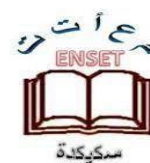




République algérienne démocratique et populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la
Recherche Scientifique
Ecole Normale Supérieure de l'Enseignement
Technologique-Skikda



Département de Technologie

Filière : Génie civil

Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de de professeur de
l'enseignement secondaire technique

Thème :

Renforcement du béton ordinaire avec des fibres végétales

Présenté par: Ameer Abdelhadi – Zerga Nabil – Berrouachedi Soheyb

Jury de Soutenance :

Nom et prénom	Grade	Université	Role
Mirouzi Ghania	MCA	Ecole Normale Supérieure de l'Enseignement Technologique-Skikda	Président
Houda Amina	MAB	Université Chadli Bendjedid El-Tarf	Encadrant
Moudjari Maroua	MCB	Ecole Normale Supérieure de l'Enseignement Technologique-Skikda	Examineur

Année Universitaire : 2023/2024

Remerciements

Tout d'abord, nous tenons à remercier Allah, le clément et le miséricordieux de nous avoir donné la force et le courage de mener à bien ce modeste travail.

Nous souhaitons remercier le docteur « Houda Amina » qui a encadré cette thèse, Elle nous a soutenues tout au long de ce travail, leur disponibilité et son soutien constant, son assistance, sa confiance et ces conseils instructifs et avisés à la hauteur de ses compétences et de ses réelles qualités humaines. Nous le remercions également pour les nombreuses heures passées à la lecture et aux corrections du manuscrit.

Nous tenons à exprimer toute mes gratitudeux aux membres du jury. Tout d'abord, au madame « Mirouzi Ghania » " Maitre de conférences classe B " , pour avoir accepté de présider mon jury de soutenance, mes remerciements s'adressent également au madame « Moudjari Maroua » " maitre de conférences classe B " d'avoir acceptés de rapporter cette thèse.

Nous tenons à remercier le chef du département de technologie de ENSET SKIKDA, Monsieur « RAHMOUNI SALIH » pour sa disponibilité.

Nous remercions tous les membres de Laboratoire « LNHC » " Laboratoire National Habitat Construction ", et aussi « LTPE » " Laboratoire des Travaux Publics de L'Est", Ingénieur et personnels administratifs avec qui nous eut le plaisir de travailler.

Nous exprimons toutes nos profondes reconnaissances à tous ceux et celles qui de près ou de loin nous ont apporté aide et encouragement. Qu'ils trouvent ici l'expression de notre profonde gratitude.

Sans oublier aussi on dédie ce travail à nos parents et à toute la famille qui m'ont toujours soutenu et encouragé dans mes différents choix d'études et personnels.



Dédicaces

الحمد لله الذي بنعمته تتم الصالحات والصلاة والسلام على رسوله الكريم ومن تبعه بإحسان إلى يوم الدين. في بادئ الامر أشكر رب العباد العليّ القدير شكرا جزيلا طيبا مباركا فيه الذي أنارنا بالعلم وزيننا بالحلم، وأكرمنا بالتقوى، وأنعم علينا بالعافية، ويسر ووفق في إتمام هذه الدراسة وتقديمها على الشكل الذي هي عليه اليوم، فله الحمد والشكر وهو الرحمان المستعان... أهدي هذا النجاح

إلى الذي زين اسمي بأجمل الألقاب، من دعمني بلا حدود وأعطاني بلا مقابل إلى درعي الذي به احتमित وفي الحياة به اقتديت، ركيذة عمري وصدر أمانني وكبريائي، إلى من غرس في روحي مكارم الأخلاق وفخري وإعتزازي أبي الغالي أطال الله في عمره

إلى من جعل الله الجنة تحت أقدامها واحتضنني قلبها قبل يدها وسهلت لي الشدائد إلى التي بحنانها ارتويت وبدفئها احتमित ولحقها ما وفيت، إلى الشمعة التي تحترق من أجل أن تضيء لي الدرب، سر قوّتي ومصباح دربي أُمي الحبيبة أطال الله في عمرها

إلى ضلعي الثابت وأمان أيّامي إلى ملهمي نجاحي إلى من شددت عضدي بهم فكانوا لي ينابيع ارتوي منها ... إلى خيرة أيّامي وصفوتها إلى قرّة عيني إلى أخوتي الأعزاء أحبكم من قلبي، أنتم كل شيء في حياتي وأتمنى أن أكون عند حسن ظنكم وداعيا من المولى عز وجلّ أن يحفظكم لي ويرعاكم

لأصدقائي وزملائي الأعزاء لكم جزيل الشكر

وأخص بالذكر الأستاذة الفاضلة: حودة أمينة على هذه الدراسة وصاحبة الفضل في توجيهي ومساعدتي في تجميع المادة البحثية، فجزاها الله كل خير

كل من علمني حرفًا وتمنّى لي الخير سرًّا أو جهرًا، إلى كل من أرسل لي نواياه الطيبة... شكرا من القلب

زرقة نبيل



Dédicaces

اللهم لك الحمد حتى ترضى ولك الحمد إذا رضيت ولك الحمد بعد الرضا اللهم أخرجنا من ظلمات الجهل والوهم الى أنوار المعرفة والهداية ومن وحول الشهوات الى جنات القربات، الحمد لله الذي بنعمته تتم الصالحات والفضل لله أولاً ثم كل الكلمات لا يمكن أن تعبر عن الامتنان، الحب، الاحترام، الاعتراف لمن كان له الفضل في إخراج هذه الدراسة على الوجه الذي ترونه أهدي هذه الذكرى إلى:

تلك الحبيبة ذات القلب النقي إلى من أوصاني بالرحمان بها برا وإحسانا

إلى من كان دعائها سر نجاحي

أمي أنت تمثل لي مصدر الحنان ومثال الإخلاص الذي لم يتوقف عن تشجيعي. لقد فعلت أكثر مما تستطيع الأم أن تفعله لإبقاء أطفالها على الطريق الصحيح في الحياة والتعليم إلى من سعت وعانت من أجلي أطل الله في عمرها

إلى من علمني أن الدنيا كفاح... سلاحها العلم والمعرفة

إلى الذي لم يبخل عني بأي شيء

أبي الغالي لا يمكن لأي تفاني أن يعبر عن الحب والتقدير والاحترام الذي أحمله دائماً لك. لا شيء في العالم يستحق المجهودات المبذولة ليلاً ونهاراً لتعليمي ورفاهي.

أخوتي الأعزاء رفاق خطوات النجاح بدءاً من أول خطوة وانتهاءً بآخر خطوة لكم كل الشكر وأسأل الله أن يحفظكم لي ويرعاكم.

لأصدقائي الأعزاء على وجه الخصوص: أيمن، أحمد، نبيل، كريم، خالد، فتحي، عمار.

وأخص بالذكر الأستاذة الفاضلة: حودة أمينة على هذه الدراسة وصاحبة الفضل في توجيهي ومساعدتي في تجميع المادة البحثية، فجزاها الله كل خير. إلى جميع زملائي في الدفعة وجميع أساتذتي منذ سنوات دراستي الأولى.

عامر عبد الهادي



إهداء

إن الحمد لله نحمده ونستعينه ونستغفره، ونعوذ بالله من شرور أنفسنا ومن سيئات أعمالنا من يهده الله فلا مضل له، ومن يضلل فلا هادي له، وأشهد ألا إله إلا الله وحده لا شريك له، وأشهد أن محمدا عبده ورسوله صلى الله وسلم عليه وعلى آله وصحبه أجمعين، أما بعد :

اهدي عملي هذا لأبي و رفيق دربي و لروح أمي رحمها الله تعالى و اسكنها فسيح جناته و اخوتي (فتحي، شهرة زاد ، عبد الحميد ، عبد اللطيف ، علي) كما اهديه لكل عائلتي (برواشدي و زهيري) و من كان عوناً لي و من سار معنا بنية حسنة و الى كل أصدقائي (علاء ، بلال ، عبد الرزاق ، زكرياء) و اصدقائي في مساري الجامعي و رفقاء دربي .

I WANNA THANK ME وفي الأخير

برواشدي صهيب

Résumé

La mise en lumière de la valeur des matériaux locaux est devenue une nécessité de nos jours pour résoudre les problèmes économiques dans les pays. Ainsi, le réemploi des déchets domestiques ou industriels peut fournir des avantages techniques, économiques et environnementaux. Dans ce contexte, il est opportun de penser à formuler un nouveau béton en utilisant des ressources riches et naturelles. L'objectif de cette étude est d'incorporer des fibres végétales dans le béton ordinaire tout en améliorant sa composition et son comportement mécanique.

Dans cette modeste recherche, nous avons fabriqué et préparé des échantillons de différents types de bétons renforcés par des fibres végétales (Alfa, armoise et palmier) ainsi que deux types de béton de référence : l'un ordinaire et l'autre renforcé par des fibres synthétiques (fibres de polypropylène et fibres de verre).

Les résultats obtenus montrent qu'après l'ajout de fibres au béton, sa résistance à la compression diminue, ce qui indique que l'incorporation de fibres dans les mélanges de béton entraîne la formation de capillaires, augmentant ainsi la porosité et réduisant la compacité du matériau, donc sa résistance mécanique. Nous observons également que les fibres de palmier, grâce à leurs composants essentiels, offrent la plus haute résistance comparée aux autres fibres.

D'autre part, la résistance du béton renforcé par des fibres à la traction augmente par rapport au béton ordinaire, car les fibres fournissent une surface rugueuse améliorant l'adhérence avec la matrice cimentaire.

Mots clés :

Béton ordinaire, fibres végétales, Alfa, Palmier, Armoise, verre, polypropylène.

Abstract

Highlighting the value of local materials has become a necessity nowadays to solve economic problems in countries. Thus, the reuse of domestic or industrial waste can provide technical, economic and environmental benefits. In this context, it is appropriate to think about formulating a new concrete using rich and natural resources. The objective of this study is to incorporate plant fibers in ordinary concrete while improving its composition and mechanical behavior.

In this modest research, we manufactured and prepared samples of different types of concrete reinforced with vegetable fibers (Alfa, sagebrush and palm) as well as two types of reference concrete: one ordinary and the other reinforced with synthetic fibers (polypropylene and glass fibers).

The results obtained show that after the addition of fibers to concrete, its compressive strength decreases, which indicates that the incorporation of fibers in concrete mixtures leads to the formation of capillaries, thus increasing the porosity and reducing the compactness of the material, so its mechanical strength. We also observe that palm fibers, thanks to their essential components, offer the highest resistance compared to other fibers

On the other hand, the tensile strength of fiber reinforced concrete increases compared to ordinary concrete, as the fibers provide a rough surface improving adhesion with the cementations matrix.

Keywords:

Ordinary concrete, vegetable fibers, Alfa, Palm, Mugwort, glass, polypropylene.

ملخص

أصبح تسليط الضوء على قيمة المواد المحلية ضرورة في الوقت الحاضر لحل المشاكل الاقتصادية في البلدان. وبالتالي، فإن إعادة استخدام النفايات المنزلية أو الصناعية يمكن أن توفر فوائد تقنية واقتصادية وبيئية. وفي هذا السياق، من المناسب التفكير في صياغة خرسانة جديدة تستخدم الموارد الغنية والطبيعية. الهدف من هذه الدراسة هو دمج الألياف النباتية في الخرسانة العادية مع تحسين تكوينها وسلوكها الميكانيكي.

في هذا البحث المتواضع، قمنا بتصنيع وإعداد عينات من أنواع مختلفة من الخرسانة المسلحة بالألياف النباتية ((الحلفاء، الشيح والنخيل) بالإضافة إلى نوعين من الخرسانة المرجعية: أحدهما عادي والآخر مدعم بالألياف الاصطناعية (البوليبيروبيلين والألياف الزجاجية).

تظهر النتائج التي تم الحصول عليها أنه بعد إضافة الألياف إلى الخرسانة، تنخفض قوتها الانضغاطية، مما يشير إلى أن دمج الألياف في مخاليط الخرسانة يؤدي إلى تكوين الشعيرات الدموية، وبالتالي زيادة المسامية وتقليل ضغط المادة، وبالتالي قوتها الميكانيكية. نلاحظ أيضًا أن ألياف النخيل، بفضل مكوناتها الأساسية، تقدم أعلى مقاومة مقارنة بالألياف الأخرى.

من ناحية أخرى، تزداد قوة الشد للخرسانة المسلحة من الألياف مقارنة بالخرسانة العادية، حيث توفر الألياف سطحًا خشبًا يحسن الالتصاق بالمصفوفة المسامنية.

الكلمات الرئيسية:

خرسانة عادية، ألياف نباتية، الحلفاء، النخيل، الشيح، زجاج، بولي بروبيلين.

SOMMAIRES

REMERCIEMENTS.....	I
DEDICACE.....	II
RESUME.....	IV
ABSTRACT.....	V
ملخص.....	VI
TABLE DE MATIÈRES.....	VII
LISTE DES FIGURES.....	X
LISTE DES TABLEAUX.....	XII
Introduction générale.....	1

TABLE DE MATIÈRES

Chapitre 1 : Etude bibliographique	4
II. Définition générale du béton :	5
II.1 Types des bétons :	5
II.1.1 Le béton à Hautes Performances BHP :	5
II.1.2 Béton Autoplaçants BAP :	6
II.1.3 Le béton polymère :	6
II.1.4 Le béton fibré :	6
II.1.5 Les bétons ordinaires (BO) :	6
II.2 Les types des fibres :	16
II.2.1 Les fibres métalliques :	16
II.2.2 Les fibres minérales :	16
II.2.3 Les fibres organiques :	17
II.2.4 Les fibres naturelles :	19
II.2.5 Les fibres végétales :	19
II.3 Différentes fibres végétales	20
II.3.1 Le sisal :	20

II.3.2	Le coco :	21
II.3.3	L'Alfa :	21
II.3.4	Les Palmiers :	22
II.3.5	Armoise :	24
II.4	Les propriétés et caractéristiques mécaniques et physiques des fibres végétales : ..	26
II.4.1	Propriétés et caractéristiques Mécaniques :	26
II.4.2	Propriétés et caractéristiques Physiques :	27
II.5	Les caractéristiques chimiques des fibres végétales :	29
II.5.1	Cellulose :	29
II.5.2	L'hémicellulose :	30
II.5.3	Lignine :	31
II.6	Structure de la fibre végétale :	32
II.7	Conclusion :	34
III.	Chapitre 2 : CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX ET FORMULATION Erreur ! Signet non défini.	
III.1	Introduction :	36
III.2	Les matériaux utilisés :	36
III.2.1	Caractéristiques de ciment :	37
III.2.2	L'eau de gâchage :	38
III.2.3	Les granulats :	38
III.2.4	Adjuvants :	39
III.2.5	Les fibres :	40
III.3	Essais de caractérisation des matériaux :	44
III.3.1	Analyse granulométrique : NFP EN 933-2	44
III.3.2	Module de finesse :	47
III.3.3	Masse Volumique :	48
III.3.4	Équivalent de sable : NFP 933-8	49
III.3.5	Essai de résistance au choc (Essai Los Angeles) : NF EN 1097-2	50
III.3.6	Essai de Résistance à l'Usure (Micro-Deval) :	51
III.4	Formulation du béton :	52
III.5	Préparation et conservation des éprouvettes :	57
III.6	Propriétés des bétons :	58
III.6.1	Propriétés des bétons à l'état frais :	58
III.6.2	Propriétés des bétons à l'état durci :	59

III.7	Conclusion :	61
IV.	Chapitre III : Résultats et Discussions	63
IV.1	Introduction :	63
IV.2	RESULTATS ET INTERPRETATIONS :	63
IV.2.1	A l'état durci :	63
IV.2.2	A l'état durci :	64
IV.3	Conclusion :	68

LISTE DES FIGURES

Figure I-1 : différents Constituants des ciments.....	7
Figure I-2 : fabrication du ciment. [1].....	8
Figure I-3 : les granulats.....	10
Figure I-4 : Photos des différents types de granulats.	11
Figure I-5 : Les différents classes de granulats.	12
Figure I-6 : l'eau.....	12
Figure I-7 : Les types des fibres naturelles.	19
Figure I-8 : Fibre naturelle du sisal.	21
Figure I-9 : Fibre naturelle de la plante du coco.	21
Figure I-10 : Touffes d'alfa.	22
Figure I-11 : Palmier.....	23
Figure I-12 : Schéma du palmier dattier.	24
Figure I-13 : Armoise.	25
Figure I-14 : Représentation de la chaîne de cellulose [4].	30
Figure I-15 : Quelques sucres importants entrant dans la composition des hémicelluloses.	31
Figure I-16 : Structure de la molécule de lignine.	32
Figure I-17 : Structure de la fibre végétale.	33
Figure I-18 : Modèle de la description de structure d'une fibre végétale.	33
Figure II-1 : ciment.	36
Figure II-2 : gravier 8/15.....	36
Figure II-3 : Sable 0/3.	36
Figure II-4 : Adjuvant.....	37
Figure II-5 : CEMII/A-42.5.....	37
Figure II-6 : Adjuvant Walcrete 77.....	39
Figure II-7 : fibre d'Alfa.	40
Figure II-8 : fibre d'armoise.	41
Figure II-9 : fibre de Palmier.....	41
Figure II-10 : fibre de polypropylène.....	42
Figure II-11 : fibre de Verre.....	43
Figure II-12 : traitement des fibres.....	43
Figure II-14 : Fibre de Palmier (10mm).....	44
Figure II-15 : Fibre de Verre (10mm).....	44
Figure II-13 : Fibre d'alfa (10mm).....	44
Figure II-16 : Tamiseuse utilisée Insérer.	44
Figure II-17 : Courbe de sable.....	46
Figure II-18 : courbe de gravier 8/15.	47
Figure II-19 : Masse volumique absolue.....	48
Figure II-20 : Equivalent du sable.....	50
Figure II-21 : machine de Essai Los Angeles.....	51

Figure II-22 : Les éprouvettes conservées à l'eau.....	57
Figure II-23 : L'essai d'affaissement.....	58
Figure II-24 : L'essai d'affaissement.....	58
Figure II-25 : Moule (7x7x28).	59
Figure II-26 : Moule(10x10x10).	59
Figure II-27 : : Essais de compression à l'état durci.	60
Figure II-28 : Essai de traction par flexion.	60
Figure III-1 : Variations de l'affaissement des bétons.....	63
Figure III-2 : La masse volumique à l'état frais.	64
Figure III-3 : Résistance à la compression (MPa) à 7j.	65
Figure III-4 : Résistance à la compression (MPa) à 14j.	65
Figure III-5 : Résistance à la compression (MPa) à 28j.	66
Figure III-6 : Résistance à la traction par flexion (MPa) à 7j.	67
Figure III-7 : Résistance à la traction par flexion (MPa) à 14j.	67
Figure III-8 : Résistance à la traction par flexion (MPa) à 28j.	68

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I-1 : classification des ciments en fonction de leur composition. [1]	9
Tableau I-2 : Les différents types d'adjuvants. [13].....	14
Tableau I-3 : La composition chimique de la fibre d'alfa. [31] [32].....	22
Tableau I-4 : Les caractéristiques mécaniques de quelques fibres Végétales.	27
Tableau I-5 : Taux de reprise des fibres végétales.[37]	28
Tableau I-6 : Quelques exemples de la densité de certaines fibres végétales.[38].....	28
Tableau II-1 : Les caractéristiques de ciment CPG-CEMII/A 42.5.....	38
Tableau II-2 : Caractéristiques d'adjuvant.	40
Tableau II-3 : caractéristiques de fibre polypropylène.	42
Tableau II-4 : Analyse granulométrique du sable.....	45
Tableau II-5 : Analyse granulométrique du gravier 8/15.	46
Tableau II-6 : Masse volumique absolue du sable.	48
Tableau II-7 : Masse volumique apparente du sable.	49
Tableau II-8 : Equivalent du sable.....	50
Tableau II-9 : Valeur du coefficient LA.	51
Tableau II-10 : Charge abrasive en fonction de la classe granulaire choisie.....	52
Tableau II-11 : Type des graviers selon le coefficient MDE.	52
Tableau II-12 : Valeurs approximatives du coefficient granulaire.	54
Tableau II-13 : Composition volumétrique et pondérale des constituants / m ³	57
Tableau III-1 : La masse volumique à l'état frais.	64

Introduction générale

Introduction générale

Bien que le béton soit aujourd'hui le premier matériau de construction par excellence, néanmoins il présente une certaine fragilité et une faible résistance à la traction. Cette tendance réduit évidemment sa durabilité et entraîne souvent la détérioration des infrastructures, ces inconvénients ont limité son utilisation.

Les matériaux à base de ciment ont tendance à se contracter en raison de la perte d'humidité et de la dessiccation, qui se produit lorsque l'eau libre présente dans le mélange est consommée pendant le processus continu d'hydratation. La perte rapide d'humidité entraîne une diminution du volume avant même que le béton n'atteigne sa résistance maximale. Ce rétrécissement volumétrique dépend de facteurs tels que la température, l'humidité, la vitesse du vent et les conditions de séchage. Les pressions capillaires induites se forment dans le béton, créant ainsi des contraintes de compression internes et, par conséquent, des contraintes de traction. Si ces contraintes dépassent la limite de traction, elles peuvent provoquer des fissures dans les bétons jeunes. Dans une approche écologique, nous proposons l'utilisation des fibres dans le béton.

