

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université Mohamed khider – Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie civil et Hydraulique
Référence :...../ 2015



جامعة محمد خيضر- بسكرة
كلية العلوم و التكنولوجيا
قسم الهندسة المدنية و الري
المرجع:/ 2015

Mémoire de Master

2^{ème} année

Option : Conception et calcul de structure

THEME :

*L'effet d'ajout des fibres palmiers dattiers
(Saaf et Líf) sur les propriétés
physico-mécanique des bétons de sable*

Etudiant:

• GAGUI WARDA

Encadreurs:

• GADRI KARIMA

PROMOTION : JUIN 2015

RESUME

Le renforcement des matériaux de construction, particulièrement, les bétons de sable, par des fibres est une technique intéressante, dans le but d'améliorer leurs caractéristiques mécaniques et physiques, notamment leurs résistances à la traction par flexion et à la fissuration.

Dans notre travail on a formulé deux séries de béton de sable avec fibres de type palmier dattier, une série avec des fibres de Saaf et l'autre avec de Lif, en variant au pourcentage des deux types de fibres, et un béton témoin sans ajout de fibres. Après étude et analyse, on a trouvé que les fibres dattier de palmiers Saaf et Lif n'ont pas contribué à l'amélioration de la résistance à la traction par flexion, sauf deux compositions, une avec 0.22% de Lif (BSFL1) et l'autre avec 0.35% de Saaf (BSFS2), qui ont présenté respectivement des valeurs peux importantes par rapport au béton témoin égale à 9.01 MPa et 8.69 MPa à l'age de 28 jours. On a constaté une absorption importante des fibres de Lif, qui engendre une augmentation de capacité d'absorption des bétons de sable et d'autre part leur contribution de minimiser l'ouverture des fissures.

Mot clés : béton de sable, fibres de Lif, fibres de Saaf, fissuration, absorption capillaire, traction par flexion

الملخص

تدعيم مواد البناء، وخاصة الخرسانة الرملية، بالألياف هي تقنية مثيرة للاهتمام، من أجل تحسين خصائصها الميكانيكية والفيزيائية، وخاصة قوة الشد عن طريق الانحناء والتكسير.

في عملنا هذا قدمنا سلسلتين من الخرسانة الرملية مع ألياف من نوع أوراق نخيل التمر، سلسلة من الألياف السعف والآخر من الليف، من خلال تغيير نسبة هذين النوعين من الألياف، مع الخرسانة الشاهدة دون إضافة الألياف. بعد استعراض وتحليل، فقد وجدنا أن ألياف النخل السعف و الليف لم تساهما في تحسين قوة الشد عبر الانحناء ولكن اثنين من التراكيب، واحدة مع 0.22% من الليف (BSFL1) و الأخرى مع 0.35% من السعف (BSFS2)، الذي قدموا قيم أقل أهمية مقارنة مع الخرسانة الشاهدة و هي على التوالي 9.01MPa و 8.69 MPa في 28 يوما. استنتجنا أن النسبة العالية للامتصاص لألياف الليف ينتج عنها زيادة في قدرة الامتصاص للخرسانة الرملية، لكن من جهة أخرى مساهمتها في التقليل من فتحات التشققات.

كلمات المفتاح: الخرسانة الرملية – ألياف الليف – ألياف السعف – التشققات – الامتصاص الشعيري – الشد عبر الانحناء

DEDICACE

Je dédie ce modeste travail à :

*Mes très chères parents, Mes frères
DJAMEL, ABD ALWAHAB, SAADI, et
Mes sœurs KARIMA, SAIDA, YOUSRA,
A ma grand-mère, A ma tante FATIHA*

A tout mes amis

*A toute l'équipe de laboratoire
Toute la promotion de génie civil*

2015

WARDA

REMERCIEMENTS

Nous rendons grâce à dieu le tout puissant de nous avoir donnée le savoir et la volonté surtout la patience pour réaliser ce modeste travail

J'exprime mes sincères et profonds remerciements et reconnaissances à mon encadreur GADRI KARIMA, qui ma aidé, conseillé et dirigé au cours de ma mémoire, ainsi que pour son apport moral et scientifique pendant l'accomplissement de ce travail.

Que tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à ma formation, trouvent ici ma gratitude et mes remerciements.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude et mes remerciements à tous les enseignants de département de Génie Civil et d'Hydraulique de l'Université de Biskra.

A fin Nous adressons nos remerciements aux responsables et techniciens du laboratoire de matériaux de construction de l'université de Biskra pour leurs aides à la bonne réalisation de la partie expérimentale de ce mémoire.

GAGUI WARDA

Sommaire

INTRODUCTION GENERALE.....	1
----------------------------	---

CHAPITRE I : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

Introduction.....	3
I.2 Définition de béton de sable.....	3
I.3 Historique.....	3
I.4 Les composition des bétons de sable.....	5
I.4.1 Le sable.....	5
I.4.1.1 Classification des sables selon leurs provenances.....	6
I.4.2 Le ciment.....	6
I.4.2.1 Les constituants des ciments courants.....	7
I.4.2.2 Classification des ciments suivant les résistances à la compression.....	7
I.4.3 L'eau.....	8
I.4.4 Les fines d'ajout (filler).....	8
I.4.4.1 Le filler calcaire.....	9
I.4.5 Les adjuvants.....	9
I.4.5.1 Les supersplastifiants.....	9
I.4.5.2 Influant du dosage en super plastifiant.....	10
I.4.5.3 Les caractéristiques physiques et chimiques des super plastifiants.....	10
I.5 Propriétés essentielles des bétons de sable.....	11
I.5.1 Granulométrie – maniabilité.....	11
I.5.2 Granulométrie – résistance.....	11

I.5.2.1 La finesse de l'addition.....	11
I.5.2.2 La nature de l'addition.....	12
I.5.2.3 La dimension du Dmax.....	13
I.6 Durabilité.....	14
I.7 Retrait.....	14
I.7.1 Retrait hygrométrique.....	14
I.7.2 Retrait sous charge ou fluage.....	15
I.8 Intérêts et limites des bétons de sable.....	15
I.8.1 Intérêts des bétons de sable.....	15
I.8.2 Limites des bétons de sable.....	16
I.9 Domaines d'application.....	16
I.10 Méthode de formulation de béton de sable.....	18
I.10.1 Méthode théorique de formulation.....	18
I.10.1.1 La compacité et les méthodes de formulation des bétons.....	18
I.10.1.2 Estimation de dosage en fines d'un béton de sable.....	18
I.10.1.3 Dosage en eau d'un béton de sable.....	20
I.10.1.4 Estimation du dosage en sable.....	23
I.10.1.5 Estimation de la résistance en compression.....	23
I.10.1.6 Exemple théorique de formulation de béton de sable.....	25
I.10.2 Méthode expérimentale de formulation.....	26
I.10.2.1 Présentation générale de la méthode expérimentale.....	26
I.10.2.2 Les différentes étapes de la formulation.....	26
I.10.2.2.1 Détermination d'une formule de base sans fines d'addition.....	26

I.10.2.2.2 Détermination du dosage en fines d'addition	28
I.11 Les fibres végétale.....	30
I.11.1 Définition	30
I.11.2 Classification des fibres végétale.....	30
I.11.2.1 Les fibres de feuilles.....	30
I.11.2.2 Les fibres de tiges.....	30
I.11.2.3 Les fibres de bois.....	31
I.11.2.4 Les fibres de surface.....	31
I.11.3 Caractéristiques physiques et mécaniques des fibres végétale.....	31
I.11.4 Caractéristiques chimiques.....	32
I.11.5 Phénologie du palmier dattier.....	32
I.11.5.1 Palme.....	33
I.11.6 Résistance à la Compression.....	34
I.11.7 Résistance à la flexion	35
I.11 Conclusion.....	36

CHAPITRE II: CARACTERISATION DES MATERIAUX ET PROCEDURES D'ESSAIS

II.1 Introduction.....	37
II.2 Matériaux utilisés.....	37
II.2.1 Sable.....	37
II.2.1.1 Analyse granulométrique.....	37
II.2.1.1.1 Module de finesse.....	38

II.2.1.2 La masse volumique absolue et apparente.....	38
II.2.1.2.a La masse volumique absolue.....	39
II.2.1.2.b La masse volumique apparente.....	39
II.2.1.3 Equivalent de sable.....	40
II.2.2 Ciment.....	42
II.2.2.1 La masse volumique absolue.....	42
II.2.2.2 La masse volumique apparente.....	43
II.2.3 Les fibres	44
II.2.3.1Fibres de palmier dattier	44
II.2.4 Filler de calcaire	45
II.2.5 L'adjuvant	45
II.2.6 Eau de Gâchage	46
II.3 Essais sur béton frais	46
II.3.1 L'ouvrabilité	46
II.3.2 La masse volumique.....	46
II.4 Essais sur béton durci	47
II.4.1 Essai de la résistance mécanique à la compression	47
II.4.2 Essai de traction par flexion	48
II.4.3 Essai d'absorption d'eau capillaire et immersion.....	48
II.4.3.1 L'absorption d'eau par immersion.....	48
II.4.3.2 L'absorption d'eau capillaire	49

II.5 Confection des éprouvettes et conditions de conservation.....	50
II.6 Malaxage	51
II.7 Vibration	51
II.8 Arasement des éprouvettes	52
II.9 Conservation	52
II.10 Conclusion	53

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION

III.1 Introduction.....	54
III.2 Formulation du béton de sable	54
III.3 Résultats des essais sur béton.....	54
III.3.1 La maniabilité.....	54
III.3.2 La masse volumique.....	55
III.4 Résultats des essais sur béton durci.....	56
III.4.1 Résistance mécanique à la compression.....	56
III.4.1.1 Béton de sable avec fibre (Saaf).....	56
III.4.1.2 Béton de sable avec fibre (Lif).....	58
III.4.1.3 Béton de sable avec fibre (Saaf) et (Lif).....	59
III.4.2 Résistance mécanique à la traction par flexion.....	60
III.4.2.1 Béton de sable avec fibre (Saaf).....	60
III.4.2.2 Béton de sable avec fibre (Lif).....	62
III.4.2.3 Béton de sable avec fibres (Saaf) et (Lif).....	64

III.4.3 Capacité d'absorption d'eau.....	65
III.4.3.1 L'absorption d'eau totale.....	65
III.4.3.2 L'absorption d'eau capillaire.....	66
III.4.3.2.1 Coefficient d'absorption W.....	68
III.5 Mesures ouvertures des fissures.....	69
III.6 Conclusion	72
CONCLUSION GENERALE	74
Recommandations.....	75
BIBLIOGRAPHIE.....	76
ANNEXE	

Liste des figures

Chapitre I : Revue bibliographique :

Figure I.1: Le temps d'écoulement en fonction du module de finesse.....	11
Figure I.2: Effet du dosage et de la finesse de l'addition sur la résistance.....	12
Figure I.3 : Influence de la nature de l'addition sur le niveau de résistance.....	12
Figure I.4 : Résistance à la compression du béton de sable F1et F3.....	13
Figure I.5 : Effets de la granularité sur la résistance.....	13
Figure I.6 : Evolution de la résistance à la compression en fonction de dosage en copeau de bois non traités et de l'âge.....	14
Figure I.7 : Influence du diamètre D du sable sur le dosage en fines.....	20
Figure I.8 : Influence de la dimension d sur la porosité minimale du béton pour deux tailles du sable.....	21
Figure I.9 : Relation entre l'ouvrabilité et le dosage (e + v) d'une matrice pour une mise en œuvre donnée.....	22
Figure I.10 : Coefficient d'activité du filler calcaire (modèle).....	24
Figure I.11 : Evolution de la maniabilité en fonction du dosage en fines d'addition.....	29
Figure I.12 : Masse volumique apparente en fonction-dû dosage en fines d'addition.....	29
Figure I.13 : Morphologie du palmier dattier.....	33
Figure I.14 : Schéma d'une palme de palmier dattier.....	34
Figure I.15 : variation de la résistance à la compression en fonction du pourcentage et de longueurs des fibres à base de CPJ.....	35
Figure I.16 : variation de la résistance à la flexion des longueurs et pourcentages des fibres dans la matrice cimentaire à base CPJ.....	35

Chapitre II : Caractérisation des matériaux et procédures d'essais :

Figure II.1 : courbe granulométrique.....38

Chapitre III : Résultats et discussion :

Figure III.1: Résultats de la résistance à la compression du BST avec la fibre (sâaf).....56

Figure III.2 : L'évolution de la résistance à la compression en fonction du temps du BS avec (sâaf).....57

Figure III.3 : Résultats de la résistance à la compression du BS avec la fibre (Lif).....58

Figure III.4 : L'évolution de la résistance à la compression en fonction du temps du BS avec (Lif).....59

Figure III.5 : Résultats de la résistance à la compression du BSFS et BSFL à 28 jours.....59

Figure III.6 : L'évolution de la résistance à la compression en fonction du temps du BSFS et BSFL.....60

Figure III.7 : Résultats de la résistance à la traction par flexion du BS avec fibres de (Sâaf).....61

Figure III.8 : L'évolution de la résistance à la traction par flexion en fonction du temps du BS avec (sâaf).....62

Figure III.9 : Résultats de la résistance à la traction par flexion du BST avec la fibre (Lif)..63

Figure III.10 : L'évolution de la résistance à la traction flexion en fonction du temps du BS avec (Lif).....63

Figure III.11 : Résultats de la résistance à la traction par flexion du BSFS et BSFL à 28 jours.....64

Figure III.12 : L'évolution de la résistance à la traction en fonction du temps du BSFS et BSFL.....	65
Figure III.13 : Résultats de l'absorption d'eau totale.....	66
Figure III.14 : Evolution de l'absorption d'eau par capillarité en fonction du temps.....	68
Figure III.15 : schéma d'essai d'absorption capillaire.....	69

Liste des tableaux

Chapitre I : Revue bibliographique :

Tableau I.1 : classification des ciments suivant les résistances à compression.....	7
Tableau I.2 : relation entre la granulométrie et le dosage en ciment.....	8
Tableau I.3 : les caractéristiques physiques et chimiques du super plastifiant.....	10
Tableau I.4(a) : les caractéristiques physiques des fibres végétales les plus utilisées.....	31
Tableau I.4(b) : les caractéristiques physiques et mécaniques de quelques fibres végétales..	32

Chapitre II : Caractérisation des matériaux et procédures d'essais :

Tableau II.1 : Classement de sable.....	38
Tableau II.2 : Les résultats d'équivalent de sable.....	42
Tableau II.3 : Caractéristiques physiques des fibres.....	45
Tableau II.4 : Classement de béton selon la maniabilité.....	46

Chapitre III : Résultats et discussion :

Tableau III.1 : Les différentes compositions d'un mètre cube du béton de sable.....	52
Tableau III.2 : La maniabilité des différentes compositions du béton de sable.....	55
Tableau III.3 : La masse volumique à l'état frais des différentes compositions du béton de sable.....	55
Tableau III.4 : Résultats de la résistance à la compression du BS avec la fibre (saaf).....	56
Tableau III.5 : Résultats de la résistance à la compression du BS avec la fibre (Lif).....	58
Tableau III.6 : Résultats de la résistance à la traction par flexion du BS avec la fibre (saaf).61	
Tableau III.7 : Résultats de la résistance à la traction par flexion du BS avec la fibre (lif)...	62
Tableau III.8 : Valeurs de l'absorption totale des bétons.....	65
Tableau III.9 : Valeurs de l'absorption capillaire des bétons.....	67

Tableau III.10 : Résultats de coefficient d'absorption W à 24 h.....69

Tableau III.11 : Résultats des fissures à 28 jours.....70

Liste des photos

Chapitre I : Revue bibliographique :

Photos I.1(a) : Phare de Port- Saïd.....	5
Photos I.1(b) : Métro de Saint Petersburg.....	5
Photos I.2 : Le béton de sable dans la Préfabrication.....	17
Photos I.3 : Le béton de sable en projection.....	17
Photos I.4 : Le béton de sable coulé.....	18

Chapitre II : Caractérisation des matériaux et procédures d'essais :

Photos II.1 : Tamis et tamiseur électrique.....	37
Photos II.2 : Essais la masse volumique absolue du sable.....	39
Photos II.3 : Essais de la masse volumique apparente.....	40
Photos II.4 : Essais d'équivalent de sable.....	41
Photos II.5 : Pycnomètre.....	42
Photos II.6(a) : les fibres coupure	44
Photos II.6(b) : les fibres après découpage	44
Photos II.7(a) : les fibres résultat de la décomposition du Lif.....	45
Photos II.7(b) : les fibres après découpage.....	45
Photos II.8 : Appareil d'essai de compression.....	47
Photos II.9 : Appareil d'essai de traction par flexion.....	48
Photos II.10 : Essai d'absorption par immersion.....	49
Photos II.11 : Essai d'absorption capillaire.....	50

Photos II.12 : Les moules utilisées.....	50
Photos II.13 : Malaxeur à béton 65 litres.....	51
Photos II.14 : Les appareilles de vibration.....	52
Photos II.15 : Des éprouvettes dans un bac de conservation	52

LISTE DES SYMBOLES ET ABREVIATIONS

CPJ-CEMII/A42.5: Ciment Portland Compose.

