/E - 0.50) \Rightarrow C/E = 2.12$

3.3 Détermination de dosage en ciment :

D'après l'abaque, le dosage en ciment est: $C = 400 \text{ kg}/m^3$

3.4 Détermination d'eau :

$$E = \frac{C}{C/E} = \frac{400}{2.12} \approx 189L$$

3.5 La droite brisée :

O (0.08 ; 0)

B ($D_{max} = 25mm$; 100)

A=?

X= 12.5cm ($D > 20mm$, l'abscisse est située au milieu du "segment gravier" limité par le module 38 (5 mm) et le module correspondant a D) [23].

$$Y = 50 - \sqrt{D_{max}} + Ks$$

$$Y = 50 - 5 + 3.9 = 49cm$$

Avec : K = 0

$$K_s = 6(3.15) - 15 = 3.9$$

Donc A (12.5 ; 49)

3.6 Les pourcentages :

Sable (0/3) : 34%

Gravier (3/8) : 8%

Gravier (8/15): 20%

Gravier (15/25) : 38%

3.7 Le coefficient de compacité :

Le coefficient de compacité est le rapport des volumes absolus des matériaux solides au volume total du béton.

$\gamma = 0.82$: est une valeur moyenne approximative qui peut être prise en générale pour des béton courante (D de 16 à 40 mm) [23].

Alors :

$$\gamma = 0.82 - 0.01 = 0.81.$$

- Le volume absolu des grains de ciment : $V_c = \frac{C}{\rho_c} = \frac{400}{3.1} = 129.03 \text{ l/m}^3$.

- Le volume absolu de l'ensemble des granulats est :

$$V_{abs} = 1000 \times 0.81 = 810 \text{ l/m}^3.$$

$$V_{abs} = V_c + V_g + V_G + V_S.$$

$$V_{abs} - V_c = V_g + V_G + V_S.$$

$$810 - 129.03 = V_g + V_G + V_S.$$

$$V_{granulats} = V_g + V_G + V_S.$$

$$V_{granulats} = 680.97 \text{ L/m}^3.$$

3.8 Détermination les volumes absolus et les masses des granulats :

$$V_S = V_{granulats} \times 34 = 23152.98 \rightarrow M_S = V_S \times 0.0267 = 618.18 \text{ kg.}$$

$$V_{g3/8} = V_{granulats} \times 8 = 5447.76 \rightarrow M_{g3/8} = V_{g3/8} \times 0.0261 = 142.19 \text{ kg.}$$

$$V_{g8/15} = V_{granulats} \times 20 = 13619.4 \rightarrow M_{g8/15} = V_{g8/15} \times 0.0262 = 356.83 \text{ kg.}$$

$$V_{G15/25} = V_{granulats} \times 38 = 25876.86 \rightarrow M_{G15/25} = V_{G15/25} \times 0.0261 = 675.39 \text{ kg.}$$

Ciment = 400 kg

Eau = 189L.

E/C = 0.47.

$M_T = 2381.59 \text{ kg}$ pour 1 m^3 .

Le tableau suivant présente les masses des constituants de béton pour $1m^3$:

Tableau 12 : Les masses des constituants de béton pour $1m^3$.

Les constituants	La masse (Kg)
Ciment	400
Eau	189
Sable 0/3	618.18
Gravier 3/8	142.19
Gravier 8/15	356.83
Gravier 15/25	675.39
La masse totale pour $1m^3$	2381.59

- La détermination du rapport en poids gravier / sable : **G/S = 1.90.**

4. Formulation du béton de fibre :

Après avoir déterminé la composition du béton témoin, nous avons ajouté des feuilles de palmier de 0.75% et 1.5 % d'une longueur de 25 cm, et ces pourcentages sont retenus du volume de sable de béton témoin, et le tableau 13 présente les masses des composants de béton fibré.

Tableau 13 : Les masses des constituants des bétons de fibre pour $1m^3$.

