REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA



Faculté de **T**echnologie

Mémoire de fin d'études de Master

Filière : Génie Civil

Spécialité : matériaux en génie civil

Variabilité des performances du béton de sable à base de déchets métalliques

---

Présenté par

1-BOUCHERAIR KAMEL

2-LOUDJDI MOKHTAR

Proposé et Dirigé par

Pr .DEBIEB Farid

Promotion Juin 2019

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 **Pr. DEBIEB Farid** d'avoir accepté de nous
Encadrer, et pour ses conseils précieux pendant la réalisation de ce
Travail.

A Mr. **RAHMOUN 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.

Et sans oublier à remercier les responsables de laboratoires GC de l'UV de
YAHIA FARES Médéa
Qui nous ont aidé et fournit les moyens pour réaliser cette recherche.

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



Dédicace

A mes chers parents

A mes frères et sœurs

A mes grands-mères

A toute la famille

A mes amis

Je dédie ce travail.

MOKHTAR

Dédicace

Tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude, l'amour, le respect,

la reconnaissance, c'est tous simplement que :

Je dédie cette mémoire de master :

À la plus belle créature que Dieu a créée sur terre,,,

À cette source de tendresse, de patience et de générosité,,,

À ma mère

À mon père

À Ma femme

À tous mes frères, sœurs

À toute ma famille

À tous mes amis et collègues

À tous les étudiants de la promotion 2019 Option : Génie Civil

A tous ceux qui, par un mot, m'ont donné la force de continuer



kamel

ملخص

هذه الدراسة هي جزء من مشروع بحث عام، والهدف الرئيسي منها هو تثمين النفايات في الخرسانة. تتميز الخرسانة الرملية بعيوب رئيسية، بما في ذلك الشقوق ومقاومة ضعيفة للتوسع والضغط الميكانيكي. في هذا السياق،نستعمل نفايات معدنية على شكل رمل (قطر 0-5 ملم) من ورشات العمل العمومية الصغيرة لتحويل وخرط أجزاء معدنية، تم تعويضـها بنسب حجميه (10، 20 ،30 %) في الخرسانة الرملية

من خلال دراسة تجريبية، النتائج المتحصل عليها من حيث المنضورالفيزيائي الميكانيكي مقبولة وهي عالية لاستعمال 10٪ من النفايات معدنية.

Résumé

Cette étude s'inscrit dans le cadre d'un projet de recherche général, qui a pour objectif principal la valorisation des déchets dans le béton. Le béton de sable est caractérisé par des défauts majeurs, notamment des fissures et une faible résistance à la dilatation et à la pression mécanique. Dans ce contexte, des déchets métalliques sous forme de sable (diamètre 0-5mm), récupérés des petits ateliers publics de tournage et fraisage des pièces métalliques sont substitués par volume (10, 20 et 30%) dans le béton de sable. A travers une étude expérimentale, les performances du nouveau béton sont analysées et comparé au béton témoin. Les résultats obtenus sont acceptables en termes physico-mécaniques et sont optimales pour un dosage de 10% en déchets métalliques.

Abstract

This study is part of a general research project, the main objective of which is the valorization of waste in concrete. Sand concrete is characterized by major defects, including cracks and low resistance to expansion and mechanical pressure. In this context, metal waste (diameter 0-5mm) in sand form, recovered from small public workshops for turning and milling metal parts, is substituted by volume (10, 20 and 30%) in sand concrete. Through an experimental study, the performance of the new concrete is analyzed and compared to the control concrete. In physico-mechanical terms, the results obtained are acceptable and are optimal for a dosage of 10% of metal waste.

SOMMAIRE

REMERCIMENT

DEDICACE

RESUME

INTRODUCTION GENERALE

CHAPITRE I Recherches bibliographiques

I.1 Béton de sable 4
I.1.1 Introduction 4
I.1.2 Historique des bétons de sable 4
I.1.3 INTERETS D'UTILISATION DES BETONS DE SABLE 6
I.1.4 LIMITES DES BETONS DE SABLE 6
I.1.5 Composants du béton de sable 7
I.1.5.1 Le sable 7
I.1.5.2 Le ciment 9
I.1.5.3 Les fines d'ajouts 9
I.1.5.4 La fumée de silice (D) 10
I.1.5.5 Les cendres volantes 10
I.1.5.6 Le laitier granulé de haut fourneau (S) 11
I.1.5.7 Schistes calcinées (T) 11
I.1.5.8 Les pouzzolanes naturelles (Z) 11
I.1.5.9 Les fillers calcaires (L) 12
I.1.5.10 Les adjuvants 17
I.1.5.11 L'eau 17
I.1.5.12 Les fibres (renfort de structure) 17
I.1.5.13 Les gravillons 17
I.1.6 EXEMPLES D'APPLICATIONS DES BETONS DE SABLE 18
I.1.6.1 Domaines d'utilisation 18
I.1.6.2 Application du béton de sable 19
I.1.6.3 Avantages et limites d'emploi des bétons de sable 23
I.1.7 CARACTERISTIQUES DU BETON FRAIS 25

I.1.7.1 MANIABILITE : 25
I.1.7.2 FORMULATION 27
I.1.8 CARACTERISTIQUES DU BETON DE SABLE DURCI 28
I.1.8.1 COMPORTEMENT MECANIQUE 28
I.1.8.2 AUTRES PROPRIETES 29
I.1.9 Conclusion 31
I.1.10 Formulations des bétons de sable 32
I.1.10.1 Définition 32
I.1.10.2 Approche théorique d'une formulation d'un béton de sable 32
I.1.10.1 Dosage en fines d'un béton de sable 33
I.1.10.2 Dosage en eau d'un béton de sable 34
I.1.10.3 Dosage en sable 37
I.1.10.4 Estimation de la résistance en compression 37
I.1.10.5 Méthode expérimentale de formulation 39
I.1.10.6 Les différentes étapes de la formulation 40

Chapitre II : les Déchets Industriels et les bétons des Fibres

II.1 Définitions de déchets 47
II.2 Définition juridique de déchets 47
II.3 Types de déchets 48
II.3.1 Les déchets biodégradables 48
II.3.2 Les déchets ultimes 48
II.3.3 Les déchets spéciaux et déchets industriels spéciaux 48
II.3.4 Les déchets recyclables 48
II.4 Les déchets utilisés en génie civil 49
II.4.1 Déchets industriels dangereux mais non toxiques 49
II.4.2 Déchets inertes 49
II.4.3 Déchets ménager 49
II.4.4 Déchets toxiques 49
II.4.5 Déchets industriels dans des conditions spécifiques 50
II.5 Processus de traitement des déchets utilisés 50
II.6 Propriétés des bétons de fibres 53
II.6.1 Propriétés physique 53
II.6.2 Propriétés mécanique 54
II.6.3 Fissuration du béton et actions mécaniques 57
II.6.4 Diverses causes et périodes d'apparition des fissures 57

II.6.5 Durabilité des bétons de fibres Métalliques 58
II.6.6 La corrosion des fibres métalliques dans la matrice 59
II.6.6.1 Propriétés de transfert et durabilité des matrices cimentaire 59
II.6.7 Corrosion des fibres métalliques dans une matrice cimentaire 61
II.6.8 Etude de l'influence des fibres métalliques sur le retrait du béton 63

Chapitre III : Matériaux et Essais

III.1 Introduction 66
III.2 Caractérisation des matériaux utilisés 67
III.2.1 Ciment 67
III.2.2 Sable 67
III.2.3 Eau de gâchage 68
III.2.4 Superplastifiant 68
III.2.5 Ajouts (fillers) 69
III.2.6 Granulats et copeaux déchets métallique 70
III.3 Formulation du béton 71
III.3.1 Préparation du mélange (Malaxage) 72
III.3.2 Confection et conditionnement des éprouvettes 73
III.4 Les essais effectués sur le béton du sable 74
III.4.1 Essai à l'état frais 74
III.4.1.1 Essai de Maniabilimètre L.C.P.C 74
III.4.1.2 La densité : 75
III.4.2 Essai à l'état durcis 76
III.4.2.1 Essai de compression : 76
III.4.2.2 Essai de traction par flexion 77
III.4.2.3 Retrait et gonflement 78
III.4.2.4 Mesure des variations de longueur 79
III.4.2.5 Absorption d'eau par capillarité 81
III.4.2.6 Porosité 82
III.4.2.7 Conductivité thermique 83
III.4.2.8 Résistance au feu 83
III.5 CONCLUSION 85

Chapitre IV : Analyse et Interprétation

IV.1 INTRODUCTION 87
IV.2 Béton frais 88

IV.2.1 Effet de déchets métallique sure le dosage de superplastifiant de Béton de sable 88
IV.2.2 Effet de déchets métallique sure la densité du béton..... 88
IV.3 Béton durcis 89
IV.3.1 Effet de déchets métallique sure la résistance mécanique du béton 89
IV.3.2 Effet de déchet métallique sure absorption d'eau par capillarité du béton..... 90
IV.3.3 Effet de déchet métallique sure le retrait de BS 91
IV.3.4 Effet des déchets métalliques sure le gonflement du béton..... 93
IV.3.5 Effet de déchets métallique sure la porosité de BS 95
IV.3.6 Effet de déchets métallique sur la conductivité thermique du béton..... 97
IV.3.7 Resistance au feu..... 98
IV.4 Conclusion..... 101
CONCLUSION GENERALE..... 103
RECOMMANDATIONS..... 104
Référence bibliographie..... 105
ANNEXES..... 113

Liste des figures

Figure I- 1 : phare de Port-Saïd 5
Figure I- 2 : perméabilité aux ions chlores des bétons a 28 12
Figure I- 3: Variation de l'affaissement en fonction du pourcentage de calcaire 13
Figure I- 4: Effet des fines calcaires sur l'affaissement 13
Figure I- 5: Effet de fillers calcaire sur la densité des sables DS, RS et RDS [2] 14
Figure I- 6 : Evolution de la masse volumique des bétons en fonction de la durée de conservation [15] 14
Figure I- 7 : Variation de la résistance à la compression des bétons ordinaires en fonction du taux de calcaire [22] 16
Figure I- 8: Variation de la résistance à la compression des bétons recyclés en fonction du taux de calcaire [22] 16
Figure I- 9: Différence entre béton de sable et béton ordinaire [8] 18
Figure I- 10 : toiture a plis 19
Figure I- 11Tunnel d'accès au métro de Leningrad 20
Figures I- 12 : les technique de projection de béton de sable 21
Figure I- 13Dallage en béton de sable[28] 22
Figure I- 14 : Différents application des bétons du sable[28] 23
Figure I- 15 : Effets du dosage et de la finesse de l'ajout sur la résistance 28
Figure I- 16: Influence de la dimension d sur la porosité minimale du béton 35
Figure I- 17: Relation entre l'ouvrabilité et le dosage (e + v) d'une matrice Pour mise en œuvre donnée[38] 36
Figure I- 18: Coefficient d'activité du filler calcaire (modèle)[38] 39
Figure I- 19: Evolution de la maniabilité en fonction Du dosage en fine d'addition 43
Figure I- 20: Masse volumique apparente en fonction Du dosage en fine d'addition 43

Figure II- 1 : Le processus métallurgique 52

Figure III- 1: Type de ciment utilisé 67
Figure III- 2Type de superplastifiant utilisé 69
Figure III- 3 : Type de fillers de calcaire utilisé 70
Figure III- 4 type de Granulat et copeaux de déchets métalliques utilisé 70
Figure III- 5 : Gâché du mélange BSDM 72
Figure III- 6: Le malaxeur automatique de mortier 73
Figure III- 7: Les moules des éprouvettes utilisé 73
Figure III- 8: Maniabilimètre à béton de sable avec la tige de piquage utilisé 74
Figure III- 9: Principe de fonctionnement du Maniabilimètre à béton de sable 75
Figure III- 10:Mesure de la densité du Béton de sable 75
Figure III- 11: Dispositif de rupture à la compression 76
Figure III- 12 : l'appareil de lésai de compression 76
Figure III- 13: Dispositif pour l'essai de résistance à la traction 77

Figure III- 14: l'appareil de l'essai de traction par flexion.....77
Figure III- 15: Dispositif pour mesuré le retrait et gonflement.....79
Figure III- 16 : Absorption d'eau par succion capillaire.....81
Figure III- 17 Absorption d'eau après 24 h.....82
Figure III- 18: L'appareil de Conductivité thermique avec échantillons dé 4 ×10×10 cm. 83
Figure III- 19 : un four à moufle à différentes températures.....84

Figure IV- 1: courbes granulométriques du sable et déchets métalliques.....87
Figure IV- 2: Variation du pourcentage en superplastfiant en fonction de DM.....88
Figure IV- 3: la densité en fonction de DM.....89
Figure IV- 4: Résistance à la compression en fonction DM.....89
Figure IV- 5: Résistance à la traction en fonction de DM.....90
Figure IV- 6 : Absorption d'eau par capillarité des bétons en fonction du temps.....91
Figure IV- 7: Evolution du retrait à l'air libre du différents BS avec déchet métallique.....92
Figure IV- 8: Evolution de la perte de masse à l'air libre des du différents BS.....93
Figure IV- 9 : Evolution du gonflement du béton dans l'eau.....93
Figure IV- 10: Evolution du gonflement à l'eau des BSDM.....94
Figure IV- 11: porosité du béton en fonction de % DM.....95
Figure IV- 12: Corrélation entre absorption d'eau et porosité du béton.....96
Figure IV- 13: Corrélation entre Resistance à la compression et porosité du béton.....96
Figure IV- 14: Corrélation entre Resistance à la traction et porosité du béton.....97
Figure IV- 15: Variation de la conductivité thermique du béton en fonction du % DM.....97
Figure IV- 16 la résistance a la compression en fonction de la température.....98
Figure IV- 17 : perte de masse en fonction de la température.....99
Figure IV- 18: BSDM30 Après l'avoir placé à 600 ° C.....100
Figure IV- 19 : les différent BS étudiés.....100

Liste des tableaux

Tableau III- 1: L'analyse chimique du ciment et composition du clinker.....67
Tableau III- 2: Propriétés physiques d'identification de sables utilisé.....68
Tableau III- 3: Propriétés physiques d'identification de calcaire utilisé.....69
Tableau III- 4: Propriétés physiques d'identification de (DM) utilisé.....70
Tableau III- 5: Composition des différentes Béton.....72

SYMBOLES ET ABRÉVIATIONS

BS : Béton de sable
BST : Béton de sable témoin (sans déchets)
DM : déchets métallique
BSDM : Béton de sable a base de déchets métalliques
BSDMx: Béton de sable avec x% de DM (x=10, 20 ou 30 %)
BS CON : bétons de sable concassé
BFM : béton de fibres métallique
S : sable
C.P.A : Ciment portland artificiel
C.P.J : Ciment portland composé
d: La dimension du plus petit grain de l'étendue granulaire;
Dmax: La dimension du plus gros grain de l'étendue granulaire.
E/C : Eau / Ciment
E.S.P : Equivalent de sable à piston
E.S.V : Equivalent de sable à vue
f: surface spécifique exprimée en cm2/g du constituant.
G/S : Gravillons / sable
Ps(V): Porosité du sable d'étendue 80 μm et Dmax;
$\boldsymbol{\rho}$: Densité du constituant exprimée en g/cm3
I: Moment d'inertie de la section transversale
R*c* : Résistance à la compression
R*f* : Résistance à la flexion
R*t* : Résistance à la traction
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
(*d*) Distances réticulaires caractéristiques sépare les plan d'un corps cristallin
D La dimension du plus gros granulat
CPA Le ciment portland artificiel
CHF Ciment de haut fourneau
Kb Coefficient relatif au squelette granulaire ;
C Dosage du ciment exprimé en Kg/m3 ;
e Quantité d'eau efficace exprimée en Kg/ m3;
v Quantité d'air occlus dans le béton exprimée en litres /m3;
Δ**L** Variation de longueur par apport à la longueur origine,
L0 Longueur de base, prise égale à 280mm.
Δ**M** Variation de masse par apport à la masse au moment du démoulage,
M Masse de l'éprouvette au moment du démoulage.
M Moment de flexion entre les deux points d'application de la charge

Introduction générale

Introduction Générale

S'abriter, se protéger de la nature, étaient et restera pour toujours le souci de l'être humain. Durant son parcours sur terre, il utilisait tous les matériaux que la nature lui offrir à leurs états bruts ou après transformations et traitements (chimiques, physiques, mécaniques ou complexes) pour bâtir l'abri résistant, confortable, et durable en coûts réduits. Le cumule des connaissances acquises au cours de sa recherche permanente pour la concrétisation de cet objectif ont permets la mise au point de différents matériaux et composés. L'un des composés fruit de ces recherches est le béton.

Le béton est un matériau hétérogène et anisotrope ; composé d'un mélange de liant, granulats, et eau ; Possède des qualités physiques, mécaniques, et technologiques, font de lui le matériau du **20iem siècle**. Il résiste bien à la compression, et peu à la traction. Cet inconvénient a fait l'objet d'une longue recherche qu'a abouti à l'introduction dans les zones tendues d'un matériau résistant à la traction. La répartition des efforts (compression-traction) entre les deux matériaux devient possible par l'amélioration de l'adhérence béton-acier.

Ce système de renforcement vise à pallier l'apparition des fissures provoquées par les charges d'exploitations. La section, la direction, et la longueur de ferraillage sont donc fonctions de la grandeur, la direction, et la répartition des efforts engendrés.

Les différentes approches partagent les mêmes propos : Utilisation d'un renforcement discontinu de direction aléatoire, en pourcentage et longueurs appropriées compatibles avec le béton.

Dans cette optique, ce projet consiste à contribuer en générale à la valorisation des déchets en béton et en particulier les déchets métalliques. Pour cela, Le déchets métalliques récupérés des usines de tournage et fraisage des pièces métalliques sont utilisés pour la fabrication des bétons. Ce travail est structure comme suite :

Le premier chapitre fait l'objet d'une recherche bibliographique sur le béton de sable. Dans cette partie nous soulignons les grands titres pour faire apparaître une vue générale sur le béton de sable, sa composition, sa formulation, et les propriétés de bétons de sable.

Dans le deuxième chapitre en donne généralités sur les déchets industriels et les fibres métalliques, sa définition et leurs types.

Dans le troisième chapitre en donne une description des matériaux utilisés, les différents mélanges, et les essais adoptent au béton de sable à base de déchets métalliques.

Le quatrième chapitre est consacre a la présentation des résultats obtenus, et des interprétations concernant le béton de sable de déchets métalliques.

Finalement, on terminera ce travail avec des conclusions et des recommandations

I. CHAPITRE I

Recherches bibliographiques

I.1 Béton de sable

I.1.1 Introduction

Comme tous les pays en voie de développement, l'Algérie est un gros consommateur de granulats. Cette consommation s'accroît d'une année à l'autre. Les gros granulats ont tendance à être épuisés dans certaines régions. D'autres régions ne disposent plus de ce matériau. Par ailleurs, notre pays, et notamment le sud algérien, dispose de grands gisements de sables de différentes natures (de dune, alluvionnaires et de concassage), ainsi que de grands gisements de fines naturels et artificiels. La réflexion sur la l'élaboration de nouveaux bétons, tels que les bétons de sable, est donc devenue nécessaire [1]

Le béton de sable a fait l'objet d'une norme expérimentale **P**18-500 [**AFNOR**] et se compose de sable, de fines d'ajout, de ciment et d'eau. Il se distingue des bétons ordinaires par son moindre dosage en gravillons et des mortiers par son moindre dosage en ciment.