BS : béton de sable.

BST : Béton de sable (témoin).

BSFS: Béton de sable avec fibre de Saaf.

BSFL: Béton de sable avec fibre de Lif.

SP: Superplastifiant.

E/C: Rapport massique de l'eau sur ciment.

INTRODUCTION GENERALE

Tout le monde sait que les régions du sud du pays dépourvues de matériaux pierreux sont par contre très riches en sable.

La construction des structures en béton armé et des routes exige donc, dans ces régions, un approvisionnement en granulats grossiers, onéreux et très coûteux ce qui a beaucoup freiné le développement de cette partie du pays. La réflexion de l'élaboration de nouveaux bétons, tels que les bétons de sable, est donc devenue nécessaire.

Le béton de sable possède des propriétés spécifiques (bonne maniabilité, granularité fine, qualité de parements, moindre coût dans certaines conditions, l'absence de ségrégation et sa résistance à la compression qui peut atteindre (12-80 MPa)) qui lui permettent de remplacer le béton ordinaire dans certains usages et résoudre certains problèmes économiques et techniques posés par le béton traditionnel. Pour répondre aux besoins de certains usages, d'autres ajouts spécifiques peuvent être envisagés : gravillons, fibres, ajouts etc.

Les bétons de sable posent le problème du retrait important par rapport aux bétons ordinaires ainsi de résistances à la compression modérées et de résistance à la traction mal. Cette étude est basée sur une idée d'exploitation très intéressante des fibres végétales extraites des palmiers dattiers (Lif et Saaf) et les utilisées dans la formulation des bétons de sable afin d'améliorer aux caractéristiques mécaniques (compression, traction, flexion) et étudier leur effet sur la capacité d'absorption d'eau totale, capillaire et sur l'ouverture de fissures.

Ce travail est partagé en deux parties principales :

- La première partie, comporte un chapitre, consacré à la recherche bibliographique
 - **Le chapitre I :** présente des généralités sur les bétons de sable ainsi que sur les différentes fibres végétales

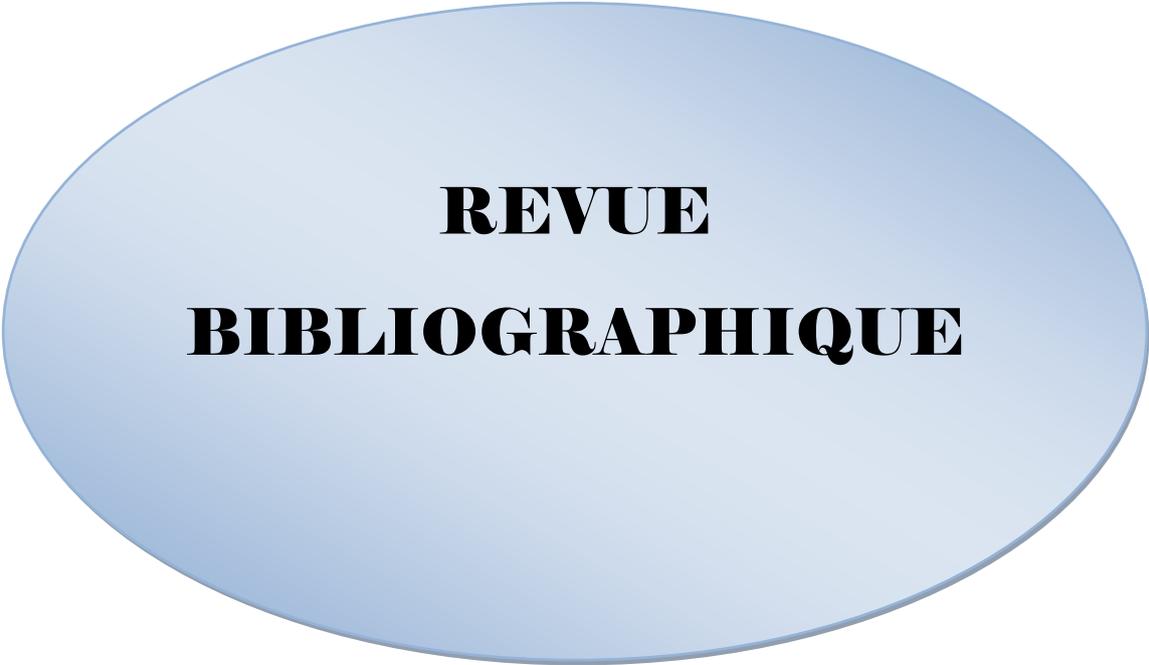
➤ La deuxième partie, contenant les deux chapitres II et III, est consacrée à l'étude expérimentale.

- **Le chapitre II :** s'intéresse à la caractérisation des matériaux utilisés (sable, ciment, filler calcaire et les fibres palmiers dattiers) entrant dans la formulation du béton de sable, procédures d'essais réalisés dans le cadre de cette étude.
- **Le chapitre III :** présente la formulation du béton de sable pour 7 compositions avec variation au dosage de fibres, étudier l'effet de ces fibres végétales sur les caractéristiques physiques et mécaniques.

On terminera par une discussion des résultats.

Finalement, la conclusion propose une synthèse des résultats obtenus dans notre travail ainsi que des recommandations.

Chapitre I :



**REVUE
BIBLIOGRAPHIQUE**

I.1 Introduction :

Nous savons que les régions du sud du pays dépourvus de matériaux pierreux sont par contre très riches en sable. La construction des structures en béton armé et des routes exige un approvisionnement en granulats grossiers, onéreux et très coûteux. N'est-il pas préférable d'utiliser dans ces régions des bétons de sable qui atteindra des performances mécaniques analogues à celles des bétons traditionnels.

I.2 Définition du béton de sable :

Le béton de sable est un béton formé par mélange de sable, de ciment, d'addition(s) et d'eau. Des ajouts (adjuvants, fibres ...) peuvent également être incorporés au mélange. Il est donc principalement constitué de sable. Son dosage en ciment est du même ordre que celui des bétons classiques soit entre 250 à 400 kg/m³. Cette similitude lui vaut, entre autre, le terme de "béton". Il se distingue du mortier par, notamment, son dosage en ciment, celui d'un mortier étant de 400 à 700 kg/m³, et par son domaine d'utilisation. [1]

I.3 Historique :

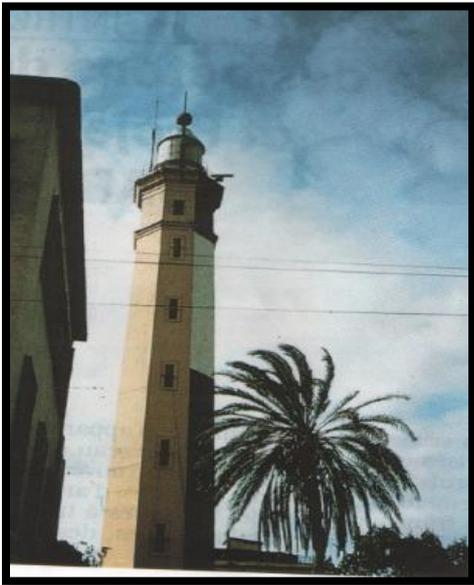
Le béton de sable est un matériau ancien, utilisé bien antérieurement au béton traditionnel d'aujourd'hui. Il trouve ses origines au milieu du 19^{ème} siècle c'est à dire au début du développement du ciment armé.

- En 1853 l'ingénieur François COIGNET a conçu ce qu'il appelait le béton aggloméré. Il s'agissait, en effet d'un mélange sans caillou, de cendres de scories de charbon brûlé, de terre argileuse cuite et pilée, de chaux hydraulique naturelle et d'eau en faible quantité.[2]
- En 1869, le phare de Port-Saïd en Égypte de 52 mètres de hauteur fut construit en béton de sable de plage avoisinante et chaux importée de France. Vers les années 1869 et 1872 un aqueduc de 40 km fut construit en béton aggloméré et sert à relier Fontainebleu à Orléans. Cette fois le mélange était constitué de 4 parts de sable de Fontainebleu et une part de liant (2/3 chaux, 1/3 ciment) et de 0,5 part d'eau ; ce qui correspond à un dosage en liant de 400 kg/m³; très proche du dosage du béton de sable que de celui des mortiers.

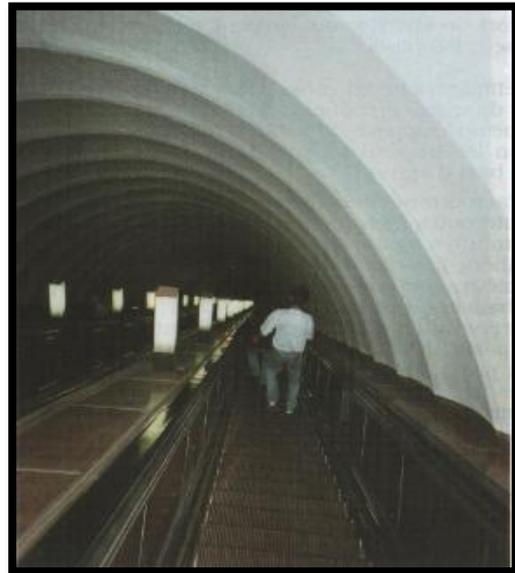
- En 1918, une expérience très originale fut faite par Nicolas de Rochefort, à Saint-Pétersbourg. Cette expérience consistait à broyer ensemble une part de sable avec une autre part égale en ciment. Ce produit de broyage était ensuite mélangé avec trois parts de sable. Les résistances obtenues par le mélange furent les mêmes que celles d'un mélange composé d'une part de ciment et 2 parts de sable.
L'union soviétique, riche en sable, mais pauvre en gravillons et roches massives sur de vastes étendues, ne cessa, principalement depuis 1941, de faire du béton composé de sable et d'un ou deux liants (ciment et chaux), selon les opportunités. Les réalisations sont nombreuses. Citons parmi bien d'autres :
 - les pistes d'aérodromes militaires de Pevec et Arkangelsk ;
 - routes et autoroutes (Serpukhov-Toula par exemple) ;
 - bâtiments (toitures à plis, éléments divers préfabriqués dans la ville de Nadym, en Sibérie par exemple) ;
 - tunnels et métros (ombrelles d'étanchéité),
 - mobiliers urbains et éléments architecturaux ;
 - travaux de rénovation d'ouvrages d'art (ponts, égouts, etc.). Notons ici l'importance Particulier et la technicité acquise du béton de sable mis en œuvre par projection ;
 - voiles édifiés par coffrages glissants sur de grandes surfaces (Moscou, Voronej notamment) ;
 - tamponnage de puits de pétrole épuisés.
- En France, en raison de l'abondance de granulats de gros calibre permettant d'obtenir plus facilement des résistances élevées, les bétons de sable ne connurent pas de réel développement jusqu'à la décennie 1970-1980.
- Dans les années soixante-dix, notamment en France, on constatait que les sables provenant de concassage des roches massives sont excédentaires, alors les extractions de granulats dans les lits des fleuves et des rivières compromettent les équilibres écologiques avec des conséquences irréversibles. Dans ce contexte s'ouvre la réflexion sur la formulation des nouveaux bétons de sable qui utiliseraient les ressources peu exploitées, ou complètement abandonnées et présenteraient des caractéristiques comparables à celles des bétons traditionnels.
- A partir des années quatre-vingt, après le succès des premières applications de ce béton à l'initiative du laboratoire régional des ponts et chaussées de Bordeaux, et qui ont trouvé un écho auprès des autres organismes, que le béton de sable retrouve son

grand intérêt au stade où on a enregistré un projet national appelé SABLOCRET [3], pour la promotion et le développement de ce matériau.

- Mais promouvoir le développement de l'usage courant des bétons de sable nécessite de regrouper les initiatives et d'élaborer un solide programme de travail permettant d'enrichir les connaissances sur le matériau, son comportement et ses modes de mise en œuvre.
- En Algérie malgré l'intérêt qui pourrait apporter ce matériau au pays aucun programme n'a été mis en place, à l'exception d'une initiative du CNERIB en 1988 malheureusement abandonnée avant de reprendre les recherches ans les deux dernières années précédente.



Photos I.1(a) : Phare de Port- Saïd [3]



Photos I.1(b) : Métro de Saint Petersburg [3]

I.4 Les composants des bétons de sable :

I.4.1 Le sable :

Par sables on entend tous granulats 0/D conformes aux définitions des normes NFP 18-101 et NFP 18-301. Il peut s'agir soit d'un sable naturel alluvionnaire ou de ballastière, soit d'un sable de carrière issu du concassage d'une roche massive ou détritique. Aucun critère granulaire n'est à priori exigible pour réaliser un béton de sable : on peut utiliser aussi bien un sable fin même (homométrique, type sable de dune) qu'un sable alluvionnaire moyen ou grossier ou de type (0/D) de concassage. La seule restriction d'emploi des sables réside dans leur propreté. Même si des études ont été faites sur les sables- pollués, aucune

application n'a été réalisée avec ces sables. Les sables riches en fines naturelles nécessitent généralement beaucoup plus d'eau de gâchage, ce qui entraîne une chute de la résistance. Mais il est plus prudent à ce stade de se limiter à l'utilisation des sables propres tels qu'ils sont employés pour les bétons classiques [3].

I.4.1.1 Classification des sables selon leurs provenances :

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

- **Sable de rivière** : il est obtenu par dragage des lits des cours d'eau. Il doit être dur et propre pour qu'on puisse l'utiliser dans les bétons.
- **Sable de mer** : il provient des côtes de la mer. Pour l'utiliser dans les bétons, il faut qu'il ne soit pas trop fin et qu'il soit lavé de son sel.
- **Sable de carrière** : Il contient souvent de l'argile qui enrobe les grains et les empêche d'adhérer aux liants. Il est donc à proscrire.
- **Sable artificiel** : il est obtenu par concassage des roches (calcaires durs, gré ...). Il est souvent plein de filler. Pour qu'il soit utilisable dans les bétons, il faut limiter le pourcentage des fines.
- **Sable de dune** : c'est une variété des sables de mer. Il est donc très fin. Les sables de dune se trouvent dans les régions sud du pays. Ils sont situés en zone présaharienne. Les sables retenus sont ceux issus des dunes continentales. Ces dunes sont constituées des nombreux amas de sables fins accumulés dans certaines régions spécifiques du Sahara. [14]

I.4.2 Le ciment :

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

D'un point de vue minéralogique, le ciment peut être définie comme un mélange d'oxyde basique, CaO noté C, et d'oxydes acides ou amphotères comme SiO₂, noté S, AL₂O₃, noté A, ou Fe₂ O₃, noté F, en notation cimentaire [4].

I.4.2.1 Les constituants des ciments courants :

Tous les ciments courants ont pour constituant de base le **clinker** qui assure la fonction liante grâce à laquelle on passe d'un état initial de fluide modulable à un état final de solide mécaniquement résistant; **la norme NF P 18-301** spécifie que le clinker doit être constitué d'au moins deux tiers en masse de silicates de calcium.

