REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Dr. YAHIA FARES DE MEDEA

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département du Génie de la Matière

Filière Génie Civil

Projet de Fin d'Études

Pour l'obtention du diplôme de Master en Génie Civil

Option : Structures

THÈME :

BÉTON DE SABLE À BASE DE FIBRES VÉGÉTALES (PÉTIOLES DE FEUILLES DE VIGNE)

Réalisé par :

BAHIANI Besma

BOUGHERARA Samira

Encadré par :

Dr. DEBIEB. F.

Co-encadré par :

Mr. GUENDOUZ. M.

JUIN 2015


بسم الله الرحمن الرحيم

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

Mes très chers parents qui m'ont guidé durant les moments les plus pénibles de ce long chemin, ma mère qui a été à mes côtés et ma soutenu durant toute ma vie, et mon père qui a sacrifié toute sa vie afin de me voir devenir ce que je suis, merci mes parents.

Ma très chère sœur Nachwa

Mes frères Houssemet Ahmed

Mes très chères grandes-mères et mes très chères tantes : Malika, Nacera,Messouda ,Khadjila, Khadidija et Nawel

Tous les membres de ma grande famille.

A mes amis, Samira, Hanane, Khouloud ,Ikram ,Asma, Hafida, Kheiraet à tous les étudiants de la 2ème année master Génie Civil promotion 2015 et ceux de la future promotion 2016.

Toute personne ayant participé de loin ou de près pour la réalisation de ce travail surtout ma grand-mère Aicha, mes tantes Messouda, Hadjilaet mes amis Houcem,Walid, Anfel Sara et Nabil.

BAHIANIBesma

RÉSUMÉ

ملخص

الهدف الرئيسي من هذه الدراسة هو تثمين مواد البناء المحلية (نوعين من الرمل العادي و نوع من رمل المقالع) و الألياف النباتية المستخرجة من بقليا أعناق ورقة العنب في الخرسانة الرملية .

أظهرت النتائج الموجودة عن ارتفاع في المقاومة الميكانيكية للخرسانة الرملية بزيادة 1%من الألياف النباتية .لكن لتفادي انكماش الخرسانة 1.5% مناستعمال الألياف النباتية هو حد أقصى على المستعمل أن لا يتجاوزه.

كلمات مفتاحية :خرسانة رملية, تثمين, رمل , الياف نباتية , كرمة

Résumé

L’objectif principal de ce modeste travail est la valorisation des matériaux locaux (2 sables roulés et 1 sable de carrière) et des fibres végétales (pétioles des feuilles de vigne) dans le béton de sable.

Les résultats obtenus montrent que la résistance mécanique du béton de sable est améliorée avec 1% de dosage en fibres végétales. Cependant, pour éviter un risque de retrait supplémentaire du béton un pourcentage de 1.5% est conseillé à ne pas dépasser.

Mots clés: Béton de sable,valorisation, sable, fibres végétale, vigne.

Abstract

The objectif of thisworkis to valorized the local materials (two roller sandand anotherconcassedsand) and vegeteblefibers in sandconcrete. The resultsobteined show a significantincreasing in mechanicalstrenghwith 1% of vegeteblefibers (of vine). So, to avoid the supplementaryshrinkage, 1.5% of vegetablefiberisadvised.

Key words: Concrete sand, valorization, sand, vegetable fibers, vine.

C'EST AVEC UN GRAND HONEUR QUE JE Dédie CE MODESTE TRAVAIL AUX PERSONNES LES PLUS CHERE AU MONDE APRES MON DIEUPOUR LEURS SACRIFICES ET LEURS FATIGUE

A MES Chers PARENTS QUE DIEU LES GARDES ET LES PRESERVES NCHALAH

A MON MARI BILLEI QUI M'ENCOURAGE ET FAITS TOUT SON POSSIBLE POUR M'AIDER

A TOUS MES FRERES ET TOUTES MES SŒURS

A MA CHERE SŒUR QUI CONTRIBUE DANS CE MEMOIR MA CHERE AMIE BASSOMA

A TOUTES LA FAMAILLES BOUGHRARA

BOUGHRARA Samira

Remerciements

Avant tout propos, on remercie « Dieu » le tout Puissant qui nous a donné la sagesse et la santé de faire Ce modeste travail.

On tient à adresser nos remerciements et à exprimer nos reconnaissances à :

Notre promoteur Mr. DEBIEB Farid d'avoir accepté de nous encadrer, et pour ses conseils précieux pendant la réalisation de ce travail.

A Mr. GUENDOUZ Mohamed pour son aide et son extrême patience pendant la durée de cette étude.

Aussi nos vifs remerciements sont adressés à tous les enseignants de la Filière de Génie Civil.

Nos gratitudes à tous les membres de jury qui nous ont feront l'honneur de juger notre travail.

Sans oubliant aussi les responsables de la station régionale ITAF de Benchicaopour leur aide

Un grand merci à tous ceux qui ont contribué de près ou deloin à l'élaboration de ce projet surtout : BOUKELKEL Djamila.

BAHIANI et BOUGHERARA

SOMMAIRE

Sommaire

Remerciement

Dédicaces

Résumés

Liste des tableaux

Liste des figures

Symboles et Abréviations

INTRODUCTION GENERALE ……1

CHAPITRE I :RECHERCHES BIBLIOGRAPHIQUES

I.1- Béton de sable……3

I.1.1- Introduction …… 3

I.1.2-Historique …… 3

I.1.3- Définition …… 6

I.1.4- Composants du béton de sable…… 6

I.1.4.1- Sables …… 6

I.1.4.2-Fines d'ajout (filler) ……6

I.1.4.3-Ciments …… 9

I.1.4.4-Eau …… 9

I.1.4.5-Adjuvants …… 10

I.1.4.6- Autres ajouts …… 10

I.1.5-Propriétés des bétons de sable ……11

I.1.5.1-Maniabilité du béton frais…… 12

I.1.5.2-Résistance et maniabilité …… . 13

I.1.5.3-Granulométrie- Résistance …… 13

I.1.5.4-Adhérence aux armatures…… 15

I.1.5.5-Phénomène de ségrégation des constituants…… 15

I.1.5.6-Durabilité …… 16

I.1.5.7-Résistance au gel et au dégel…… 16

I.1.6- Variations dimensionnelles…… 16

I.1.6.1- Retrait …… 18

I.1.6.2- Fluage …… 20

I.1.7-Microstructure du béton de sable …… 21

I.1.8-Méthodes de formulation …… 22

I.1.8.1-Définition …… 22

I.1.8.2-Approche théorique d'une formulation d'un béton de sable ……. 23
I.1.8.3-Méthode expérimentale de formulation……..…… 29
I.1.8.3.1-Différentes étapes de la formulation…….……..……...… 29
I.1.9-Domaines d'utilisation et application du béton de sable.……..……. 32
I.1.9.1-Domaines d'utilisation…….……...……32
I.1.9.2-Application du béton de sable…….....…….……...…..33
I.1.10- Avantages et limites d'emploi des bétons de sable …….……..... 36
I.1.10.1- Avantages des bétons de sable……..……38
I.1.10.2- Limites d'emploi ……..……38
I.2-Béton de fibre ……..…….…….39
I.2.1-Historique…….…….……..39
I.2.2-Définition de béton de fibres ……...……...……40
I.2.3-Utilisation des fibres dans le béton …….....……...…41
I.2.3.1-Utilisation des fibres à l'usine ……41
I.2.3.2-Utilisation des fibres a chantier …….……...…….42
I.2.3.3-Moyens d'utilisation des fibres…….……..42
I.2.4- Différents types de fibres ……...…….……42
I.2.4.1- Fibres organiques ……..…….42
I.2.4.1.1- Fibres végétales …….……...……..42
A-Classification des fibres végétales …….…….43
B-Caractéristiques des Fibres Végétales ……....47
I.2.4.1.2-Les fibres synthétiques ……...……..49
I.2.4.2- Fibres non organiques ……49
I.2.4.2.1-Fibres minérales ……..49
I.2.4.2.2-Fibres artificielles …….……...……50
I.2.5-Caractéristiques physiques et mécaniques des fibres ……..50
I.2.6-Facteurs affectant les propriétés des bétons renforcés de fibres naturelles …...…..51
I.2.7-Rôle des fibres…….……...…….52
I.2.8-Utilisation des bétons de fibre ……..……...……...….53
I.2.9-Propriété de béton de fibre …….…….……..……55
I.2.9.1-Maniabilité ……..……55
I.2.9.2-Propriétés mécaniques …….…….……...55

I.2.9.2.1- Résistance à la compression ……..……..55
I.2.9.2.2-Resistance a la traction par flexion …….….55
I.2.9.2.3- Résistance au choc …….....56
I.2.9.2.4-Résistance à l'usure ……...…….56
I.2.9.2.5-Résistance aux agents extérieurs……...…….….56
I.2.9.2.6-Retrait…….56
I.2.9.2.7-Fluage ……...……..57
I.2.10- Propriétés des bétons de sable à base des fibres végétale ……...…....…….57
I.2.10.1- Résistance à la compression …….……..…..57
I.2.10.2-Résistances à la Traction par flexion ……..…..59
I.2.10.3- Effet de fibres végétales sur le retrait et la perte de masse du béton de sable ……...…….…60
I.2.11-Conclusion ……...……..62

CHAPITRE II : MATARIAUX ET ESSAIS

II.1- Introduction ……...……...63
II.2- Caractérisation des matériaux utilisés …….……63
II.2.1- Ciment …….……..…..36
II.2.1.1-Définition …….…..64
II.2.1.2-Analyse et caractérisation ……..64
II.2.2- Sables ……...……...…66
II.2.2.1- Sable roulé de BOUGHAZOUL …….…….……...…..66
II.2.2.2- Sable roulé de BAHBAH …….……66
II.2.2.3- Sable de concassage ……67
II.2.3- Ajouts (fillers) ……...…….69
II.2.4- Fibres végétales ……...……..69
II.2.5- Eau de gâchage ……...……70
II.2.6- Adjuvant …….……70
II.3-Préparation des mélanges …….……..…….71
II.3.1-Composition des bétons ……...……..71
II.3.2-Mode opératoire ……..…72
II.3.3-Confections des éprouvettes ……...……73

II.3.4-Essais réalisés ……..……..74
II.3.4.1-Essai réalisé à l'état frais ……..…….74
II.3.4.2-Essai réalisé à l'état durci ……..76
II.4- Variables étudiées ……80

CHAPITRE III : RESULTATS ET INTERPRETATION

III.1-Introduction ……..……...……82
III.2- Béton frais ……..……..82
III.2.1- La Maniabilité……..……..82
III.2.2- La Densité ……...……..…….85
III.3- Béton durci ……..……...……86
III.3.1- Résistance à la compression ……..……..86
III.3.2 -Résistance à la traction par flexion ……..…….…….89
III.4- Approche de durabilité ……...……..……..90
III.4.1- Absorption d'eau ……..90
III.4.2 -Retrait ……..……...……..92
III.4.3 -Perte gain de masse ……..…….…….94
III.5-Conclusion ……...96

CONCLUSION GENERALE ……..…….97

RECOMMANDATIONS……..…..……98

LISTE DES TABLEAUX

Liste des tableaux

CHAPITRE I :RECHERCHES BIBLIOGRAPHIQUES

Tableau I.1: Relation entre la granulométrie et le dosage en ciment……..…...7
Tableau I.2: Composition des bétons d'essais (BS-BO)……...……17
Tableau I.3: Caractéristiques mécaniques des bétons d'essais (BS-BO) 17
Tableau I.4: Composition chimique de quelques fibres végétales…….……..48
Tableau I.5 : Les propriétés physiques et mécaniques des fibres végétales ont été traitées par plusieurs chercheurs……...……..48
Tableau I.6 : Résistance à la traction (Rt) et à la flexion (Rf) de quelques BF par rapport au béton classique (BC)…….……51
Tableau I.7 : Facteurs affectant les propriétés des bétons renforcés de fibres naturelles ……52
Tableau I.8 : Utilisation des fibres dans la construction ……..……54

CHAPITRE II : MATARIAUX ET ESSAIS

Tableau II.1 : L'Analyse chimique du ciment et composition du clinker ……64
Tableau II.2 : Essai physiques sur ciment ……...…….65
Tableau II.3 : Evolution de la résistance du ciment en fonction de l'âge ……....66
Tableau II.4: Propriétés physiques d'identification des sablesutilisé…….……....68
Tableau II.5 : Les caractéristiques des fibres végétales utilisées …….70
Tableau II.6 : Compositions des bétons de sable à base de fibres végétales …..…….72

LISTE DES FIGURES

Liste des figures

CHAPITRE I :RECHERCHES BIBLIOGRAPHIQUES

Figure I.1 : Maisons de St-Denis (Nord de Paris) ……..…...3

Figure I.2 : Aqueduc des eaux de captation de la rivière "La Vanne" …….…..….4

Figure I.3 : Métro de Saint-Pétersbourg…….....….5

Figure I.4 : Phare de Port-Saïd (Egypte)……..……...…5

Figure I.5 :Microstructure du fumé de silice (forme sphérique)…….....……....9

Figure I. 6: Schéma explicatif de l'apparence du BS pur, BS chargé et du béton traditionnel.11

Figure I.7: Temps d'écoulement en fonction du module de finesse…….12

Figure I.8: Variation du temps d'écoulement en fonction de (E/C)…….……13

Figure I.9 : Effet du dosage et de la finesse de l'addition sur la résistance …….14

Figure I.10 : Effet de la granularité sur la résistance…….……..14

Figure I.11 : Eprouvettes non vibrées non piquées …….…….15

Figure I.12 : Retrait d'auto-dessiccation (BS-BO) ……...……19

Figure I.13 : Retrait total en fonction du taux de séchage BS ……..19

Figure I.14 : Fluage d'auto-dessiccation des BS et BO ……20

Figure I.15 : Evolution du fluage du béton de sable ……...….20

Figure I.16 : Modèle du fluage propre du BS …….…….21

Figure I.17 : Liaison pâte granulats du Béton de sable de dune ……..……22

Figure I.18 : Aspect du Béton de sable de dune…….……..22

Figure I.19: Influence du diamètre D du sable sur le dosage en fines …….……24

Figure I.20: Influence de la dimension d sur la porosité minimale du béton pour deux tailles du sable……..……..25

Figure I.21: Relation entre l'ouvrabilité et le dosage (e + v) d'une matrice pour une mise en œuvre donnée ……..…….26

Figure I.22 : Coefficient d'activité du filler calcaire (modèle)……....28

Figure I.23 : Evolution de la maniabilité (T d'écoulement) en fonction du dosage en fines d'addition …….31

Figure I.24 :Masse volumique apparente en fonction du dosage en fines d'addition……..32

Figure I.25 : Ombrelles d'étanchéité ……...…….33

Figure I.26 : Moulage d'un élément …….……33

Figure I.27 : Tunnel d'accès au métro de Leningrad…….……...34

Figure I.28 : Renforcement d'un égout ……..……34
Figure I.29 : Projection sur surface ancienne avec nouveau ferraillage …….….34
Figure I.30 : Réparation d'un pont par le béton de sable projeté …….35
Figure I.31 : Réalisation d'une piscine avec béton de sable projeté ……..…35
Figure I.32 : Dallage en béton de sable……..……..36
Figure I.33 : Différent application des Bétons de sable ……..…….36
Figure I.34 :Schéma d'un matériau composite……...……..……..41
Figure I.35 : Les différents types des fibres des feuilles …….……43
Figure I.36 : Feuille de vigne naturelle et fossile …….……44
Figure I.37 : Les différents types des fibres des tiges ……..……45
Figure I.38 : Les différents types des fibres de bois……..……..46
Figure I.39 : plant et fibre de coco…….……..47
Figure I.40 : Les différents types des fibres synthétiques……..……..49
Figure I.41 : Les différents types des fibres minérales……..……..50
Figure I.42 : Les différents types des fibres minérales ……...…….50
Figure I.43 : L'évolution de la résistance à la compression en fonction du dosage de fibres FP……..…58
Figure I.44: L'évolution de la résistance à la compression en fonction du dosage de fibres FA……..……58
Figure I.45: L'évolution de la résistance à la traction et la résistance à la flexion en fonction du dosage de FP ……..…….59
Figure I.46: L'évolution de la résistance à la traction et la résistance à la flexion en fonction du dosage de FA ……..…….59
Figure I.47 : Effet du pourcentage de fibres de palmier dattier sur la perte de masse du béton de sable ……...……..60
Figure I.48: Effet du pourcentage de fibres d'alfa sur la perte de masse du béton de sable.....60
Figure I.49 : L'évolution du retrait du BS en fonction du pourcentage de fibres de palmier dattier …….……..61
Figure I.50 : L'évolution du retrait du BS en fonction du pourcentage de fibres d'alfa ….....61

CHAPITRE II : MATARIAUX ET ESSAIS

Figure II.1 - Le ciment utilisé ...……...……63
Figure II.2- Sable roulé de BOUGHAZOULE……...…….……66
Figure II.3 : Sable roulé de BAHBAH ……..……...……67

Figure II.4 : Sable de Concassage……..……..67
Figure II.5: Courbe granulométrique des sables utilisés……..…..…..…68
Figure II.6: Les fillers calcaire ……..……...……69
Figure II.7 :Les fibres végétales utilisées ……...…….70
Figure II.8 : Plastifiant MEDAFLOW 104 ……..71
Figure II.9 : La procédure de malaxage du béton ….……...……73
Figure II.10 : Le serrage des éprouvettes ……..……73
Figure II.11 : Eprouvette conservées sous l'eau……...……...…….74
FigureII.12 : Eprouvette conservées à l'aire libre……..……...…….74
Figure II.13 : Avant l'essai ……..75
Figure II.14 : fin de l'essai ……...……75
Figure II.15 : Essai de maniabilité…….……..75
Figure II.16 : densité de béton……..…….……...76
Figure II.17 : Dispositif de rupture à la compression ……..…76
Figure II.18 : Mesure de la résistance à la compression ……77
Figure II.19 : Dispositif pour l'essai de résistance à la traction…….……..77
Figure II.20 : Mesure de la résistance à la traction……...……..…….78
Figure II.21 : Essai de d'absorption ……79
Figure II.22 : Mesure des variations dimensionnelles des BS ...……..……80
Figure II.23 : Mesure de la perte et gain de masse des BS ...…….……..80
Figure II.24 : Variables étudiées ……..81

CHAPITRE III : RESULTATS ET INTERPRETATION

Figure III.1 : Pourcentage d'adjuvant de BSBH réalisé avec des fibres de vigne ……...82
Figure III.2 : Pourcentage d'adjuvant de BSBG réalisé avec des fibres de vigne ……...83
Figure III.3 : Pourcentage d'adjuvant de BSCN réalisé avec des fibres de vigne ……...83
Figure III.4 : Temps d'écoulement de BSBH réalisé avec des fibres de vigne ……...84
Figure III.5 : Temps d'écoulement de BSBG réalisé avec des fibres de vigne …….…..84
Figure III.6 : Temps d'écoulement de BSCN réalisé avec des fibres de vigne …….……..84
Figure III.7: Densité de BSBH réalisé avec des fibres de vigne ……..…85
Figure III.8: Densité de BSBG réalisé avec des fibres de vigne ……..……85
Figure III.9: Densité de BSCN réalisé avec des fibres de vigne ……..86

Figure III.10: Résistance à la compression des bétons BSBH à base des fibres de vigne …...87
Figure III.11: Résistance à la compression des bétons BSBG à base des fibres de vigne……87
Figure III.12: Résistance à la compression des bétons BSCN à base des fibres de vigne……88
Figure III.13: Résistance à la traction de BSBH à base des fibres de vigne……89
Figure III.14: Résistance à la traction de BSBG à base des fibres de vigne ……..…89
Figure III.15: Résistance à la traction de BSBH à base des fibres de vigne…….90
Figure III.16 : Absorption d'eau pour BSBH à base de fibre de vigne……..……..91
Figure III.17 : Absorption d'eau pour BSBG à base de fibre de vigne……91
Figure III.18 : Absorption d'eau pour BSCN à base de fibre de vigne……91
Figure III.19 : Retrait des BSBH à base des fibres de vigne……...…….92
Figure III.20 : Retrait des BSBG à base des fibres de vigne……..……..93
Figure III.21 : Retrait des BSCN à base des fibres de vigne……...…….93
Figure III.23 : Perte de masse des BSBH à base des fibres de vigne ……...……94
Figure III.24 : Perte de masse des BSBG à base des fibres de vigne……....94
Figure III.25 : Perte de masse des BSCN à base des fibres de vigne……..…….…….95

SYMBOLES ET ABRÉVIATIONS

Symboles et abréviations

Al2O3 : L'alumine ;

BS : Béton de sable ;

BSBHT : béton sable BAHBAH témoins ;

BSBH 0.5 % FV : béton sable BAHBAH avec 0.5 % fibre végétale ;

BSBGT : béton de sable BOUGHAZOUL témoins **;**

BSBG 1 % FV : béton sable BOUGHAZOUL avec 1 % fibre végétale ;

BSCNT : béton sable de concassage témoin ;

BSCN 1.5 % FV : béton sable de concassage avec 1.5 % fibre végétale ;

BSCN 2 % FV : béton sable de concassage avec 2 % fibre végétale

C.P.A : Ciment portland artificiel ;

C.P.J : Ciment portland composé ;

CaO : La chaux ;

C : Dosage du ciment exprimé en Kg/m3 ;

3CaO SiO2 (C3S) : Le silicate tricalcique impur (Alite) ;

2CaO SiO2 (C2S) : Le silicate bi-calcique impur (Bélite) ;

3CaO Al2O3, (C3A) : L'aluminate tricalcique (Célite) ;

4CaO Al2O3 Fe2O3 (C4AF) : L'alumino-ferrite tétra-calcique ;

(D) : Les fumées de silice ;

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

$\mathbf{D_{max}}$: La dimension du plus gros grain de l'étendue granulaire ;

d : Diamètre des fibres ;

E.S.P : Equivalent de sable à piston ;

E.S.V : Equivalent de sable à vue ;

E/C : Eau / Ciment ;

Fe2O3 : L'oxyde de fer ;

(F) : Les fillers ;

f : surface spécifique exprimée en cm2/g du constituant ;

$\boldsymbol{f}\mathbf{c}$: Résistance souhaitée du béton a 28 jours;

$\boldsymbol{f}\mathbf{mc}$: Résistance nominale du ciment;

G/S : Gravillons / sable ;

I : Moment d'inertie de la section transversale ;

I : Moment d'inertie de la section transversale ;

K : Coef ;

M : Masse de l'éprouvette au moment du démoulage ;

M : Moment de flexion entre les deux points d'application de la charge ;

∆**M :**Variation de masse par apport à la masse au moment du démoulage ;

(P) : Pouzzolanes naturelles ;

Ps(V) : Porosité du sable d'étendue 80 µm et Dmax ;

P : Pourcentage en volume des fibres ;

R*c* : Résistance à la compression ;

R*f* : Résistance à la flexion ;

R*t* : Résistance à la traction ;

Rt : La résistance à la traction ;

$\mathbf{R_C}$: La résistance a compression ;

SiO2 : La silice ;

S : sable ;

V : Volume des vides du mélange granulaire;

V0 : Constante expérimentale comprise entre 0,7 et 0,8;

v : La distance de la fibre la plus éloignée ;

ρ : Densité du constituant exprimée en g/cm3 ;

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Depuis de très nombreuses années et dans la plupart des pays, qu'ils soient industriels ou en voie de développement, de nombreuses actions tendant à une meilleure utilisation des matériaux locaux ont été entreprises. Dans ce cadre et dans un contexte d'épuisement progressif des gros granulats dans certaines régions, du coût élevé du transport et de l'abondance des sables, il était aisé d'entrevoir, dès l'origine, l'intérêt tant économique qu'écologique que pourrait présenter la valorisation des sables locaux, peu ou pas exploités, pour la réalisation de béton dont les sables seraient le constituant principal. Il s'agit donc du béton de sable, qui a fait l'objet d'une norme expérimentale P18-500 publiée en octobre 1987 par AFNOR **[1]**. Notons que parfois, les propriétés spécifiques de ce matériau lui permettent de remplacer le béton ordinaire et même de résoudre certains problèmes mal assurés par ce dernier. Le béton de sable a fait l'objet de plusieurs études dont la plupart sont de nature technologique, ce qui est peut être normal vu sa jeunesse. En effet ces études ont donné la plus grande importance à la recherche d'une formulation adéquate aux différents usages de ce matériau et l'amélioration de ses performances mécaniques. Aujourd'hui, avec la crise financière que traverse l'Algérie, le déficit en logements et la pénurie des gros granulats dans certaines régions, il est devenu impératif de construire au moindre coût en valorisant les matériaux locaux. C'est dans ce cadre que dans les années 80, l'ENPA et le CNERIB ont lancé des projets de recherche sur le béton de sable.

Par ailleurs, la réutilisation des différents déchets, qui constituent une gêne environnementale, a fait également l'objet de nombreux travaux actuellement. Parmi ces déchets, on trouve les déchets végétaux. Dans ce contexte, la wilaya de Médéa est plus connue par l'agriculture et notamment par la production des vignes. Ce dernier compose par des feuilles et ce dernier une fois séchés ils génèrent des déchets volumineux, leur dissémination dans la nature est durable et inesthétique car leur biodégradabilité est, dans la plupart des cas est faible.

L'objectif principal de ce travail est de contribuer à la valorisation des matériaux locaux (sablesroulés et sables de carrière)et des fibres végétales(pétioles de feuilles de vigne) dans un béton un peu spécial appelé béton de sable.

Ce travail alors est structuré comme suite :

Le premier chapitre fait l'objet d'abord d'une synthèse bibliographique sur le béton de sable (constituants, propriétés, formulation, domaine d'application), puis après des notions sur le béton de fibres et le béton de sable à base de fibres végétales.

Dans le deuxième chapitre en donne une description des matériaux utilisés, les différents mélanges, et les essais réalisés des bétons de sable.

Le troisième chapitre est consacré à la présentation et l'interprétation des résultats obtenus. Finalement, on terminera ce travail avec des conclusions générales et des recommandations.

CHAPITRE I :

RECHERCHES BIBLIOGRAPHIQUES

I.1-Le béton de sable

I.1.1- Introduction

Le béton de sable est un matériau ancien utilisé antérieurement au béton traditionnel. Il est tombé en désuétude, avec l'abondance des granulats du plus gros calibre permettant d'obtenir facilement des nouveaux élevés de résistances. Il retrouve cependant de nos jours un intérêt certain du fait des propriétés spécifiques de ce matériau, par rapport au béton traditionnel : excellente maniabilité et cohésion, bonne adaptation aux milieux fortement ferraillés, qualités esthétiques, etc. Par ailleurs, dans certaines régions riches en sable, il peut procurer des économies par rapport au béton traditionnel.

Dans ce chapitre on présentera un aperçu général sur les BS, où on va exposer d'abord l'historique et l'origine des bétons de sable ainsi que leur définition et la différence entre les BS et les mortiers. Ensuite, on donnera une description des constituants entrant dans la fabrication, on décrit les propriétés mécaniques et hygrométriques, puis on explique le caractère non fissurant du BS. Finalement, on met en relief les innovations et les avantages apportés par les BS et on donnera quelques exemples de réparation structurale réalisés par ce matériau.

I.1.2-Historique

Le béton de sable est un matériau ancien utilisé avant le béton classique. En France, le béton de sable trouve ses origines dans le "**bétonagglomére**" confectionné par M.COIGNET entre 1850 et 1857. M.COIGNET a utilisé un mélange du sable et peu d'eau, de cendres, des scories de charbon brûlé, de terre argileuse cuite et pilée mélangée à de la chaux hydraulique naturelle. Certains des ouvrages qu'il a réalisé, sont encore en service actuellement (maisons à St-Denis au Nord de Paris**[3]**, une vaste maison de type R+2, Murs de soutènement à Passy **(Fig. I.1)**).



Figure I.1 : maisons de St-Denis (Nord de Paris)**[3]**

Il a aussi construit de 1869 à 1872 l'Aqueduc des eaux de captation de la rivière "La Vanne" **[3]** (**Fig. I.2)** pour l'alimentation de Paris 40 km de long, à l'aide d'un mélange de sable fin traditionnel et de sable de Fontaine bleu. Les proportions de ce béton étaient : 1 part de liant (1/3 ciment Portland, 2/3 chaux), 4 parts de sable, et 0,5 part d'eau.



Figure I.2 : Aqueduc des eaux de captation de la rivière "La Vanne" **[3]**

Par contre, le béton de sable semble faire l'objet d'un emploi en U.R.S.S. où se pose un problème de pénurie de gros agrégats et de sable depuis plus d'un siècle. Le port de Kaliningrad en Prusse-Orientale a été réalisé en béton de sable au début du siècle, il en est de même du pont Chernvskif coulé sur place à Voronej et édifié avant la révolution Bolchevique.

En 1918 une expérience a été faite à St-Pétersbourg**[4]** (**Fig. I.3)**, par le conte M. Nicolas de ROCHEFORT. Elle consistait à broyer en même temps sable et clinker à parts égales, puis à mélanger ce produit à du sable dans le rapport de 1 (produit broyé) à 3 (sable). Les résistances obtenues furent les mêmes que celles d'un mélange sable-ciment, beaucoup plus riche en ciment (1/3 de ciment pour 2/3 de sable).





Figure I.3 : Métro de Saint-Pétersbourg **[4]**

Ces idées furent reprises après quelques décennies plus tard au milieu du XX siècle (1954) par le professeur académicien REHBINDER comme base de ces propres recherches sur le béton de sable, et le mécanisme d'activation par broyage du mélange sable/clinker. Il conclut que le principe physique du phénomène semble être qu'au concassage on libère des surfaces physico-chimiquement actives tant qu'elles sont fraîches, sur lesquelles se fixe le liant, ce qui permet l'utilisation de ce matériau dans de nombreux domaines (chaussées, pistes d'aviation, éléments de remplissage, murs architecturaux, planchers, dalles, etc.).

Nous citons à titre d'exemple quelques réalisations encore en service : le phare de Port-Saïd**[5]** (**Fig. I.4)** en Egypte mis en service en 1869 de 52m de hauteur.

Des expériences analogues furent faites en Belgique, Hollande, Allemagne, d'autres pays d'Europe et Golf d'Arabie**[2]**.

En Algérie le béton de sable reste à l'état de recherche et pratiquement aucune construction n'a été réalisée pour le moment, on peut dire que l'usagede ce matériau est inexistant.



Figure I.4 : Phare de Port-Saïd (Egypte)**[5]**

I.1.3- Définition

Le béton de sable est un matériau constitue principalement de ciment, de sable d'eau et de filler naturel ou industriel. Ce qui distingue le béton de sable du béton ordinaire réside essentiellement dans l'emploi de granulats, le béton traditionnel est généralement constitué d'un granulat 0/16 à 0/22.5, par contre le béton de sable est constitué de granulat de faible diamètre Ø<10mm **[6].**

Une question pourrait se poser : quelle est la différence entre le béton de sable et le mortier ?

Le béton de sable comme son nom l'indique est un béton ou le gros granulat est le sable (D_{max} = 5mm), il ne consomme que (250 à 400) Kg/m3 de ciment, dosage habituel des béton classiques, la compacité optimal étant atteinte par un ajout complémentaire de fines (fillers) et de plastifiant, tandis que le mortier utiliseun fort dosage en ciment de (400à 600) Kg/m3.

I.1.4-Composants du béton de sable

Un béton de sable est composé de sable, de fines d'ajouts, de ciment et d'eau. Par rapport à cette composition de base et pour répondre aux besoins de certains usages, d'autres ajouts spécifiques peuvent être envisagés : gravillons, fibres, adjuvants……. **[6].**

I.1.4.1- Sables

Par sable on entend tous granulats 0/D conformes aux définitions des normes NF P 18-301 et NF P 18-101 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 granulométrique n'est a priori exigible pour réaliser un béton de sable : on peut aussi bien utiliser un sable fin (même homométrique, type sable de dune) qu'un sable alluvionnaire moyen ou grossier, ou un O/D de concassage. La seule restriction d'emploi des sables réside dans leur propreté **[7].**

I.1.4.2-Fines d'ajout (filler)

La qualité essentielle du béton de façon générale est sa compacité. Les paramètres essentiels qui vont jouer sur la compacité sont **[2]:**

- 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 $C = 700/\sqrt[5]{D}$ **[2]**(selon l'usage du béton). Donnant le dosage minimum en ciment en fonction du diamètre (D) du granulat employé (**Tab I.1)**

Tableau I.1 : Relation entre la granulométrie et le dosage en ciment**[2].**

Granularité	$\sqrt[5]{D}$	**550/** $\sqrt[5]{D}$	**700/** $\sqrt[5]{D}$	
0/25	1.904	290	370	
0/20	1.821	300	385	**BETON**
0/16	1.741	315	400	
0/8	1.516	360	460	
0/6.3	1.445	380	480	
0/4	1.320	415	530	
0/2	1.149	480	610	**MORTIER**
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/m^3 et même au-delà. Par voie de conséquence leurs caractères (nature géologique, forme, etc.) vont influer 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): la fumé 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. Ce mot filler provient de l'anglais « **to fil** » signifiant remplir, dont le plus gros grain de ces matériaux ne dépasse pas 0.2mm.