Le béton de sable possède des propriétés physiques et mécaniques qui lui permettent de remplacer le béton ordinaire dans certains usages et résoudre certains problèmes économiques et techniques posés par le béton traditionnel. Pour répondre aux besoins de certains usages, d'autres ajouts spécifiques peuvent être envisagés : gravillons, fibres, adjuvants etc.[2]

I.1.2 Historique des bétons de sable

Le béton de sable est un matériau utilisé bien antérieurement au béton traditionnel. Selon POIEVIN[3], ce matériau trouve ses origines dans les années 1850-1875 sous l'appellation de "béton aggloméré". Il était alors constitué de sable, ciment, chaux et eau. COIGNET qui est à l'origine de ce matériau construisit pour sa famille en 1851 à saint Denis (nord de Paris, France) une maison 60m de long et 7m de hauteur, du type R+2, avec mur de soutènement. Cet ouvrage fût entièrement édifié en béton aggloméré, des fondations jusqu'au toit [4]

POITEVIN [3]rapporte encore qu'entre 1869 et 1872 un aqueduc de 40km fut partiellement construit en béton aggloméré afin de relier Fontaine bleu à Orléans (France).
Le mélange était constitué de 4 parts de sable de Fontaine bleu, d'une part de liant (2/3 chaux, 1/3 ciments) et de 0.5 part d'eau (en poids), ce qui correspond approximativement à un dosage en liant de 400kg/m³, plus proche de celui des bétons de sable que des mortiers. Mis en service en 1869

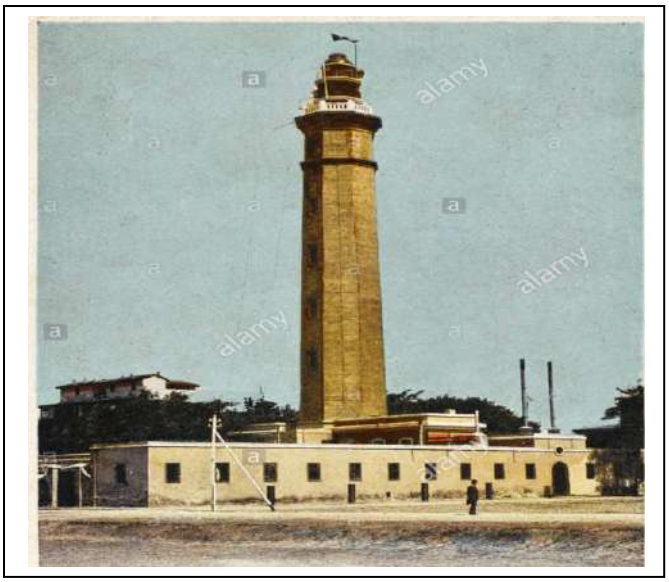


Figure I- 1 : phare de Port-Saïd

Le phare de Port-Saïd (Egypte) de 52 de hauteur fut également construit en béton aggloméré composé de sable d'une plage avoisinante et de chaux importé de France

COIGNET exporte sa technique jusqu'aux USA, où son entreprise "New York and long island Coignet stone compagny" construit en 1871-72 en blocs de béton aggloméré le pont de Brooklyn à New York [3]

Vers la fin du IXXeme et au début du XXème siècle, marquant la période de l'apparition du béton utilisant des granulats de gros calibres ainsi que l'utilisation de ciment à la place de la chaux qui a engendré une augmentation de résistance (allant jusqu'à 20MPa) furent facilement obtenus. A compter de là, le béton aggloméré ancêtre du béton de sable a cédé la place au béton connu jusqu'à nos jours [5]

La continuité dans le temps de ces ouvrages et qui sont en service jusqu'à nos jours est un témoignage des performances de ce matériau.

I.1.3 INTERETS D'UTILISATION DES BETONS DE SABLE

Dans de nombreux usages, le béton ne nécessite pas un niveau très élevé de résistance. Par contre il exige parfois des caractéristiques qui peuvent être mieux assurées par le béton de sable. Parmi ces caractéristiques [6]

- **La maniabilité:** le béton de sable, étant plus maniable, permet de faciliter la mise en œuvre, de diminuer l'énergie de la mise en place et d'augmenter les longueurs de pompage.
- **La cohésion et l'absence de ségrégation:** le béton de sable assure une assez bonne cohésion, et une absence de ségrégation due à la variation peu importante entre les dimensions des grains.
- **Le poids plus faible:** C'est une propriété recherchée dans les travaux de réhabilitation, utilisant des structures anciennes ou pour un matériau de remplissage des structures neuves.
- **Faible granularité:** Ce qui rend le béton de sable utile dans les travaux d'injection et pour le bétonnage des milieux fortement ferraillés.
- **Bel aspect de surface:** le béton de sable permet la réalisation d'effet architectonique tant sur la forme que sur l'aspect.

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

I.1.4 LIMITES DES BETONS DE SABLE

A l'heure actuelle, les connaissances sur le béton de sable ne permettent pas un remplacement systématique du béton classique, soit pour des raisons économiques, soit pour des raisons techniques [6]

A- Raisons économiques:

L'expérience a montré que, par l'utilisation des ajouts, on peut augmenter d'une façon considérable la résistance d'un béton de sable. Toutefois, la multiplication des ajouts ou l'augmentation du dosage en ciment 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.

B- Raisons techniques

Le peu de connaissances sur les caractéristiques et le comportement du béton de sable (comme le retrait, fluage, durabilité etc.), exclut, peut être en ce moment, ce matériau des éléments fortement sollicités ou précontraints.

I.1.5 Composants du béton de sable

Le béton de sable est constitué par le sable, le ciment, le filler et l'eau :[2]

I.1.5.1 Le sable

Le sable est une masse pulvérulente de grains minéraux de 0.08 à 5 mm de diamètre.

Selon sa composition minéralogique, on distingue : les sables de quartz, les sables de feldspath et les sables de carbonate.

Selon sa provenance, on distingue : les sables naturels et les sables artificiels. Les sables sont utilisés pour la préparation des mortiers et des bétons.

A. Propriétés minéralogiques

Les propriétés des agrégats, qui déterminent leur utilisation dans la construction, Dépendent largement de leur composition minéralogique. En général les sables utilisés sont des sables siliceux ou calcaires.

B. Propriétés physiques

- La masse volumique apparente est généralement comprise entre 1450 et 1650 kg/m3.

- La masse volumique absolue entre 2500 et 2700 kg/m3.

- La granularité est appréciée par analyse granulométrique. Selon la grosseur des grains, on distingue :

  Les sables fins : la grosseur des grains est de 0.08 à 0.31 mm,
  Les sables moyens : la grosseur des grains est de 0.31 à 1.25 mm,
  Les sables grossiers : la grosseur des grains est de 1.25 à 5 mm.

- Propreté et teneur en fines : Ces deux propriétés sont appréciées par la valeur de l'équivalent de sable. C'est avec cet essai qu'on peut déterminer le degré de pollution du sable et le pourcentage des fines.

  ES = 100 Sable pur
  ES > 80 Sable propre pour béton
  35 < ES < 40 Sable pouvant être utilisé pour couche De fondation
  ES = 0 Argile pure.

C. Classification des sables selon leurs provenances

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

Sable de rivière : il est obtenu par dragage des lits des cours d'eau. Il doit être dur et propre pour qu'on puisse l'utiliser dans les bétons.

Sable de mer : il provient des côtes de la mer. Pour l'utiliser dans les bétons, il Faut qu'il ne soit pas trop fin et qu'il soit lavé de son sel.

Sable de carrière : Il contient souvent de l'argile qui enrobe les grains et les Empêche d'adhérer aux liants. Il est donc à proscrire.

Sable artificiel : il est obtenu par concassage des roches (calcaires durs, gré ...). Il est souvent plein de filler. Pour qu'il soit utilisable dans les bétons, il faut limiter le pourcentage des fines.

Sable de dune : C'est une variété des sables de mer. Il est donc très fin.

I.1.5.2 Le ciment

Les ciments usuels sont appelés liants hydrauliques car ils ont la propriété de s'hydrater en présence d'eau. Cette hydratation transforme la pâte liante, qui a une consistance de départ plus ou moins fluide, en solide pratiquement insoluble dans l'eau. Le composé de base des ciments actuels est un mélange de silicates et d'aluminates de calcium résultant de la combinaison de la chaux (CaO) avec la silice (SiO_2), l'alumine (Al_2O_3) et l'oxyde de fer (Fe_2O_3). La chaux nécessaire est apportée par des roches calcaires, tandis que l'alumine, la silice et l'oxyde de fer sont apportés par des argiles. Dans les bétons, les ciments jouent le rôle de liant hydraulique et ils servent à combler les vides entre les grains de sable. Ils jouent donc le même rôle que les fillers.

I.1.5.3 Les fines d'ajouts

Une qualité essentielle du béton de façon générale est sa compacité. Les paramètres essentiels qui vont jouer sur la compacité sont la granulométrie du mélange et sa teneur en eau) [7].

1. l'énergie de mise en place [8]

Des fillers de dimensions majoritairement inférieures à 80 µm sont utilisés pour remplir les vides entre les grains de sable afin de réduire la quantité de ciment. Leur rôle assure deux fonctions principales : l'une grossière de remplissage, l'autre d'ordre physicochimique devant améliorer l'enchevêtrement cristallin et la cohésion du mélange [9].La forme des grains et la nature géologique des fillers influent sur la quantité d'eau requise pour obtenir un mélange maniable. Selon la norme ENV 206 [8], il existe deux types d'additions :

1. Les additions de type I : ce sont des matériaux quasiment inertes, organiques, naturels ou synthétiques spécialement sélectionnés qui, par leur composition

granulométriques améliorent les propriétés physiques du ciment portland (ouvrabilité, capacité de rétention d'eau …). On peut citer le calcaire et la poussière.

2. Les additions de type II : Matériaux finement divisés à caractère inorganique, pouzzolanique ou hydraulique latent. Ils ont une teneur élevée en dioxyde de silicium seul ou en dioxyde de silicium et en oxyde d'aluminium combinés.

I.1.5.4 La fumée de silice (D)

La fumée de silice est un sous-produit des usines de fabrication d'alliage de silicium et de ferrosilicium obtenu dans un four à arc électrique à partir de quartz de grande pureté et de charbon [10]. Elle est constituée de particules très fines, environ 100 fois plus petite que les grains de ciment (SSB=2000 m²/kg) [2]**.** La plupart ayant un diamètre compris entre 0.03 et 0.3µm. le diamètre moyen habituel se situant en dessous de 0.1 µm [10]. Cet ajout présente des propriétés pouzzolaniques en raison de sa forte teneur en silice amorphe (vitreuse) et en raison de sa finesse, qui complète la granulométrie des ciments ; ces deux effets entrainent à la fois une forte augmentation de la compacité et une amélioration des résistances mécaniques du fait de la réaction pouzzolanique de la fumée de silice. Son introduction dans le béton diminue la perméabilité et augmente la résistance aux sulfates [10].

I.1.5.5 Les cendres volantes

Les cendres volantes sont aussi appelées cendres pulvérisées de combustible. Elles sont recueillies à partir des installations de dépoussiérage électrostatique ou mécanique des fumées de centrales thermiques de charbon. Les particules de cendres volantes sont sphériques donc avantageuses vis-à-vis de la demande en eau. Elles ont une finesse très élevées avec un diamètre compris entre (1 et 100 µm). Leurs surfaces spécifiques de Blaine sont généralement comprises entre 250 et 600 m²/kg. Elles sont composées essentiellement De SiO_2 et de Al_2O_3.[10]. Les principales exigences de la norme ASTM C 618 **[11]**concernent une teneur maximale de 70% de silice, d'alumine et d'oxyde de fer pris tous les trois dans leurs ensemble (SiO_2 + Al_2O_3 +Fe_2O_3). Le mélange avec le ciment donne un véritable liant car le $Ca(OH)_2$ se combine avec le SiO_2 et Al_2O_3 des cendres. La présence de ces dernières dans le béton réduit la quantité d'eau ce qui induit une amélioration de

l'ouvrabilité qui est généralement attribuée à la forme sphérique des cendres volantes[10]**.** Les cendres volantes peuvent être siliceuses ou calciques.

I.1.5.6 Le laitier granulé de haut fourneau (S)

C'est un sous-produit de la fabrication de la fonte brusquement refroidie par aspersion d'eau. C'est un matériau hydraulique lorsqu'il est activé. Il se présente sous forme de nodules dont la composition chimique comporte de l'oxyde de calcium dans des proportions de l'ordre de (40 -50%), de silice (25 – 35%) de l'alumine (12 – 30%) et de la magnésie et d'autres oxydes en très faible quantité. Tous ces éléments sont pratiquement les mêmes que ceux du clinker [12]**.**La présence du laitier dans le mélange de mortier de ciment ou béton permet d'obtenir :

1. Un temps de prise plus long
2. Une faible chaleur d'hydratation
3. Une meilleure ouvrabilité
4. Une faible résistance à jeune âge et une bonne résistance à long terme.

I.1.5.7 Schistes calcinées (T)

Les schistes calcinés sont issus de roches sédimentaires ou métamorphiques obtenus à des températures de l'ordre de 800°C. De plus, leurs propriétés pouzzolaniques présentent des caractéristiques hydrauliques lorsqu'ils sont finement broyés [12]**.**

I.1.5.8 Les pouzzolanes naturelles (Z)

Les pouzzolanes naturelles sont des produits naturels issus des roches volcaniques ou des roches sédimentaires, composées essentiellement de silice $SiO_2 \geq$ %, d'alumine Al_2O_3 et d'oxyde ferrique FeO_3. Selon la norme ASTM C 618 [11]**,** la totalité des trois oxydes (SiO_2 + $Al2O_3$+ FeO_3) doit être supérieure à 70%. Grace ç leur propriétés pouzzolaniques, elles ont la capacité de fixer la chaux à la température ambiante et à former des composés au caractère hydraulique pouvant faire prise et durcir par hydratation [13]. Elle permet d'améliorer, la perméabilité des bétons aux ions chlores (Figure) et la résistance aux acides at. aux sulfates.

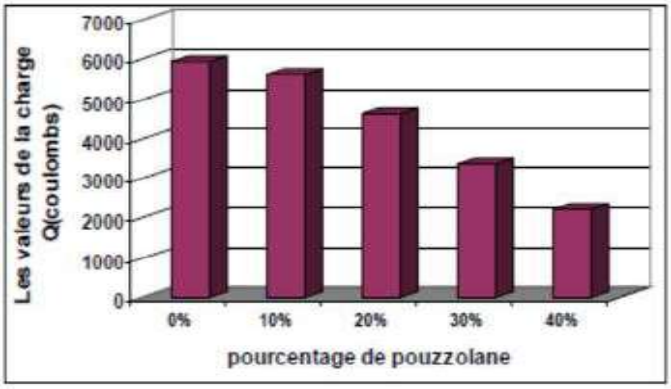


Figure I- 2 : perméabilité aux ions chlores des bétons a 28

I.1.5.9 Les fillers calcaires (L)

La plupart des cimenteries algériennes utilise le calcaire en raison de ses propriétés avantageuses ; telles que la réduction du cout de fabrication, la protection de l'environnement et la réduction des émissions de CO_2. Lorsqu'elles sont ajoutées au ciment,, les fillers calcaires doivent présenter une proportion de carbonate de calcium $CaCO_3$ supérieure à 75%, en masse,, une teneur en argile telle que l'absorption de bleu de méthylène soit au plus de 1.2 g pour 100 g et une teneur en matière organique (T.O.C) au plus égale à 5% [12].Les résultats obtenus par les recherches précédentes ont mené à conclure que la quantité de calcaire ayant une influence significative sur le comportement du béton recyclé et du béton ordinaire, à l'état frais et durci.

A. Effet des fillers calcaires sur le béton à l'état frais

a. Ouvrabilité :

Plusieurs études **[14-16]** ont montré que l'incorporation des fillers calcaires influe sur la maniabilité. Selon l'étude faite par Rebih Zaitri et al. [17]**,** en variant les pourcentages des fillers calcaires dans le béton de 0,5,10,17.5,20 et 25%, les auteurs ont remarqué que l'eau de gâchage est proportionnelle à l'augmentation du pourcentage des fines calcaires (Figure)et donc Les bétons ordinaires ont une ouvrabilité plastique et très plastique pour les compositions BO 5% et BO 10%, à l'exception de la composition BR 5% qui donne une ouvrabilité plastique.

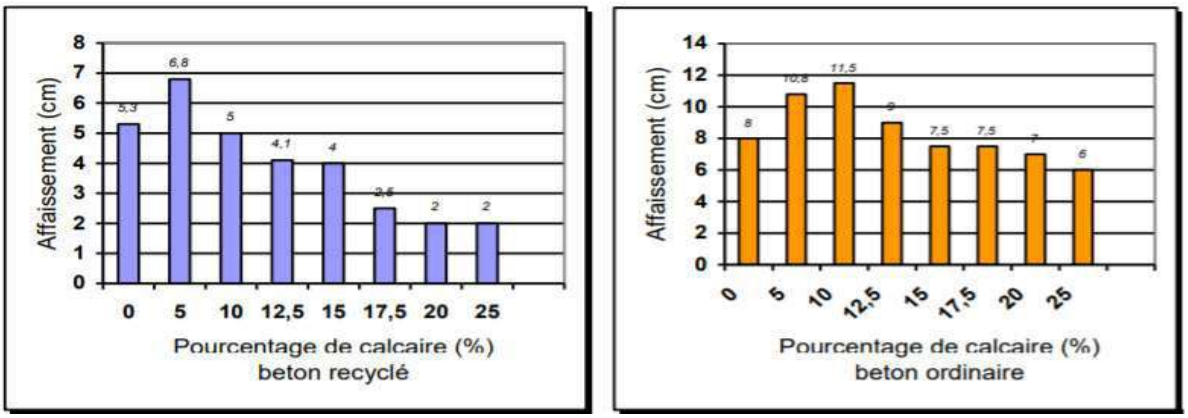


Figure I- 3: Variation de l'affaissement en fonction du pourcentage de calcaire[14-16]

Skender Zakaria [7], a remarqué que l'affaissement diminue avec l'augmentation du pourcentage de fines calcaires pour tous les types de ciments (A, B et C) utilises. La plus faible diminution d'affaissement est observée à 25 % d'ajout calcaire, cette diminution est due principalement à la forte absorption d'eau par les fines calcaires (Figure I.4)

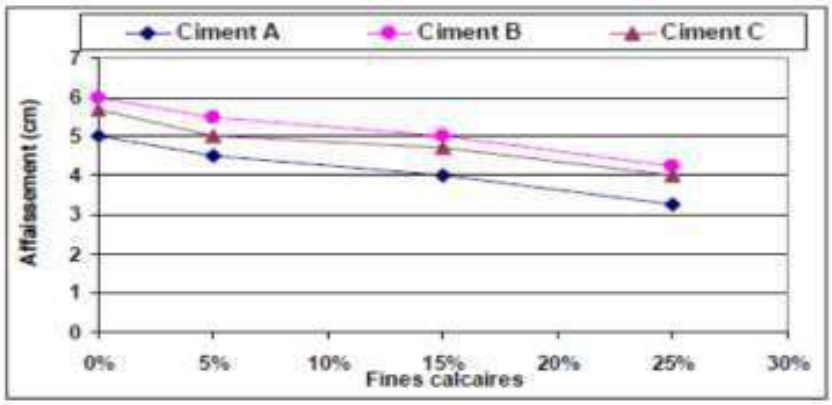


Figure I- 4: Effet des fines calcaires sur l'affaissement[7]

b. Compacité

Un béton de sable se diffère d'un béton traditionnel par sa granulométrie fine. Donc, la porosité dans ce cas est élevée et par conséquence le dosage nécessaire du ciment sera très important. L'utilisation du ciment seul n'est pas économique et en plus le béton de sable ne sera finalement qu'un mortier. A cet effet, le calcaire, avec une finesse plus grande que celle du ciment utilisé, s'insère dans les vides et pores capillaires : il densifie ainsi le squelette du béton. La figure II.4 montre l'effet des fillers calcaires sur la densité de différents sables sable alluvionnaire RS, sable de dune DS et le mélange RDS [2].

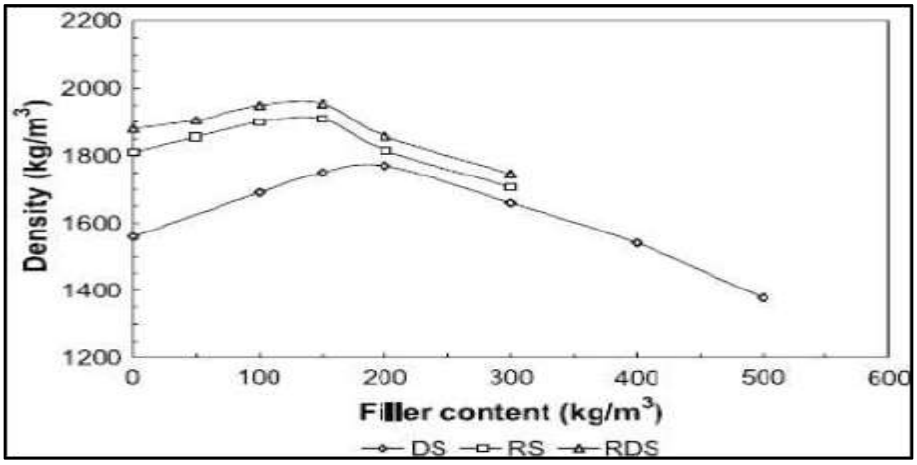


Figure I- 5: **Effet de fillers calcaire sur la densité des sables DS, RS et RDS [2]**

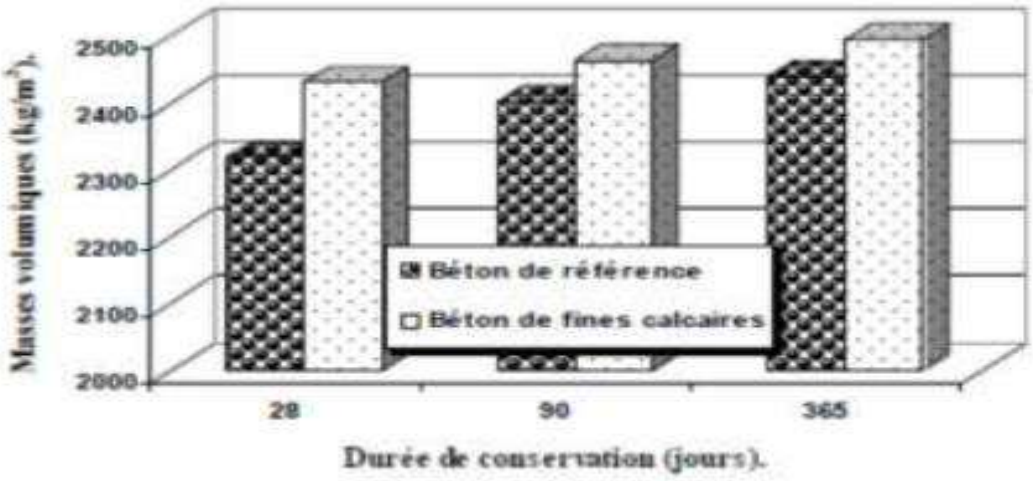


Figure I- 6 : **Evolution de la masse volumique des bétons en fonction de la durée de conservation [15]**

D'après la **figure I-6** la masse volumique du béton aux fines calcaires est nettement plus élevée que celle du béton de référence. Par conséquent la finesse Blaine du calcaire augmente la compacité de la matrice.