- Le clinker est accompagné de sulfate de calcium (le gypse) nécessaire pour régulariser la prise (le ciment reste coulable pendant une période suffisamment longue afin de permettre sa mise en place).
- Les quatre principaux constituants du clinker sont :
 - - Le silicate tricalcique : C_3S .
 - -Le silicate bi calcique : C_2S .
 - -L'aluminate tricalcique : C_3A .
 - -L'alumino-ferrite tétra calcique : C_4AF .
- Suivant le type, les ciments courants peuvent contenir d'autres constituants comme les laitiers granulés de haut fourneau, les pouzzolanes naturelles, les cendres volantes siliceuses ou calciques, les schistes calcinés, les calcaires et les fumées de silice... ces constituants sont définis et spécifiés par « **la norme NF P 15 301** »[5].

I.4.2.2 Classification des ciments suivant les résistances à la compression :

La norme européenne NF EN 197-1 [1] classes les ciments courant d'après leur résistance à la compression (résistance normale) déterminée conformément à la norme EN 196-1, mesurée à 28 jours en six classes de résistance Tableau I.1 [6].

Tableau I.1 : Exigences mécaniques définies en termes de valeur caractéristiques : [6]

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

I.4.3 L'eau :

Pour le béton de sable, on doit veiller à réduire le dosage en eau et par conséquent le rapport E/C afin d'augmenter sa résistance. Le choix du filler a aussi une influence sur le dosage en eau.

I.4.4 Les fines d'ajout (ou additions) :

La qualité essentielle du béton de façon générale est sa compacité. Les paramètres essentiels qui vont jouer sur la compacité sont :

- La granulométrie du mélange et sa teneur en eau.
- L'énergie de mise en place.

L'optimisation de la compacité, en relation avec la granulométrie, obéit à certaines règles. Le Principe est simple : les éléments les plus fins se logent dans les vides des éléments les plus gros ; c'est en quelque sorte le principe des tables gigognes. Et ces fines sont du ciment, puisque la qualité nécessaire de ciment pour assurer la résistance coïncide avec celle qu'il faut en fines pour obtenir la bonne compacité. Cette concordance entre besoin en fines et dosage en ciment se traduit par la règle bien connue de : $C = 550/\sqrt[5]{D}$ ou $C = 700/\sqrt[5]{D}$ (Selon l'usage du béton). Donnant le dosage minimum en ciment en fonction du diamètre (D) du granulat employé [3].

Tableau I.2 : Relation entre la granulométrie et le dosage en ciment [3]

Granularité	$\sqrt[5]{D}$	$550/\sqrt[5]{D}$	$700/\sqrt[5]{D}$	
0/25	1.904	290	370	BETON
0/20	1.821	300	385	
0/16	1.741	315	400	
0/8	1.516	360	460	
0/6.3	1.445	380	480	MORTIER
0/4	1.320	415	530	
0/2	1.149	480	610	
0/1	1.000	550	700	

On distinguera deux types de fines : les fines actives (laitiers moulu, cendre volantes, fumé de silice, pouzzolanes broyées...) et les fines inertes (fines calcaires, ou de broyage de roches massives...)

Les dosages en fines d'addition seront souvent importants : entre 70 et 220 Kg/m³ et même au-delà. Par voie de conséquence leurs caractères (nature géologique, forme, etc.) vont influencer grandement sur les caractéristiques de la formule employée. On peut constater que, à dosage constant en fines d'addition :

- la maniabilité est améliorée quand le rapport eau/ciment augmente :
- pour un rapport eau/ciment fixé, la maniabilité dépend de la nature et du dosage en fines d'addition.

Nous citerons deux types de fines (fillers) que nous allons utiliser dans notre étude : la fumée de silice (fines actives), et les fillers calcaire (fines inertes).

- ✓ Le terme filler fait référence à tout produit obtenu par broyage ou par pulvérisation de certaines roches (calcaire, basalte, laitiers, bentonite, cendres volantes...) naturelles ou non.

I.4.4.1 Filler calcaire [NF P18-508]

Les fillers calcaires sont des produits secs finement divisés, obtenus par broyage et/ou sélection, provenant de gisement de roches calcaires pouvant être dolomitiques, massives ou meubles.

Les fillers calcaires conformes à la norme **NFP18-508** sont du type inerte selon la norme **EN 206-1** et sont substituable au ciment au sens et sous les conditions de cette norme [7].

I.4.5 Les adjuvants :

Il y a déjà longtemps qu'a été remarquée et étudiée l'action sur les bétons de ciment de certain produit employés en faibles quantités. Cependant, ce n'est guère que depuis une trentaine d'années que sont apparus, de plus en plus nombreux sur le marché, des produits d'addition couramment désignés maintenant sous le nom. « D'adjuvants ». On peut admettre qu'en France la proportion de béton « adjuvantes » dépasse 10 %. [5]

I.4.5.1 Les superplastifiants :

Le résultat de leur ajout est une maniabilité et ouvrabilité du béton par défloculation des grains de ciment. A un certain seuil de consistance, leur avantage est la réduction de la quantité d'eau pour le malaxage et la mise en place du béton qui aura pour conséquence l'accroissement des caractéristiques mécaniques du béton [11].

I.4.5.2 Influant du dosage en superplastifiant :

Pour augmenter la maniabilité d'un béton, le dosage normal des superplastifiants est compris entre 1 et 3 litres par mètre cube de béton, pour des superplastifiants sous forme liquide contenant 40% de matériaux actifs. Lorsque les superplastifiants sont utilisés pour réduire la teneur en eau du béton, leur dosage est beaucoup plus élevé et se situe entre 5 et 20 litres par mètre cube de béton.

Pour déterminer le dosage optimal en superplastifiant, on peut étudier la rhéologie d'un coulis ayant un rapport eau/ciment relativement faible, en mesurant l'étalement au mini cône ou l'écoulement au cône de Marsh. Les courbes obtenues pour différents dosage en superplastifiants, présentent une cassure très nette lorsque l'on atteint un certain dosage. Cette cassure est appelée point de saturation, et au-delà de ce point, il est inutile de rajouter du superplastifiants parce que la fluidité du coulis ne peut plus être améliorée et un dosage excessif risque de retarder indument le durcissement du béton et de créer un phénomène de ségrégation [7].

I.4.5.3 Les caractéristiques physiques et chimiques des super plastifiants :

Tableau I.3 Les caractéristiques physiques et chimiques des super plastifiants [10] :

	PLASTIMENT BV40	MEDAPLAST SP40
	Aqueuse	Liquide
Couleur	Brun foncé	Marron
PH	4.5±1	8,2
Densité	1.185±0.015	1,20 ± 0,01
Teneur en chlore (g/L)	< 0.1	< 1
Extrait sec (%)	39± 2.5	40
Dosage recommandé du poids de ciment (%)	0.3 à 1	0.6 à 2.5
Effet	Présente un effet Retardateur	Ne présente pas d'effet Retardateur

I.5 Propriétés essentielles des bétons de sable :

I.5.1 Granulométrie-maniabilité :

Une des particularités des bétons de sable est de nécessiter davantage d'eau que le béton classique ; ceci traduit par des valeurs du rapport E/C (eau/ciment) systématiquement supérieur à 0,5, ce rapport se situant généralement entre 0,6 et 0,7. Cette particularité est due à une surface spécifique plus importante du mélange : d'ailleurs, si l'on considère non plus le rapport E/C, mais le rapport E/C+A (A=Addition en fines), on obtient des valeurs similaires aux bétons traditionnels. La granulométrie du sable jouera également sur le besoin en eau : plus le sable est riche en éléments grossiers, plus la maniabilité s'améliore. Ceci se traduit par une relation entre module de finesse et maniabilité. [3]

La figure (I.1) qui exprime une relation entre le module de finesse et la maniabilité.

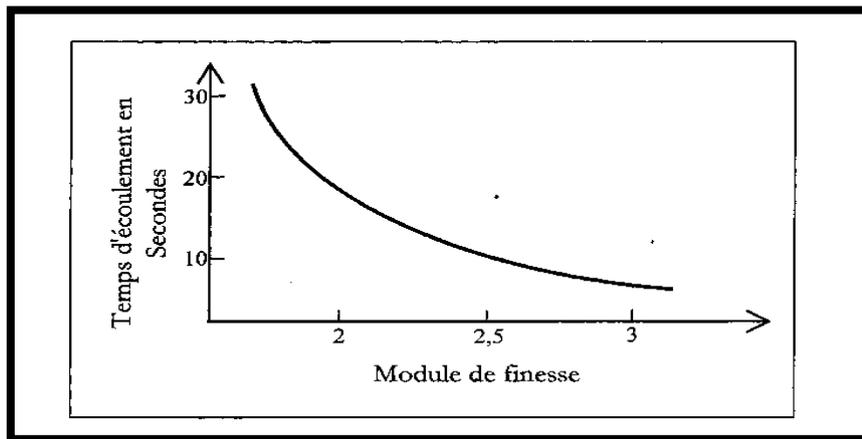


Figure I.1: Le temps d'écoulement en fonction du module de finesse [3].

I.5.2 Granulométrie- résistance :

A dosage en ciment constant, la résistance peut être différente en fonction d'un certain nombre de paramètres et en particulier :

- **La finesse de l'addition :**

Plus l'addition est fine plus elle est efficace au niveau du gain en compacité et donc du gain en résistance ; ce résultat est valable quelle que soit la granulométrie du sable (sable alluvionnaire, sable de dune...).

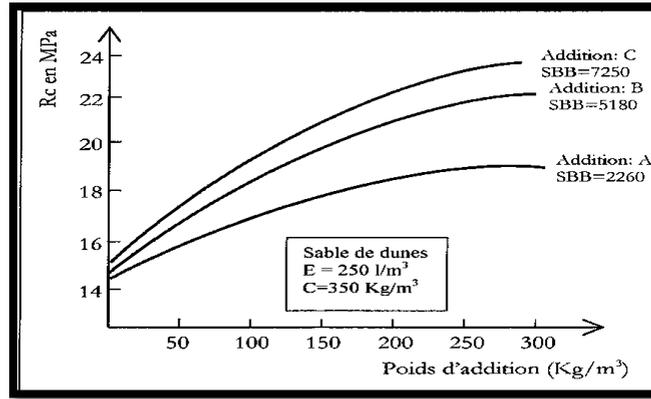


Figure I.2: Effet du dosage et de la finesse de l’addition sur la résistance à la compression [3].

- **La nature de l’addition :**

A même dosage, la figure I.3, permet de constater l’extrême diversité du niveau de performance atteint selon la nature du filler ; si l’addition de fines permet d’améliorer systématiquement la résistance, ce gain est en effet très variable.

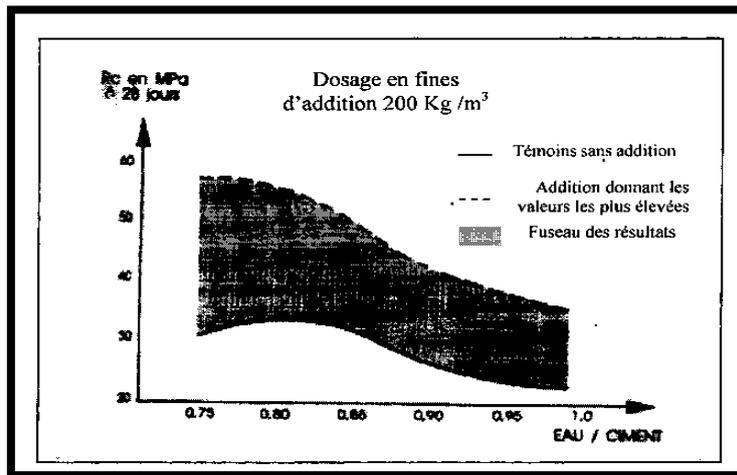


Figure I.3 : Influence de la nature de l’addition sur le niveau de résistance à la compression. [3]

Pour cette étude **Boudaoud [15]** a utilisé un sable de dune qui provient de région de Boussaâda qui a un module de finesse **MF** égale à **2** et contient un fort pourcentage en vide ou la porosité égale à **40%**.

Pour compenser l’absence de gros granulat et pour remplir l’important volume de vide,

Boudaoud [15] a proposé a chaque fois de remplacer une quantité de sable par du filler calcaire de manière a garder le dosage en ciment fixé (**350 Kg/m³**).

Les fillers calcaires utilisés sont F3 de la carrière d'EL-EUCH et F1 de la carrière d'AIN TOUTA.

Les résistances à la compression obtenues sur des éprouvettes (4x4x16) cm sont représentées par la figure (I.4)

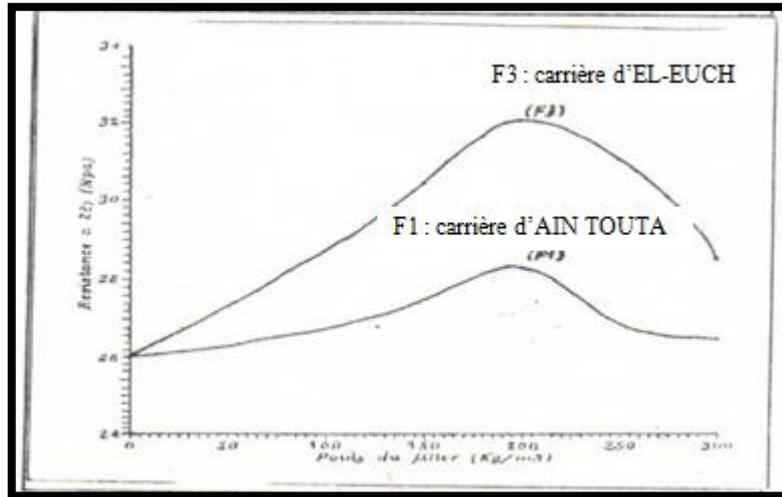


Figure I.4: Résistance à la compression du béton de sable F1 et F3 [15]

- La dimension du D_{max} :

Pour une même valeur du rapport E/C, on constate (figure I.5) que l'effet du diamètre D_{max} du plus gros granulat est peu important et en tout état de cause, pas défavorable aux sables. Cependant on constate que la maniabilité est très différente selon le type de sable.

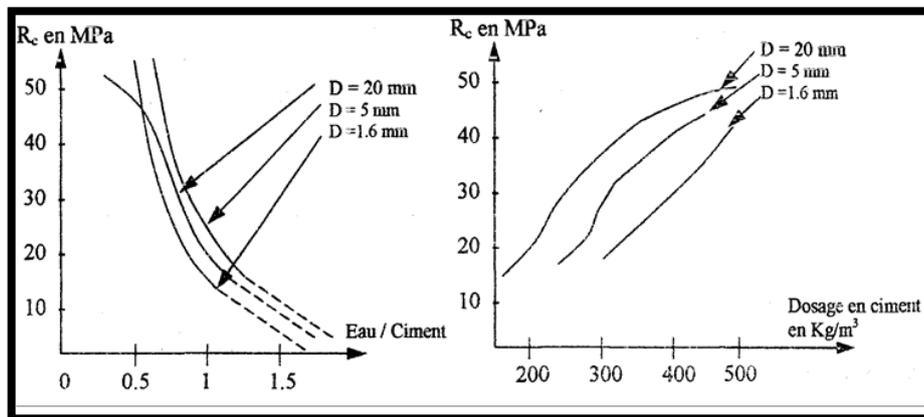


Figure (a)

Figure (b)

Figure I.5 : Effets de la granularité sur la résistance. [3]

D'après (M.GOTEICHA, M.M.KHENFER et M.BEDERINA) [18] Présentent l'évolution de la résistance à la compression en fonction du dosage en copeau de bois. Les résultats de résistance à la compression sont présentés sur la figure I.6 :

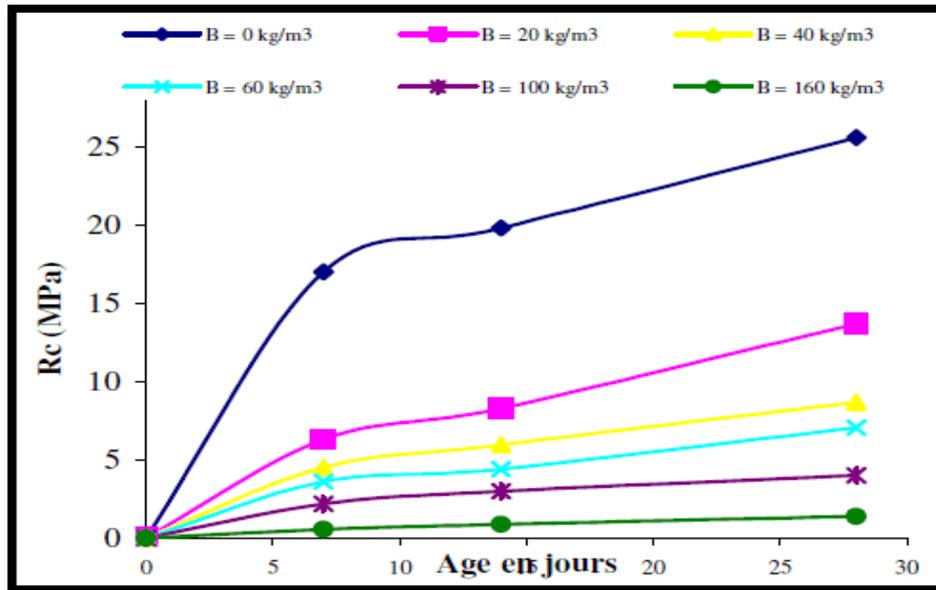


Figure I.6 : Evolution de la résistance à la compression en fonction de dosage en copeau de bois non traités et de l'âge. [18]

I.6 durabilité :

Le béton de sable étant un béton, il se doit être durable, et c'est le cas. En effet, comme un béton classique, les mêmes facteurs influent sur la durabilité : porosité, fissuration, corrosion des armatures, agressions chimiques.....etc. c'est de la même façon qu'on y remédie, essentiellement en recherchant la compacité, c'est-à-dire en prenant en compte la granulométrie des constituants et leur complémentarité. Les soins dans la formulation et la fabrication, l'utilisation d'adjuvants appropriés et le respect de quelques règles élémentaires à la mise en œuvre sont autant de gages pour obtenir des bétons de sable compacts et durables.