L'incorporation de fibres dans le béton dans le domaine de la construction civile vise à diminuer sa fragilité inhérente au matériau conventionnel en offrant une meilleure résistance à la traction et une ductilité grâce à ses avantages uniques tels que la formabilité, la haute résistance à la compression, la durabilité et la rentabilité. Les fibres, qui sont des éléments discontinus de nature variée, sont uniformément réparties dans la matrice avec une orientation aléatoire ou forcée. L'ajout de fibres au béton aide à absorber et à dissiper l'énergie, ce qui réduit l'amorçage et la propagation des fissures. Par conséquent, cela entraîne une diminution de la rupture dans le matériau, une capacité à arrêter et à recoudre les fissures, ainsi qu'une amélioration du comportement post-fissuration du béton.

Le renforcement des bétons et des matrices cimentaires par l'ajout de fibres, qu'elles soient minérales, métalliques ou synthétiques, améliore leurs propriétés mécaniques : les fibres empêchent la formation, le développement et l'ouverture des fissures, ce qui entraîne une nette amélioration de leur résistance mécanique à la traction et à la flexion. Dans notre étude, nous avons utilisé du polypropylène et de la fibre de verre. Toutefois, ces fibres sont coûteuses et leur utilisation comporte des risques pour l'environnement en raison des émissions de CO₂ associées à leur fabrication, ainsi que du fait qu'elles sont fabriquées à partir de matières premières non renouvelables.

La caractérisation de ce nouveau matériau composite nécessite donc une augmentation des recherches et des expérimentations, ainsi que le développement de nouvelles méthodes d'essai.

Le but de cette recherche est d'introduire les fibres végétales (Alfa, Palmier et Armoise) dans un béton ordinaire tout en assurant ses qualités mécaniques. Les résultats obtenus sur les bétons fibrés sont comparés avec les résultats du béton témoin (sans fibres) et du béton renforcé avec les fibres synthétiques (Verre, Polypropylène) réalisés selon les mêmes dosages en ciment et eau.

Le mémoire est structuré en trois (3) chapitres, répartis comme suit :

Le chapitre 1 est consacré à une étude bibliographique et des recherches effectuées sur les bétons ordinaires, ces constituants et l'amélioration de ces propriétés. Il y a aussi une partie bibliographique pour la présentation des fibres et leur effet sur les bétons.

Introduction générale

Dans le chapitre 2, nous présentons l'étude expérimentale et la caractérisation de tous les matériaux utilisés dans la fabrication des différents échantillons (ciment, granulats, superplastifiant, fibres végétales, fibres synthétiques).

A la fin, le chapitre 3 présente l'ensemble des résultats obtenus lors de travail expérimentale des différents mélanges en fonction des types des fibres, ce chapitre contient aussi les observations et les interprétations des résultats obtenus.

Enfin, une conclusion générale permet de résumer les résultats des travaux présentés et d'ouvrir de nouvelles perspectives de développement.

Chapitre 1 : Etude bibliographique

Chapitre 1 : Etude bibliographique

I. Définition générale du béton :

Le béton, un matériau de construction composé de granulats, de ciment, d'eau et éventuellement d'adjuvants pour ajuster certaines de ses propriétés, occupe actuellement la position prédominante dans le domaine de la construction à l'échelle mondiale. Que ce soit pour des projets de construction ou des travaux publics, il demeure le choix privilégié en raison de ses nombreux atouts. Parmi ces avantages, on peut citer sa robustesse face à la compression, son coût abordable, sa durabilité prouvée et sa capacité à prendre quasiment toutes les formes imaginables.

Le mélange de béton frais avec de l'acier donne naissance au béton armé, un matériau de construction fréquemment utilisé.

- En combinant du béton frais avec des fibres, on obtient des bétons fibrés.
- Le béton fibré est un matériau composite composé de ciment, de granulats et de fibres. Il présente des caractéristiques remarquables telles que sa légèreté et son isolation thermique, ce qui en fait un matériau privilégié pour la construction de logements et de bâtiments industriels.

Les utilisations des bétons à base de fibres végétales sont conditionnées par certains critères :

- La fibre végétale représente une ressource durable.
- Le béton fibré offre la possibilité d'exploiter les fibres végétales abondantes présentes dans la nature.
- Le béton fibré est un matériau qui présente des propriétés mécaniques et thermiques remarquables. Le sable, la pierre concassée, le ciment et l'eau sont les quatre composants indispensables de tout béton.

I.1 Types des bétons :

I.1.1 Le béton à Hautes Performances BHP :

On appelle Béton à Hautes Performances (BHP) les bétons hydrauliques ordinaire (Sable + Eau + Gravier + Ciment) auxquels on ajoute des adjuvants (fluidifiant et éventuellement des ultra fines) [1] pour augmenter leur performance, dont la résistance, qui doit dépasser les 60MPa à 28 jours [02]. Cependant, la résistance à la compression élevée n'est pas la seule et la principale propriété des BHP, car plusieurs autres propriétés se trouvent améliorées, telles que la très faible perméabilité donc une durabilité accrue.

Cependant, les propriétés améliorées des BHP ne peuvent être obtenues que grâce à plusieurs dispositions simultanées concernant :

- Les granulats doivent être de bonne qualité, la résistance du béton pouvant être limitée par celle des granulats eux-mêmes.
- L'emploi d'adjuvants spécifiques, notamment des super plastifiant réducteurs d'eau ainsi que des ajouts minéraux tel que la cendre volante, le laitier du haut fourneau, la fumée de silice...etc.
- L'emploi de ciments de classe élevée à des dosages compris entre 400 et 550 kg/m³.

Chapitre 1 : Etude bibliographique

Généralement le béton à haute performance se différencie à des autres bétons par son très faible rapport eau/ciment : toujours inférieur à 0,3 quelquefois ne dépassant pas 0.25 et occasionnellement 0.20 [3].

I.1.2 Béton Autoplaçants BAP :

Les bétons autoplaçants (BAP) se distinguent des bétons dits ordinaires (BO), ou bétons à vibrer, par leurs propriétés à l'état frais [4][5]. Ils sont capables de s'écouler sous leur propre poids, quel que soit le confinement du milieu, et restent homogènes au cours de l'écoulement (absence de ségrégation dynamique) et une fois en place (absence de ségrégation statique). Pour acquérir ces propriétés, les BAP sont formulés différemment des BO. Dans leur cas, la pâte définie comme le mélange du ciment, de l'eau et d'une addition, est privilégiée au détriment des gravillons. En général, les BAP possèdent un même dosage en ciment et en eau que les BO, ainsi qu'un volume de sable assez proche. C'est donc principalement l'ajout d'une addition qui sert de substitut aux gravillons. Les proportions exactes de chaque constituant dépendent bien sûr de la méthode de formulation choisie.

I.1.3 Le béton polymère :

Le Béton polymère est un matériau à haute qualité composé d'une combinaison d'arides de silice et de quartz. Le mélange soigné, lié avec des résines de polyester stable, passe avec succès des contrôles de qualité très rigoureux et permet une résistance 4 fois supérieure à celle du béton traditionnel. Cela nous permet de réduire considérablement la section des préfabriqués, c'est la raison pour laquelle nous produisons des éléments légers et aux dimensions réduites. [1].

I.1.4 Le béton fibré :

Les bétons de fibre ou bétons fibrés, sont des bétons dans lesquels on a incorporé des fibres (fibres synthétiques, métalliques ou naturelles) par inclusion directe au moment du gâchage, ou à la projection d'un béton. Ces dernières renforcent le béton comme dans le cas d'un béton armé.

Ils permettent une mise en œuvre plus rapide et plus facile du fait de la suppression de la mise en place du ferrailage ainsi que la limitation de la fissuration grâce aux fibres dispersées dans le composite de forte résistance à la traction. C'est le cas des chapes renforcées de treillis ou de fibres métalliques. [56]

Les paramètres tels que la nature des fibres, leur géométrie, leur dosage, ainsi que le processus de mise en place du matériau frais influencent de manière significative le comportement global du matériau une fois durci. Ces fibres augmentent la ductilité du béton, améliorent ses performances après fissuration et peuvent également renforcer ses résistances à la flexion, à la torsion, au cisaillement, ainsi que sa résistance aux impacts et à la fatigue. Une distribution homogène des fibres dans le mélange améliore les propriétés mécaniques du béton fibré.

I.1.5 Les bétons ordinaires (BO) :

Appelés aussi bétons vibrés, bétons courants ou encore bétons traditionnels. Ils sont les plus utilisés. Il est un matériau composite utilisé dans la construction qui est composé de granulats naturels gros et fin (sable, gravillons ou pierre concassée) qui ont été agglomérés avec un liant. Ce liant est appelé couramment ciment. Et n'oublions pas l'élément le plus important du béton, qui l'eau. Le mélange entre le ciment et l'eau forme une pâte qui durcit. La pâte de ciment hydraté et le sable constituent le

Chapitre 1 : Etude bibliographique

mortier. Celui-ci a pour rôle de se lier avec les gros granulats pour former un conglomerat solide. Les adjuvants et les additions servent à améliorer certaines caractéristiques du béton frais ou durci.

Sa masse volumique se situe aux alentours de 2500 Kg/m^3 , les bétons peuvent être armés ou non, ou même précontraints.

Ses composants affectent ses performances (durabilité, résistance au feu, etc.). C'est un matériau facile à mouler et adapté à tous les types de formes d'ouvrage. [2][6]

I.1.5.1 Composition du béton ordinaire :

Le béton ordinaire est constitué de (ciment, gravier, sable, l'eau), L'ensemble constitue un mélange homogène, on peut ajouter différents types d'adjuvants pour donner au béton des caractéristiques supplémentaires en fonction des nécessités de l'ouvrage réalisé, chacun de ses composants joue un rôle important dans le mélange.

❖ Ciment :

Le ciment est un liant hydraulique composé de poudres minérales qui combinées à l'eau, produisent une masse solide et cohésive qui ressemble aux roches naturelles. Ce durcissement est dû à l'hydratation de certains composés minéraux, notamment des silicates et les aluminates de calcium, la proportion de chaux et de silice réactive devant être au moins de 50% de la masse du ciment.

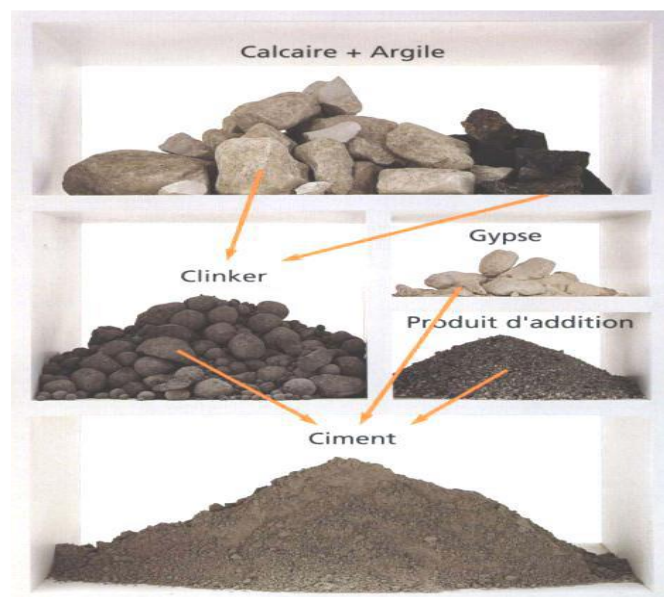


Figure I-1 : différents Constituants des ciments.

Parmi les liants, le ciment est le plus important. Il est fabriqué à partir de matières premières relativement peu coûteuses et faciles à extraire, qui sont généralement disponibles à l'extérieur et faciles à trouver dans la nature.[4][5]

Chapitre 1 : Etude bibliographique

La fabrication du ciment est montrée dans le schéma suivant :

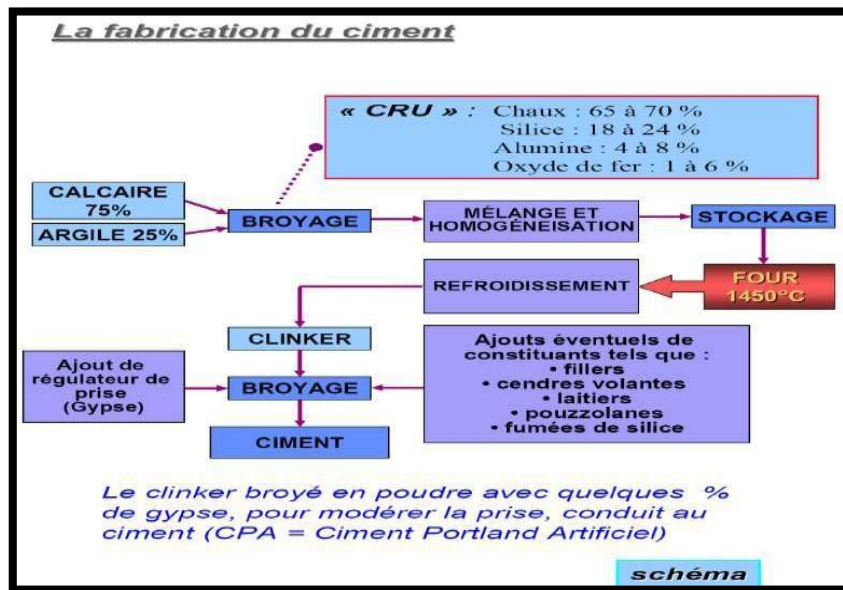


Figure I-2 : fabrication du ciment. [1]

Les ciments utilisés doivent respecter les normes. Ils peuvent accomplir deux fonctions essentielles : garantir la résistance du béton et combler les espaces entre les grains.

Le processus de fabrication du ciment est le suivant :

- **Extraction** : des matières premières
- **Concassage** : pour obtenu des fragments de 50 à 100 mm
- **Préparation du cru** : c'est la réalisation du mélange homogène du calcaire et de l'argile.
- **Cuisson** : à une température de 1400 à 1500 °C.
- **Refroidissement** : brusque (1450 °C à 250 voire 50 °C)
- **Broyage** : pour réduire les grains du clinker en poudre. L'ajout des constituants se fait au cours du broyage.

Ainsi, en fonction de la nature des constituants utilisés et de leur dosage, il existe une grande variété de types de ciments, On peut citer :

- ✓ Les ciments courants.
- ✓ Les ciments adaptés à des usages spécifiques.
- ✓ Les ciments blancs.
- ✓ Les ciments spéciaux.
- ✓ Les liants hydrauliques routiers. (Confection d'un béton OR avec l'introduction d'une vase traitée)

Pour un béton ordinaire, nous pouvons utiliser des ciments de type CEM I, CEM II, CEM III, CEM IV ou CEM V. Le choix et le dosage déterminent la résistance du béton ainsi que ces différentes propriétés. Selon sa composition, les ciments constitués de clinker et d'ajouts cimentaires respectent

Chapitre 1 : Etude bibliographique

les normes Européenne ENV 197-1 et Algérienne NA 442, qui les divisent en cinq classes et notés « CEM » suivi d'un chiffre romain de 1 à 5. [7]

- CEM I: Ciment Portland A
- CEM II: Ciment Portland compose.
- CEM III : Ciment de haut fourneau.
- CEM IV : Ciment pouzzolanique.
- CEM V : Ciment composé.

Les ciments sont classés par rapport aux résistances normales à 2, 7 et 28 jours selon la norme algérienne NA 234 et la norme européenne EN 196-1. La résistance à la compression standard du ciment est la résistance à la compression mesurée sur un mortier normalisé selon la norme et est généralement exprimée en MPa. [3]. Le tableau suivant montre la classification des ciments en fonction de leur composition :

Tableau I-1 : classification des ciments en fonction de leur composition. [1]

Types de ciments	Teneur en clinker	Teneur en addition (laitier - pouzzolanes - cendres - calcaires - schistes - fumées de silice)	Teneur en constituants secondaires
CEM I	95 à 100%		0 à 5%
CEM II	80 à 94% 65 à 79%	6 à 20% * 21 à 35% *	0 à 5%
CEM III	35 à 64% 20 à 34% 5 à 19%	36 à 65% de laitier. 66 à 80% de laitier. 81 à 95% de laitier.	0 à 5%
CEM IV	65 à 90% 45 à 64%	10 à 35% de pouzzolanes, cendres siliceuses ou fumée de silice * 36 à 55% mêmes additions.	0 à 5%
CEM V	40 à 64% 20 à 39%	18 à 30% de laitier et de cendres siliceuses ou de pouzzolanes. 31 à 50% mêmes additions.	0 à 5%
* est le pourcentage de la fumée de silice et des cendres siliceuses est limité à 10%.			

Chapitre 1 : Etude bibliographique

❖ Granulat :

La plupart des définitions relatives aux granulats sont empruntées du texte de la norme XP P 18-540 [8]. Ils confèrent aux caractéristiques techniques et esthétiques du béton, notamment à sa résistance, en tant que composants essentiels. Ainsi, le type de granulat utilisé aura un impact sur la durabilité du béton, donc il ne faut pas le choisir à la légère. Un granulat est un ensemble de grains compris entre 0 et 125 mm utilisé pour fabriquer des mortiers, des bétons, des couches de fondation et de base, des remblais, des assises et ballasts de voies ferrées et des couches de liaison et de roulement des chaussées [9], on distingue alors différentes sortes de granulats : fillers, sablons, sables, graves, gravillons, ballast, enrochements.



Figure I-3 : les granulats.

Les granulats sont fabriqués en concassant des roches massives (calcaires ou éruptives), en exploitant des gisements de sables et de graviers d'origine alluvionnaire terrestre ou marine, ou encore en recyclant des produits tels que les matériaux de démolition. Leurs caractéristiques et leur apparence et leurs propriétés diffèrent en fonction des ressources et des méthodes de production [10]

• Type de granulat :

Les granulats utilisés dans le béton peuvent être naturels, artificiels ou recyclés. Leur taille variable déterminera l'utilisation du béton (les gros granulats pour le gros œuvre, les très fin pour le béton sophistiqué). La résistance du béton augmente avec la variété des calibres mélangés. [11]

Les granulats naturels : Il provient de roches meubles ou massives et ne fait l'objet d'aucun traitement autre qu'un traitement mécanique (réduction dimensionnelle), qui sont :

- Granulats de carrière (concassés)
- Granulats alluvionnaires (roulés)
- Roches sédimentaires (silice, calcaire...etc.)
- Roches métamorphiques (quartzites...etc.)
- Roches éruptives (basaltes...etc.)

Chapitre 1 : Etude bibliographique

Les granulats artificiels : Ils proviennent de la transformation à la fois thermique et mécanique de roches ou de minerais, qui sont :

- Sous-produits industriels, concassés ou non
- Granulats à hautes caractéristiques
- Granulats très légers

Les granulats recyclés : Ce sont essentiellement des granulats obtenus pour recyclage de béton de démolition. [10]



Figure I-4 : Photos des différents types de granulats.

- **Classification de granulat :**

Du point de vue granulaire, les granulats se distinguent par leur classe d/D , qui correspond à la plus petite et la plus grande dimension des grains. En se basant sur la norme XP P 18-545, qui est devenue la norme européenne en vigueur depuis le 1er juin 2004, les trois seules désignations utilisant le terme granulats sont :

- Sables $0/D$ où $1 < D < 6,3$ mm ;
- Graves $0/D$ où $D > 6,3$ mm ;
- Gravillons d/D où $d > 1$ et $D < 125$ mm ;

Où :

- D : dimension inférieure du granulat
- D : dimension supérieure du granulat [10]

Chapitre 1 : Etude bibliographique



Figure I-5 : Les différents classes de granulats.

❖ L'eau de gâchage

Lors de la fabrication du béton, l'eau de gâchage est essentielle pour libérer les capacités d'adhérence du ciment (liaison hydraulique), qui ne stabilise pas seulement ces matériaux, grâce à l'interaction entre les composants anhydres du ciment, mais leur confère également certaines de leurs propriétés à l'état frais, et facilite leur application. [12]

L'eau joue deux rôles dans la fabrication du béton :

Déclencher l'hydratation du ciment (liant hydraulique), qui conduit à la prise et au durcissement du béton par la formation de constituants hydratés qui ont des propriétés liantes

Garantir la maniabilité du béton frais pour le rendre plus facile à installer.



Figure I-6 : l'eau.

La quantité d'eau nécessaire pour hydrater le ciment est d'environ 20 à 25 % de sa masse, les eaux de ruissellement, les eaux pompées dans la nappe phréatique, les eaux de rejets industriels doivent subir

Chapitre 1 : Etude bibliographique

un essai de convenue (NF P 18-303). L'eau utilisée doit être de qualité (évitons d'utiliser de l'eau de mer).

Les adjuvants tels que les plastifiants et les superplastifiants sont généralement utilisés pour réduire la quantité d'eau utilisée dans la formulation du béton et améliorer les propriétés du béton à l'état frais et à l'état durci.

❖ Adjuvant :

Le béton est constitué de trois ingrédients : des granulats, du ciment et de l'eau. Grâce aux adjuvants qui lui sont ajoutés, le béton peut devenir plus maniable, imperméable et se prêter d'autant mieux aux besoins de la construction. On peut même dire, que les adjuvants sont devenus le quatrième composant du béton. Depuis plusieurs décennies, dans un environnement en constante mutation, les adjuvants s'imposent comme un composant essentiel et incontournable des bétons modernes. Aujourd'hui, plus de 95 % des bétons sont adjugés. Ils sont un catalyseur essentiel de l'évolution technologique des bétons, que ce soit au niveau des propriétés à l'état frais des bétons (facilité et confort de mise en œuvre), qu'en termes de performances mécaniques et de résistances.