L'ajout de fillers permet souvent d'améliorer certaines propriétés du béton à l'état frais (accroissement de la maniabilité, réduction du ressuage, . . .) et du béton durci (diminution de la perméabilité et de la capillarité, réduction des risques de fissuration, . .) **[6].**

L'effet du filler sur la maniabilité dépend surtout de sa finesse. Si le filler est finement broyé, il y aura réduction de la quantité d'eau pour une maniabilité fixe.

a-Filler calcaire

Le filler calcaire n'est pas considéré comme une pouzzolane puisqu'il n'est pas réactif. Son avantage est sa finesse qui peut être utilisée pour optimiser la granulométrie de mélanges de béton **[8].**

L'addition de filler calcaires peut avoir plusieurs fonctions, comme par exemple compléter la courbe granulométrique d'un ciment déficient en grains fin, et compléter aussi la granulométrie du sable comme le cas des bétons de sable. Les fillers peuvent également influencer l'hydratation, être présents dans les pores capillaires (ce qui rend plus difficile la percolation de l'eau) et influencer les paramètres rhéologiques du béton**[9].**

b-Fumé de silice

Les fumées de silice sont des résidus évacués de la chambre de combustion d'un four destiné *à* produire du silicium ou des alliages contenant du silicium. La fumée de silice se présente sous forme de microsphères de silice amorphe d'un diamètre moyen de l'ordre de 0, l µm (**Fig. I.5)[6]**, leur surface spécifique est de l'ordre de 20 à 25 m^2/g. Lorsque les microsphères sont bien dispersées, elles vont s'empiler dans les espaces interstitiels restés vides entre les grains de ciment qui possèdent un diamètre moyen environ 100 fois plus élevé. Ces fines particules améliorent les propriétés rhéologiques du mélange (diminution de la ségrégation et du ressuage). Leur grande finesse et leur structure vitreuse en font un produit très réactif. Elles permettent aussi d'obtenir une pâte plus dense car le squelette granulaire est plus compact

La grande finesse et surface spécifique des fumées de silice tendent à augmenter la quantité d'eau nécessaire pour atteindre la même maniabilité qu'un béton sans fumée de silice. Cependant, en présence d'unsuperplastifiantet utilisées en petite quantité pour des bétons ayant un faible *E/C,* les fumées de silice peuvent augmenter quelque peu la quantité d'eau libre dans le mélange de béton et accroître sensiblement la maniabilité. De plus, les fumé silice augmentent la cohésivité du béton et diminuent donc le ressuage et la ségrégation**[8-10]**.

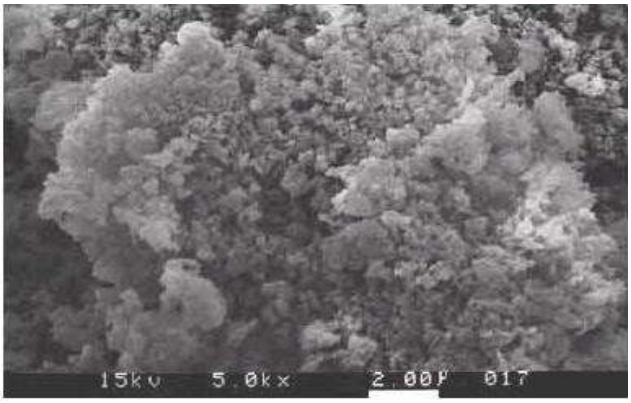


Figure I.5 : Microstructure du fumé de silice (forme sphérique)**[6]**

L'utilisation de fumées de silice à des dosages de 7 à 15% par rapport à la masse de ciment, permet au béton d'atteindre des résistances mécaniques élevées, et permet aussi d'avoir des bétons plus denses et plus imperméables, donc plus durable. Cependant, étant donné que le risque de retrait plastique est très élevé pour ce type de béton, la cure du béton doit être bien effectuée.

Par son effet filler et par la formation d'une phase liante, la fumée de silice contribue donc au renforcement des propriétés mécaniques du matériau durci. Les caractéristiques des interfaces pâte- granulat (zone de transition poreuse) en sont grandement améliorées : absence de cristaux de grandes dimensions et orientés, absence de concentration de fissures, meilleure cohésion et meilleure adhérence pâte -granulat. L'augmentation de la qualité des interfaces a un impact direct sur la microfissuration initiale et le processus de fissuration.

I.1.4.3-Ciments

Comme pour le béton classique, le ciment utilisé pour la confection d'un béton de sable est conforme à la norme NF P 15-301. Le choix du ciment est fait à partir de sa classe de résistance, de ses caractéristiques d'hydratation, de l'agressivité du milieu…et, d'une façon plus générale, de la composition du béton et de l'usage auquel on le destine**[7].**

I.1.4.4-Eau

L'eau utilisée pour la confection des bétons de sable est conforme à la norme NFP18-303. L'eau efficace comprend, en plus de l'eau de gâchage, une quantité non négligeable d'eau apportée par les additions, adjuvants et autres ajouts, et surtout par les sables**[7].**

I.1.4.5-Adjuvants

Les adjuvants sont des agents chimiques qui sont ajoutés en petites quantités pour modifier certaines propriétés du béton comme la rhéologie, la durabilité et les propriétés mécaniques.

Il existe beaucoup de types d'adjuvant, on les définit d'après leur action principale, même s'ils ont plusieurs actions secondaires**[2-10]**.

On utilise dans les bétons de sable les mêmes adjuvants que dans les bétons traditionnels, et pour en exploiter les mêmes propriétés. La spécificité du béton de sable privilégie toutefois l'usage du plastifiants ou superplastifiant : ils améliorent la maniabilité, le plus souvent avec augmentation de résistance par suite d'une diminution de la teneur en eau et de la défloculation des éléments fins. On se contentera à expliquer ceux qui ont été utilisés dans cette étude.

Les adjuvants employés devront par ailleurs être conformes à la norme NF P 18-103**[11].**

- **Plastifiants ou super plastifiants**

L'objectif est d'améliorer la maniabilité du béton de sable; la diminution de la quantité d'eau qui en résulte engendre une amélioration des caractéristiques du béton. (Les adjuvants employés devront être conformes aux normes NFP 18-300**[12].**

I.1.4.6-Autres ajouts

Les autres ajouts (fibres, gravillons, colorants) sont soumis aux mêmes spécifications que pour les bétons traditionnels.

a- Fibres

Elles sont surtout utilisées dans le but de réduire le retrait au premier âge : dosage et nature sont des paramètres très importants pour assurer l'efficacité de cet ajout.

On utilise dans la plupart des cas des fibres organiques (polypropylène) pour contrecarrer les effets du retrait de prise et éviter la fissuration qui en résulte. Si l'on veut améliorer la ductilité, on pourra utiliser des fibres d'acier ou des fibres de fonte amorphe **[2].**

b- Gravillons

On considère qu'un béton de sable peut contenir un certain pourcentage de gravillons et conserver sa domination de béton de sable d'une façon pratique, on pourra considérer qu'on a affaire à un béton de sable tant que le rapport massique G/S (gravillons sur sable) reste inférieur à 0,70**[2]**.

$$G/S < 0,70$$

Le schéma explicatif de l'apparence du BS pur, BS chargé et du béton traditionnel est représenté sur la figure **I.6 [11].**

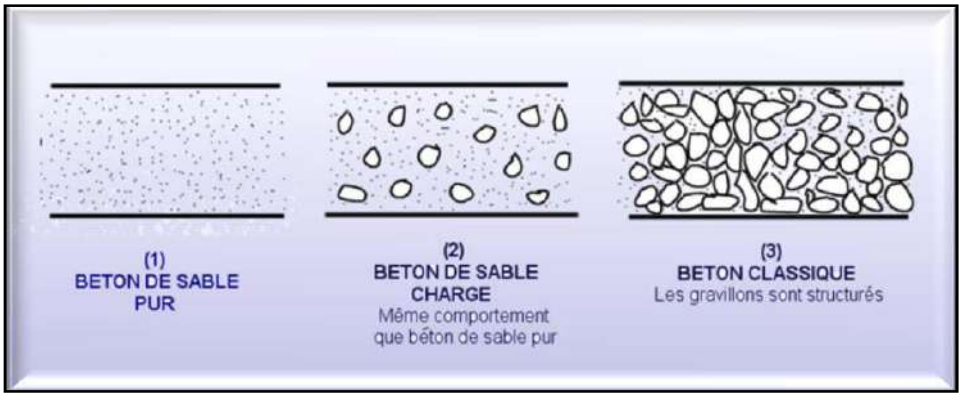


Figure I- 6: Schéma explicatif de l'apparence du BS pur, BS chargé et du béton traditionnel **[11]**

c- Colorants

Les colorants habituellement utilisés dans les bétons traditionnels peuvent également être employés pour certains usages de bétons de sable : ils nécessitent toutefois un soin particulier dans l'homogénéisation et une formulation appropriée du béton de sable pour conserver une stabilité de la teinte au cours du temps **[2].**

I.1.5-Proprietés des bétons de sable

Un concepteur qui retient le béton de sable comme matériau pour un élément de construction a une démarche de « pensée béton », c'est-à-dire qu'il adopte un matériau répondant aux critères qui ont permis le succès du béton, en termes de performances et durabilité, mais aussi d'image et de comportement **[2].**

Les propriétés du béton durci sont largement influencées par les propriétés du béton frais, qui sont principalement l'ouvrabilité (maniabilité) et la compacité. La maniabilité dépend non seulement du rapport E/C, mais aussi du module de finesse de sable, et elle dépend surtout du type et de la teneur en fines d'ajouts. Nous avons vu qu'il nécessite plus d'eau qu'un béton classique. D'autre part, il apparaît évident que le mélange ciment- sable présentera une porosité plus élevée que la porosité du béton traditionnel. Cet inconvénient est compensé par l'ajout de fines de bonne nature pour améliorer la compacité. Il faut choisir donc des sables de bonne répartition granulaire. Il s'agit de trouver un compromis entre la maniabilité du béton et sa compacité **[13].**

I.1.5.1-Maniabilité du béton frais

Une des particularités du béton de sable est de nécessiter davantage d'eau que les bétons classiques;ceci se traduit par des valeurs du rapportE/Csystématiquement supérieures à 0,5. Ce rapport estgénéralement compris entre 0,6 et 0.8 par rapport à un*E/C*de 0,5 à 0,6 pour le béton ordinaire avecdes maniabilités comparables ; cette particularité est due à une surface spécifique plus importantedu mélange qui a besoin d'être mouillée.

La granulométrie du sable influe sur les besoins en eau de mélange; plus le sable est riche en éléments grossiers plus la maniabilité s'améliore comme le traduit la figure **I.7[14]**qui exprime unerelation entre le module de finesse et la maniabilité.

La figure **I.8 [2]** montre clairement que la maniabilité est améliorée quand le rapport *E/C* augmente.Cependant pour un rapport *E/C*fixe, la maniabilité dépend da la nature des fines d'ajout.La faible étendue granulaire du béton de sable et donc la grande homogénéité combinée à unebonne maniabilité attribuent au béton de sable un meilleur comportement que les bétonstraditionnels, vis-à-vis de la ségrégation.

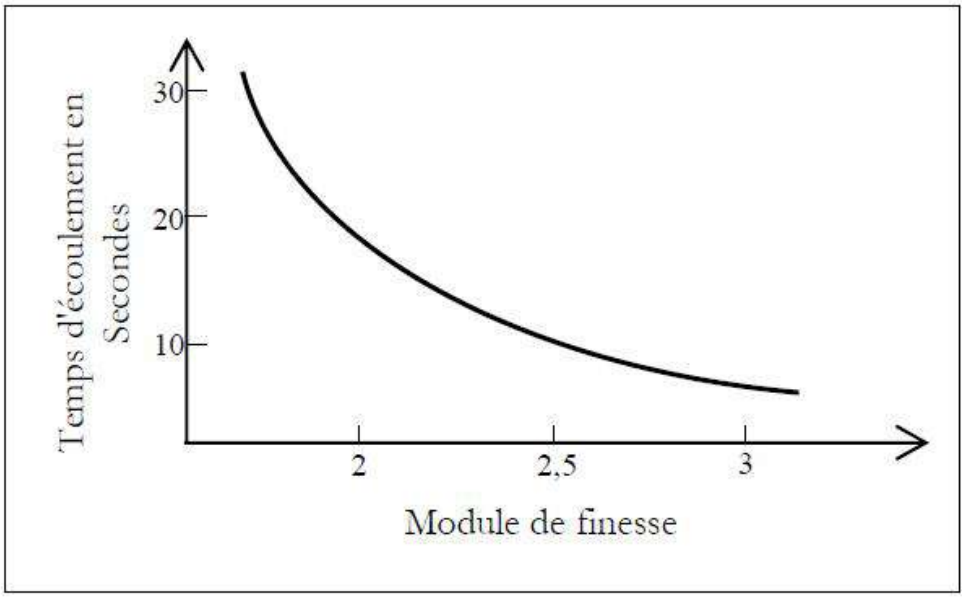


Figure I.7: Temps d'écoulement en fonction du module de finesse **[14]**

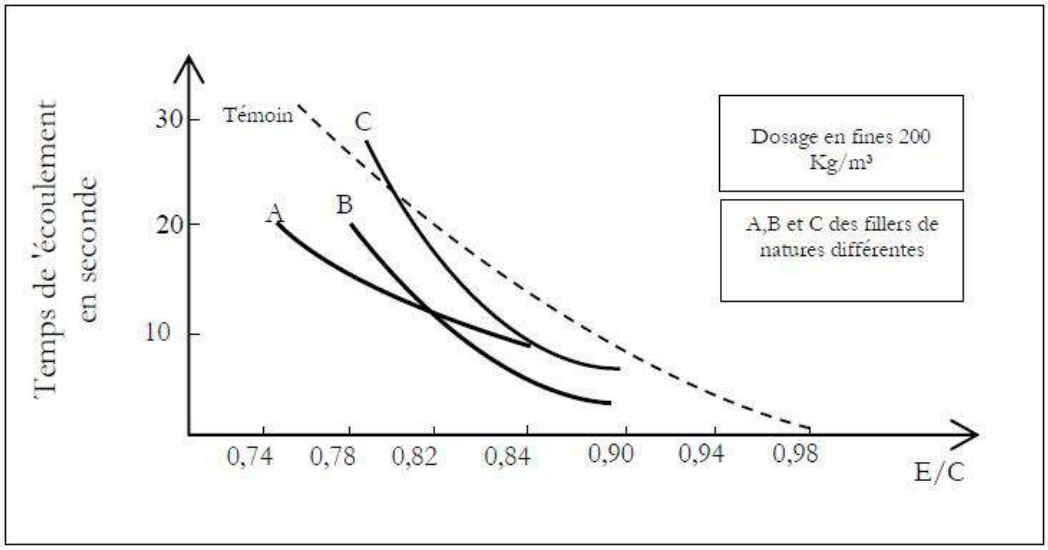


Figure I.8: Variation du temps d'écoulement en fonction de (E/C) **[2]**

I.1.5.2-Résistance et maniabilité

Les bétons de sable se situent vers les bétons dont les usages requièrent une bonne ouvrabilité.Les bétons de sable peuvent même autoriser des ouvrabilités qu'un béton traditionnel ne permet pas d'atteindre. Ce raisonnement reste évidemment très schématique, car il est clair que les progrès dans les techniques d'adjuvantation, de composition, de traitement et de fabrication du béton permettent aujourd'hui de proposer des bétons de gravillons à hautes performances mécaniques présentant de bonnes maniabilités. De même si on fabrique des bétons de sable très maniables possédant d'excellentes performances mécaniques **[6].**

Les dosages en ciment de ces bétons sont de l'ordre de 250 à 450 Kg/m^3, la compacité optimale est atteinte par adjonction des fines et de plastifiant. La résistance à la compression à 28 jours se situe entre 12 et 60MPa selon la composition**[15].**

I.1.5.3-Granulométrie- Résistance

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

- **La finesse de l'addition** : plus l'addition est fine plus elle est efficace au niveau du gain en compacité et donc en gain de résistance ; ce résultat est valable quel que soit la granulométrie du sable (**Fig. I.9) [2].**

- **La nature de l'addition :** 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 **[2].**

- **La dimension du D_{max} (0/D)** :

Pour une même valeur du rapport E/C, on constate (**Fig. I.10)** que l'effet du diamètre D_{max} est peu important, mais par contre il influe sur la maniabilité; ou il faut employer un plastifiant réducteur d'eau, afin de fixer la maniabilité et atteindre la résistance voulu**[2].**

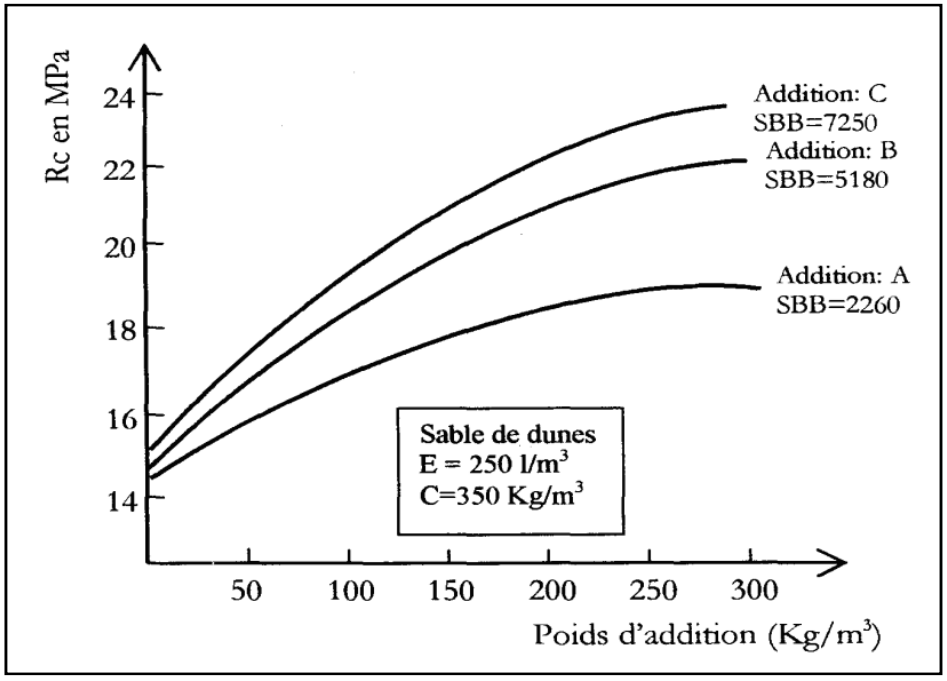


Figure I.9 : Effet du dosage et de la finesse de l'addition sur la résistance **[2]**

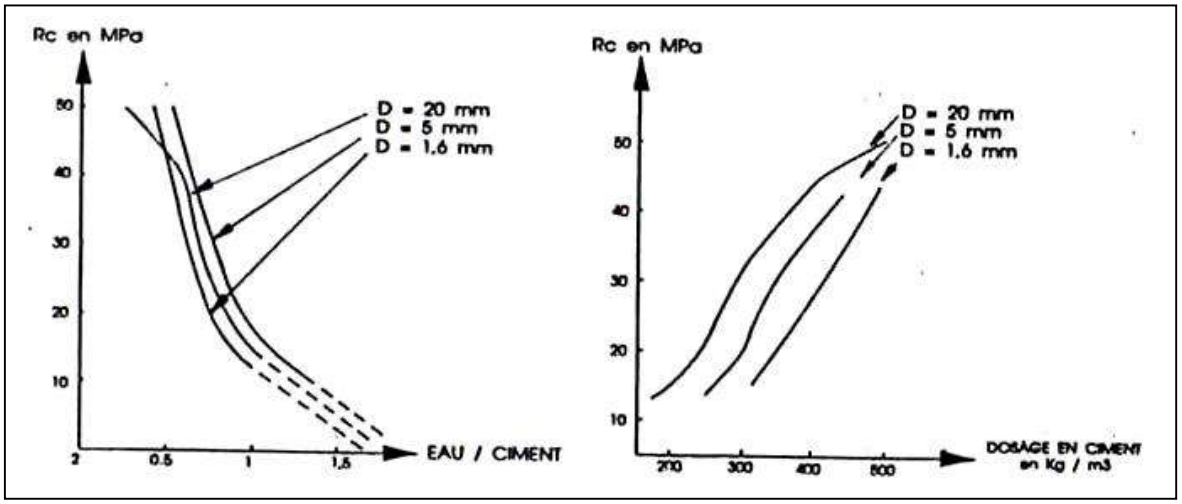


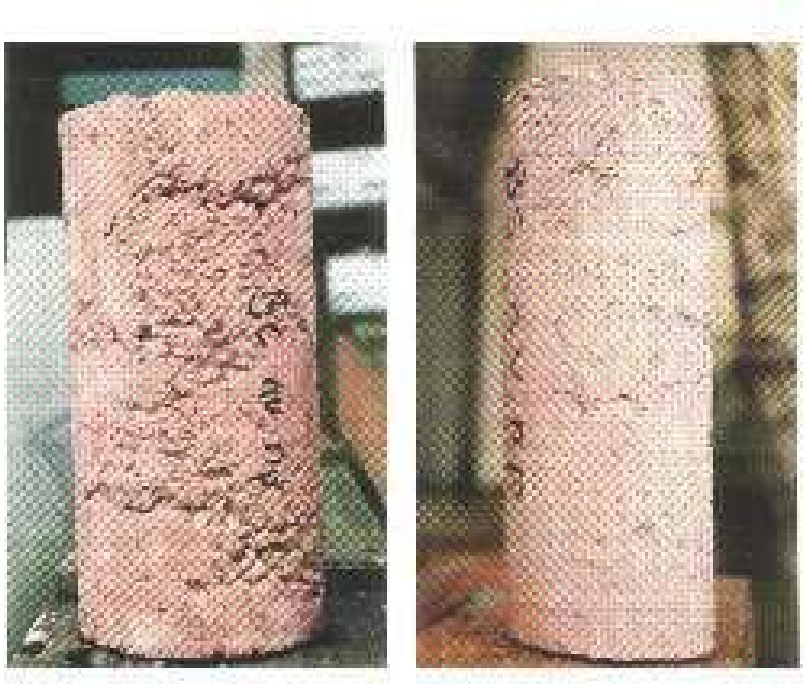
Figure I.10 : Effet de la granularité sur la résistance **[2]**

I.1.5.4-Adhérence aux armatures

Le béton de sable adhère bien aux armatures. La contrainte d'adhérence moyenne est comparable à celles des bétons traditionnels **[16].** La granularité du béton de sable n'est pas un élément essentiel puisque à un même niveau de résistance, l'adhérence mesurée pour un béton de sable dunaire (très fin) est supérieure à celle obtenue pour un béton sable alluvionnaire **[11].** La nature des aciers (lisse ou tors) ainsi que leur diamètre ont aussi une influence sur la valeur de l'adhérence **[17].**

I.1.5.5-Phénomène de ségrégation des constituants

Du fait de son faible étendue granulaire, et donc sa plus grande homogénéité, combinée à une bonne maniabilité, le béton de sable présente un meilleur comportement vis à vis des phénomènes de ségrégation que les bétons ordinaires. Cette faculté apparaît plus clairement à travers des expériences comparatives sur des bétons de sable et des bétons classiques équivalents, avec des plasticités et des modes de mise en œuvre variables. Les deux figures (**Fig. I.11) [2]**qui suivent montrent les différences d'aspect de la peau de deux éprouvettes coulées, sans action extérieure sur le serrage, à des consistances plastique équivalentes (cône de 14 cm.)



a) Béton ordinaire b) Béton de sable

Figure I.11 : Eprouvettes non vibrées non piquées **[2]**

I.1.5.6-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 **[13].**

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.

I.1.5.7-Résistance au gel et au dégel

De même, la tenue au gel des bétons de sable formulés correctement est excellente. En effet, par comparaison à une étude menée sur un large éventail de formulations de bétons traditionnels, les bétons de sable à formulation et performance équivalentes résistent mieux au gel que les bétons traditionnels correspondants. Certains bétons de sable, même sans ajout d'entraîneur d'air, présentent une résistance au gel équivalent aux bétons classiques les plus performants de ce point de vue. Cette bonne tenue aux cycles gel- dégel, quand elle ne résulte pas d'une formulation visant, soit une très faible porosité, soit une porosité bien répartie par l'emploi d'entraîneur d'air, s'explique par la microstructure particulière des bétons de sable, qui est en général, caractérisée par une bonne répartition des micropores.

I.1.6- Variations dimensionnelles

Des travaux de recherches ont été effectués sur les bétons de sable, afin d'étudier leur comportement au fluage et au retrait **[18].**

A.Benaissa et al, ont présenté une étude de recherche comparative faite parallèlement, sur un BS et un BO de même niveau de résistance à la compression à 28 jours.

Les compositions du BS et BO qui ont été étudié et leurs caractéristiques mécaniques sont présentés au tableau **I.2 et I.3**ci-dessous.

Tableau I.2 : Composition des bétons d'essais (BS-BO)**[18]**

Composition	Sable de Garonne Roulé-sélicieux(Kg)	Ciment CPJ 45 R PM (Kg)	Filler MEAC (Kg)	Superplastifiant (L)	Eau (L)	Granulats Kg/m^3 3/8	8/15
BS	1550	350	350	7	190	/	/
BO	680	320	/	/	170	450	770

Tableau I.3 : Caractéristiques mécaniques des bétons d'essais (BS-BO) **[18]**

Sollicitation	Age (jours)					
	Bétons	3	7	14	28	90
Rc (MPa)	BS	11	17	21.5	23.6	28.8
	BO	14	20	25	26	29
R_t(MPa) (Fendage)	BS	1.24	1.97	2.24	2.36	2.53
	BO	2.02	2.13	2.14	2.51	2.90
E (MPa)	BS	17000	19700	/	23000	23000
	BO	21000	27900	/	31000	32500

- **Module d'élasticité**

D'après Benaissa**[16]**, le module d'élasticité du béton de sable qui est relativement faible implique une plus grande déformabilité que dans les bétons ordinaires et donc un moindre risque de fissuration. L'absence de gros granulats et aussi un facteur atténuateur de fissuration qui confirme le caractère peu fissurant du matériau.

A.Benaissa**[16]**a constaté aussi d'après les observations effectuées au MEB que le béton de sable est un matériau amorphe et homogène.

I.1.6.1- Retrait

Le retrait d'auto- dessiccation (retrait endogène), présenté par la figure (**Fig. I.12)** est caractérisé par une cinétique semblable aux autres gammes de béton ordinaires.

La différence de retrait de dessiccation ou de séchage s'explique par une perte en poids plus rapide pour le béton de sable que celle du béton ordinaire. Le retrait de dessiccation est une fonction croissante du taux de séchage. La figure (**Fig. I.13)[15]-[16]** montre la linéarité existante entre le retrait total et le taux de séchage, ce dernier étant pris comme le rapport de la perte de poids d'eau initial. L'aspect de la droite reste assez régulier, alors qu'on aurait pu s'attendre à un changement de pente en raison d'éventuelles fissures apparaissant au –delà d'un certain degré de séchage, mais ce n'est point le cas. Cette régularité de pente traduit une bonne homogénéité du béton et donc une absence de fissuration susceptible qui ne peut s'expliquer que par un séchage uniforme. Afin de vérifier cette hypothèse, A.Benaissa a fait analyser au banc gamma (étude gammamétrique : perte de densité en fonction du temps et de l'épaisseur) une éprouvette de béton de sable dont les faces planes ont été rendues étanches subissant un séchage radial. Il a affirmé que l'uniformité du séchage et l'homogénéité du béton de sable, sont lesfacteurs déterminants l'absence de fissures. Cet état explique, au moins partiellement, le retrait de dessiccation du béton de sable plus important que celui du béton ordinaire. **[15]-[16]-[18].**A.Benaissa etal, en concluent que si la présence de fissures réduit le retrait, ceci n'est pas en soi un avantage car la fissuration peut exposer dangereusement la durabilité

du matériau, donc ils affirment que le BS pour peu que sa perméabilité soit faible, présente une meilleure résistance aux milieux agressifs. De plus ils pensent que la déformation de retrait de dessiccation du BS se stabilise plus rapidement que celle du BO ou la stabilisation est éloignée dans le temps de sorte que les écarts à très long terme s'atténuent. Cette hypothèse est non seulement justifiée par le séchage plus rapide du béton de sable, mais aussi par la porométrie de ce matériau.

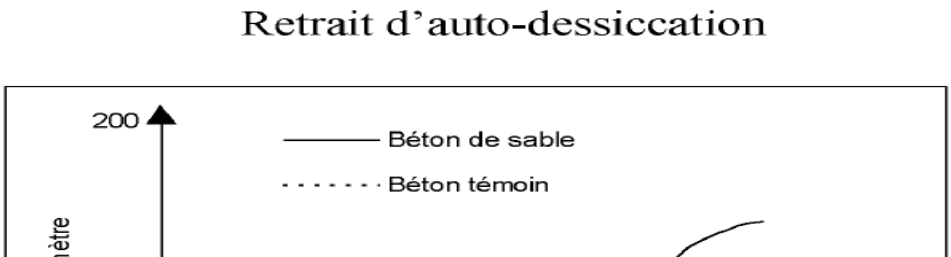


Figure I.12 : Retrait d'auto-dessiccation (BS-BO)**[18]**

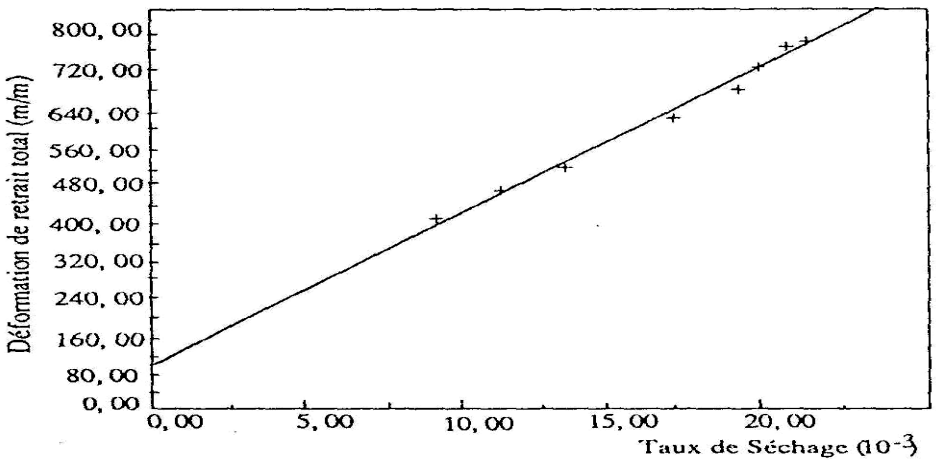


Figure I.13 : Retrait total en fonction du taux de séchage BS**[17]**

La réaction d'hydratation est stoppée plus rapidement dans le béton de sable car les produits d'hydratation non pas suffisamment d'espace dans les micropores, alors que dans le béton ordinaire, ces réactions puisent dans l'espace des macro-pores. Cette hypothèse est vérifiée par les travaux de nombreux chercheurs **[15].**

I.1.6.2- Fluage

La cinétique du fluage du béton de sable est plus rapide que celle du béton ordinaire. Les valeurs du fluage du béton de sable sont deux fois plus importantes que celles du béton ordinaire. Notons que ces résultats correspondent à un niveau de résistance en compression de 25 MPa. Un béton de sable plus résistant n'aura pas le même comportement et son fluage deviendra plus faible **[19].**

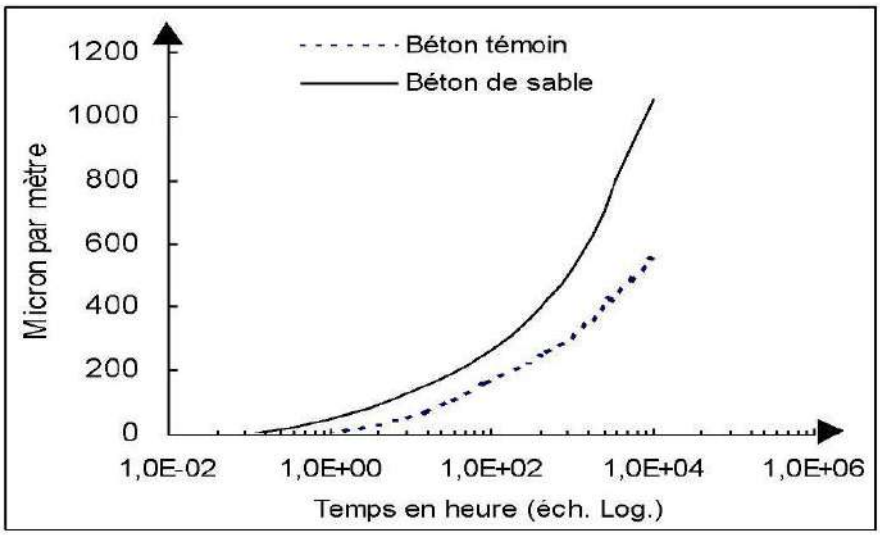


Figure I.14 : Fluage d'auto-dessiccation des BS et BO **[19].**

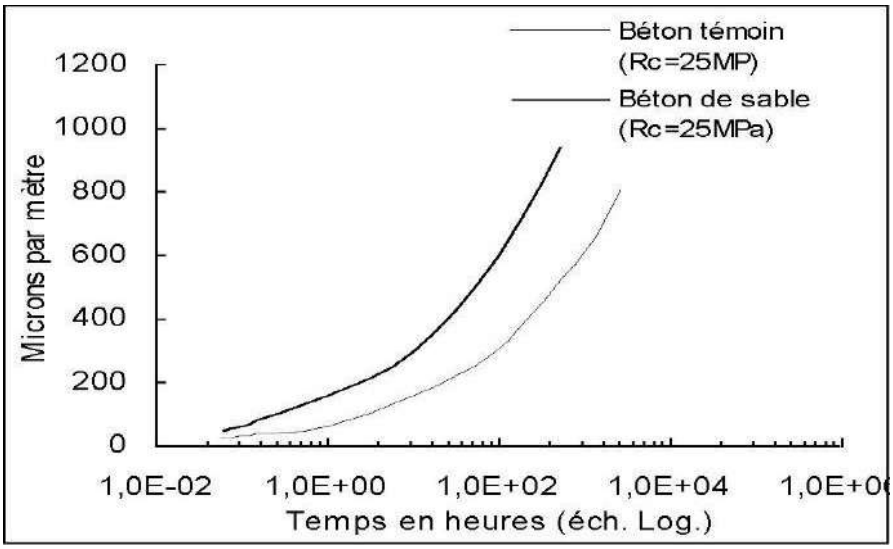


Figure I.15 : Evolution du fluage du béton de sable **[19]**

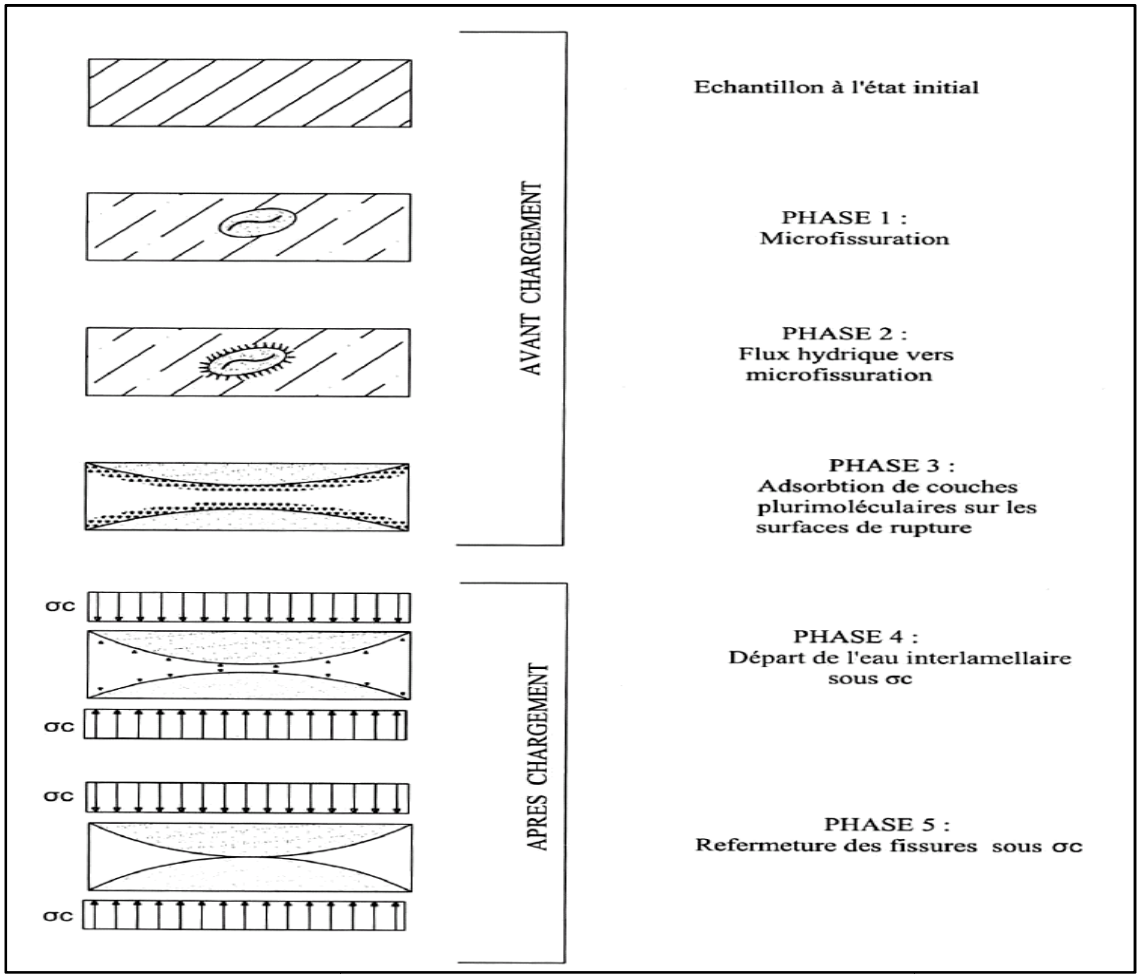


Figure I.16 : Modèle du fluage propre du BS **[20]**

I.1.7-Microstructure du béton de sable

L'observation de fragments durcis du béton de sable au microscope électronique à balayage (MEB), permet de décrire le matériau comme étant dépourvue de fissures notables, avec une bonne homogénéité d'ensemble et une bonne adhérence pâte de ciment-grains de sable.