Enfin les données sur la durabilité sont encore peu nombreuses, encore que rassurantes on cite souvent des réalisations en béton de sable plus que centenaires aqueduc de la vanne, phare de Port-Saïd en Egypte, le grand mur de retenue qui domine la place du Trocadéro à Paris, etc. [12]

I.7 Retrait :

I.7.1 Retrait hygrométrique :

Le retrait est la diminution de longueur ou de volume du béton au cours du temps. Mais lorsqu'il est conservé dans l'eau, le retrait devient presque nul. [13]

I.1.7.2 Retrait sous charge ou fluage :

Le retrait était plus important lorsque le béton était conservé en étant soumis à une compression. Il existe donc un retrait sous charge, ou fluage, qui vient s'ajouter au retrait hygrométrique. [13]

I.8 Intérêts et limites des bétons de sable :

Le béton de sable, comme tout autre matériau, a des intérêts et des limites :

I.8.1 Intérêt des bétons de sable :

Dans de nombreux usages, le béton ne nécessite pas un niveau très élevé de résistance. Cependant il exige, parfois, des caractéristiques qui peuvent être mieux assurées par le béton de sable. Parmi ces caractéristiques :

- **La maniabilité** : le béton de sable, étant plus maniable, permet de faciliter la mise en œuvre, de diminuer l'énergie de la mise en place et d'augmenter les longueurs de pompage.

- **La cohésion et l'absence de ségrégation** : le béton de sable assure une assez bonne cohésion et une absence de ségrégation qui est due à la variation peu importante entre les dimensions des grains.

- **Le poids plus faible** : C'est une propriété recherchée dans les travaux de réhabilitation des structures anciennes ou pour le remplissage des structures neuves.

- **faible granularité** : Ce qui rend le béton de sable utile dans les travaux d'injection et pour le bétonnage d'un milieu fortement ferrillé.

- **Bel aspect de surface** : le béton de sable permet la réalisation d'effet architectonique tant sur la forme que sur l'aspect.

Ajoutons à tout ceci l'abondance de la matière première dans certaines régions et la raréfaction des gros granulats.

I.8.2 Limites des bétons de sable :

A l'heure actuelle, les connaissances sur le béton de sable ne permettent pas un remplacement systématique du béton classique, soit pour des raisons économiques, soit pour des raisons techniques.

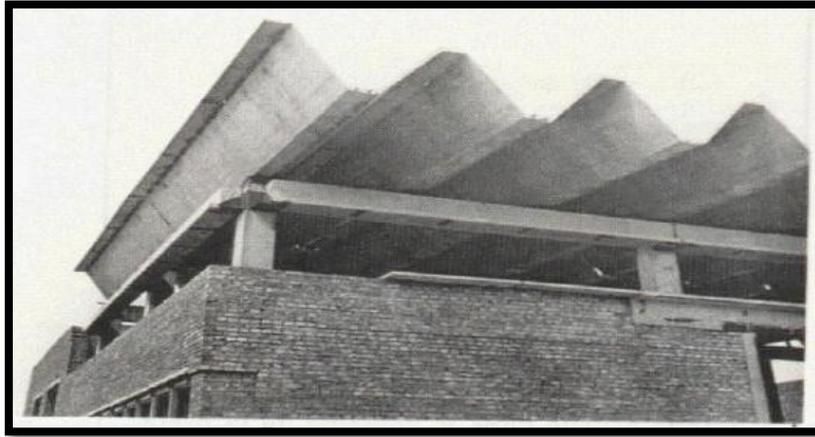
-Raisons économiques : L'expérience a montré que, par l'utilisation des ajouts, on peut augmenter d'une façon considérable la résistance d'un béton de sable. Toutefois, la multiplication des ajouts ou l'augmentation du dosage en ciment ne sont pas sans incidence sur le coût. Dans la mesure où ce béton n'apporte pas "un plus" dans l'usage envisagé, il est donc inutile de chercher des performances supérieures. Tout sera donc fonction du contexte local en matière de granulats et de l'usage envisagé. En ce qui concerne notre pays il existe des déchets de carrière de concassage à partir desquels nous pouvons tirer des fillers. Il existe également des fillers naturels dans certaines régions, notamment dans le sud du pays.

-Raisons techniques : On n'a que peu de connaissances sur les caractéristiques et le comportement du béton de sable, comme le retrait, le fluage et la durabilité, ce qui exclut, peut-être, ce matériau des éléments fortement sollicités ou précontraints. [14]

I.9 Domaines d'application :

Le béton de sable peut être utilisé dans différents domaines, et sous plusieurs formes. La plupart des applications actuelles tiennent davantage à ses propriétés spécifiques. Les figures suivantes illustrent ces applications :

- **La préfabrication :** Le béton de sable peut être utilisé dans la préfabrication pour des murs architecturaux, pour des mobiliers urbains, en bâtiment et en voirie (Photos I.2).



Photos I.2: Le béton de sable dans la Préfabrication. [14]

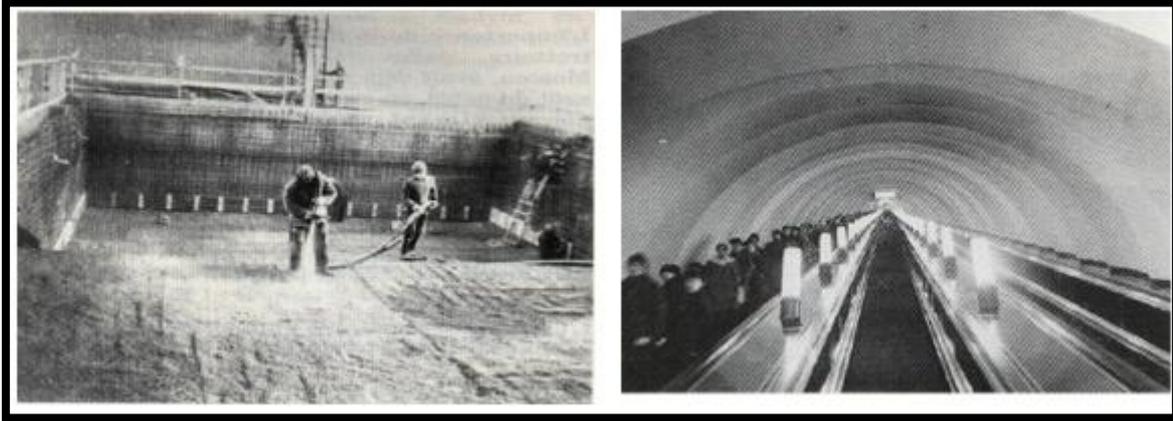
- **La projection** : Le béton de sable peut être également utilisé en projection dans des travaux de rénovation, de ponts, d'égouts visitables et de bâtiments (Photos I.3)



Photos I.3: Le béton de sable en projection.

(Projection sur surface ancienne - Vue de détail avec nouveau ferrailage). [14]

- **Béton de sable coulé**: Il peut être coulé sur place dans les routes et autoroutes, dans les aéroports et en bâtiment (**Photos I.4**).



Réalisation d'une piscine

Tunnel d'accès au métro de Leningrad

(Exemple d'application d'ombrelles)

Photos I.4: Le béton de sable coulé. [14]

I.10 Méthode de formulation de béton de sable :

I.10.1 Méthode théorique de formulation :

I.10.1.1 La compacité et les méthodes de formulation des bétons :

Les granulats d'un béton jouent un rôle d'ossature et la pâte (généralement le ciment avec l'eau) assure dans un premier temps un rôle rhéologique (cohésion et écoulement) puis joue le rôle d'une colle permettant de développer les propriétés mécaniques et de durabilité du matériau durci.

Le premier problème qui se pose lors d'une formulation d'un béton est la compacité du squelette granulaire définie comme le rapport du volume des constituants solides sur le volume total du mélange, il faut assurer au mélange une compacité maximale et donc diminuer au maximum la porosité. Cependant la détermination de cette compacité maximale n'est pas facile et fait l'objet de modélisation poussée. Caquot a pu établir à partir des résultats expérimentaux une relation mathématique entre le volume des vides (V) d'un mélange granulaire et son étendue granulaire (d/D_{\max}).

$$V = V_0(d/D_{\max})^{1/5}$$

.....(1)

V : Volume des vides du mélange granulaire ;

V_0 : Constante expérimentale comprise entre 0,7 et 0,8 ;

d : La dimension du plus petit grain de l'étendue granulaire ;

D_{max} : La dimension du plus gros grain de l'étendue granulaire.

Cette formule a innové le domaine de formulation des bétons et elle est à la base de nombreuses méthodes utilisées telles que l'approche de Faury, Bolomey, Dreux, etc. Elle trouve aussi son application aux bétons de sable pour la détermination des différents dosages des constituants, tout en faisant quelques adaptations à ce cas précis.

I.10.1.2 Estimation de dosage en fines d'un béton de sable:

Dans le but d'optimiser la compacité du béton de sable, les constituants du mélange sont séparés en deux fractions:

1. Les éléments fins qui regroupent tous les grains de taille inférieure à 80 μm et qui sont le ciment, les fines d'ajout et une fraction du sable.
2. Toute l'étendue du sable comprise entre 80 μm et le diamètre maximal du sable D_{max} , ainsi que l'éventuelle fraction des éléments supérieurs à 80 μm . provenant des fines d'ajout.

En faisant cette distinction entre les fines incluant les éléments inférieurs à 80 μm et l'étendue du sable comprise entre 80 μm et le diamètre maximal, la porosité (P_s) du sable peut être calculée selon la formule de Caquot :

$$P_s = 0.75 (0.08/D)^{1/5}$$

.....(2)

La constante expérimentale (V_0) est prise comme étant la moyenne des valeurs extrêmes (0.7-0.8).

Un dosage optimal en fines d'ajout sert à compléter l'étendue granulaire bornée inférieurement par la coupure 80 μm , et à combler la porosité du sable ainsi calculée.

En effet, il est impossible de prendre en compte la distribution de la taille pour les fines d'ajout car l'assemblage géométrique relève surtout des forces électriques inter-granulaires. En apportant quelques simplifications, Caquot s'est rendu compte que le volume de l'ensemble des particules

fines ($< 80\mu\text{m}$) et le volume des vides associé à l'empilement de ces fines sont égaux, autrement dit le volume des vides restant dans le mélange est égal au volume de l'ensemble des fines d'ajout.

Il suffit de combiner les deux résultats précédents de Caquot pour en déduire que le dosage volumique optimal en fines d'ajout est la moitié de la porosité du sable et que l'autre moitié correspond à la porosité minimale résiduelle.

$$[\text{Fines}] = 0.38 (0.08/D_{\text{max}})^{1/5} \dots(3)$$

Cette dernière formule montre que le dosage en fines dépend surtout de la dimension du plus gros grain, il apparaît très clair que plus le diamètre maximum diminue plus le dosage en fines augmente. Voir figure (I.7)

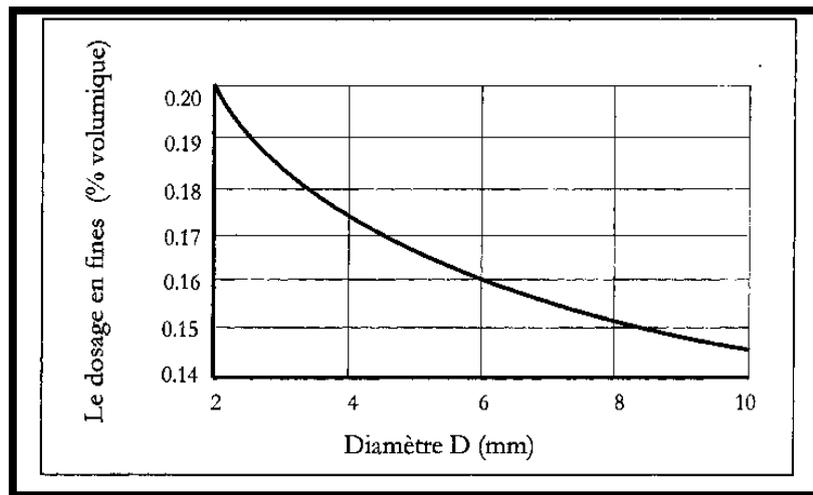


Figure I.7: Influence du diamètre D du sable sur le dosage en fines. [3]

I.10.1.3 Dosage en eau d'un béton de sable :

Après optimisation du squelette granulaire, la compacité maximale conduisant à une porosité minimale ne sera atteinte que si la consistance le permet ; pour cela d'autres travaux de Caquot sur la compacité ont abouti à une autre relation à partir de la relation de base, en admettant que la porosité du squelette granulaire se décompose en la somme d'un volume d'eau et d'un volume de vide piégé notés respectivement e et v.

$$(e+v)_{\text{min}} = 0.8 [d/D_{\text{max}}]^{1/5} \dots(4)$$

Cette formule exige la connaissance de la plus petite dimension de l'étendue granulaire du mélange (d). L'estimation de cette valeur dans le cas d'un mélange totalement dé-floculé (chaque particule élémentaire agit indépendamment) est donnée par la formule suivante :

$$d = (60 / (f)) \text{ mm} \times \rho \quad \dots(5)$$

Avec:

f : surface spécifique exprimée en cm^2/g du constituant.

ρ : Densité du constituant exprimée en g/cm^3 .

C'est la moyenne harmonique de la dimension des grains les plus fins du constituant assimilés à des sphères. Cette définition de (d) ne peut pas être retenue pour les mélanges floculés: la dimension des floes relevant des considérations physico-chimiques très complexes. Un ordre de grandeur peut être avancé de l'ordre de 20 à 25 μm pour le diamètre ; ainsi l'élargissement de l'étendue est la seule solution pour la réduction de la porosité théorique minimale comme la figure (I.8) le montre :

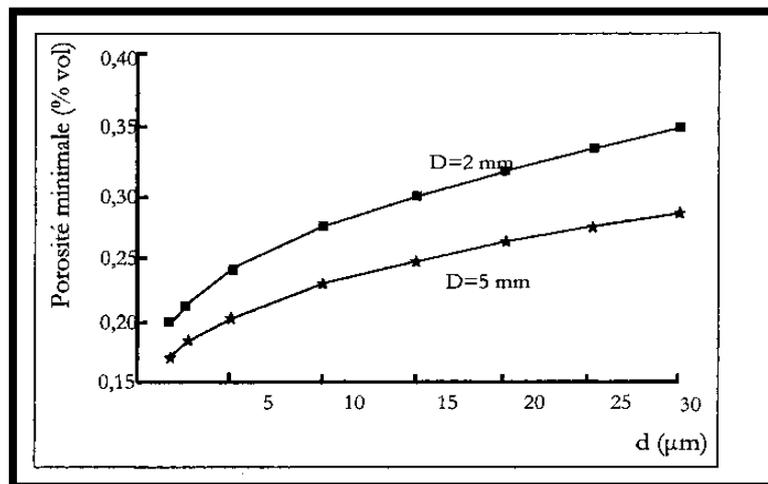


Figure I.8.: Influence de la dimension d sur la porosité minimale du béton pour deux tailles du sable. [3]

On remarque que la porosité minimale d'un mélange granulaire varie considérablement avec son étendue granulaire, mais cette porosité est décomposée en un volume d'eau (e) et un volume de vides (v)

En pratique, confectionner un béton avec les strictes quantités d'eau conduit à une mauvaise ouvrabilité ; la figure (I.9) nous montre la relation entre l'ouvrabilité et le dosage en eau.