Selon la norme NF EN 934-2, l'adjuvant est défini comme un produit incorporé au moment du malaxage du béton ou mortier, à une dose inférieure ou égale à 5% en masse de la teneur en ciment du béton ou mortier, pour modifier les propriétés du mélange à l'état frais et/ou durci ».[13]

Chapitre 1 : Etude bibliographique

Les différents types d'adjuvants sont illustrés dans le tableau suivant :

Tableau I-2 : Les différents types d'adjuvants. [13]

Nature	Effets
Prise et durcissement	<p><u>Accélérateur de prise</u> : diminue le temps de prise du béton.</p> <p><u>Accélérateur de durcissement</u> : accélère le temps de durcissement du béton.</p> <p><u>Retardateur de prise</u> : ralentit le temps de prise du béton sans l'altérer</p>
Ouvrabilité du béton	<p><u>Plastifiant</u> : améliore la maniabilité du béton sans l'altérer.</p> <p><u>Plastifiant réducteur d'eau</u> : réduit la teneur en eau dans le but d'augmenter la résistance du mélange, tout en ayant une bonne maniabilité.</p> <p>Superplastifiant :</p> <ul style="list-style-type: none"> • <u>Fonction fluidifiant</u> : (dosage en eau normal) améliore la maniabilité mais diminue la résistance. • <u>Fonction réducteur</u> : (très faible dosage en eau) entraîne une forte réduction en eau dans le mélange tout en conservant une bonne maniabilité.
Modification de certaines propriétés	<p><u>Entraîneurs d'air</u> : permet la formation de petites bulles d'air réparties de manière homogène. Ce qui augmente la maniabilité et la résistance au gel du béton à l'état solide.</p> <p><u>Hydrofuges de masse</u> : améliore l'imperméabilité du béton en obturant les pores.</p> <p><u>Les pigments</u> : offrent la possibilité de modifier la couleur du béton.</p>
Les produits de cure	Produits appliqués à la surface du béton frais, ils ont pour rôle de protéger le béton contre d'éventuels risques de dessiccation.

- **Superplastifiant :**

Ils ont pour fonction principale de provoquer un fort accroissement de l'ouvrabilité du mélange tout en conservant les performances mécaniques. Ils permettent aussi, sans modifier la consistance du

Chapitre 1 : Etude bibliographique

béton, de réduire fortement la teneur en eau de gâchage et donc le rapport E/C. Ils confèrent aux bétons des résistances mécaniques à court terme et à très long terme élevées.

Ils peuvent offrir un long maintien de rhéologie et limitent les risques de dessiccation et de ségrégation. Ils facilitent la réalisation des reprises de bétonnage. Ils conduisent à des bétons à compacité élevée grâce à la forte réduction d'eau, gage de durabilité. La montée en résistance rapide des bétons permet des décoffrages rapides.

I.1.5.2 Formulation de béton ordinaire :

Le choix des proportions de chacun des constituants d'un béton afin d'obtenir les propriétés mécaniques et de mise en œuvre souhaitées s'appelle la formulation. Plusieurs méthodes de formulations existent, dont notamment :

❖ La méthode de Bolomey :

La méthode fournit une courbe granulométrique de référence, ce qui signifie qu'elle doit être effectuée avec des granulats qui ont une composition qui inclut la courbe de référence.

Cependant, la courbe de référence donnée par Bolomey tient compte de la consistance du béton fabriqué et de la méthode de mise en place. [14]

Bien que la méthode de Bolomey soit bénéfique car elle a ouvert la voie à l'étude du béton, elle ne peut être utilisée qu'avec des granulats dont la masse volumique absolue est comprise entre 2,5 et 2,7 Kg/m³, ce sont d'ailleurs les granulats plus courants. [15]

❖ La méthode de Faury :

En 1941, la méthode a été introduite pour compléter la méthode de Bolomey. Avec cette méthode, le béton comportement nécessite moins de sable et plus de gravier. Ces types de béton sont plus résistants et peuvent être utilisés dans des travaux nécessitant une grande facilité de maniabilité par rapport au béton bolomey correspondant. [15]

❖ La méthode de Dreux-Gorisse :

La méthode graphique de dreux-gorisse est utilisée pour déterminer la composition du squelette granulaire utilisé pour fabriquer un béton ordinaire sans addition et sans superplastifiant. [15]

Cette méthode permet de définir d'une façon simple et rapide une formule de composition à peu près adaptés au béton étudié tout fois seules quelques gâchées et la confection définitive en fonction des qualités souhaiter et des matériaux.

La méthode de formulation de DREUX-GORISSE permet de déterminer les quantités optimales de matériaux (eau E, ciment C, sable S, gravillon g et gravier G) Nécessaires à la confection d'un mètre cube de béton conformément au cahier de charges.

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

- Détermination du rapport C/E.

Chapitre 1 : Etude bibliographique

- Détermination de C et E.
- Détermination de mélange optimale à minimum de vides.
- Détermination de la compacité du béton.

I.2 Les types des fibres :

I.2.1 Les fibres métalliques :

De nombreuses recherches ont été menées sur les fibres métalliques, notamment l'acier, afin de développer leurs applications dans le béton. Ils sont parfaitement compatibles avec le béton.

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 dimension améliorent leur ancrage et leur adhérence (fibres, copeaux, fibres tréfilées, ondulées, déformées aux extrémités). [16]

Il existe diverses catégories de fibres métalliques, telles que les fibres ondulées, crantées, torsadées et droites, ainsi que des fils et des rubans. De plus, on trouve des fibres avec des extrémités aplaties, des crochets, des têtes coniques, etc.

La fonction des fibres métalliques est :

- Un excellent résistant à la traction.
- Très résistant à la flexion.

Les types les plus courants de fibres métalliques sont :

- Aciers.
- Inox.
- Font.

I.2.1.1 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.

I.2.2 Les fibres minérales :

Les fibres minérales sont des matériaux solides et durables fabriqués à partir de minéraux. Elles sont disponibles dans une variété de formes et de tailles, de la fibre de verre fine aux flocons de vermiculite volumineux, utilisées pour l'isolation et l'ignifugeage.[16]

Il existe plusieurs types de fibres minérales, chacune avec ses propres propriétés et applications. Les types les plus courants de fibres minérales sont :

Chapitre 1 : Etude bibliographique

- Amiante.
- Fibre de céramique.
- Basalte.
- Carbone.
- Verre.

Les fibres minérales sont choisies en fonction de leurs propriétés particulières, telles que la résistance mécanique, la résistance thermique, la légèreté, et d'autres caractéristiques spécifiques à chaque type de fibre.

I.2.2.1 Les fibres de verre :

Les fibres de verre sont fabriquées à partir de verre fondu qui est filé à travers une filière. Les fibres ont une épaisseur de 10 à 100 micromètres. Elles sont disponibles en bobines ou en morceaux prédécoupés.[17]

Il existe trois types principaux de fibres de verre :

- Fibre de verre classique : est fabriquée à partir de sable, de soda et de calcaire. C'est le type de fibre de verre le plus courant.
- Fibre de verre au zirconium : est plus résistante à la chaleur que la fibre de verre classique.
- Fibre de verre au borosilicate : est plus résistante à la corrosion que la fibre de verre classique.

Les fibres de verre sont des renforts très efficaces, grâce à leurs qualités mécaniques et leur rigidité, mais elles sont sensibles aux alcalis libérés par l'hydratation du ciment (protection ou imprégnation nécessaire). [18]

Ces fibres sont généralement caractérisées par les propriétés suivantes :

- Bonne adhérence avec la matrice,
- Disponibilité sous toutes les formes (coupées, continues ...),
- Bonne résistance à l'humidité et à la corrosion,
- Conductivité thermique relativement faible.

❖ Domaine d'application des fibres de verre :

Les éléments de faible épaisseur peuvent être fabriqués avec des fibres de verre :

- Panneaux de façade minces à faible épaisseur.
- Panneaux sandwich pour l'isolation.
- Éléments décoratifs.
- Produits d'assainissements : tuyaux, caniveaux.

I.2.3 Les fibres organiques :

Les fibres organiques se réfèrent à des matériaux filamenteux dérivés de sources organiques, généralement d'origine végétale ou animale.

Chapitre 1 : Etude bibliographique

Ces fibres sont utilisées dans divers domaines :

- L'industrie textile.
- La fabrication de matériaux composites.
- Dans des applications médicales et pharmaceutiques.

Les exemples courants de fibres organiques comprennent le coton, le lin, la laine, la soie, et d'autres fibres naturelles dérivées de plantes, d'animaux ou de microorganismes.

Les fibres organiques présentent souvent des caractéristiques : telles que la biodégradabilité et la durabilité, les rendant populaires dans le contexte de pratiques respectueuses de l'environnement.[19]

Les types les plus courants de fibres organiques sont :

- Aramide.
- Kevlar.
- Polypropylène.
- Polyamide.
- Acrylique.

1.2.3.1 Les fibres de polypropylènes :

Le polypropylène est un polymère cristallisable de la famille des polyoléfines, Il est fabriqué depuis 1954 pour l'industrie textile.

Les fibres de polypropylènes Sont des matériaux fabriqués à partir de produits pétroliers, ces fibres sont fréquemment utilisées dans les bâtiments, en particulier dans réalisation des panneaux décoratifs, revêtement de façade de tuyaux et pieux.

❖ Rôle des fibres propylène :

Elles sont particulièrement souples et chimiquement insensibles, améliorant la maniabilité et la cohérence du béton (en particulier pour le béton projeté).

❖ Les avantages :

- ✓ 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.

❖ Domaine d'application des fibres propylènes :

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

Chapitre 1 : Etude bibliographique

I.2.4 Les fibres naturelles :

Les fibres naturelles présentent de nombreuses propriétés intéressantes comme renfort pour les composites. Ils ont la particularité d'être un matériau à faible densité, ce qui donne des composites relativement légers à hautes caractéristiques spécifiques. Les fibres naturelles offrent également des avantages de coûts et des avantages importants associés au traitement, par rapport aux fibres synthétiques. Enfin, ils sont une ressource hautement renouvelable, ce qui réduit la dépendance sur l'huile de pétrole national et étranger.

On peut classer les fibres naturelles en trois grands groupes selon leur origine [17].

- ✓ Les fibres animales qui proviennent des poils, telle que la toison animale, et des sécrétions telles que la soie.
- ✓ 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).
- ✓ Minérale : on trouve dans la nature des minéraux dont la texture fibreuse s'agit d'une matière toxique, comme l'amiante.

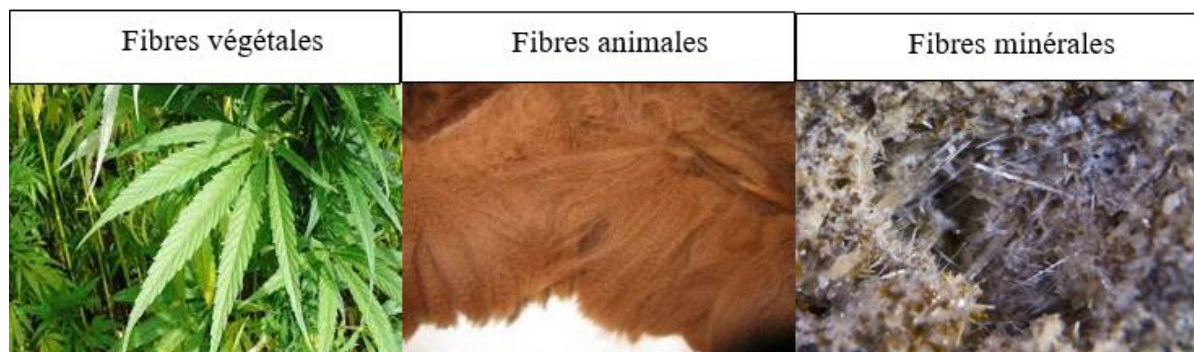


Figure I-7 : Les types des fibres naturelles.

Les fibres naturelles présentent certains avantages par rapport aux fibres synthétiques telles que les fibres de verre ou de carbone, comme un coût énergétique de production inférieur. [20]

I.2.5 Les fibres végétales :

I.2.5.1 Définition des fibres végétales :

Les fibres végétales, extraites de diverses parties des plantes, présentent des caractéristiques uniques qui les rendent polyvalentes et écologiques. Les fibres végétales sont extraites des plantes, que ce soit de la tige, comme c'est le cas pour le lin et le chanvre, ou de la feuille, telles que les fibres du palmier dattier, voire même du fruit lui-même, comme c'est le cas avec la noix de coco. Elles font partie de la biomasse et se distinguent par leur faible densité, leur pouvoir d'isolation thermique, leurs résistances à la traction élevées, et leur biodégradabilité, constituant ainsi un avantage majeur pour l'écologie. [21]

Les fibres végétales sont des structures biologiques fibreuses et allongées, dont les principaux constituants comprennent [22] :

Chapitre 1 : Etude bibliographique

- ❖ Cellulose : Elle présente des performances mécaniques remarquables et une surface spécifique élevée, favorisant une adhésion et une adhérence améliorées. De plus, elle agit comme un pont de transfert de contraintes.
- ❖ Hémicellulose.
- ❖ Lignine.

En plus de ces composants principaux, on retrouve également un faible pourcentage d'extraits non azotés, de matières protéiques brutes, de graisses et de minéraux. Les proportions de ces composants varient significativement en fonction du type de plante, de son âge, et des organes concernés. [23][24].

I.2.5.2 Classification des fibres végétales :

Les fibres végétales peuvent être classées en fonction de leur origine : fibres de feuille, de tiges, de bois et de surface.

❖ Les fibres de feuilles :

Ces fibres sont issues du rejet des plantes et sont fabriquées en superposant des paquets qui englobent toutes les feuilles, conférant ainsi aux fibres une rigidité et une résistance accrues. La fibre de feuille la plus fréquemment employée est la fibre de sisal [25]. Certains chercheurs ont noté que ce genre de fibre améliore les caractéristiques mécaniques de la matrice cimentaire.

❖ Les fibres de tiges :

On obtient ces fibres à partir des tiges des plantes. Elles possèdent une bonne rigidité. Ces fibres sont distribuées sous forme de paquet de cor, puis séparées grâce à un processus spécial. On utilise les fibres de tige pour renforcer les bétons, ainsi que pour fabriquer du textile et des cordes. On retrouve parmi ces fibres : le jute, le lin et le chanvre [25].

❖ 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 [26].

❖ 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 autres le coton 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 [25].

I.3 Différentes fibres végétales

I.3.1 Le sisal :

Le sisal est une fibre végétale produite par la plante *Agave sisalana*, originaire de la péninsule du Yucatan au Mexique, principalement originaire des régions tropicales et subtropicales. Le sisal est

Chapitre 1 : Etude bibliographique

cultivé dans de nombreuses régions du monde, notamment en Amérique du Nord et du Sud, en Afrique et en Asie. Il représente environ 2 % de la production mondiale de fibres végétales. Le sisal est de plus en plus utilisé dans des applications diverses, notamment les matériaux composites, les plastiques et les produits de papier. Cette plante résistante pousse dans des climats chauds et arides. Elle est également adaptable à la plupart des types de sols, à l'exception des sols argileux, très salins ou humides.[27]

La culture du sisal est relativement simple et peu coûteuse. Les plantes peuvent être récoltées deux ans après avoir été plantées et peuvent continuer à produire des fibres pendant 12 ans. Chaque plante produit 180 à 240 feuilles. La longueur moyenne des fibres est de 3 mm, mais elle peut varier en fonction des conditions géographiques et météorologiques.



Figure I-8 : Fibre naturelle du sisal.

I.3.2 Le coco :

Les fibres de coco sont extraites de la couche fibreuse qui entoure la noix de coco. Après avoir été assouplies dans l'eau, elles sont filées et tissées. Le processus de filage, caractérisé par une texture grossière et irrégulière, confère au coco un aspect rustique. Cette fibre présente une grande résistance, possède des propriétés isolantes, est imputrescible et antibactérienne. On préfère l'utiliser dans des espaces spacieux, notamment lorsqu'on souhaite mettre en avant son caractère rustique.



Figure I-9 : Fibre naturelle de la plante du coco.

I.3.3 L'Alfa :

L'alfa est une herbe vivace typiquement méditerranéenne, elle pousse en touffes d'environ 1m à 1m20 de haut formant ainsi de larges nappes. Elle pousse spontanément, notamment dans les milieux arides et semi arides, elle délimite le désert [28].

Chapitre 1 : Etude bibliographique



Figure I-10 : Touffes d'alfa.

Elle date de l'antiquité [29] pour la fabrication de tapis, de silos de blé, de cordes, de nattes [30]. Comme renforcement des matériaux de construction traditionnels, elle était utilisée dans la fabrication des briques argileuses ou des plâtres.

L'alfa se récolte après le murissage des graines (à partir de juillet-août).

Tableau I-3 : La composition chimique de la fibre d'alfa. [31] [32].

Cellulose (%)	La lignine (%)	L'hémicellulose (%)	Cire (%)	Cendre (%)
41.9 - 47.6	24.2 - 38.5	11.8 - 24.3	2-5	1.8 - 5.1

❖ Domaine d'applications :

Les applications de l'alfa sont multiples et diverses [33] :

- Pour des usages techniques tels que la fabrication de matériaux non tissés et le renforcement des composites.
- Pour des utilisations dans l'industrie papetière, notamment dans la production de papier haut de gamme, de papier à cigarettes et de papier-monnaie.
- Pour produire des objets artisanaux tels que paniers, tapis et cordes.
- Nourriture pour les animaux sauvages et pour le bétail.

I.3.4 Les Palmiers :

Un palmier est un végétal de la famille botanique des Arécacées, bien connu par les dattiers et les cocotiers. La plupart des palmiers poussent dans les régions tropicales et subtropicales du monde. Leur aire de distribution se situe entre environ 44 ° de latitude nord et environ 44 ° de latitude sud.

Chapitre 1 : Etude bibliographique



Figure I-11 : Palmier.

On compte plus de 2 500 espèces de palmiers dans le monde, qui prospèrent dans une variété de climats, des forêts tropicales aux déserts. Leur taille varie de quelques centimètres à plus de 30 mètres.

Les palmiers jouent un rôle important dans de nombreux écosystèmes. Ils fournissent de la nourriture et un abri aux animaux et contribuent à réguler le climat en absorbant le dioxyde de carbone et en libérant de l'oxygène.

Le palmier dattier se constitue principalement de 10 parties, à savoir : les palmes, la jeune palme, le régime de dattes, les dattes, le gourmand, le stipe, les cicatrices annulaires, le rejet, le bulbe et les racines [34].

Chapitre 1 : Etude bibliographique

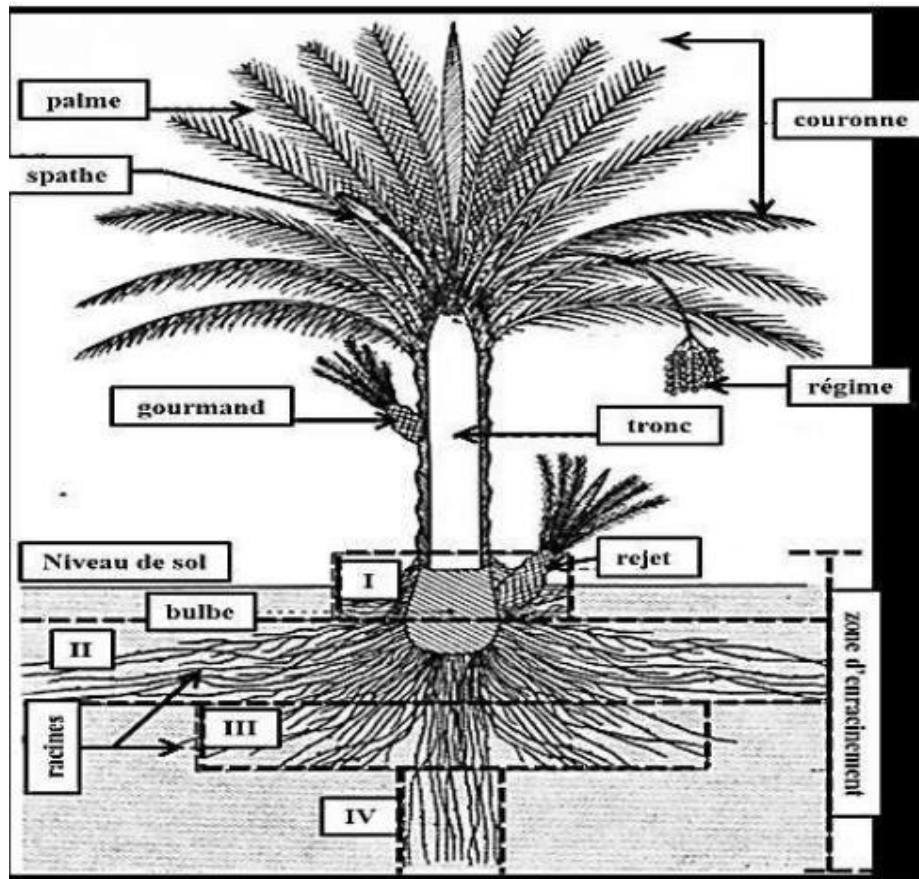


Figure I-12 : Schéma du palmier dattier.

❖ Domaine d'applications :

Les palmiers sont des plantes polyvalentes qui sont utilisées à diverses fins :

- Leurs feuilles peuvent être utilisées pour fabriquer des toits, des paniers et d'autres articles.
- Leurs fruits peuvent être consommés frais ou séchés.
- Leur sève peut être transformée en sucre ou en vin. Et leur bois peut être utilisé pour la construction ou la menuiserie.
- Les palmiers sont également importants sur le plan culturel, ils sont souvent considérés comme des symboles de beauté, de paradis et de paix.
- Ils sont utilisés dans de nombreuses cérémonies et fêtes religieuses. Et ils apparaissent dans l'art, la littérature et la musique depuis des siècles.

I.3.5 Armoise :

L'armoïse est un genre de plante originaire des régions tempérées de l'hémisphère nord de la famille des Astéracées ou Composées. Elle se caractérise par des feuilles découpées et de petites fleurs jaunes.

Chapitre 1 : Etude bibliographique

Sa floraison commence au début de l'été et dure généralement plusieurs semaines. Les armoises apprécient les situations ensoleillées et les ambiances de jardin sec.