Des essais ont été effectuée par M.Bederinamadani , basée sur l'observation par microscope électronique à balayage (MEB), sur trois types de béton de sable, a montré qu'une pâte de ciment durcie plus ou moins compacte homogène (**Fig : I.17 et I.18**) on constate de nombreux hydrates avec forme d'aiguilles et de cristaux vu la taille des pores très petites, et peu de microfissures courtes et non connectées, ces microfissures résultent de l'important retrait d'autodessiction et la nature de séchage qui est uniforme en surface qu'à l'intérieure de l'éprouvette (le séchage atteint 80% entre le 3^{e} et 5e jour et 100% avant le 10e jour)**[21]**.

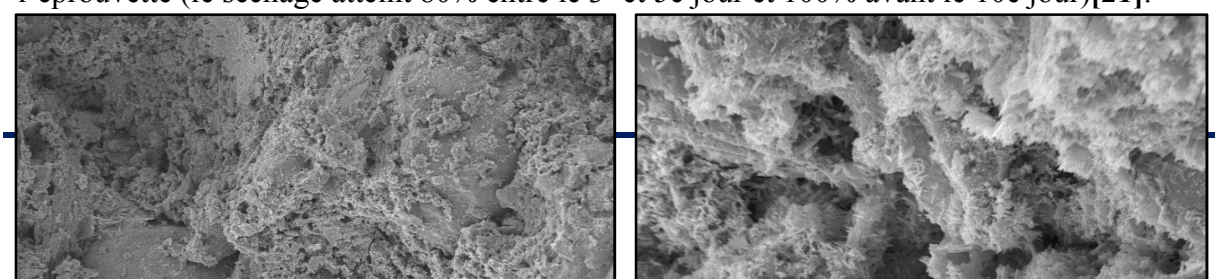


Figure I.17 : Liaison pâte granulats du Béton de sable de dune **[21]**

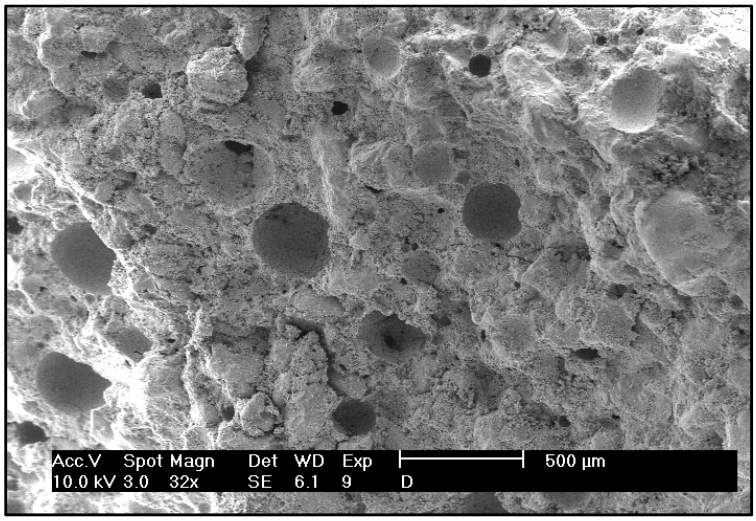


Figure I.18 : Aspect du Béton de sable de dune**[21]**

I.1.8-Méthodes de formulation

Onprésente deux types d'approches :une approche théorique qui constitue une base de formulation de béton de sable et une approche expérimentale basée sur la réalisation de gâchées successives.

I.1.8.1-Définition

Le but de la formulation d'un béton de sable est de trouver les proportions des différents constituants, à fin de réaliser un béton optimisé dans son squelette granulaire et dont les qualités sont celles qui répondent aux critères techniques et économiques. Ainsi toutes les méthodes de formulation des bétons ne relèvent pas d'une science exacte, c'est pourquoi une étude théorique ne conduit qu'à une approche du problème. Une étude expérimentale basée sur la réalisation des gâchées successives permettra d'adapter et de corriger la formulation théorique.

A ce titre il y a lieu de présenter deux types de formulations, dont l'une est théorique et l'autre expérimentale, en se basant sur les deux critères principaux des bétons structuraux

- La résistance mécanique.
- La maniabilité qui est la facilité de la mise en œuvre.**[2]**

I.1.8.2-Approche théorique d'une formulation d'un béton de sable

Les agrégats d'un béton jouent un rôle d'ossature et la pâte (généralement le ciment avec l'eau) assure, dans un premier temps, la cohésion et l'écoulement, puis joue le rôle d'une colle liant les agrégats et donnant une certaine durabilité au 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 **[12]** a pu établir à partir des données expérimentales une relation mathématique reliant le volume des vides d'un mélange granulaire présentant une compacité maximale et son étendue granulaire (d/Dmax).

Pour ce mélange optimisé la relation de Caquot s'écrit comme suit **[2]** :

$V = V_0 (d / D_{max})^{1/5}$ **Éq. (I.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.

a-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 80µm et qui sont le ciment, les fines d'ajout et une fraction du sable.

2. Toute l'étendue du sable comprise entre 80µm et le diamètre maximal du sable D_{max}, ainsi que l'éventuelle fraction des éléments supérieurs à 80µm. Provenant des fines d'ajout.

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

$Ps = V = 0.75\ (0.08/D)1/5$ **Éq. (I.2)**

Ps(V) : Porosité du sable d'étendue 80m m et D_{max}

D_{max} : Diamètre maximal du plus gros grain du mélange.

La constante expérimentale (V0) 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 80m m, 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 (< 80m 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.

$[Fines] = 0.38\ (0.08/D_{max})1/5.$ **Éq. (I.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 (**Fig. I.19)** .

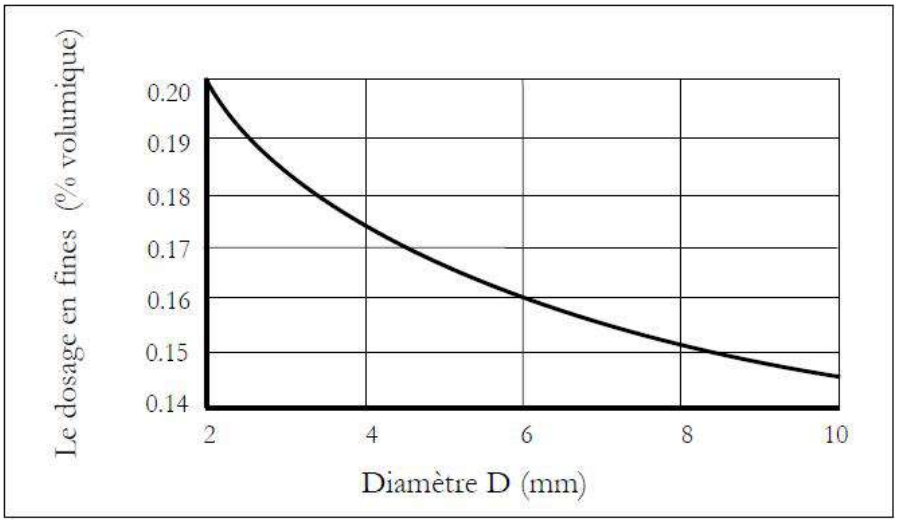


Figure I.19: Influence du diamètre D du sable sur le dosage en fines **[2].**

b-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

$(e + v)_{min} = 0.8 (d/D_{max})1/5$ **Éq. (I.3)**

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 défloculé (chaque particule élémentaire agit indépendamment) est donnée par la formule suivante :

$d = (60 / (f)) \text{ mm} \times \rho$ **Éq. (I.4)**

Avec:

f : surface spécifique exprimée en cm²/g du constituant.

ρ: Densité du constituant exprimée en g/cm3.

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 flocs relevant des considérations physico-chimiques très complexes. Un ordre de grandeur peut être avancé de l'ordre de 20 à 25 mm 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.20)** le montre :

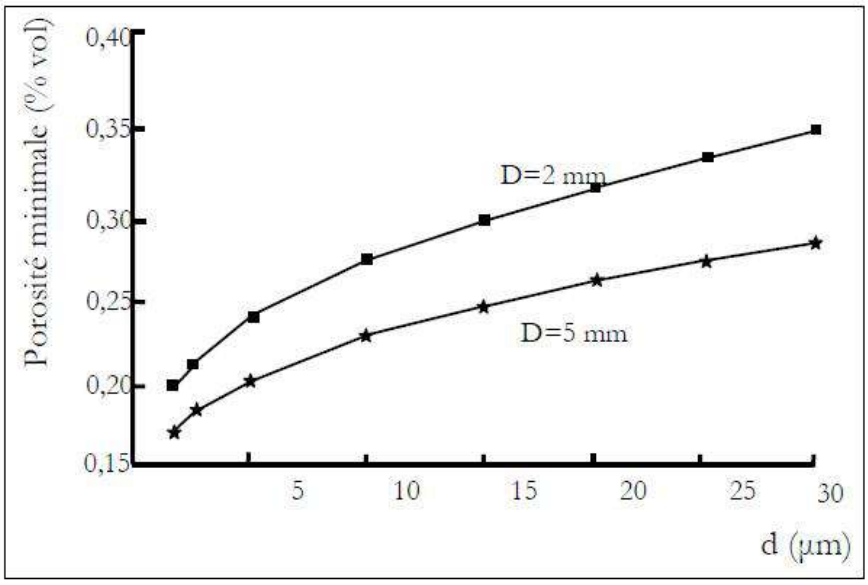


Figure I.20: Influence de la dimension d sur la porosité minimale du béton pour deux tailles du sable **[2]**

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.21)[2]**nous montre la relation entre l'ouvrabilité et le dosage en eau.

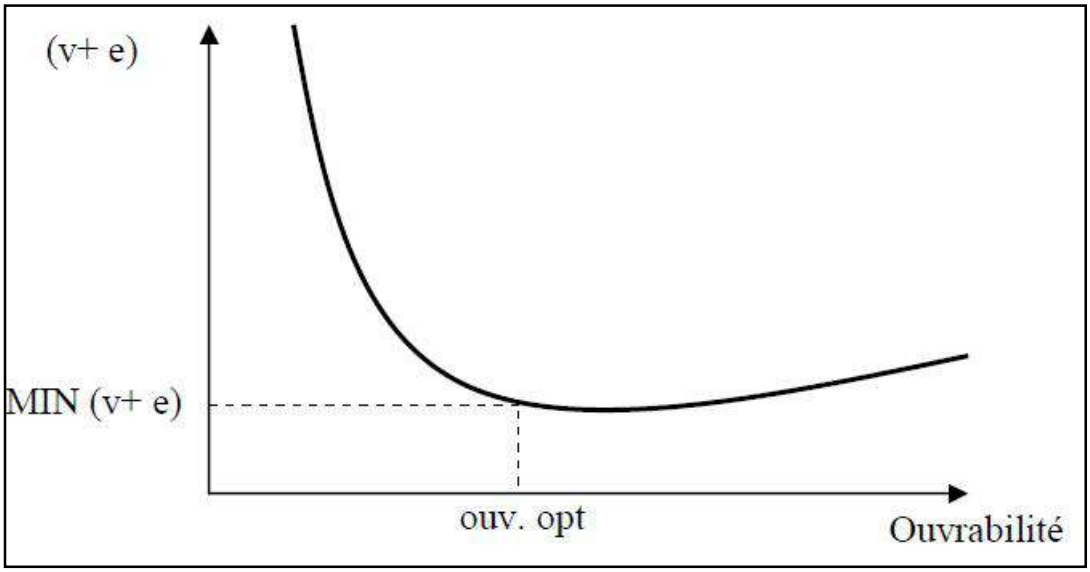


Figure I.21: Relation entre l'ouvrabilité et le dosage (e + v) d'une matrice pour une mise en œuvre donnée **[2]**

L'expérience montre que pour des quantités d'eau inférieures à la quantité d'eau permettant d'obtenir l'ouvrabilité optimale, le mélange piègera 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%.

[Vides] = K [eau] **Éq. (I.5)**

Avec :

K : constante comprise entre 0.2 et 0.25.

c-Dosage en sable

Afin de compléter un volume unitaire de béton de sable, (1m3), 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).

[Sable]=1000-[fines]-[eau]-[vide] (l/m^3).

Il reste à noter que le volume du sable ainsi calculé regroupe toutes les particules de taille supérieure à 80mm, soit du sable, soit de la fraction des fines d'addition.

d-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 la formule de FERET [9] a été proposée récemment**.**

$$R_b = \frac{k_f \times R_c}{\left(1 + \frac{3,1\,(e+v)}{c\,(1+k_1+k_2)}\right)^2} \qquad \textbf{Eq. (I.6)}$$

Avec :

K_f : coefficient granulaire compris entre 4.5 et 5 ;

R_c : classe vraie du ciment (MPa) ;

E : dosage en eau total (l/m3) ;

V : air piégé (l/m3) ;

C : dosage en ciment (kg/m3) ;

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

Avec :

K1 = Kcv (CV/C)+Kfs (FS/C) ;

0.2<Kcv<0.4 2<Kfs<3.3 K1 £ 0.5

K2= Kfil (Fil/C) ;

0<Kfil £ 0.4 K1<0.2

K1 : coefficient pouzzolanique

K2 : coefficient d'activité du filler calcaire (**Fig. I.22)[2]**

Kcv, Kfs, Kfill : coefficients d'équivalence en ciment des différentes additions en fines.

CV, FS, FIL : dosage en cendres volantes, fumée de silice et filler 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 **[12],** alors que d'autres paramètres pourraient influer 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.

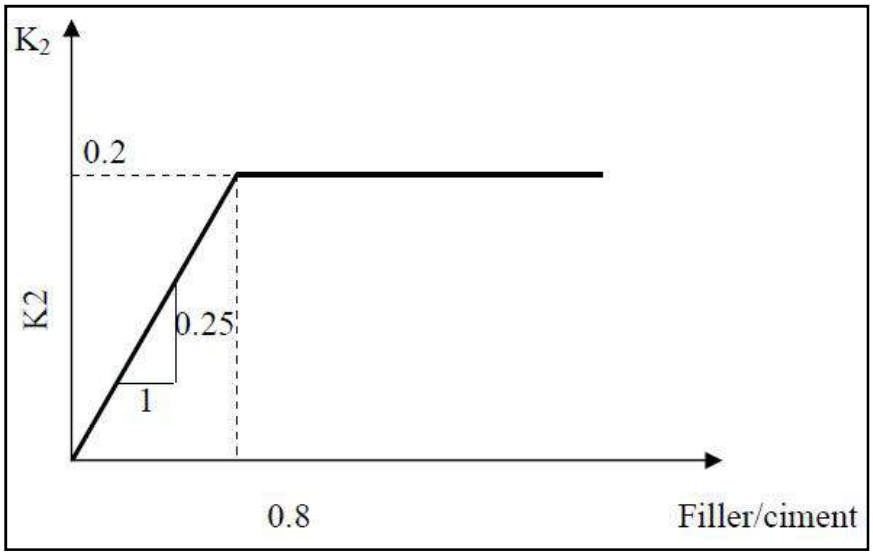


Figure I.22 : Coefficient d'activité du filler calcaire (modèle) **[2]**

Sur la base de la remarque de l'activité des fillers, un autre paramètre s'ajoute pour le dosage en fines, tonte fois le dosage en fines est estimé en terme 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 fines d'ajout = dosage en fines.

· Dosage en fines d'ajout / dosage en ciment = optimum d'activité.

Il en résulte de tout ce qui précédé que cette formulation théorique simple et performante donne la possibilité au formulateur de jouer sur certains paramètres en restant à la

compacitémaximale, 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 acceptée qu'après passage à l'expérience qui la confirme ou l'ajuste.

I.1.8.3-Méthode expérimentale de formulation

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 fixé, 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 est 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.

Diverses 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 **[2].**

I.1.8.3.1-Différentes étapes de la formulation

A-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 220 litres d'eau pour 350 Kg de ciment, et 250 litres pour 400 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 80µm en extrait sec), qui permettra de défloculer les fines. D'autre part, un béton contient toujours un volume d'air, Vair, 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 :

Vair + VC +VE + Vadj + Vsable = 1000 (En litres). **Éq. (I.7)**

Les masses volumiques des constituants du béton sont connues, alors, on peut connaître la masse de sable pour une formule d'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 :

$$\mathbf{S_i} = S_{i-1} - (MVAT_{i-1} - MVAR_{i-1}) \pm V \times MV_{sable} \quad \textbf{Éq. (I.8)}$$

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.

B-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 :

$$\boldsymbol{Si} = S_{i-1} - (MVAT_{i-1} - MVAR_{i-1}) \textbf{ Éq. (I.9)}$$

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 (**Fig : I.23 et I. 24)**
- 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/m3de fines.

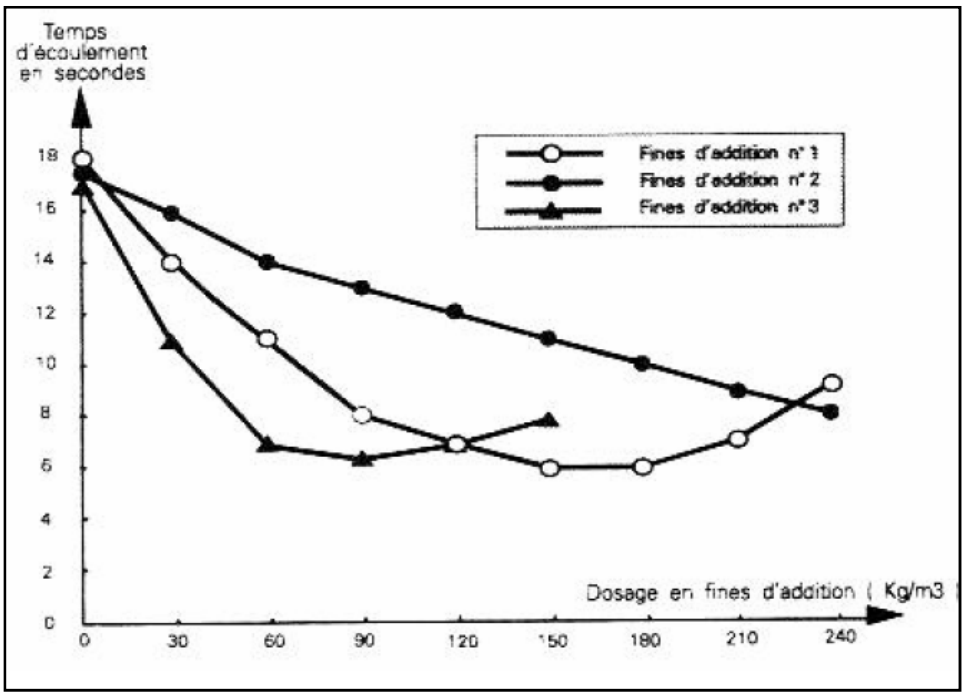


Figure I.23 : Evolution de la maniabilité (t d'écoulement) en fonction du dosage en fines d'addition**[2].**

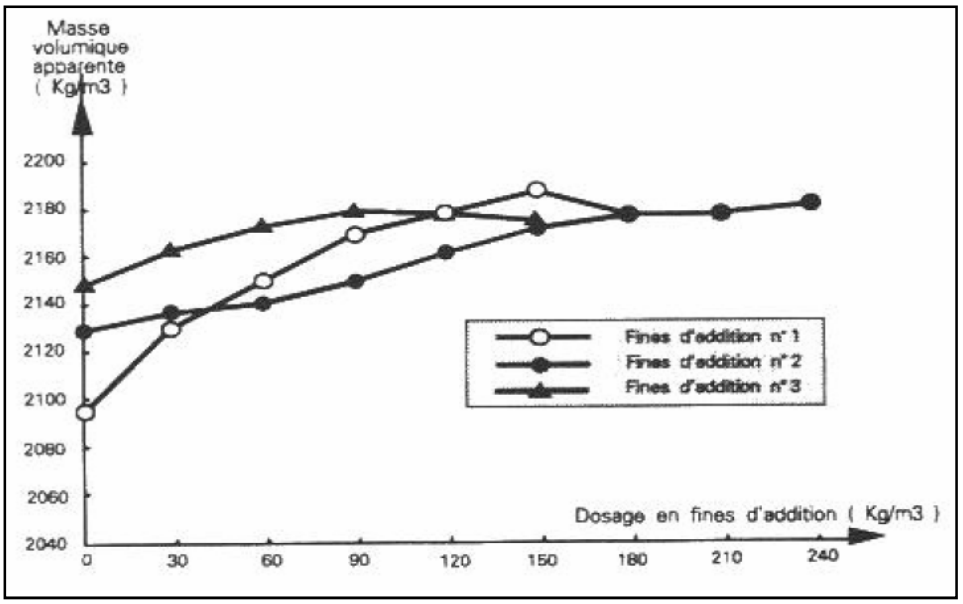


Figure I.24 : masse volumique apparente en fonction du dosage en fines d'addition**[2]**

I.1.9-Domaines d'utilisation et application du béton de sable

On peut présenter les domaines d'utilisation et d'application du béton de sable ainsi :

I.1.9.1-Domaines d'utilisation

Le béton de sable est un matériau ancien utilisé bien avant le béton traditionnel et présente sous sa forme actuelle certaines propriétés spécifiques par rapport au béton classique, et peut procurer des économies dans certaines régions et pour certains usages.

Les principaux domaines d'utilisation des bétons de sable, établis sur ces données sont les suivants [**21**] :

a- Travaux exécutés avec du béton de sable in situ :

- ✓ Travaux avec du béton injecté ;
- ✓ Travaux avec un fort cadrage ;
- ✓ Pilotis de béton armé coulé sur place ;
- ✓ Travaux de réparation et de monolithisation ;
- ✓ Couches en béton de résistance pour les chemins régionaux ;
- ✓ Accotements de chaussées nationales et régionales ;
- ✓ Couches de résistance et usure des chemins locaux ;
- ✓ Certains travaux de fondations pour les constructions ;
- ✓ Trottoirs et allées piétonnes ;
- ✓ Carrelage dans certains bâtiments industriels ;
- ✓ Travaux pour terrasses ;
- ✓ Murs de béton armé in situ ;

b- Travaux en béton de sable préfabriqué :

- ✓ Dalles préfabriquées pour pavages et trottoirs ;
- ✓ Tuyaux de canalisation en béton simple ou armé ;
- ✓ Petits blocs de maçonnerie ;
- ✓ Panneaux préfabriqués pour les murs extérieurs autoportants ;
- ✓ Panneaux préfabriqués pour murs intérieurs et extérieurs portants ;
- ✓ Panneaux en béton décoratif ;
- ✓ Panneaux de planchers ;

I .1.9.2-Application du béton de sable

Grâce à ces intérêts, les bétons de sable ont pu trouver de nombreuses applications dans différents domaines tels que :

a- Le bâtiment

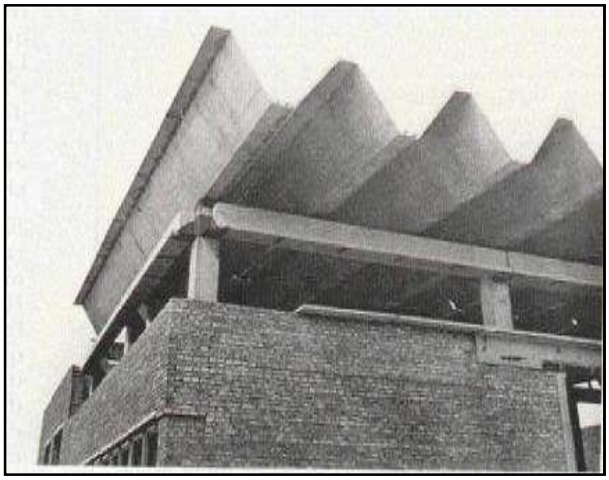
Presque toutes les applications en bâtiment sont réalisables en béton de sable, il est surtout utilisé pour sa ouvrabilité excellente et son esthétique.

b- La préfabrication

Le béton de sable est plus adapté à la préfabrication, on constate que les performances recherchées en préfabrication sont réunies dans le béton de sable (facilité en moulage, la montée en résistance, démoulage rapide, aspect de surface exceptionnel).

- **Toiture à plis**

Ces éléments préfabriqués ont une épaisseur de 5 cm, une hauteur de 2 m et une longueur pouvant atteindre 32m (**Fig : I.25 et I.26)**



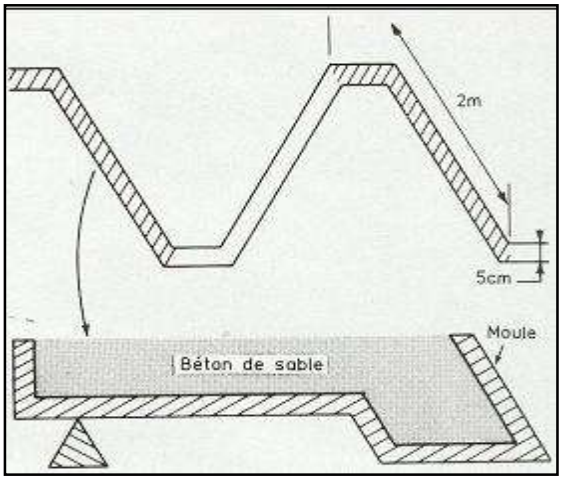


Figure I.25 : Ombrelles d'étanchéité **[21]Figure I.26** : Moulage d'un élément **[21]**

La finition du métro de Leningrad en Russie est assurée par la mise en place d'une ombrelle d'étanchéité ; il s'agit d'une voûte à caractère autoporteur constituée de plusieurs éléments (généralement trois) assemblés sur place et réalisés dans une usine de préfabrication (**Fig : I.27)**



Figure I.27 : Tunnel d'accès au métro de Leningrad **[3]**

c- Projection

La technique de projection de béton de sable permet de véhiculer le béton sur de grandes hauteurs ou à de longues distances, le domaine d'application de la projection comprend aussi bien les réparations et les renforcements des ouvrages en béton et en maçonnerie que les constructions de formes complexes et particulièrement pour la réhabilitation d'ouvrages souterrains (égouts visitables) (**Fig : I.28 ; I.29 et I.30)**

On peut citer d'autres applications pour les travaux neufs, exemple la réalisation de piscines (**Fig : I.31)**

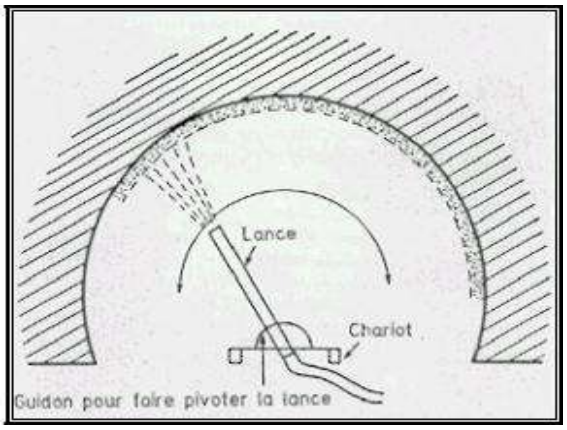




Figure I.28 : Renforcement d'un égout **[21]Figure I.29** : Projection sur surface ancienne avec nouveau ferraillage **[21]**



Figure I.30 : Réparation d'un pont par le béton de sable projeté **[21]**

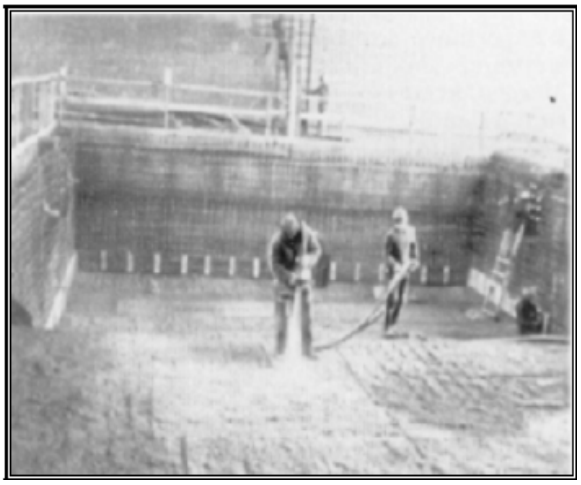


Figure I.31 : Réalisation d'une piscine avec béton de sable projeté **[21]**

d - Béton de sable dans les fondations

L'utilisation du béton de sable pour la réalisation de fondations superficielles (semelles, radiers…) et fondations profondes est semblable à celle du béton traditionnel.

L'expérimentation a confirmé que le béton de sable, qui est bien adapté à la fabrication de pieux de fondations profondes moulés dans le sol, possède des arguments technico-économiques propres à favoriser son développement, dans ce cas facilité d'introduction de la cage d'armature après le bétonnage**[10]**.

f-Injection

A cause de leur diversité d'application, les techniques d'injection sont complexes et variées, on peut décrire un exemple représentatif.