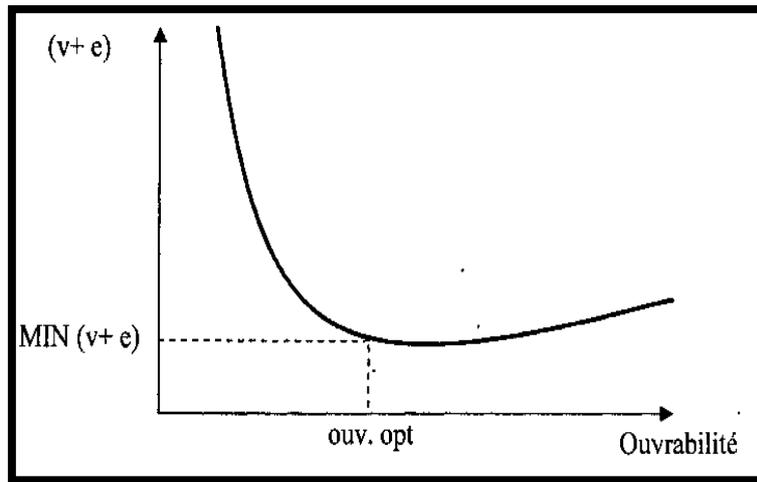


Figure I.9 : Relation entre l'ouvrabilité et le dosage $(e + v)$ d'une matrice pour une mise en œuvre donnée. [3]

L'expérience montre que pour des quantités d'eau inférieures à la quantité d'eau permettant d'obtenir l'ouvrabilité optimale, le mélange piégera une forte quantité d'air quelques soient les moyens de serrage utilisés, et par suite une porosité $(e+v)$ supérieure à $(e+v)_{\min}$, alors pour des quantités d'eau supérieures à celle qui donne l'ouvrabilité optimale, la quantité d'air piégée reste stable et l'ouvrabilité augmente de façon linéaire.

Finalement, pour estimer le dosage en eau, il faut préalablement évaluer la quantité d'air piégée. Dans les bétons de sable cette quantité est légèrement supérieure à celle des bétons ordinaires et la formule qui suit conduit à des teneurs en air de l'ordre de 3 à 5%.

$$[\text{Vides}] = K [\text{eau}] \quad \dots(6)$$

Avec :

K : constante comprise entre 0.2 et 0.25.

I.10.1.4 Estimation du dosage en sable :

Afin de compléter un volume unitaire de béton de sable, (1m^3), de la formulation, le dosage en sable est obtenu en faisant soustraire au mètre cube du mélange les dosages estimés précédemment des autres constituants (fines, eau, vide).

$$[\text{Sable}] = 1000 - [\text{fines}] - [\text{eau}] - [\text{vide}] (\text{l/m}^3) \quad \dots\dots(7)$$

Il reste à noter que le volume du sable ainsi calculé regroupe toutes les particules de taille supérieure à $80\mu\text{m}$, soit du sable, soit de la fraction des fines d'addition.

I.10.1.5 Estimation de la résistance en compression :

Après avoir optimisé la compacité et déterminé les différentes proportions des constituants, il est jugé nécessaire d'évaluer la résistance à la compression de ce mélange. Pour ce faire, comme tous les autres mélanges à base de ciment, les méthodes classiques sont adaptées. Ces méthodes faisant intervenir la contribution de tous les paramètres influant sur la résistance : le squelette granulaire, la nature des liants, et les dosages des constituants de la pâte.

Dans le cas de bétons formulés avec des fines potentiellement réactives, une généralisation de formule de FERET a été proposée récemment.

$$R_b = \frac{K_f \times R_c}{\left(1 + \frac{3.1(e + v)}{c(1 + K_1 + K_2)}\right)^2} \quad \dots\dots(8)$$

Avec :

K_f : coefficient granulaire compris entre 4.5 et 5 ;

R_c : Classe vraie du ciment (MPa)

E : dosage en eau total ($1/m^3$) ;

V : air piégé ($1/m^3$) ;

C : dosage en ciment (kg/m^3) ;

Rb : résistance à la compression du béton à 28 jours (MPa).

Avec :

$$K_1 = K_{cv}(CV/C) + K_{fs}(FS/C) \dots\dots\dots (9)$$

$$0.2 < K_{cv} < 0.4 \qquad 0.2 < K_{fs} < 3.3 \qquad K_1 \leq 0.5;$$

$$K_2 = K_{fil}(Fil/C) \dots\dots\dots (10)$$

$$0 < K_{fil} \leq 0.4 \qquad K_1 < 0.2$$

K_1 : coefficient pouzzolanique

K_2 : coefficient d'activité du filler calcaire.

K_{cv} , K_{fs} , K_{fil} : coefficients d'équivalence en ciment de différentes additions en fines.

CV, FS, FIL : dosage en cendres volantes, fumée de silice et filler de calcaire (Kg/m^3).

Cette formule ne peut être utilisée que par une identification précise de l'activité des additions par l'intermédiaire des coefficients déjà mentionnés. Les valeurs données pour les différents coefficients d'activité ont, ici, un caractère essentiellement indicatif, d'autres additions peuvent être également utilisées, telles que les fines siliceuses généralement considérées inertes et les fines de laitier qui peuvent présenter un caractère hydraulique non pris en compte dans la formule précédente, alors que d'autres paramètres pourraient influencer sur l'activité liante des fillers telles que la répartition granulaire, la forme des grains, et leur porosité. Cette activité pour chaque type de filler présente un optimum au-delà duquel elle ne développe plus des performances mécaniques. Voir figure (I.10)

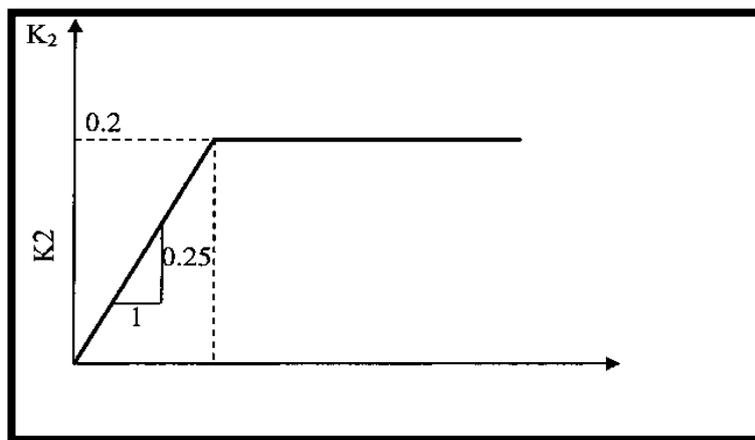


Figure I.10 : Coefficient d'activité du filler calcaire (modèle). [3]

Sur la base de la remarque de l'activité des fillers, un autre paramètre s'ajoute pour le dosage en fines, toute fois le dosage en fines est estimé en termes de compacité regroupant les fines d'addition et le ciment, alors que l'optimum de la résistance s'obtient en se fixant le rapport des dosages en fines d'addition-ciment au maximum d'activité. Le problème revient à résoudre le système de deux équations simples :

- Dosage en ciment + dosage en addition = dosage en fines.
 - Dosage en addition / dosage en ciment = optimum d'activité.
- Il en résulte de tout ce qui précède que cette formulation théorique simple et performante donne la possibilité à la formulation de jouer sur certains paramètres en restant à la compacité maximale, elle constitue une bonne base pour la mise au point d'une formulation de béton de sable. Tout de même elle ne peut être utilisée que dans un cadre limité, ceci est dû aux nombreuses hypothèses qui la jalonnent, c'est aussi pour ça que cette approche ne sera

I.10.1.6 Exemple théorique de formulation de béton de sable :

A titre d'exemple théorique, nous allons envisager la formulation de différents bétons de sable selon la méthode exposée précédemment.

- Cas le béton de sable [D =5mm] avec un ciment **CPJ55** (classe vraie 60 MPa), super plastifié. Nous reprenons le cas de formulation précédent avec pour seule différence, une défloculation des fines par le biais d'un adjuvant super plastifiant.

La qualité de fines est inchangée, à savoir, formule (3) :

$$[\text{Fines}] = 166 \text{ l/m}^3$$

Avec un mélange dé floclé, nous estimons la taille des plus petites particules à l'aide de la formule (6), pour une finesse de Blaine moyenne de **3000 cm²/g** pour le ciment (nous admettons que la finesse du filler est inférieure à celle du ciment) :

$$d = 0,0064 \text{ (mm)}$$

Soit, formule (4) :

$$[\text{Eau} + \text{vides}] = 211 \text{ (l/m}^3\text{)}$$

Et avec $k = 0,2$ et la formule (6) :

$$[\text{vides}] = 35 \text{ (l/m}^3\text{)} \text{ soit } 3,5 \%$$

$$[\text{Eau}] = 176 \text{ (l/m}^3\text{)}$$

Finalement, le dosage en sable est selon la formule (7) de :

$$[\text{Sable}] = 623 \text{ (l/m}^3\text{)}$$

Soit avec une densité de **2,7**, un dosage de 1680 (kg/m³).

Nous estimons alors la résistance en compression avec la formule de Ferret modifiée (8) en partitionnant les fines pour une utilisation optimale des fillers, soit un rapport **[filler/ciment]** d'environ **0,8**. Nous obtenons à nouveau :

$$\text{Ciment} = 268 \text{ (kg/m}^3\text{)} \text{ et } \text{Filler} = 215 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

D'où avec $K_F = 5$ et $K_2 = 0,2$:

$$R_C = 32,6 \text{ MPa}$$

Nous constatons que la simple défloculation des fines peut permettre d'obtenir des performances mécaniques très satisfaisantes, de l'ordre de **40%** supérieures au cas non défloculé, en maintenant le même dosage en ciment. Acceptée qu'après passage à l'expérience qui la confirme ou l'ajuste.

I.10.2 Méthode expérimentale de formulation :

I.10.2.1 Présentation générale de la méthode expérimentale :

La méthode expérimentale, doit permettre de formuler un béton de sable mais son but n'est pas d'expliquer ou de formaliser les phénomènes qui entrent en jeu dans la formulation des bétons.

D'autres méthodes expérimentales existent, elles peuvent différer en fonction des approches théoriques et des habitudes de travail, toutefois, l'objectif reste le même : formuler un béton qui soit le plus compact possible, et par conséquent de bonnes performances.

Dans cette méthode, on travaille à dosage en ciment fixe, de manière à mieux répondre aux prescriptions contractuelles ou normatives qui imposent bien souvent un dosage minimum.

Cette méthode est une adaptation de la méthode dite BARON-LESAGE, elle est itérative et basée sur la réalisation de gâchées légères. Les gâchées sont caractérisées par des mesures de la maniabilité, au Maniabilimètre à mortier LCL, et de la masse volumique apparente.

Différentes formulations de bétons de sable ont déjà été réalisées par cette méthode, on cite à titre d'exemple: le béton de pieux, le béton routier, le béton de projection etc., et ont donné pleine satisfaction.

I.10.2.2 Les différentes étapes de la formulation :

I.10.2.2.1 Détermination d'une formule de base sans fines d'addition :

Dans cette partie de la méthode, nous chercherons à déterminer une formule de un mètre cube, constituée de ciment, d'eau, de sable et d'adjuvants, ayant une maniabilité adéquate.

a) Dosage en ciment :

Les prescriptions contractuelles ou normatives imposent très souvent un dosage minimum en ciment par mètre cube de béton, en fonction du type d'ouvrage ou bien de l'agressivité du milieu. On choisit donc de travailler avec un dosage en ciment fixé qui ne variera pas tout au long de l'étude, on le note C (Kg/m³).

b) Dosage en eau :

A ce stade de la méthode, une valeur approximative du dosage en eau, E (l/m³), suffit. Pour estimer ce dosage, les praticiens s'appuient sur l'expérience. Par exemple, on peut prendre 230 litres d'eau pour 350 Kg de ciment.

c) Détermination du dosage en sable :

Dans cette formule, il faut introduire un fluidifiant réducteur d'eau, au dosage préconisé par le fabricant (N% du poids des éléments inférieurs à 80 µm en extrait sec), qui permettra de défloculer les fines. D'autre part, un béton contient toujours un volume d'air, V_{air}, la teneur en air des bétons de sable est toujours supérieure à celle des bétons ordinaires et se situe entre 5 et 7 % de volume du béton.

Les quantités de ciment, d'eau, d'adjuvant et d'air sont connues, nous devons donc compléter la formule par du sable de manière à obtenir un mètre cube de béton; on aboutit à la relation suivante:

$$V_{\text{air}} + V_c + V_E + V_{\text{adj.}} + V_{\text{sable}} = 1\ 000 \text{ (En litres).}$$

Les masses volumiques des constituants du béton sont connues, alors, on peut connaître la masse de sable pour une formule de un mètre cube du béton S (Kg/m³).

d) Réglage de la maniabilité et du rendement de la formule :

Lorsqu'on fait la confection de la formule initiale du béton, et la détermination de :

- La valeur du temps d'écoulement 't' au Maniabilimètre à mortier LCL.
- La masse volumique apparente réelle du béton (MVAR).

Cette formule doit être corrigée à l'aide de l'équation itérative suivante :

$$S_i = S_{i-1} - (MVAT_{i-1} - MVAR_{i-1}) \pm V \times MV_{\text{sable}}$$

Tel que : MVAT et MVAR représentent respectivement la masse volumique apparente théorique et la masse volumique apparente réelle du béton.

Si le temps d'écoulement au Maniabilimètre est inférieur à la valeur visée il faut retrancher un volume V d'eau (+V dans l'équation) ; si le temps d'écoulement est supérieur, il faudra rajouter un volume V d'eau de manière à rendre le béton plus maniable (-V dans l'équation).

Après chaque correction, la masse volumique apparente théorique devra être comparée à la masse volumique apparente réelle.

I.10.2.2.2 Détermination du dosage en fines d'addition :

Il faut maintenant introduire dans le béton les fines d'addition et en définir le dosage optimal à rapport E/C constant. Pour cela, il est nécessaire de réaliser des gâchées de béton de sable avec 5 à 6 dosages en fines dans la plage d'emploi usuelle de ces fines.

L'incorporation des fines doit permettre d'augmenter la compacité du béton, en remplissant les vides.

Notre objectif, est d'obtenir une formule de un mètre cube dans laquelle la masse volumique apparente théorique tend vers la masse volumique apparente réelle, et un temps d'écoulement adéquat.

Pour chaque gâchée, on détermine la maniabilité ainsi que la masse volumique apparente réelle (MVAR) que l'on compare à la masse volumique apparente théorique (MVAT) de la formule. Si besoin, la correction sur le sable s'effectue à l'aide de la formule suivante :

$$S_i = S_{i-1} - (MVAT_{i-1} - MVAR_{i-1})$$

Comme exemple pratique sur cette méthode de formulation, une étude de formulation de béton de sable effectuée au LRPC de Bordeaux.