Longueur de fibre (cm)	% des fibres	L'eau (Kg)	Ciment (Kg)	Gravier 3/8 (Kg)	Gravier 8/15 (Kg)	Gravier 15/25 (Kg)	Sable (Kg)	Fibres (Kg)	Masse totale (Kg)
25	0.75	189	400	142.19	356.83	675.39	613.47	1.91	2378.84
25	1.5	189	400	142.19	356.83	675.39	608.83	3.82	2376.08

- La détermination du rapport en poids gravier / sable (béton fibré 0.75%) : **G/S = 1.91.**
- La détermination du rapport en poids gravier / sable (béton fibré 1.5 %) : **G/S = 1.93.**

5. Malaxage de béton :

Le sable, les gravillons et le ciment sont mélangés très bien jusqu'à ce que le mélange soit uniforme. L'eau est ensuite ajoutée et mélanger encore une fois jusqu'à l'obtention de la consistance souhaitée.



Figure 6 : Malaxage de béton.

6. Affaissement au cône d'Abrams :

L'essai d'affaissement au cône d'Abrams ou slump-test (fig. 7) est l'essai le plus employé pour la mesure de consistance du béton. Cet essai a été effectué conformément aux prescriptions de la norme ASTM C143-90.

Le moule tronconique étant légèrement huilé et fixé sur la plaque d'appui, on le remplit en trois couches d'égale hauteur, mises en place par piquage à raison de 25 coups par couche à l'aide de la tige de piquage. Après avoir arasé le bord supérieur, le moule est soulevé avec précaution. La mesure, exprimée en cm, est réalisée sur le point le plus haut du béton et dans la minute qui suit le démoulage [24]. Les affaissements des trois mélanges de béton sont portés dans le tableau 14.



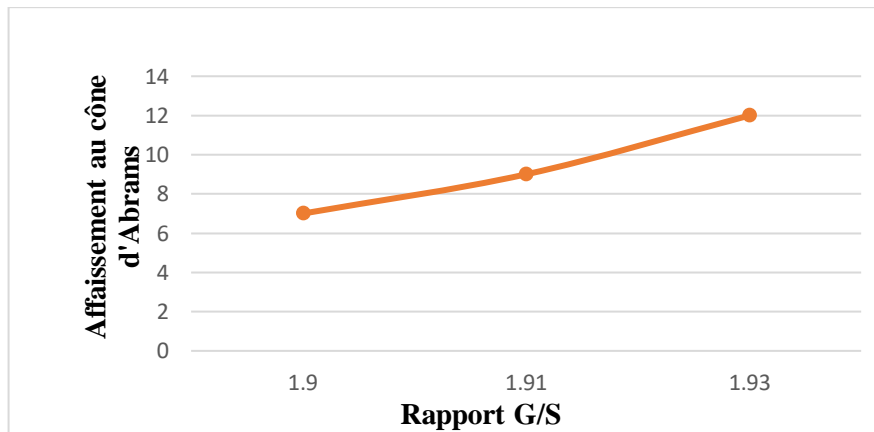
Figure 7 : Essai de cône d'Abrams.

Tableau 14 : L'affaissement des trois mélanges en fonction du rapport G/S.

	Béton ordinaire	BF (0.75%)	BF (1.5%)
G/S	1.90	1.91	1.93
Affaissement au cône	7cm	9cm	12cm

7. Optimisation des proportions du squelette granulaire :

Le rapport G/S optimum a été déterminé pour chaque type de béton (béton ordinaire, béton avec 0.75% de fibre et béton avec 1.5 % de fibre).

**Figure 6 :** Optimisation de rapport G/S en fonction de l'affaissement.

Le rapport granulats-sable doit être inférieur à 2 et dans l'intervalle $1.8 \leq G/S \leq 2$ pour avoir un béton courant de plasticité variable selon l'ouvrage en fonction du dosage en eau, se mettant assez facilement en œuvre et donnant de bonnes résistances [25]. En effet, si le rapport est supérieur à 2.2, la résistance en compression ainsi que la densité augmenteront considérablement. Par contre, cela rendra l'ouvrabilité ou la maniabilité du béton moindre. L'augmentation de rapport G/S au-delà de 2 entraîne une discordance dans le squelette granulaire, la composition de béton se trouve ainsi déficiente en éléments fins et deviendra source de ségrégation.