- **Confortement d'une digue**

Il s'agit de confortement d'une digue (160 m) en enrochements par injection de béton de sable **[10].** Cette expérience confirme les propriétés spécifiques du béton de sable qui le rendent particulièrement adapté à ce type d'application : bonne résistance au délavage, fluidité et thixotropie permettant pompage et injection, tout en limitant les déperditions, mais, également bonnes performances mécaniques et coûts réduits.

g – Applications dans la construction routière

- **Chaussées en béton**

Le béton de sable utilisé comme couche de roulement, peut constituer une variante de structure rigide intéressante sur le plan économique.

Par exemple, une autoroute à l'itinéraire Moscou – Toula, Aérodrome de l'aéroport militaire de Pevec (résistance à la compression égale 30 Mpa), chaussée réalisée à une longueur de 450 m sur 7 m de large avec trois variantes de couches de roulement Base Aérienne 120,Cazaux en Gironde, etc.…

- **Béton de sable fluidifié en dallage**

Un dallage de type industriel de 800 m² en 0,20 m d'épaisseur a été réalisé, sur lequel ont été expérimenté, comparativement et en situation réelle, 11 formulations de divers bétons de sable fluidifiés et de bétons traditionnels **[22].**



Figure I.32 : Dallage en béton de sable **[22].**

- **Equipement de voirie extrudée**

Le béton de sable est utilisé dans la réalisation des caniveaux, bordures, murets, bloc de béton séparateurs, glissières de sécurité réalisée en béton à l'aide de machines à coffrages g Lissants (**Fig : I.33**)



Bloc de BS Caniveaux en BS Pavé en BS Les bordure en BS

Figure I.33 : Différent application des Bétons de sable **[22].**

I.1.10- Avantages et limites d'emploi des bétons de sable

On peut présenter les avantages et limites d'emploi des bétons de sable ainsi :

I.1.10.1- Avantages des bétons de sable

Les bétons de sable font partie des nouveaux matériaux de construction, qui utilisent des ressources naturelles en sable, éliminant ainsi beaucoup d'obstacle qui se dressent comme entrave devant le développement et l'évolution de la construction. Nombreuses sont les qualités de ce dernier, qui le place parmi les matériaux privilégié de la construction,

surtoutdans certains domaines ou les bétons classiques présentent des anomalies dans leurs exécutions. Grâce aux propriétés spécifiques dont nous pouvons citer :

a-Ouvrabilité

Cette capacité du béton de sable à remplir les moules avec une énergie de serrage moindre, sans préjudice pour les autres propriétés du matériau, constitue un atout significatif dans bien des domaines.

C'est ainsi que :

• Le béton de sable se révèle apte à garnir les éléments les plus fins ou les plus inaccessibles des moules;

• Le béton de sable conserve sa cohésion, son homogénéité et de bonnes résistances, sans apport d'énergie de serrage;

• Le béton de sable garantit un bon enrobage des aciers, même si le ferraillage est très dense ou très compliqué, et même quand la vibration est impossible ou inopérante;

• Les distances de pompage sont accrues.

b-Qualité d'aspect

Conséquence de leur ouvrabilité et de leur faible granularité, on peut obtenir facilement avec les bétons de sable des effets architectoniques aussi variés qu'étonnants et séduisants :

• aspect très lisse, type marbre;

• aspect finement grenu, type pierre;

• arêtes parfaitement définies;

• reproduction fidèle de moules extrêmement fins;

• absence de défauts d'aspect, notamment dus à la ségrégation

c-Homogénéité — Cohésion et l'absence de ségrégation

Composition et granulométrie confèrent aux bétons de sable homogénéité et cohésion.

L'intérêt essentiel en est une réduction significative de la ségrégation, et de tous les déboires qu'elle entraîne. Mais ils offrent aussi une bonne résistance au délavage et une meilleure tenue aux chocs.

d- Poids plus faible

C'est une propriété recherchée dans les travaux de réhabilitation des structures anciennes ou pour le remplissage des structures neuves.

e-Faibles granularités

Ce qui rend le béton de sable utile dans les travaux d'injection et pour le bétonnage d'un milieu fortement ferraillé.

I.1.10.2- Limites d'emploi

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 **[7].**

a-Raisons économiques

L'expérience a montré que, par l'utilisation des ajouts, qu'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 n'est 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 **[8].**

b-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

1.2-Béton de fibres

I.2.1-Historique

L'idée de renforcé le béton avec des éléments courts en aciers de types fibres n'est pas récente, elle date depuis l'antiquité. D'après le chercheur Exode, les Egyptiens ont utilisé les pailles pour renforcé la brique de boue. Il y a aussi une certitude que les fibres d'amiante ont été utilisées dans le renforcement des poteries en argile en Finlande, il y a de cela 5000 ans. Dans d'autre sources, il a été indiqué que les pailles ont été utilisées pour renforcés les briques, tandis que les poils d'animaux et les fibres d'amiante ont été introduits pour renforcer le plâtre et la pâte de ciment portland. On peut noter aussi la réalisation au milieu du XV siècle d'alliages métalliques avec des fibres de carbone **[23].**

M.BARAUN et d'autres chercheurs, ont rapporté que la paille a été rajoutée dans des matériaux de construction tels que le mortier, le plâtre…etc.

JOSEPH LAMBOT en établissant en 1847 un brevet, suggère l'ajout de fils continus ou de treillis métalliques pour crées un nouveau matériau qui peut être, à son avis, une solution face aux problèmes de fissuration des bétons. Ces développements sont à l'origine de la technologie actuelle du béton armé. Ce concept conduit toutefois à un matériau anisotrope dans lequel les armatures continues qui ne travaillent que dans une direction privilégiée, et sont relativement inefficaces face aux fissures microstructurales**[23].**

Vingt-sept ans après, l'américain A.BENRARD est parvenue en Californie (U.S.A), à créer une pierre artificielle par l'ajout de granulats en fer recuit dans un mélange de béton. Ensuite, en 1899, un processus de fabrication d'éléments composites à base de ciment et d'amiante a été mise au point par LHATSHELS **[23].**

Pour améliorer la résistance de béton, une séries des essais a été fait par J.PORTER en 1910, qui a conclu que la présence des fibres courtes dans le béton augmentes sa résistance à l'écrasement et à la traction. Par la suite une série de brevet ont été établis par J.GRAHAM (1910), WEAKLY (1912), FICKLEY (1914) **[23].**

En 1963, deux articles ont été publiés par ROMUALDI et BATSON, le premier, sous le titre 'The mechanics of crack arrest in concrete '', le deuxième s'intitule ''Behavior of reinforcedconcretebeamswithcloselyspacedreinforced '' **[23].**

Dans ces deux articles, une analyse théorique des résultats donnés par les brevets de BattelleDevelopment Corporation a été validée avec des données expérimentales obtenue à partir de l'essai de flexion. Par la suite, les recherches sur les bétons de fibre ont connu un réel développement grâce aux travaux de ROMUALDI, BATSON, MONDEL et d'autre. Dans ces travaux qu'on peut qualifier comme des essais pilotes en déformation, les chercheurs sont arrivés à mettre en évidence les propriétés nouvelles de ce composites. Ils sont décrit les mécanismes de propagation et d'arrêts d'une fissure au sein d'une matrice fragile.

La fin des années soixante a connu la participation d'un grand de chercheurs afin d'orientés les axes de cherche vers l'application, avec toute la fiabilité du béton de fibre dans les domaines de construction. Les travaux se multiplient et une multitude de type de fibres a été introduite dans le commerce comme étant de nouvelles applications. Le plus grand progrès dans ce domaine a commencé dans les années soixante-dix avec l'incorporation des fibres d'acier dans l'industrie réfractaire **[23].**

A partir de l'année 1970, il s'est produit une sorte de réveil dans le domaine de la technologie des bétons renforcés de fibres. L'amélioration de certaines propriétés spécifiques des bétons renforcés des fibres a permet leur utilisation de façon permanente dans les applications industrielles. Mais aujourd'hui, avec le développement des moyens expérimentaux, l'utilisation de ce type de matériaux, s'est orientée vers les structures présentant des phénomènes de fissuration avec des bétons traditionnels **[23].**

Le premier article dans ce concept peut être attribué à LANKARD et SHEETS. Dans cet article, ces auteurs confirment que l'ajout de 1 % à 2% de fibres au béton réfractaire donne une amélioration significative à sa résistance, sa ténacité et sa durabilité**[23]**.

I.2.2-Définition de béton de fibres

On appelle béton de fibres, un béton dans lequel on a incorporé une armature par inclusion directe de fibres isolées au moment du gâchage ou de projection. Les fibres sont assimilables à un granulat spécial de forme très allongée et forte résistance à la traction, susceptible d'améliorer légèrement la résistance à la traction du matériau et de ralentir la propagation des fissures. En pontant les fissures, les fibres améliorent le comportement post fissuration de la matrice en maintenant une forte portance pendant l'accroissement des déformations **[24].**

. Un matériau composite est constitué généralement d'une ou de plusieurs phases discontinues reparties dans une phase continue. Dans le cas de plusieurs phases discontinues de natures différentes le composite est dit hybride.

La phase discontinue est habituellement plus dure et avec des propriétés mécaniques en traction supérieures à celle de la phase continue. La phase continue est appelée matrice et la phase discontinue est appelée renfort (**Fig** : **I.34)[25]**.

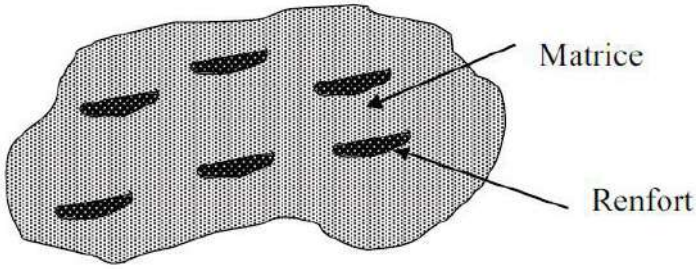


Figure I.34-Schéma d'un matériau composite **[26]**

I.2.3-Utilisation des fibres dans le béton

Les producteurs membres de l'ABQ considèrent que les fibres incorporées au béton doivent être traitées comme des adjuvants et des granulats et donc ajoutées par le producteur de béton à l'usine. Le producteur de béton est le mieux placé pour livrer un produit de performance selon l'utilisation demandée d'un béton fibré coulé en place. Par contre, il est important que le producteur considère le béton fibré comme un composite de haute gamme. Il est donc important que le producteur soit disposé à adapter la formulation des composantes du béton à l'incorporation de fibres **[26]**.

I.2.3.1-Utilisation des fibres à l'usine

Cette méthode permet de mieux homogénéiser le béton, car le temps de malaxage peut être augmenté. Par le fait même, il y a un meilleur contrôle de la qualité du produit livré. Il est également plus facile d'ajuster et de modifier la formulation du béton en usine. Un ajustement de la quantité d'adjuvants peut être nécessaire afin d'obtenir un niveau de fluidité permettant de bien disperser les fibres et aussi lorsque des variantes de température et de livraison surviennent en chantier **[26]**.

I.2.3.2-Utilisation des fibres au chantier

Cette méthode est fortement déconseillée, car elle provoque un sur malaxage du béton qui augmente le temps de mise en place. De plus, l'introduction des fibres au chantier peut diminuer la dispersion des fibres en fonction du temps de malaxage et du type de camions malaxeurs2. Le contrôle qualitatif en chantier est donc plus difficile à réaliser qu'en usine **[26]**

I.2.3.3-Moyens d'utilisation des fibres

Les fibres peuvent être ajoutées au moyen d'un convoyeur, d'une soufflerie ou de toute autre méthode qui permet un ajout uniforme, constant et sans agglomération de fibres non dispersées (phénomène communément appelé « formation d'oursins »). Il est recommandéque les toupies des camions malaxeurs soient munies d'ailettes propres et adéquatespermettant une bonne dispersion des fibres lors du malaxage. Il est à noter que l'ajout desfibres au béton implique que la construction des rampes servant à l'ajout des fibres soitapprouvée par la Commission de la santé et de la sécurité au travail (CSST).Selon le type de fibres utilisé, leur géométrie et surtout la quantité spécifiée, il faut prévoir uneséquence appropriée d'introduction des fibres. Il est très important de consulter lemanufacturier de fibres à cet effet **[26]**.

I.2.4- Différents types de fibres

Les sont classées selon leurs origine (naturelle, synthétique ou artificielle) leur forme (droite, ondulée, aiguille,… etc.), leur dimensions (macro ou microfibres) et leurs propriétés mécaniques. Les principales fibres utilisées sont les fibres organiques et les fibres inorganiques **[24]**.

I.2.4.1-Fibres organiques

Ces fibres ne sont pas utilisé pour renforcé le béton, vu que leurs caractéristiques mécaniques sont inférieures à celle du béton elles sont par contre mieux adapté pour le renforcement des sols, notamment dans le corps des chaussées. Dans cette catégorie de fibres, nous pouvons citer **[24]** :

I.2.4.1.1- Fibres végétales

La principale fibre végétale est la cellulose qui résiste aux alcalis. Les fibres végétale résistent aussi à la plupart des acides organiques mais sont détruites par les acides minéraux forts. Les fibres végétales sont classées en quatre groupes suivant leur provenance.A savoir

:les fibres de feuille, de tiges, de bois et de surface. Elles sont utilisées généralement dans la fabrication des cordes ou de textile ou bien dans le renforcement du ciment et du béton **[24]**.

A-Classification des fibres végétales [25]

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.

- **Fibres des 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 (**Fig : I.35)**

De ces fait, plusieurs chercheurs tel que : NILSSON, AYYAR et al ont montré l'efficacité du renforcement du ciment par les fibres de feuilles.



Fibre de sisal



Fibre d'abaca



Fibre de Henequen

Figure I.35 : Les différents types des fibres des feuilles **[27]**

- **Fibres de vigne**

Les origines de la vigne ont pu être étudiées grâce à la découverte des vignes fossile datant de l'Eocène au Pliocène.



Figure I.36 : Feuille de vigne naturelle et fossile **[28]**

La figure (**I.36)** feuille de vigne fossilisée de 6.6 cm de long (pétiole compris) remontant à 38-23 millions d'années vérifie que les végétaux n'ont guère évolué, mais qu'ils furent créés. Les feuilles de vigne Vitis actuelle ne présentent aucune différence avec celles ayant existé il y a des millions d'années.

La Vigne est un végétal très anciennement cultivé qui caractérise particulièrement bien certains paysages. De nombreux noms de lieux : Vignes, Viévigne (vieille vigne), Vigneux, Vignieu, Vignier, Vignol évoquent sa présence (COUTIN, 2002)**[29]- [30]- [31]**

A l'échelle mondiale Vitis vinifera est l'espèce viticole la plus commune et la plus importante au niveau économique (GALET, 1993). Selon ATTIA (2007), le raisin produit à partir du genre Vitis est le fruit au premier rang parmi les productions fruitières dans le monde, du point de vue de sa production ainsi que son importance économique.

Selon DUTRUC-ROSSET (2001), la superficie mondiale des vignobles s'étend sur 7,9 millions d'hectares et est toujours en progression avec l'augmentation des surfaces en Australie

Actuellement la viticulture algérienne est localisée essentiellement à l'Ouest du pays. Avec environ 8000 ha de vigne plantée contre plus de 14000 avant l'arrachage en 2007, la wilaya d'Ain Témouchent est la première wilaya viticole de pays (KALI, 2010).**[29]- [30]- [31]**

En Algérie, d'après EL-HEIT (1981), le développement de la vigne a commencé à partir de 1860.

La viticulture est un peu partout à travers le pays algérien à l'Ouest : Tlemcen, Sidi Bel Abbés et Ain Témouchent sont les principales villes productrices de la vigne à l'Est Skikda et Bejaia, et au centre se sont les collines de Sahel, Blida, Médéa, Mitidja et la Kabylie (LERY, 1982).

Entre 2000 et 2006 la production annuelle moyenne de l'Algérie est de 275 mille tonnes (MONTGOMERY, 2009)

- **Fibres des tiges**

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

Les fibres de tige les plus utilisées sont les fibres de jute, de lin, de ramie de sun, de kenaf, de urena et de chanvre (**Fig : I.37)[27]**



Fibre et plant de sunhempFibre et plant de kenaf

Figure I.37 : Les différents types des fibres des tiges **[27]**

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



Fibre et plant de chanvre



Fibre et plant de jute

- **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 (**Fig : I.38)**



Fibre et plant de bambous



Fibre et plant de roseau

Figure I.38 : Les différents types des fibres de bois **[27]**

- **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 (**Fig : I.39)[27]**



Figure I.39 : plant et fibre de coco **[27]**

B-Caractéristiques des Fibres Végétales

a-Caractéristiques Chimiques des Fibres Végétales

Les fibres végétales sont caractérisées par 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 **[31].**

- **Cellulose**

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

- **Hémicellulose**

L'hémicellulose présente dans toutes les parois de ces fibres, est un polysaccharide à chaîne courte ramifiée et repliée sur elle-même. C'est le constituant responsable de l'élasticité des fibres et qui permet aux parois de s'allonger pendant la croissance.

- **Lignine**

La lignine constitue la colle qui lie les fibres végétales entre elles ainsi que leurs parois. C'est un polymère tridimensionnel provenant de la copolymérisation de trois alcools phénylpropènoïques.

Le tableau (**I-8**) présente la composition chimique de quelques fibres végétales (Noix de coco, sisal, jute et palmier dattier) reproduit selon

Tableau I-4: Composition chimique de quelques fibres végétales **[31].**

Fibres	Composition (%)			
	Cendre	**Cellulose**	**Hémicellulose**	**Lignine**
Noix de coco	1.44	32-43	0.15-0.25	40-45
Sisal	1.13	66-72	12.0	10-14
Jute	7.6	63	--	--
Palmier dattier	1.2	41-45	6-10	30-40

b-Caractéristiques physiques et mécaniques des fibres végétales

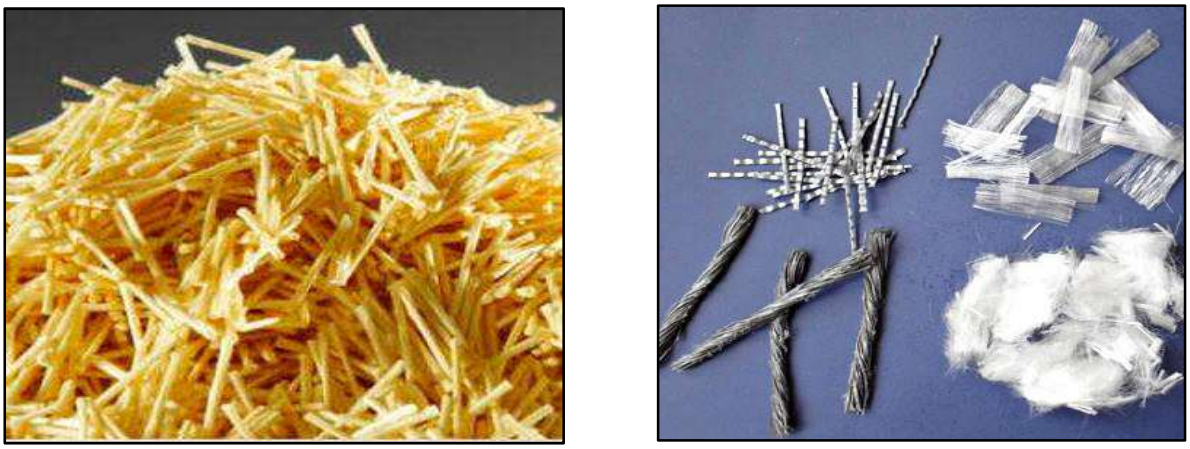
Généralement une fibre végétale est caractérisée physiquement par son diamètre, sa densité, sa teneur en eau et son pourcentage d'absorption d'eau. Elle est caractérisée mécaniquement par sa résistance à la traction, à la rupture et par le module d'élasticité.

Tableau I.5 : Les propriétés physiques et mécaniques des fibres végétales ont été traitées par plusieurs chercheurs **[25]**

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	0.75-1.07 1.5- -- ;--	2.08-4.08 2.0-2.5-2.6	577.50 511-635-278	10.94-26.70 9.4-22.0 ;--
Noix de Coco	1.2 0.67-1.00-1.33	30.0 13.7-41.0- --	175 174-72- --	4.0-6.0 2.5-4.5-2.0
Palmier	0.51-1.08	7.5-17.4	170-290	2.1-5.25

I.2.4.1.2- Fibres synthétiques

Cette famille regroupes plusieurs types de fibre comme le nylon, le polypropylène, l'acryle, le polyester….etc.). Elles sont apparues à la fin du XIX siècle sous le nom rayonne. Elles sont dérivées de la cellulose naturelle. Aujourd'hui, la plupart des fibres synthétiques proviennent de produit dérivé du pétrole et des polymères dont la structure ressemble à celle des matières plastiques. La première fibre plastique commercialisées avec succès, le nylon, date de 1938. Depuis, de nombreux synthétique, dans les fibres acryliques, l'aramide, l'oléfine et le polystyrène sont apparus. Ces fibres ont également été étudiées à des fins industrielles très précises, telles que la fabrication des matériaux d'isolation, tissu pare-balles, les fuselages et ailes d'avion **[21](Fig : I.40)[31]**



Fibre d'aramideFibre de polypropylène

Figure I.40 : Les différents types des fibres synthétiques **[31]**

I.2.4.2- Fibres non organiques [24]

Ces fibres ont une bonne résistance à la traction et un module d'élasticité élevé, comparativement à la matrice. Dans cette catégorie de fibre, nous pouvons citer :

I.2.4.2.1- Fibres minérales

Elles groupent plusieurs sortes de fibres (amiante, alumine….etc.), et sont utilisées en grande quantité dans plusieurs applications traditionnelles. Les fibres d'amiante autrefois utilisées pour l'isolation et l'ignifuge âge, se sont aujourd'hui relevées cancérigènes (**Fig. I.41)[32]**





Fibre d'amianteFibre d'alumine

Figure I.41 : Les différents types des fibres minérales **[32]**

I.2.4.2.2- Fibres artificielles

Ce type de fibres est plus utilisé dans le domaine industriel en générale et dans le domaine du génie civil en particulier. Il regroupe les fibres de verre, les fibres de carbone, les fibres métalliques et autres. Elles sont aujourd'hui les plus répandus dans l'industrie de la construction (**Fig :I.42)[32]**





Fibre de carbone broyer Fibre de verre

Figure I.42 : Les différents types des fibres minérales **[32]**

I.2.5-Caractéristiques physiques et mécaniques des fibres

Le béton de fibres végétales est un matériau composite relativement nouveau, la composition de deux matériaux non homogènes à savoir le béton et les fibres végétales, ce qui rend sa caractérisation plus difficile (tableau : **I.6**) **[25]**.

Tableau I.6 :Résistance à la traction (Rt) et à la flexion (Rf) de quelques BF par rapport au béton classique (BC).

Types de fibres	Volume de fibres en (%)	Rt (BF) / Rt(BC)	Rf (BF) / Rf(BC)
Acier	0.5 ; 1.0 ; 1.5	2.5-4.0 4-5.5 10.0-25.0	2.0
Verre	1.0	1.7- 2.0	2.5- 3.5
Polypropylène	0.5 ; 1.0 1.5	1.5-2.0 2.0-3.5 3.5-15	- - -
Nylon	1.0	1.5-1.7	-
Palmier dattier	0.4	0.87 1.06	1.14 1.41

I.2.6-Facteurs affectant les propriétés des bétons renforcés de fibres naturelles

De nombreux facteurs se trouvent à affecter les propriétés des fibres naturelles bétons armés. Parmi les facteurs importants sont indiqués dans (le tableau : **I.7**) **[33]**

Tableau I.7 : Facteurs affectant les propriétés des bétons renforcés de fibres naturelles **[33]**

Facteurs	Constituants
Type de fibre	de noix de coco , le sisal , la bagasse , le bois , le bambou ,jute , Akwara , herbe à éléphant , l'eau - roseau, plantain , Musamba , cellulose, etc
Fibre longueur	de la géométrie, le diamètre, section, anneaux et accroché se termine, etc.
Fibre forme	mono - filament, brins, sertie, unique nouée, etc.
Fibre surface	la douceur, revêtements, etc.
Propriétés de la matrice	type de ciment, le type et le classement global, additif types, etc.
Mélanger le contenu	teneur en eau, aides maniabilité, démoussage agents, la teneur en fibres, etc.
méthode de mélange	séquence de ajoutant des constituants, Procédé destiné à ajouter des fibres, de la durée et de la vitesse de mélange, etc.
Procédé de placement	vibrations classique, une déshydratation sous vide pulvérisés - up élément en béton, extrusion, badigeon, etc.
méthode de moulage	la coulée de pression, etc.
méthode de durcissement	méthode spéciale classique, etc.

I.2.7-Rôle des fibres

Les fibres ont généralement pour rôle de renforcer ou remplacer l'action des armatures traditionnelles en s'opposant à la propagation des microfissures. Elles peuvent également dans certaines applications remplacer les armatures passives.

Selon la forme et la nature des fibres utilisées et les ouvrages auxquels elles sont incorporées, le rôle ces fibres se traduit par des améliorations relatives à **[34]**. :

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

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

I.2.8-Utilisation des bétons de fibre

Les fibres de toute nature sont très employées dans différents ouvrages dans le but d'améliorer leurs performances mécaniques et physiques. A titre d'exemple le tableau :**I.8**résume les diverses applications des fibres dans les produits cimentaires.

L'utilisation des fibres végétales dans le renforcement des ciments est relativement récente. En effet, beaucoup de recherches sont en cours dans le but d'arriver à substituer les fibres d'amiante par les fibres végétales. Actuellement, les fibres végétales sont de plus en plus utilisées dans les dalles et la production des tuiles et les dallages de parking ainsi que dans le renforcement du plâtre.

Par ailleurs, l'utilisation des fibres de polymère, de carbone et d'acier est de plus en plus pratiquée dans plusieurs domaines et spécialement dans la fabrication des panneaux et dans la restauration et la réparation des ouvrages anciens endommagés **[25]**.

Tableau I.8 : Utilisation des fibres dans la construction **[25]**

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

Par ses propres caractéristiques (renforcement homogène du béton, économie de la main d'œuvre, simplicité de mise en œuvre, comportement lors de la fissuration, sa ductilité), les bétons de fibres trouvent leur application dans plusieurs domaines **[30]**. Parmi ces domaines on cite :

- Bâtiment.
- Travaux publics.
- Génie-civil autre que le bâtiment et travaux publics.
- En dehors du génie-civil.
- Cas particulier des bétons à ultra-hautes performances fibrés.

I.2.9-Propriété de béton de fibre

I.2.9.1-Maniabilité

La présence des fibres au sein d'une matrice joue le rôle de granulats ayant une forme allongée; cette forme particulière peut engendrer des frottements parasites, créant ainsi une augmentation de la porosité du fait de la perturbation de l'ordre dans lequel les grains sont arrangés; ce bouleversement dans le squelette granulaire conduit à une diminution de la maniabilité et de la compacité, ce qui donne une faible ouvrabilité.

Parmi les paramètres qui influent sur l'ouvrabilité des bétons de fibres on peut citer :

• La géométrie de la fibre (élancement L/d et forme);

• Le dosage en fibres;

• La granulométrie du mélange.

I.2.9.2-Propriétés mécaniques

Les propriétés mécaniques de béton de sable présenté comme suit :

I.2.9.2.1- Résistance à la compression

Les résultats mis en évidence par différents chercheurs sur l'effet des fibres sur la résistance a la compression du béton renforce de fibres montrent quelques divergences.

Cependant ils sont d'accord pour dire que les fibres n'apportent pas d'amélioration appréciable en compression. Dans certains cas, on a une légère augmentation de la contrainte ultime, dans d'autres une légère diminution. Dans la matrice, la fibre peut avoir deux effets contradictoires : celui en premier de maintenir les fissures ce qui favorable pour la phase post pic, et celui en second de créer des défauts supplémentaires a l'interface fibres - mortier ce qui peut contribuer à l'endommagement et donc limiter la charge maximale**[35]**.

I.2.9.2.2-Resistance a la traction par flexion

L'augmentation de la résistance en flexion du béton de fibre est beaucoup plus importante, elle peut atteindre 200 % et plus. Elle est due à la déformabilité du matériau. Il y a un déplacement de l'axe neutre durant la flexion. La flexion varie avec la géométrie de la fibre, son orientation et son adhérence à la matrice **[35]**.

Avec les fibres de polypropylène, Dardare**[36]** a obtenu des augmentations de résistance en flexion beaucoup plus faible est même des diminutions lorsque le pourcentage dépassait 1%.

Il explique ces diminutions par des mauvaises homogénéités du béton, dues à, des valeurs

E/C trop élevées. Ainsi, le pourcentage de 1 % en volume doit être un maximum à ne pas dépasser. Résistance en flexion de l'éprouvette non renforcée résistance en flexion de l'éprouvette renforcée.

I.2.9.2.3- Résistance au choc

Sous l'action de sollicitation dynamique, les structures en béton de fibres présentent souvent un très bon comportement, en augmentant les charges de rupture, en modifiant parfois les schémas de fissuration. Certains auteurs (Dardare et autre **[36]**) vont jusqu'à comparer le renforcement par des fibres au renforcement par armatures traditionnelles.

I.2.9.2.4-Résistance à l'usure

La résistance à l'abrasion du béton de fibres n'est pas sensiblement augmentée. Des autres auteurs affirment qu'après élimination de la laitance superficielle et mise à jour des fibres, la résistance est améliorée d'environ 15 % **[37]**.

I.2.9.2.5- Résistance aux agents extérieurs

La résistance du béton renforcé de fibres aux attaques du milieu ambiant, par exemple à l'action du gel, dépend de la qualité de la matrice et ne devrait pas être très différente de celle d'un béton ordinaire. Les fibres peuvent cependant réduire les dommages dus au gel car elles empêchent la fissuration. Pour obtenir une bonne résistance au gel et à la corrosion par le sel, Il faut aussi s'assurer qu'il y a suffisamment d'air entraîné dans le mélange **[37]**.

I.2.9.2.6-Retrait

Les paramètres d'un béton subissent constamment des modifications au cours de sa durée de vie. L'hydratation du ciment se poursuit pendant longtemps, augmentant les résistances mécaniques et les modules de déformation. Suivant l'état de conservation, le milieu extérieur, la température, les charges appliquées, le béton sera le siège de transformations diverses :

- variations dimensionnelles (retrait, gonflement)
- fluage sous charge instantanée.

Ces variations peuvent avoir lieu simultanément ou successivement et combiner leurs effets. On peut dire que :

- les bétons de fibres se stabilisent plus rapidement que les bétons sans fibres.

- les déformations du retrait sont généralement plus petites pour les bétons de fibres comparées à celles du béton normal.
- la forme et la quantité des fibres semblent être les facteurs les plus importants qui gouvernent le retrait. **[35]-[37]** Les fibres courtes sont plus efficaces contre le retrait **.**
- le béton de fibres aurait une structure de matrice contenant plus de capillaires saturés en eau, et par contre des pores contenant moins d'eau.

Ceci serait la cause principale du retrait différentiel observé entre témoin et composite.

- L'action mécanique des fibres sur le retrait est faible
- Les capillaires saturés se positionnent à l'interface fibre – matrice, la surface développée des fibres intervient et fait que plus elle est importante plus le retrait augmente.
- Les fibres accélèrent un peu le départ de l'eau, le retrait des mortiers est diminué, cela est vérifié pour le retrait après 24 heures.
- Le retrait du béton de fibres diminue en fonction du temps **[38][39]**.

I.2.9.2.7- Fluage :

L'étude du fluage consiste à analyser les déformations de ces derniers au cours du temps lorsqu'ils sont soumis à des efforts extérieurs permanents. Des essais effectués dans ce sens, montrent que les fibres métalliques n'influent pas d'une manière significative sur le fluage par rapport au béton courant (témoin). Parmi ces essais nous pouvons citer :

Les essais réalisés sur le béton renforcés par les fibres de fonte de dosages respectives 0.50% et 1%, montrent que les déformations différées du matériau sous compression, reste semblable à celui d'un béton courant (témoin).

I.2.10- Propriétés des bétons de sable à base des fibres végétales

I.2.10.1- Résistance à la compression

REZIG S et al.**[34]** ont étudié l'influence d'ajout des fibres végétale du palmier et d'alfa sur la résistance à la compression des bétons de sable (**Fig : I.43 et I.44)**. Les essais ont été élaboré sur des éprouvettes (4 x4 x16 cm) et des éprouvettes (10 x10 x10 cm) avec différents pourcentages de fibres proportion à la masse du béton, notamment (0.5, 1, 1.5 et 2 %) avec de durée de conservation de 28 jours et cela pour le béton de sable de fibre du palmier **[BS.FP],** le béton de sable de fibre d'alfa **[BS.FA]**. Ils sont constaté que la résistance à la compression diminue avec l'augmentation du pourcentage de fibres dans les différents mélanges des bétons de sable de fibres et que le béton de sable témoin reste le plus résistant, ce qui affirment que l'ajout de fibres au mortier n'a aucun effet bénéfique sur la résistance à la compression.

Cela est expliqué par le fait que l'incorporation des fibres dans la matrice du béton augmente le volume des vides et diminue la compacité du béton, d'où une diminution de résistance à la compression.