Dans cette étude, trois différentes fines d'addition ont été utilisées:

- **Fine d'addition N° 1** : Son utilisation conduit à une maniabilité optimale entre 150 et 180 Kg/m³ de fines. Figures I.11 et I.12
- **Fine d'addition N°2** : Dans sa plage de dosage (0 à 240 Kg/m³) il n'y pas d'optimum de maniabilité et masse volumique, l'optimum doit exister pour des dosages supérieurs.
- **Fine d'addition N° 3** : Son optimum de maniabilité et de masse volumique est compris entre 60

et 90 Kg/m³ de fines.

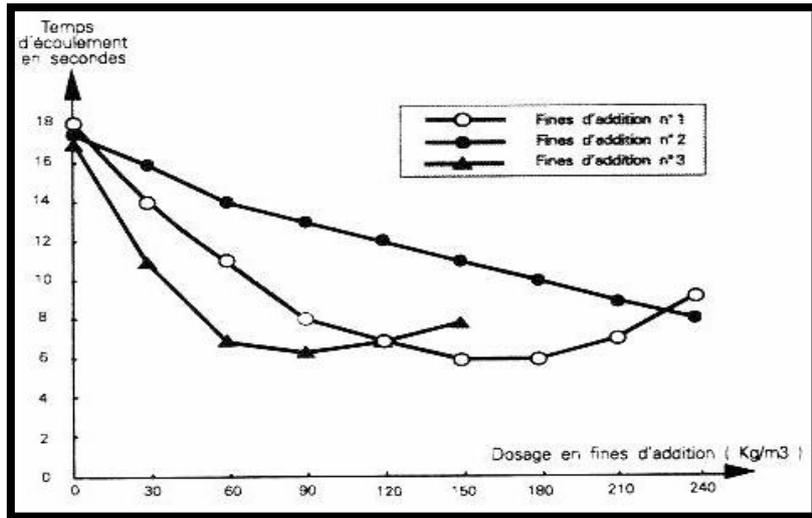


Figure I.11 : Evolution de la maniabilité en fonction du dosage en fines d'addition. [3]

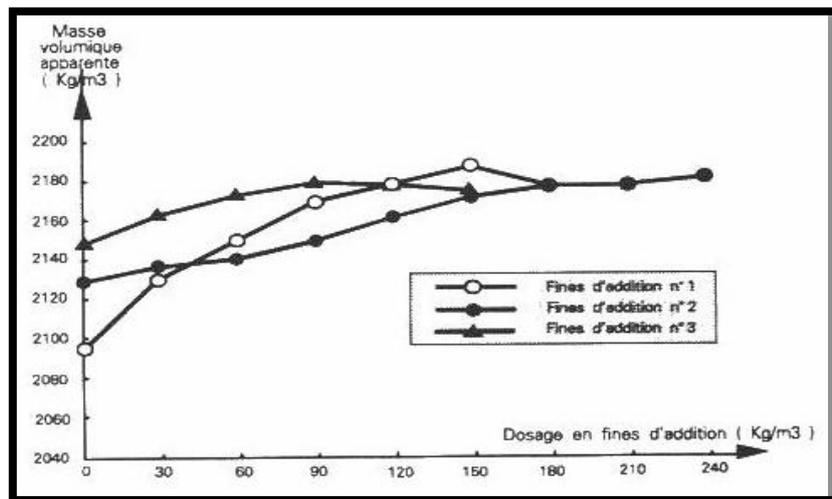


Figure I.12 : Masse volumique apparente en fonction-dû dosage en fines d'addition. [3]

I.11 Les fibres végétale :

I.11.1 Définition :

Les fibres végétales sont des structures biologiques fibrillaires composées de cellulose, hémicelluloses et de lignine. En proportion relativement faible d'extractibles non azoté, de matière protéique brute, de lipide et de matières minérales. Les proportions de ces constituants dépendent énormément de l'espèce, de l'âge et des organes de la plante [4].

I.11.2 Classification des Fibres Végétales :

Les fibres végétales sont classées en quatre groupes suivant leur provenance. A s'avoir : les fibres de feuille, de tiges, de bois et de surface.

I.11.2.1 Les Fibres de Feuilles :

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

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

I.11.2.2 Les Fibres de Tiges :

Les fibres de tige sont obtenues dans les tiges des plantes dicotylédones. Elles ont pour rôle de donner une bonne rigidité aux tiges de plantes. Les fibres de tige sont commercialisées sous forme de paquet de cor et en toute longueur. Elles sont par la suite séparées individuellement par un processus de défilage. Les fibres, une fois séparées, sont utilisées dans la fabrication des cordes ou de textile ou bien dans le renforcement du ciment et béton.

Les fibres de tige les plus utilisées sont les fibres de jute, de lin, de ramie de sunn, de kennaf, d'urena et de chanvre.

I.11.2.3 Les Fibres de Bois :

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

I.11.2.4 Les Fibres de Surface :

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

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

I.11.3 Caractéristiques Physiques et Mécaniques des Fibres Végétales :

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

Les propriétés physiques et mécaniques des fibres végétales ont été traitées par beaucoup de chercheurs [9].

A titre d'exemple sur le tableau I.4.1(a) et I.4.1 (b) :

Tableau I.4(a) : Les caractéristiques physiques des fibres végétales les plus utilisées [9] :

Fibre	Diamètre (mm)	Densité (g/cm³)	Teneur en eau à l'état naturel (%)	Absorption d'eau après 5 min (%)	Absorption d'eau à la saturation (%)
Sisal	0.08-0.30	1.5 1.37 0.75- 1.07	10.97-14.44	89.30 67-92	92 190-250
Noix de coco	-	1.2	-	43.20	80.40

	0.11-0.53	1.17 0.67-1.00	11.44-15.85	22-28	85-135
--	-----------	-------------------	-------------	-------	--------

Tableau I.4(b): Les caractéristiques physiques et mécaniques de quelques fibres végétales [9] :

Fibres	Densité (g/cm³)	Allongement à la rupture (%)	Résistance à la traction (MPa)	Module de Young (GPa)
Cotton	1.5-1.6	7.0-8.0	587-597	5.5-12.6
Jute	1.3	1.5-1.8	393-773	26.5
Lin	1.5	2.7-3.2	345-1035	27.6
Chanvre	--	1.6	690	--
Ramie	--	3.6-3.8	400-938	61.4-128
Sisal	--	2.6	278	--
	1.37	5.2	363	15.2
	0.75-1.07	2.08-4.08	577.50	10.94-26.70
Noix de coco	1.5	2.0-2.5	511-635	9.4-22.0
	1.2	30.0	175	4.0-6.0
	1.17	37.7	107	2.8
	0.67-1.00	13.7-41.0	174	2.5-4.5
Palmier Dattier	1.33		72	2.0
	0.51-1.08	7.5-17.4	170-290	2.1-5.25

I.11.4Caractéristiques Chimiques :

Leur composition chimique qui influe énormément sur leur durabilité et spécialement dans les milieux alcalins.

La composition chimique des fibres végétales est formée de trois principaux constituants à savoir : la Cellulose, l'Hémicellulose et la lignine.

I.11.5Phénologie du palmier dattier :

Le palmier dattier est un arbre à feuilles persistantes. Celles-ci portent le nom de palmes et ont une durée de vie de 3 à 7 ans, leur formation s'achève en une année. Après une légère période de repos, la période végétative commence par l'apparition de nouvelles palmes

ou palmes de l'année. Au début de la période reproductrice, et à l'aisselle des feuilles ou palmes, des bourgeons donnent naissance à des spathes. Le palmier dattiers est dioïque. En effet, Le palmier est une herbe géante de 20 à 30m de hauteur, au tronc cylindrique (le stipe), portant une couronne de feuilles, les feuilles sont pennées, divisées avec une longueur de 4 à 7m. Il porte des inflorescences mâles ou femelles [8].

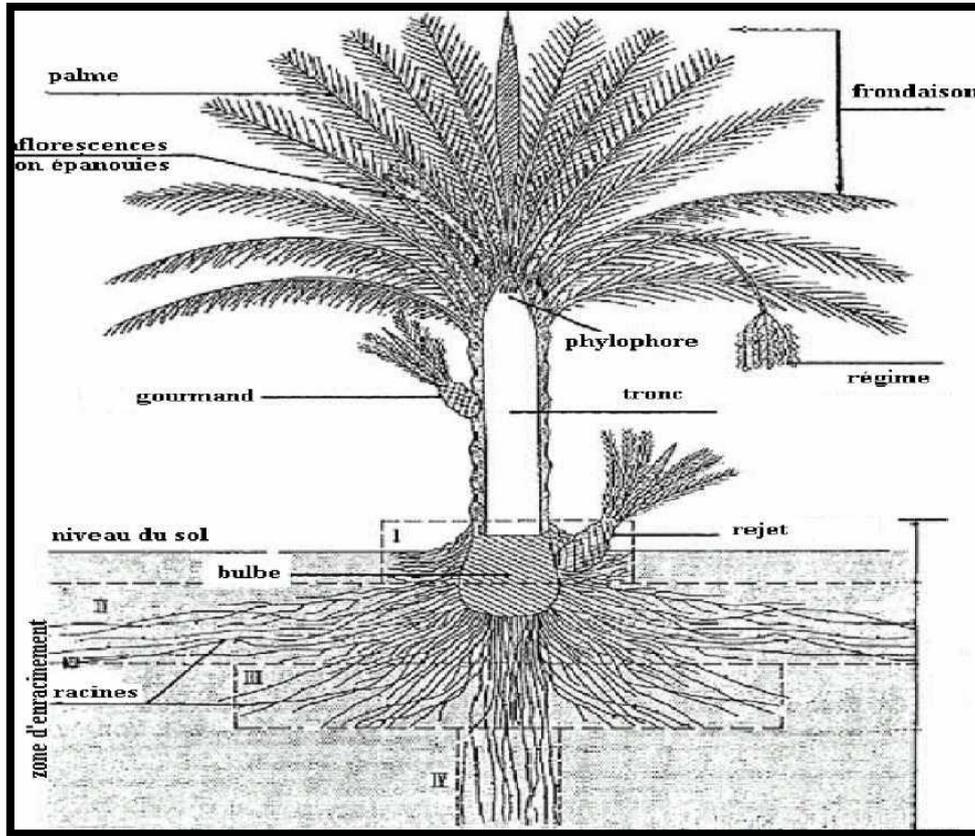


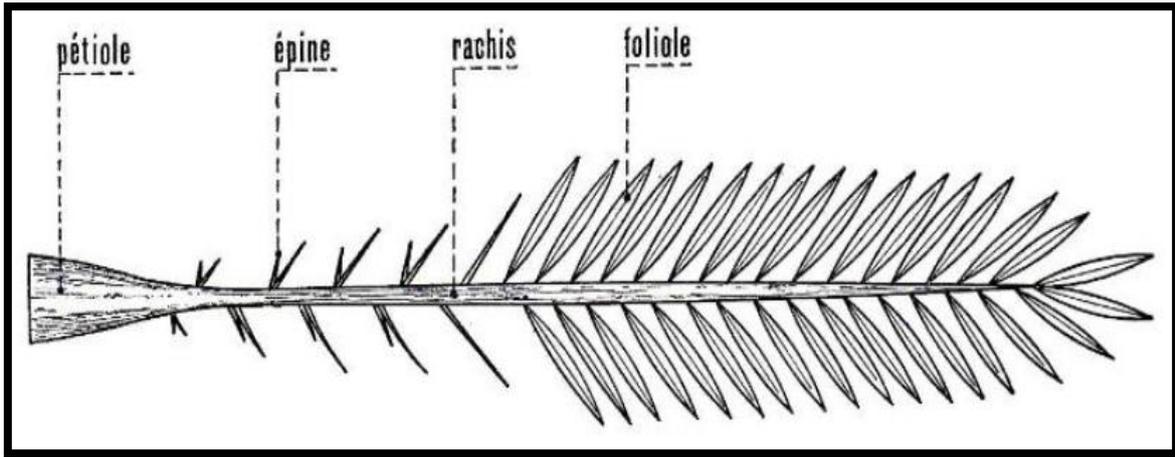
Figure I.13 : Morphologie du palmier dattier [8].

I.11.5.1Palme :

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

Les segments inférieurs sont transformés en épines, plus ou moins nombreuses, et plus ou moins longues. Le pétiole (Kornaf) est dur et relativement rigide [8].

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



Photos I.14 : Schéma d'une palme de palmier dattier [8].

I.11.6 Résistance à la Compression:

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

La résistance à la compression chute pour tous les mortiers des fibres.

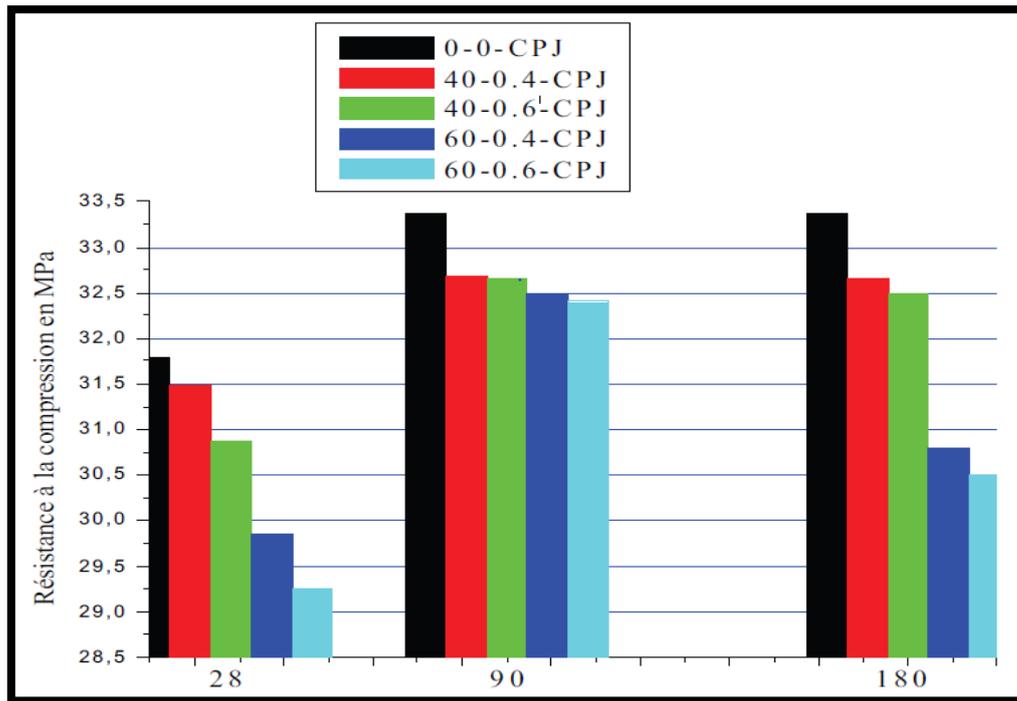


Figure I.15 : Variation de la résistance à la compression en fonction du pourcentage et de longueurs des fibres à base de CPJ [9].

D'après D.BELKARCHOHE et A.CHAKER la résistance à la compression diminue sensiblement quand le pourcentage en fibre augmente (les fibres utilisés c'est les grignons d'olives [17]).

I.11.7 Résistance à la flexion :

D'après (A.MOKHTARI) la variation de la résistance de flexion en fonction de pourcentage et de la longueur des fibres (lif) dans la matrice cimentaire à base de CPJ.

Il y a une progression positive de résistance dans la période de 28 à 90 jours, au-delà de 90 jours, il y a une chute.