Figure I-13 : Armoise.

❖ **Domaine d'applications :**

- L'armoise est traditionnellement utilisée pour soulager les troubles digestifs tels que les coliques, la diarrhée, les ballonnements et les gaz.
- L'armoise est un puissant vermifuge naturel, efficace contre les vers intestinaux.
- L'armoise possède des propriétés anti-inflammatoires et antibactériennes qui peuvent aider à soulager les douleurs articulaires, les infections et les inflammations.
- L'armoise est traditionnellement utilisée pour réguler le cycle menstruel et traiter l'aménorrhée (absence de règles).
- L'armoise est également utilisée pour traiter la fièvre, le rhume, la toux, l'arthrite, l'asthme et les problèmes de peau.
- Les feuilles d'armoise séchées sont utilisées comme condiment pour parfumer les plats de viande, de poisson, de légumes et de soupes. Elles ont un goût amer et légèrement citronné.
- L'armoise peut être infusée pour faire une tisane digestive, relaxante ou stimulante.
- Produits de soin.
- Les extraits d'armoise sont utilisés comme insecticides et répulsifs naturels contre certains parasites des cultures.
- Artémisinine : un composé utilisé dans le traitement du paludisme.

Chapitre 1 : Etude bibliographique

❖ Les types d'armoise :

L'armoise, appartenant au genre *Artemisia*, compte de nombreuses espèces, chacune ayant des caractéristiques et des utilisations spécifiques. Voici quelques-unes des espèces les plus connues :

- Armoise annuelle
- Absinthe
- Estragon
- Armoise commune ou Herbe de Saint-Jean
- Armoise blanche
- Saugebrush
- Armoise africaine

I.4 Les propriétés et caractéristiques mécaniques et physiques des fibres végétales :

I.4.1 Propriétés et caractéristiques Mécaniques :

Généralement une fibre végétale est propriété mécaniquement par :[35]

❖ **Module de Young (Module d'élasticité)** : Il mesure la rigidité élastique d'un matériau et peut être utilisé pour évaluer la déformation élastique des fibres, Il est défini comme le rapport entre la contrainte de traction et l'allongement à la rupture.

❖ **La masse volumique** des fibres végétales (1.2 à 1.5 g/cm³) est une faible masse confère à ces matériaux des propriétés mécaniques spécifiques intéressantes. Les fibres courtes ont des contraintes en traction plus élevées par rapport aux fibres longues, du fait que ces dernières ont de plus grandes probabilités de contenir des défauts. [36]

❖ **Contrainte à la rupture** : est une propriété mécanique qui mesure la force maximale qu'une fibre peut supporter avant de se rompre.

❖ **Allongement à la rupture** : Il représente la déformation maximale que la fibre peut subir avant de se rompre. L'allongement à la rupture des fibres végétales est généralement compris entre 1 et 50 %.

❖ **Résistance à la traction** : est une propriété mécanique qui mesure la capacité d'un matériau à résister à une contrainte de traction. Elle est généralement exprimée en newtons par millimètre carré (N/mm²) ou en mégapascals (MPa).

La résistance à la traction des fibres végétales est généralement comprise entre 100 et 5000 MPa. La cellulose, présente dans de nombreuses fibres végétales, contribue à cette propriété.

❖ **Résistance à la compression** : mesure la capacité d'une fibre à résister à des forces de compression, elle est généralement comprise entre 20 et 1000 MPa. Les fibres les plus résistantes à la compression sont le lin et le chanvre, qui peuvent atteindre des résistances à la compression de 400 à 500 MPa. Certaines fibres végétales peuvent présenter une résistance à la compression significative.

Chapitre 1 : Etude bibliographique

Importance industrielle c'est que les propriétés mécaniques des fibres végétales jouent un rôle important dans les applications industrielles. Par exemple, les fibres végétales à haute résistance et ténacité sont utilisées dans les industries de l'automobile et de la construction. Les fibres végétales hautement élastiques sont utilisées pour fabriquer des vêtements et des chaussures.

Tableau I-4 : Les caractéristiques mécaniques de quelques fibres Végétales.

Fibre	Densité (g/cm³)	Module de traction (GPa)	Résistance en traction (MPa)	Allongement (%)
Lin	1.5	28	345-1100	2.7-3.2
Jute	1.45	13-27	350-550	1.2-2.5
Chanvre	1.48	29-70	550-900	1.6-3.5
Ramie	1.5	20-70	550-900	1.6-4
Abaca	1.35	20	900	3.5
Sisal	1.45	9-20	400-700	2-14
Coco	1.15	4-6	130-120	15-40
Coton	1.5	5-12	300-800	3-10

I.4.2 Propriétés et caractéristiques Physiques :

Les fibres végétales sont des matériaux naturels qui présentent une grande variété de caractéristiques physiques. Ces caractéristiques sont déterminées par une combinaison de facteurs, notamment la composition thermique, la structure, la taille et la forme des fibres, la densité, et le taux de reprise.

I.4.2.1 Dimension des fibres : diamètre et longueur :

La longueur et le diamètre sont deux des caractéristiques physiques les plus importantes des fibres végétales. La longueur des fibres est généralement comprise entre 10 et 150 millimètres, tandis que le diamètre est généralement compris entre 10 et 50 micromètres.

Différentes fibres végétales peuvent être comparées et leurs domaines d'application déterminés à l'aide de coefficients, ce paramètre est défini généralement par un facteur de forme (L/D) qui est présenté par le rapport entre les longueurs des fibres (en mm) et leur diamètre (en μm). Un faible facteur de forme suggère une résistance accrue, indiquant une utilisation propice dans le renforcement des matériaux composites. A l'inverse, un rapport (L/D) assez élevé oriente l'utilisation des fibres vers les non-tissés.

I.4.2.2 Taux de reprise des fibres végétales :

Le taux de reprise des fibres végétales, ou le pourcentage d'humidité qu'elles absorbent lorsqu'elles sont exposées à l'air ou à l'eau, est crucial pour calculer la quantité d'humidité que les fibres intégreront dans un produit final. Ce taux varie selon la nature, la longueur et le diamètre des fibres,

Chapitre 1 : Etude bibliographique

avec une tendance à un taux plus élevé pour les fibres longues et celles composées principalement de cellulose.

Pour déterminer ce taux, il existe des méthodes expérimentales, qui impliquent la mesure directe de l'absorption d'humidité, et des méthodes théoriques, qui utilisent des modèles mathématiques pour prédire le taux de reprise à partir des propriétés physiques et chimiques des fibres.

Tableau I-5 : Taux de reprise des fibres végétales.[37]

Fibre	Taux de reprise (%)
Alfa	8,84
Coton mercerisé	8 – 12
Chanvre	8
Jute	12

Il est important de noter que ces taux sont des valeurs moyennes et que le taux de reprise réel des fibres peut varier en fonction des conditions de stockage et d'utilisation.

I.4.2.3 Densité :

La densité des fibres végétales est un facteur important à prendre en compte dans la conception et la fabrication de produits à base de fibres végétales. La densité affecte les propriétés mécaniques, thermiques et acoustiques des produits.

Les fibres végétales ont généralement une densité plus faible que les fibres synthétiques. Cette différence de densité est due à la structure des fibres végétales. Les fibres végétales sont composées de cellulose, d'hémicellulose et de lignine. Ces substances ont des densités différentes, ce qui affecte la densité globale de la fibre.

La densité des fibres végétales peut être mesurée par des méthodes expérimentales ou par des méthodes théoriques. Les méthodes expérimentales consistent à mesurer la masse et le volume des fibres. Les méthodes théoriques utilisent des modèles mathématiques pour prédire la densité des fibres en fonction de leurs propriétés physiques et chimiques.

Tableau I-6 : Quelques exemples de la densité de certaines fibres végétales.[38]

Fibre	Densité
Coton	1.5-1.6
Lin	1.53
Jute	1.44
Ramie	1.56
Sisal	1.45
Alfa	1.51

I.4.2.4 Morphologie des fibres végétales :

L'état de surface des fibres présente un grand intérêt en textile surtout dans le cas des fibres naturelles vu les différences observées entre une fibre et une autre. En effet, les fibres végétales ont des

Chapitre 1 : Etude bibliographique

structures morphologiques variées, qui dépendent de la nature de la plante dont elles proviennent, voir même de la partie de la plante dont elles sont extraites. Ces structures morphologiques sont observées à partir des images obtenues par microscope électronique à balayage (MEB) et sont présentées par des vues longitudinales et transversales. Cette caractéristique a fait l'objet de plusieurs travaux de recherche [39], [40], [41].

I.4.2.5 Composition thermique :

L'étude du comportement thermique des fibres lignocellulosiques est une étape très importante dans la caractérisation du fait qu'elle nous renseigne sur la composition d'un matériau. En effet, la pyrolyse des différentes substances s'effectue pour des températures variables. Du point de vue thermique, la majorité des fibres végétales perdent leur rigidité dès 160°C et on voit la lignine se dégrader aux alentours de 200°C. Stamm a observé des effets irréversibles comme l'augmentation de la dégradation avec l'oxydation et le changement de viscosité [42]. De plus, la destruction de l'ordre cristallin n'apparaît qu'au-dessus de 320°C par agitation thermique des molécules [43].

I.5 Les caractéristiques chimiques des fibres végétales :

Les fibres végétales se composent principalement de cellulose, d'hémicellulose et de lignine. Elles contiennent aussi des quantités faibles en protéines d'extractibles et quelques composés inorganiques [44].

I.5.1 Cellulose :

La cellulose est le principal composant des fibres végétales en termes de poids et de structure. Sa forme exacte est déterminée en 1913[45], son taux varie de 17% à 99%.

Ce qui en fait la substance naturelle la plus importante dans les organismes Vivant : environ 40% de carbone organique. C'est un polymère linéaire dont la masse molaire peut varier de 5.104 à 2.5.106 g/mol,[46] cet homopolymère naturel est le constituant principal de la paroi cellulaire de nombreux végétaux [47].

Chapitre 1 : Etude bibliographique

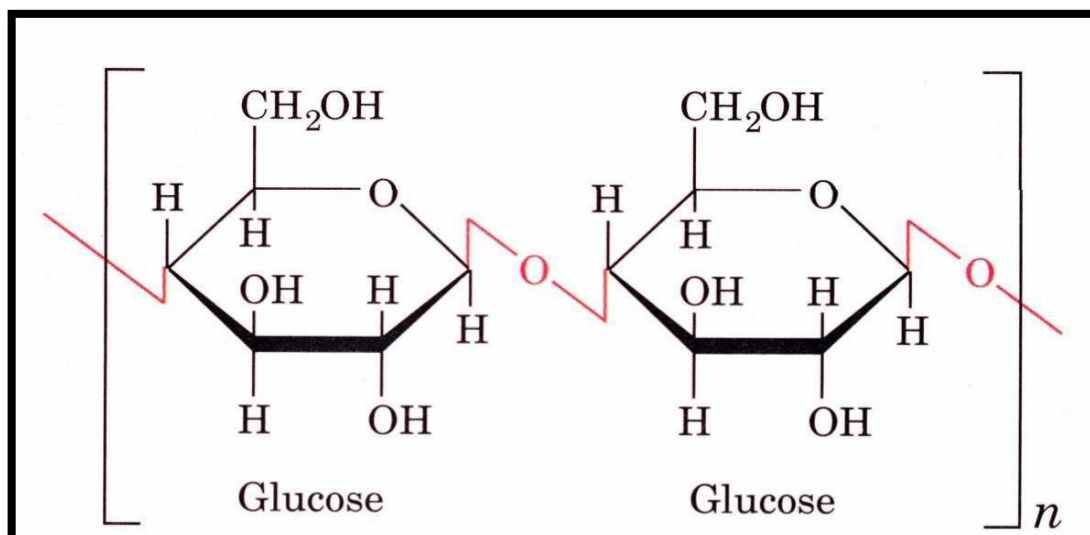


Figure I-14 : Représentation de la chaîne de cellulose [4].

La cellulose est une macromolécule à très longue chaîne de cycles glucopyranose avec une liaison glycosidique du type β 1-4. L'unité répétitive, est composée de l'association de deux glucoses. Elle est appelée cellobiose. [48]

La cellulose est un des composants polysaccharidiques des parois des cellulaires végétales de formule empirique $(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_n$. On le trouve abondamment dans le bois, le coton et d'autres matériaux fibreux, ce qui en fait le matériau organique le plus abondant sur terre représentant plus de 50% de la biomasse [49].

I.5.2 L'hémicellulose :

Les tissus végétaux contiennent entre 20% et 30% d'autres polysaccharides composés de pentosanes et d'hexosanes, formant ce que l'on appelle l'hémicellulose. Les hémicelluloses font partie des trois principaux composants de la biomasse lignocellulosique, représentant de 20% à 40% de la biomasse totale en poids. Elles constituent un groupe de polysaccharides complexes caractérisés par leur solubilité dans des solutions alcalines, comme le KOH à une concentration molaire, et leur insolubilité dans l'eau [50].

Contrairement à la cellulose, les hémicelluloses contiennent plusieurs types de sucres à cinq atomes de carbone (sucres C_5) tels que l'xylose et l'arabinose, des sucres à six atomes de carbone (sucres C_6) comme le glucose, le mannose, le galactose, l'acide galacturonique et l'acide glucuronique, ainsi qu'un sucre à sept atomes de carbone (sucre C_7) comme l'acide 4-O-méthyl glucuronique (Figure I-15). L'xylose est le deuxième sucre le plus abondant dans la biosphère après le glucose.

Chapitre 1 : Etude bibliographique

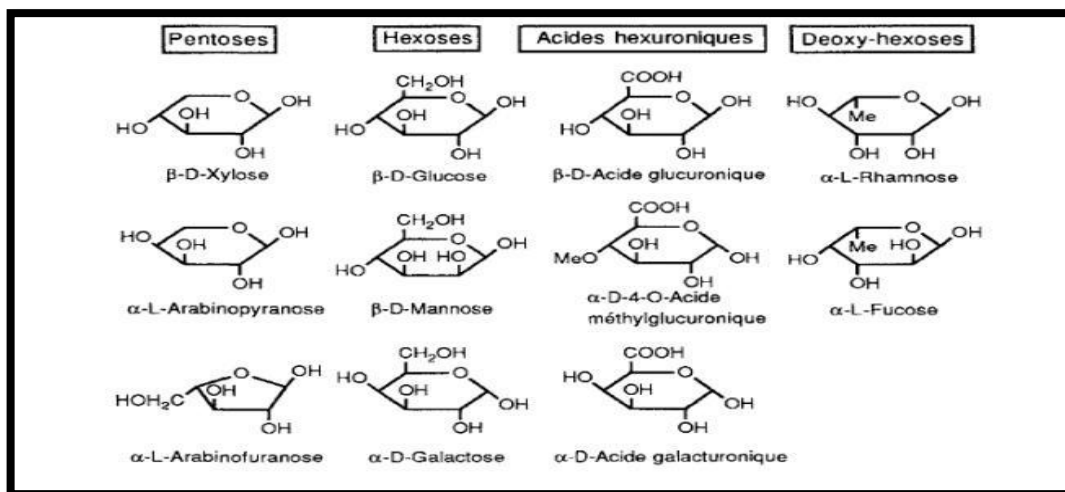


Figure I-15 : Quelques sucres importants entrant dans la composition des hémicelluloses.

I.5.3 Lignine :

La lignine constitue le second composant principal des fibres végétales. Il s'agit d'une macromolécule très diverse composée de polymères aromatiques, représentant, après les polysaccharides, le polymère naturel le plus abondant sur Terre. Elle contribue à la rigidité structurale des parois cellulaires et assure la protection des plantes contre les attaques d'organismes pathogènes. La lignine forme une molécule tridimensionnelle composée d'unités phénylpropane [51].

En comparaison avec la cellulose, la lignine présente des propriétés mécaniques défavorables [52]. Les liaisons covalentes au sein de la lignine sont relativement robustes, conférant ainsi une résistance biologique et chimique significative. C'est pourquoi il est particulièrement difficile de se débarrasser

Chapitre 1 : Etude bibliographique

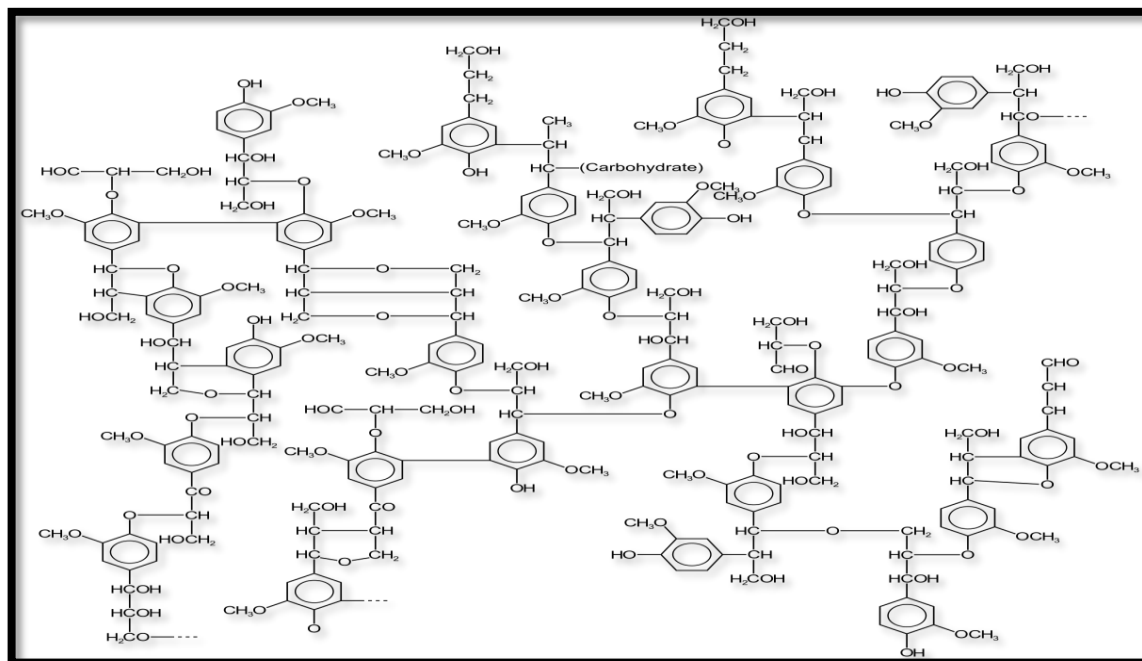


Figure I-16 : Structure de la molécule de lignine.

de la lignine pour obtenir des fibres alpha. Les propriétés mécaniques de la lignine sont considérées comme étant de qualité moyenne [53].

Ses principales fonctions sont d'apporter de la rigidité, une imperméabilité à l'eau et une grande résistance à la décomposition (barrière de protection biologique) [54].

La lignine constitue la colle qui lie les fibres végétales entre elles ainsi que leurs parois. C'est un polymère tridimensionnel [55].

I.6 Structure de la fibre végétale :

La fibre végétale est intrinsèquement un matériau composite. Le renforcement provient des couches de microfibrilles cellulose en partie cristalline. Cette dernière est enveloppée dans une matrice polysaccharidique amorphe (composée d'hémicellulose et de pectine) qui est liée à la lignine par des liaisons hydrogène et covalentes. La fibre végétale est constituée de multiples parois alignées parallèlement à l'axe de la fibre et disposées en couches superposées dans la direction radiale. Ces différentes couches forment la lamelle mitoyenne, la paroi primaire et la paroi secondaire. Ces dernières entourent une cavité de diamètre variable selon l'espèce. La paroi secondaire est composée de trois couches de microfibrilles (S1, S2, S3) (Figure I-17) [54].

Chapitre 1 : Etude bibliographique

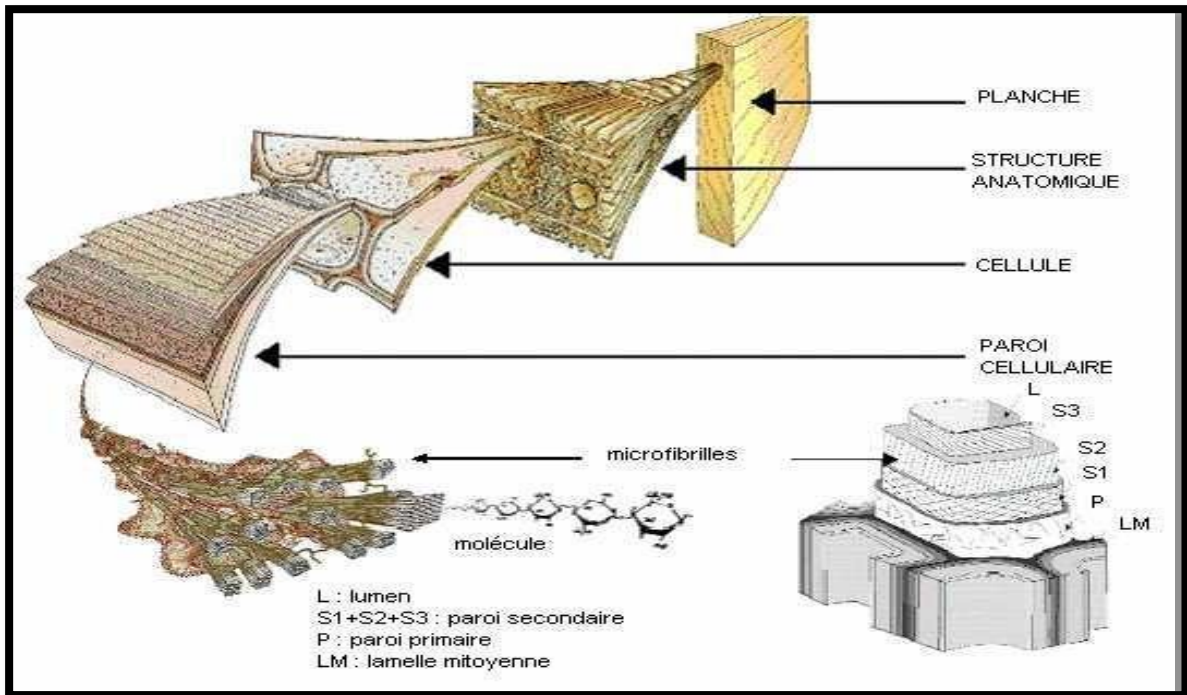


Figure I-17 : Structure de la fibre végétale.