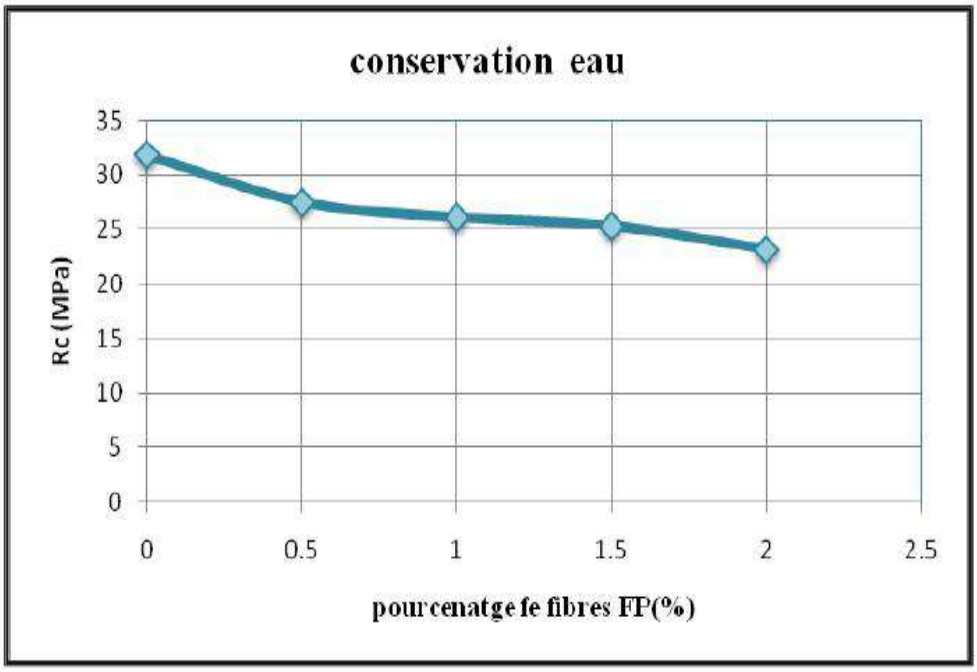


Figure I.43 : L'évolution de la résistance à la compression en fonction du dosage de fibres FP **[34]**

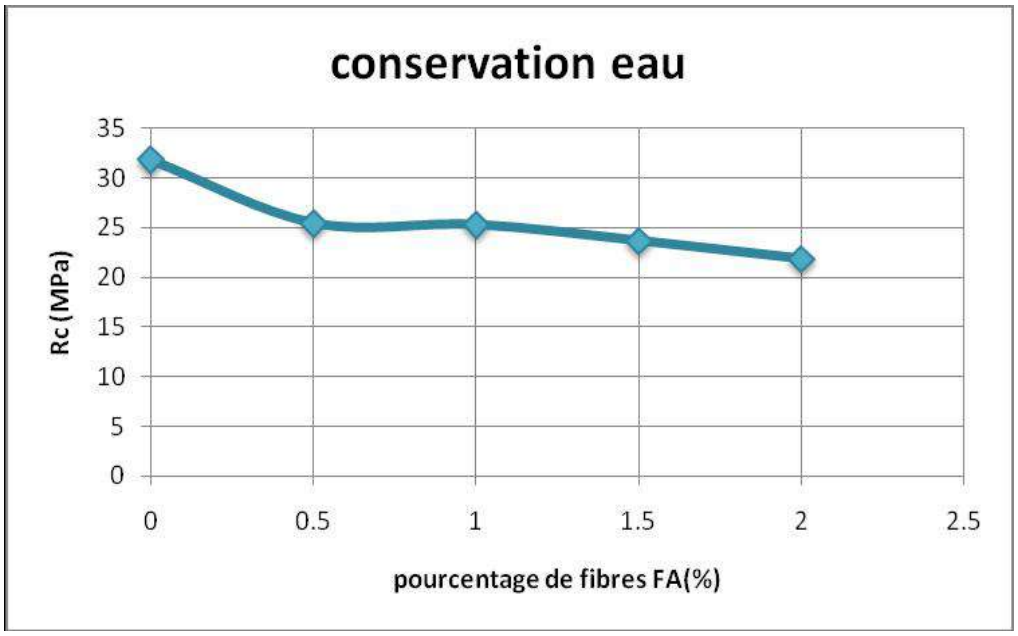


Figure I.44: L'évolution de la résistance à la compression en fonction du dosage de fibres FA **[34]**

I.2.10.2-Résistances à la Traction par flexion

REZIG .S et al.**[34]**aussi ont étudié l'influence d'ajout des fibres végétale du palmier et d'alfa sur la résistance à la traction par flexion des bétons de sable (**Fig : I.45 et I.46)** .Ils ont trouvé que l'addition de 0,5% des fibres à la masse du béton de sable toujours engendre une diminution des Rt et Rfquelque soit la nature des fibres. Par contre l'incorporation de 1% de représente toujours la fraction optimale dans la matrice pour les deux types des fibres utilisées.

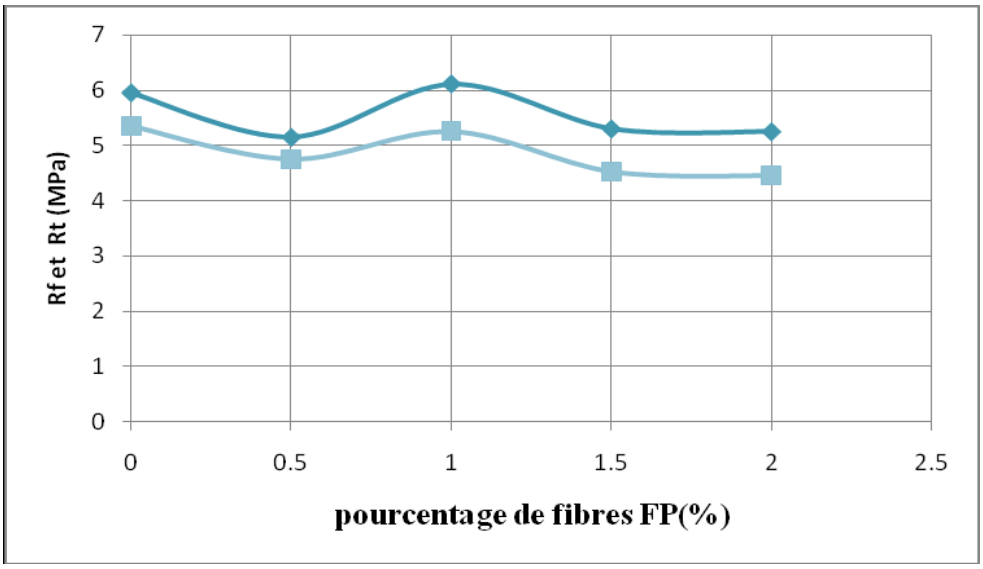


Figure I.45: L'évolution de la résistance à la traction et la résistance à la flexion en fonction du dosage de FP **[34]**

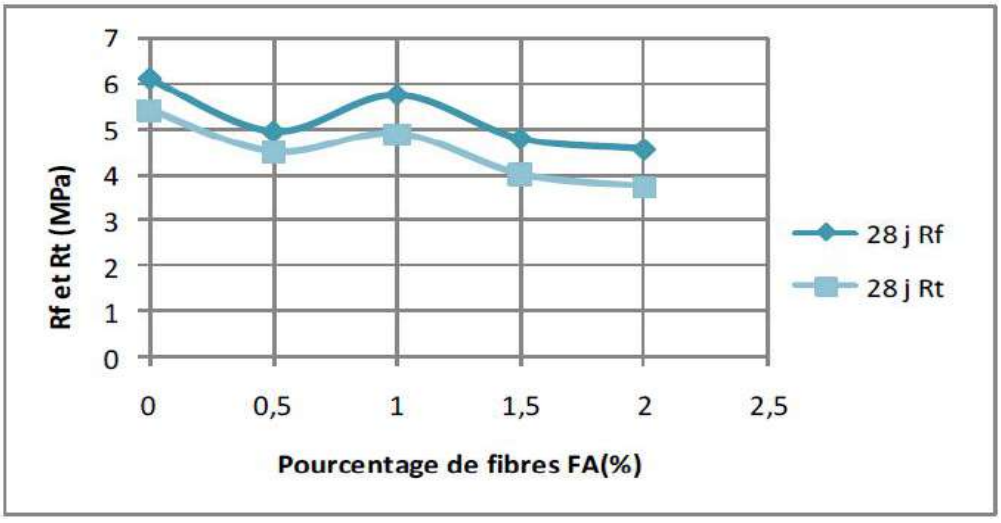


Figure I.46: L'évolution de la résistance à la traction et la résistance à la flexion en fonction du dosage de FA **[34]**

I.2.10.3- Effet de fibres végétales sur le retrait et la perte de masse du béton de sable

A-Mesure de variation des masses :

Les résultats obtenus dans l'étude des REZIG. S et al**.[34]**sont représentés par les figures (**Fig : I.47 et I.48)** sur l'effet de fibres végétales sur la perte de masse du béton de sable. Ils sont trouvé d'après ces résultats que la perte de masse augmente en fonction du temps, cette perte devient plus faible à 28 jours. Ils sont remarqué aussi d'après les résultats donnés par la figure **I.47** que la perte de masse diminue avec l'augmentation du pourcentage de fibres du palmier dattier, et partir de la figure**I.48**, ils sont constaté que la perte de masse diminue avec l'augmentation du pourcentage de fibres d'alfa.

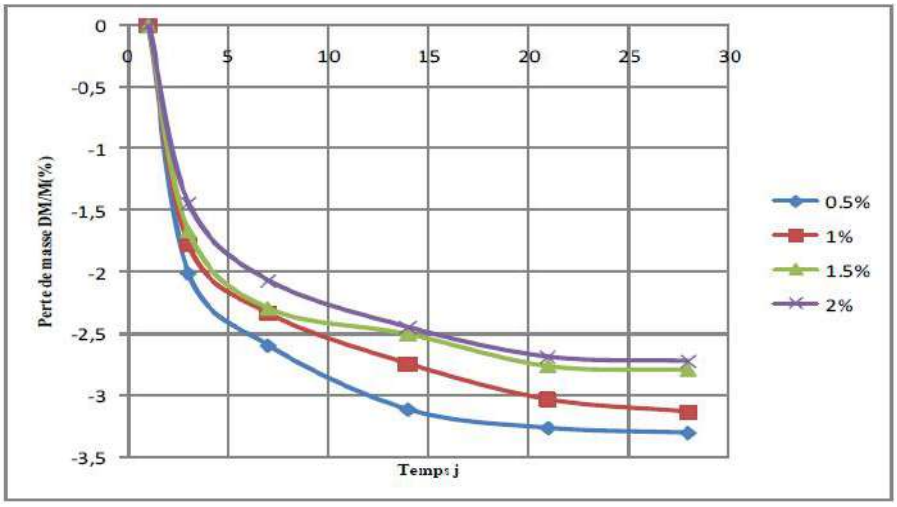


Figure I.47 : Effet du pourcentage de fibres de palmier dattier sur la perte de masse du béton de sable **[34]**

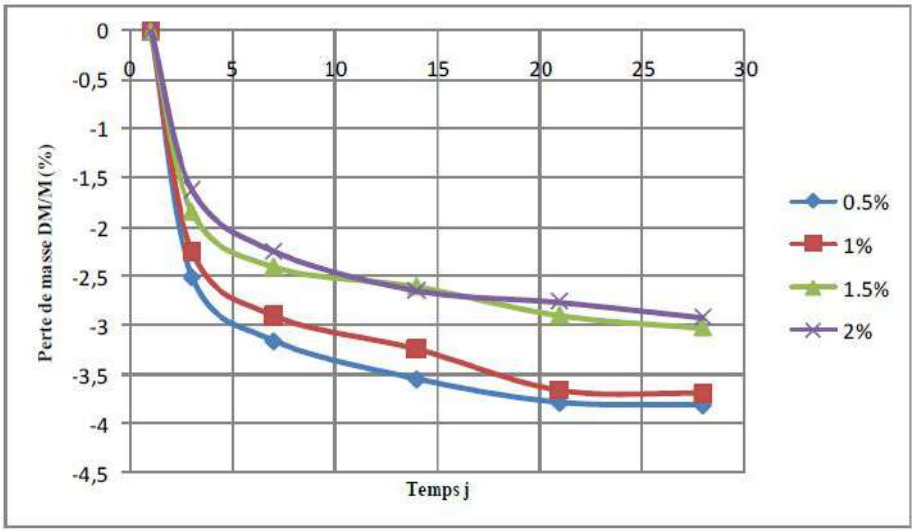


Figure I.48: Effet du pourcentage de fibres d'alfa sur la perte de masse du béton de sable**[34]**

B-Mesure des variations de longueur (retrait)

REZIG .S et al**.[34]**ont étudiél'effet de fibres végétales sur le retrait des bétons de sable, les figures(**Fig : I.49et I.50)** montrent l'évolution de la déformation du retrait du BS en fonction du temps et du pourcentage de fibres du palmier dattier et de fibres d'alfa. D'après ces résultats, ils sont remarqués que le retrait est plus faible que le pourcentage de fibres est plus grand, ils sont expliqués cette diminution du retrait du BS par l'effet des fibres végétales sur le comportement de ce dernier.

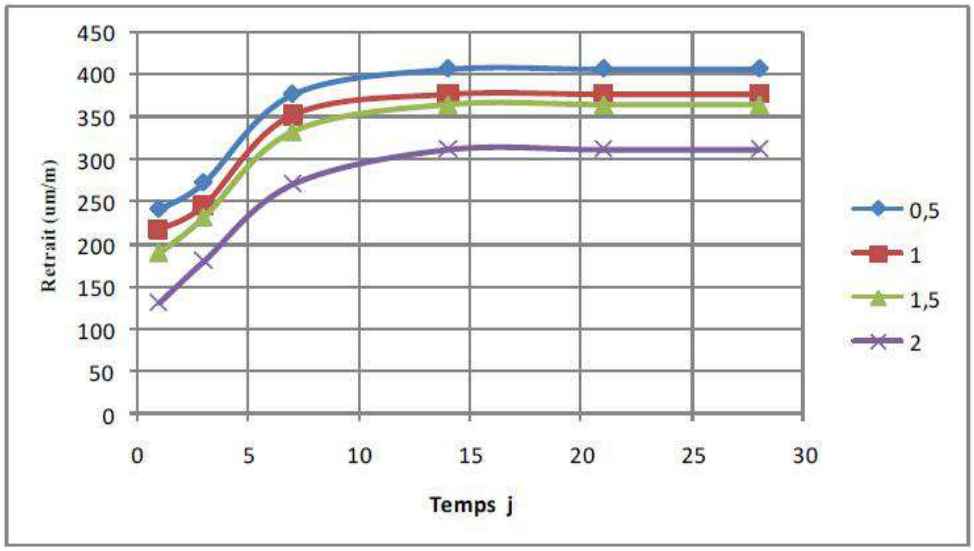


Figure I.49 : L'évolution du retrait du BS en fonction du pourcentage de fibres de palmier dattier**[34]**

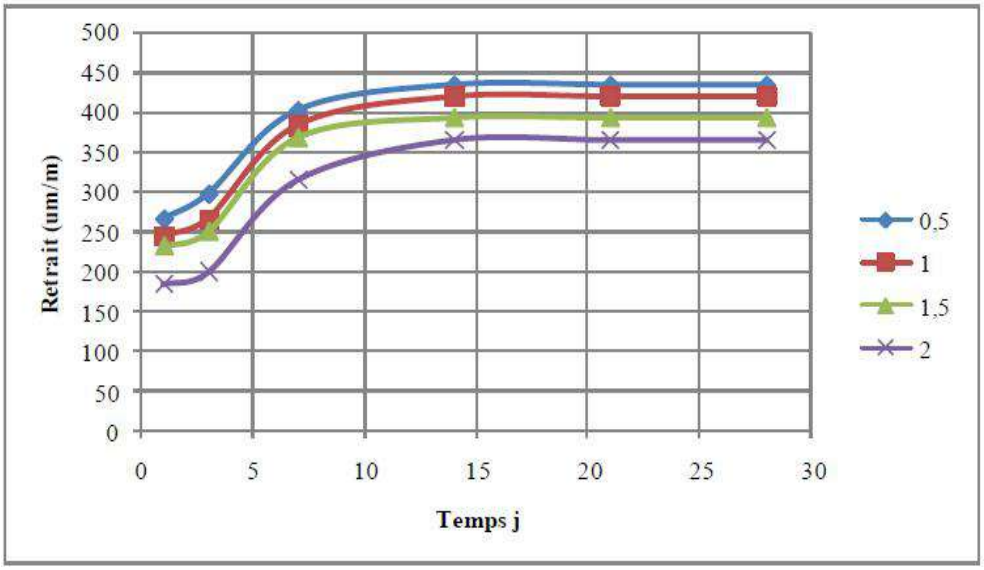


Figure I.50 : l'évolution du retrait du BS en fonction du pourcentage de fibres d'alfa **[34]**

I.2.11-Conclusion

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.

La nature des fibres utilisées est en relation avec leurs applications et les modes de mise en œuvre ; Le choix des fibres dépend du rôle que l'on désire faire jouer.

Il est certain qu'un rôle structural assez élevé associe à une grande durabilité et à une utilisation économique exige l'emploi de fibres de haute module comparé à celui de la matrice, et non altérables, disponibles sur le marché local à des prix acceptables.

Actuellement, les types de fibres les plus utilisés dans le renforcement des bétons sont les fibres d'acier. Mais vu le problème de santé que présente les fibres d'amiante et le problème économique que présente la production des fibres d'acier, de verre ou de polymère. Particulièrement pour les pays en voie de développement qui possèdent une grande richesse en fibres naturelles, l'avenir en terme de renforcement sera attribué aux fibres naturelles, ou bien à la limite pour les fibres composites (polymère-végétales). Ainsi, il est temps d'orienter Les axes de recherches vers la valorisation des fibres naturelles dans la construction d'une façon générale et le béton d'une façon particulière. Quoique l'Algérie soit parmi les pays qui possèdent une multitude des fibres végétales (fibre de palmier, Alfa Abaca, chanvre de coton …), la valorisation des fibres dans les domaines pratiques n'est pas encore généralisée.

CHAPITRE II :

MATÉRIAUX ET ESSAIS

II.1- Introduction

Dans ce chapitre on présente les matériaux utilisés pour la confection des bétons avec leurs caractéristiques et les essais faites au laboratoire, comme pour tous les bétons, la formulation doit être définie avec le plus grand soin et les grandeurs caractéristiques sont classiques et bien connues à savoir :

- la granularité ou le fuseau granulaire du squelette.
- les dosages en sable, ciment, d'addition, d'eau et d'adjuvant.

La caractérisation des bétons de sableà base de fibre végétale (BSFV), à l'état frais et à l'état durci, nécessite de définir les corps d'épreuve sur lesquels seront mesurées les grandeurs spécifiques du matériau et les techniques d'essai.

II. 2- Caractérisation des matériaux utilisés

Pour la confection des bétons, des matériaux locaux de la wilaya de Médéa sont utilisés et caractérisés expérimentalement au laboratoire de génie civil du Hall de Technologie de l'université de Médéa et suivant les normes en vigueur. Le choix des matériaux s'est porté, tout d'abord, sur leur disponibilité dans la région (Médéa) et surtout pour fabriquer un béton comparable à celui utilisé dans les chantiers.

II.2.1- Ciment

Un seul type de ciment a été utilisé au cours de cette étude expérimentale. Il s'agit d'un ciment portland composé CPJ-CEM II/A 42.5, produit par la cimenterie de (Chlef) dont l'ajout est le calcaire qui est conforme à la norme [NA 442]**[42]**.

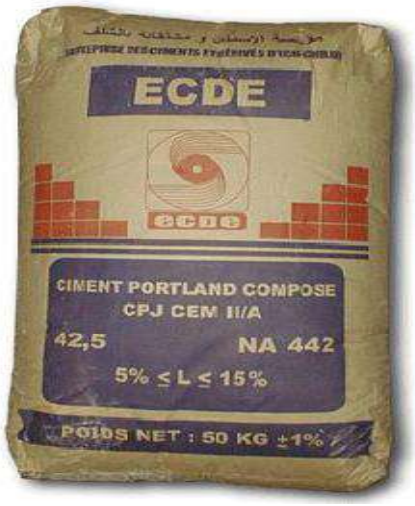


Figure II.1: Le ciment utilisé

II.2.1.1-Définition

Ciment de « CHLEF » est un ciment gris de hautes résistances initiales et finales, résultat de la mouture du clinker obtenu par cuisson jusqu'à la fusion partielle d'un mélange convenablement dosé et homogénéisé de calcaire et d'argile. Ce ciment est constitué d'oxydes minéraux dont les principaux sont la chaux (CaO) à fonction basique et la silice (SiO_2) à caractère acide. On trouve également l'aluminium (Al_2O_3) et le fer (Fe_2O_3). Ils sont rendus aptes à réagir entre eux et avec l'eau par traitement thermique à des températures comprises entre 1300 °C et 1500°C.

En présence d'eau à lieu la réaction d'hydratation consistant en la formation d'un réseau résistant constitué principalement de microcristaux de silicates de calcium hydratés. Ciment de CHLEF présente des performances mécaniques et des caractéristiques physico chimiques conforment à la norme [NA 442] **[40]**, et à la norme [NF P 15-301]**[41]**.

II.2.1.2-Analyse et caractérisation

a- Analyse chimique du ciment et composition hypothétique du clinker

Le tableau (**II.1)** résume l'Analyse chimique du ciment et composition hypothétique du clinker, selon la fiche technique du ciment (Annexes).

Tableau II.1 : Analyse chimique du ciment et composition du clinker.

Analyse chimique du ciment	Perte au feu (%)	7.00-9.50
	Résidus insolubles (%) (NA 5042)	1.50-3.00
	Teneur en sulfates SO3 (%) (NA 5042)	2.00-3.50
	Teneur en oxyde de magnésium MgO (%)	1.90-2.30
	Teneur en chlorures (%) (NA 5042)	0.005-0.01
Composition hypothétique du clinker	Silicates tricalciques C3S (%)	58.00-64.00
	Aluminates tricalciques C3A (%)	6.00-8.00

b- Essais physiques

- **La finesse**

La finesse du ciment influe d'une façon considérable sur la résistance mécanique, la consistance normale et le temps de prise. La finesse est déterminée par la surface spécifique de Blaine. Elle est calculée en fonction du temps à l'aide du perméabilimètre de Blaine d'après la norme [NF P 15-476]**[42].**

- **La consistance normale**

C'est la quantité d'eau de gâchage qu'il faut ajouter à une quantité de ciment préalablement pesée pour obtenir une pâte dite normale, elle est mesurée à l'aide de l'appareil de Vicat d'après la norme [NF P 15-431]**[43].**

- **Le temps de prise**

Le début et la fin de prise sont déterminés à l'aide de l'aiguille de Vicat sur une pâte deconsistance normale placée dans un moule tronconique d'après la norme [NF P 15-473]**[44].**Le tableau (**II.2**) résume les résultats des essais physiques sur le ciment utilisé.

Tableau II.2 : Essai physiques sur ciment

Essais	Norme
Consistance normale de la pâte de ciment (%)	25.50-28.00
Retrait à 28 jours (mm/m)	<1000
Expansion (mm)	0.50 – 2.50
Début de prise (min)	120 – 180
Fin de prise (min)	210-280

c-Essais mécaniques sur le ciment

Selon la fiche technique les essais mécaniques sur le ciment ont été effectués conformément à la norme [NF P 15-471] **[45]**sur des éprouvettes prismatiques 4x4x16 cm³ à raison de trois éprouvettes rapportées à la moyenne par âge. Le mortier utilisé est un mortier normalisé: 450 g de ciment, 1350 g de sable naturel et 225 g d'eau. Les résultats obtenus par cet essai sont acceptables pour la confection d'un béton et sont résumés dans le tableau (**II.3)**.

Tableau II.3 : Evolution de la résistance du ciment en fonction de l'âge

Ages (jour)	Résistance à la compression (MPa)
2	>20
28	42.5 et 62.5

II.2.2- Les sables

Trois types de sable ont été utilisés au cours de ce travail. Deux sables roulés(un de la région de Médéa et l'autre de la région de Djelfa) et un sable concassé de la région de Bouira.

II.2.2.1- Sable rouléde BOUGAZOULE

Le premier sable utilisé dans cette étude est de BOUGAZOULE de la région de MEDEA, située à 170 km au sud d'Alger,sa classe granulaire est 0/3. La Figure (**II.2**) suivante donne un aperçu sur la nature du sable utilisé et les propriétés du sable sont représentées dans le tableau (**II.4**)



Figure II.2: Sable roulé de BOUGAZOULE

II.2.2.2- Sable roulé de BAHBAH

Le 2eme sable utilisé dans cette étude est deBAHBAH de la région de Djelfa, située à 250 km au sud d'Alger, sa classe granulaire est 0/2.La Figure(**II.3)**suivante donne un aperçu sur la nature du sable utilisé ; les propriétés du sable sont représentées dans le tableau (**II.4).**



Figure II.3: Sable roulé de BAHBAH

II.2.2.3- Sable de Concassage

Le 3éme sable utilisé dans cette étude est sable de concassage (**Fig :II.4)** de la région HACHIMIYA de la wilaya de BOUIRAsituée à 98 km au sud d'Alger, sa classe granulaire est 0/5. La Figure**II.4** Suivante donne un aperçu sur la nature du sable utilisé ; les propriétés du sable sont représentées dans le tableau **II.4**



Figure II.4: Sable de concassage.

Tableau II.4: Propriétés physiques d'identification des sablesutilisés

Caractéristique	SBH	SBG	SCN	Normes
Classe granulaire	0/2	0/3	0/5	NF EN 933-1**[46]**
Module de finesse	1.16	1.86	3.14	
Masse volumique absolue (g/cm^3)	2.58	2.55	2.66	NF EN 1097-6**[47]**
Masse volumique apparente (g/cm^3)	1.40	1.49	1.40	NF EN 1097-3**[48]**
Equivalent de sable (%)	65.00	62.5	75.00	NF EN 933-8**[49]**
Taux d'absorption d'eau (%)	0.01	0.015	0.200	NF EN 1097-6**[50]**

- **Analyse granulométrique des sables utilisés**

L'analyse granulométrique des sables utiliséesest présentée sur la Figure**II.5** suivante :

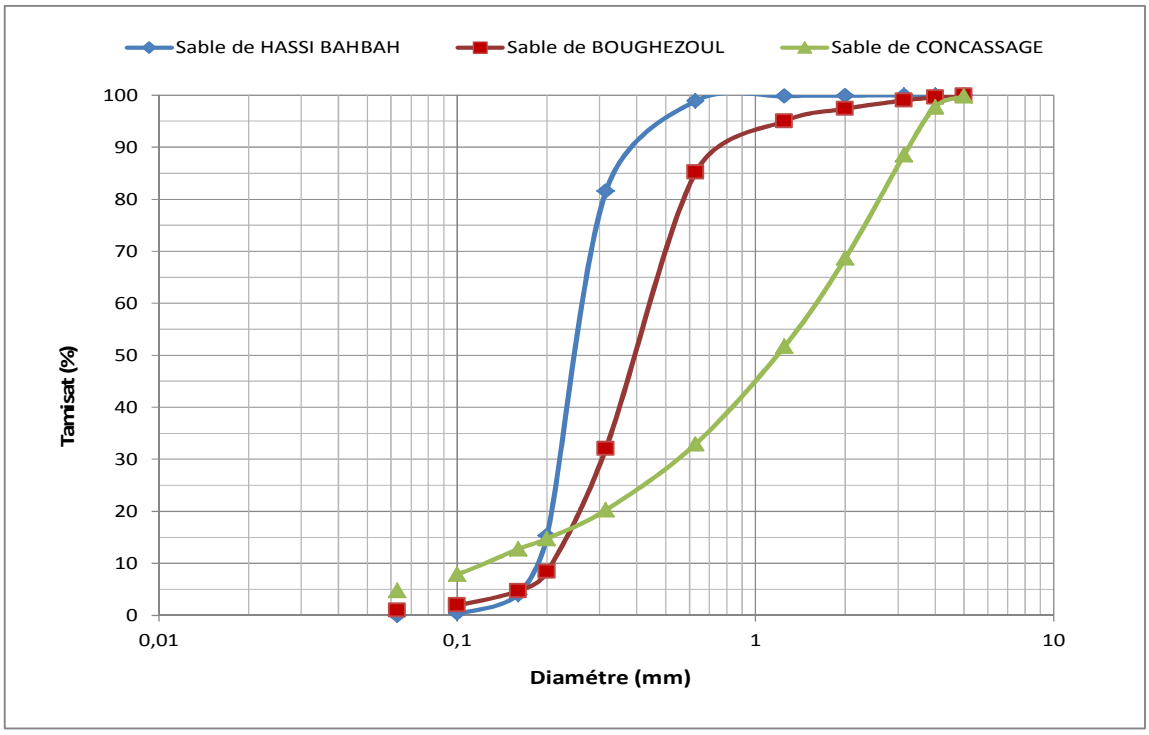


Figure II.5: Courbe granulométrique des sables utilisés.

II.2.3- Ajouts (fillers)

Les fillers sont desfinesàcompléter la courbe granulométrique du sable dans sa partie fine et à combler les vides. Les fillers utilises dans notre cas sont de nature calcaire(fig II.6). Ils sont obtenus par tamisage manuelle (au tamis 80 μm) et broyage des déchets de concassage d'unecarrièreabandonnée se trouvant dans la ville Meftah wilaya de Blida. Rappelons que les fillers calcaires sont les plus adaptésau béton de sable et donnent de meilleures performances [**21**].



Figure II.6: Les fillers calcaire

II.2.4- Fibres végétales

Les fibres utilisés sont les déchets des feuilles de vigne (les pétioles) récupérés de quelque champs de vigne de la région de Médéa considérée comme région très connue dans la cultive du raisin. Les déchets de vigne (feuille et autres) sont séchés puis le pétioles sont récupérée et coupés manuellement à 4cm (**Fig : II.7**)

Les caractéristiques des fibres sont résumées dans le tableau **II.5**.

Les fibres végétales sont incorporées dans le béton à raison de 0.5% ,1%,1.5%,2% par rapport au volume du béton.

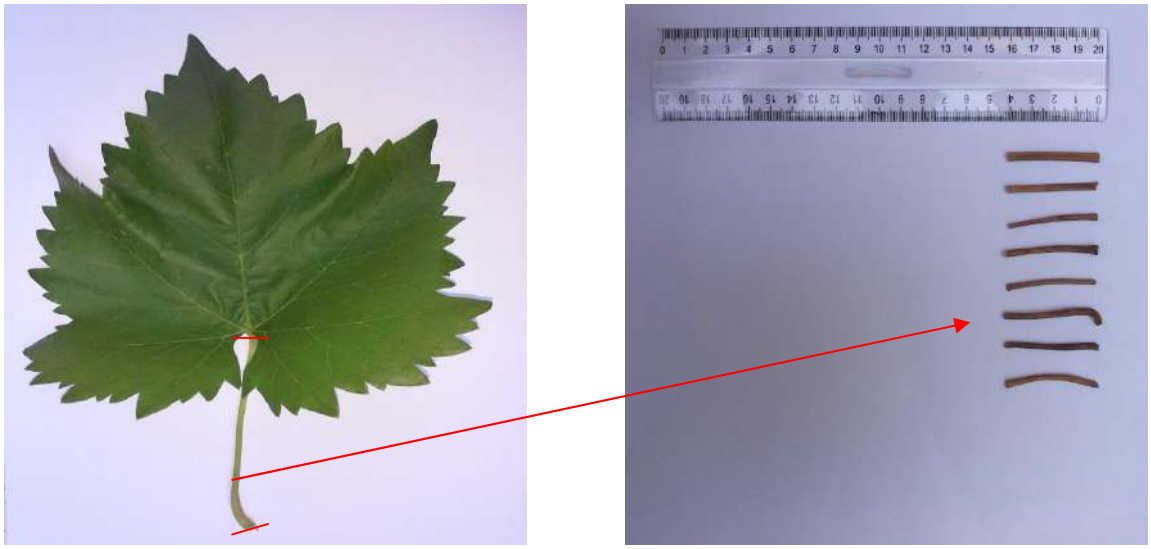


Figure II.7 : Les fibres végétales utilisées(pétiole de feuille de vigne)

TableauII.5 : Les caractéristiques des fibres végétales utilisées

Les caractéristiques	Fibres végétales
Longueur (cm)	4
Diamètre (mm)	0.5-0.75
La masse volumique apparente (Kg/m^3)	0.52
La masse volumique absolue (Kg/m^3)	0.65

II.2.5- Eau de gâchage

L'eau utilisée pour la fabrication du béton est celle de distribution considérée comme potable, exempte de toute impureté nuisible au béton et conforme à la norme [NF EN 1008] **[51].**

II.2.6- Adjuvant

L'adjuvant utilisé est un plastifiant réducteur d'eau fabriqué par la société, Algérienne Graniteux commercialisé sous l'appellation **'MEDAFLUID104',** de forme liquide ; de couleur marron ; d'un PH égal à 6, de densité 1,04 ± 0,01 et d'une teneur en chlore< 1g/L (**Fig: II.8**).