B. Effet des fillers calcaires sur le béton à l'état durci

a. Résistance à la compression :

L'introduction de l'addition calcaire conduit à une densification de la matrice cimentaire. La mouture de ses particules, permet à ses grains de s'intercaler dans les pores crées par l'hydratation, entre les granulats et les produits d'hydratation, ce qui multiplie les liaisons microscopiques, développe l'adhérence granulat-matrice et par conséquent augmente la résistance des bétons étudiés aux fines calcaires [18].

Guetaf et Bedrina [19] ont trouvé que l'ajout d'une quantité optimale de filler calcaire contribue à l'évolution de la résistance à la compression à court et long terme pour les bétons ordinaires et les bétons recyclés, ce qui illustré par **les figures I.5 et II.6** respectivement.

D'après les deux figures, on conclue que le calcaire, à raison de 10% et de 12,5%, engendre une augmentation importante de la résistance à la compression pour les bétons ordinaires et les bétons recyclés respectivement .Skender [7], a observé que la substitution de 15 % de fines calcaires usable de concassage n'affecte pas négativement la résistance a la compression.

BONAVETI et al. [20] ont montré que L'incorporation des fines a amélioré la résistance a la traction par flexion pour tous les âges. Cette résistance a une tendance semblable à celle observée pour la résistance a la compression des mortiers correspondants. L'augmentation était plus prononcée a jeune âge. Apres 28 jours, l'effet de toutes les fines de pierres était essentiellement le même indépendamment de leurs compositions et leurs quantités dans le mélange [21]

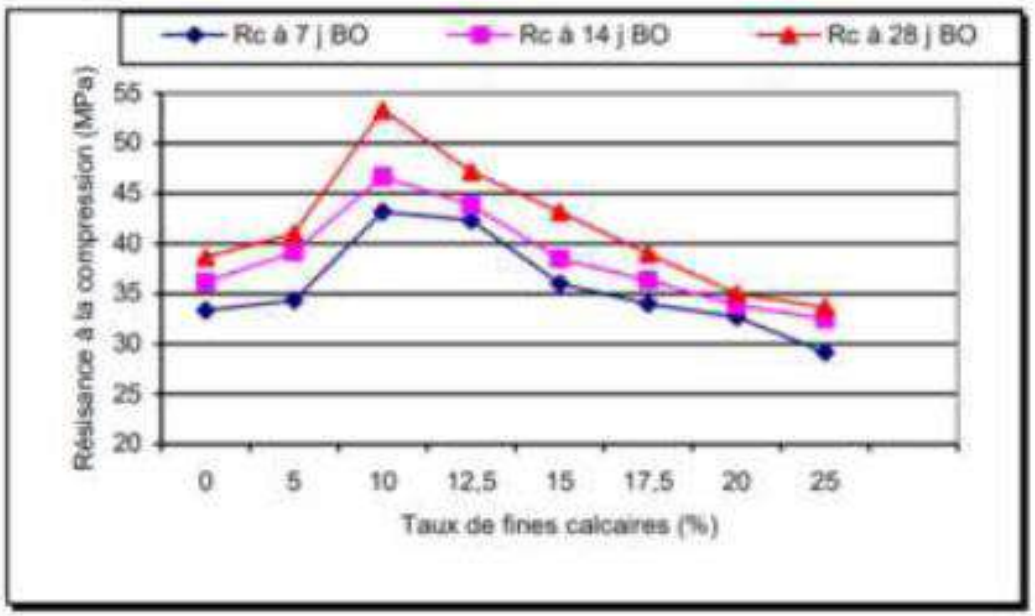


Figure I- 7 : Variation de la résistance à la compression des bétons ordinaires en fonction du taux de calcaire [22]

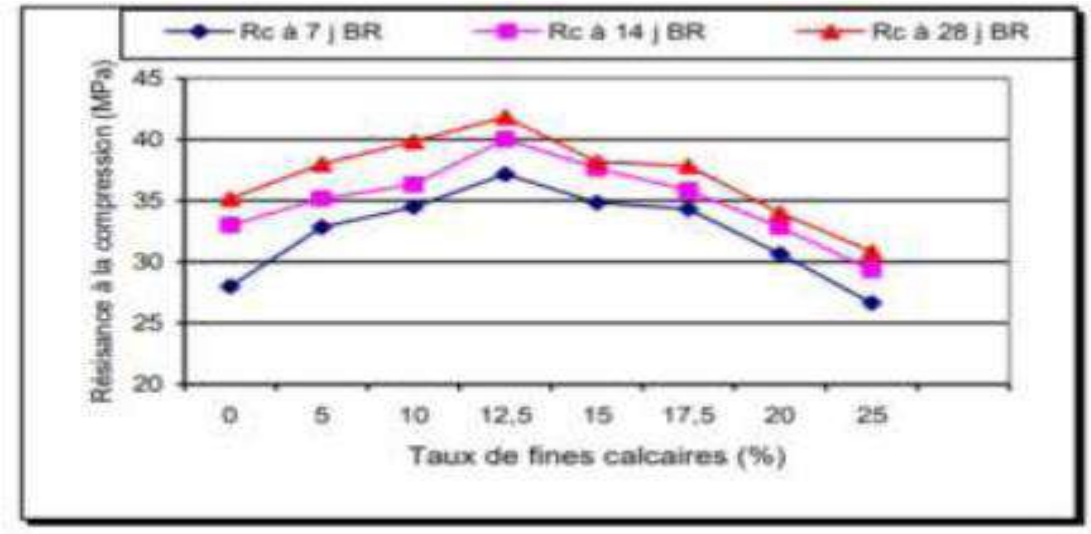


Figure I- 8: Variation de la résistance à la compression des bétons recyclés en fonction du taux de calcaire [22]

I.1.5.10 Les adjuvants

Les adjuvants sont des produits solubles dans l'eau qui, incorporés au béton à des doses qui doivent être inférieures ou égales à 5% du poids de ciment, permettent d'améliorer certaines de ses propriétés. Dans la plupart des cas, ce sont des réducteurs d'eau utilisés pour augmenter les performances mécaniques et réduire les déformations du retrait. Notons que le béton de sable nécessite plus d'eau qu'un béton ordinaire à cause de la grande surface spécifique des grains, ce qui impose l'emploi des adjuvants pour réduire le dosage en eau et améliorer la maniabilité.

I.1.5.11 L'eau

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

I.1.5.12 Les fibres (renfort de structure)

Les fibres formées de matière résistante à la traction sont additionnées afin d'obtenir un matériau doté d'une certaine résistance à la traction. Elles sont surtout utilisées dans le but d'améliorer le comportement du béton aux jeunes âges ainsi que ses caractéristiques mécaniques. On utilise, dans le cas échéant, des fibres organiques (polyester, polypropylène …etc.), métalliques, de végétaux, treillis, alvéoles [9]. Pour limiter les effets de retrait de prise et éviter la fissuration qui en résulte. Le dosage et la nature sont des paramètres très importants pour assurer l'efficacité de ces ajouts.

I.1.5.13 Les gravillons

Le béton de sable peut contenir un certain pourcentage de gravillons et prend la dénomination de« béton de sable chargé ». En effet, tant que les gravillons sont dispersés dans le sable **(figure I.9),** et ne constituent pas un squelette structuré, le comportement reste généralement le même [23].Les gravillons utilisés doivent être conformes aux spécifications de la norme NFP 18-541.L'ajout de gravillons, en faible dosage, a pour objectif d'améliorer certaines caractéristiques du béton de sable telles que la maniabilité, le retrait, le fluage et la résistance mécanique. En pratique, on pourra considérer qu'on a un béton de sable tant que le

rapport pondéral (G/ S) reste inférieur à 0,7[24], alors qu'il est compris entre 1,4 et 1,7 pour les bétons traditionnels.



Figure I- 9: **Différence entre béton de sable et béton ordinaire [8]**

I.1.6 EXEMPLES D'APPLICATIONS DES BETONS DE SABLE

I.1.6.1 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[25, 26]

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.1.6.2 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 son ouvrabilité excellente et son esthétique.

b- La préfabrication

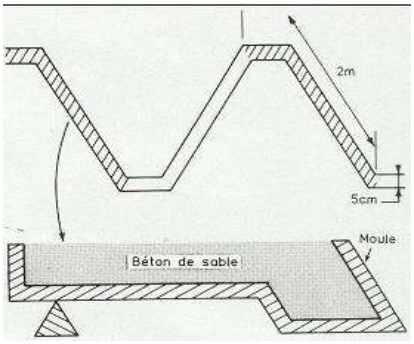
Le béton de sable est plus adapté à la préfabrication, on constate que les performances recherchées en préfabrication sont réunies dans le béton de sable (facilité en moulage, la montée en résistance, démoulage rapide, aspect de surface exceptionnel).

- **Toiture à plis**

Ces éléments préfabriqués ont une épaisseur de 5 cm, une hauteur de 2 m et une longueur pouvant atteindre 32m



Ombrelles d'étanchéité



Moulage d'un élément

Figure I- 10 : toiture a plis

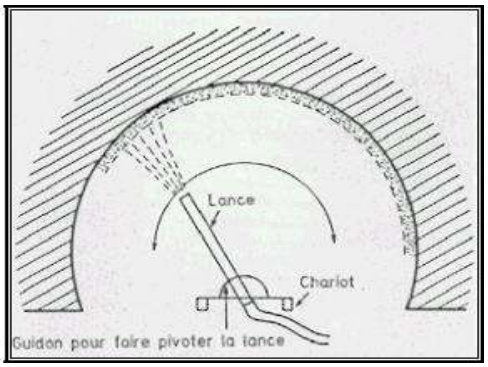
La finition du métro de Leningrad en Russie est assurée par la mise en place d'une ombrelle d'étanchéité ; il s'agit d'une voûte à caractère autoporteur constituée de plusieurs éléments (généralement trois) assemblés sur place et réalisés dans une usine de préfabrication



Figure I- 11Tunnel d'accès au métro de Leningrad

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) On peut citer d'autres applications pour les travaux neufs, exemple la réalisation de piscines



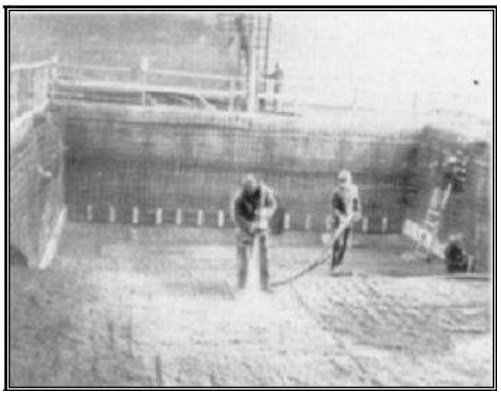
Renforcement d'un égout



Projection sur surface ancienne avec nouveau ferraillage



Réparation d'un pont par le béton de sable projeté



Réalisation d'une piscine avec béton de sable projeté

Figures I- 12 : les technique de projection de béton de sable

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[27]

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 [27]**.** 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 [28]



Figure I- 13Dallage en béton de sable[28]

- **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 glissants (figure suivante)



Bloc de BS



Caniveaux en BS



Pavé en BS



Les bordure en BS

Figure I- 14 : Différents application des bétons du sable[28]

I.1.6.3 Avantages et limites d'emploi des bétons de sable

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

A. 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, surtout dans 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.

B. 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[29]

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[30]

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

I.1.7 CARACTERISTIQUES DU BETON FRAIS

I.1.7.1 MANIABILITE :

En général, la maniabilité d'un béton dépend essentiellement de la quantité d'eau utilisée. Pour un béton de sable, où les grains des granulats sont caractérisés par une grande surface spécifique, la quantité d'eau nécessaire est plus élevée que celle d'un béton ordinaire. Par conséquent, le rapport E/C (eau/ciment) est nettement supérieur à celui des bétons classiques et se situe généralement entre 0.6 et 0.7. Mais si nous considérons le rapport E/(C+F) (eau/ciment+filler), nous constatons qu'il est similaire à celui d'un béton ordinaire [31]

A- EFFET DES FILLERS

En général, selon la granulométrie du sable, la maniabilité s'améliore avec l'augmentation du dosage en fines (ciment ou filler) [32] ; **[33]**. Pour certains sables, dunaires par exemple, elle chute, mais après un certain optimum, elle commence à s'améliorer [33]La maniabilité dépend aussi de la nature des fines incorporées. Logiquement, l'ajout de fines de type sphérique, en diminuant la quantité des vides, devrait rendre l'eau plus efficace et donc améliorer la maniabilité

B- EFFET DE LA GRANULOMETRIE DU SABLE

Plus le diamètre des grains est grand, meilleure est la maniabilité. Si nous parlons en terme de module de finesse, nous pouvons dire que la maniabilité chute avec l'augmentation du module de finesse [2]

C- EFFET DU RAPPORT E/C

A dosage égal en ciment, la maniabilité dépend (comme pour les autres bétons) du rapport E/C ou E/(C+F). Elle augmente généralement avec l'augmentation de ce rapports [2] COMPACITE :

Compacité

La compacité est l'un des paramètres qui influent sur les performances du béton. Or dans un mélange granulaire, plus le diamètre du plus gros grain diminue, plus la porosité augmente. C'est le cas des granulats des bétons de sable, où le diamètre ne dépasse pas 5 mm. Bien que dans ce cas-là cet inconvénient soit compensé par l'ajout de fines, le béton de sable reste toujours moins compact qu'un béton ordinaire [**C.E.B.T.P,** (1986)].

A- EFFET DE LA GRANULOMETRIE DU SABLE

Plus la porosité du sable est importante, plus le besoin en fines est élevé. Or la porosité dépend de la granulométrie du sable, qui, elle-même, dépend de la nature du sable. A titre d'exemple, un béton de sable alluvionnaire (Dmax≅5 mm) nécessite moins de fines qu'un béton de sable dunaire (Dmax< 1).

B- EFFET DES AJOUTS DE FINES

En général, plus le dosage en fillers augmente, meilleure est la compacité[6]Mais, il faut noter qu'il existe un dosage optimal à partir duquel la compacité commence à diminuer [32].D'autre part, Plus la finesse des fillers est grande, plus ce dosage optimal en fillers est important et la compacité du béton est plus élevée [31]

I.1.7.2 FORMULATION

Formuler un béton consiste à choisir des constituants et à les proportionner en vue d'obtenir des propriétés spécifiques. Dans le cas des bétons, il existe de nombreuses méthodes de formulation permettant de viser les deux propriétés essentielles : l'ouvrabilité et la résistance, en se fixant généralement la taille des plus gros grains des granulats. Pour les bétons de sable, qui font partie des nouveaux bétons aux propriétés spécifiques intéressantes (finesse, ouvrabilité…), la démarche de formulation demeure très empirique. Différentes approches ont été envisagées pour appréhender les caractéristiques de résistance. Par contre la prise en compte de l'ouvrabilité comme critère de formulation demeure complexe.

Un béton de sable, confectionné essentiellement de sable dont la surface spécifique est très grande, a besoin davantage d'eau et de ciment. Or l'influence négative d'un fort dosage en ciment sur le coût et d'un fort dosage en eau sur les caractéristiques mécaniques et le retrait est bien connue. Il est donc judicieux de remplacer une partie du ciment par du filler et limiter le dosage en eau par l'emploi des adjuvants. Enfin nous pouvons dire que pour formuler un béton de sable, il faut combiner les deux paramètres : maniabilité et compacité [34] .

Dans la plupart des études rencontrées dans la littérature, des compositions ont été proposées pour des matériaux bien déterminés. Les compositions optimales obtenues sont presque toujours basées sur la combinaison des deux paramètres indiqués précédemment : la compacité et la maniabilité. La seule méthode de formulation qui semble plus ou moins généralisée est celle publiée par LCPC [34]

. Cette méthode se base également sur les mêmes paramètres cités auparavant.

I.1.8 CARACTERISTIQUES DU BETON DE SABLE DURCI

I.1.8.1 COMPORTEMENT MECANIQUE

La plupart des études faites sur le béton de sable, surtout celles des années 80, avaient pour but l'amélioration de la résistance. Très peu d'entre elles ont traité d'autres caractéristiques.

A- EFFET DES FILLERS

Le dosage, la finesse et la nature des fines ont une influence sur la résistance mécanique du béton de sable [31]

Le dosage et la finesse augmentent la compacité. Or l'augmentation de la compacité augmente la résistance [32].En ce qui concerne la nature des fines, différentes natures ont été essayées et comparées. Le résultat obtenu est que les fines calcaires sont les plus réactives avec le ciment et donnent les meilleures résistances [35, 36]

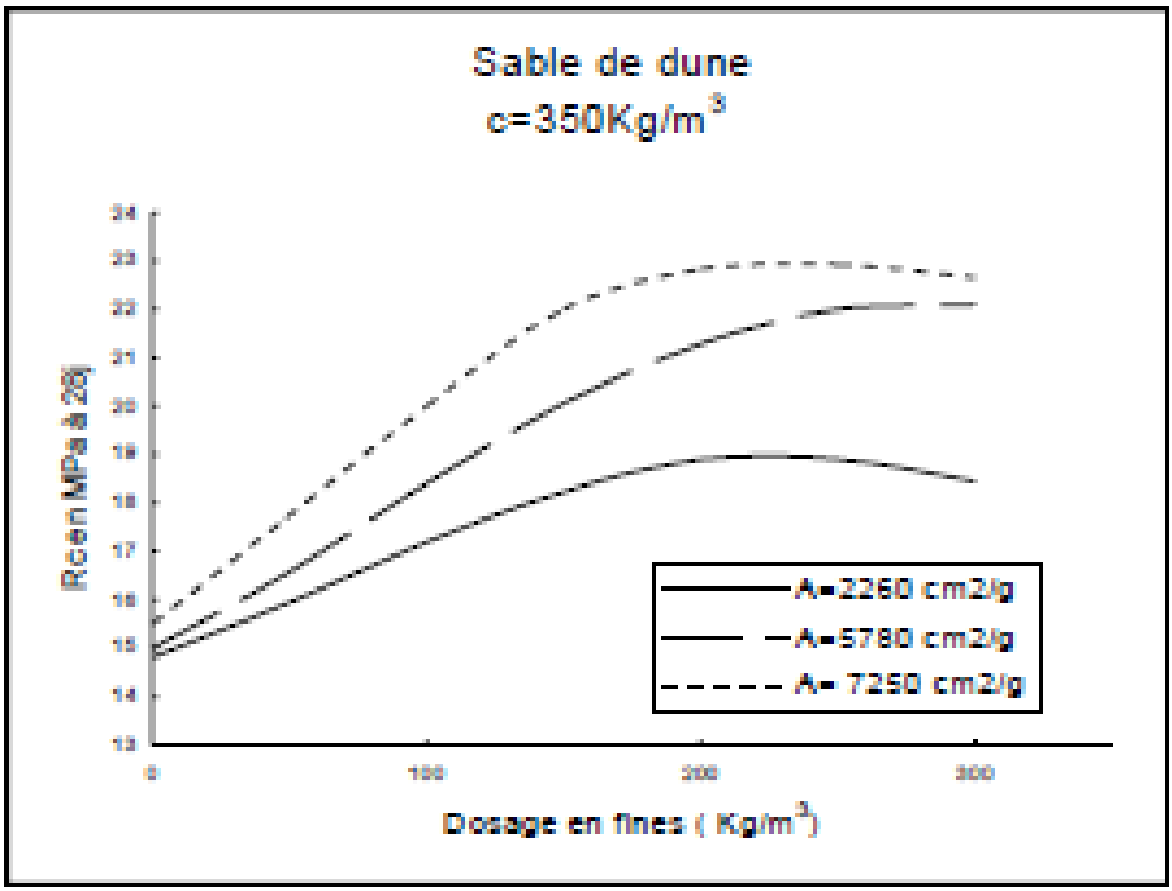


Figure I- 15 : Effets du dosage et de la finesse de l'ajout sur la résistance à la compression du béton de sable - d'après [31]

B- EFFET DE LA GRANULOMETRIE DU SABLE

La résistance n'est pas trop influencée par le diamètre maximal des grains de sable (Dmax) si l'on maintient le rapport E/C fixe. Mais la maniabilité s'améliore avec l'augmentation de Dmax. Par contre à des rapports E/C différents et à une maniabilité constante, la résistance diminue avec la diminution de Dmax. Ceci est dû, comme nous l'avons déjà vu, au besoin plus élevé en eau. Notons qu'à une même maniabilité, la résistance du béton de sable dunaire est nettement inférieure à celle du béton de sable alluvionnaire [37]

C- EFFET DU RAPPORT E/C

Comme pour tous les bétons, la résistance du béton de sable diminue avec l'augmentation du rapport E/C.