Les résultats obtenus sont représentés dans l'histogramme suivant :

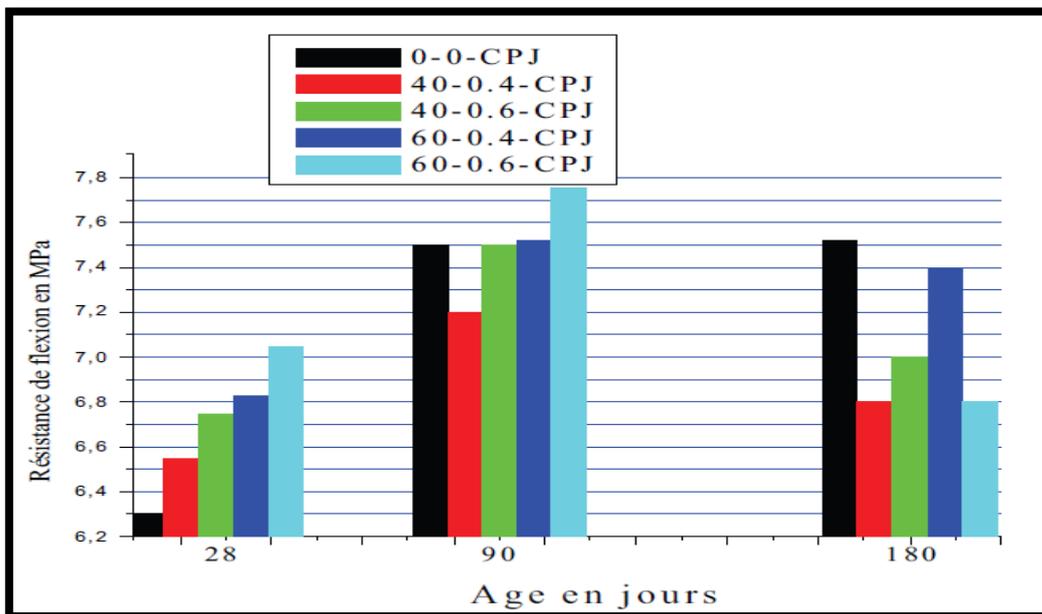


Figure I.16 : Variation de la résistance à la flexion des longueurs et pourcentages des fibres dans la matrice cimentaire à base CPJ [9].

I.12 Conclusion :

Malgré l'insuffisance des résultats auxquels ont aboutissent les différentes recherches, nous pouvons dire que les bétons de sable pourront remplacer les bétons classiques dans certains éléments porteurs. Des applications très diverses ont déjà été réalisées avec succès. Pour avoir une maniabilité convenable, l'utilisation des adjuvants s'impose alors pour réduire le dosage en eau et augmenter la résistance. De même il faut veiller à ce que le béton soit le plus compact possible pour qu'il puisse manifester de bonnes performances. Il faut choisir donc des sables de bonne répartition granulaire et allant au plus gros diamètre possible. Pour combler le vide inter granulaire, il faut prévoir des fines de bonne nature, de finesse élevée et avec des dosages convenables. L'augmentation de la compacité par ajout diminue la maniabilité, d'où la nécessité de trouver un compromis entre la maniabilité et sa compacité. Pour des dosages en ciment compris entre 250 et 450 kg/m³, la résistance à la compression atteinte à 28 jours se situe entre 12 et 45 MPa selon la composition, l'adjuvant et le mode de la mise en œuvre. Les résultats obtenus sont limités à des matériaux bien déterminés et à des compositions bien précises.

L'utilisation des fibres de toutes natures dans plusieurs domaines en particulier dans la construction est de plus en plus pratiquée. Vu les problèmes de santé que présente les fibres d'amiante, leur substitution par des fibres végétales ou polymères est un enjeu médico-économique important. De ce fait, de récentes recherches sont en cours dans le but d'améliorer les propriétés des matériaux renforcés par des fibres végétales, de verre ou de polymère.

Chapitre II :

**CARACTERISATION
DES MATERIAUX ET
PROCEDURES
D'ESSAIS**

II.1 Introduction

Nous présenterons dans ce chapitre, les caractéristiques des matériaux utilisés durant ce projet de recherche, les procédures des malaxages pour confectionner nos mélanges, les différents essais expérimentaux pour caractériser les mélanges à l'état frais et durci. Ainsi que les compositions des différents mélanges utilisés dans le cadre de cette étude.

II.2 Matériaux utilisés:

II.2.1 Sable :

II.2.1.1. Analyse granulométrique : (NF P 18-304)

L'analyse granulométrique permet de mesurer la distribution dimensionnelle en poids des différents éléments constituant le sable.

La masse de l'échantillon pour l'essai de l'analyse granulométrique dépend des dimensions des éléments les plus gros qu'il contient. (Photos II.1)



Photos II.1: Tamis et tamiseur électrique.

Les résultats obtenus sont représentés aussi sous forme d'un tracé (courbe granulométrique) sur un diagramme granulométrique comportant en abscisse la grosseur des grains et en ordonnée le pourcentage des tamisât cumulés.

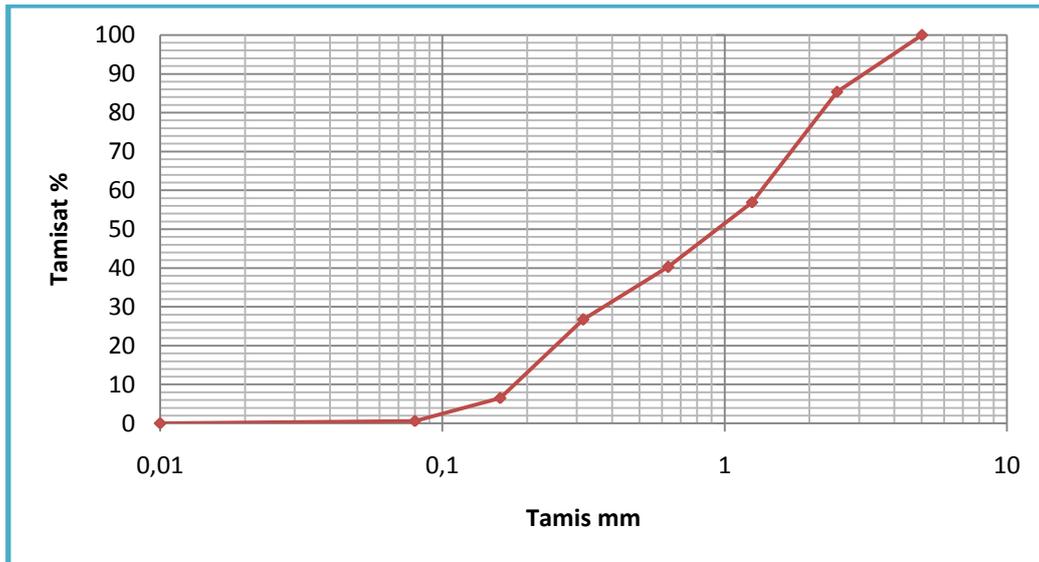


Figure II.1: Courbe granulométrique.

II.2.1.1 Module de finesse : (NF P 18 304)

Le module de finesse d'un sable est égal au centième de la somme des refus exprimés en pourcentage pondéral sur les différents tamis de la série suivante :

(5) – (2.5) – (1.25) – (0.63) – (0.315) – (0.16), il est donné par la relation suivant :

$$Mf = \frac{\sum Ri}{100}$$

Avec : **Ri** : refus cumulé en (%).

Tableau II.1 : Classement de sable [5]

Qualité de sable	Module de finesse
Peu trop fin	$1.80 \leq Mf \leq 2.20$
Préférentiel	$2.20 \leq Mf \leq 2.80$
Peu trop grossier	$2.80 \leq Mf \leq 3.20$

Pour notre sable on a : $M_f = 2.8$

Donc le sable que nous avons obtenu est : sable peu grossier.

II.2.1.2 Masse volumique absolue et apparente :

Pour étudier la formulation d'un béton, il est indispensable de connaître la masse volumique absolue et apparente des granulats.

Elles sont exprimées en Kg/m^3 , la masse volumique absolu est la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat, sans tenir compte des vides pouvant exister dans ou entre les grains.

La masse volumique apparente est la masse du matériau par unité de volume, celui-ci intégrant à la fois les grains et les vides.

Elles sont déterminées selon la méthode classique, respectivement masse d'un certain volume de matériau et éprouvette graduée.

II.2.1.2.a Masse volumique absolue : NF P 18-555

A) Mode d'opérateur : (Photos II.3)

- Mettre dans une éprouvette graduée un volume **V1 (300ml)** d'eau.
- Pesés une masse **M** du sable (**300g**), et l'introduire dans l'éprouvette (bien éliminer les bulles d'air) ;
- Lire le nouveau volume **V2**.
- Le volume absolue est : $V_{abs}=V2-V1$ et la masse volumique absolue est :

$$\rho = \frac{M}{V_{abs}} \text{g/cm}^3$$



Photos II.2: Essais la masse volumique absolue du sable.

Pour notre sable : $M_{vabs}= 2,5\text{g /cm}^3$.

II.2.1.2.b Masse volumique apparente : NF P 18-554

A) Mode d'opérateur : (Photos II.3)

- Prendre l'échantillon (sable), dans les deux mains format entonnoir.
- Placer c'est deux mains à **10cm** environ au-dessus d'une mesure d'un litre soit V1 sont volume.
- Laisser tomber ce sable, ni trop vite, ni trop lentement.

- Verser ainsi le corps, toujours au centre de la mesure, jusqu'à ce qu'il débord tout autour en formant un cône.
- Araser à la règle, et peser le contenu.

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

$$M_{vapp} = (M2 - M1) / V1$$

- $\left\{ \begin{array}{l} \mathbf{M1} : \text{la masse de récipient vide.} \\ \mathbf{M2} : \text{la masse de récipient + le sable.} \end{array} \right.$



Photos II.3: Essais de la masse volumique apparente.

Pour notre sable : $M_{vapr} = 1,462 \text{ g /cm}^3$.

II.2.1.3 Equivalent de sable : (NF P 18-598)

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

L'équivalent de sable est donné par :

$$E_{SV} = \frac{h_2}{h_1} \times 100 \quad , \quad E_S = \frac{h'_2}{h_1} \times 100$$

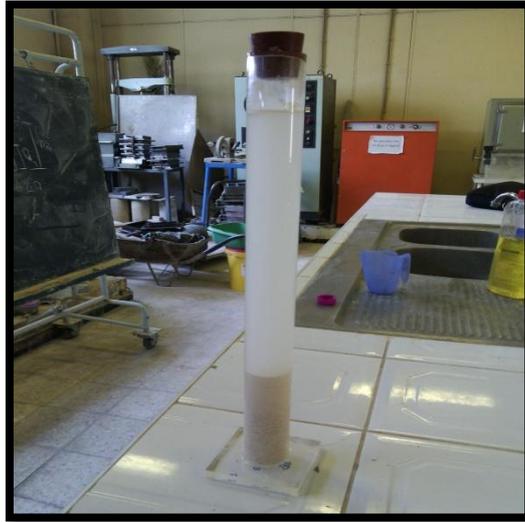
E_S : équivalent de sable mesuré au piston.

E_{SV} : équivalent de sable visuel mesuré visuellement.

h_1 : Hauteur du sable propre et élément fins.

h_2 : Hauteur du sable propre seulement.

h'_2 : Hauteur du sable propre seulement au piston.



Photos II.4: Essais d'équivalent de sable.

➤ **Mode opératoire :**

- Remplir l'éprouvette d'une solution la vent jusqu'au premier repère (10 cm).
- A l'aide d'un entonnoir, verser l'échantillon de sable (120 g) dans l'éprouvette et tapes fortement à plusieurs reprise avec la paume de la main a fin de chasser toutes les bulles d'air pour favoriser le mouillage d'échantillon.
- Laisser reposer pendant 10 minutes.
- Boucher l'éprouvette à l'aide de bouchon en caoutchouc, et placée l'éprouvette horizontalement dans une machine à vibrer automatique. L'éprouvette est vibrée 90 fois en 30 secondes.
- Retirer le boucher de l'éprouvette, le rincer avec la solution lavent au-dessus de l'éprouvette et rincer ensuite les parois de celle-ci.
- Faire descendre le tube laveur dans l'éprouvette, le rouler entre le pouce et l'index en faisons tourner lentement le tube et l'éprouvette tout en imprimant au tube un léger piquage.
- Après 20 minutes, de dépôt du sable lire la hauteur H , du niveau supérieur du flocculat jusqu'au fond de l'éprouvette à l'aide d'une règlette, mesurer la hauteur h_1 , comprise entre le niveau supérieur de la partie sédimentaire et le fond de l'éprouvette.

Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau II.2 : résultats d'équivalent de sable.

Type de sable	E_{SV} (%)	E_S (%)	Nature et qualité du sable
Sable concassé	63.60	63.17	Selon la norme NF P18-541 on un sable propre à faible pourcentage de fines [16]

II.2.2 Ciment :

Le ciment utilisé est un ciment CPJ CEMII/A 42.5 disponible sur le marché fabriqué par la cimenterie d'AIN-TOUTA.

II.2.2.1 La masse volumique absolue : (ASTM C128 – 73)

Elle est définie comme le quotient de la masse sèche de l'échantillon par le volume de sa matière (tous vides déduit) par la détermination de la masse volumique absolue. On a procédé par l'utilisation de pycnomètre (Photos II.5).



Photos II.5: Pycnomètre.

En répétant le même principe suivant **3** fois :

1. Le pesage du pycnomètre vide soit **M1**.
2. Le pesage du pycnomètre rempli d'eau distillée jusqu'au repère, soit **M2**.
3. Soit **M3** la masse du pycnomètre rempli d'essence.
4. Soit **M4** masse de ciment (**30g**).

5. **M5** c'est la masse de pycnomètre contenant une masse de fillers et complété avec d'essence.

Alors la masse volumique absolue est calculée comme ça :

- Le volume du pycnomètre : $V = M_2 - \frac{M_1}{\rho_e}$ (densité d'eau = 1 g/cm³)
- Masse volumique d'essence : $\rho_{es} = M_3 - \frac{M_1}{V}$

- La masse d'essence remplacée par la masse **M4** de ciment est :

$$M_{es} = M_3 - (M_5 - M_4)$$

- Le volume de fillers remplaçant le liquide est :

$$V_C = [M_3 - (M_5 - M_4)] / \rho_{es}$$

- La masse volumique du ciment sera :

$$\rho_{abs,c} = M_4 / V_C$$

Pour notre ciment : $\rho_{abs,c} = 2,975 \text{ g/cm}^3$

II.2.2.2 La masse volumique apparente : (ASTM C29 - 71)

C'est la masse de l'unité de volume apparent du corps, c.-à-d. du volume constitué par la matière du corps et les vides qu'elle contient.

A) Mode d'opérateur :

- Placer l'entonnoir au-dessus du centre de la mesure. Fermer l'opercule.
- Verser une quantité de ciment sur le passoire, et la faire descendre dans l'entonnoir à l'aide de la spatule.
- Ouvrir l'opercule : le filler tombe dans la mesure, refermer l'opercule.
- Recommencer avec de nouvelle quantité de filler, jusqu'à ce que se produise le débordement tout autour.
- Araser à la règle et peser le contenu occupé.

Alors

la masse volumique apparente est :

$$\rho_{app,c} = \frac{m_1 - m_2}{v}$$

On a :

- m_1 : poids de récipient vide.
- m_2 : poids de récipient remplie.
- V : volume récipient.

Pour notre ciment : $\rho_{app,c} = 0,974 \text{ g/cm}^3$

II.2.3 Les fibres :

II.2.3.1 Fibres de palmier dattier :

Dans cette étude, on a utilisés deux types des fibres de palmier dattier (saaf, lif)

- **Saaf** : c'est une longue feuille ouvrez-le jusqu'à coupure longue (Photos 6-a)

Ces fibres finalement découpées en morceaux de longueurs entre 3 et 4 cm (Photos 6-b)



Photos II.6-a : les fibres coupure.

Photos II.6-b : les fibres après découpage

- **Lif** : c'est une fibre de surface sous forme de rectangulaire, il est facile de les séparer en fibres individuelles d'un diamètre de 0,1 à 0.8 mm dans l'eau (Photos II.7-a). Ces fibres sont finalement découpées en morceaux de longueurs entre 3 et 4 cm (Photos II.7-b).



Photos II.7-a : Les fibres résultant de la décomposition du Lif.



Photos II.7-b : Les fibres après découpage.

Tableau II.3 : Caractéristiques physiques des fibres :

Propriété	Saaf	Lif
Diamètre (mm)	0.5-1.9	0.1-0.5
Longueur (cm)	3-4	3-4
Masse volumique apparente g /cm ³	0.050	0.012
Masse volumique absolue g /cm ³	0.4	0.2
L'absorption d'eau après 24 H (%)	150	180

II.2.4 Filler de calcaire :

Le filler calcaire utilisé est un filler commercialisé de l'entreprise **E.N.GEL-Khroub** sous le nom **ALCAL F20**, ces caractéristiques physiques ainsi que chimiques et la courbe granulométrique présentées par la fiche technique, voir l'Annexe 1.