Figure II.8: Plastifiant MEDAFLOW 104

II.3-Préparation des mélanges

Dans notre étude de recherche expérimentale on est passé par deux étapes afin de préparer notre béton de sable. Pour la première étape : on a essayé de formuler un béton de sable pour avoir la formulation de base, ensuite pour la deuxième étape on a introduit des améliorations par les fibres. Nous nous sommes basé sur la confection des bétons dont le nombre de gâchées réalisées s'élève à **27**. Avec une gâchée on produit **04 éprouvettes** qui seront destinées aux différents essais de caractérisation, d'où le nombre d'éprouvettes a dépassé **108**.

II.3.1-Composition des bétons

La composition du béton de sable pour la confection des éprouvettesestbaséesur la méthodeexpérimentale de projet de SABLOCRETE 1994**[2].**Les fibresvégétalessontincorporédans la masse du béton de sable par ajout par rapport au volume du bétonavec des pourcentage de (0.5% ,1% ,1.5% et 2%) . La composition de chaque mélange pour chaquesérieestcodifiée et mentionnédans le tableau**II.6**. Troisfamilles du béton de sable réalisées etsontrépertoriéescomme suit:

BSBHT : Béton de sable BAHBAH témoin

BSBH %FV : Béton de sable BAHBAH à base de fibresvégétales

BSBGT : Béton de sable BOUGAZOULE témoin

BSBG %FV : Béton de sable BOUGAZOULE à base de fibresvégétales

BSCNT : Béton de sable CONCASSE témoin

BSCN %FV : Béton de sable CONCASSE à base de fibresvégétales

Tableau II.6 : Compositions des bétons de sable à base de fibres végétales

	CimentKg/m^3	Sable Kg/m^3	Fillers calcaire Kg/m^3	E/C	Fibres (Kg/m^3)	Plastifiant (%)*
BSBHT	350	1360	200	0.83	/	1.00
BSBH 0.5%FV	350	1360	200	0.83	3.35	1.20
BSBH 1%FV	350	1360	200	0.83	6.5	1.50
BSBH 1,5%FV	350	1360	200	0.83	10.05	1.50
BSBH 2%FV	350	1360	200	0.83	13.4	1.50
BSBGT	350	1400	200	0.80	/	1.00
BSBG 0,5%FV	350	1400	180	0.80	3.35	1.20
BSBG 1%FV	350	1400	180	0.80	6.5	1.50
BSBG 1,5%FV	350	1400	180	0.80	10.05	1.50
BSBG 2%FV	350	1400	180	0.80	13.4	1.50
BSCNT	350	1560	130	0.80	/	1.00
BSCN 0,5%FV	350	1560	130	0.80	3.35	1.20
BSCN 1%FV	350	1560	130	0.80	6.5	1.20
BSCN 1,5%FV	350	1560	130	0.80	10.05	1.20
BSCN 2%FV	350	1650	130	0.80	13.4	1.20

(*****% par rapport à la masse du ciment)

II.3.2-Mode opératoire

Le malaxage des bétons au laboratoire a été effectué à l'aide d'un malaxeur à axe vertical d'une capacité de 5 l pour la confection des éprouvettes 4X4X16. Le but recherché est de répartir, le plus régulièrement possible, chaque constituant, afin d'assurer un mélange homogène et d'obtenir ainsi les mêmes propriétés. La même procédure de gâchage a été utilisée pour toutes les gâchés de béton (**Fig : II.9**)

- Introduction du sable et du ciment plus filler ; puis un malaxage à sec pendant 1 minute ;
- Ajout deux tiers d'eau de gâchage, puis un malaxage pendant 2 minutes ;
- Ajouts plastifiant, on le mélange avec le tiers de la quantité d'eau nécessaire, puis un malaxage pendent 2 minutes ;

- En cas de béton à base de fibre on ajouts les fibres, puis malaxage pendent une minute jusqu'à ce qu'on voit tous les constituants soientmouillés et tout le mélange soit homogène ;
- Mesurer la densité et l'ouvrabilité du béton frais immédiatement au fin malaxage.



FigureII.9: Procédure demalaxage du béton

II.3.3-Confections des éprouvettes

On a fabriqué un seultype d'éprouvettes pour tous les bétons, et on afabriqué pour chaque typede béton 24 éprouvettes de 4X4X16 cm.

Le serrage des éprouvettes a été réalisé par piquage, ensuite par une légère vibrationmanuelle pour que les fibres ne flottent pas, et le béton de sable est un peu maniable, commeil est présenté sur la figure **II.10**suivante :



FigureII.10: Serrage des éprouvettes

Nous avons conservé notre éprouvettes dans des moules prismatiques de 4×4×16 cm pendant les premières 24 heuresdans unair ambiance à 20°C (de température pour une hygrométrie de 55%) et juste après la confection, toutes les éprouvettes ont été couvertes afin d'éviter le risque d'évaporation excessive et le retrait plastiqueAprès démoulage, elles sont conservées selon deux modes différents :

A l'air libre d'un climat moyen (laboratoire)(**Fig** :**II.11**)et dans l'eau à 20°C ± 2°C(**Fig : II.12)**,jusqu'au moment de la réalisation des essais. Ces derniers se font à 7 jours et à 28 jours.





FigureII.11: Eprouvetteconservées à l'aire libre**FigureII.12:** Eprouvetteconservées sous l'eau

II.3.4-Essais réalisés

Deux familles d'essais ont été réalisées pour caractériser nos mélanges au laboratoire ; les essais à l'état frais pour évaluer la maniabilité et les essais à l'état durci pour déterminer les performances mécaniques et la durabilité.

II.3.4.1-Essai réalisé à l'état frais

a- Maniabilité

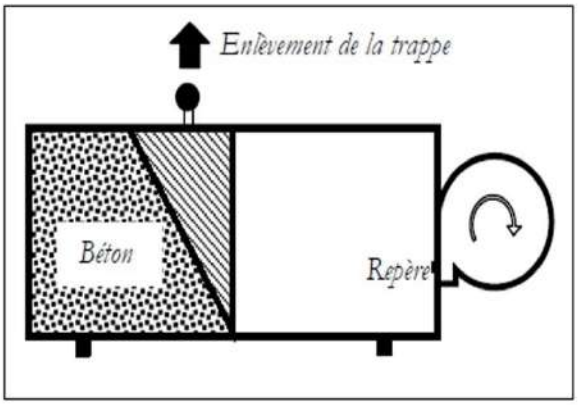
Comme L'ouvrabilité est une qualité essentielle du béton, elle se définie par la facilité offerte à sa mise en place.

L'essai a pour but de classer les bétons d'après leur aptitude à être mis en œuvre dans des conditions données. Pour apprécier cette caractéristique nous avons utilisé le maniabilimètre de mortier LCPC conformément à la norme [NFP 18-452] **[52]**.

Ce moyen de mesure est tout à fait convenable pour notre étude, puisqu'il permet de déterminer la maniabilité grâce à un appareil simple et ne nécessite pas une grande quantité de matériau (un litre par mesure).

- **Principe de l'essai**

L'essai consiste à mesurer le temps d'écoulement. Ce dernier est compris entre la fin de mise en place du béton et le moment où le béton atteint un repère géométrique, sous l'action de vibrations caractéristiques, (**Fig :II.13 et II.14**).



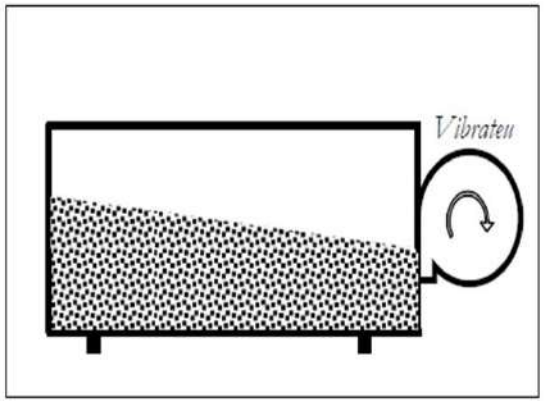


Figure II.13: Avant l'essai **Figure II.14:** Fin de l'essai

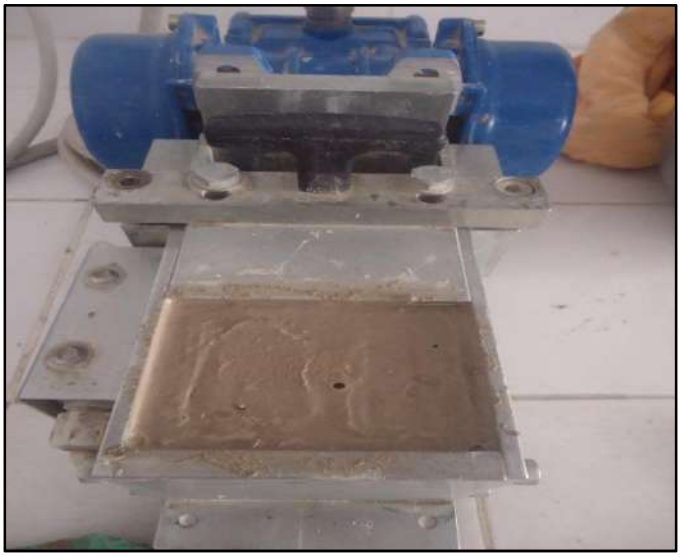


Figure II.15: Essai de maniabilité

b- Densité

La masse volumique du béton a été mesurée selon la norme [NF EN 12350-6] **[53], [**NA436] **[54]**



Figure II.16: Densité de béton

II.3.4.2-Essai réalisé à l'état durci

a- Résistance à la compression

La résistance à la compression a été mesurée selon la norme [NF EN 196-1]**[55]**par compression axiale pour demi-prisme d'éprouvettes prismatiques de dimensions 4×4×16 cm , à 7, 28 jours, à l'aide d'une presse hydraulique de capacité maximale de 2000 kN conforme à la norme [NF P 18-412] **[56]** (**Fig : II.17**).

Pendant l'essai la vitesse de chargement est constante, La résistance à la compression est le rapport entre la charge de rupture et la section transversale de l'éprouvette correspond à la contrainte moyenne d'écrasement sur trois éprouvettes à chaque âge d'essai (7j.28j).

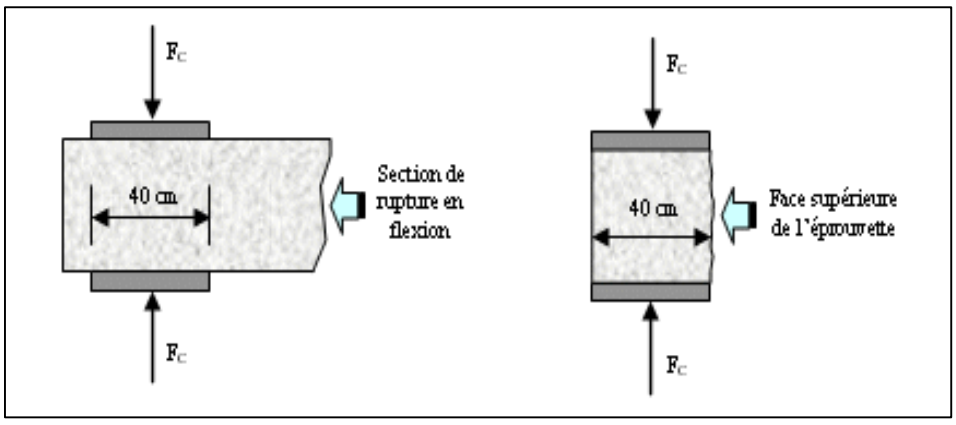


Figure II.17: Dispositif de rupture à la compression

Les demi-prismes de l'éprouvette obtenus après rupture à la traction seront rompus à la compression comme indiquée sur la figure (**II.18**), la contrainte de rupture est calculée comme suit :$R_c=F_c /b^2$



Figure II.18: Mesure de la résistance à la compression

b- Résistance à la traction par flexion

Selon la norme [NF EN 196-1] **[55]** c'est l'essai le plus couramment utilisé. Il consiste à rompre en flexion (par trois points) (**Fig : II.19**), une éprouvette prismatique de côté a et de longueur L. Dans notre étude, cet essai est effectué sur des éprouvettes prismatiques de dimensions (4×4×16) cm, à 7, 28 jours.

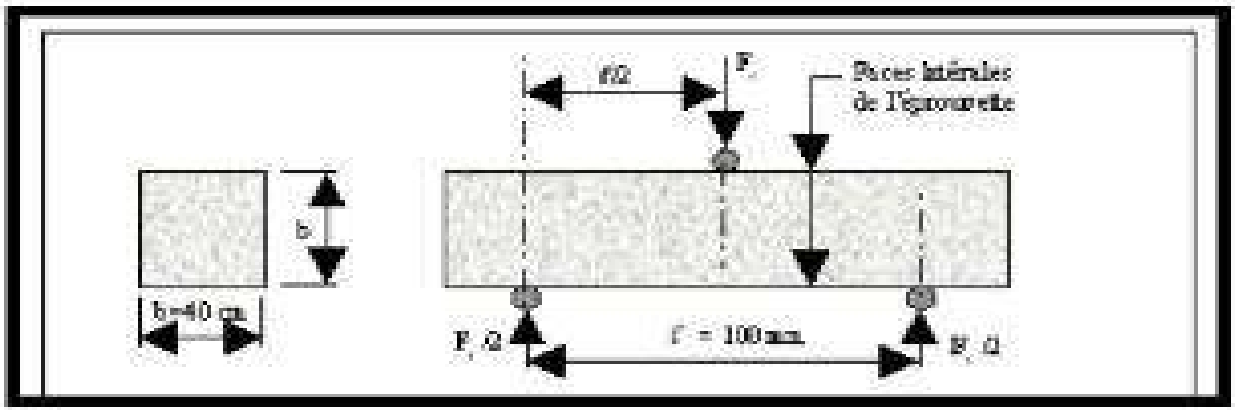


Figure II.19: Dispositif pour l'essai de résistance à la traction

La contrainte de flexion sur la fibre inférieure est donnée par la formule suivante :

$\sigma t = (M / I)\ \nu$ **Éq. (II.1)**

Avec :

M : Moment de flexion entre les deux points d'application de la charge :

$M = F_t\ L/4$ **Éq. (II.2)**

I : Moment d'inertie de la section transversale :

$I = a^4/12$ **Éq. (II.3)**

ν : La distance de la fibre la plus éloignée :

$\nu = a/2$ **Éq. (II.4)**

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

$\sigma t = (1.5F_t\ L)/\ a^3$ **Éq. (II.5)**

Et ;

$ft_{28} = 0.9\ F_t.L\ /\ a^3$

La rupture de chaque éprouvette en traction est effectuée conformément au dispositif décrit sur la (**Fig : II.20**).



Figure II.20: Mesure de la résistance à la traction

c- Absorption d'eau

Dans cet essai de mesure d'absorption de l'eau de béton, on prend un morceau d'éprouvette de béton déjà sécher et on le pesé (m_0), après on introduire le dans un bac remplir de 1 cm d'eau (**Fig : II.21**), pendant chaque intervalle de temps (15 min, 30 min ,1 h, 2 h ,4h ,24h, on remesure les morceaux (mi), le différent de poids c'est le poids de l'eau absorbé (mi- m_0) [NE 13057] **[57]**.



Figure II.21: Essai d'absorption

d- Les variations dimensionnelles(Retrait et gonflement)

En l'absence de toute charge, le béton se déforme instantanément. Ces déformations sont dues essentiellement à une perte d'eau de gâchage par évaporation, qui se traduit par un rétrécissement des éléments en béton.

Le retrait dépend non seulement des conditions de conservation (humidité, température) mais dépend aussi des constituants du béton. Les mesures du retrait ont été effectuées sur des éprouvettes prismatiques de 4x4x16cmconformément à la norme [NF P 15-404] **[58].**

Ces éprouvettes au nombre de trois par composition, sont après démoulage à 24 h, placées dans un réctractomètre(**Fig :II.22**) munis d'un comparateur qui permet la mesurer du retrait à tout moment à court terme et moyenne terme (du 1j jusqu'a 28 jours) La conservation des éprouvettes est faite à l'air libre dans le laboratoire à une température de 25 à 30°C.



Figure II.22: Mesure desvariations dimensionnelles des BS

e- Mesure des variations de masse

Si, en plus de retrait, on désire mesurer la variation de masse, pesé à 0.1g près l'éprouvette à chacun des temps ou est effectuée une mesure de longueur.



FigureII.23 : Mesure de la perteet gain de masse des BS

II.4- Variables étudiées

Les variables d'étude utilisés au cours de ce travail sont résumés dans la figure **(II.24)** suivante :

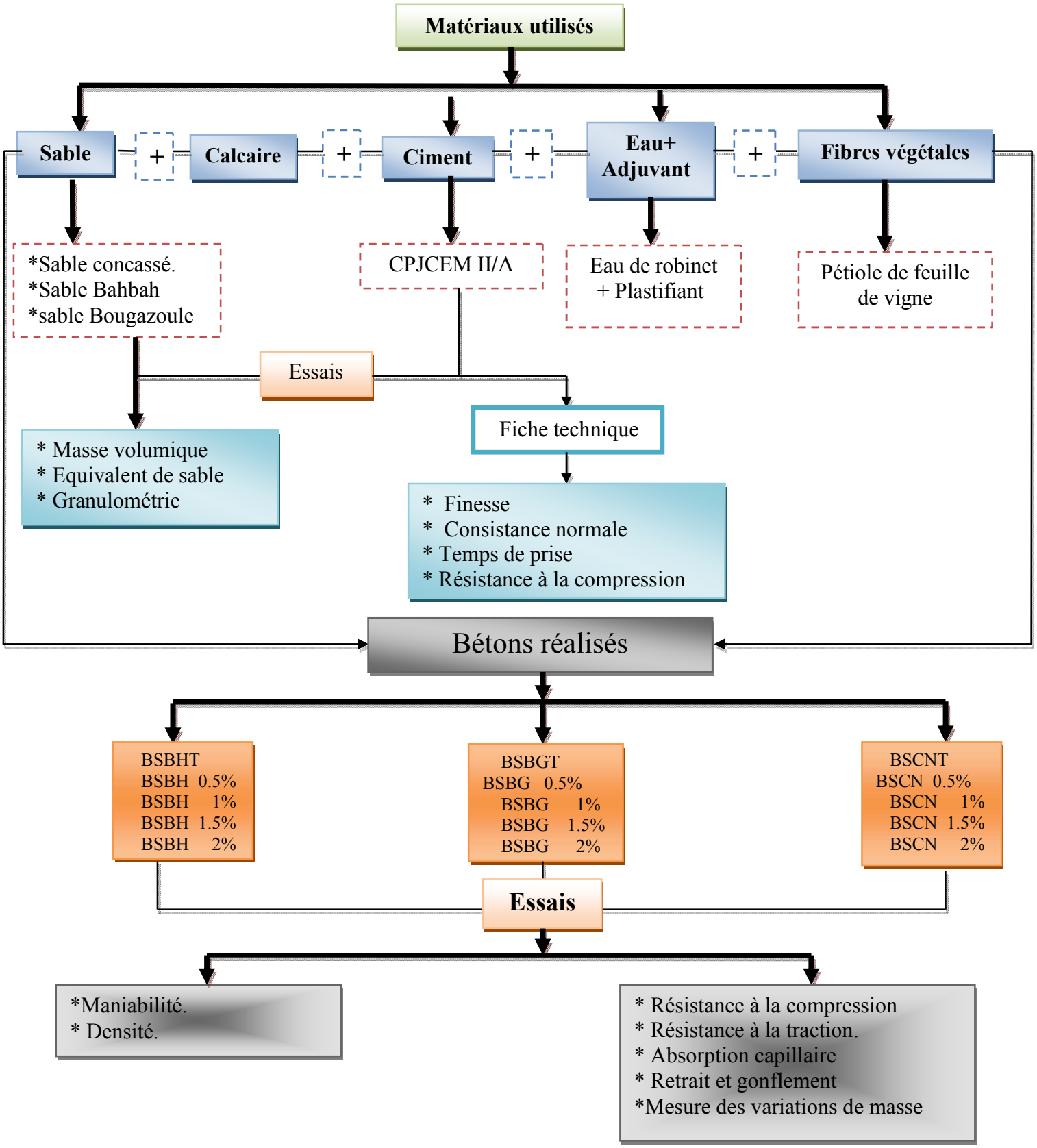


Figure II.24 : Variables étudiées

CHAPITRE III :

PRÉ RÉSULTATS ET INTERPRÉTATION

III.1-Introduction

Les résultats des différents essais faits sur béton de sable frais et durci sont rassemblés ci - après et les valeurs données sont les moyennes arithmétiques des trois résultats d'essais. Pour faciliter la lecture, dans ce qui suit les fibres végétales utilisées sont appelés fibre de vigne.

III.2- Béton frais

III.2.1- La Maniabilité

Pendant de la confection des éprouvettes, nous avons remarqué que tous les types des bétonsde sable à base de fibres végétale (BSFV) sont peu compacts par apport au béton de sable témoin (BST) et présentent une difficulté de mélange en fonction du pourcentage et du type d'ajout en fibre végétale, et on a trouvé que plus le pourcentage des fibres végétale augmente plus le temps d'écoulement augmente aussi.Ceci confirme les résultats d'autres chercheurs [59]qui ont trouvés que le renforcement des BAP par les fibres végétales entraîne une diminution de l'étalement et la stabilité de l'ouvrabilité avec l'augmentation des pourcentages des fibres.

Pour pouvoir comparer les résultats à l'état durci, on avarie la quantité d'adjuvant (plastifiant) pour tous les types des bétons de sable (**Fig : III-1,Fig III-2etFig III-3**) suivant le cas pour avoir une maniabilité constante ((**temps d'écoulement entre7(s) et 10.5(s)(Fig :III-4,Fig:III-5 et Fig: III-6**)).

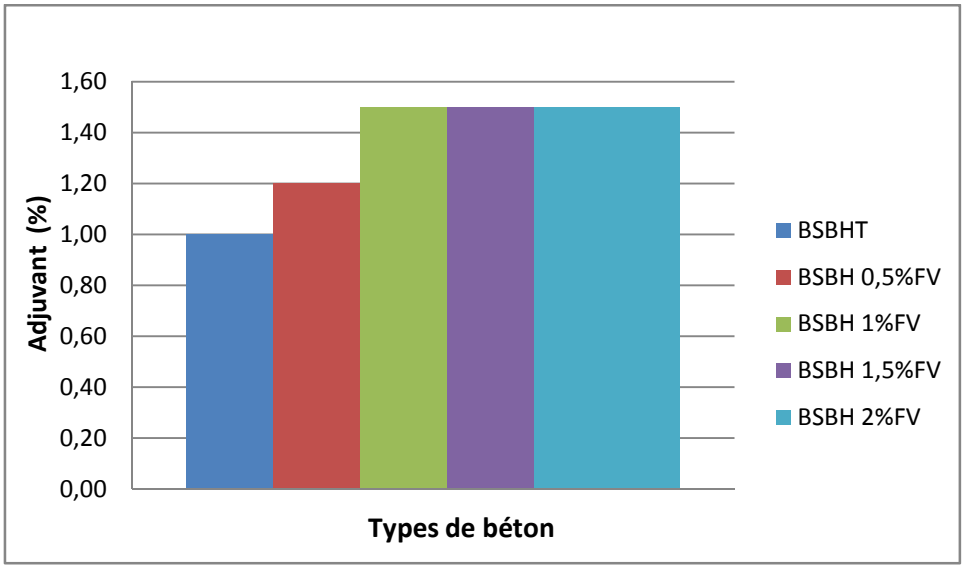


Figure III.1 : Pourcentage d'adjuvant de BSBH à basedes fibres de vigne

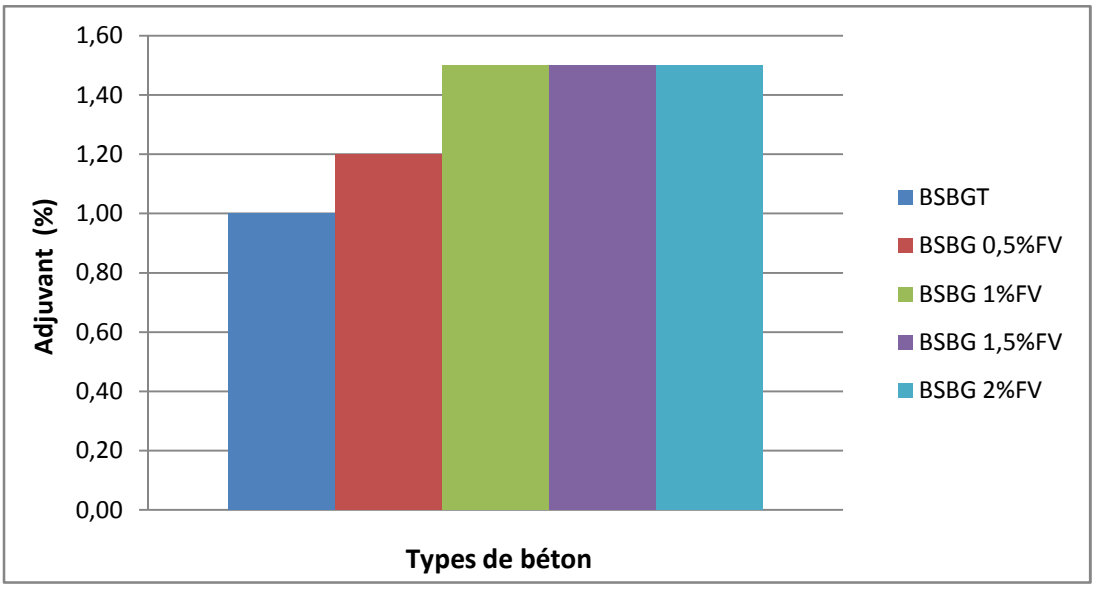
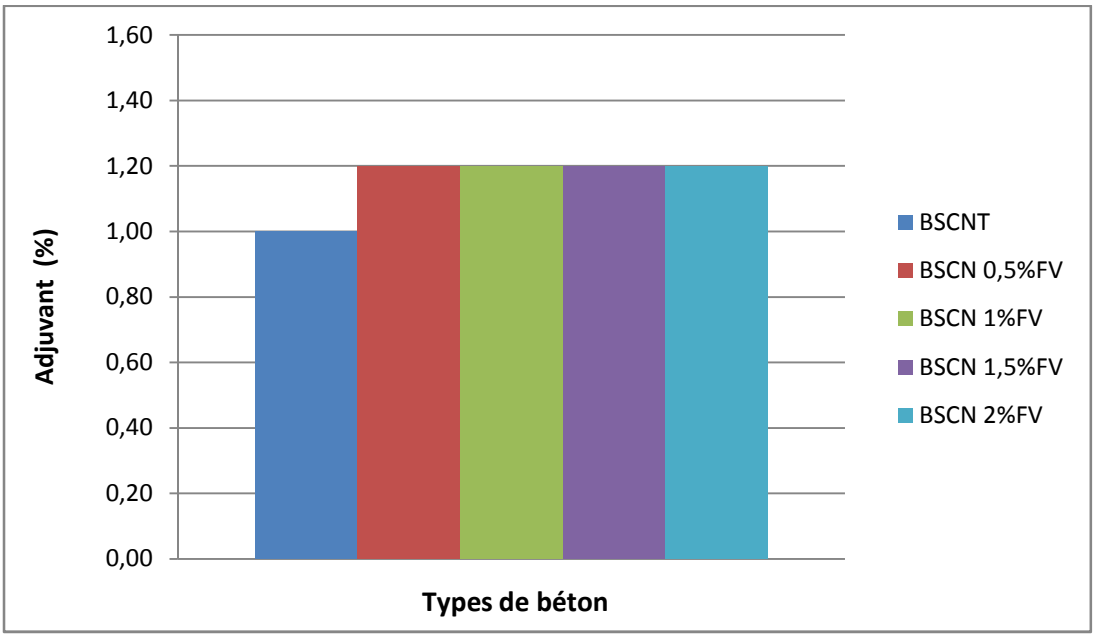


Figure III.2 : Pourcentage d'adjuvant de BSBGà base des fibres de vigne



FigureIII.3 : Pourcentage d'adjuvant de BSCNà base des fibres de vigne

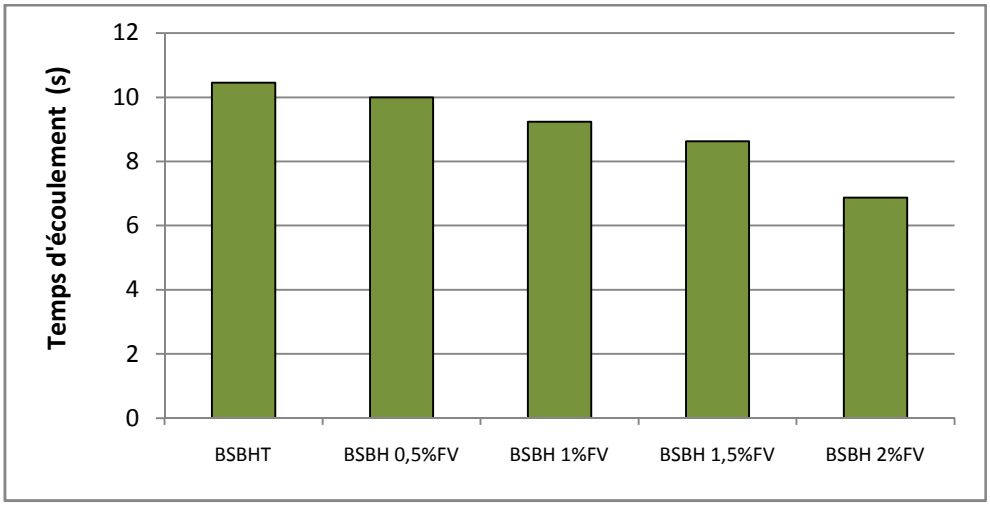


Figure III.4 : Temps d'écoulement de BSBHà base des fibres de vigne

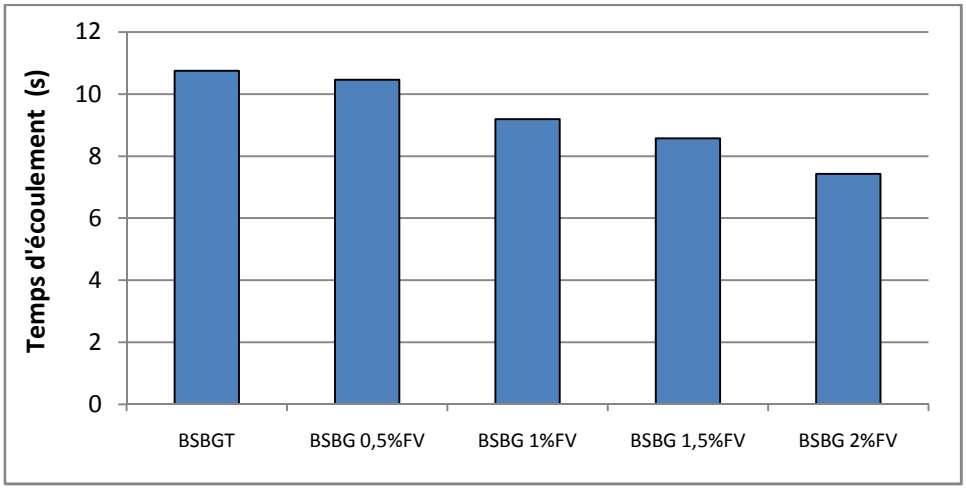


Figure III.5 : Temps d'écoulement de BSBGà base des fibres de vigne

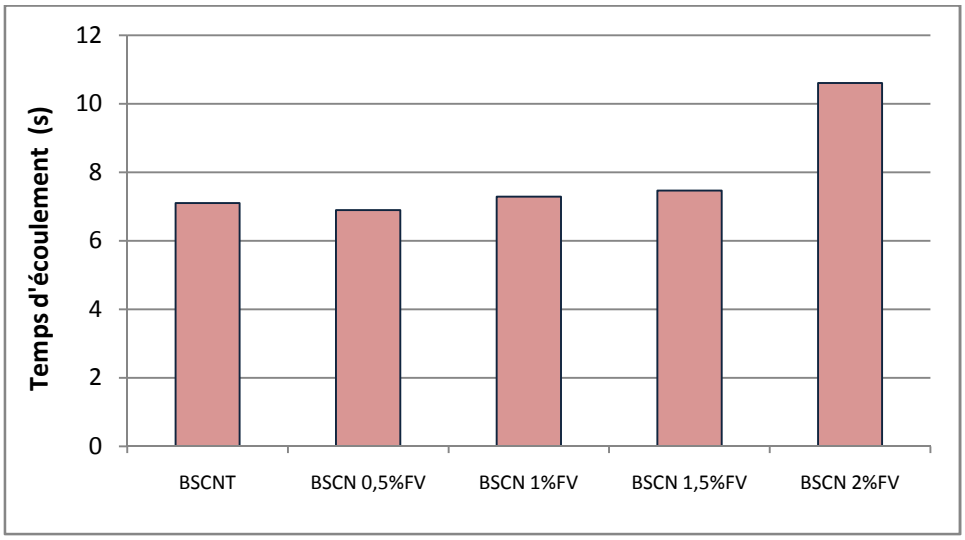


Figure III. 6 : Temps d'écoulement de BSCNà base des fibres de vigne

III.2.2- La Densité

La densité des différents bétons réalisés est résumée dans les figures (**III.7, III.8 et III.9**) suivante :