Pour des compositions avec un dosage en ciment de 250 à 450 kg/m3, la résistance est atteinte par adjonction de fines (calcaires généralement) et de plastifiant ; La résistance à la compression à 28 jours se situe entre 12 et 60 MPa selon la composition, l'adjuvant et le mode de la mise en œuvre.

I.1.8.2 AUTRES PROPRIETES

A. ADHERENCE AUX ARMATURES

Le béton de sable adhère bien aux armatures. La contrainte d'adhérence moyenne se situe en une bonne position par rapport à celles des bétons traditionnels). La granularité du béton de sable n'est pas un élément essentiel puisque à même niveau de résistance, l'adhérence mesurée pour un sable dunaire (très fin) est supérieure à celle obtenue pour un sable alluvionnaire

La nature des aciers (lisse ou tors) ainsi que leur diamètre ont aussi une influence sur la valeur de l'adhérence [2]

B. RETRAIT

Le retrait d'auto-dessiccation est caractérisé par une cinétique semblable à celle du béton classique. Une différence de l'ordre de 10% existe par rapport à ce dernier. Cette différence, couramment observée à l'intérieur même de la gamme des bétons, est due à une perte en masse plus rapide pour le béton de sable.

Le rapport des déformations de retrait de dessiccation des deux bétons (de sable et ordinaire) en fin d'essai (6 mois) est égal à 1,6 correspondant globalement au rapport de perte en masse au même âge, soit 1,48.

En conclusion nous pouvons dire que le retrait est une fonction croissante de l'eau évaporable (taux de séchage) Notons que la valeur du retrait du béton de sable est voisine de celle du béton ordinaire s'il est conservé dans un milieu étanche. Si la conservation se fait dans un milieu sec, la valeur du retrait du béton de sable est double de celle du béton ordinaire.[2]

C. 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 (un fluage plus faible) [2]

D. DURABILITE

Les paramètres: porosité, organisation géométrique des pores et perméabilité sont des paramètres physiques de premier ordre de la durabilité. D'une façon générale, les bétons de sable sont plus poreux que les bétons ordinaires. Leurs pores sont plus nombreux, plus petits et davantage monodimensionnels. Cette distribution poreuse particulière contribue pour une bonne part à leur bon comportement vis à vis des essais de durabilité [31]

E. COMPORTEMENT THERMIQUE

Il est peut être préférable de comparer les propriétés thermiques des bétons de sable à celles des bétons traditionnels. Cette comparaison montre que ces deux types de béton ne sont pas très différents du point de vue de la thermique. La chaleur massique d'un béton étant égale à la somme des chaleurs massiques de ses constituants, il est normal de trouver une valeur similaire pour les deux types de béton. La conductivité thermique des bétons

traditionnels varie de 1.4 à 1.8 W/m/°C. Les conductivités thermiques mesurées sur béton de sable sont légèrement inférieures. Le béton de sable est alors plus isolant. Ce résultat s'explique par la porosité plus importante du béton de sable.
Les coefficients d'échange thermique sont supérieurs pour le béton de sable et le coefficient de dilatation est du même ordre de grandeur [31]

F. PERMEABILITE

Bien que le béton de sable soit plus poreux qu'un béton traditionnel, Il est moins perméable. Ceci est peut être surprenant. Mais la taille et la répartition des pores ne facilitent pas la migration de la vapeur à travers le béton. C'est une donnée importante dans le domaine d'isolation des bâtiments.[2]

G. MICROSTRUCTURE ET FISSURATION

A une certaine échelle, la microstructure du béton de sable est continue, homogène et compacte. La pâte de ciment durcie est amorphe et dépourvue de fissures notables. Les observations au MEB établissent que l'hydratation se développe de façon normale et la morphologie de l'interface pâte-granulats ou auréole de transition n'est pas caractérisée par une texture particulière. Le caractère peu fissuré du matériau est corroboré par les travaux de. Par ailleurs, il a été montré la bonne homogénéité due à l'absence de ségrégation [31]

I.1.9 Conclusion

Pour avoir un béton de sable avec de bonnes performances mécaniques, Il faut veiller à ce que le béton soit le plus compact possible en choisissant des sables de bonne granulométrie et ayant le plus gros diamètre possible et en comblant bien les vides inter granulaires avec la proportion qu'il faut avec des fillers de bonne nature et de finesse élevée. Notons qu'une bonne mise en œuvre a aussi son effet sur la compacité du béton. Les essais de retrait, de fluage, d'adhérence aux armatures et de durabilité n'ont fait pratiquement l'objet que de peu d'études récentes. Les résultats obtenus ne concernent que des matériaux et des compositions bien déterminés.[2]

I.1.10 Formulations des bétons de sable

I.1.10.1 **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, résistance mécanique. La maniabilité qui est la facilité de la mise en œuvre **[38]**.

I.1.10.2 **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 [20] 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/D_{max}). Pour ce mélange optimisé la relation de Caquot s'écrit comme suit:

$$V = V_0 (d / D_{max})^{1/5} \qquad \text{Eq. I.1}$$

Avec :

V : Volume des vides du mélange granulaire;
V_0 : Constante expérimentale comprise entre 0,7 et 0,8;
d : La dimension du plus petit grain de l'étendue granulaire;
D_{max} : La dimension du plus gros grain de l'étendue granulaire.

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

I.1.10.1 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[38] :

Les éléments fins qui regroupent tous les grains de taille inférieure à 80 µm et qui sont le ciment, les fines d'ajout et une fraction du sable.

Toute l'étendue du sable comprise entre 80 µm et le diamètre maximal du sable Dmax, ainsi que l'éventuelle fraction des éléments supérieurs à 80 µm. Provenant des fines D'ajout. En faisant cette distinction entre les fines incluant les éléments inférieurs à 80 µm et L'étendue du sable comprise entre 80 µm et le diamètre maximal, la porosité du sable peut être calculée selon la formule précédente de Caquot:

$$Ps = V = 0.75\,(0.08/D)^{1/5} \qquad \text{Eq. I.2}$$

Avec :

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

Un dosage optimal en fines d'ajout sert à compléter l'étendue granulaire bornée inférieurement par la coupure 80 µm, et à combler la porosité du sable ainsi calculée. En effet, il est impossible de prendre en compte la distribution de la taille pour les fines d'ajout car l'assemblage géométrique relève surtout des forces électriques inter-granulaires.

En apportant quelques simplifications, Caquot s'est rendu compte que le volume de L'ensemble des particules fines (< 80 µm) et le volume des vides associé a 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.

$$\textbf{[Fines]} = 0.38\ (0.08/D_{max})^{1/5} \qquad \textbf{Eq. I.3}$$

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.

I.1.10.2 **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 [18].

$$(e + v)\ min = 0.8\ (d/Dmax)\ 1/5 \qquad \textbf{Eq. I.4}$$

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

$$d = (60 / (f))\ mm \times \rho \qquad \textbf{Eq. I.5}$$

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 µm pour le diamètre ; ainsi l'élargissement de l'étendue est la seule solution pour la réduction de la porosité théorique minimale et comme la figure II.20 le montre 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.

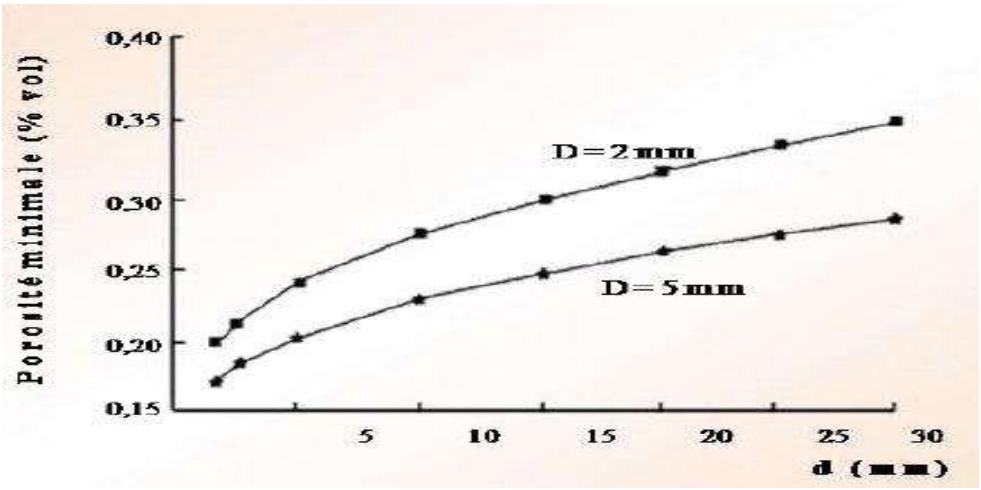


Figure I- 16: Influence de la dimension d sur la porosité minimale du béton[18]

Pour deux tailles du sable [39] :

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.8 nous montre la relation entre l'ouvrabilité et le dosage en eau

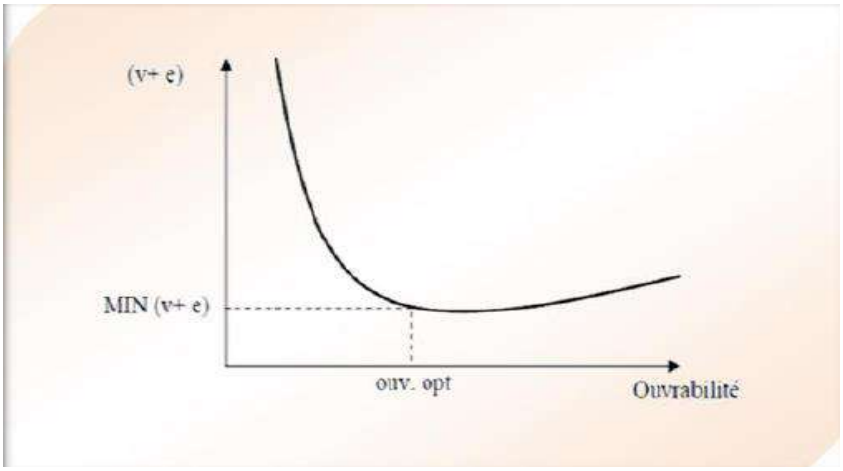


Figure I- 17: **Relation entre l'ouvrabilité et le dosage (e + v) d'une matrice Pour mise en œuvre donnée[38]**

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%.

$$[\text{Vides}] = K\,[\text{eau}] \qquad \text{Eq. I.6}$$

Avec :

K : constante comprise entre 0.2 et 0.25.

I.1.10.3 **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). [38]

[Sable] = 1000 - [Fines] - [eau] - [Vide] (l/m3) **Eq. I.7**

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

I.1.10.4 **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 **[40]**a été proposée récemment.[38]

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

Eq. I.8

Avec :

Kf : coefficient granulaire compris entre 4.5 et 5;

Rc : classe vraie du ciment (MPa) ;

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

V : air piégé (l/m3) ;

C : dosage en ciment (kg/m3) ;

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

Avec :

K1 = Kcv (CV/C) + Kfs (FS/C) $0.2 > Kcv < 0.4$ $2 < Kf s < 3.3$ $K1 \leq 0.5$

K2 = Kfil (Fil/C); $0 < Kfil \leq 0.4$ $K1 < 0.2$

K1 : coefficient pouzzolanique , **K2** : coefficient d'activité du filler calcaire. (Voir figure I.9) ;

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/m3) .

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 [40], 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. 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 précède que cette formulation théorique simple et performante donne la possibilité à la formulation de jouer sur certains paramètres en restant à la compacité maximale, elle constitue une bonne base pour la mise au point d'une formulation de béton de sable.

Tout de même elle ne peut être utilisée que dans un cadre limité, ceci est dû aux nombreuses hypothèses qui la jalonnent, c'est aussi pour ça que cette approche ne sera acceptée qu'après passage à l'expérience qui la confirme ou l'ajuste.[38]

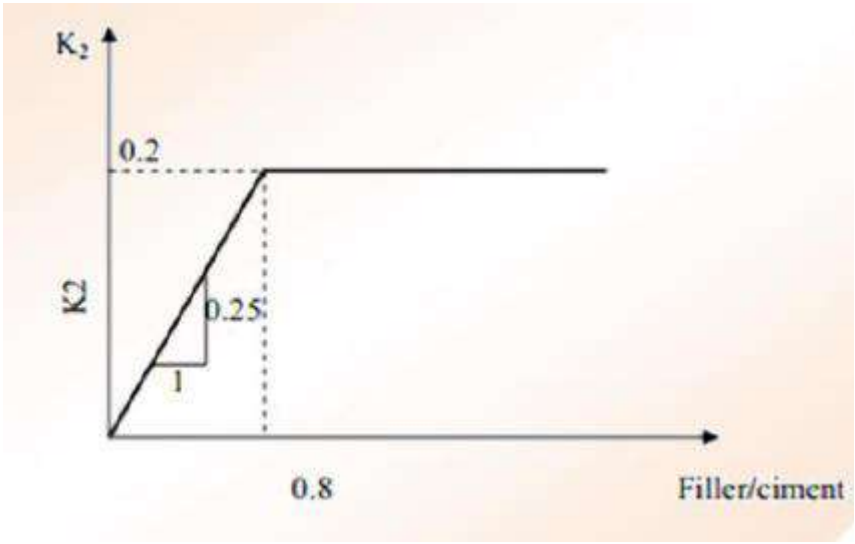


Figure I- 18: **Coefficient d'activité du filler calcaire (modèle)[38]**

I.1.10.5 **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.

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 [31]

I.1.10.6 Les 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.

B. 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).

C. 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.

D. Détermination du dosage en sable

Dans cette formule, il faut introduire un fluidifiant réducteur d'eau, au dosage préconisé par le fabricant (N% du poids des éléments inférieurs à 80 µm en extrait sec), qui permettra de dé floculer 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 :

$$Vair + VC + VE + Vadj + Vsable = 1000 \text{ (En litres)} \qquad \text{Eq. I.9}$$

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).

E. 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 LCPC.

La masse volumique apparente réelle du béton (MVAR), cette formule doit être corrigée à l'aide de l'équation itérative suivante :

$$si = si\text{-}1 - (MVAT\ i\text{-}1 - MVAR\ i\text{-}1) \pm MV\ sable \qquad \text{Eq. I.10}$$

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.

F. 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.

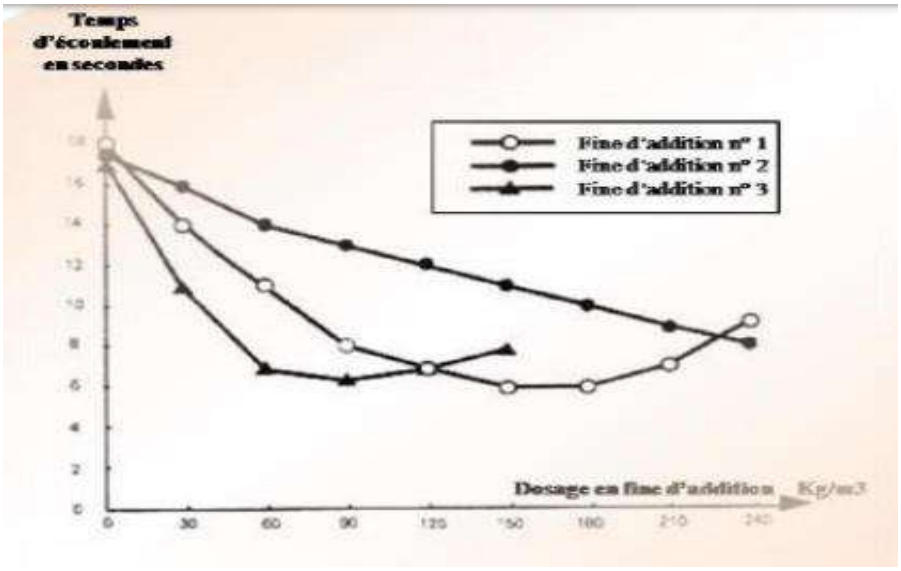
Si besoin, la correction sur le sable s'effectue à l'aide de la formule suivante :

$$Si = Si\text{-}1 - (MVAT\ i\text{-}1 - MVAR\ i\text{-}1) \qquad \text{Eq. I.11}$$

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

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

- **Fine d'addition N°1** : Son utilisation conduit à une maniabilité optimale entre 150 et 180 Kg/m3 de fines. Figures I.10, I.11.
- **Fine d'addition N°2** : Dans sa plage de dosage (0 à 240 Kg/m3) il n'y pas d'optimum de maniabilité et masse volumique, l'optimum doit exister pour des dosages supérieurs.
- **Fine d'addition N°3** : Son optimum de maniabilité et de masse volumique est compris entre 60 et 90 Kg/m3 de fines en fines d'addition.



.

Figure I- 19: **Evolution de la maniabilité en fonction Du dosage en fine d'addition[31]**

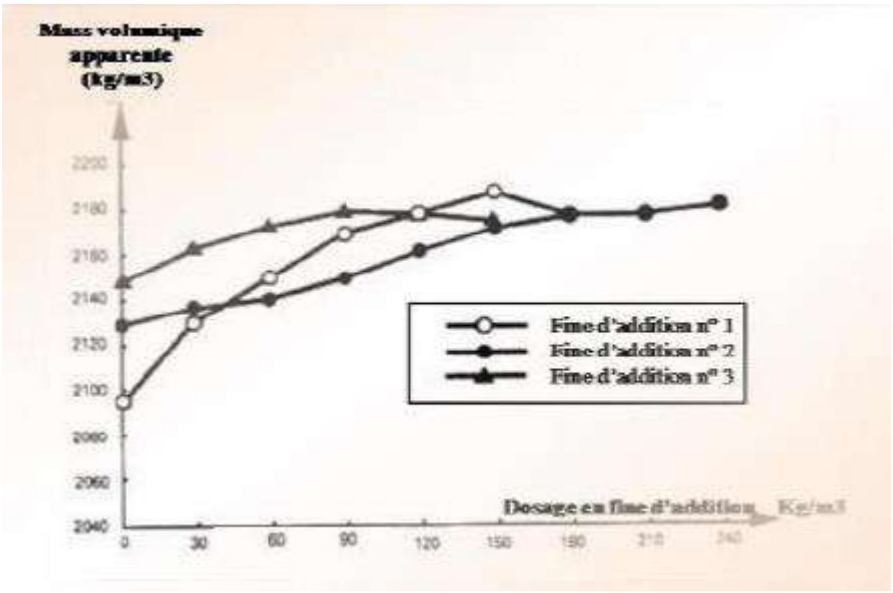


Figure I- 20: **Masse volumique apparente en fonction Du dosage en fine d'addition[31]**

CONCLUSION

Nous avons donné un concept général sur les bétons de sable. Et d'après la description des constituants du béton de sable, on a pu les définir, ensuite décrire leurs propriétés spécifiques (maniabilité et granularité fine), et on a expliqué ce qui différencier le BS d'un mortier.

Formuler un BS à partir d'un mélange ciment –sable présentera une porosité plus élevée que celle d'un BO. C'est pourquoi un constituant de granulométrie voisine de celle du ciment est toujours utilisé dans la formulation des bétons de sable cet ajout filler généralement, permet d'augmenter leur compacité. Donc la formulation des BS relève de l'optimisation de la compacité d'un mélange quaternaire: sable- ciment- filler -micro filler.

II. Chapitre II : les Déchets Industriels et les bétons des Fibres

Les déchets

Les bétons renforcés de déchets ont fait l'objet depuis maintenant une quarantaine d'années d'efforts de recherche importants. **[41]** Le développement depuis une dizaine d'années de matrices cimentaires performantes a relancé l'intérêt pour l'utilisation des composites cimentaires renforcés de déchets.**[42]** On obtient des produits plus ductiles, multi fissurant, capables de limiter la propagation de l'endommagement tout en assurant une durabilité accrue. Ces matériaux sont très récents pour un secteur comme le génie civil, ou innover est difficile

Les composites « ciment – fibres » et « bétons – fibres » sont une avancée technologique importante dans de nombreux domaines du bâtiment et des travaux publics : panneaux minces, panneaux décoratifs, encadrements, dallages, voûtes de galeries, isolation, réparation, mobilier urbain. Grâce à leurs propriétés, les déchets permettent de mieux mobiliser la résistance intrinsèque du béton avec comme conséquence une réduction des sections.

Le béton est un matériau poreux et fragile, doté d'une faible résistance à la traction donc sujet à la fissuration. C'est un matériau composite, donc un solide polyphasé dans lequel tous les constituants sont associés en vue de lui conférer, à l'échelle macroscopique et au moins dans certaines directions, un ensemble original de propriétés que les constituants pris isolément ne peuvent pas atteindre.

Le renfort donne de la résistance mécanique, alors que la matrice unit les fibres, conserve la disposition géométrique des fibres, leur transmet les sollicitations et les protège de l'environnement.

D'un point de vue général et simplifié, les composites ciments fibres sont constitués des deux phases suivantes :

- la matrice cimentaire
- les fibres de renfort

La valorisation des sous produits est devenue une priorité dans la recherche appliquée et touche au domaine du développement durable. L'objectif est de recycler des « déchets » industriels d'une part pour participer rationnellement à une économie de récupération et d'autre gagner en autonomie en utilisant des produits locaux ne demandant pas de gros investissements puisqu'ils sont utilisés tels quels et ne nécessitent pas de transformation.