L'angle micro fibrillaire par rapport à l'axe de la fibre présente une variation d'une espèce à l'autre. L'orientation des microfibrilles par rapport à l'axe de la cellule joue un rôle crucial dans les caractéristiques mécaniques des parois des fibres. À mesure que l'angle des microfibrilles augmente, le module de Young (une mesure de la rigidité) diminue, tandis que l'extensibilité des parois augmente [54].

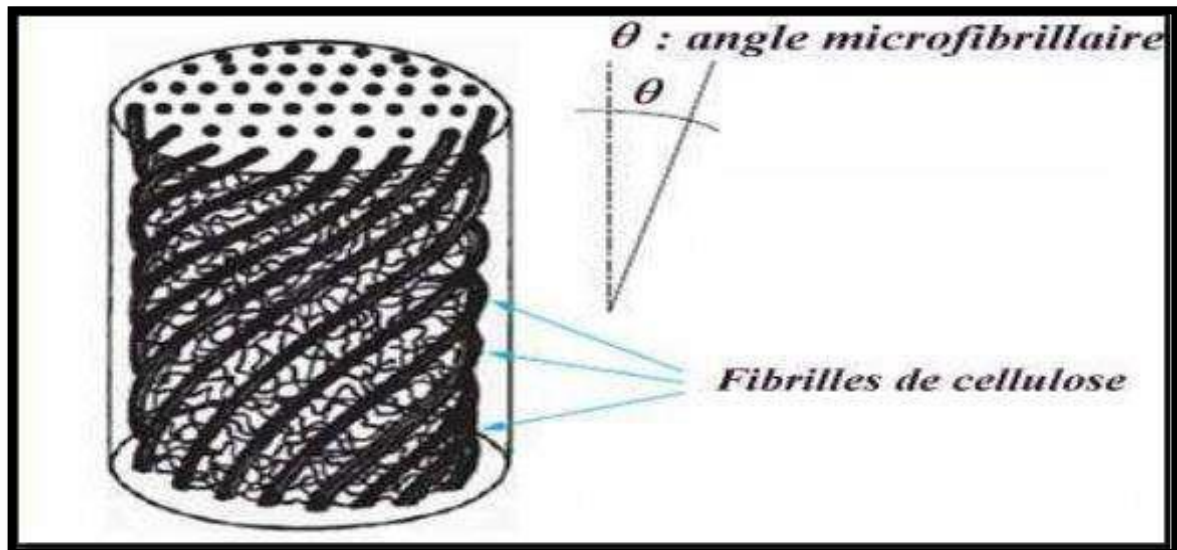


Figure I-18 : Modèle de la description de structure d'une fibre végétale.

Chapitre 1 : Etude bibliographique

I.7 Conclusion :

Notre étude bibliographique vise à définir le béton ordinaire, ses constituants essentiels, ainsi que les différentes méthodes de sa formulation. Dans cette recherche, nous présentons également les types de fibres et d'additions qui peuvent être ajoutés au béton. En général, le béton ordinaire est un matériau hétérogène, ce qui entraîne une faible résistance à la traction. Il est donc nécessaire d'ajouter des fibres et des additions minérales pour améliorer ces propriétés.

Dans notre recherche, nous avons choisi d'utiliser des fibres végétales provenant du palmier, d'Alfa et de l'armoise pour améliorer les propriétés du béton à l'état durci. Cependant, il est nécessaire de traiter ces fibres avant de les utiliser afin de garantir un renforcement efficace du béton.

Chapitre 2 : CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX ET FORMULATION

CHAPITRE 2 : CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX ET FORMULATION

II.

II.1 Introduction :

L'emploi judicieux des matériaux de construction exige la pré-connaissance de leurs diverses propriétés ; physiques et mécaniques, afin d'obtenir le meilleur choix répondant à leur destination. Les informations concernant les matériaux utilisés doivent être récoltées par des techniques fiables tout en préférant les essais normalisés. En plus, il est nécessaire que les matériaux soient malaxés correctement afin de produire un mélange homogène possédant par conséquent des propriétés uniformes. Par ailleurs, il faut choisir des essais adéquats pour parvenir à un meilleur contrôle des propriétés rhéologiques et mécaniques des formulations confectionnées. Les points précédents doivent être donc clarifiés avant de présenter les résultats obtenus. Pour cela, ce chapitre présente les caractéristiques des matériaux utilisés dans cette étude, ainsi que les différents essais expérimentaux réalisés pour caractériser nos bétons, à l'état frais et durci. Ajoutons enfin que la caractérisation physique des matériaux et les essais de durabilité des bétons sont réalisés ainsi les essais mécaniques sur bétons sont effectués dans le Laboratoire des travaux publics de L'Est Skikda.

II.2 Les matériaux utilisés :

Le choix des matériaux s'est porté sur leur disponibilité dans la région de Skikda. Les matériaux utilisés sont :

Un sable (0/3) de Ain Abid

Un gravier (8/15) de carrière de Ain Abid

Un ciment CPJ42.5 : de la cimenterie de Hadjar Essoud

Eau de gâchage : c'est l'eau potable du laboratoire

Les fibres (Polypropylène, verre, alfa, armoise, palmier)



Figure II-2 : gravier 8/15.



Figure II-1 : ciment.



Figure II-3 : Sable 0/3.

CHAPITRE 2 : CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX ET FORMULATION



Figure II-4 : Adjuvant.

II.2.1 Caractéristiques de ciment :

Le ciment utilisé dans notre étude est un ciment CEMII/A-42.5, provient de la cimenterie HADJAR-SOUD Skikda.



Figure II-5 : CEMII/A-42.5.

Les ciments CPJ-CEM II/A contiennent :

- 80% à 94% de clinker (K).
- Un complément à 100% composé d'un ou plusieurs constituants, pouzzolane (Z), calcaire (L), etc.
- Des sulfates de calcium sous forme de gypse en tant que régulateur de prise.

II.2.1.1 Spécifications mécaniques et physiques :

La résistance à la compression du CPJ-CEM II/42,5 est déterminée selon la norme NA 234, font l'objet d'un contrôle statistique faisant apparaître une valeur moyenne des résultats obtenus à 28 jours voisine 55 N/mm².

CHAPITRE 2 : CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX ET FORMULATION

La majorité des résultats obtenus se situe entre 42,5 N/mm² et 62,5 N/mm². Ces deux dernières valeurs sont les limites inférieures et supérieures des spécifications mécaniques du ciment CPJ-CEM II/A 42,5.

En tout état de cause, les valeurs minimales garanties sont :

- 10,0 N/mm² à 02 jours.
- 40,0 N/mm² à 28 jours.
- Le temps de prise déterminé selon la norme NA 230 est supérieur à 60 minutes.

II.2.1.2 Spécifications chimiques :

La proportion des sulfates (SO₃) dans le ciment CPJ-CEM II/A 32,5 est inférieure à 3,5%.

La teneur en chlorures (Cl) est inférieure à 0,10%.

II.2.1.3 Les caractéristiques de ciment CPG-CEMII/A 42.5 :

Tableau II-1 : Les caractéristiques de ciment CPG-CEMII/A 42.5.

Caractéristiques	CPJ-CEM II/A 42.5
Masse Volumique Apparente (g / cm ³)	1.215
Masse volumique Absolue (g / cm ³)	3.150
Surface spécifique (BLAINE) (cm ² / g)	4000
Temps de début de prise (heures)	2h : 03
la résistance à la compression à 28 jours (MPA)	47

II.2.2 L'eau de gâchage :

L'eau de gâchage utilisée dans notre étude est une eau potable fournie au niveau du laboratoire de laboratoire des travaux publics de L'Est Skikda. Cette eau est acceptable pour la confection du béton étudiée dans notre travail. L'eau de gâchage doit être pure que possible, elle ne doit être pas contenir une quantité excessive de vase, matériaux organique, acides, sels, matières sucrées... etc.

II.2.3 Les granulats :

II.2.3.1 Sable :

Le sable utilisé dans cette étude est le sable de carrière : il provient de la carrière d'Aine Abid (Constantine) ;

Il est caractérisé par les essais physiques suivants :

Une analyse granulométrique.

Module de finesse.

Détermination de la masse volumique apparente.

Détermination de la masse volumique absolue

CHAPITRE 2 : CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX ET FORMULATION

Détermination de l'équivalent du sable.

II.2.3.2 Gravier :

Dans cette étude nous avons utilisé le gravier (8/15) ; provenant de la carrière d'Aine Abid (Constantine) caractérisé par les essais physiques suivants :

Détermination des masses volumiques apparente et absolue ;

Analyse granulométrique ;

Essai Micro Deval ;

Essai de Los Angeles ;

II.2.4 Adjuvants :

Walcrete 77 est un superplastifiant unique et polyvalent basé sur une technologie de polymères innovante. Son action diffère des polymères traditionnels dans la mesure où l'adsorption de Walcrete 77 sur les particules de liant est assurée par une liaison chimique qui ne gêne pas l'écoulement du béton.

Cette innovation améliore considérablement le comportement rhéologique du béton traité avec Walcrete 77.



Figure II-6 : Adjuvant Walcrete 77.

II.2.4.1 Mode d'emploi :

Walcrete 77 est un adjuvant pour béton qui doit être incorporé dans le malaxeur. L'effet optimal est obtenu par incorporation du Walcrete 77 dans le béton en différé, c'est-à-dire après l'addition de 70% de l'eau de gâchage dans le malaxeur. Éviter d'ajouter le Walcrete 77 sur les granulats secs.

II.2.4.2 Dosage :

Le dosage recommandé est de 0,3 à 2 % du poids de ciment en fonction de la formulation du béton et des propriétés souhaitées.

CHAPITRE 2 : CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX ET FORMULATION

II.2.4.3 Caractéristiques :

Tableau II-2 : Caractéristiques d'adjuvant.

Aspect	Liquide
Couleur	Brun
Densité à 25°C	1.07±0.02
Ph	4 - 7

II.2.5 Les fibres :

Les fibres utilisées pour préparer le béton dans cette étude, sont des fibres végétale (alfa ; armoise ; palmier) et des fibres industriels (polypropylène ; verre) :

II.2.5.1 Morphologie des fibres végétale :

- **Alfa :**

La plante d'Alfa a été récoltée dans JELFA. La fibre d'Alfa contient 39,53 % de cellulose, 27,63 % de l'hémicellulose, 19,53 % de lignine et 13,28 % d'extractibles. Le diamètre de la fibre d'Alfa est de l'ordre de 1 à 2 mm et une masse volumique absolue de 1,40 g/cm³.

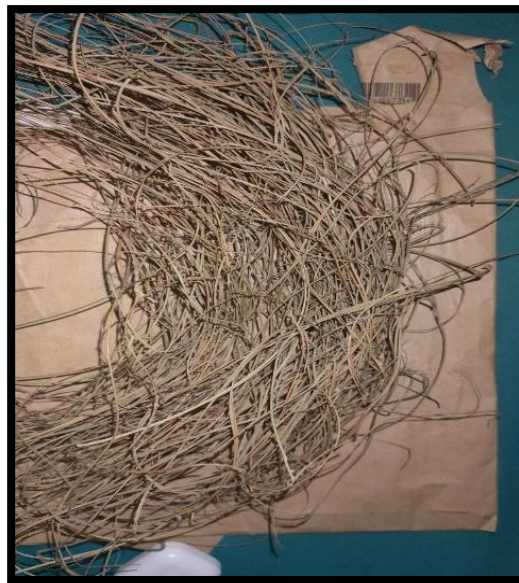


Figure II-7 : fibre d'Alfa.

CHAPITRE 2 : CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX ET FORMULATION

- **Armoise :**

L'armoise possède une valeur nutritionnelle, intéressante pour l'élevage. En effet, elle est caractérisée par une teneur élevée en cellulose brute (31,9%), en matières azotées totales (12,1%) et intéressante en matières minérales (7,5%). Les teneurs en matières azotées totales et matières minérales de l'*Artemisia herba alba* (12,1% et 7,5%) sont proches de celles de *Artemisia fragrans* (11,3% et 8,7%) et inférieures à celles de *Artemisia campestris* (14,5% et 11,8%). Elle est digestible avec 65,7% pour la matière organique et 54,6% pour la cellulose brute.



Figure II-8 : fibre d'armoise.

- **Palmier :**

Les valeurs de la cellulose, de l'hémicellulose et de la lignine dans le palmier dattier sont les suivantes :

Cellulose : La cellulose est composée de 40 à 50% des déchets de palmier dattier.

Hémicellulose : L'hémicellulose représente environ 20 à 30% des déchets de palmier dattier.

Lignine : La lignine constitue environ 20 à 30% des déchets de palmier dattier.

Teneur en eau (%) 53,6 ; masse volumique (Kg/m³) 720 ; Coefficient d'absorption (%) 132



Figure II-9 : fibre de Palmier.

CHAPITRE 2 : CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX ET FORMULATION

II.2.5.2 Les fibres industrielles :

- **Polypropylène :**

Fibres synthétiques de polypropylène modifié pour une utilisation dans le béton renforcé de fibres.



Figure II-10 : fibre de polypropylène.

- **Les caractéristiques des fibres polypropylènes :**

Tableau II-3 : caractéristiques de fibre polypropylène.

Matériel	Polypropylène
Couleur	Blanc
Diamètre	25 ($\pm 10\%$) μm
Longueur	12 ($\pm 10\%$) mm
Densité	0.91 g/cm ³
Point de fusion	160-170°C
Point d'ignition	570°C
Nombre de fibres par kg	120 $\times 10^6$
Module d'élasticité	1.6 GPa
Résistance à la traction	400 ($\pm 10\%$) N/mm ²
Allongement à la traction	25 ($\pm 10\%$)

- **Verre :**

Les fibres de verre sont, grâce à leurs qualités mécaniques et leur rigidité, des renforts très efficaces du béton. Elles se dispersent facilement dans la matrice cimentaire, ce qui permet de réaliser des produits de formes très variées présentant des arêtes fines et des moulages précis. Parmi les autres propriétés, citons l'inertie chimique, la résistance aux chocs, l'isolation...



Figure II-11 : fibre de Verre.

Les principales utilisations de la fibre sont, par ordre d'importance :

- Les bâtiments et les infrastructures (29 %).
- Les transports (25 %).
- L'électricité et l'électronique (16 %).
- Les sports et loisirs (14 %).
- Les équipements industriels (11 %).

II.2.5.3 Traitement des fibres :

Pour le traitement de différentes fibres végétales, ont été retenus cette méthode :

Nous avons effectué un traitement sur les fibres végétales en les trempant dans l'eau et en les plaçant sur le feu pendant trois heures. Ensuite, elles sont séchées en les mettant dans un séchoir et également en les exposant au soleil en plein air. Cette étape est suivie d'une autre étape de séchage à température ambiante, avant leur utilisation, permettant d'éliminer des substances organiques ayant pour effet de retarder la prise et le durcissement du ciment et de provoquer une mauvaise liaison entre la fibre et la matrice cimentaire [57] et [58].



Figure II-12 : traitement des fibres.

Les fibres végétales et industrielles ont été découpées manuellement à 10 de longueur.

CHAPITRE 2 : CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX ET FORMULATION



Figure II-15 : Fibre d'alfa (10mm).



Figure II-13 : Fibre de Palmier (10mm).



Figure II-14 : Fibre de Verre (10mm).

II.3 Essais de caractérisation des matériaux :

Les granulats ont été soumis à plusieurs essais au laboratoire des travaux publics de L'Est « L.T.P.E » de SKIKDA suivant les normes françaises.

II.3.1 Analyse granulométrique : NFP EN 933-2

L'analyse granulométrique permet de mesurer la distribution dimensionnelle en poids des éléments d'un matériau, en utilisant une série de tamis.



Figure II-16 : Tamiseuse utilisée.

II.3.1.1 Mode opératoire :

- Prélever (1 kg) de sable sec et (3 kg) de gravier ;
- Peser chaque tamis à vide à près, soit « mi » la masse du tamis ;
- Constituer une colonne de tamis propres et secs dont les séries des tamis sont :
 - Pour le sable : 4 – 2 – 1 – 0.5 – 0.315 – 0.25 – 0.125 – 0.063 mm.
 - Pour le gravier : 8/15 : 16 - 14 - 10 - 8 - 6,3 - 4 – 2 mm.

CHAPITRE 2 : CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX ET FORMULATION

- Verser le matériau sur la colonne et la fixer soigneusement sur la machine d'agitation mécanique, agité pendant 10 minutes. Arrêter l'agitateur, puis séparer avec soin les différents tamis ;
- Peser chaque tamis séparément à près. Soit « Mi » la masse du tamis (I) + le matériau. La différence entre Mi et mi (tamis de plus grandes mailles) correspond au refus partiel R1 du tamis1. Et reprendre l'opération pour chaque tamis inférieur ;
- Ajouter le refus obtenu sur le sixième tamis à R1, soit R2 la masse du refus cumulé du tamis 2 (R2=R1+Refus partiel sur tamis) ;
- Poursuivre l'opération avec le reste des tamis pour obtenir les masses des différents refus cumulés R3, R4, ... etc. ;
- Le tamisât cumulés est donné par la relation suivante : $T = 100 - RC$.

Où : T : Tamisât en % et RC : Refus cumulés en (%)

- **Résultats obtenus :**

Tableau II-4 : Analyse granulométrique du sable.

Tamis [mm]	Refus [g]	Refus cumulés	Refus cumulés%	Tamisât [%]
4	6,46	6,46	0,54	99,46
2	173,9	180,36	15,03	84,97
1	258,69	439,05	36,59	63,41
0,5	229,71	668,076	55,73	44,27
0,315	96,19	764,095	63,09	36,25
0,25	52,15	817,1	68,09	31,91
0,125	104,87	912,97	76,08	23,92
0,063	55,12	977,09	81,42	18,58

CHAPITRE 2 : CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX ET FORMULATION

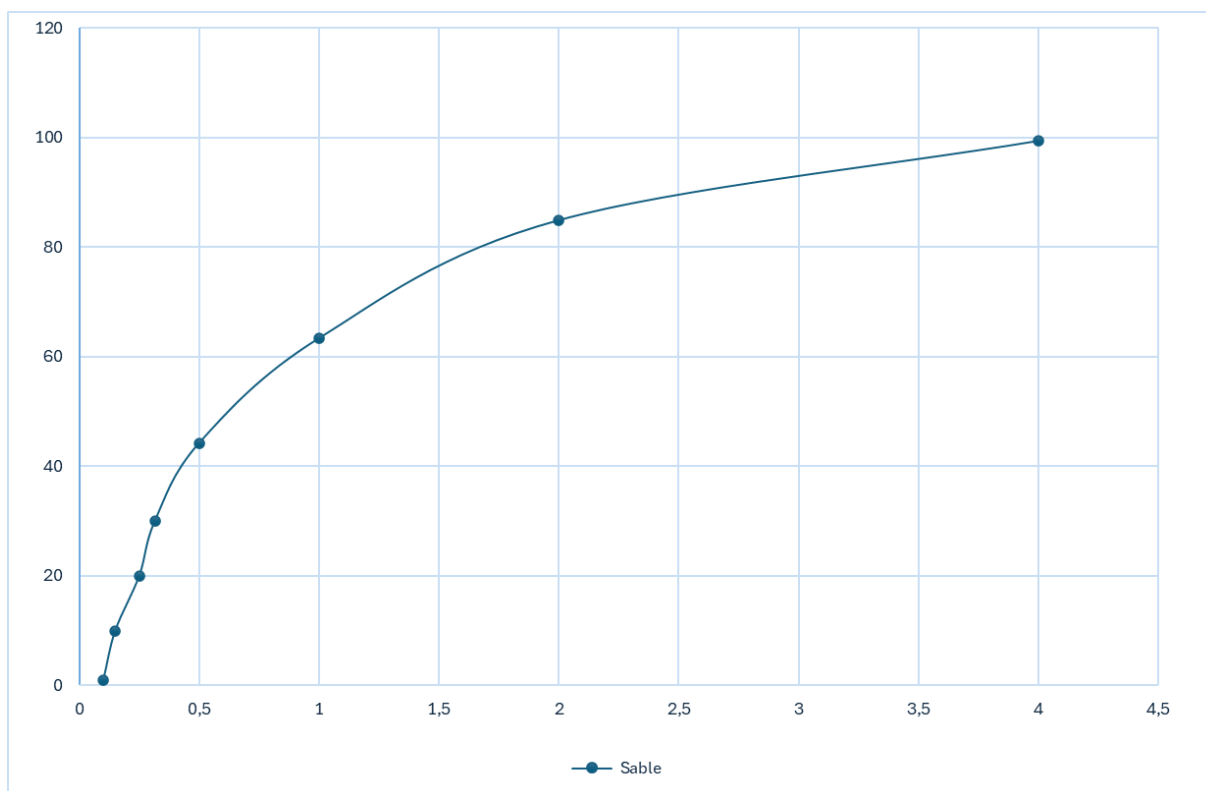


Figure II-17 : Courbe de sable.

Tableau II-5 : Analyse granulométrique du gravier 8/15.