8. Confection des éprouvettes :

8.1 Type et taille des moules :

Les moules utilisés pour la confection des éprouvettes sont des moules normalisés en acier de forme prismatique $7 \times 7 \times 28$.

8.2 Remplissage des moules :

➤ Pour le béton ordinaire :

Le remplissage des moules a été fait en deux couches conformément aux prescriptions de la norme ASTM. Après chaque couche, les moules ont été vibrés pour 10 secondes. L'opération de finition a été effectuée à l'aide d'une règle à araser comme il est mentionné dans les prescriptions de la norme ASTM [24].

➤ Pour le béton de fibre :

La même procédure que le béton ordinaire mais avec l'ajout des fibres au milieu de deux couches.



Figure 9 : Remplissage des moules.

8.3 Conservation des éprouvettes :

Juste après leurs vibrations, chaque moule a été stocké dans l'ambiance du laboratoire. Le démoulage de toutes les éprouvettes a été effectué 24h après le coulage puis conservées sous l'eau.

Après 28 jours de cure dans l'eau, les éprouvettes sont retirées et stockées à l'air dans une chambre de conservation afin qu'elles subissent un séchage naturel jusqu'à l'âge des essais [24].



Figure 10 : Conservation des moules dans l'eau (28 jours).

9. Conclusion :

Ce chapitre a successivement abordé les points suivants : Les programmes expérimentaux en détail, les paramètres retenus, l'ensemble des résultats obtenus lors de la caractérisation des matériaux à élaborer et décrit l'ensemble des matériels et les procédures d'essai.

Nous exposerons, dans le chapitre suivant, les résultats obtenus selon les paramètres retenus, leurs discussions et confrontation avec les travaux antérieurs.

Chapitre IV

Résultat et discussion

1. Introduction :

Sur la base de l'étude précédente qui a prouvé que 1% de feuille de palmier est le pourcentage optimal, et dans le prolongement de ce qui précède, nous avons développé cette étude pour inclure des pourcentages plus précis. On a choisi de renforcer notre béton par des fibres de feuille de palmier dattier de pourcentage 0.75% et 1.5 %.

Le travail présenté dans ce chapitre a pour objectif d'évaluer les propriétés mécaniques d'un béton ordinaire renforcé par des fibres de palmier dattier (les feuilles de palmier dattier) avec les pourcentages mentionnés ci dessus afin de voir le comportement des éprouvettes conçus à la traction par flexion, en donnant toutes les observations avec explications nécessaires pour ces bétons.

2. Essai de traction par flexion : NF P18-408

2.1 But de l'essai : cet essai a pour but de déterminer la résistance à la traction du béton.

C'est un essai qui consiste à écraser un prisme $(7 \times 7 \times 28 \text{ cm})^3$ de béton placé horizontalement entre deux plateaux d'une presse [19].

2.2 Conduite de l'essai : lors d'un essai de flexion trois points, la poutre de béton est soumise dans sa partie supérieure à des contraintes de compression et dans sa partie inférieure à des contraintes de traction. Compte tenu que le béton résiste beaucoup moins à la traction qu'à la compression (dans un rapport de 10) l'éprouvette va se rompre dès que le béton aura atteint sa limite en traction. La contrainte limite qui découle d'un calcul classique de résistance des matériaux en élasticité est σ_{tf} (contrainte de traction par flexion). Le matériau béton n'ayant pas un comportement élastique au voisinage de la rupture, il convient d'apporter au calcul de la résistance en traction du béton σ_t un terme correctif de 0,6 ($\sigma_t = 0,6 \sigma_{tf}$) [19].