La composition de la matrice doit répondre à des exigences de compacité et de fluidité, la résistance à la compression n'étant que le résultat et non le but de notre démarche.

L'optimisation du renfort s'appuie sur l'analyse du processus de fissuration en traction des matrices cimentaires et conduit à l'utilisation de différentes tailles et provenances de fibres. Cette matrice cimentaire est composée de ciment, d'eau et de granulats.

II.1 Définitions de déchets

Un déchet se définit simplement par un objet en fin de vie ou une substance issue d'un processus, jugés devenus inutiles, dangereux ou encombrants, et dont on veut se débarrasser.

La **valorisation** consiste à ajouter de la valeur aux déchets ; il peut s'agir d'un simple nettoyage ou de la réparation d'un objet, lui permettant d'être directement revendu.

II.2 Définition juridique de déchets

Il est considéré comme déchet toute substance mise en rebut, tout effluent ou autre substance non voulue résultant de la mise en œuvre de tout processus ou toute substance ou produit qui doit être jeté car il est cassé, usé, contaminé ou abîmé d'une manière ou d'une autre. Est déchet ce que la personne qui le produit considère comme tel même si ce déchet possède de la valeur pour d'autres. D'après le code française de l'environnement, article L541-

1, le déchet est ainsi qualifié de façon essentiellement subjective, où l'acte ou l'intention du détenteur de se défaire/éliminer/abandonner importe plus que de savoir si l'objet est devenu impropre à l'usage, a perdu toute valeur économique ou présente un danger pour l'environnement [43]

II.3 Types de déchets

On distingue principalement quatre types de déchets :

II.3.1 Les déchets biodégradables

Résidus verts, boues d'épuration des eaux, restes alimentaires…, qui s'assimilent en première approche à la biomasse. Ces déchets sont au moins pour partie détruits naturellement, plus ou moins rapidement, en général par les bactéries, champignons et autres micro-organismes et/ou par des réactions chimiques (oxydation, minéralisation), laissant des produits de dégradation identiques ou proches de ceux qu'on peut trouver dans la nature, parfois néanmoins contaminés par des résidus de pesticides, de métaux, dioxines, etc., selon leur origine. Ils peuvent être revalorisés par différentes filières (bioénergie, biocarburants, Compostage / amendements / engrais…)

II.3.2 Les déchets ultimes

Qui « ne sont plus susceptibles d'être traités dans les conditions techniques et économiques du moment». Eux seuls devraient encore pouvoir être mis en décharge.

II.3.3 Les déchets spéciaux et déchets industriels spéciaux

À la différence du déchet banal peuvent entrer dans la catégorie des déchets dangereux, dont font partie les déchets toxiques et les déchets radioactifs qui doivent faire l'objet d'un traitement tout à fait particulier en raison de leur nocivité particulière liée à la radioactivité. Parmi les déchets nucléaires, on distingue les déchets radioactifs ultimes.

II.3.4 Les déchets recyclables

Matériaux de construction, métaux, matières plastiques : ces matériaux peuvent être réutilisés tels quels dans d'autres domaines ou recyclés : par exemple, les métaux sont refondus et réintégrés dans de nouvelles pièces, les plastiques sont hachés et servent de rembourrage ou de combustible. On s'intéresse sur les déchets de métaux (fer, aluminium, plomb,…) qui possèdent une valeur marchande et qui se présentent sous 3 formes:

- les chutes de fabrication (rebuts, limailles), sont utilisées dont notre projet.
- les objets métalliques en fin de vie (moteurs, outils, canalisations, câblages...)

- les composés métalliques destinés à être traités pour en extraire le métal contenu (Catalyseurs de pots d'échappement.

II.4 Les déchets utilisés en génie civil

En général les déchets sont classés en cinq catégories comme illustrés ci –dessous ; bien que les déchets utilisables en génie civil soient les déchets inertes, les déchets ménagers et les déchets en sous produits industriels dans des conditions spécifiques[44].

II.4.1 Déchets industriels dangereux mais non toxiques

Ce type de déchets regroupe généralement ;

- Des déchets de fer, de cuivre, de plomb,
- Des déchets contenant des fibres d'amiante,
- Des produits de préservation du bois,
- Des déchets solides dangereux de construction et de démolition de bâtiment à Caractère industriel.

II.4.2 Déchets inertes

- Des déchets solides de construction et de démolition des bâtiments à caractère d'habitation situé ou non sur un site industriel,
- Des déchets solides et inertes de travaux routiers,
- Des éléments en béton, mortier de ciment et béton,
- Des terres de déblais non contaminées.

II.4.3 Déchets ménager

Ce type de déchets regroupe :

- Des déchets en matériaux de synthèse,
- Des déchets solides non dangereux de construction ou de démolition de bâtiment à caractère industriel.

II.4.4 Déchets toxiques

Ils sont à caractère industriel et obtenus en général après traitement chimique des matériaux synthétiques.

II.4.5 Déchets industriels dans des conditions spécifiques

Ils proviennent d'industries générant de très grandes quantités de déchets en sous produits industriels, dont les caractéristiques sont bonnes et relativement stables (cendres volantes etc.) [43].

II.5 Processus de traitement des déchets utilisés

Avec une teneur de 5 %, le fer est, après l'aluminium, le deuxième élément métallique, hors alcalins et alcalino-terreux, le plus répandu dans l'écorce terrestre. Il se présente en minerai généralement sous forme de magnétite Fe_3O_4, d'hématite Fe_2O_3 , d'hématite brune $2Fe_2O_3 .3H_2O$ et de sidérose $FeCO_3$ contenant une quantité insignifiante d'impuretés nuisibles tels que le soufre et le phosphore, avec des teneurs en fer comprises entre 30%, pour les minerais pauvres, et 65 %, pour les minerais riches [45]

A- Technique de caractérisation

Parmi les différentes techniques de caractérisation des microstructures c'est la diffraction de rayons X.

a-INTRODUCTION

La diffraction des rayons X permet l'identification des phases présentes. Les enregistrements ont été effectués soit sur des échantillons de 10x18x2 mm3 prélevés sur matériau brut de coulée et polis, soit sur des poudres obtenues par broyage.

L'emploi de l'une ou l'autre des méthodes sera précisé lors de la présentation des résultats. Les diffractogrammes ont été enregistrés dans la configuration θ-2θ pour 2θ variant entre 20 et 80°, avec une vitesse de balayage de 0.04 °.min-1. L'indexation des diffractogrammes a été faite à l'aide du programme Carine v3.1 à partir des données de Pearson. CaRine v3.1 est un logiciel de cristallographie qui permet le calcul des diffractogrammes en ayant généré la structure cristalline des phases d'intérêt à partir de leur groupe d'espace et de leurs paramètres de maille [46]

b. Principe de la diffraction des rayons X

Les corps cristallins peuvent être considérés comme des assemblages de plans réticulaires plus ou moins denses, certains contiennent plus d'atomes que d'autres selon la formule chimique du minéral. Ces plans sont séparés par des distances réticulaires caractéristiques (d) selon la nature du cristal ou du minéral considéré. Trois ou quatre distances réticulaires ainsi que la connaissance du groupe d'espace déterminant les symétries dans la maille permettent une reconstitution du réseau cristallin du minéral considéré **[47]**Avec un rayonnement de longueur d'onde λ suffisamment petit (quelques Angströms, domaine des rayons X), on peut obtenir des diffractions par les plans réticulaires. Cette diffraction est d'autant plus intense que le plan est « dense » c'est-à-dire riche en électrons.

B- Elaboration de l'acier

C'est la métallurgie qui s'occupe de l'extraction des métaux à partir de leurs minerais.

Elle leurs fait subir certains traitements mécaniques, thermiques ou chimiques afin d'améliorer leurs propriétés .Le processus métallurgique est résumé en **figure II-1** La métallurgie proprement dite se borne à étudier l'élaboration du métal, opération qui comporte deux phases essentielles : extraction du métal à partir d'un minerai, et affinage du produit brut obtenu. Pour la fabrication de l'acier il faut qu'une matière première qui se trouve dans les minerais de fer, tandis que les métaux ne se trouvent pas à l'état métallique, mais sous forme de combinaisons chimiques, mélangées de roches stériles que l'on appelle gangue. Les hauts fourneaux se sont qui permettent l'élimination de celle ci sous forme de laitier fusible qui se sépare de la fonte liquide par différence de masse volumique, tel qu'il s'accumule à la surface de la fonte ; et évacué à travers le trou de coulée du laitier situé plus haut que celui de la fonte.

Il ya aussi les ferrailles provient de deux principale sources : les chutes neuves de fabrication et les emballages, qui servent a la production de l'acier. Selon la teneur en carbone il existe de sorte de fonte, la première c'est la fonte de moulage (gris) utilisé directement après la procédure de fonderie pour la fabrication des éléments de construction, d'autre part la deuxième sorte c'est la fonte d'affinage (blanche), pour qu'elle seras transformée en acier elle passe par la réduction du pourcentage de carbone et l'élimination de impuretés, pour cela existe principalement trois procédés : le procédé Bessemer (convertisseur), le procédé Martin

(fours Martin) et les fours électriques. Après le traitement de forgeage et laminage on obtient une coulée en acier qui sert à la fabrication des éléments de construction [45]

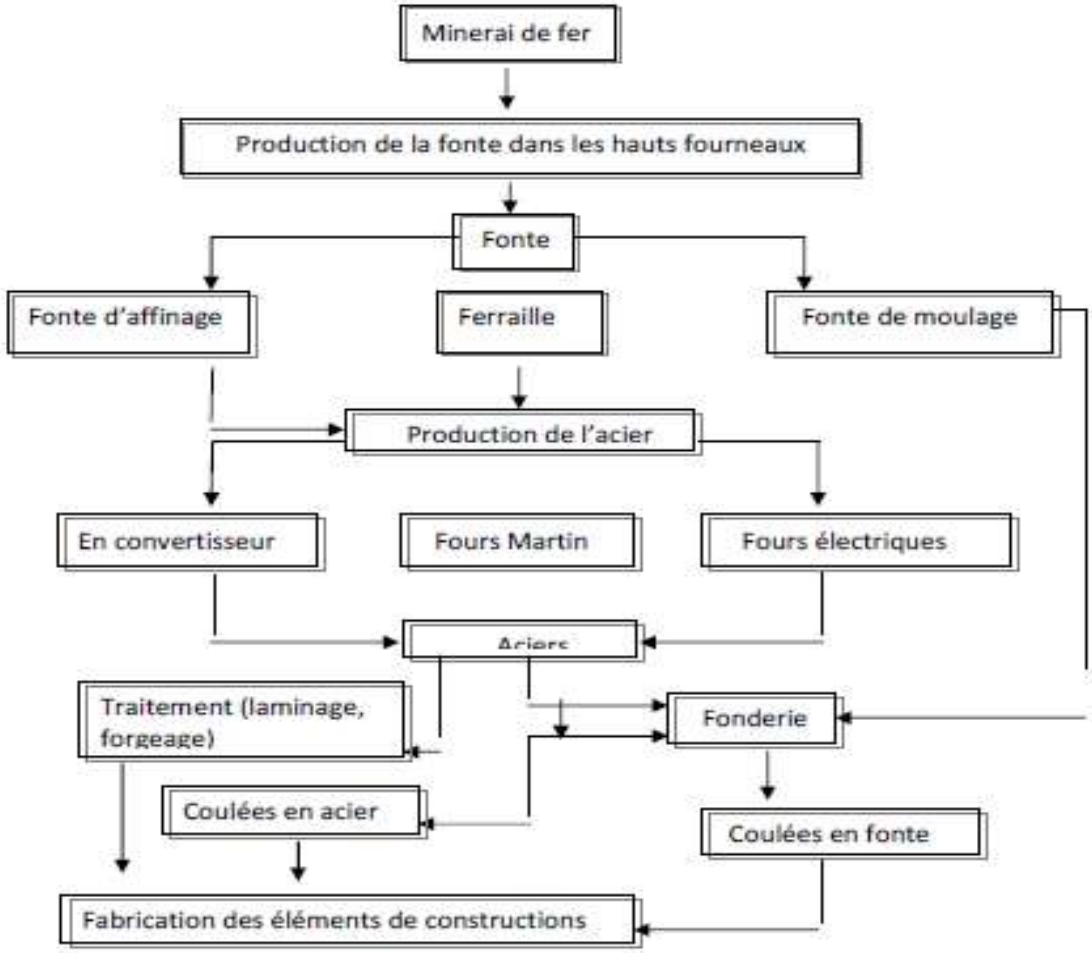


Figure II- 1 : Le processus métallurgique[45]

C- L'aluminium

a- Définition

L'aluminium est un métal obtenu par réduction de l'alumine. L'alumine est un oxyde que l'on extrait du minerai de bauxite, qui tire son nom du village des Baux de Provence où elle a été découverte en 1821. En moyenne, il faut 4t de bauxite pour produire 2t d'alumine, qui permet à leur tour la production d'une tonne d'aluminium. L'aluminium est tout particulièrement apprécié pour sa légèreté (un tiers du poids de l'acier), sa conductivité, sa solidité, sa malléabilité et sa résistance à la corrosion.

b- Comment reconnaître l'aluminium ?

L'aluminium n'est pas magnétique. En cas de doute, l'aimant placé sur les conteneurs de collecte vous orientera : l'aluminium n'y adhère pas.

Attention :

Les matériaux composites (alu-plastique, alu-carton) ne doivent pas être récupérés avec l'aluminium. Il s'agit principalement des emballages pour boissons (lait, jus de fruit, etc.), des sachets de soupe, de rösti, de sauce, des papiers de cigarettes, des emballages de beurre, etc. Pour être certain de bien trier l'aluminium, on peut se fier au sigle reproduit ci-dessus ou effectuer le test suivant : si on plie l'objet et qu'il reste courbé, il est en l'aluminium pur autrement, il se redresse.

c- Pourquoi le récupérer ?

1. Pour économiser de l'énergie

La production d'un kilogramme d'aluminium nécessite actuellement 12,5 kWh. Le recyclage permet d'économiser 95% d'énergie par rapport à la production de métal primaire!

2. Pour préserver les réserves d'alumine

L'aluminium étant un métal noble et les réserves d'alumine n'étant pas infinies, il est judicieux de recycler l'aluminium plutôt que de le jeter. Lorsqu'il est incinéré avec les ordures ménagères, l'aluminium fond et se retrouve mélangé aux scories d'incinération. L'aluminium est ainsi, en principe, perdu pour toujours. De plus, en recyclant l'aluminium, on limite le nombre des mines de bauxite qui, étant des mines à ciel ouvert, détruisent des sites naturels (forêts tropicales humides). Enfin, le recyclage de l'aluminium est bien moins polluant que l'extraction de la bauxite.

II.6 Propriétés des bétons de fibres

II.6.1 Propriétés physique

A travers la bibliographie les propriétés du BFM sont liées directement à son ouvrabilité et moyens de mise en œuvre.

Cet ouvrabilité est facteur de : La teneur en volume, l'élancement (d/l), la géométrie, et la surface des fibres. « à maniabilité fixée on peut soit introduire un dosage important de fibres courtes, soit un dosage faible de fibres longues ……».

En effet pour la même valeur (ou voisine) du rapport (*d l*) le nombre de fibres courtes augmente et leur surface spécifique aussi ; ce qui développe un frottement important entre matrice-fibres mais avec une probabilité élevée que les fibres se contactent entre eux.

L'ouvrabilité du BFM de teneur en volume inférieur à « 30 kg /m3 » peut se mesurer avec l'affaissement du cône d'Abrahams « slump test » Pour une teneur supérieur l'ouvrabilité se mesure à l'aide des instruments qui font appel à la vibration « maniabilimétre LCPC, flow test, VEBE ».

Les moyens de mise en œuvre de BFM influent beaucoup sur :

1. L'orientation des fibres dans le sens préférentiel.

2. évitement de tout effets nuisibles «effets de voûte, de cheminé, ségrégation…etc.»

Il est donc nécessaire de choisir ces moyens selon les dimensions et types des structures.

<< L'introduction des fibres métallique avec la matrice du béton n'améliore pas d'une façon sensible les propriétés mécaniques « résistance à la compression, et à la traction axiale ou par flexion » du béton[41]>>

II.6.2 Propriétés mécanique

A. Résistance à la compression

Les résultats mis en évidence par différents chercheurs sur l'effet des fibres sur la résistance à la compression du béton renforcé 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 à l'interface fibres - mortier ce qui peut contribuer à l'endommagement et donc limiter la charge maximale.[41]

B. Résistance à la traction directe

Peu d'essais ont été réalisés en traction directe, car l'essai est délicat et coûteux. D'après la bibliographie, les augmentations de résistance en traction dues aux fibres sont variables. D'une manière générale, on peut dire que : les améliorations constatées dépendent essentiellement de la forme des éprouvettes, du type d'essais, de paramètres liés à la géométrie et au pourcentage volumique des fibres utilisées, et bien sûr au béton témoin retenu.

Donc on constate que pour tous les **BFM**, les résistances à la compression et à la traction sont inférieures ou à peu près égales à celles du béton de référence.

Ceci confirme que les fibres métalliques n'interviennent pas d'une manière significative sur le comportement à l'échelle du matériau.

Nous pouvons résumer ces résultats de la manière suivante :

- **la quantité de sable** et de pâte de ciment étant plus importante dans les BFM que dans les bétons sans fibres la porosité de ces BFM est également plus importante.

Par conséquent si l'on se réfère à la loi de **FERET**, on en déduit une chute logique des Résistances l'ajout de fibres dans la matrice perturbe notablement celle-ci en y Introduisant des vides (effets de voûte, effets de parois) Dans les BFM, il y a moins De gros graviers que dans les bétons sans fibres, et il semblerait que ceux-ci jouent Un rôle non négligeable dans la résistance du béton [48].

C. Résistance à la flexion

Le renforcement par des fibres métalliques est utilisé pour améliorer la ductilité et fournir un contrôle du mécanisme de fissuration.

L'amélioration de la résistance de première fissuration est ordinairement un gain secondaire.

En flexion, contrairement à ce qui est généralement observé en traction directe avec ce type de fibres, la structure fissurée peut reprendre des efforts bien supérieurs à ceux relevés lors de l'apparition de la première fissure.

Un peu comme en béton armé classique, la déformation de flexion s'accompagne du développement d'une fissuration et du déplacement vers le haut de l'axe neutre.

D .Résistance à la fatigue

On entend par fatigue ou endommagement par fatigue la modification des propriétés des matériaux consécutive à l'application de cycles d'efforts, cycles dont la répétition peut conduire à la rupture.

Ainsi d'une manière très générale, il y aura fatigue toutes les fois que l'on est en présence d'efforts variables dans le temps.

Ce qui est bien particulier à la fatigue, c'est que la rupture peut se produire pour des contraintes apparentes relativement faibles, souvent inférieures à la limite d'élasticité, lorsque leur application est répétée un grand nombre de fois.

La résistance à la fatigue des éléments en béton est conditionnée par de nombreux facteurs :

- en particulier, les conditions d'application des sollicitations cycliques qui peuvent modifier sensiblement la résistance à la fatigue d'une structure.
- Une distinction est généralement faite entre une fatigue avec un cycle à basse fréquence, mais un niveau de contrainte élevé et une fatigue à haute fréquence mais à un niveau de contrainte faible.

Ceci correspond à deux types d'étude, par exemple d'une part le séisme et d'autre part l'action du vent et des vagues.

Bien que la distinction entre les deux types de chargement ne soit pas très précise, conventionnellement 1000 à 10000 cycles sont choisis comme limite entre les deux types de chargement.

II.6.3 Fissuration du béton et actions mécaniques

La réponse mécanique du composite est liée au processus de fissuration qui se développe.

Les fibres ont deux rôles :

D'une part << elles sont susceptibles de retarder l'apparition de la macro fissuration de la matrice >> et d'autre part <<elles réalisent une couture sur les lèvres de la macro fissure formée dans l'éprouvette >> ; ce qui apporte de la ductilité au matériau.

Durant la première phase, la microfissuration se répartit uniformément dans le volume. Le matériau peut être caractérisé par une loi comportementale.

Enfin pour augmenter la résistance à la fissuration il semble logique d'utiliser un fort pourcentage de fibres courtes.

Durant la deuxième phase, le développement de la macro fissure est fortement dépendant des conditions aux limites du corps d'épreuve.

Des fibres longues bien ancrées et ductiles offriront une meilleure résistance à l'ouverture des fissures.

II.6.4 Diverses causes et périodes d'apparition des fissures

L'apparition de fissures dans les structures en béton est un phénomène courant et difficilement évitable, source d'inconvénients voire de litiges ainsi qu'il en ressort des expertises auxquelles elles donnent souvent lieu. Les fissures peuvent apparaître de différentes manières :

- **les fissures précoces:** elles apparaissent sur le béton frais immédiatement ou quelques heures seulement après le bétonnage.

  Elles sont dues au tassement du béton frais partiellement empêché par la présence des fibres et au retrait plastique qui correspond à une déshydratation du béton frais sous les effets combinés de la température extérieure et du climat.