Tamis [mm]	Refus [g]	Refus cumulés	Refus cumulés%	Tamisât [%]
16	168,7	168,7	5,62	94,38
14	287,46	456,16	15,205	84,795
10	1449,9	1906,06	63,54	36,46
8	742,9	2648,96	88,3	11,7
6.3	300,20	2949,16	98,3	1,7
4	48,56	2997,72	99,92	0,08

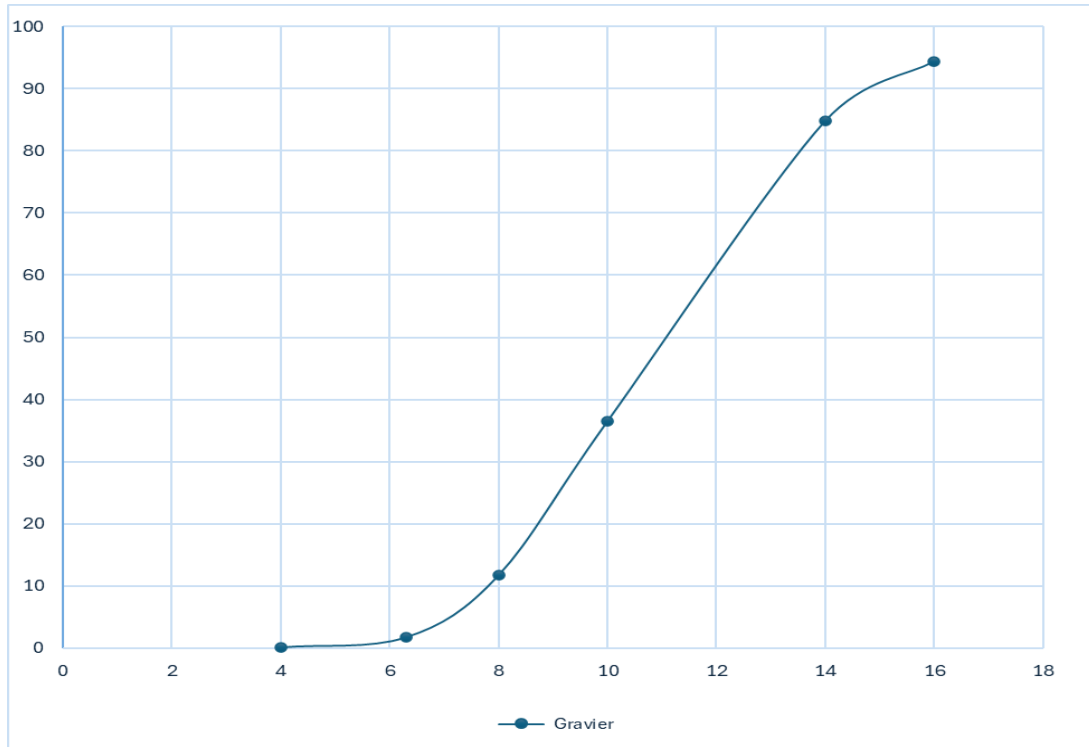


Figure II-18 : courbe de gravier.

II.3.2 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 refus cumulés par les tamis de taille : [0.063, 0.125, 0.25, 0.50, 1, 2, et 4(mm)] sur 100 et calculé par la relation suivante :

$$M_f = \sum \frac{R_c}{100}$$

Où : courbe gravier 8/15

R_c : Refus cumulé.

Les normes soviétiques spécifient le « M_f » des sables comme suit :

Sable gros $M_f > 2,5$.

Sable moyen $2 < M_f < 2,5$.

Sable fin $1,5 < M_f < 2$.

Sable très fin $1 < M_f < 1,5$.

On se basant sur cette classification, on constate que notre sable est gros avec un module de finesse égale à 3,33

CHAPITRE 2 : CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX ET FORMULATION

II.3.3 Masse Volumique :

La masse volumique d'un corps est la masse de l'unité de volume de ce corps. Comme on distingue le volume absolu et le volume apparent, il faut aussi distinguer de même :

II.3.3.1 Masse volumique (absolue) :

La masse volumique absolue est la masse d'un corps par unité de volume sans les vides entre les grains. Cet essai est réalisé selon la norme NF EN 1097-3. Pour cet essai, on a utilisé la méthode de l'éprouvette graduée. Elle est simple, rapide et utilise le matériel courant du laboratoire.

- On prend 03 échantillons d'une masse 300 g.

- On place l'échantillon dans un récipient de capacité 1000 ml et on y verse 300ml d'eau préparée, préalablement dans 2ème récipient gradué, puis on malaxe soigneusement le contenu pour chasser l'air qui y existe. Après cette opération, on détermine le volume final occupé par le mélange sable-eau. Soit (V) ce volume.

- Sachant que le volume (V_e) d'eau versé est 300 ml, il serait facile de déterminer le volume occupé par le sable seul.



Figure II-19 : Masse volumique absolue.

Volume de sable : $V_S = V_m - V_e [mL]$

La masse volumique absolue de sable est déterminée par la formule : $\rho = \frac{M}{v_S} \left[\frac{g}{cm^3} \right]$

• Résultats obtenus :

Tableau II-6 : Masse volumique absolue du sable.

Matériau	Masse volumique absolue (g/m^3)
Sable 0/3	2,5
Gravier 8/15	2,6

II.3.3.2 Masse volumique apparente :

La masse volumique apparente correspond à la masse d'un objet par unité de volume, incluant les espaces entre les particules. L'essai est effectué conformément à la norme NF EN 1097-3.

CHAPITRE 2 : CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX ET FORMULATION

On détermine la masse volumique apparente du sable à l'aide d'un entonnoir standardisé de capacité 2 à 2,5 litres.

-On remplit l'entonnoir avec du sable sec. En même temps, on pèse le récipient vide M1.

-On place le récipient sous l'entonnoir à une distance de 10 à 15 cm et on le remplit avec du sable.

-Une fois le récipient rempli, on nivelle la surface du sable et on pèse le tout. Soit M2 ce poids.

-Volume de récipient $V_r = 5000 \text{ cm}^3$

La masse volumique apparente du sable est donnée par la formule suivante :

$$\rho_{app} = \frac{(M_1 - M_2)}{v_r}$$

- **Résultats obtenus :**

Tableau II-7 : Masse volumique apparente du sable.

Matériau	Masse volumique apparente (g/m ³)
Sable 0/3	1,69
Gravier 8 /15	1,45

II.3.4 Équivalent de sable : NFP 933-8

Cet essai a pour but de mesurer la propreté des sables entrant dans la composition des bétons. L'essai consiste à séparer les floculats contenus dans le sable. Une procédure normalisée permet de déterminer un coefficient d'équivalent de sable quantifiant la propreté de celui-ci.[59]

II.3.4.1 Mode opératoire :

1. Verser la solution lavante (eau) dans l'éprouvette (tube en verre normalisé).
2. Ajouter 120 g de sable sec et laisser reposer 10 minutes.
3. Boucher l'éprouvette, et la fixer sur la machine d'agitation pour subir 90 cycles en 30 secondes.
4. Remettre l'éprouvette en position verticale et rincer ses parois avec la solution lavante.
5. Laisser reposer sans perturbation pendant 20 minutes, puis mesurer la hauteur h1 du niveau supérieur du floculat, et la hauteur h2 de la partie sédimentée par rapport au fond de l'éprouvette.

CHAPITRE 2 : CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX ET FORMULATION

L'équivalent de sable visuel est donné par la formule :

$$EVS = \frac{h_2}{h_1} \times 100 [0/0]$$



Figure II-20 : Equivalent du sable.

- **Résultats obtenus :**

Tableau II-8 : Equivalent du sable.

N°	h ₁ [cm]	h ₂ [cm]	ESV [%]	h' ₂ [cm]	ESP[%]
1	22,1	15,7	71,04	15,1	68,33
2	20,7	14,7	71,01	14,2	70,65

(ESV) moy = 71,01%

Notre sable est un Sable légèrement argileux de propriété admissible pour des bétons de qualité courante quand on ne craint pas particulièrement le retrait.

II.3.5 Essai de résistance au choc (Essai Los Angeles) : NF EN 1097-2

Cet essai renseigne sur la dureté des roches en se basant sur un coefficient appelé coefficient Los Angeles (LA).

II.3.5.1 Mode opératoire :

L'essai consiste à mesurer la masse « M » d'éléments inférieurs à 1,6 mm, produits 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.

CHAPITRE 2 : CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX ET FORMULATION



Figure II-21 : machine de Essai Los Angeles.

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 de Los Angeles (LA) comme suit :

$$LA = \left(\frac{m}{5000} \right) \times 100$$

Tableau II-9 : Valeur du coefficient LA.

Nombres des boulets	M[g]	m[g]	Coeff « LA »
11	5	1.198	23.96

II.3.6 Essai de Résistance à l'Usure (Micro-Deval) :

Le matériau soumis à cet essai évolue par frottement des éléments les uns sur les autres, sur le cylindre de la machine en rotation et sur les boulets (charge abrasive)

II.3.6.1 Mode opératoire :

La granulométrie de l'échantillon doit être conforme à l'une des classes granulaires types : 4-6,3 ; 6,3-10 ; 10-14 ; 25-50.

Laver l'échantillon et le faire sécher à l'étuve jusqu'à une température de 105 °C et un poids constant (5 h au minimum).

Pour une granulométrie qui varie de 4-14 mm prendre 500 g de l'échantillon et pour celle variant entre 25-50 mm prendre 10 kg de l'échantillon

Concernant l'essai sur les gravillons compris entre 4-14 mm, la charge de boulets relative à la classe granulaire choisie

CHAPITRE 2 : CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX ET FORMULATION

Tableau II-10 : Charge abrasive en fonction de la classe granulaire choisie.

Classes granulaires (mm)	Poids échantillon (g)	Poids de la charge (g)
4-6,3	500	2000
6,3-10		4000
10-14		5000

En présence de l'eau, on rajoute 2.5 L d'eau.

La résistance à l'usure du granulat est appelée, par définition, coefficient micro-Deval "MD" qui s'exprime par le rapport de la masse des éléments inférieurs à 1.6 mm produits au cours de l'essai "m", à la masse du matériau soumis à l'essai "M" multiplié par 100.

$$MD = \frac{m}{M} \times 100$$

Remarque : La masse de la fraction du matériau passant après l'essai au tamis de 1.6 mm « m » :

m (g) = 500- m 1 pour les gravillons compris entre 4 et 14 mm ;

m (g) = 10000- m 1 pour les gravillons compris entre 25 et 50 mm.

- **Résultats obtenus :**

Le tableau suivant (Tableau) est le tableau de classification de type de granulat selon le coefficient Micro Deval MDE ;

Tableau II-11 : Type des graviers selon le coefficient MDE.

Valeurs de coefficient Micro Deval en présence de l'eau (%)	Appréciation
< 10	Très bon à bon
De 10 à 20	Bon à moyen
De 20 à 35	Moyen à faible
> 35	Médiocre

Selon de tableau ci-dessus, on remarque que :

MDE \approx 17.4 % Donc notre appréciation est bonne à moyen.

II.4 Formulation du béton :

Pour la formulation du béton on a utilisé la méthode de DREUX-GORISSE. L'objectif de cette méthode est de déterminer la nature et la quantité des matériaux nécessaires pour fabriquer un mètre

CHAPITRE 2 : CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX ET FORMULATION

cube (1m³) de béton (eau E, ciment C, sable S, gravier G en kg/m³) en fonction de sa maniabilité et de sa résistance.

Dosages Des Bétons :

Le besoin de notre étude est préparé six (06) types bétons :

Béton témoin BO :

Est un mélange ordinaire formulé à partir de deux classes granulaires : sable (0/3) et gravillon (8/15).

Béton fibré :

Est un mélange formulé à partir de deux classes granulaires : (8/15) et sable plus des différents types des fibres (polypropylène, verre, halfa, palmier, armoise).

Résistance visée :

En termes de sécurité, la résistance visée doit être majorée de 15% par rapport à la résistance que l'on souhaite obtenir. Ainsi, la résistance visée doit être obtenue comme suit :

$$\sigma'_{28j} = \sigma_{28j} + 0,15\sigma_{28j} \text{ Soit } \sigma'_{28j} = 1,15\sigma_{28j}$$

La résistance désirée pour un béton témoin à 28 jours est telle que : $\sigma_{28j} = 30MPa$

La résistance visée est telle que : $\sigma'_{28j} = 1,15\sigma_{28j}$ Soit $\sigma'_{28j} = 1,15 \times 25 = 34,5 MPa$

Dosage en ciment et eau :

La formule ci-dessous permet le calcul de la résistance à la compression visée à 28 jours, soit : $f'_C = G \cdot F_{CE} \left(\frac{C}{E} - 0,5 \right)$

Avec :

$f'_C = \sigma'_{28j}$: Résistance visée à 28 jours.

F_{CE} : Classe vraie de ciment en MPa.

G : Coefficient granulaire.

C : Dosage en ciment (Kg de ciment/m³ de béton).

E : Dosage en eau potable (Kg d'eau/m³ de béton ou litre d'eau/m³ de béton).

Choix approprié du coefficient granulaire G :

G est un coefficient granulaire sans dimension dont la valeur est choisie dans le tableau ci-après établi par George DREUX [60].

CHAPITRE 2 : CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX ET FORMULATION

Tableau II-12 : Valeurs approximatives du coefficient granulaire.

Qualité des granulats	Dimension D des granulats		
	$D \leq 16\text{mm}$	$25 \leq D \leq 40\text{mm}$	$D \geq 63\text{mm}$
Excellente	0.55	0.60	0.65
Bonne, courante	0.45	0.50	0.55
Passable	0.35	0.40	0.45

Les granulats utilisés ont un diamètre inférieur à 16 mm, ce qui donne un coefficient granulaire $G=0,45$, avec une bonne qualité.

On a $G = 0.45$ d'après le tableau.

$$34.5 = 0.5 \cdot 39 \left(\frac{C}{E} - 0.5 \right) \Rightarrow \frac{C}{E} = \frac{34.5}{0.45 \times 39} + 0.5 = 2.46$$

⇒ Dosage en ciment d'un mètre cube de béton

Dosage approximatif du ciment en fonction de C/E et de l'ouvrabilité désirée

Le rapport $C/E = 2.46$ et Affaissement = 7cm

L'intersection de ces deux entrées se fait sur la courbe du dosage à 400kg de ciment. Le dosage en ciment pour obtenir 1m^3 de béton en place est de 400kg.

⇒ Dosage en eau

Le dosage en eau s'en déduit : $C/E = 2.46$ avec $C = 400\text{kg}$, $E = C/2.46$

$$E = 400 / 2.46 \Rightarrow E = 162.60 \text{ kg}$$

⇒ Correction du dosage en eau

Il faut majorer ou minorer ce dosage selon ce diamètre.

Correction du dosage en eau selon le diamètre D

Pour un mélange granulaire de diamètre $D=16 \text{ mm}$ il faut majorer le dosage en eau de 4 %.

$$E = 162.60 + 4\% = 162.64\text{kg}$$

⇒ Traçage de la courbe de référence AOB

Nous traçons une courbe de référence OAB avec :

- le point O est repéré par ses coordonnées : [0.08; 0]
- le point B est repéré par ses coordonnées : [D ; 100], (D : le diamètre du plus gros granulat).

Le point de brisure A aux coordonnées suivantes :

CHAPITRE 2 : CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX ET FORMULATION

- en abscisse :

- Le plus gros granulat est $D_{max} = 16\text{mm}$, donc le point de brisure a pour abscisse :

$$X_A = 16/2 = 8\text{mm}$$

-en ordonnée : $Y_A = 50 - \sqrt{D_{max}} + K + K_s$

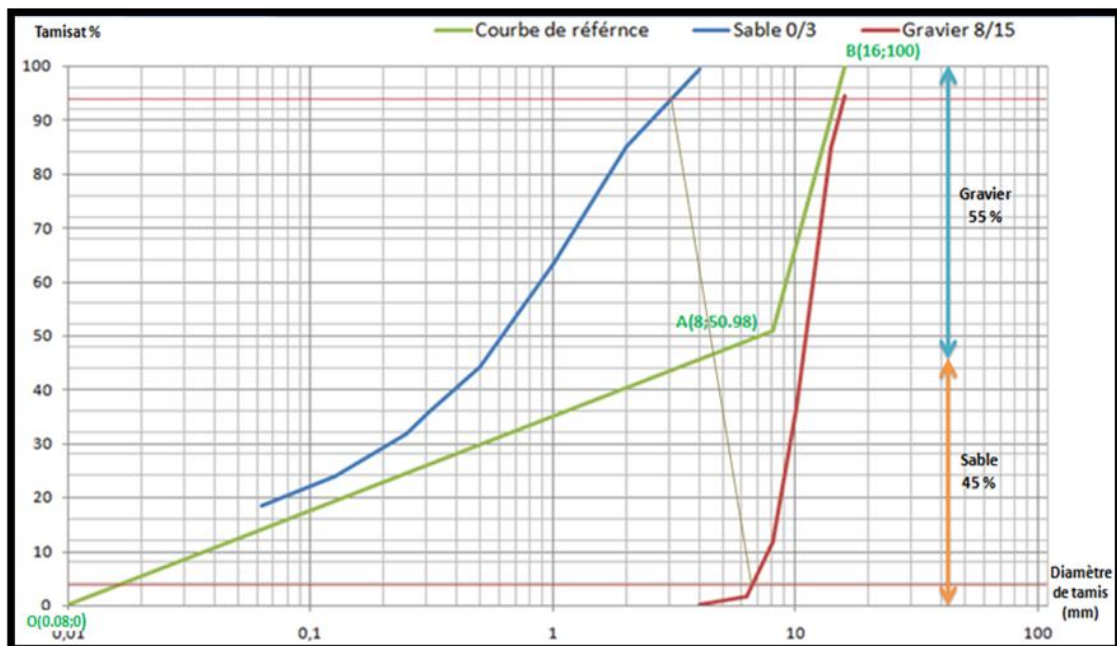
$$K = 0$$

$$K_s = 6M_f - 15 \Rightarrow K_s = 6 \times 3.33 - 15 = 4.98$$

$$\text{Alors } Y_A = 50 - \sqrt{16} + 4.98 = 50.98$$

Ainsi, les coordonnées du point de brisure A sont :

$$[8 ; 50.98]$$



⇒ Nous obtenons donc un mélange optimal avec un volume absolu de 45% de sable et de 55% de gravier.

Les points d'intersection entre les lignes de partage et la courbe OAB représentent les pourcentages des granulats suivants sur la courbe de granulométrie :

-Sable : 45%.

-Gravier : 55%.

⇒ Détermination de la composition en volume absolu

-On détermine le dosage du béton afin d'obtenir un mètre cube de béton en place, ce qui implique que le volume de matière est de 1m^3 :

CHAPITRE 2 : CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX ET FORMULATION

$$V_{\text{abs}} = V_S + V_g + V_C = 1\text{m}^3$$

$$V_C = \frac{mc}{MV_C} = \frac{400}{3100} = 0.129 = 129\text{L}$$

-Volume absolu de granulats :

De la relation de $\gamma = (V_S + V_g + V_C)$ on en déduit V_g et V_S

En remplaçant le volume de granulats $V_S + V_g$ par la valeur V_G , alors $\gamma = (V_C + V_G)$

$$V_G = (1000 \times \gamma) - V_C$$

V_G : volume absolu des granulats en litre ($V_G = V_g + V_S$)

γ : Coefficient de compacité pour un béton plastique – vibration normal et $D_{\text{max}}=16\text{mm}$ alors : $\gamma = 0.82$

$$\text{Donc : } V_G = (1000 \times 0.82) - 129$$

$$V_G = 691\text{L}$$

-Volume de sable :

$$V_S = P_s \% V_G = 45\% \times 691 = 310.95 \text{ L} = 0.310 \text{ g.m}^3$$

-Volume de gravillons :

$$V_g = P_g \% V_G = 55\% \times 691 = 380.05 \text{ L} = 0.380 \text{ g.m}^3$$

⇒ Détermination de la composition en Kg

$$\text{Masse de ciment } C = 400 \text{ Kg/ m}^3$$

$$\text{Masse d'eau } E = 162.64 \text{ kg/ m}^3$$

$$\text{Masse de sable } S = V_S \times M_{V_{\text{abs}}}$$

$$S = 777.3 \text{ Kg/ m}^3$$

$$\text{Masse de gravillons } G = V_g \times M_{V_{\text{abs}}}$$

$$G = 988.13 \text{ Kg/m}^3$$

Pour préparer 1m^3 de béton, il faudra donc les masses suivantes :

CHAPITRE 2 : CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX ET FORMULATION

Tableau II-13 : Composition volumétrique et pondérale des constituants / m³.

Constituants	Dosage (Kg/ m ³)
Sable	777.3
Ciment	400
Gravier 8/16	988.13
Eau	162.64
SP 0.32%	1.28

II.5 Préparation et conservation des éprouvettes :

Le processus de mélange des bétons a été effectué en utilisant une bétonnière de 30 litres, en respectant les normes [NF EN 12390-1 2001] et [NF EN 12390-2 2001].

Les différentes étapes de malaxage pour le béton classique :

- Mélanger à sec des éléments du béton (sable + gravier + ciment) pendant une minute. Dans le cas de béton fibré en rajoute les fibres dans cette étape.

- Incorporer 75 % de l'eau de gâchage et le malaxer pendant 2 minutes.

- Incorporer 25% de l'eau de gâchage avec le superplastifiant et le mélanger pendant 2 minutes.

La vibration est la méthode la plus fréquemment utilisée afin de donner au béton sa taille maximale et d'éliminer le plus grand nombre de vides. On la réalise en utilisant une table vibrante dont l'ampleur de vibration peut être ajustée et dont la durée de vibration est d'une minute.