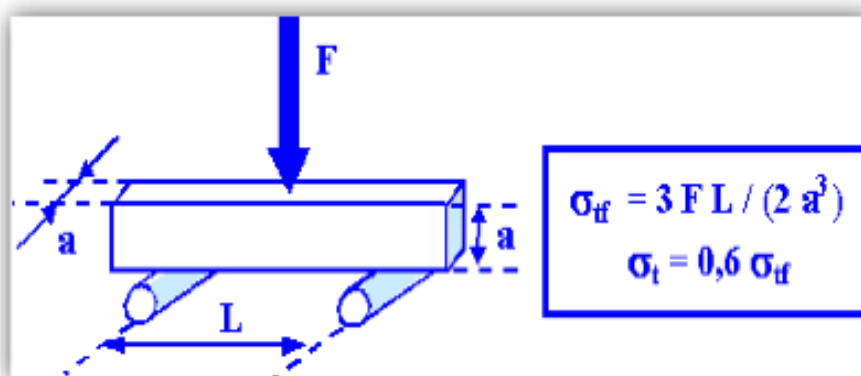


Figure 1 : Formule de calcul de la résistance de traction par flexion [19].



Figure 2 : Essai de traction par flexion.

2.3 Présentation des résultats :

❖ Béton témoin :

Tableau 1 : Caractéristiques mécaniques des bétons ordinaires témoins.

Age	N° :	La force	R à la traction par	R à la T/F
(28	d'éprouvette	(KN)	flexion (MPA)	moy (MPA)
jours)				
	1	5.7	3.14	3.38
	2	5.9	3.25	
	3	6.8	3.75	

❖ Béton renforcé de fibres de palmier dattier (pourcentage de 0.75%) :

Tableau 2 : Caractéristiques mécaniques des bétons fibrés (feuille de palmier dattier) :
pourcentage de 0.75%.

Age (28	N° d'éprouvette	La force	R a la traction par	R a la TF
jours)		(KN)	flexion (MPA)	moy(MPA)
	1	3.4	1.87	2.02
	2	3.6	1.98	
	3	4	2.2	

❖ **Béton renforcé de fibres de palmier dattier (pourcentage de 1.5%) :**

Tableau 3 : Caractéristiques mécaniques des bétons fibrés (feuille de palmier dattier) :
pourcentage de 1.5%.

Age (28 jours)	N° d'éprouvette	La force (KN)	R a la traction par flexion (MPa)	R a la TF moy(MPa)
	1	5.4	2.98	3.66
	2	6.8	3.75	
	3	7.7	4.24	

2.4 Discussion des résultats :

Le but de cette étude est de connaître l'effet des fibres de feuilles de palmier dattier sur le béton, et après avoir obtenu les résultats et les comparer entre eux d'une part et les comparer avec le béton témoin d'autre part, Les résultats obtenus sur les résistances mécaniques en traction par flexion sont présentés sur la figure 3.