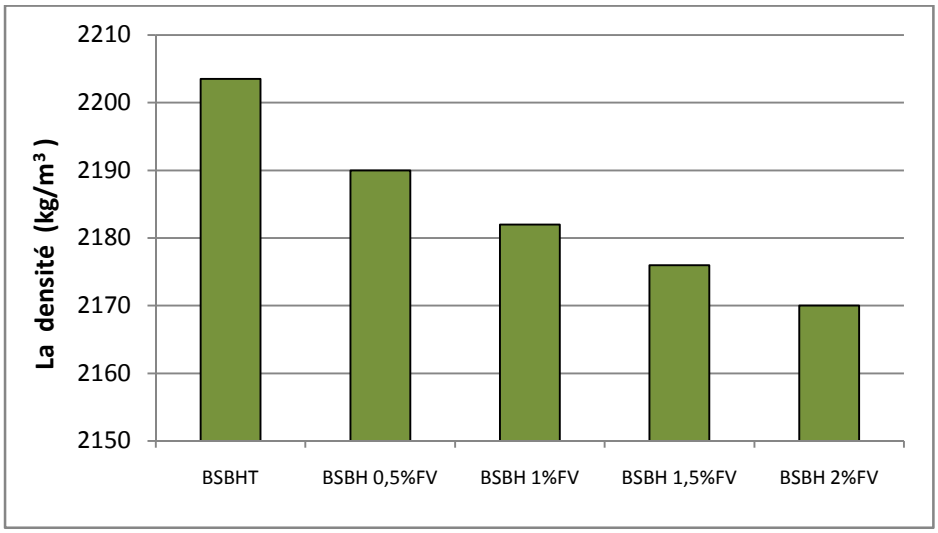


Figure III.7: Ladensité de BSBHà base des fibres de vigne

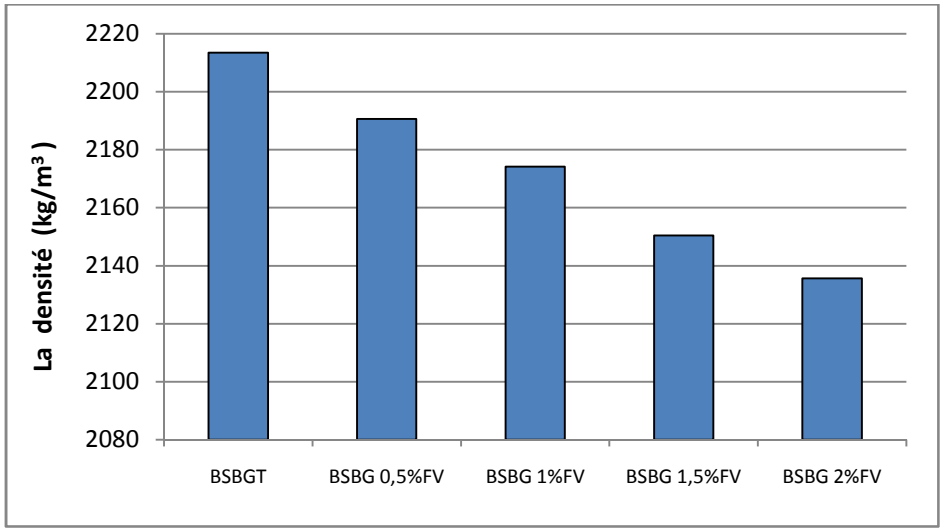


Figure III.8: Ladensité de BSBG à base avec des fibres de vigne

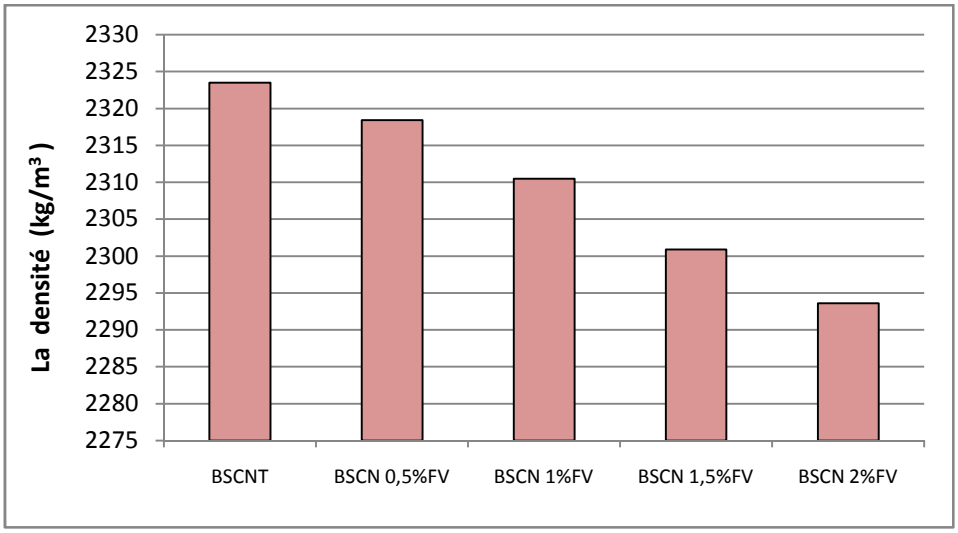


Figure III.9: Ladensité de BSCN à base des fibres de vigne

Les résultats obtenus dans les figures précédente montrent que l'ajout des fibres végétale dans la masse de tous les bétons de sable influes négativement sur la densité, etquelque soit la nature du sable (fin, moyen ou gros).Cette diminution est dû sans doute à la porosité successive induite par la forme de la fibre utilisé ce qui rend encore plus léger le béton de sable, ce qui confirme les résultats d'autre chercheurs [**60**]quiont trouvé une légère diminution de la densité des mortier en fonction d'ajout des fibres de polyéthylène téréphtalate (PET).

III.3- Béton durci

De la même façon que le béton frais, les résultats des différents essais réalisés sur bétondurci sont résumés comme suit :

III.3.1- Résistance à la compression

Pour chaque essai, les résultats est la moyenne de 3 mesures prisent sur 3 éprouvetteà l'âge de 7et 28j avec des dosages en fibre de 0.5% ,1% ,1.5% ,2% pour des bétons de sable avecdes fibres de , les résultats sont illustrés dans les figures (**III.10 ; III.11 et III.12**) suivants :

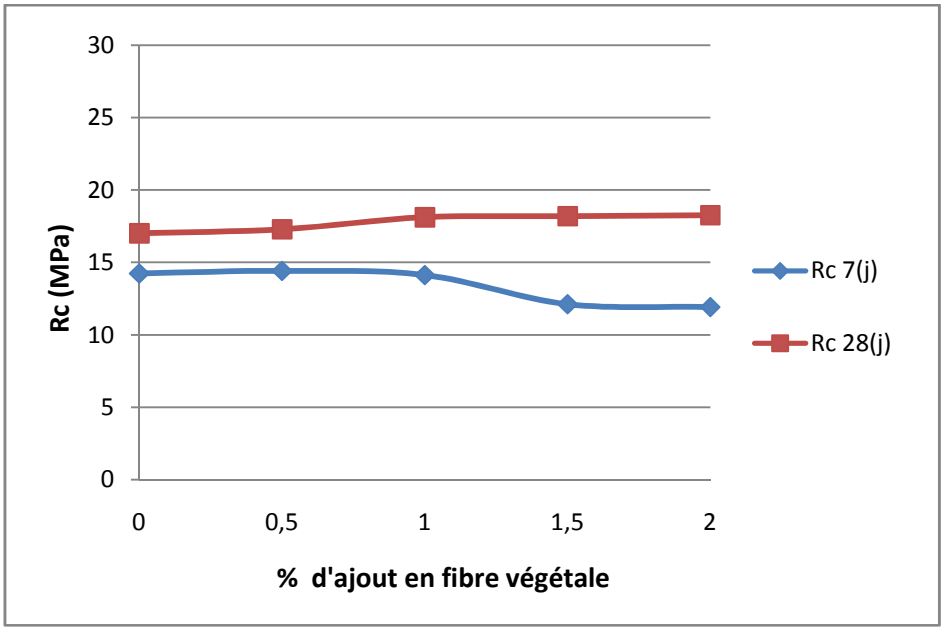


Figure III.10: Résistance à la compression desBSBH à base des fibres de vigne.

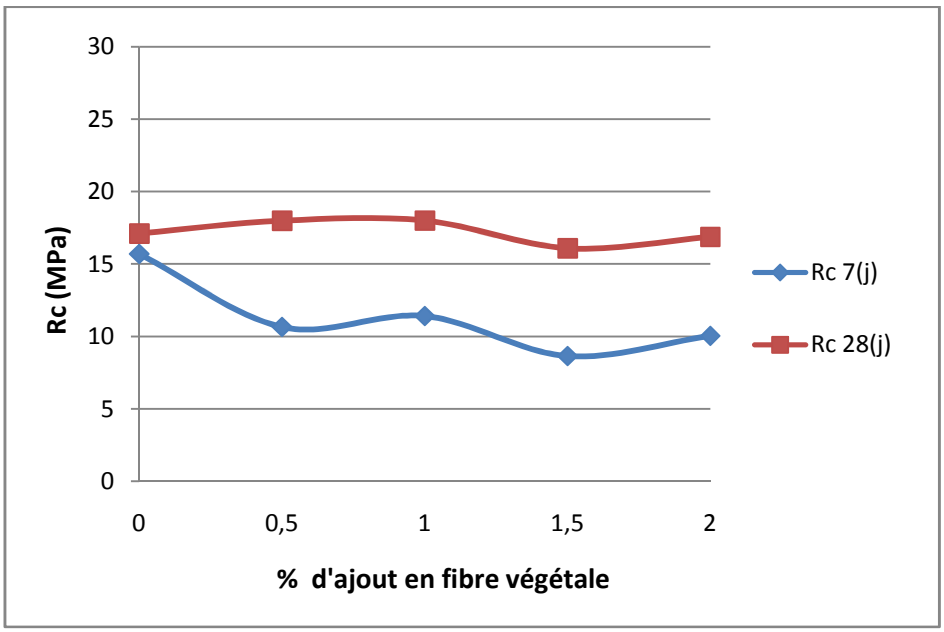


Figure III.11: Résistance à la compression des BSBG à base des fibres de vigne.

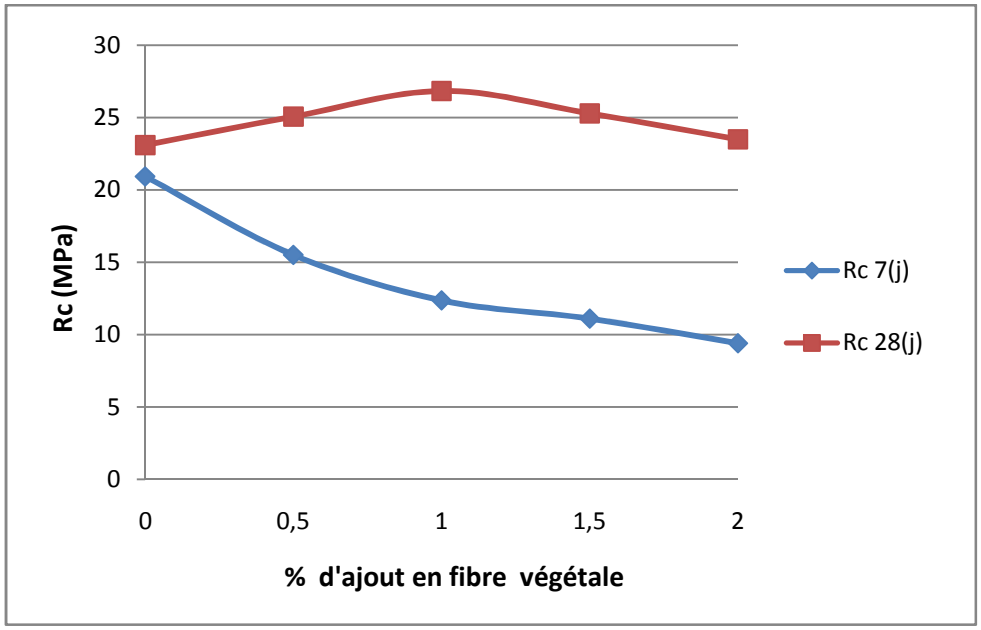


Figure III.12: Résistance à la compression desBSCN à base des fibres de vigne.

Les figures (**III.10, III.11 et III.12**)présentent les résultats à la compression à 7 et 28 jours des différents composites en fonction de la variation du pourcentage de fibres, on constate que la résistance à la compression diminue avec l'augmentation du pourcentage de fibres dans les différents mélanges des bétons de sable de fibres à l'âge de 7 jours. Cela est expliqué par le fait que l'incorporation des fibres dans la matrice du béton augmente le volume des vides et diminue la compacité du béton au jeune âge, d'où une diminution de résistance à la compression. Cette constatation est en accord avec les résultats de la littérature [**34**], qui affirment que l'ajout de fibres de disse et de palmier dattier au béton de sable n'a aucun effet bénéfique sur la résistance à la compression.Abdelah al HILALI.et al [**59**] trouvé aussi que l'introduction des fibres végétale dans le béton autoplaçantn'améliore pas la résistance à la compression ni au jeune âge ni au moyen âge.Par ailleurs, d'après les résultats trouvés à l'âge de 28 jours on a constaté une légère augmentation de résistance à la compression, pour tous les types des bétons de sables (BSBH, BSBG et BSCN) et surtout pour un ajout de 1 % de fibre. Le gain de résistance à 28 jours pour un dosage de 1% de fibre de vigne est estime à 6% pour les BHBH, 17% pour les BSCN qui présentent la meilleure résistance (26.83 MPa) et 5% pour les BSBG.

III.3.3 -Résistance à la traction par flexion

La mesure de la résistance à la traction est importante surtout pour identifier l'adhérence ciment / grains. L'analyse des résultats (**Fig : III.13-15**) est faite de la même façon que la résistance à la compression.

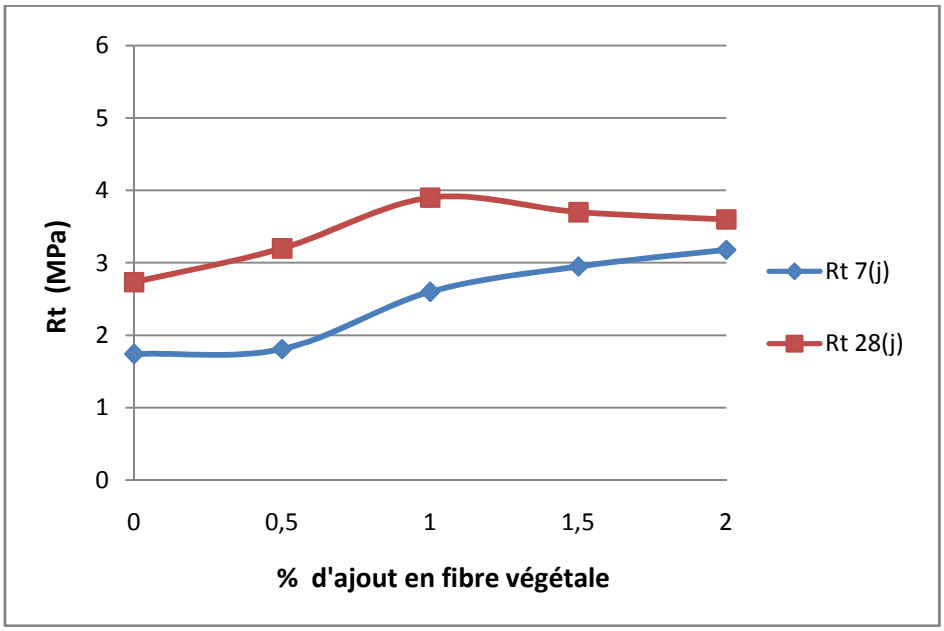


Figure III.13: Résistance à la traction par flexiondes BSBH à base des fibres de vigne.

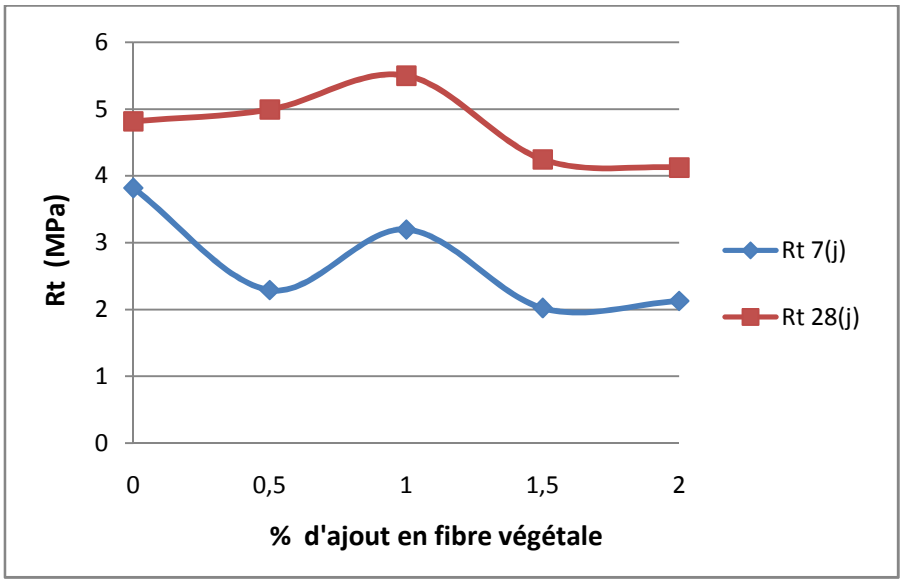


Figure III.14: Résistance à la traction desBSBG à base des fibres de vigne.

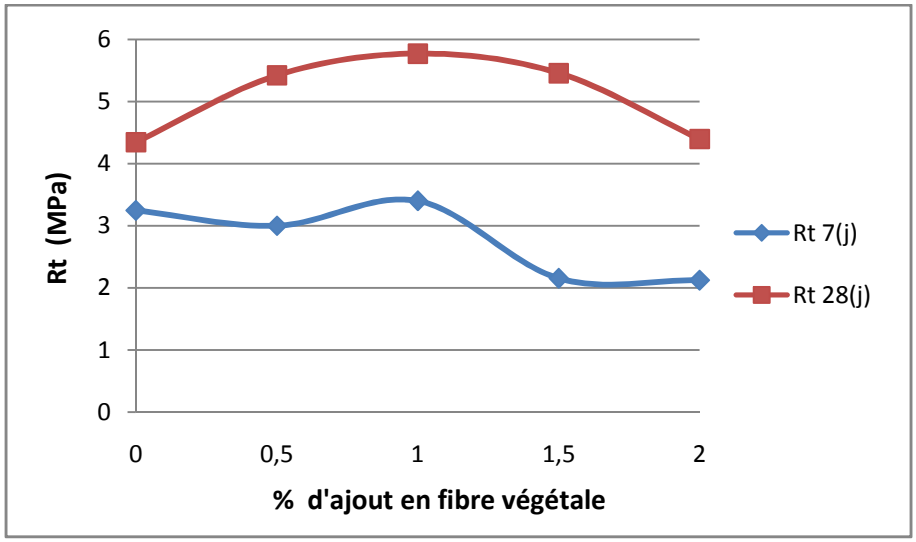


Figure III.15: Résistance à la traction desBSBH à base des fibres de vigne

D'après la figure (**III.13, III.14, III.15**) ci-dessus, on remarque que la résistance à la traction par flexion à 7et à 28jest améliorée pour tous les types des bétons à base de 1% fibre de vigne.Le gain de résistance à l'âge de 28 jours estimé à 42% pour les BSBH, 15% pour les BSBG et 33% pour les BSCNqui présentent la meilleure résistance (5.77 MPa).Ces résultats est en accordance avec celle de REZIG et al. [**59**], qui affirment que l'ajout de fibres de disse et de palmier dattier dans la formulation debéton de sable améliore la résistance à la traction par flexion pour un ajout de 1% de fibre. LAIFA et al.[**61**] trouvent aussi que l'ajout des fibres de disse au béton autoplaçant induit une amélioration des résistances à la traction par flexion.

III.4 Approche de durabilité

III.4.1- Absorption d'eau

Les résultats de l'essai d'absorption d'eau des différents bétons réalisés sont illustrés dansles figures suivantes :

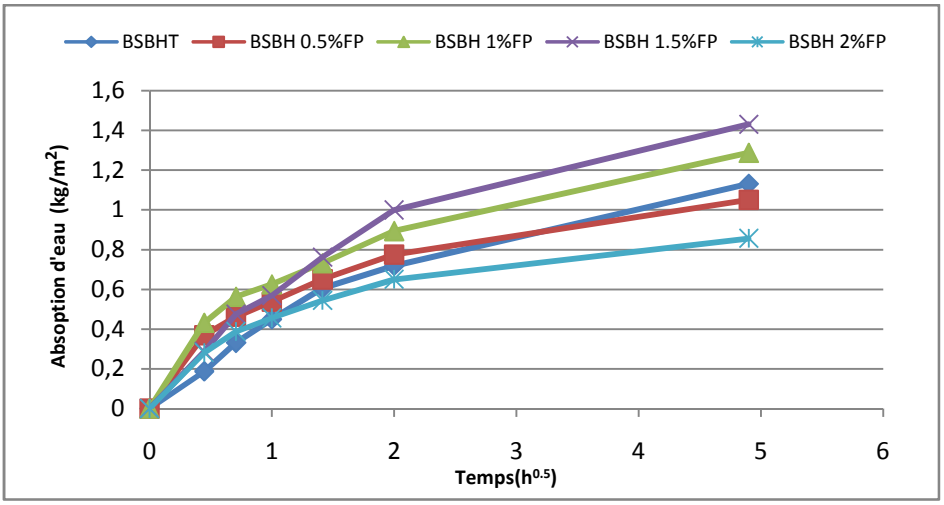


Figure III.16 : Absorption d'eau pour BSBH à base des fibres de vigne.

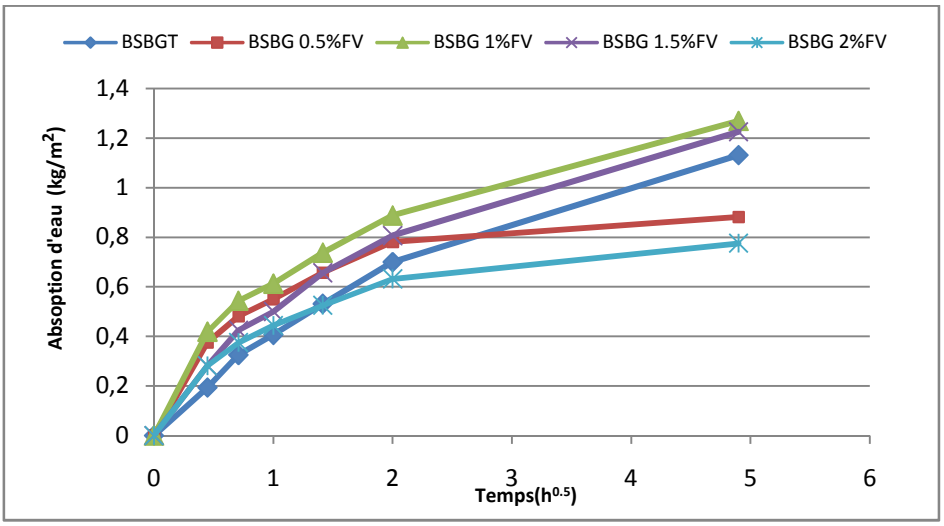


Figure III.17 : Absorption d'eau pour BSBG à base des fibres de vigne

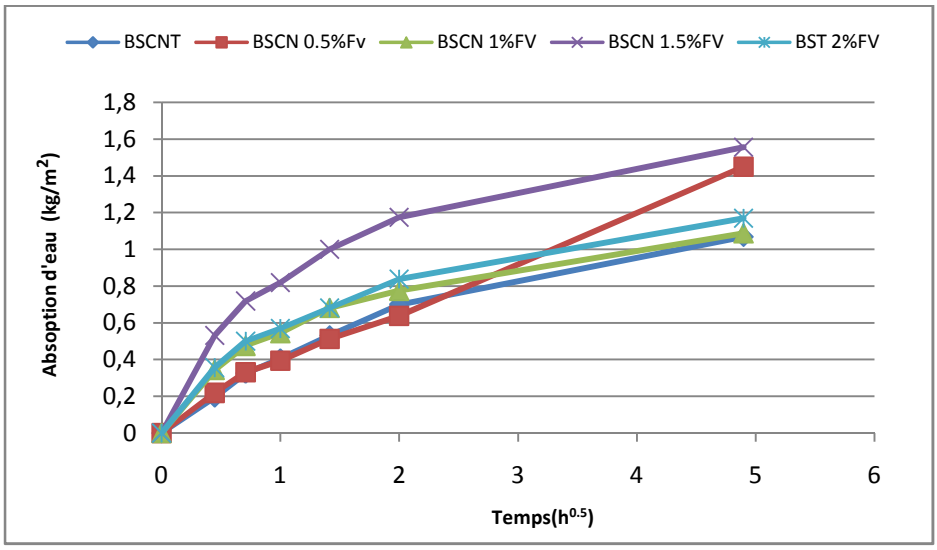


Figure.III.18 : Absorption d'eau pour BSCN à base des fibres de vigne

D'après lesfigures (**III.16, III.17**et **III.18**) ci-dessus, on remarque l'absorption d'eau initial de tous les bétons de sable à base des fibres végétale est plus élevé par rapport au béton de sable de référence. Les résultats présenté dans la figures précédente montrent aussi que l'absorption finale des BSBG 0.5% et 2% FV et BSBH 0.5% et 2%FV est toujours inférieurs à celle du béton de sable témoin, par contre tous les autres types des BS montrent une capacité d'absorption importante. Cecimontre que le quelque types des bétons de sable à base de fibre est plus poreux pour certain pourcentage est la compacité moins élevé et aux nature des fibres qui sont hydrophiles.Cette constatation est en accord avec les résultats de la littérature [**34**], qui affirment que l'ajout de fibres de disse et de palmier dattier au béton de sableaugmente d'une façon remarquable l'absorption d'eau capillaire.

III.4.2- Retrait

Les figures suivantes (figures III.22, III.23 et III.24) présentent les résultats de l'essai de retrait en air libre :

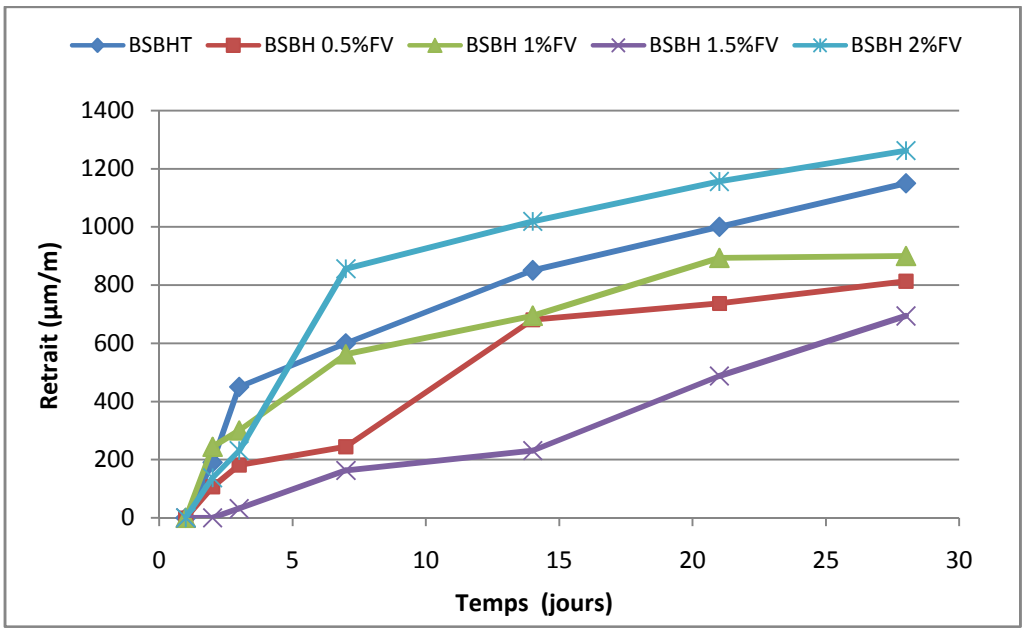


Figure III.19 : Retrait des BSBH à base des fibres de vigne

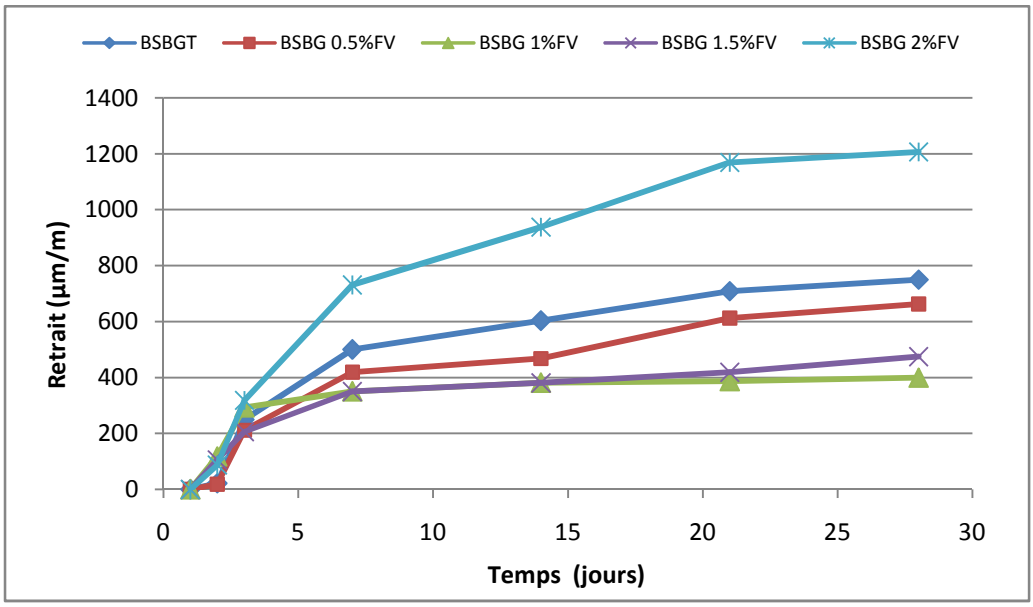


Figure III.20 : Retrait des BSBG à base des fibres de vigne

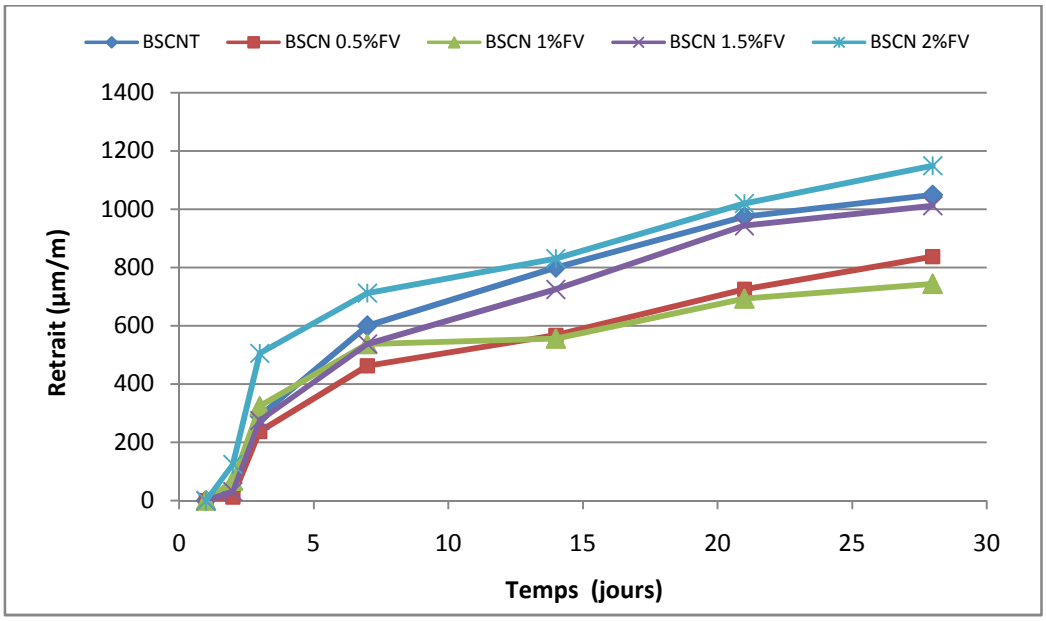


Figure III.21 : Retrait des BSCN à base des fibres de vigne

Les figures (**III. 19, III. 20** et**III. 21)** montrent l'évolution de la déformation du retrait de tous les types desbétons de sables en fonction du temps et du pourcentage de fibres vigne. D'après ces résultats, on remarque que le retrait est plus faible que le pourcentage de fibres varie de 0.5% jusqu'à 1.5 %, on explique cette diminution du retrait du BS par l'effet des fibres végétales sur le comportement de ce dernier. Par contre l'ajout de 2 %de fibre présente un taux de retrait très grand.Cette augmentation est plus importante dans le cas des BSBH,

elle attient le 1262.5 µm/m.Ces résultats est en accordance avec celle de REZIG et al.[**34**] qui ont montrer que l'incorporation de fibres de disse et de palmier dattier dans le béton de sable réduit d'une façon remarquable le taux de retrait et que plus le pourcentage des fibre végétale augmente plus le retrait diminué.