Une fois les éprouvettes démoulées et après une période de 24 heures de conservation à l'air libre, elles sont stockées sous l'eau (humidité saturante) et à température ambiante jusqu'à la date limite d'essai.



Figure II-22 : Les éprouvettes conservées à l'eau.

CHAPITRE 2 : CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX ET FORMULATION

II.6 Propriétés des bétons :

II.6.1 Propriétés des bétons à l'état frais :

II.6.1.1 La masse volumique :

Pour déterminer la masse volumique d'un béton frais, il faut suivre les étapes suivantes :

- Remplir en béton frais un récipient de volume V_r et de masse M_r . Le remplissage est exécuté en deux couches.
- Araser le haut du récipient.
- Peser le récipient rempli du béton, soit M_t .

La masse volumique du béton frais δ_f est donnée par la relation suivante :

$$\delta_f = \frac{M_t - M_r}{V_r}$$

II.6.1.2 Mesure de la consistance :

La procédure d'essai selon la norme NFP 18-451

- Le cône, légèrement huilé, est rempli de béton en trois couches
- Chaque couche est piquée par 25 coups de manière répartie jusqu'à la couche sous-jacente, si nécessaire.
- Le cône est arasé à l'aide d'une truelle.
- Le cône de béton est démoulé. Le béton s'affaisse selon sa consistance.
- L'affaissement du béton est mesuré en cm à l'aide du réglé sur portique. Cet affaissement est la hauteur entre le haut du cône et le point le plus haut du béton affaissé.



Figure II-23 : L'essai d'affaissement.



Figure II-24 : L'essai d'affaissement.

CHAPITRE 2 : CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX ET FORMULATION

II.6.2 Propriétés des bétons à l'état durci :

II.6.2.1 Confection des éprouvettes :

Une fois les quantités des composants pour un mètre cube de béton déterminées et les propriétés mécaniques du béton caractérisées, trois éprouvettes cubiques de 10 x 10 x 10 cm ont été réalisées pour l'essai de compression simple, tandis que trois éprouvettes prismatiques de 7 x 7 x 28 cm ont été fabriquées pour l'essai de traction par flexion.

La première journée a été consacrée à la conservation des éprouvettes dans leurs moules sans être déplacées à température ambiante. Après le démoulage, les éprouvettes sont conservées dans le même environnement ambiant sous l'eau jusqu'au jour de l'absorption.

Les échéances d'écrasement sont de 7, 14 et 28 jours, et pour chaque essai, on utilise trois éprouvettes.



Figure II-25 : Moule(10x10x10).



Figure II-26 : Moule (7x7x28).

II.6.2.2 Essais de compression :

Les essais de compression simple ont été réalisés au laboratoire sur une presse hydraulique de type CONTROL pilotée par un micro-ordinateur. Sa capacité maximale est de 3000 KN. Elle est programmée pour les essais de compression et cela pour différentes dimensions des corps d'épreuves (éprouvettes cylindriques ou prismatiques...etc.). Les valeurs de la force et de la contrainte sont lues directement sur l'écran de la machine, l'évolution de la déformation est contrôlée à l'aide d'un extensomètre disposé directement sur l'éprouvette. Les valeurs enregistrées pour chaque étape de chargement sont ensuite tracées sous forme de courbe contrainte – déformation et ce jusqu'à rupture en compression.



Figure II-23 : : Essais de compression à l'état durci.

II.6.2.3 Essai de traction par flexion :

L'essai de traction par flexion est réalisé sur des éprouvettes prismatiques (7x7x28) cm³ selon les normes NF P.18-407, il s'agit de déterminer la résistance à la flexion (3 points) de l'éprouvette soumise à un effort centré exercé à l'aide d'une presse hydraulique.



Figure II-24 : Essai de traction par flexion.

CHAPITRE 2 : CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX ET FORMULATION

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

$$\sigma_t = \frac{1,5FL}{B^3}$$

σ_t : résistance à la traction par flexion en (MPa)

F : la charge appliquée à la rupture en (N)

L : la distance entre les appuis (L = 280 mm)

B : le coté de la section carrée de l'éprouvette (B = 70 mm)

II.7 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons exposé les divers matériaux employés et leurs caractéristiques physiques. Les constituants du béton sont caractérisés et formulés à partir de la méthode de Dreux Gorisse et d'après les résultats obtenus, on a remarqué une bonne qualité des matériaux.

Les fibres végétales sont traitées avant leur utilisation dans le béton pour assurer une bonne adhérence avec la matrice cimentaire et éliminer le sucre qui prolonge la durée de prise.

Le projet expérimental implique l'analyse des différentes compositions du béton à l'état frais, ainsi que des tests de caractérisation à l'état durci : physique, mécanique (compression et traction).

Chapitre 3 : Résultats et Discussions

CHAPITRE III : Résultats et Discussions

III.Chapitre III : Résultats et Discussions

III.1 Introduction :

Après la caractérisation des matériaux utilisés dans l'étude du béton présentée au chapitre II, la procédure proposée pour le mélange des constituants et le déroulement du travail expérimental est la même pour tous les types de béton étudiés, afin de faciliter la comparaison entre les différentes compositions en se basant sur l'effet de la présence des fibres; végétale (Alfa, Armoise, Palmier) et synthétiques (Verre, Polypropylène) dans le béton et la variation de ces fibres sur la maniabilité et la résistance mécanique à la compression et à la traction par flexion.

III.2 RESULTATS ET INTERPRETATIONS :

III.2.1 A l'état Frais :

III.2.1.1 L'affaissement au cône d'Abrams :

La figure ci-dessous montre les variations de l'affaissement du béton en fonction du type de fibre utilisé.

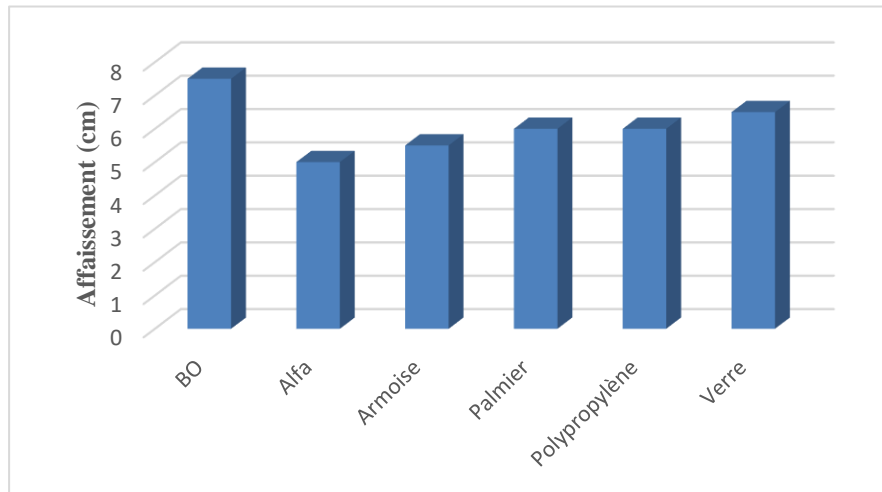


Figure III-1 : Variations de l'affaissement des bétons.

On constate selon la figure III 1, une diminution de la maniabilité du béton quel que soit la nature des fibres. Ceci est dû essentiellement au fait que le matériau végétal absorbe une quantité d'eau de gâchage ce qui influe évidemment sur l'ouvrabilité des mélanges.

III.2.1.2 La masse volumique :

Elle est définie par la masse d'une quantité de béton rapporté à son volume après le moulage à l'état frais. : La masse volumique à l'état frais

Les masses volumiques des bétons à l'état sont présentées sur le tableau ci-dessous :

CHAPITRE III : Résultats et Discussions

Tableau III-1 : La masse volumique à l'état frais.

	BO	Polypropylène	Verre	Alfa	Armoise	Palmier
La masse volumique (kg/m ³)	2391.67	2394.27	2393.33	2394.58	2393.19	2393.87

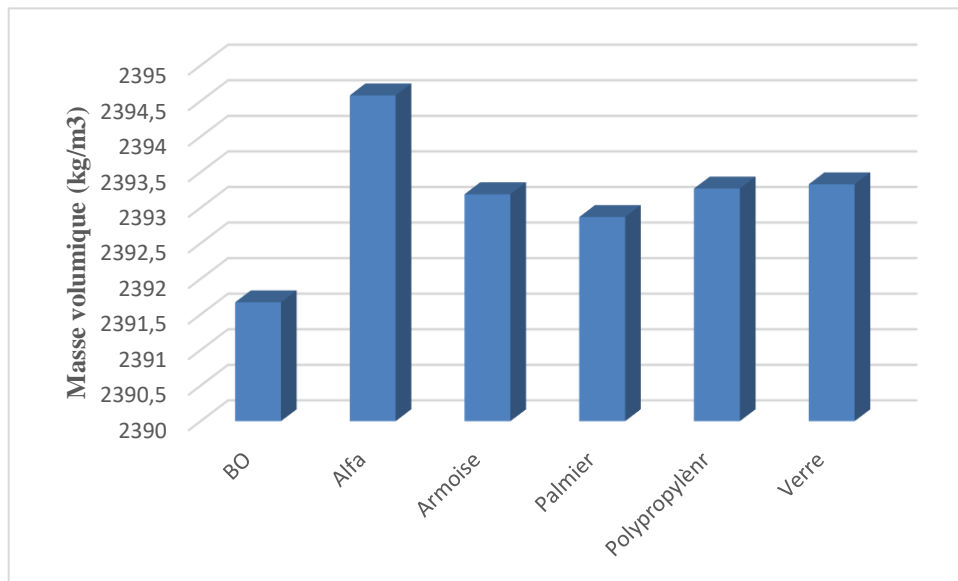


Figure III-2 : La masse volumique à l'état frais.

La densité du béton à l'état frais est directement liée à la densité de ses composants et à leurs dosages respectifs. L'incorporation de fibres dans le béton peut avoir un effet sur sa densité en remplaçant une partie du volume des granulats. Dans notre cas, nous avons intégré les fibres sans remplacer aucune partie des composants du béton.

Les résultats obtenus montrent que le renforcement du béton ordinaire par les fibres (végétales et synthétiques) n'influe pas de façon significative sur sa masse volumique. Ceci peut être expliqué par la masse volumique faible des types de fibres utilisés.

III.2.2 A l'état durci :

III.2.2.1 Résistance à la compression :

L'essai de compression est réalisé à différentes échéances (7, 14, et 28) jours. Les résultats obtenus de la résistance des bétons à la compression sont illustrés par le tableau et les figures :

CHAPITRE III : Résultats et Discussions

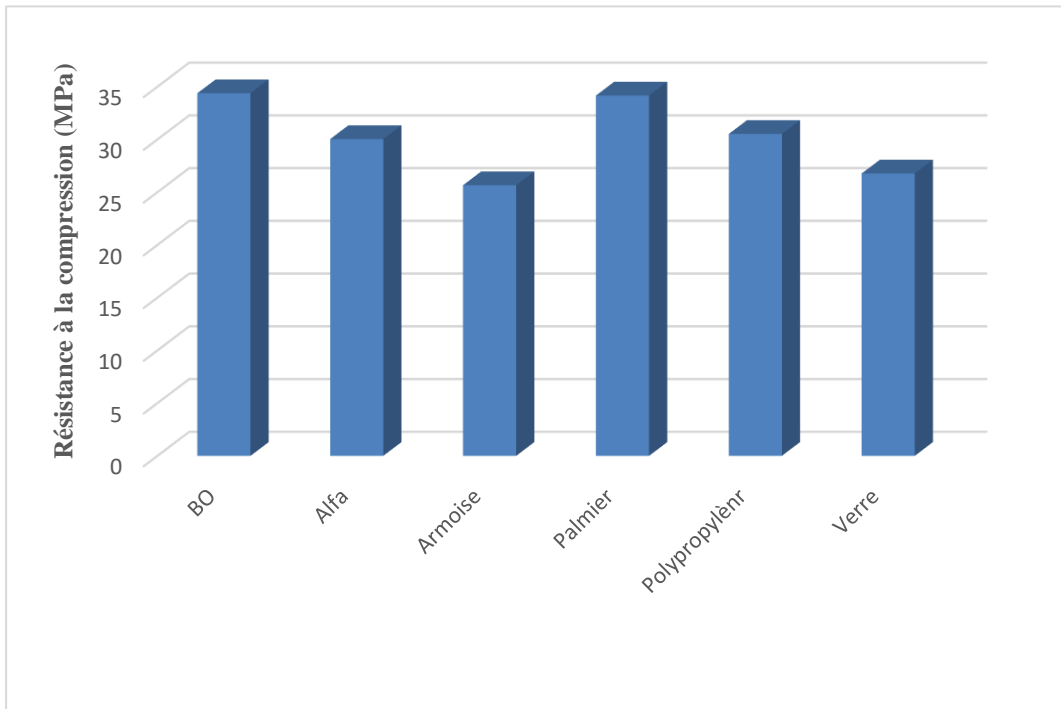


Figure III-3 : Résistance à la compression (MPa) à 7j.

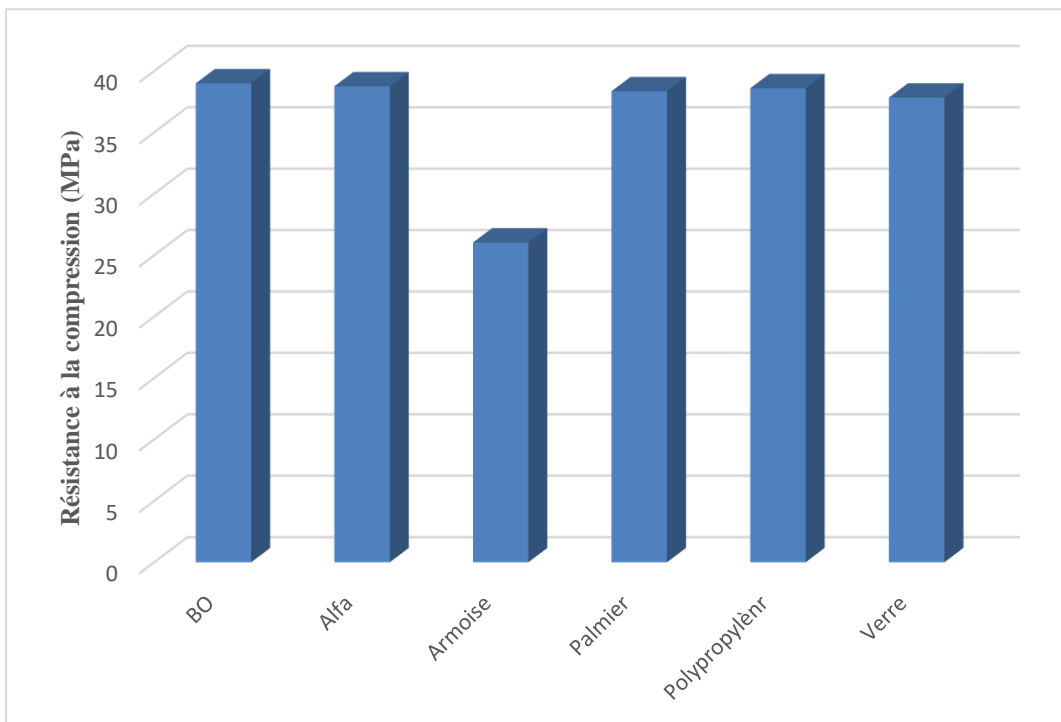


Figure III-4 : Résistance à la compression (MPa) à 14j.

CHAPITRE III : Résultats et Discussions

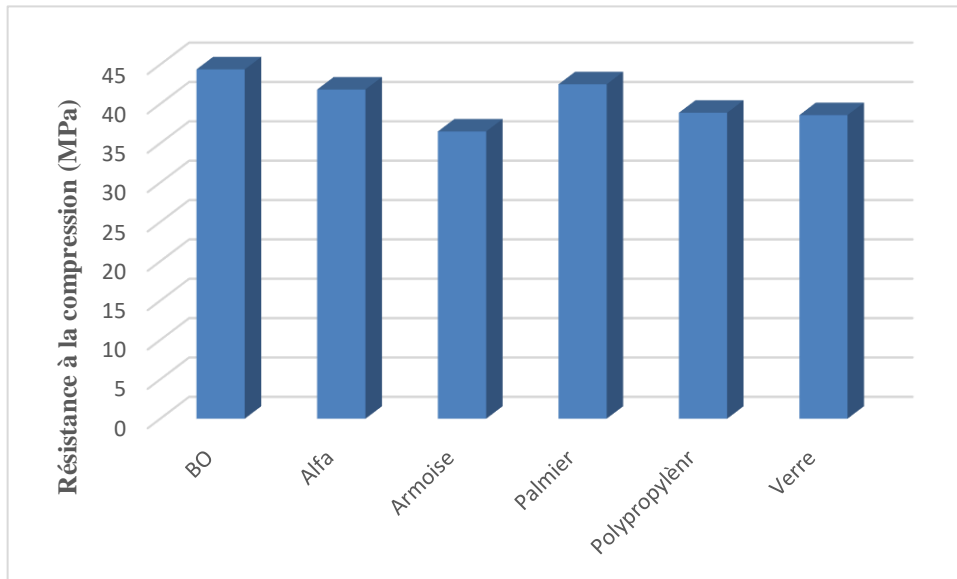


Figure III-5 : Résistance à la compression (MPa) à 28j.

Les trois figures présentent les résultats de la résistance en compression obtenus après 7, 14 et 28 jours pour le béton de référence et les bétons renforcés par des fibres végétales (Alfa, palmier dattier et Armoise) et les fibres de verre et polypropylène. À travers ces résultats, on observe une nette diminution de la résistance en compression des échantillons contenant des fibres par rapport à l'échantillon de référence après 7 jours de durcissement. Cette diminution est également observée après 14 et 28 jours. On enregistre cette baisse pour tous les types de fibres et elle est attribuée à une augmentation du nombre de défauts dans les fibres (distribution inégale des fibres, leur forme et leur surface lisse ou rugueuse). Ces résultats sont confirmés par d'autres études [61]. Cependant, avec l'ajout de fibres, la résistance en compression du composite diminue par rapport au béton de référence.

La perte de résistance en compression peut être expliquée par le fait que l'incorporation des fibres entrave la compression du matériau et conduit à une augmentation du nombre de vides formés entre les fibres (enchevêtrement des fibres), ce qui crée une porosité supplémentaire, notamment à l'interface de la matrice de ciment fibré. Quant aux fibres végétales, cela est dû à leur composition, qui contient principalement de la cellulose. [62][63]

III.2.2.2 Résistance à la traction par flexion :

L'essai de la traction par flexion est réalisé à différentes échéances (7,14, et 28) jours. Les résultats obtenus de la résistance des bétons à la compression sont illustrés par les figures suivantes :

CHAPITRE III : Résultats et Discussions

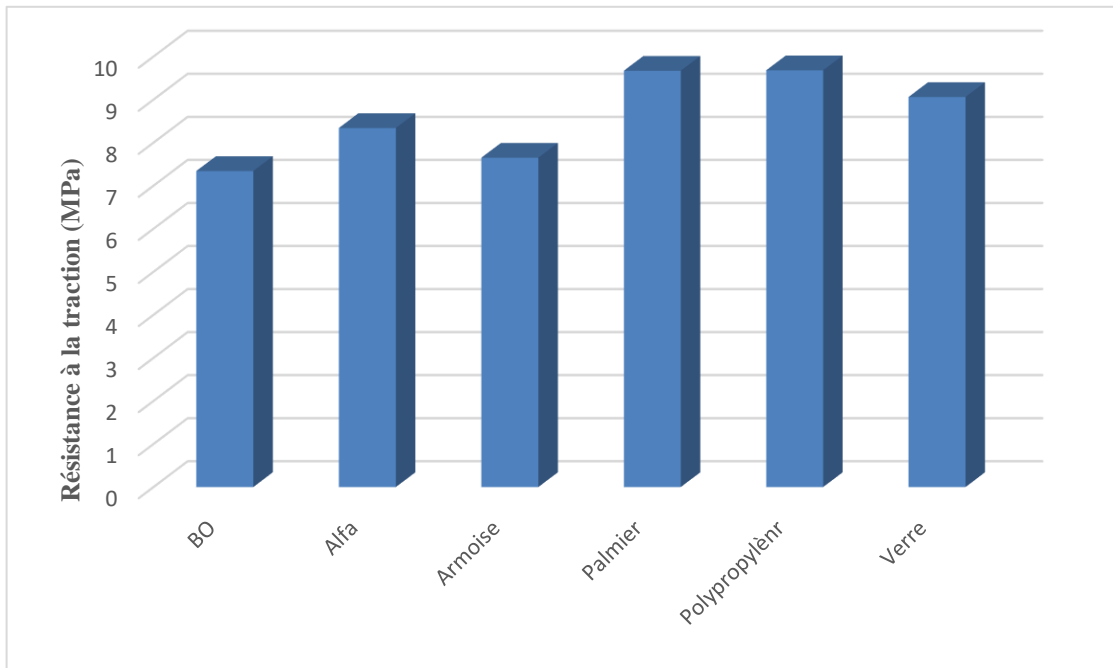


Figure III-6 : Résistance à la traction par flexion (MPa) à 7j.