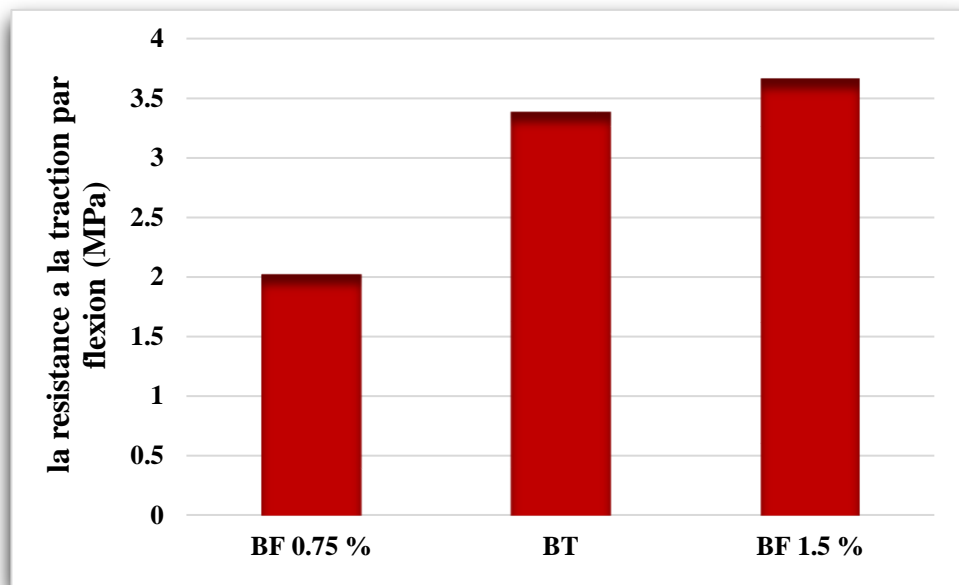


Figure 3 : Présentation de résistances en traction par flexion des bétons ordinaires et fibrés.

- ✓ L'introduction des fibres végétales entraîne une augmentation de la résistance en traction par flexion des bétons fibrés par rapport aux bétons sans fibres.
- ✓ Le béton de fibres avec 1.5% de feuille de palmier dattier a montré des résultats acceptables pour la résistance en traction par flexion de **3.66 MPa**, du coup son taux d'augmentation est d'environ **8.28%** par rapport au béton témoin.

- ✓ Le béton de fibres avec 0.75 % de feuille de palmier dattier a donné des résultats inacceptables pour la résistance en traction par flexion de **2.02 MPa**, avec le taux de réduction est d'environ **40.24 %** par rapport au béton témoin.
- ✓ La performance du béton avec les fibres de palmier dattier 1.5% se comporte mieux à la traction par flexion que le BF avec 0.75%.
 - ❖ Nous résumons les résultats de notre étude et de l'étude précédente dans le tableau suivant (4) :

Tableau 4 : Caractéristiques mécaniques des bétons témoins et fibrés pour l'étude 2019/2020

Résistance à la traction par flexion (MPa)					
Etude 2019			Etude 2020		
BT	BF 1%	BF 2%	BT	BF 0.75%	BF 1.5%
3.71	3.93	1.8	3.38	2.02	3.66

- ✓ Une comparaison des deux études nous remarquons que dans l'étude de 2020 que le pourcentage **1.5%** des fibres est le pourcentage optimal qui donne une résistance à la traction par flexion élevée où le taux d'augmentation est d'environ de **8.28%** par rapport au béton témoin.
- ✓ Dans le cas de béton de fibre **1%** (étude 2019), nous remarquons que la résistance à la traction par flexion diminuée ou le taux d'augmentation est d'environ de **5.93%** par rapport au béton témoin.
- ✓ Lorsque le rapport des fibres de palmier est inférieur ou supérieur au pourcentage optimal (1.5%), la résistance à la traction par flexion est significativement diminuée par rapport au béton témoin.

3. Conclusion :

Le quatrième chapitre est consacré aux résultats et analyses obtenus lors de cette étude. L'objectif de cette étude est de montrer l'effet de pourcentage des fibres végétales (feuille de palmier dattier) sur les propriétés mécaniques de béton ordinaire et il a été comparé avec les résistances de traction par flexion de l'étude précédente pour préciser le pourcentage optimal de fibre.

- ❖ Par rapport à l'étude actuelle : Le pourcentage 1.5% de fibre de palmier améliore la résistance de traction par flexion.
- ❖ Par rapport à l'étude précédente : La résistance à la traction par flexion est significativement diminuée pour le béton fibré (inférieur ou supérieur de 1.5%) par rapport au béton témoin.

Conclusion générale

Le but principal de cette étude est consisté à valoriser les ressources locales (les fibres végétales de palmier dattier) dans les bétons ordinaires qu'elles améliorent leur propriété mécanique.

Le premier chapitre présente une étude bibliographique sur les bétons ordinaires et les bétons verts, leurs propriétés à l'état frais et durcis, les principaux avantages et inconvénients.

On peut tirer de ce chapitre :

- ❖ Le béton ordinaire est utilisé dans la plupart des constructions, il est résistant à la compression mais il est faible en traction.
- ❖ Le béton vert est un béton qui est fabriqué à partir des déchets respectueux de l'environnement, l'un de ses avantages le plus important est la réduction de la pollution de l'environnement.