- **Les fissures d'origine mécanique** : elles apparaissent sur le béton en voie de durcissement (quelques jours ou semaines après le bétonnage) ou déjà durci (quelques mois ou années après la construction), ces fissures sont la conséquence de l'apparition de sollicitations excédant la capacité de déformation du béton ou sa résistance à la traction et sont dues à des déformations ou des charges imposées à l'ouvrage.

- **Les fissures d'origine physico-chimiques :** apparaissent quelques années après la construction, elles sont la conséquence des phénomènes de gonflement ou de réactions chimiques (corrosion des fibres, réactions alcali – granulats), ou à des efforts physiques (gel de l'eau dans les pores du béton) qui peuvent entraîner une fissuration et un éclatement d'enrobage.

II.6.5 Durabilité des bétons de fibres Métalliques

L'étude du devenir des propriétés mécaniques d'un composite cimentaire fibré multi échelles soumis à une ambiance agressive dans des conditions de chargement représentatives de son état de service.

Il ne s'agit donc pas de quantifier une perméabilité à l'eau ou un coefficient de diffusion pour ce matériau, fonction d'un état de fissuration donné.

Nous nous limiterons donc en matière de bibliographie aux quelques rappels utiles pour la définition de notre étude expérimentale.

Dans le cadre de la corrosion des fibres en présence d'un agent agressif tel que les chlorures, deux cas se présentent. Soit le **BFM** est non endommagé, les fibres sont entièrement enrobées par la matrice cimentaire et les ions doivent diffuser à travers le réseau poreux.

Soit le **BFM** est endommagé et des fissures facilitent la pénétration des agents agressifs en profondeur.

Ces deux cas de figure peuvent être dommageables pour le matériau étudié.

D'une part, la fraction volumique est telle que les fibres affleurent à la surface des corps d'épreuve réduisant l'épaisseur de matrice à traverser à moins d'un millimètre.

D'autre part, les corps d'épreuves sont endommagés et chargés ce qui signifie le développement d'une microfissuration constamment ouverte.

Les caractéristiques mécaniques du composite dépendent donc entièrement du devenir des fibres et de toute réduction même minime de leur très faible section

II.6.6 La corrosion des fibres métalliques dans la matrice

II.6.6.1 Propriétés de transfert et durabilité des matrices cimentaire

La corrosion de fibres métalliques enrobées par une matrice cimentaire peut être rapprochée de celle des armatures utilisées dans le béton armé.

Ce thème est devenu un axe de recherche important depuis une vingtaine d'année dans la mesure où les réparations sur le parc d'ouvrages existants prennent le pas sur la construction de nouvelles infrastructures.

Initialement, les fibres sont plus ou moins distantes de la surface en contact avec l'environnement extérieur, et donc la cinétique de corrosion est fonction des propriétés de transfert de la matrice cimentaire.

Le processus de corrosion dépend principalement du pH de la solution interstitielle et de la pénétration d'agent agressif jusqu'aux aciers. **[49]**

Le pH fortement basique des matrices cimentaires (voisin de pH 13 initialement) est le garant de la passivation des aciers dans le béton, Il est susceptible de chuter et donc d'entraîner un début de corrosion lorsque la réserve de basicité, à savoir la portlandite, diminue du fait de la carbonatation naturelle des hydrates ou est naturellement faible ; typiquement ce dernier cas de figure se rencontre dans les matrices à ultra hautes performances (**Tableau II-1**) où l'excès de fumée de silice consomme intégralement Ca(OH)2.

La carbonatation est liée à la diffusivité au gaz de la matrice cimentaire. Enfin un dernier cas de figure peut se présenter lorsqu'en présence d'eau pure, des phénomènes de lixiviation entraînent les alcalins Na(OH) et K(OH) hors de la solution interstitielle et dissolvent la portlandite.

La lixiviation est liée à la diffusion d'espèces ioniques à travers le réseau poreux. La corrosion peut ensuite être facilitée ou accélérée par la présence d'ions agressifs.

Nous retenons par la suite les ions chlorures comme espèce ionique agressive, Elle a fait l'objet de nombreuses études et est rencontrée aussi bien en ambiance marine que pour les problèmes de déverglaçage en période hivernale, Son action suppose la pénétration des ions jusqu'à la profondeur de l'acier et une concentration minimale définie par le rapport [Cl-]/[OH-] compris entre 0.6 et 1 suivant les auteurs **Haussman** et **Raharinaivo**.

Les chlorures se combinent dans un premier temps avec la couche passivant d'hydroxyde ferreux Fe(OH)2, puis en sont ensuite éjectés et permettent en présence d'oxygène une corrosion des aciers en faisant chuter le pH vers 9.5 (cf. diagramme de "Pourbais").

Les chlorures se trouvent principalement à l'état dissout dans la solution interstitielle et leur progression est due aux phénomènes de diffusion (déplacement sous gradient de concentration) et de perméabilité (déplacement sous gradient de pression d'eau) suivant l'état saturé ou non du milieu poreux.

Tout dépend donc des propriétés de transfert de la matrice cimentaire. Principalement on retient dans le (**Tableau II-1**) les mesures de perméabilité au gaz, de porosité à l'eau, de coefficient de diffusion (chlorures ou autres ions) relative à des matrices UHP.

Ces résultats montrent des caractéristiques remarquables vis-à-vis de la durabilité du matériau, même comparés à des bétons dits à hautes performances.[49]

Tableau II- 1: Indicateurs de durabilité pour les bétons, d'après AFGC-SETRA

Matériau	Porosité à l'eau (%)	Perméabilité à l'oxygène (m^2)	Coefficient de diffusion du tritium (m^2/s)	Teneur en Portlandite (kg/m^3)
BHP	9 - 12	10^{-17}	2.10^{-12}	86
BFUP	1.5 - 6	$<10^{-19}$	2.10^{-14}	0

En particulier la distribution du réseau poreux est le point remarquable de ces matrices UHP : d'une part la porosité capillaire est quasiment nulle (1-2% par porosimétrie au mercure [49]) et d'autre part le réseau poreux est déconnecté. Ce dernier point, qui limite de manière drastique les transferts hydriques et ioniques, a été mesuré par Bonneau à partir de mesure du taux d'hydratation sur une matrice DUCTAL® de rapport Eau/Liant égale à 0.2 [49].

Le seuil de percolation a percolation n'est pas atteint pour cette matrice dont seulement 26% de la masse de ciment est hydratée. Des simulations à partir du modèle du N.I.S.T confirment cette tendance.

II.6.7 Corrosion des fibres métalliques dans une matrice cimentaire

Si le béton de fibre est non fissuré, le processus de corrosion se décompose en deux étapes :

- La première correspond à la pénétration des ions chlorures dans le béton. Sa durée augmente avec l'épaisseur de recouvrement des fibres et la diminution de la porosité.
- La seconde est marquée par le développement de la corrosion lorsque la concentration en ions chlorure et le pH.

Les chlorures se concentrent principalement à l'anode, zone de dissolution des ions Fe2+, La poursuite du processus de corrosion dépend ensuite de la facilité avec laquelle les espèces ioniques en solution peuvent migrer entre cathode et anode via la solution interstitielle. Le rôle de cette dernière est triple :

- Permettre la diffusion de nouveaux agents agressifs
- Jouer le rôle d'électrolyte en transférant les charges électriques sous forme ionique
- Transférer les produits de corrosion

Pour des matrices cimentaires type B40, l'enrobage de la fibre représente une zone de faible compacité, à l'image la zone de transition interraciale pâte-granulat.

Elle représente une voie privilégiée de diffusion pour les espèces ioniques en permettant le transfert des ions hydroxyles et chlorures vers l'anode le long de l'interface acier-matrice [49], bouclant ainsi la pile électrochimique et permettant l'initiation de la

corrosion. Mais dans le cas de matrice à très faible rapport Eau/Liant, cette zone de transition n'existe plus. Chen a étudié la corrosion d'une fibre métallique dans une matrice de rapport Eau/Liant égale à 0.35 contenant 2% de NaCl [49]. Pour un des essais il enrobe au préalable la fibre par une pâte de ciment de rapport Eau/Liant égale à 0.18. Dans le premier cas il détecte une légère corrosion, se traduisant par une diffusion d'ion Fe2+ dans la matrice sur une profondeur de 40 microns à partir de la surface de l'acier.

Dans le second cas, aucune trace de corrosion n'est décelée à la fin de l'essai. Il arrive à la conclusion qu'augmenter la compacité de la zone inter faciale est le moyen le plus efficace et le moins coûteux pour limiter la dissolution et la diffusion des ions Fe2+. Cela va dans le sens des essais accélérés réalisés sur des BFM pour le stockage de déchet radioactif par Dubois.

Les trois types de fibres testées et convenablement enrobées présentent peu ou pas de produit de corrosion à l'interface fibre-matrice. De plus la corrosion amorcée au niveau d'une fissure ne se propage pas dans la partie enrobée.

La durabilité des **BFM** est de plus améliorée par le caractère discontinu et distribué du renfort, Contrairement au béton armé, pour lequel les produits de corrosion sont concentrés et proches de la surface libre, les BFM répartissent la production d'hydroxyde ferreux et de ses dérivés dans la masse.

En conséquence, les volumes produits localement par quelques fibres ne sont pas suffisants pour provoquer l'éclatement du béton, même proche de la surface.

Le résultat attendu est logiquement une durabilité accrue des BFUP non fissurés. Ainsi le taux de corrosion est estimé à 0.01 µm/an pour les fibres d'acier entrant dans la composition du DUCTAL®. Mais ces essais caractérisent le comportement du matériau, indépendamment de son état dans une structure sollicitée. Avec l'objectif de faire travailler le composite au-delà du seuil de fissuration de la matrice cimentaire, il devient indispensable d'observer localement le phénomène de corrosion au niveau d'une fissure.

Influence de la nature chimique de la surface des fibres Un paramètre souvent omis concerne le revêtement éventuel des fibres métalliques.[41]

Celui-ci a deux origines : soit il s'agit d'une galvanisation, soit il s'agit d'un dépôt de cuivre ou de laiton.

Le premier cas assure de manière avérée une meilleure résistance à la corrosion des fibres.

Le second cas vient du procès de tréfilage des fibres de très faible diamètre (<0.3 mm). Celui-ci impose souvent l'introduction d'un lubrifiant solide au niveau de la filière qui se retrouve ensuite à la surface des fibres. En fait la couche n'est pas continue et ne peut donc pas assurer de fonction protectrice (notamment à l'extrémité). Pire, des phénomènes de corrosion peuvent apparaître si l'acier joue le rôle d'anode sacrificielle vis-à-vis du métal le recouvrant (cas du cuivre notamment).

II.6.8 Etude de l'influence des fibres métalliques sur le retrait du béton

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.[50, 51]
- Les fibres courtes sont plus efficaces contre le retrait. [49]
- 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. [52, 53]

Chapitre III :

Matériaux et Essais

III.1 Introduction

Dans ce chapitre on présente les matériaux de construction utilisés pour la confection des Bétons de sable avec leurs caractéristiques et les essais faites au laboratoire, comme pour tous les bétons de sable, 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, eau, déchet métallique, adjuvant.

La caractérisation des bétons de sable a base de déchets métallique, 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. Les différents essais faits au cours de ce travail sont :

- **Sur béton frai**

  - Maniabilité

  - La densité.

- **Sur béton durci**

  - Résistance à Compression.
  - Résistance à Traction par flexion.
  - Porosité
  - Absorption par capillarité
  - Conductivité thermique
  - Resistance au feu
  - Retrait et gonflement

III.2 Caractérisation des matériaux utilisés

III.2.1 Ciment

Le ciment utilisé est CPJ-CEM II/A (Mâtine) **(Figure III-1)** est un ciment Portland Ordinaire dont la résistance minimale à la Compression à 28 jours est de 42,5 MPA, produit Par la cimenterie de Lafarge (Msila) dont l'ajout Est le calcaire.



Figure III- 1: Type de ciment utilisé

Le **tableau III-1** Résume l'analyse chimique du ciment et composition hypothétique du clinker, selon la fiche technique du ciment

Tableau III- 1: L'analyse chimique du ciment et composition du clinker

Analyse chimique du ciment					Composition hypothétique du clinker	
Perte au feu (%)	Résidus Insolubles (%)	Teneur en Sulfates SO_3 (%)	Teneur en oxyde De magnésium MgO (%)	Teneur en Chlorures (%)	Silicates Tricalciques C3S (%)	Aluminates Tricalciques C_3A (%)
7.00-9.50	1.50-3.00	2.00-2.50	1.90-2.30	0.01-0.03	58.00-64.00	6.00-8.00

III.2.2 Sable

Le sable utilisé dans notre travail est un sable de dune provient de la région de Oued-Souf situé à 500 Km au sud de lAlgérie.les caractéristiques physiques de sable utilisée sont donnée dans le **(tableau III-2)** sous-dessous :

Tableau III- 2: Propriétés physiques d'identification de sables utilisé

Caractéristiques	Type de sable	Norme
Provenance	Oued-Souf	/
Classe granulaire	0/5	/
Module de finesse	2.35	NF EN 933-1 [54]
Masse volumique absolue (g/cm3)	2.62	NF EN 1097-6[55]
Masse volumique apparente (g/cm3)	1.62	NF EN 1097-6[55]
Taux d'absorption d'eau (%)	0.7	NF EN 1097-6[55]
Equivalent de sable ESV (%)	91.12	NF EN 933-8[54]
Equivalent de sable ES(%)	87.34	NF EN 933-8[54]

- **Commentaire** sur (ESV et ES): (sable très propre), absence presque total de fines argileuses

  Sur (MF=2.35**) :** convient bien pour obtenir une ouvrabilité satisfaisante et une bonne résistance avec des risques de ségrégation limitée

III.2.3 Eau de gâchage

L'eau de gâchage utilisée dans cette étude est l'eau du robinet de notre laboratoire sans passer par l'analyse chimique de cette eau. Sa température était comprise entre 10 et 22°C.

III.2.4 Superplastifiant

Pour cette étude, nous avons utilisé un superplastifiant haut réducteur d'eau de la troisième génération ET de forme liquide brun clair, d'un PH égal à 6± 1, de densité 1,06 ± fabriqué par la société SIKA et commercialisé sous le nom suivant : **VISCOCRETE TEMPO 12**sa plage normale d'utilisation est fixée par la fiche technique de 0,5% à 2% du poids de ciment,



Figure III- 2Type de superplastifiant utilisé

III.2.5 Ajouts (fillers)

Les fillers utilises dans notre cas sont du fillers de calcaires. Ils sont obtenus par broyage des déchets de concassage dune carrière de **meftah** à la wilaya de Blida. Se calcaire il est destiné vers la fabrication du ciment au cimenterai de **gika meftah**. Rappelons que le calcaire le plus adaptés au béton et donnent de meilleures performances**.** Leur caractéristique physique est mentionnée dans le **tableau III-3** suivant. :

Tableau III- 3: Propriétés physiques d'identification de calcaire utilisé

Caractéristique	Calcaire
Masse volumique absolue (g /cm3)	2.68
Finesse de mouture (cm2 /g)	4250



Figure III- 3 : Type de fillers de calcaire utilisé

III.2.6 Granulats et copeaux déchets métallique

Ses déchets métalliques (DM) sont récupérés des petits ateliers publics de tournage et fraisage des pièces mécaniques. Les déchets se présentent sous forme d'un sable contenant un mélange de copeaux et grains métalliques issus d'acier, de fonte, de bronze ……etc (Figure III-4 suivante). Les propriétés



Figure III- 4 type de Granulat et copeaux de déchets métalliques utilisé

Tableau III- 4: Propriétés physiques d'identification de (DM) utilisé

Caractéristique	Valeur
Masse volumique absolue de DM (kg /l)	3.35
Masse volumique apparente de DM (kg /l)	1.58
Diamètres des granulats (mm)	0-5

III.3 Formulation du béton

La formulation du béton de sable est fondée sur la méthode **expérimentale de SABLOCRETE 1994** qui se base sur les quartes étapes suivantes :

1- Détermination d'une formule de base sans fines d'addition :

- Fixation de la teneur en ciment ;
- Choix d'une teneur en eau ;
- Détermination d'un dosage en sable ;
- Réglage de la maniabilité et du rendement

2- Détermination du dosage en fines d'addition ;

3- Adaptation de la maniabilité de la mise en œuvre ;

4- Contrôle des résistances.

Trois (03) familles de bétons de sables avec DM sont réalisées et comparés avec le béton de sable témoin. Le sable naturel est substitué en volume par 10, 20 et 30% de DM. Les bétons réalisés sont appelées comme suite :

BST : Béton de sable témoin (avec 100% de sable naturel)

BSDMx : Béton de sable avec x% de DM (x=10, 20 ou 30 %)

Le choix de 30% max de substitution en DM est choisi sur la base de recherches antérieures. Le tableau III.5 suivant résume les différentes compositions des bétons confectionnés. La figure III.5 présente l'aspect d'un gâché du mélange BSDM.

Tableau III- 5: Composition des différentes Béton

Mélange	Composition ($1m^3$ de béton)					
	Ciment (g)	Sable (g)	DM (g)	Eau (g)	Adjuvant (g)	Calcaire (g)
BST	350	1480	0	220	2.8	100
BSDM 10%	350	1333	190	220	2.45	100
BSDM 20%	350	1184	357	220	2.3	100
BSDM 30%	350	1036	572	220	1.9	100



Figure III- 5 : Gâché du mélange BSDM

III.3.1 Préparation du mélange (Malaxage)

La procédure de malaxage est effectuée dans malaxeur à axe vertical d'une capacité de 5 L (Figure III.6) pour la confection des éprouvettes 4 x 4 x 16. Après avoir pesé les quantités des matériaux suivant : l'eau ,l'adjuvant, le calcaire et le ciment en mélange les ingrédients en premier temps pendant 30 sec puis on ajoute le sable pendant 30 sec a vitesse lent puis 30seca vitesse rapide apprêt on arrêt le malaxage pendant 1 min 30sec et on le relancer à 1 min a vitesse rapide .enfin ajouter le polystyrène pendant 01 min à vitesse lent.

Pour chaque gâché, on veuille toujours à effectuer un bon malaxage qui a pour but d'obtenir une matière homogène et ouvrable.



Figure III- 6: Le malaxeur automatique de mortier

III.3.2 Confection et conditionnement des éprouvettes

Des moules normalisé permettant de réaliser 3 éprouvettes prismatiques de section carrée 4cm×4cm et de longueur 16cm (ces éprouvettes sont appelés « éprouvettes 4×4×16 »). Après quoi le moule est arasé, recouvert d'une plaque de verre et entreposé dans la salle ou l'armoire humide. Entre 20 h et 24 h après le début du malaxage, ces éprouvettes sont démoulées et entreposées dans l'air libre, jusqu'au moment de l'essai de rupture. Au jour prévu, les 3 éprouvettes sont rompues en flexion et en compression. Les normes [ENV 197-1] et [NFP 15-301] définissent les classes de résistance des ciments d'après leur résistance à 7, 14 et 28 jours.



Figure III- 7: Les moules des éprouvettes utilisé

III.4 Les essais effectués sur le béton du sable

III.4.1 Essai à l'état frais

III.4.1.1 Essai de Maniabilimètre L.C.P.C

Selon les normes L.C.P.C [56] et [NF P 15-437] [57]le but de cet essai est de quantifier l'ouvrabilité qui est une qualité, évolutive dans le temps, du béton de sable avant prise, et classer le béton de sable suivant une échelle de fluidité croissante (ferme, plastique, très plastique et fluide) [58].Dans cet essai la consistance est caractérisé par le temps que met le béton de sable pour s'écouler sous l'effet d'une vibration. Ce temps sera d'autant plus court que le béton de sable sera plus fluide. L'appareil utilisé est appelé Maniabilimètre à béton de sable LCPC (figure III.6) et comporte :

- Unique boîtier parallélépipédique métallique (30 cm x15 cm x15 cm) ;
- Une cloison amovible ;
- Un vibrateur ;
- Un chronomètre.



Figure III- 8: Maniabilimètre à béton de sable avec la tige de piquage utilisé

Le principe de fonctionnement du Maniabilimètre à béton de sable est résume comme suite :

1. Huiler légèrement les parois internes de la cuve.

2. Remplir le béton de sable.

Le béton de sable est introduit dans la partie la plus grande délimitée par la cloison et mis en place en deux couches.

a. Chaque couche piquée de 15 coups au moyen de la tige de piquage.

b. Araser la dernière couche.