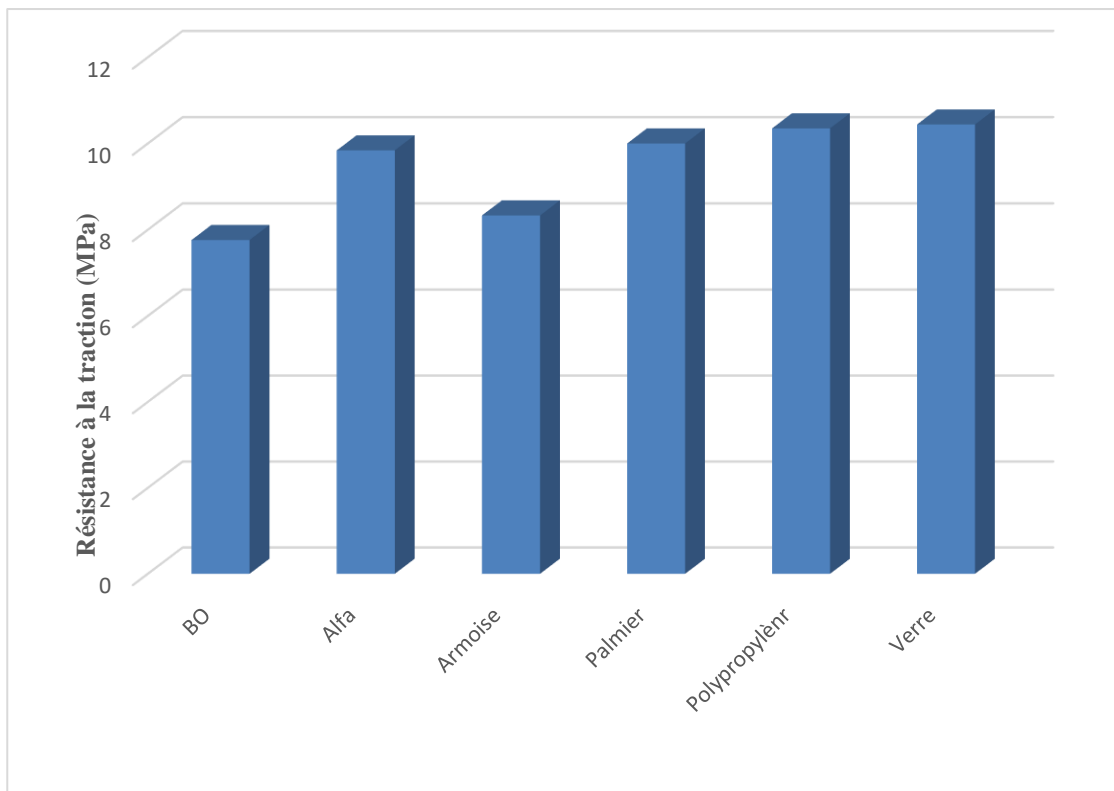


Figure III-7 : Résistance à la traction par flexion (MPa) à 14j.

CHAPITRE III : Résultats et Discussions

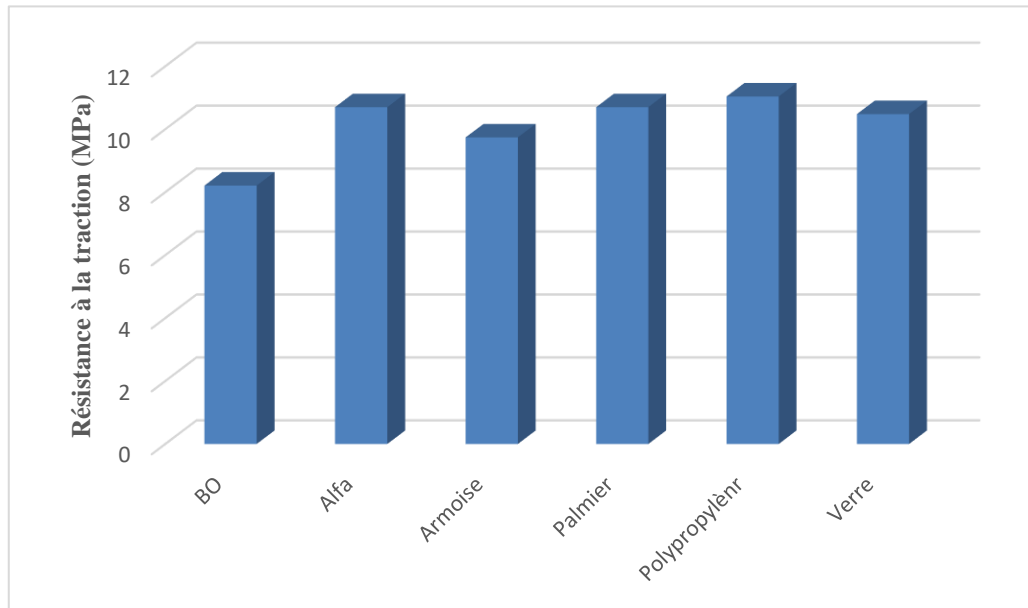


Figure III-8 : Résistance à la traction par flexion (MPa) à 28j.

L'essai de résistance à la flexion est considéré comme le plus important pour caractériser le comportement mécanique du béton renforcé par des fibres. Il est bien connu que les fibres modifient principalement le comportement mécanique et contrôlent le mécanisme de fissuration. Les fibres retardent l'apparition des fissures macroscopiques dans la matrice et contribuent à la couture des fissures formées. Cela augmente la ductilité du matériau. Les résultats de l'effet de la longueur et du dosage des deux types de fibres utilisés dans notre étude sur la résistance à la flexion pour différents mélanges sont présentés dans les figures 6, 7 et 8. Selon ses résultats, contrairement à la résistance à la compression, l'ajout de fibres entraîne des améliorations significatives dans la résistance à la flexion par rapport au béton ordinaire. On remarque également que les gains de résistance à la flexion des bétons renforcés par des fibres synthétiques sont légèrement supérieurs à ceux des bétons avec des fibres végétales. Cela est principalement dû aux performances mécaniques (résistance à la traction et module d'élasticité) des fibres synthétiques qui sont supérieures à celles des fibres végétales.

Il est également observé que les fibres de palmier dattier surpassent celles de l'Alfa et de l'Armoise, en raison des composants de base présents dans le palmier qui lui confèrent une grande résistance à la traction. On remarque aussi que la résistance de la traction par flexion des fibres de palmier dattier est plus augmentée que les fibres de verre. La même remarque pour la résistance, on peut dire qu'on peut remplacer l'utilisation des fibres de verre par les fibres palmiers. Cela aura un bon impact économique.

III.3 Conclusion :

Dans ce dernier chapitre de notre étude, nous avons présenté tous les résultats obtenus après la caractérisation des trois bétons, le béton témoin, le béton de polypropylène, béton de verre, béton d'alfa, béton d'armoise et le béton de palmiers. D'après les résultats présentés précédemment, nous pouvons conclure :

CHAPITRE III : Résultats et Discussions

L'ajout des fibres que ce soit synthétiques ou végétales influe négativement sur les propriétés d'affaissement de béton ordinaire, Nous remarquons que le taux d'impact des fibres végétales sur la maniabilité est plus négatif que celui des fibres synthétiques, en particulier les fibres d'Alfa, car elles absorbent une grande quantité d'eau.

Le béton ordinaire présenté une meilleure résistance en compression par rapport aux bétons renforcés par les fibres. Ceci montre que l'ajout des fibres dans les mélanges des bétons provoque la formation de capillaires, lesquels entraînent une augmentation de la porosité et une diminution de la compacité du matériau, et par conséquent, de sa résistance mécanique.

La résistance en traction par flexion des bétons fibrés est améliorée par rapport au béton ordinaire, parce qu'elle présente une surface rugueuse qui améliore l'adhérence avec la matrice cimentaire.

Conclusion
générale :

Conclusion générale :

La valorisation des ressources naturelles dans le domaine de la construction est l'objet des recherches actuelles. En vue de leurs avantages économiques et écologiques : faible prix de revient, ressources renouvelables et largement disponibles, de plus, ce sont des matériaux respectueux de l'environnement puisqu'elles sont neutres vis-à-vis des émissions de CO₂.

D'après les résultats obtenus, l'ajout de fibres végétales (Alfa, Armoise, Palmiers) consiste à améliorer les caractéristiques des bétons à l'état frais et durci. L'étude d'un béton comporte souvent à rechercher simultanément deux qualités essentielles, la résistance mécanique et l'ouvrabilité. Ces deux qualités sont profondément liées l'une à l'autre.

On constate aussi que l'utilisation des fibres végétales provoque une diminution de la maniabilité, parce que les trois fibres végétales absorbent de l'eau.

Cependant, dans le cas de la résistance en traction, les bétons fibrés présentent les meilleurs résultats par rapport aux bétons sans fibres parce que les fibres améliorent l'adhérence fibre- matrice. Nous constatons une diminution de la résistance en compression des échantillons fibrés par rapport à l'échantillon de référence.

Les résultats montrent que toutes les fibres jouent le rôle de renfort pour la matrice en lui offrant une ductilité intéressante. Avec un taux d'amélioration très intéressant pour les bétons de fibres d'Alfa, Palmier et Armoise.

Les perspectives de cette étude sont nombreuses. Le programme expérimental pourrait être complété par les études suivantes :

- Interactions physico-chimiques aux interfaces entre les deux fibres végétales et la matrice cimentaire.
- Influence de la méthode de mise en œuvre des fibres (malaxage, projection ou moulage) sur le comportement mécanique et thermique des composites produits.
- Étude technico-économique sur l'utilisation de ces fibres végétales.
- Traitement chimique des fibres avant incorporation aux différents mélanges.
- L'association de deux ou même plusieurs types de fibres dans un même béton.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- [1] ARABI N, Technologie du Béton, cours master 01, Université d'Annaba.
- [2] : Présenté en vue de l'obtention du diplôme de MASTER thème : CARACTERISATION DES DIFFERENTS TYPES DE BETON A BASE DE COPEAUX DE BOIS (Béton Ordinaire – Béton Autoplaçant – Béton A Haute Performance) page 3
- [3] -BOUHMID Mama, « Elaboration D'Un Eco-Ciment Pouzzolanique A Base De Vase De Barrage Hydraulique Traitée Et Déchet De Brique De Construction », Mémoire Magister, université de Oran, 2010/2011, P 41.
- [4] FESTA Jean, Georges Dreux, Nouveau Guide du Béton et de ses Constituants, Huitième édition, Troisième tirage, Edition Eyrolles, 1998, P 25.
- [5] Scribe. Com ciment PDF université Mohamed première- Oujda l'école nationale des science appliquées- Oujda
- [6] : Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master Thème : INFLUENCE DES FIBRES DE DISS ET LA POUDRE DE VERRE SUR LES PROPRIETES D'UN BETON ORDINAIRE
- [7] : AYACHE BRAHIM *CARACTERISATION DES DIFFERENTS TYPES DE BETON A BASE DE COPEAUX DE BOIS* (Béton Ordinaire – Béton Autoplaçant – Béton A Haute Performance)
- [8] : Norme Française XP P 18-540, "*Granulats - Définitions, conformité, spécifications, indice de classement : P 15-540*", (1997).
- [9] A. CHAREF, "*La problématique des granulats au Maroc*", *Push-Button Publishing*, (2007).
- [10] Les granulats pour béton 2.1- Chapitre 2 • Les constituants des bétons et des mortiers
- [11] Béton.fr.wikipedia.org/wiki/Béton
- [12] <http://www.guidebeton.com/composition-beton>
- [13] <https://www.infociments.fr/betons/Adjuvant>
- [14] <https://fr.scribd.com/document/441862201/Methode-de-composition-Bolomey>
- [15] Pr. GHOMARI Fouad univ ABOUBEKR BELKAID FACULTE Faculté de technologie département de Génie civil Matériaux de construction
- [16] : Melle M. Haddadi, Etude numérique avec comparaison expérimentale des propriétés thermo physiques des matériaux composites à matrice polymère, Master en Physique, université el Hadj Lakhdar BATNA, 2010/2011
- [17] CARMA, Glossaire des matériaux composites, 10/2006
- [18] Zapata Massot Céline, « *synthèse de matériaux composite par Co-broyage en voie sèche Et caractérisation des propriétés physico-chimique et d'usage des matériaux* », institut National polytechnique de Toulouse, décembre 2004.

Références bibliographiques

- [19] : Glossaire des matériaux composites, (C.A.R.M.A), centre d'animation régional en matériaux avancés, octobre 2006
- [20] O. Faruk, A. Bedzin, H. Fink et M. Sain, «Bio composites reinforced with natural fibers: 2000–2010, Prog. Polym. Sci. 37, 1552–1596,2012.».
- [21]. Arup fire, HSE, *Fire resistance of concrete enclosures* Work Package 1: data collection- Work Package 2: spalling categories, Work Package 5 and 6: Heat transfer modeling in response to two of the HSE design fires, London, 2005.
- [22] ADEME, « Etude de marché des nouvelles utilisations des fibres végétales, » 2005. [En ligne]. Available : <http://www2.ademe.fr/servlet/getDoc?id=11433&m=3&cid=96>. [Accès le 04 04 2015].
- [23] F. Aeschelmann et M. Carus, « Européen Bio plastics, » nova-Institut GmbH, 2016.
- [24] I. Adel et K. Hichem, « Mise en œuvre et Caractérisation des Composites à base de Polypropylène et fibres de Genêt d’Espagne, » Mémoire de Master on Génie des Procédés option : Génie des polymères, UNIVERSITE A. MIRA DE BEJAIA, 2022.
- [25] : M. ABDESSAMED, Influence des ajouts de fines minérales sur les Performances Mécaniques des Bétons Renforcés de Fibres Végétales de Palmier Dattier - magister, 06/11/2006.
- [26] o. Abdessamad, « influence des ajouts de fins minérales sur les performances mécaniques des bétons renforcé de fibre végétales de palmier dattier, » Université de Kadi Merbah Ouargla option génie civil, novembre 2006.
- [27] AGAVA SISALANA (Or du désert oublié), «portal arid,» [En ligne]. Available: <https://portal.arid.my/ar-LY/Posts/Details/e74a9d94-5d16-4937-9c71-2ca1cf6cd419?t=%D8%A7%D9%84%D8%A7%D8%AC%D8%A7%D9%81--%D8%A7%D9%84%D8%B3%D9%8A%D8%B3%D8%A7%D9%84--AGAVA-SISALANA--%D8%B0%D9%87%D8%A8-%D8%A7%D9%84%D8%B5%D8%AD%D8%B1%D8%A7%D8%A1-%D8%A7%D9%84%>.
- [28] Daghefel Azzedine, « Étude du comportement à la rupture du béton polymère renforcé par des fibres végétales », mémoire master, université de M’sila, juin 2012.
- [29] G.G.Giménez : « Aportaciones a la químicadelespartoespañol ». Anales de la Universidad de Murcia. Vol 13, N° 1. Curso 1954-55.
- [30] M. Dallel : « Evaluation du potentiel textile des fibres d’Alfa (StipaTenacissima L.) : Caractérisation physico chimique de la fibre au fil ». Thèse doctorat, Université de Haute Alsace, 12 décembre 2012.

Références bibliographiques

- [31] S. Hattalli, A. Benaboura, F. Ham-Pichavant, A. Nourmamode, A. Castellan: Adding value to Alfa grass (*Stipatenacissima* L) soda lignin as phenolic resins: 1. Lignin characterization, *Polymer Degradation and Stability*, 75, 2002, 259-264.
- [32] H. Nadji, M.C. Brochier Salon, C. Bruzzèse, A. Benaboura, N. M. Belgacem : Chemical composition and pulp properties of Alfa (*Stipatenacissima*). *Cellulose Chemistry and Technologie*, 40, 2006, 45-52.
- [33] « L'alfa : Importance écologique et socio-économique », Portail de l'agriculture Marocaine, *Terre et Vie*, N°61-62, (Novembre 2002).
- [34] KARECHE ABDELHAK, « Etude des matériaux à base de bois de palmier dattier : durabilité, dégradation et propriétés structurales et des transferts » Mémoire de magister 2014.
- [35] 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.
- [36] Martin N.A.M, Contribution à l'étude de paramètres influençant les propriétés Mécaniques de fibres élémentaires de lin : Corrélation avec les propriétés de matériaux Composites, phd Thesis, Université de Bretagne Sud, 2014.
- [37] Lewin Menachem, "Other Long Vegetable Fibers: Abaca, Banana, Sisal, Henequen, Flax, Ramie, Hemp, Sunn, and Coir Handbook of Fiber Chemistry," in Handbook of fiber science and technology, 3rd ed., Taylor and Francois, Ed., 2007, p. 485
- [38] Dallel Mohamed, "Thèse de doctorat : Evaluation du potentiel textile des fibres d'Alfa (*Stipa Tenacissima* L.) : Caractérisation physico-chimique de la fibre au fil," Université de Haute Alsace (Laboratoire de Physique et Mécanique Textiles), Mulhouse, France,
- [39] Salah Msahli, "Thèse de doctorat : Etude de potentiel Textile des Fibres d'agaves *Americana* L.," Université de Haute Alsace, Mulhouse- France, 2002.
- [40] Tomczak Fábio, Sydenstrickerb Thais Helena Demétrio, and Satyanarayana Kestur Gundappa, "Studies on lignocellulosic fibers of Brazil. Part II: Morphology and properties of Brazilian coconut fibers," *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, vol. 38, no. 7, pp. 1710–1721, Juillet 2007.
- [41] Mukherjee P. S. and Satyanarayana K. G., "Structure and properties of some vegetable fibres Part 1 Sisal fiber," *Journal of Materials Science*, vol. 19, no. 12, pp. 3925-3934, 1984.
- [42] Stamm Alfred J, "Thermal degradation of wood and cellulose," *Indus. & Eng. Chem*, vol. 48, no. 3, pp. 413–417, 1956.
- [43] Kim D-Y, Nishiyama Y, Wada M, Kuga S, and Okano T, "Thermal decomposition of cellulose crystallites in wood," *Holzforschung*, vol. 55, no. 5, pp. 521-524, 2001.

Références bibliographiques

- [44] A. Mahfoud : « Étude de la production et de la caractérisation de composites bois plastiques ». Mémoire de Maître ès sciences, Département de Génie Chimique, Université Laval, Québec, 2013, 101p.
- [45] M. EL BOUST ANI, « Modification des fibres végétales par un procédé écologique : effets sur la microstructure et la compatibilité avec les matrices polymérique, » THÈSE en COTUTELLE, université Cadi Ayyad, 2016.
- [46] Dalila H. Synthèse d'un nouvel agent de couplage PVC-g-MA et son utilisation dans les composites PVC/Alfa, » Université de Bejaïa-Abderrahmane Mira, 2010.
- [47] Klemm D., Schmauder H. P., Heinze T, Dans : Biopolymers, vol. 6. Eds. E.andamme, S. De Beats, A. Steinbüchel, Willey-VCH, Weinheim. 290-292, 2002.
- [48] « Elaboration et caractérisation d'un matériau composite à base de fibre végétale,» Application à la plante d'Alfa. UNIVERSITE DJILLALI.
- [49] Bledzki, A. K., and Jochen Gassan. "Composites reinforced with cellulose based fibers." *Progress in polymère science* 24.2: 221-274, 1999.
- [50] Wurtz Jean-Luc, "Document de synthèse Les Hémicelluloses," Gembloux Agro-Bio Tech, Université de Liège, novembre 2011.
- [51] Do Thi VV., « Matériaux composites à fibres naturelles/polymère biodégradables ou non » Université de Grenoble, 2011.
- [52] Y. Benmlik, « Valorisation des fibres de kénaf dans des applications textiles et paratextiles » these de doctorat.
- [53] Privas E., « Matériaux ligno-cellulosiques : " Élaboration et caractérisation », » Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris, 2013.
- [54] Yahiaoui Lamia, « caractérisation d'un composite à la rupture à base des fibres Végétales DISS », option mécanique applique, université de Sétif, 2011.
- [55] Mostar 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.
- [56] Baste T., Bouffard M., Horlait C., Lacroix R., Marcellin S., Oliveira T., *Béton et Environnement*, Projet IFIPS S2, Université Paris-Sud 11, 2008.
- [57] MERZOUZ M., DHEILLY R.M., GOULLIEUX A., QUENEUDEC M. (2008)., « Optimisation of Lignocellulosic Composite formulated with a local resource: The Diss (Ampelodesmamauritanica) », Proceeding of the 7th International Congress, Dundee Scoltand, U.K, Edition IHS BRE presse, ISBN-13: 978-1-84806-037-1, 651-660.
- [58] LAIFA W, (2015). Contribution à l'étude des effets du laitier cristallisé et des fibres de diss sur les propriétés des bétons autoplaçants, thèse de doctorat, université d'Annaba, Algérie.

Références bibliographiques

[59] : France : Norme NF EN 933-8 : Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats – Partie 8 : Évaluation des fines — Équivalent de sable, Paris, Association Française de Normalisation (AFNOR), août 1999, 16 p., remplace les normes expérimentales françaises p. 18-597, de décembre 1990 et p. 18-598, d'octobre 1991.

[60] : G. DREUX et J. FESTA (1995), "Nouveau guide de béton et de ses constituants". Edition EYROLLES. 7^{ème} Edition 1995.

[61] Bahloul. O., Bourzam. A., Bahloul. A., « *Utilisation des fibres végétales dans le renforcement de ciment (Cas d'Alfa)* », SBEIDCO – 1st International Conference on Sustainable Built Environment Infrastructures in Developing Countries ENSET Oran (Algeria) - October 12-14, 2009.

[62] MERZOUZ M., DHEILLY R.M., GOULLIEUX A., QUENEUDEC M. (2008)., Optimisation of Lignocellulosic Composite formulated with a local resource: The Diss (*Ampelodesmamauritanica*)*, Proceeding of the 7th International Congress, Dundee Scotland, U.K, Edition IHS BRE presse, ISBN-13: 978-1-84806-037-1, 651-660.

[63] LAIFA W, (2015). Contribution à l'étude des effets du laitier cristallisé et des fibres de diss sur les propriétés des bétons autoplaçants, thèse de doctorat, université d'Annaba, Algérie.