Dans le chapitre II, on s'intéresse au renforcement des bétons par les fibres végétales.

- ❖ Le béton de fibres est un matériau composite est constitué d'une phase continue (matrice) est le béton comprend la phase discontinue (renfort) est la fibre.
- ❖ L'utilisation des fibres végétales dans le béton est prouvée une capacité de contrôler la fissuration des bétons sous sollicitation mécaniques et améliorent la résistance à la flexion.
- ❖ Les palmiers dattier est une ressource naturelle renouvelable et abondante en Algérie. Il faut les valoriser de manière utile.

Le troisième chapitre concerne :

- ❖ L'identification et la caractérisation des matériaux utilisés qui sont (le sable, les gravillons, ciment, fibres, eau) répondent aux normes vigueurs.
 - ✓ Le sable utilisé est un sable grossier de la région de Djamaa, dont son module de finesse est 3.15%.
 - ✓ Le ciment utilisé est un CPJ CEM II B/ 42.5 N d'une finesse élevée et une prise satisfaisante aux spécifications des ciments courants.
 - ✓ Les gravillons utilisés sont des gravillons de divers sections (3/8), (8/15), (15/25) de la région de Ain Tout recommandés dans les bétons ordinaires.
 - ✓ Les fibres utilisées sont des fibres de feuilles de palmier dattier de la région d'El-Oued de masse volumique faible avec une moyenne résistance en traction.

✓ L'eau de gâchage est celle de robinet de faible salinité.

- ❖ La partie expérimentale de ce travail est la formulation des bétons ordinaires témoins et les bétons de fibres végétales, et on a mesurer l'ouvrabilité pour chaque type de béton, cela est déterminée par l'essai de cône d'Abrams.

Le but de dernier chapitre est de mettre en évidence l'effet des pourcentages de fibres de palmier sur les propriétés mécaniques des bétons ordinaires.

Les résultats de l'essai de traction par flexion menés nous permettent de tirer les enseignements suivants :

- ❖ L'augmentation ou la diminution le pourcentage de fibre de palmier dattier au pourcentage optimal réduit la résistance a la traction par flexion.
- ❖ Le pourcentage 1.5% de fibre (feuille de palmier) est le pourcentage optimal qui améliore la résistance à la traction par flexion par rapport au béton ordinaire.

Perspectives :

D'après les résultats obtenus par cette recherche, et en vue d'une future utilisation rationnelle et efficaces de ces matériaux, on va poser quelques perspectives pour compléter cette recherche :

- Etudier le comportement mécanique des bétons a base des feuilles de palmier dattier a l'état sèche
- Faire une étude de modélisation à travers différents dimensions de fibres.

En fin, nous souhaitons que ce modeste travail nous suivre dans le futur proche de notre vie professionnelle.

Liste des références

[1] GOSSA NABIL., « Elaboration et caractérisation expérimentale du comportement mécanique du béton à base de fibres de palmier dattier » mémoire master, université de Ouargla 2013.

[2] Le béton [en ligne][consulté le 31.05.2020] Disponible a l'adresse : <https://www.universalis.fr/encyclopedie/beton/>

[3] LEGOUGUI TAREK, BEN MOUSSA BOUBAKER., « contribution de l'étude du béton vert a base des matériaux locaux » mémoire master, université d'El-Oued 2019.

[4] Tout savoir sur résistances du béton - Types – Classes [en ligne] [consulté le 31.05.2020] disponible a l'adresse : <https://www.artisanbeton.fr/resistances-beton.html>

[5] ZOUINI REKIA., « Formulation du béton à base des matériaux locaux (Granulat d'Aougrout Z. Sidi Abdallah » mémoire master, université d'Adrar 2018

[6] مرخوفي عبد المالك، "المساهمة في دراسة خصائص وتشوهات خرسانة الألياف النخيل في المناطق الجافة والحارة" مذكرة ماجستير، جامعة ورقلة 2003.