La cloison est retirée e, provoquant la mise en route du vibrateur et le déclenchement d'un chronomètre même temps que la cloison est retirée, sous l'effet de la vibration le béton de sable s'écoule.Le chronomètre est arrêté quand le béton de sable atteint un trait repère sur la paroi opposée du boîtier.Le temps t mis par le béton de sable pour s'écouler caractérise sa consistance, L'état du béton de sable avant et après l'essai est illustré dans la **(Figure III.4)**

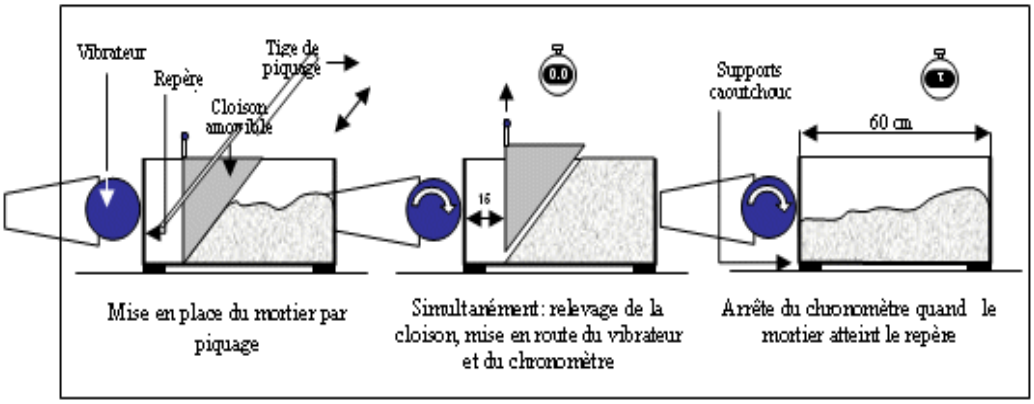


Figure III- 9: **Principe de fonctionnement du Maniabilimètre à béton de sable**

III.4.1.2 **La densité :**

La masse volumique du Béton de sable a été mesurée selon la norme EN 12350-6 **[59]**, Voir le Fig. III.10



Figure III- 10:**Mesure de la densité du Béton de sable**

III.4.2 Essai à l'état durcis

III.4.2.1 Essai de compression :

La résistance à la compression a été mesurée selon la norme NF EN 196-] [20] par compression axiale pour demi-prisme d'éprouvettes prismatiques de dimensions (4×4×16) cm, à 7, 14, 28 jours, à l'aide d'une presse hydraulique de capacité maximale de 2000 kN conforme à la norme NF P 18-412 [60]. 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.14j.28j).



Figure III- 11: Dispositif de rupture à la compression



Figure III- 12 : l'appareil de lésai de compression

Les demi-prismes de l'éprouvette obtenus après rupture à la traction seront rompus à la compression comme indiquée sur la figure III.6, la contrainte de rupture est calculée Comme suit :

$$Rc=Fc/b2 \qquad \text{Eq. I I I . 5}$$

III.4.2.2 Essai de traction par flexion

Selon la norme [EN 196-1] [61]. c'est l'essai le plus couramment utilisé. Il consiste à rompre en flexion (par trois points) (Figure III.7), 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, 14, 28 jours.

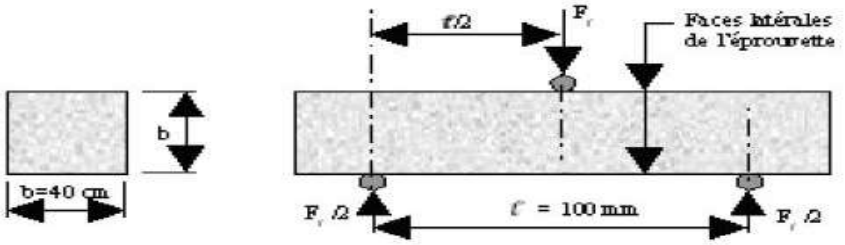


Figure III- 13: **Dispositif pour l'essai de résistance à la traction**



Figure III- 14: l'appareil de l'essai de traction par flexion

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

$$\sigma t = (M / I) v \qquad \text{Eq. I I I .6}$$

Avec :

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

$$M = Ff\ L/4 \qquad \text{Eq. I I I . 7}$$

I : Moment d'inertie de la section transversal :

$$I = a4 /1\ 2 \qquad \text{Eq. I I I . 8}$$

v: La distance de la fibre la plus éloignée :

$$v = a / l \qquad \text{Eq. I I I . 9}$$

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

$$\sigma t = (1 . 5\ F\ f\ L) / a\ 3 \qquad \text{Eq. I I I . 10}$$

Et;

$$f\ t2\ 8 = 0. 9\ Ft\ .L / a3 \qquad \text{Eq. I I I . 11}$$

III.4.2.3 **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 (4x4x16cm) conformément à la norme NF P 15-404 **[62].**

Ces éprouvettes au nombre de trois par composition, sont après démoulage à 24 heure placées dans un réctractomètre) munis d'un comparateur qui permet la mesurer du retrait à tout moment à court terme et moyenne terme (de 1j jusqu'à 28 jours).

La conservation des éprouvettes est faite à l'air libre dans le laboratoire à une température de 25 à 30°C, et le gonflement la conservation des éprouvettes est fait à un bac d'eau de température de 25à 30°C.

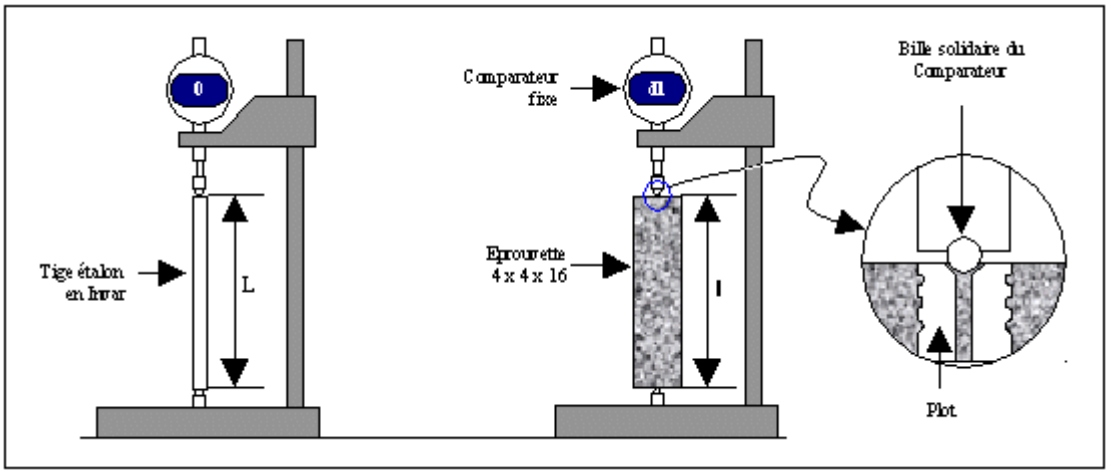


Figure III- 15: Dispositif pour mesuré le retrait et gonflement

III.4.2.4 **Mesure des variations de longueur**

La mesure a lieu, l'axe longitudinal de l'éprouvette étant vertical. Si, d'une mesure à l'autre, la variation de longueur d'une des 3 éprouvettes dépasse de plus de 0.03mm celle de l'éprouvette ayant la variation la plus voisine, il y a lieu d'en rechercher la cause (poussière, mauvais contact de scellement des plots, etc.), et si elle ne peut être éliminée, l'éprouvette doit être rebutée.

Avant chaque sérié de mesures, l'appareil est étalonné avec une tige de métal de 1600 mm de longueur et dont les extrémités reproduisent la forme des plots de l'éprouvette (la tige est réalisée en métal Invar ou protégée contre les variations de température qu'elle est appelée à subir au cours des manipulations).même métal que l'appareil.

A. 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.

B. Expression des résultats

Pour chaque éprouvette ; sont calculés les rapports:

- **ΔL:** Variation de longueur par apport à la longueur origine,
- **L0** : Longueur de base, prise égale à 280mm.
- **ΔM:** Variation de masse par apport à la masse au moment du démoulage,
- **M** : Masse de l'éprouvette au moment du démoulage.

Le compte rendu donne les valeurs de ces rapports pour les différents âges et pour les différentes éprouvettes mesurées. Les moyennes arithmétiques de ces 3 valeurs à un âge déterminé caractérisent la valeur du retrait et celle du gonflement à cet âge de l'échantillon (Éventuellement, de la variation de masse).

C. Conduite de l'essai :

Au moment de la mesure, le comparateur est mis au zéro sur la tige étalon en Invar de longueur L = 160mm. Soit dl(t) la valeur lue sur le comparateur au temps t; l'éprouvette a une longueur au temps considéré:

$$l = L + dl(t) \qquad \textbf{Eq. I I I .12}$$

Soit l (t0) la longueur de l'éprouvette au temps t0 choisi d'origine. En général, cette origine est prise au moment du démoulage, 24 h après la confection des éprouvettes. La variation de longueur au temps t sera:

$$\Delta l(t) = l(t) - l(t_0) = dl(t) - dl(t_0)$$ **Eq. I I I .13**

La variation relative de longueur est généralement désignée par **ε** et a pour expression:

$$\varepsilon(t) = \frac{\Delta l(t)}{L} = \frac{dl(t) - dl(t_0)}{L}$$ **Eq. I I I .14**

Δ L (t) est obtenu en faisant la moyenne sur les 3 éprouvettes issues du même moule. Lorsque les éprouvettes sont conservées dans l'air ΔL (t) est généralement négatif et L'on parle alors de retrait de l'éprouvette. Lorsque l'éprouvette est conservée dans l'eau, Δl(t) peut-être positif: il y a alors gonflement).

III.4.2.5 **Absorption d'eau par capillarité**

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 (m0), après on introduire le dans un bac remplir de 1 cm d'eau (**Figure III-8**)…......, 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- m0) (NE 13057) **[63]**.



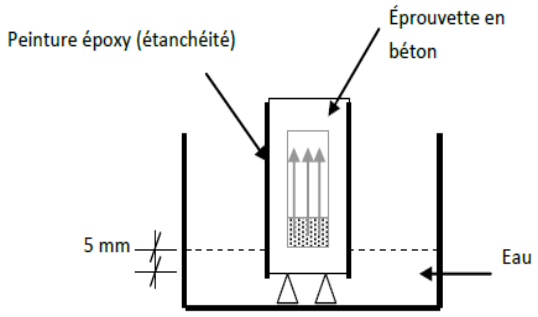


Figure III- 16 : Absorption d'eau par succion capillaire



Figure III- 17 Absorption d'eau après 24 h

Remarque : Remarquez les pointes de la corrosion sur la surface d'éprouvettes et Nous remarquons le changement de couleur de l'eau et la turbidité résultant de corrosion de des métaux de déchet.

III.4.2.6 **Porosité**

À la fin de la cure, les demi-prismes d'éprouvette 4x4x16cm sont séchés dans une étuve ventilée à 40 ± 5 °C jusqu'à poids constant ; elles sont ensuite prolongé dans l'eau, jusqu'à Poids constant. L'échantillon est passé ensuite à imbibition sous vide, et après saturation une pesée sous eau (Meau) et une autre dans l'air (Mair) sont réalisées.

L'échantillon est séché dans une étuve ventilée à 105 ± 5 °C jusqu'à poids constant et à nouveau, une mesure de masse (Msec) est réalisée selon la recommandation l'AFPC-AFREM.

La porosité volumique accessible à l'eau ,**ε** exprimée en pourcentage, est donnée par l'équation :

$$\varepsilon(\%) = \frac{Mair - Msec}{Mair - Meau} \times 100$$

Eq . III.15

ε: La porosité totale

Mair: La masse d'éprouvette imbibée pesé dans l'air

Msec: La masse d'éprouvette sèche

Meau: La masse d'éprouvette immergée dans l'eau

III.4.2.7 **Conductivité thermique**

La conductivité thermique est une grandeur physique caractérisant le comportement des matériaux lors du transfert thermique par conduction. Notée λ, elle représente la quantité de chaleur transférée par unité de surface et par une unité de temps sous un gradient de température de 1 degré par mètre. Elle s'exprime en W/m°C. Cette valeur permet de quantifier le pouvoir isolant de chaque matériau. Plus elle est faible, plus le matériau sera isolant. Dans notre cas la conductivité thermiques des différents bétons a été mesurée à l'aide d'un **CTMètre** conformément la norme NF EN 993sur des échantillons de 4 ×10×10 cm.



Figure III- 18: L'appareil de Conductivité thermique avec échantillons dé 4 ×10×10 cm.

III.4.2.8 **Résistance au feu**

Préparer des demi prismes d'éprouvettes (4×4×16cm3) pour le traitement thermique, elles sont exposées à l'air libre au laboratoire pendant 6 jours puis étuvées à 105°Cependant plusieurs jours jusqu'à stabilisation de leurs masses.

Ensuite, elles sont chauffées dans un four à moufle à différentes températures, 200°C, 400°C et 600°C et avec une vitesse de chauffage égale à 10°C/min maintenues la température constante dans le four pendant une heure conformément à **la norme ISO 834.**

Tous les demi-prismes d'éprouvettes sont ensuite refroidis à l'air (en dehors du four) pendant 24 heures puis écrasés.

Pour chaque température, des mesures de pertes de masse ont été effectuées. Le degré de déshydratation (Perte de masse (%)) est évalué par la relation

Suivante :

$$[\text{Perte de masse } (\%)] = [(M_1-M_2)/M_1)] \times 100 \qquad \text{Eq .III.16}$$

Avec :

M1, M2 les masses des éprouvettes avant et après le chauffage respectivement.



Figure III- 19 : un four à moufle à différentes températures

III.5 CONCLUSION

Dans notre recherche, nous avons utilisé les matériaux locaux, disponibles sur le marché Algérien (le ciment, les granulats, les superplastifiant).

Les essais menés au cours de cette étude ont été effectués sur des bétons de sables, Pour déterminer leurs caractéristiques à l'état frais (maniabilité, densité),

Ensuite, des essais relatifs au domaine mécanique ont été réalisés et qui ont servi pour déterminer les propriétés mécaniques (compression, traction, absorption d'eau, retrait, gonflement, résistance au feu).

Des essais menée au domaine thermique ont été réalisés et qui ont servi pour déterminer les propriétés de l'isolation est de transfert de chaleur .Pour reconnaitre l'effet de déchets métallique sur le béton de sable ce soit à l'état frais ou durci.

IV. Chapitre IV : Analyse et Interprétation

IV.1 INTRODUCTION

Dans ce chapitre l'ensemble des résultats trouvés dans la réalisation expérimentale sont exposés, analysés et comparés avec les résultats d'autres chercheurs existant dans la littérature.

Analyse granulométrique

L'analyse granulométrique des granulats utilisés sont résumé dans **la figure IV-1** suivant :[64]

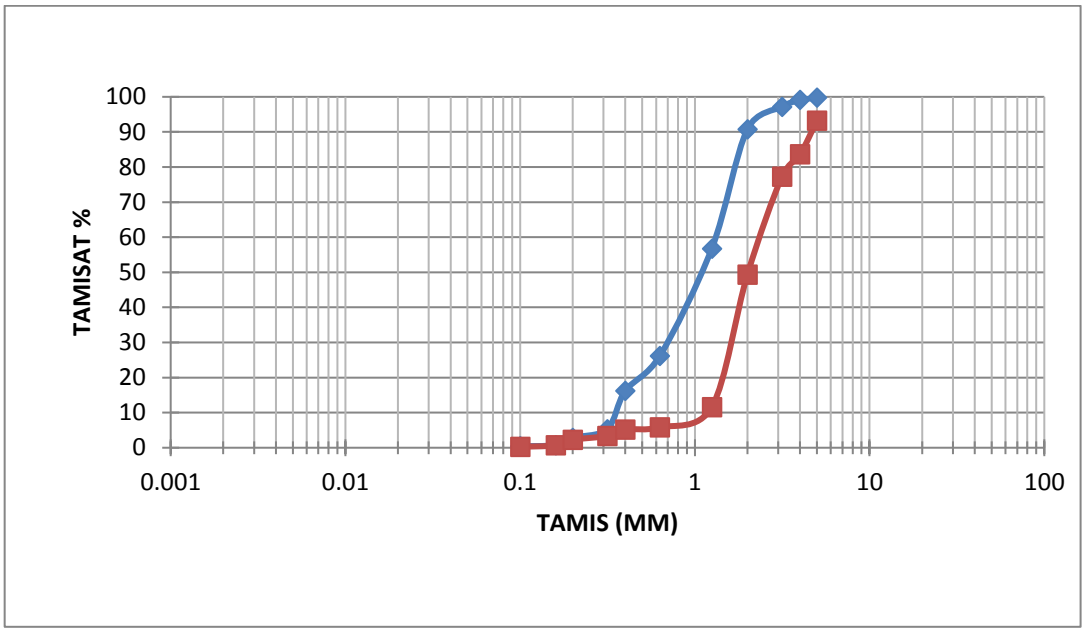


Figure IV- 1: **courbes granulométriques du sable et déchets métalliques**

De la figure IV.1 on remarque clairement que le sable de déchets métalliques est un peut grossier (**Mf =** 3.53) par rapport au naturel (**Mf** = 2.35) mais il reste acceptable du point de vu gâchage du béton parce que l'acier n'absorbe pas d'eau.

IV.2 Béton frais

IV.2.1 Effet de déchets métallique sure le dosage de superplastifiant de Béton de sable

La figure IV.2 illustre l'effet du pourcentage de déchet métallique (DM) sur le besoin en superplastifiant suffisant pour avoir une maniabilité acceptable du béton de sable. Pour pouvoir comparer les résultats des bétons entre eux, la fluidité du béton est bloquée dans une plage avec un temps d'écoulement qui varie entre 7 et 10 secondes et par conséquent un besoin en superplastifiant fait l'objet.

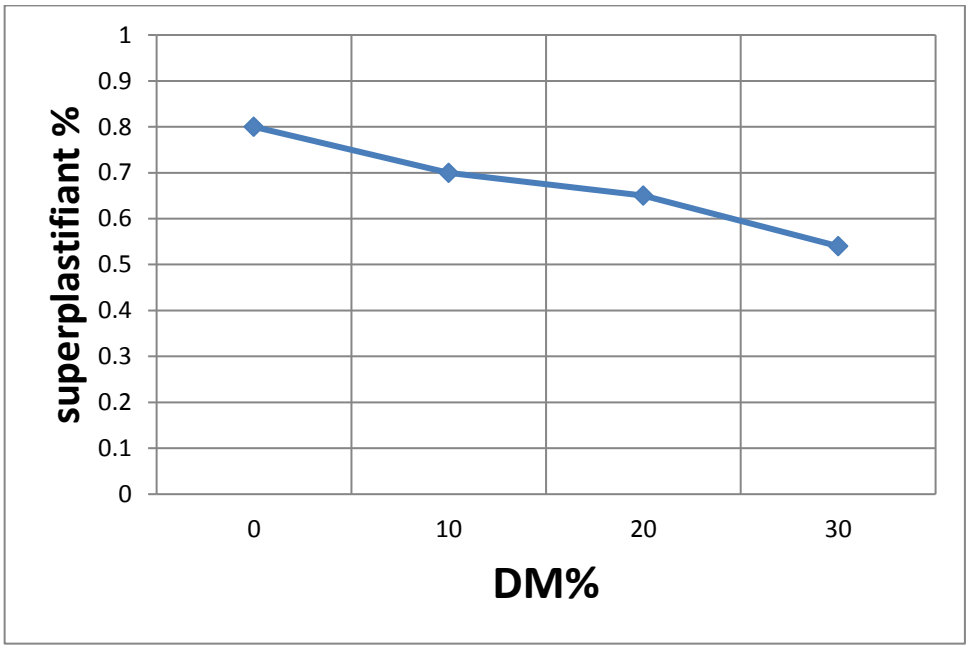


Figure IV- 2: Variation du pourcentage en superplastfiant en fonction de DM

IV.2.2 Effet de déchets métallique sure la densité du béton

Les résultats de l'effet du pourcentage de déchets métalliques sur la densité du béton de sable sont illustrés sur la figure IV.3 suivante. Les résultats trouvés montrent que la substitution de sable naturel par le sable de déchets métalliques augmente la densité de BS par rapport au béton de référence. Des résultats similaire sont trouvés par d'autres chercheurs [41]. Cette augmentation est engendrée par la haute densité des déchets métalliques par rapport aux autres matériaux utilisés.