III.4.3.La perte de masse :

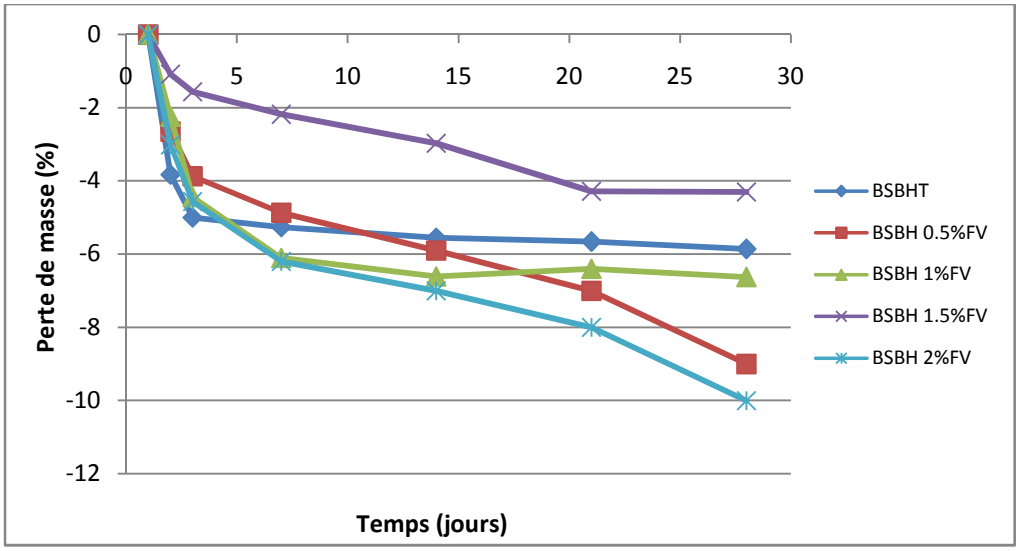


Figure III.22 : Perte de masse des BSBH à base des fibres de vigne.

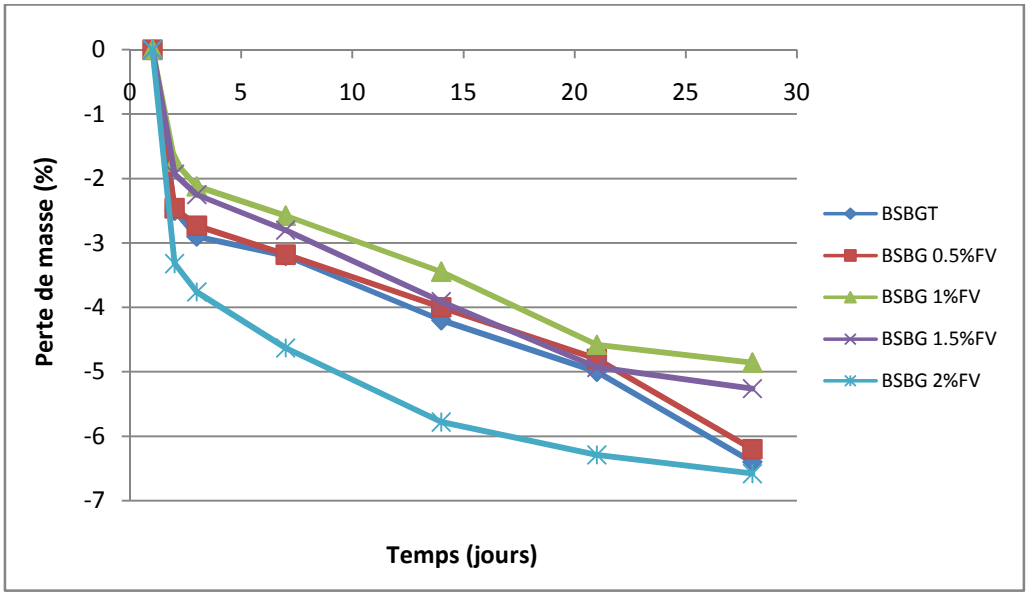


Figure III.23 : Perte de masse des BSBG à base des fibres de vigne

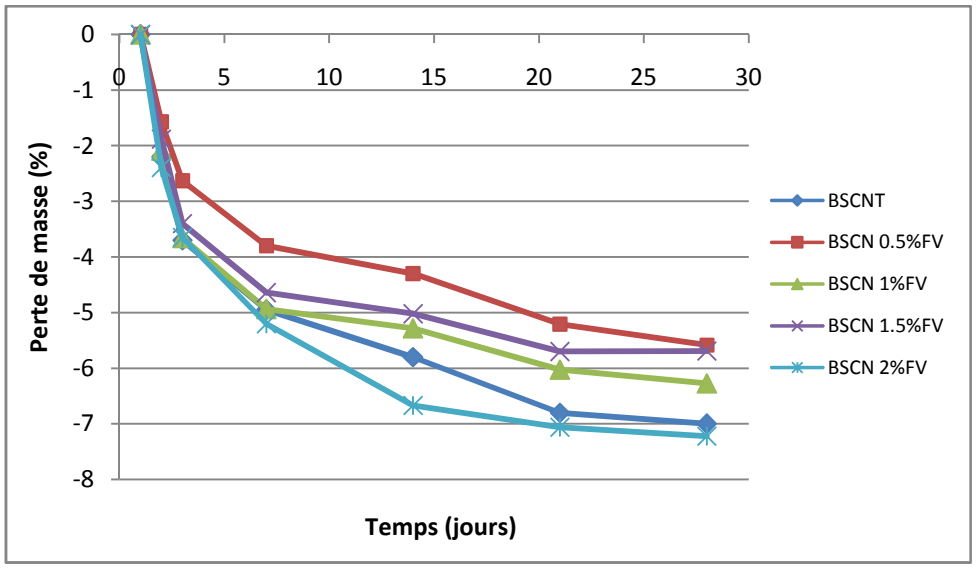


Figure III.24 : Perte de masse des BSCN à base des fibres de vigne

Les résultats obtenus sont représentés par les figures (**III.22,III.23**et **III.24).**On sait que le retrait s'accompagne systématiquement d'une perte de masse, on remarque d'après ces figures que la perte de masse augmente en fonction du temps, cette perte devient plus faible à 28 jours. D'après les résultats donnés par les figuresprécédentes, on remarque que la perte de masse diminue avec l'augmentation du pourcentage de fibres de vigne pour tous les types des bétons de sable.Cette perte est plus importante dans le cas des BSBH, elle attient le 10% pour un ajout de 2% de fibre.Ces résultats est en accordance avec celle de REZIG et al.[**34**], qui affirment que l'ajout de fibres de disse et de palmier dattier dans la massebéton de sable diminuer la perte de masse.

III.5-Conclusion

Dans le cadre de cette partie d'étude, l'analyse des résultats expérimentaux peut mener auxquelques conclusions suivantes:

1-Tous les bétons de sable à base de déchets de fibre de vigne présent une mauvaise maniabilité par rapport au béton de sable témoin.

2-La densité de tous les BS est diminuée en fonction d'ajout des fibres végétales.

3- L'ajout des fibres végétale à la formulation des BS induit une légère augmentation des résistance à la compression.

4- La résistance à la traction par flexion est améliorée d'une façon remarquable en présence de 0.5% jusqu'à 1.5 % de fibre végétale.

Finalement, si on compare les résultats qu'on a trouvés dans cette partie d'étude et les résultats des déférents chercheurs (citées dans la bibliographie) on peut dire qu'ily a une nette concordance entre les deux.

CONCLUSION GÉNÉRALE ET RECOMMANDATION

CONCLUSIONS

L'objectif de ce travail était de déterminer l'effet d'addition des déchets de fibres végétale sur les performances du béton de sable à l'état frais et durci. La synthèse bibliographique et l'analyse des résultats expérimentaux nous ont permet de tirer les conclusions suivantes :

1. Quelque soit la nature du sable (Fin, moyen ou gros) l'ajout des fibres végétales influe négativement sur la maniabilité du béton de sable.
2. La densité dubéton de sable chute en fonction du pourcentage d'ajout des fibres végétales.
3. 1% de fibres de vigne contribuent à l'augmentation de la résistance à la compression du béton de sable (à 28jrs) de 5%,6% et 17% respectivement avec les sables de BOUGAZOULE, de BAHBAH et Concassé.
4. La résistance à la traction par flexion du béton de sable est améliorée d'une façon remarquable avec un dosage de 1% de fibre de vigne. Cette augmentation est de l'ordre de 15%,33%et 42% respectivement pour les bétons BSBG, BSCN et BHBH.
5. La capacité d'absorption d'eau de béton de sable croit avec l'augmentation du dosage en fibres.
6. Le retrait des bétons de sable est diminué en fonction d'ajouts des 0.5% ,1% et 1.5% en fibres de vigne. Néanmoins un risque de retrait supplémentaire est possible pour un dosage élevé en pourcentage de fibres, c'est pourquoi un pourcentage de 1.5% en fibres à ne pas dépasser est conseillé.
7. La perte de masse des bétons de sableà base des fibres de vigne est moins importante que celle du béton de sable de référence.

RECOMMANDATIONS

Les observations et les analyses que nous avons effectuées dans le cadre de cette recherche pourraient mener à des développements futurs dans le domaine du recyclage des déchets de fibre végétale. Pour cela on recommande les étudiants d'approfondir dans ces recherches et surtout d'étudier :

1-Valorisation d'autres types des déchets de fibre végétale dans le béton de sable.

2-Etudier la rhéologie des bétons de sable à base de fibre végétale.

3-L'effet de l'orientation des fibres végétales sur la performance du béton de sable.

4- Etudier la durabilité du un béton de sable à base de fibres végétales de vigne.

5-Le pompage de béton de sable à base de fibres végétales.

6-le traitement des fibres .

.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Bibliographie

[1] NA P18-500 ; NORME par AFNOR « béton de sable » octobre 1987

[2]SABLOCRETE, « Bétons de sable : caractéristiques et pratique d'utilisation », Presses de l'école nationale des ponts et chaussées (1994).

[3] http://commons.wikimedia.org/

[4] http://www.saint-petersburg.com/

[5] http://elomickegypte.canalblog.com/

[6]GADRI KARIMA ; « contribution à l'étude d'un béton de sable avec fibres et résinedestine pour la préparation mince des structures » mémoire de magister université MOHAMED KHIDER BISKRA 2007

[7]Eric Aldo DJITRINOU ; «modélisation de comportement mécanique de supports de lignes électriques en béton de sables armé et précontraint pour le réseau d'électrification rurale de Diplôme d'Ingénieur école supérieur Sénégal 2003

[8] Yanéric Roussel, «Béton autoplaçant avec fibres comme matériau de réparation du béton» Mémoire de maîtrise ès science appliquées, Université Sherbrooke (Québec) CANADA (2000).

[9] Sandrine Catinard, « Durabilité à long terme de matériaux cimentaires, avec ou sans fillers calcaire en contact avec des solutions salines ».Thèse (P.H.D), Université LAVAL (Québec) CANADA (2000).

[10]Mélanie SHINK, « Fissuration des matériaux cimentaires renforcés de microfibres d'aciers » Mémoire de maîtrise ès sciences appliquées, Université LAVAL CANADA (2000).

[11] RAKOTONIAINA Volasolo ; « contribution a l'étude du béton de sable –application» diplômed'études approfondies (D.E.A) école supérieure polytechnique D'ANTANANARIVO 2006

[12]Omar MEZIDI; «Etude comparative des caractéristiques et du comportement d'un béton de sable de dunes et d'un béton ordinaire modifiés à la poudrette de caoutchouc. » Mémoire De Magister l'Ecole Nationale Polytechnique2008

[13] J.J.Chauvin et G.Grimaldi, « Les bétons de sables » Bulletin liaison laboratoire, Ponts et chaussés N°157, Ref 3336, PP:9-15, (Sept-Oct 1988).

[14] GHRIEB.A, «étude d'un béton de sable de dune pour pistes aéronautiques», thèse de magister, ENP 2003.

[15] A.Benaîssa et P.Morlier et C.Viguier et J.J.Chauvin, « Cinétique de dessiccation et retrait du béton de sable » Annales de l'institut technique du bâtiment et de travaux publics, N°504, (Série : essais et mesure 239), PP:43-51, (Juin 1992)

[16] A.Benaîssa, P.Molier et C.Viguier, « Microstructure du béton de sable » Cement and concreteresearch, Vol 23, PP : 663-674 (1993).

[17]A.Benaîssa, P.Molier et V.Tram, « Le béton de sable un matériau non fissurant », Algérie Equipement (matériau) PP : 7-10.

[18] A.Benaîssa, P.Molier et C.Viguier, « Fluage et retrait du béton de sable » Materials and structures, N° :26, PP : 333-339 (1993).

[19] BENAISSA, A. "Déformations différées d'un béton de sable" - Thèse de doctorat soutenue en novembre 1992 (Université de bordeaux) ; Laboratoire régional des ponts et chaussées.

[20] A.Benaîssa, S.Aggoun, « Contribution à l'étude du fluage propre du béton de sable : Modelphysique », Colloque CEDIMAT (Oran), Décembre 2005

[21]Mr HADJOUDJA Mourad ; «Contribution à l'étude physico-mécanique et durabilité du béton de sable de dunes –Influence du traitement de cure et de l'ajout des fillers» Thèse de magister l'U.S.T.H.B Alger 2001

[22] Veronique le Mestere, « Utilisation des bétons de sable : comblement cavités sous pile de pont »ITPE-DDE de Haute Garonne, Cellule, Ouvrage d'art N° : 22, PP : 29-33 (Novembre 1995).

[23]MAKHLOUD Née CHERGUI NADIA ; «caractérisation en statique du comportement en traction directe du béton armé de fibre en copeaux» Thèse de magister l'U.M.M de Tizi 2010

[24] DJEBALI Saïd «caractérisation des éléments de structures en béton de fibres métalliques » l'U.M.M 2013

[25] GOSSA Nabil; «Elaboration et caractérisation expérimentale du comportement mécanique du béton à base de fibres de palmier dattier» Thèse de master l'U.K.M Ouargla 2013

[26] Guide de bonnes pratiques pour l'utilisation des fibres dans le béton réalisés par l'association Québec en collaboration avec les manufacturières de fibres métalliques et de fibres synthétiques 2005

[27] http://www.nirupama.org/

[28] http://www.harunyahya.fr/

[29] Mme ABERKANE-OUNAS Nadia ; «Inventaire des insectes inféodés à la vigne Vitis vinifera L. dans la région de Tizi-Rached (Tizi-Ouzou) Thèse de magister l'U.M.M de Tizi 2010

[30]MEGHEZZI Saida; « contribution à l'étude de l'influence de la position des bourgeons du greffon de quelques cépages autochtones de Vitis viniferaL.sspviniferapar rapport à l'œil du porte-greffe sur la reprise des plants en pots» Thèse de magister l'U.M.M de Tizi 2014

[31]MOKHTARI Abdessamade; «influence des ajouts de fine minérales sur les performances mécaniques des bétons renforcés de fibres végétales de palmiers dattier » Thèse de magister l'U.K.M Ouargla 2006

[32] https://www.google.dz

[33] M. A. Aziz, P. Paramasivam and S. L. Lee ; «Prospects for natural fibre reinforcedconcretes in construction» Université de Singapour, Kent Ridge, Singapour 1981

[34] REZIG Salima ; «Optimisation de la formulation du béton de sable dans le cadre de valorisation des matériaux locaux». Thèse de magister Université Mohamed Khider –Biskra

[35] Durand G., "les bétons à base de fibres d'acier" *CERILH stage*26-02-1986 N° 6 p6 et *Annales N°347 Février* 1977 pp 48-49.

[36]Dardare J., " Contribution à l'étude du comportement mécanique des bétons renforcés de fibres de polypropylène ", In : *fibre reinforcedcement and concrete*, *RILEM*

[37] Poh W. "General creep-time equation." Journal of Materials in Civil Engineering.1998, Vol.10,n°2 p.118-120.

[38] Beres L. « La macro structure et le comportement du béton sous l'effet de sollicitation de longues durées. » Matériauxet Constructions / Materials and Structures. 1969, Vol.2, n°8, p.103-110.

[39] Ngab A.S, Nilson A.H. , Slate F.O "Shrinkage and creep of high strength." A.C.I Journal. 1981, Vol. 78, n°4, p.255 261.

[40] NA 442 Normes Algérienne: « Ciment - Composition, spécifications et critères de conformité des ciments courants », 1994, 2000.

[41] NF P 15-301, Normes Européenne: « Ciments courants »,1994

[42] NF P 15-476, Normes AFNOR: « Méthodes d'essais des ciments- Détermination de la finesse », Aout 1990.

[43] NF P 15-431, Normes AFNOR: « Liants hydrauliques – technique des essais détermination du temps de prise sur mortier normal », Février 1994.

[44] NF P 15-473 Normes AFNOR: « Méthodes d'essai des ciments-partie 3: détermination du temps du prise et de la stabilité », Aout 1995.

[45] NF P 15-471 Normes AFNOR: « Méthodes d'essais des ciments - Partie Détermination des résistances mécaniques », Aout 1995.j,

[46] NF EN 933-1, « Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats. Partie 1: Détermination de la granularité. Analyse granulométrique par tamisage », AFNOR. 1997

[47] NF EN 1097-6, « Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats. Partie 6: Détermination de la masse volumique réelle et du coefficient d'absorption d'eau », AFNOR 2001

[48] NF EN 1097-3, « Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats. Partie 3: Méthode pour la détermination de la masse volumique en vrac et de la porosité inter granulaire », AFNOR. 1998

[49] NF EN 933-8, « Essais pour déterminer les caractéristiquesgéométriques desgranulats. Partie 8: Evaluation des fines. Equivalent de sable », AFNOR.

[51] NF EN 1097-6, « Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats. Partie 6: Détermination de la masse volumique réelle et du coefficient d'absorption d'eau », AFNOR. **2001**

[51] NF EN 1008,« Eau de gâchage pour bétons: spécification d'échantillonnage, d'essais et d'évaluation de l'aptitude à l'emploi, y compris les eaux des processus de l'industrie du béton, telle que l'eau de gâchage pour béton », AFNOR. 2003

[52] NFP 18-452,Bétons - Mesure du temps d'écoulement des bétons et des mortiers aux maniabilimètresMai 1988

[53] NF EN 12350-6 ,« *Essai pour béton frais. Partie 6 : Masse volumique* », AFNOR. 1999

[54] NA436, «béton frais, détermination de la consistance-essais d'affaissement ».Norme algérienne**. 1992-08-20**

[55] NF EN 196-1Méthodes d'essais des ciments - Partie 1 : détermination des résistances mécaniques - Avril 2006

[56] NF P 18-412, , «caractéristiques particulière des machines hydrauliques pour essais de compression. 1981

[57] NE 13057 NBN NE 13057, Normes Belge, « Produits et systèmes pour la protection et la réparation des structures en béton-Méthodes d'essai-détermination de l'absorption capillaire », Octobre 1997, Mai 2002.

[58] NF P 15-404, Normes AFNOR: « Essais pour béton durci - Partie 1 : forme, dimensions et autres exigences relatives aux éprouvettes et aux moules »1989

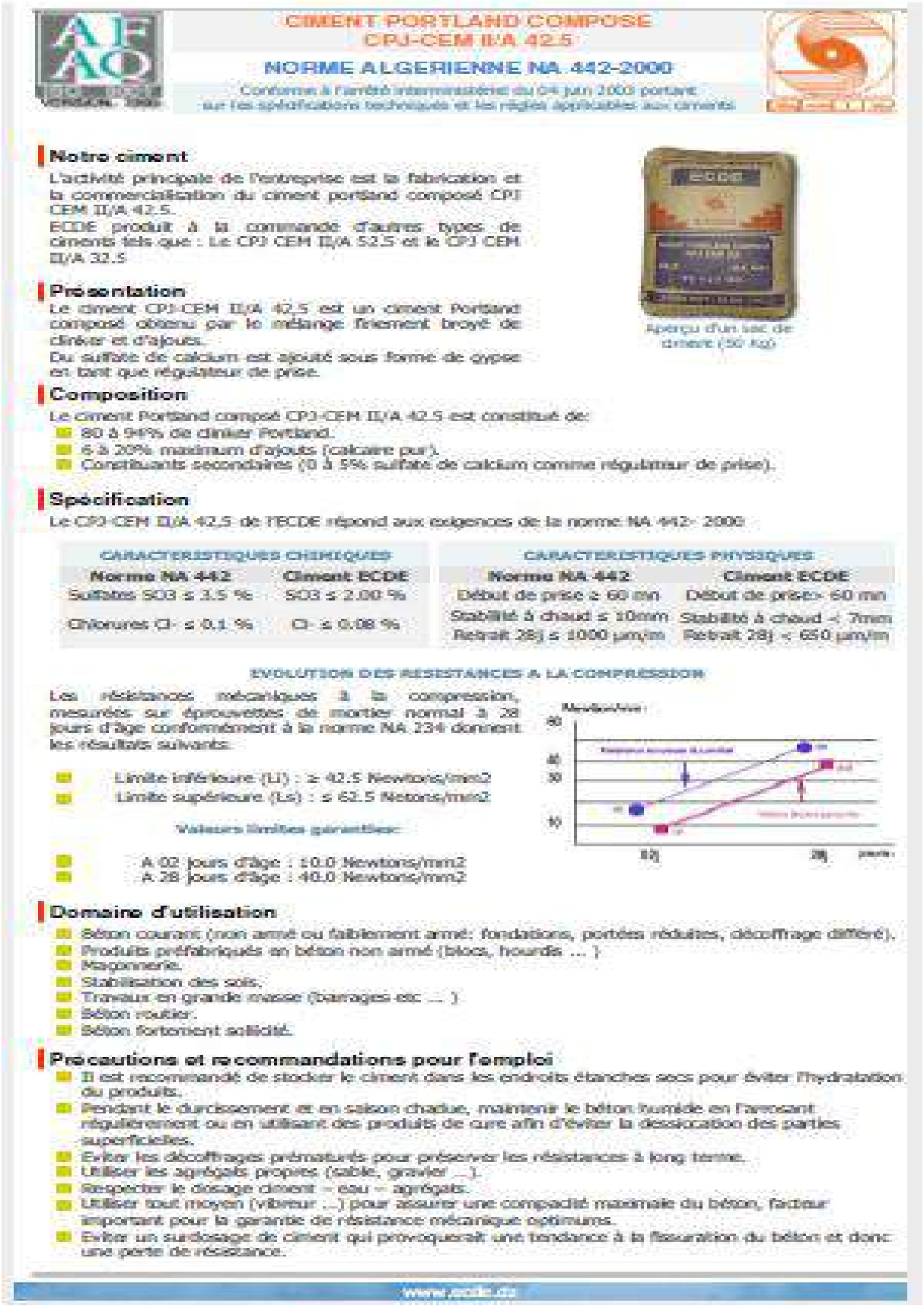
[**59**] **Abdellah EL HILALI**.,. Étude expérimentale de la rhéologie et ducomportement des bétons autoplaçants (BAP): Influence des fines calcaires et des fibres végétales, Thèse doctorat, université de Cergy Pontoise. 118p. Décembre 2009

[60]Luiz A. Pereira de Oliveira, Physical and mechanical behaviour of recycled PET fibre reinforced mortar,Construction and Building Materials 25 (2011) pp1712–1717.

[**61**] **LAIFA.W**caracterisation d'un betonautoplaçantavecAddition de laitier cristallise et renforce par desFibres de polypropylene et de diss ,1st International Confrence on Pouzzolanic Construction MaterialsICPCM'2014,14-15 décembre 2014 ORAN, Algérie.

ANNEXES

ANNEX



CIMENT PORTLAND COMPOSE
CPJ-CEM II/A 42.5

NORME ALGERIENNE NA 442-2000

Conforme à l'arrêté interministériel du 04 juin 2003 portant sur les spécifications techniques et les règles applicables aux ciments

Notre ciment

L'activité principale de l'entreprise est la fabrication et la commercialisation du ciment portland composé CPJ CEM II/A 42.5.
ECDE produit à la commande d'autres types de ciments tels que : Le CPJ CEM II/A 52.5 et le CPJ CEM II/A 32.5

Aperçu d'un sac de ciment (50 Kg)

Présentation

Le ciment CPJ-CEM II/A 42,5 est un ciment Portland composé obtenu par le mélange finement broyé de clinker et d'ajouts.
Du sulfate de calcium est ajouté sous forme de gypse en tant que régulateur de prise.

Composition

Le ciment Portland composé CPJ-CEM II/A 42.5 est constitué de:
- 80 à 94% de clinker Portland.
- 6 à 20% maximum d'ajouts (calcaire pur).
- Constituants secondaires (0 à 5% sulfate de calcium comme régulateur de prise).

Spécification

Le CPJ-CEM II/A 42,5 de l'ECDE répond aux exigences de la norme NA 442- 2000

CARACTERISTIQUES CHIMIQUES

Norme NA 442	Ciment ECDE
Sulfates SO3 ≤ 3.5 %	SO3 ≤ 2.00 %
Chlorures Cl- ≤ 0.1 %	Cl- ≤ 0.08 %

CARACTERISTIQUES PHYSIQUES

Norme NA 442	Ciment ECDE
Début de prise ≥ 60 mn	Début de prise> 60 mn
Stabilité à chaud ≤ 10mm	Stabilité à chaud < 7mm
Retrait 28j ≤ 1000 µm/m	Retrait 28j < 650 µm/m

EVOLUTION DES RESISTANCES A LA COMPRESSION

Les résistances mécaniques à la compression, mesurées sur éprouvettes de mortier normal à 28 jours d'âge conformément à la norme NA 234 donnent les résultats suivants:

- Limite inférieure (Li) : ≥ 42.5 Newtons/mm2
- Limite supérieure (Ls) : ≤ 62.5 Netons/mm2

Valeurs limites garanties:

- A 02 jours d'âge : 10.0 Newtons/mm2
- A 28 jours d'âge : 40.0 Newtons/mm2

Domaine d'utilisation

- Béton courant (non armé ou faiblement armé: fondations, portées réduites, décoffrage différé).
- Produits préfabriqués en béton non armé (blocs, hourdis ...)
- Maçonnerie.
- Stabilisation des sols.
- Travaux en grande masse (barrages etc ...)
- Béton routier.
- Béton fortement sollicité.

Précautions et recommandations pour l'emploi

- Il est recommandé de stocker le ciment dans les endroits étanches secs pour éviter l'hydratation du produits.
- Pendant le durcissement et en saison chaude, maintenir le béton humide en l'arrosant régulièrement ou en utilisant des produits de cure afin d'éviter la désolocation des parties superficielles.
- Eviter les décoffrages prématurés pour préserver les résistances à long terme.
- Utiliser les agrégats propres (sable, gravier ...).
- Respecter le dosage ciment – eau – agrégats.
- Utiliser tout moyen (vibreur ...) pour assurer une compacité maximale du béton, facteur important pour la garantie de résistance mécanique optimums.
- Eviter un surdosage de ciment qui provoquerait une tendance à la fissuration du béton et donc une perte de résistance.

www.ecde.co

Figure1 : Fiche technique du ciment





Figure2 :Tamiseuse électrique**Figure 3** : Malaxeur

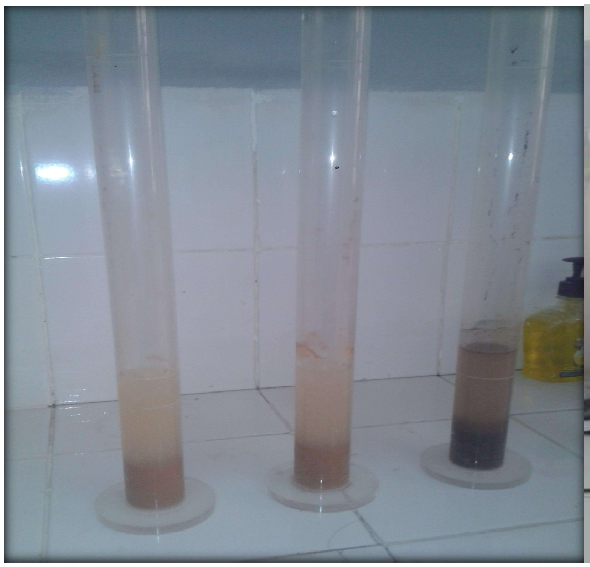




Figure4 : Essais d'équivalent de sable**Figure 5** :Masse volumique des fibres





Figure 6 : séchage naturelle des fibres

Figure7 : Séchage a l'étuve de calcaire



Figure 8 : concassage par concasseur et broyage manuelle



Figure 9 : broyage par broyeur

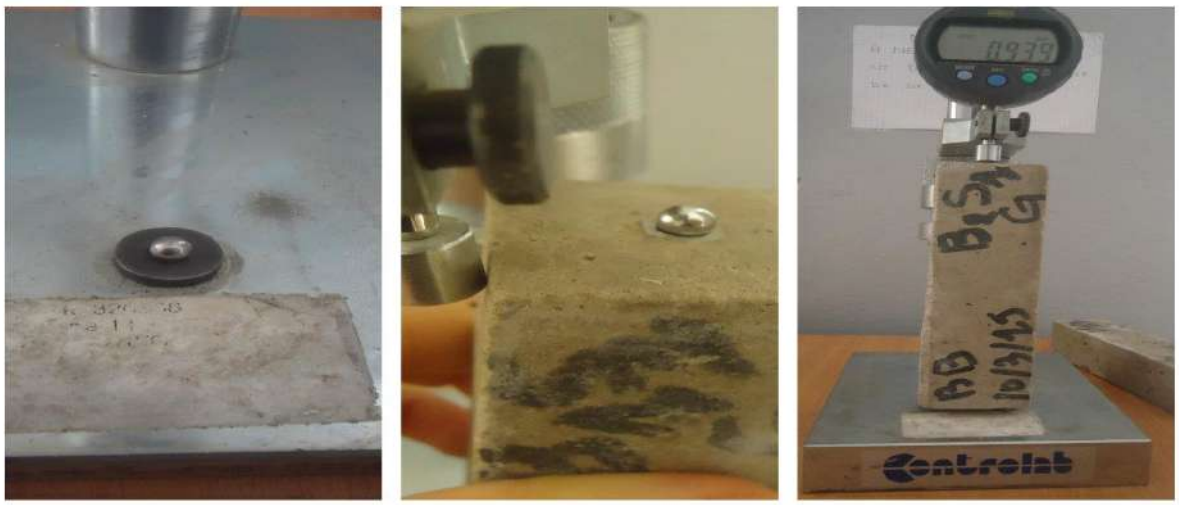


Figure 10 : Mesure de retrait et gonflement



Figure 12 : Les éprouvettes après l'écrasement

MEDAFLUID 104

Conforme à la norme EN 934-2 tab .2
Et NA 774

Plastifiant réducteur d'eau pour hautes Résistances mécaniques

DESCRIPTION

Le **MEDAFLUID 104** est un plastifiant réducteur d'eau pour hautes résistances mécaniques non chloré et prêt a l'emploi. A base de poly carboxylate modifiés.
Le **MEDAFLUID 104** permet d'obtenir des bétons plastiques à fluides avec de grandes résistances mécaniques à court et a long terme.
Le **MEDAFLUID 104** ne présente pas d'effet retardateur de prise pour béton.

CARACTERISTIQUES

- Forme .....Liquide
- Couleur .....marron
- pH ..... 5.5 – 6,5
- Densité..... 1,04 ± 0,01
- Teneur en chlore..... < 0.1g/L

PROPRIETES ET EFFETS

- Réduire le rapport E/C.
- Amélioration de la résistance à court et à long terme ;
- Diminution de l'absorption capillaire des bétons ;
- Une très bonne maniabilité ;
- Diminution de la ségrégation ;
- Facilité de mise en œuvre du béton.

DOMAINES D'APPLICATION

Bétons pompés ;
Bétons transportés ;
Bétons prêt à l'emploi ;
Bétons auto nivelant ;

DOSAGE

Plage de dosage recommandée :

0.8 à 2.0 % du poids de ciment

Le dosage optimal doit être déterminé sur chantier en fonction du type de béton et des effets recherchés.

La plage usuelle de dosage est de 0.8 à 1.2%.

CONDITIONNEMENT ET STOCKAGE

Le **MEDAFLUID 104** est conditionné en bidons de 10 l et fûts de 210 et 240 kg.et cubitainers de 1100 kg

Délai de conservation :

12 mois dans son emballage d'origine, à l'abri du gel Et de la chaleur (5°C < t < 35°C).

MODE D'EMPLOI

Le **MEDAFLUID 104** est introduit dans l'eau de gâchage.

Il est recommandé d'ajouter l'adjuvant dans le béton après que 60% de l'eau de gâchage ait déjà été introduite.

Il est recommandé de réaliser des essais dans les conditions de chantier afin de déterminer le dosage fournissant les résultats recherchés.

Designation	Rc (MPa)	
Jours	**7 jours**	**28 Jours**
Temoin	16.4	23.5
MEDAFLUID 104 (1.1%)	25.7	37.2

Béton préparé avec
Ciment CPJ42.5=350kg , E/C=0.44
Graviers et sable concassés

Les renseignements donnés dans cette notice sont basés sur notre connaissance et notre expérience à ce jour. Il est recommandé de procéder à des essais de convenance pour déterminer la fourchette d'utilisation tenant compte des conditions réelles de chantier.

GRANITEX

Zone industrielle Oued Smar – BP85 Oued Smar – 16270 Alger
Tél : (213) 021 51 66 81 & 82
Fax : (213) 021 51 64 22 & 021 51 65 23
www.granitex.dz - E-mail: granitex@granitex.dz