[7] What is Green Concrete ? its application and advantages in construction [en ligne] [consulté le 31.05.2020] Disponible a l'adresse : <https://theconstructor.org/concrete/green-concrete/5566/>

[8] Green Concrete [en ligne] [consulté le 31.05.2020] disponible a l'adresse : <https://madhavuniversity.edu.in/green-concrete.html>

[9] Effect of silica fume in concrete [en ligne] [consulté le 31.05.2020] disponible dans l'adresse : https://www.researchgate.net/publication/278300234_Effect_of_Silica_Fume_in_Concrete

[10] BOULIFA MARWA, DEBABI ADEL., « Utilisation de poudre de verre dans le mortier » mémoire master, université Kasdi Merbah Ouargla

[11] Rice husk ash as a partial replacement of cement in high strength concrete containing micro silica: Evaluating durability and mechanical properties [en ligne] [consulté le 31.05.2020] disponible a l'adresse : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214509516300924>

[12] DISADVANTAGES OF GREEN CONCRETE., [en ligne] [consulte le 31.05.2020] disponible dans l'adresse : <https://www.quora.com/What-are-the-disadvantages-of-green-concrete>

[13] YAMINA BOUHADJILA, ZINE EDDINE RAHEM., « TRAITEMENT DES FIBRES DE PALMIER DATTIER : INFLUENCE SUR LES PROPRIÉTÉS DES COMPOSITES FIBRÉS » mémoire master, université d'Annaba 2019.

[14] FADEL AHLEM., « Influence des diverses modifications du Genêt d'Espagne sur les propriétés mécaniques, rhéologiques et thermiques de composites à matrice thermoplastique » mémoire magister, université de Setif-1 2014

[15] HADJER KHALDOUNE., « Modélisation numérique de comportement thermo physique de composite de mortier à base des fibres de palmier dattier » mémoire master, université de Msila 2017

[16] ROUAM KAMILA., « Elaboration, caractérisation mécanique et hygrothermique d'un stratifié renforcé par des fibres naturelles » université Boumerdes 2014

[17] BENZAHIA HOUDA, TAIBI FATNA., « Etude biologique et activité antioxydante et antibactérienne de l'extrait du pollen de quelques variétés mâles de palmier dattier Phoenix dactylifera L. » mémoire master académique, université M'Sila 2019

[18] NADIA BENMANSOUR., « DEVELOPPEMENT ET CARACTERISATION DE COMPOSITES NATURELS LOCAUX ADAPTES A L'ISOLATION THERMIQUE DANS L'HABITAT » thèse de doctorat, université de Batna 2015

[19] KOUCI 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 de master, université de M'Sila 2016

[20] Masse volumique apparente, [en ligne] [consulté le 31.05.2020] disponible dans l'adresse :https://ft.univlemcen.dz/assets/uploads/pdf/departement/gc/tp/masse_volumiques_granulats.pdf

[21] Le monde de génie civil [en ligne] [consulté le 23.06.2020] disponible dans l'adresse :
<http://forum-btp.blogspot.com/2014/06/essais-granulats.html>

[22] DJERMOUNI GHOZLANE., « Optimisation de la composition d'un béton autoplaçant et substitution de la fibre de polypropylène par la fibre de palmier » mémoire master, université d'Annaba 2019

[23] JEAN FESTA, GEORGES DREUX., «Nouveau guide de béton et de ses constituants » Edition EYROLLES61, bd Saint-Germain 75240 Paris Cedex 05 www.editions-eyrolles.com2007

[24] TOUMI BELKACEM., « ETUDE DE L'INFLUENCE DES HAUTES TEMPERATURES SUR LE COMPORTEMENT DU BETON » thèse de doctorat, université de Constantine 2017.

[25] Ministère de l'habitat et de l'urbanisme., « REGLES D'EXECUTION DES TRAVAUX DE CONSTRUCTION D'OUVRAGES EN BETON ARME 2010 » ISBN : 978-9961-923-23-8 Dépôt légal : 320-2010.