II.2.5 L'adjuvant :

L'adjuvant utilisé est un SuperPlastifiant haute réducteur d'eau fourni par **GRANITEX** d'Oued-Semar Alger. C'est une solution liquide se diluant facilement dans l'eau de gâchage,

Selon la norme NF P18-103-335-336, il doit être utilisé à une dose de 0.5% à 5 % du poids du liant. A partir des fiches techniques, le fabricant recommande une teneur de 0.3 % à 2 % du poids du liant, Voir fiche technique (Annexe 2).

II.2.6 Eau de Gâchage :

L'eau utilisée est une eau potable du robinet.

II.3 Essais sur béton frais :

L'essai effectué sur le béton frais est le suivant :

- L'ouvrabilité (la maniabilité au la de secousse).
- La masse volumique.

II.3.1 L'ouvrabilité :

Le contrôle de l'ouvrabilité était effectué par deux essais : le cône d'Abrams et la table de secousse. L'affaissement au cône d'Abrams était plastique à très plastique pour toutes les compositions, qui nous amené à utiliser la table de secousse afin de conformer les résultats de maniabilité. On a suivi les étapes suivantes :

- Remplir le cône en trois couches piqué chaque couche 25 fois , avec une tige d'acier à extrémité hémisphériques.
- Soulever le moule avec précaution et nous carillon 15 fois et mesurer les diamètres.

Le classement de maniabilité selon le tableau II :

Tableau II.4 : Classement de béton selon la maniabilité :

L'augmentation de diamètre %	Nature de béton
10 à 30	Très ferme
30 à 50	Ferme
50 à 70	Plastique
70 à 100	Très plastique

III.3.2 La masse volumique :

Cet essai consiste à :

- Remplir un récipient de volume V en (litre) et de masse M en (Kg) d'un échantillon de béton frais, en deux couches tassé par vibration.
- Araser et lisser la surface du béton à l'aide d'une truelle.
- Peser le récipient rempli, soit de masse M_t en (Kg).

La masse volumique de béton frais sera alors :

$$M_{vbf} = \frac{M_t - M}{V} \quad (\text{Kg/m}^3)$$

II.4 Essais sur béton durci :

Les essais effectués sur le béton durci sont les suivants :

- La résistance mécanique à la compression.
- La résistance mécanique à la traction par la flexion.
- L'absorption.

II.4.1 Essai de la résistance mécanique à la compression :

L'essai de compression est l'essai le plus connu des essais mécaniques. Il s'effectue sur des éprouvettes (10x10x10) cm. Il a été réalisé à **7/28/45** jours, pour toutes les compositions du béton de sable. (Photos II.8)

La résistance à la compression correspond à la contrainte maximale calculée par la formule suivante :

$$\sigma_c = P/a^2 \text{ KN/cm}^2$$

P : la charge appliqué.

a : la cote de l'éprouvette (10x10).



Photos II.8: Appareil d'essai de compression.

II.4.2 Essai de traction par flexion :

Cet essai est réalisé sur des éprouvettes prismatiques (**4x4x16**). (Photos II.9)

La résistance à la traction (par flexion) correspond à la contrainte maximale calculée par la formule suivant :

$$R_t = \frac{3}{2} \times \frac{Fl}{b^3} \text{ (MPa)}$$

F : la charge appliquée.

b : la côté de l'éprouvette prismatique.

l : longueur d'éprouvette.



Photos II.9: Appareil d'essai de traction par flexion.

II.4.3 Essai d'absorption d'eau capillaire et immersion :

II.4.3.1 L'absorption d'eau par immersion :

La capacité d'absorption d'un béton donne une idée générale sur la présence et l'importance des vides (pores).

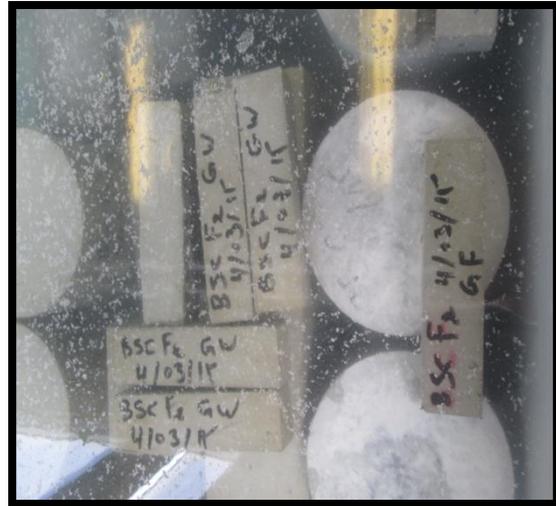
C'est une manière comme une autre de tester la compacité du m »lange. Plus le béton est compact plus sa capacité d'absorption est faible et donc plus il est étanche. Cette capacité d'absorption est déterminée par une méthode simple, les éprouvettes de béton sont pesés après leur passage à l'étuve (à 105°C) d'où elles ne sont retirées qu'après stabilisation de leurs poids soit (Ps), ensuite elles sont entièrement trempées dans l'eau pendant 24 H, puis retirées et pesées, soit (Ph).

La capacité d'absorption est donnée par la formule suivante :

$$Ab \% = \frac{Ph - Ps}{Ps} \times 100$$



A : Stabilisation du poids par étuvage



B : Absorption d'eau par immersion

Photos II.10 : Essai d'absorption par immersion

II.4.3.2 L'absorption d'eau capillaire :

Les essais sont réalisés selon les prescriptions de la norme DIN52617. Les échantillons sont d'abord séchés à l'étuve à la température de 50°C, puis entreposés à l'atmosphère du laboratoire pendant au moins 12 heures et pesés pour déterminer leur poids à l'état sec M1. La face exposée est ensuite immergée dans l'eau sur une profondeur de 1 à 2 cm. L'absorption est déterminée par pesées successives pendant 24 heures. Les éprouvettes sont ensuite saturées sous vide jusqu'à poids constant, puis pesées leur poids à l'état saturé M2, La quantité d'eau totale adsorbée par l'éprouvette M2-M1

On peut admettre que la masse d'eau adsorbée par une éprouvette au temps t est proportionnelle à la racine du temps selon la loi suivant :

$$Meau = W * S * \sqrt{t}$$

- Meau: masse d'eau absorbée.
- w: coefficient d'absorption ($g/m^2 * h^{0.5}$).
- S: section en contact avec l'eau.

Le coefficient d'absorption d'eau par capillarité w est calculé d'après l'eau absorbée entre 1 et 24 heures. La capacité d'absorption est donnée par la formule suivante :

$$W = \frac{Meau}{S * \sqrt{t}}$$



Photos II.11: Essai d'absorption capillaire.

II.5 Confection des éprouvettes et conditions de conservation :

On a fabriqué 2 types d'éprouvettes pour chaque formulation, et pour chaque type de béton 6 éprouvette de 4X4X16 et 6 éprouvettes de 10X10X10. Les éprouvettes ont été coulées dans des moules préalablement huilés, le béton frais est placé en deux couches vibrées pendant 10 secondes à l'aide de la table vibrante. Une fois le moule est rempli, le surplus du béton a été arasé et la surface a été égalisée à la truelle. Les moules remplis par le béton frais. Les éprouvettes prismatiques de dimensions (4X4X16) cm pour toutes les compositions afin de mesurer les résistances à la traction à 7, 28 et 45 jours et mesure la capacité d'absorption d'eau pour tous les formulations.

Les éprouvettes de dimensions (10x10x10) cm pour toutes les compositions afin de mesurer les résistances à la compression.



A : éprouvette de compression



B : éprouvette de traction

Photos II.12 : Les moules utilisées

II.6 Malaxage :

Le malaxage a fait selon les étapes suivantes :

- Malaxage à sec des constituants (ciment+sable+filler)
- Ajout de fibres après immersion totale pendant 2 h avant le malaxage
- Malaxage l'ajout de l'eau de gâchage +malaxage
- Introduction de l'adjuvant mélangé dans un 1/3 de l'eau de gâchage restant
- Malaxage jusqu'à l'homogénéisation du mélange



Photos II.13: Malaxeur à béton 65 litres.

II.7 Vibration :

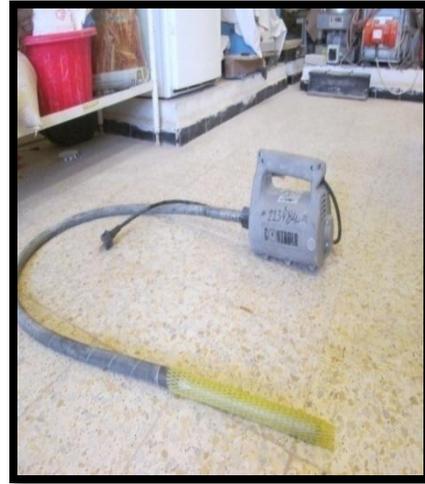
La vibration est devenue le moyen le plus courant pour donner au béton sa compacité maximale par élimination des vides d'air.

Dans notre étude on a utilisé la table vibrante, car elle est destinée pour les moules prismatiques et cubiques et cylindriques, La durée de vibration varie de 1 à 3 minutes.

On utilise aussi liguiez vibrant.



Table vibrant



Aiguille-vibrante

Photos II.14 : Les appareilles de vibration.

II.8 Arasement des éprouvettes :

L'arasement est une opération de finition des éprouvettes et pour cela on utilise une règle nommée la règle biseautée.

II.9 Conservation :

La conservation des éprouvettes passe deux étapes :

- ✓ **La première :** les éprouvettes sont conservées dans leur moule pendant les 24 premières heures, après avoir été recouvertes d'un tissu de nylon plaqué sur la face libre pour éviter l'évaporation. Au bout de 24 heures les éprouvettes sont démoulées.
- ✓ **La deuxième :** la conservation est faite par immersion des éprouvettes dans un **bac** de conservation galvanisé rempli d'eau à une température de $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ pour favoriser au maximum l'hydratation de ciment.



Photos II.15 : Des éprouvettes dans un **bac** de conservation.

II.10 Conclusion :

Pour ce chapitre on a donné une présentation des caractéristiques des matériaux utilisés dans notre projet, ainsi les procédures expérimentales qui vont nous permettre de mieux analyser les résultats et mieux comprendre le comportement des bétons de sable. Les essais réalisés au cours de notre recherche permettent d'évaluer l'essentiel des propriétés des mélanges confectionnés.

Chapitre III :

**RESULTATS ET
DISCUSSION**

CONCLUSION GENERALE

Le but de ce travail est l'étude l'effet d'ajout des fibres végétales sur les propriétés physiques et mécaniques des bétons de sable, L'objectif principal fixé en introduction porté sur l'étude d'effets des différents types et dosages des fibres végétales sur le comportement physiques et mécaniques du béton de sable.

Dans notre étude expérimentale on a formulé différentes compositions du béton de sable, en variant au pourcentage des deux types de fibres végétales les feuilles de palmiers de dattier Saaf et Lif, (BST : béton de sable témoin), (BSFS : béton de sable avec fibres Saaf), (BSFL : béton de sable avec fibres Lif). On a appliqué des essais de compression et de traction par flexion afin d'étudier l'effet de ces fibres sur les caractéristiques mécaniques et le taux d'ouverture de fissures. On a déterminé la capacité d'absorption d'eau capillaire et totale et calculé le coefficient d'absorption afin d'atteindre notre objectif.

Après cette étude expérimentale nous pouvons présenter les conclusions suivantes :

1. L'ajout des fibres végétales diminuent la plasticité du béton, vu l'effet absorbant des fibres.
2. Une diminution de la masse volumique de béton de sable avec fibres par rapport au béton témoin BST qui est due à la faible densité des fibres.
3. Les fibres de palmiers dattier Saaf et Lif n'ont pas contribué à l'amélioration de la résistance à la compression.
4. Les fibres de palmiers dattier Saaf et Lif n'ont pas contribué à l'amélioration de la résistance à la traction par flexion, sauf les deux compositions BSFL1 BSFS2 qui ont présenté respectivement les valeurs plus importantes par rapport au béton témoin égales de 9.01 MPa et 8.69 MPa à 28 jours
5. Une adhérence faible des fibres Saaf, vu leur surface lisse.
6. La capacité d'absorption totale augmente avec le dosage des fibres et la plus importante absorption est donnée par la composition BSFL3.
7. Les fibres de Lif ont une capacité d'absorption plus élevée que les fibres de Saaf.
8. L'absorption par capillarité est importante avec les compositions avec fibres de Saaf, la plus élevée est obtenue avec BSFS3.
9. Les fibres de Lif ont contribué à minimiser l'ouverture des fissures.

10. L'effet remarquable de couture des fibres de Saaf à une teneur de 0.49% par rapport aux fibres de lif.

Recommandations :

- Formuler des bétons de sable avec un dosage de fibre de Lif entre (0.22% à 0.35%) et voir son effet sur résistance à la traction à long terme.
- Traitement de surfaces de fibres de Saaf, afin d'avoir une surface plus rugueuse et plus d'adhérence.
- Utilisation des fibres (Lif ou Saaf) lors du gâchage dans l'état saturé après immersion totale de 3 heures.

BIBLIOGRAPHIE

- [1]KHADY NDIAYE «Optimisation des formulations des bétons sable »mémoire d'ingénieure, Université CHEIK ANTA DIOP SENEGAL. Juillet 1993
- [2]GUENNOUN.R «Etude et formulation d'un béton de dune » P.F.E.ENP, Alger 2003.
- [3]SABLOCRET, «béton de sable caractéristique et pratique d'utilisation» Presses de l'école nationale des pontes et chaussées (1994).
- [4]YAHIAOUI LAMIA, «Caractérisation d'un composite à la rupture à base des fibres végétales (diss)» Thèse de magister 2011.
- [5]GEORGES DREUX, «Nouveau guide du béton » Edition Eyrolles, 1981.
- [6]BOUTIBA ALDJIA, «Accélération du durcissement par énergies renouvelables du béton frais et caractérisation du béton durci» Thèse de magister, Université M'hamed Bougarra.
- [7]ABDELAZIZ BOUDCHICHA «Action des additions et superplastifiants sur les mortiers et bétons (Etude des propriétés rhéologiques et mécanique)» Edition Universitaires européennes.
- [8]KARECHE ABDELHAK «Etude des matériaux à base de bois de palmier dattier : durabilité, dégradation et propriétés structurales et des transferts » Mémoire de magister 2014.
- [9]MOKHTARI ABDESSAMED «Influence des ajouts de fines minérales sur les performances mécaniques des bétons renforcés, 2006.
- [10]N.TEBBAL, Z.RAHMOUNI «Etude paramétrique de l'effet du dosage en super plastifiant sur la performance d'un béton à haut performance »séminaire international, innovation & valorisation en Génie civil & matériaux de construction (INVAC02)N°10-275,23-25 novembre 2011.
- [11]HAIFI MOHAMED REDHA «formulation des bétons autoplacants »mémoire de magister, université Mentouri Constantine 2011.

[12]GADRI KARIMA « Contribution à l'étude d'un béton de sable avec fibres et résine destinées pour la réparation mince des structures »mémoire de magistère, université de Biskra 2007.

[13]RAKTONIAINA VOLASOLO «Contribution à l'étude du béton de sable –application » Université D'Antananarivo, diplôme d'étude Approfondies (D.E.A) soutenue en 3 Aout 2007.

[14]BEDERINA, «caractéristiques mécaniques et micro structure de béton de sable »mémoire de magistère université de Laghwat ,2000.

[15] BOUDAUD.Z, «étude des mortiers, des micro-bétons et des bétons de sable a base de sable fin de Boussaâda» thèse de magistère, université de Boussaâda

[16] Jacque BARON et Jean-Pierre OLLIVIER «LES BETONS Bases et données pour leur formulation »EYROLLES 1997

[17] D.BELKARCHOHE et A.CHAKER «caractérisation thermo physique et mécanique de matériaux de construction : béton de fibre naturelle » université de Constantine 2013.

[18] M.GOTEICHA, M.M.KHENFER et M.BEDERINA «Caractérisation des bétons de sable a base se copeaux de bois traités» Université de Laghwat 2007.