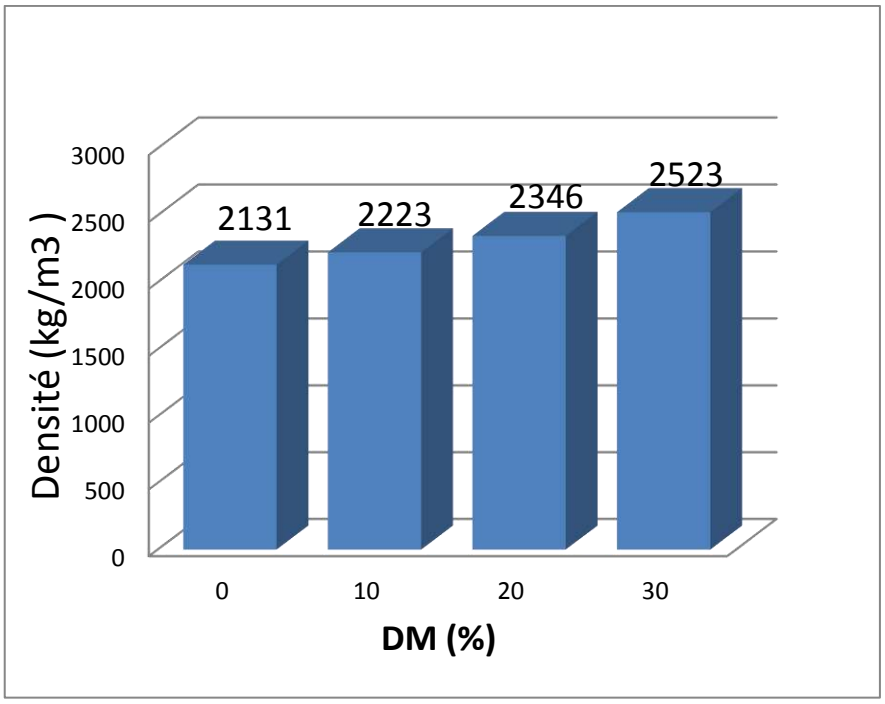


Figure IV- 3: **la densité en fonction de DM**

IV.3 Béton durcis

IV.3.1 Effet de déchets métallique sure la résistance mécanique du béton

Les résultats de la résistance à la compression et à la traction des bétons obtenus à 7, 14, et 28 jours avec différents pourcentage de déchets métallique (DM) sont résumés sur les figures IV.4 et figure IV.4

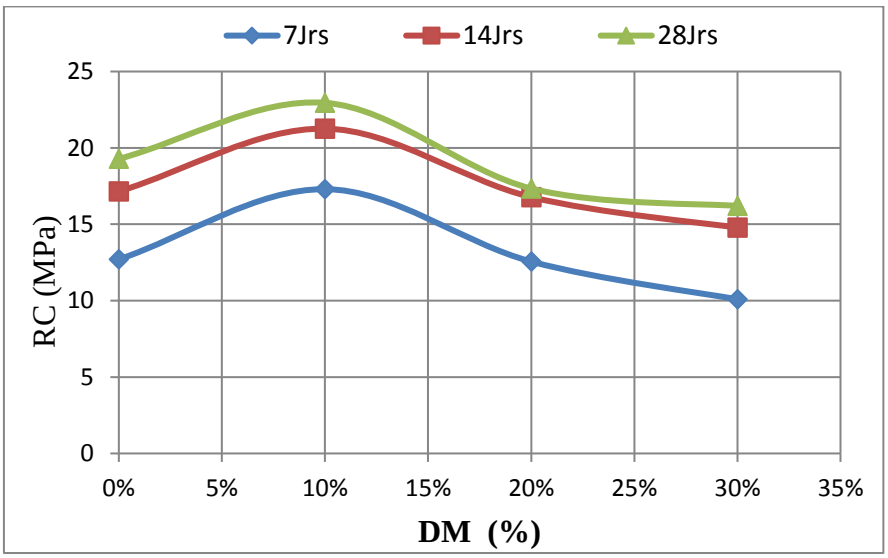


Figure IV- 4: **Résistance à la compression en fonction DM**

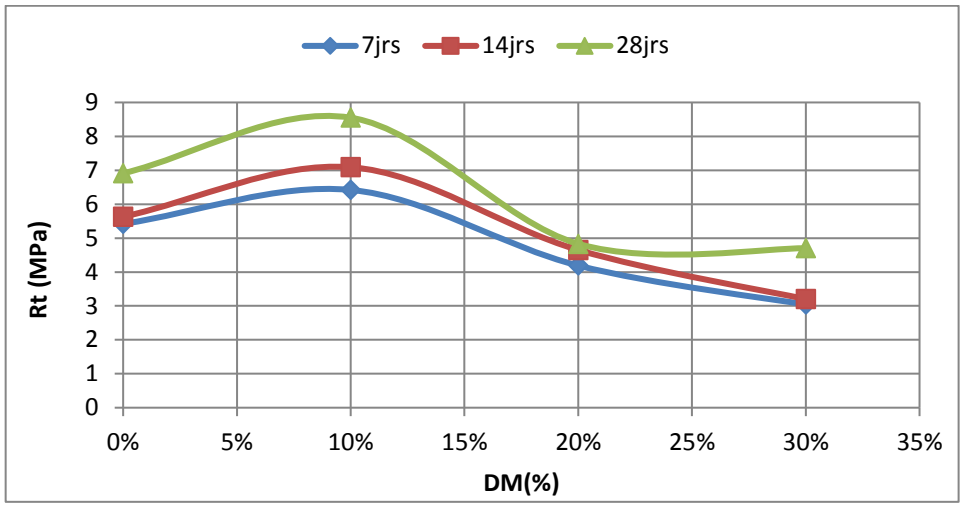


Figure IV- 5: Résistance à la traction en fonction de DM

Des deux figures IV.4 et IV.5 on remarque clairement que la résistance mécanique (en compression et en traction) des différents familles de béton avec DM (BSDM) réalisés augmente avec le temps (7, 14 et 28j) et suit la même cinétique que le béton témoin avec 100% de granulats naturels. Un optimum de 10% en DM participe à l'augmentation max de la résistance mécanique de BSDM avec une nette amélioration de la traction (qui arrivé jusqu'a 22% de gain en Rt) que la compression. Les DM utilisés avec leurs formes (entre grain, copeaux et aiguilles) et leur densité élevée contribuent à l'amélioration de la résistance mécanique du béton mais au-delà de 10% de substitution en DM la structure poreuse du béton augmente ce qui influe négativement sur cette résistance et par suite elle chute. Ces résultats concordent avec ceux trouvés par **Kesseir [41]** et sont confirmés dans le paragraphe IV.3.5 suivant.

IV.3.2 Effet de déchet métallique sure absorption d'eau par capillarité du béton

D'après la figure IV.6 qui résume l'essentiel des résultats trouvé de l'effet du déchet métallique sur l'absorption d'eau par capillarité du BS. On remarque que l'allure de la figure suit la même cinétique pour tous les **BS** étudiés. On constate aussi que l'absorption d'eau par capillarité du béton augmente avec l'augmentation du pourcentage de DM et arrive a une augmentation de 35% pour un ajout de 30% en DM. Cette augmentation peut être liée

l'augmentation de la porosité due à l'incorporation des DM dans le béton. ceci est confirmé dans le paragraphe IV.3.5 suivant.

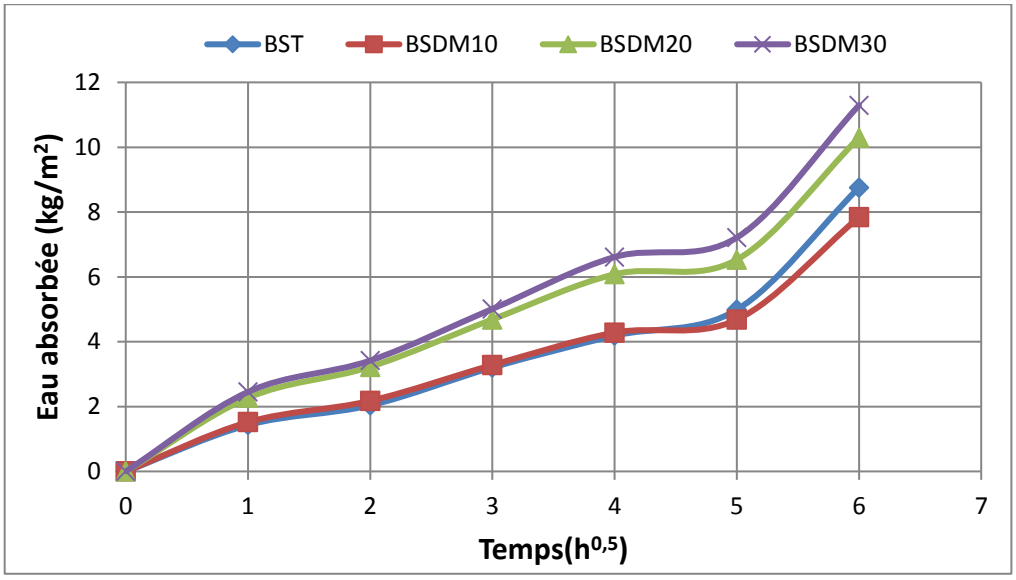


Figure IV- 6 : Absorption d'eau par capillarité des bétons en fonction du temps

IV.3.3 Effet de déchet métallique sure le retrait de BS

Afin de mieux mettre en évidence l'influence de déchet métallique, nous avons reporté sur un même graphe l'ensemble des résultats de retrait à l'air libre à différents âges (Figure IV.7)

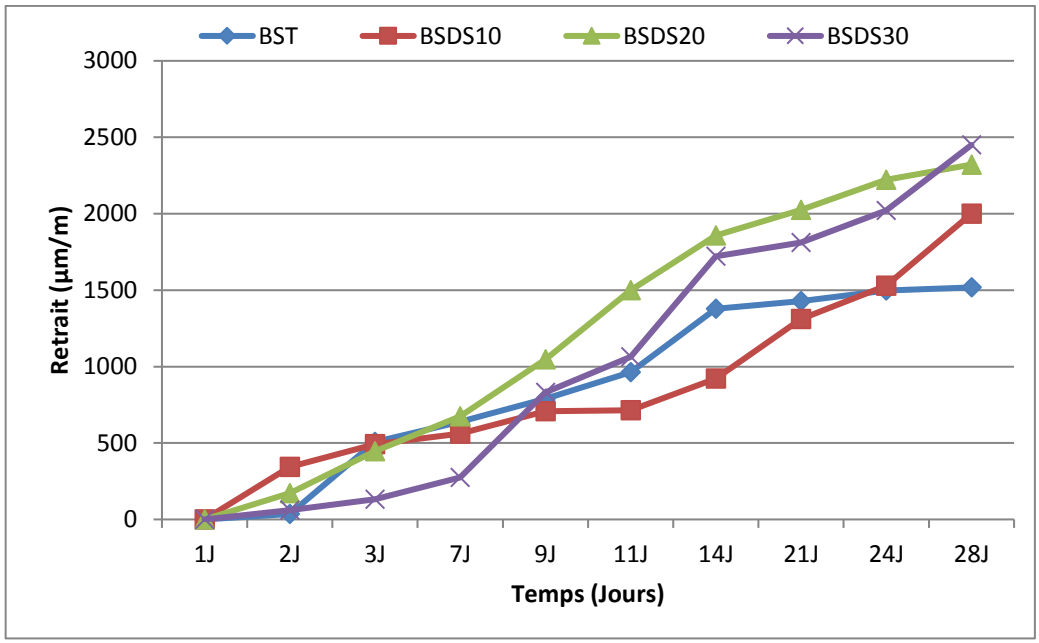


Figure IV- 7: Evolution du retrait à l'air libre du différents BS avec déchet métallique

D'après les résultats présentés dans la figure IV.8, on peut dire que le déchet métallique a un effet négatif sur le retrait, plus on augmente le pourcentage de déchets métallique, plus le retrait augmente. Une augmentation du retrait de béton qui atteint les 40% par rapport au BS témoin pour un ajout de 30% en DM. Ce phénomène est sans doute lié à la haute porosité du béton engendrée par l'ajout du déchet métallique. En plus, vu la forme de DM, les particules de déchet métallique contient plusieurs trous susceptibles d'emmagasiner de l'air en plus lors du gâchage ce qui augmente la porosité de BSDM et par suite augmente son retrait. Certains recherche de la bibliographie comme SAADI **[49]** confirme ce résultat. D'une autre façon et pour bien expliquer le retrait, on présente sur la figure IV.9 les résultats de variation massique durant ce phénomène. Les résultats montrent une perte en masse du béton d'environ **33%** par rapport au béton témoin pour un ajout de 30% de DM (BSDM30 %). Ce changement de volume du béton est du au séchage et sans doute due à la perte de l'humidité qui dépend de l'environnement. L'évaporation d'eau dans les pores d'un BS génère des pertes des masses pertes des masses.

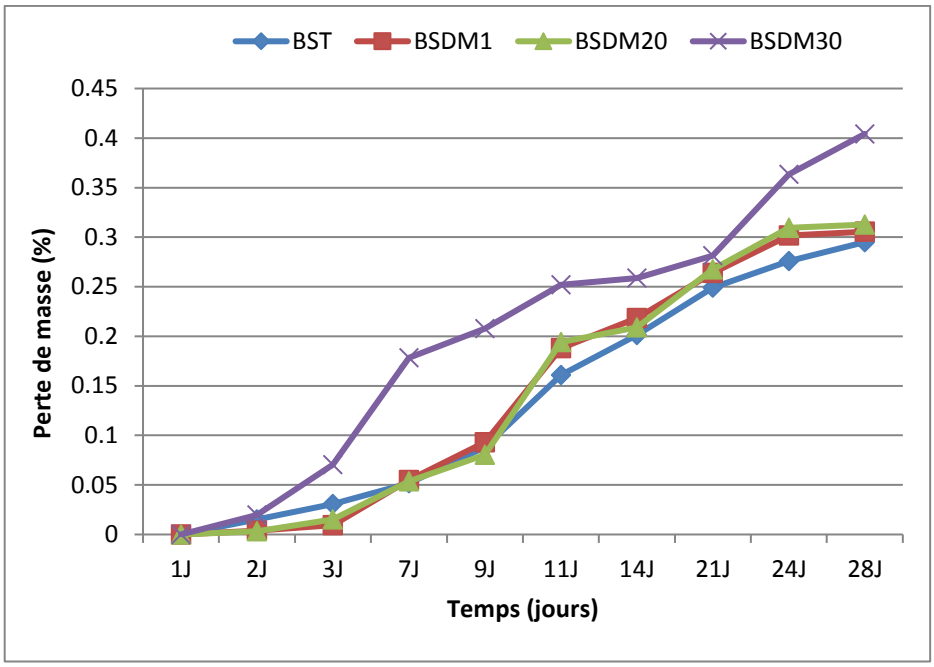


Figure IV- 8: Evolution de la perte de masse à l'air libre des du différents BS

IV.3.4 Effet des déchets métalliques sure le gonflement du béton

De la même façon que le retrait du béton, la figure IV.9 suivante résume les résultats trouvés sur le gonflement du béton avec et sans déchets métallique en fonction du temps.

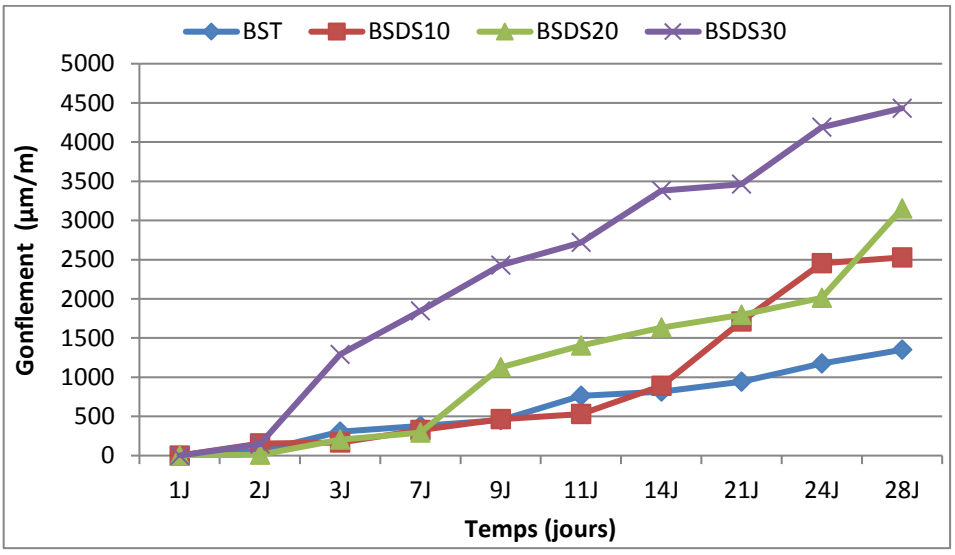


Figure IV- 9 : Evolution du gonflement du béton dans l'eau

Les résultats montrent que le gonflement du béton augmente avec l'augmentation en DM et atteint le double et demi que celui du BST avec 30% d'ajout de DM. Cette augmentation semble être stationnaire pendant les la première semaine puis démarre, à l'exception du BSDM30. Cette augmentation est probablement due à la corrosion des graines de DM qui a sans doute réagis avec le alcalins de la portlandite lors de l'hydrations du ciment ce qui a engendré une expansion.

D'une autre façon, ce phénomène de gonflement peut être expliqué par le gain en masse en fonction du temps. La figure IV.10 présente les résultats de la variation massique du BS en fonction du temps durant ce phénomène de gonflement. D'après les résultats trouvés, il convient de noter un gain visible en masse du béton et ceci avec l'accroissement en pourcentage de substituant en déchet métallique. Cette augmentation en masse du béton peut être expliquée par le remplissage d'eau des vides causée par l'ajout du déchet métallique dans le béton

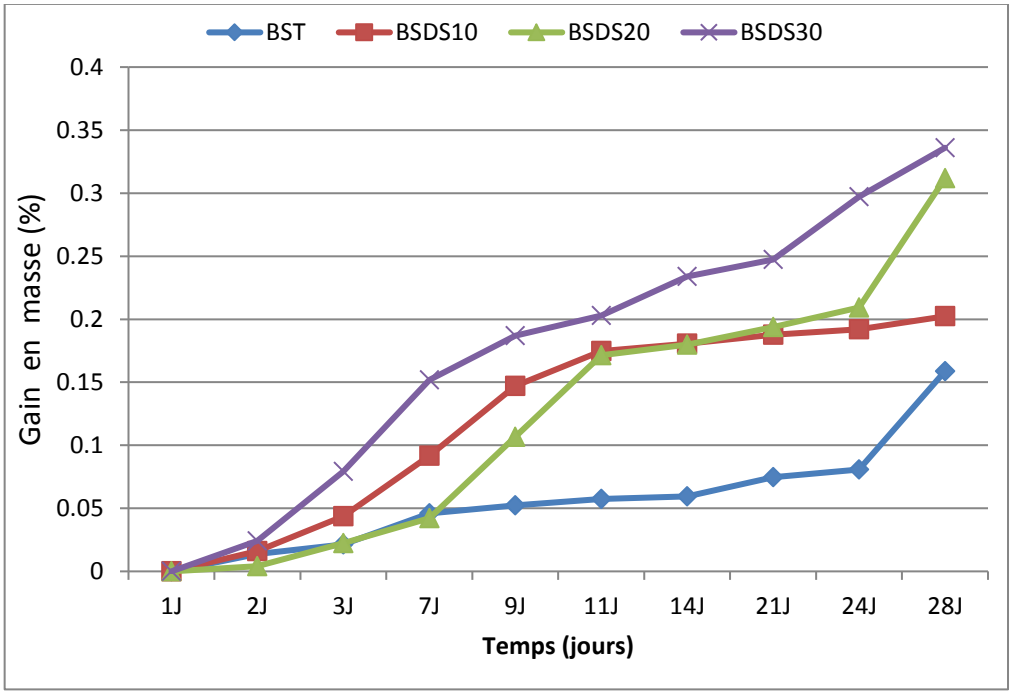


Figure IV- 10: Evolution du gonflement à l'eau des BSDM

IV.3.5 Effet de déchets métallique sure la porosité de BS

La **figure IV.11** illustre les résultats de la porosité des différents BS étudiés en fonction du pourcentage de substituant déchet métallique.

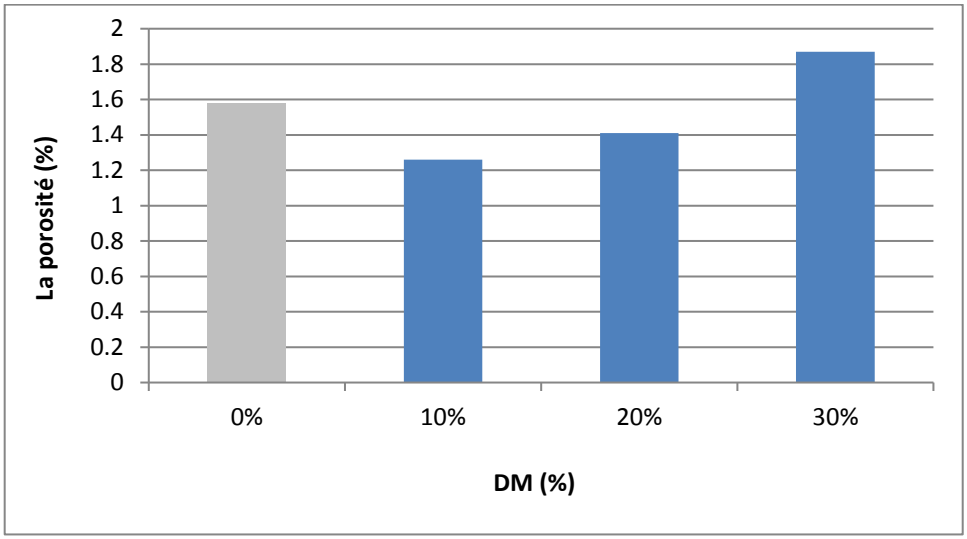


Figure IV- 11: **porosité du béton en fonction de % DM**

Il peut être clairement indiqué de la figure IV.12 que l'augmentation du pourcentage de DM engendre une augmentation de la porosité du béton avec une valeur qui atteint les 17**%** avec 30% de DM (**BSDM 30).** Cette augmentation est due à la création de vides à l'intérieure du béton, et de l'effet des voutes et l'effet des parois engendré par la forme des particules de DM. Cette augmentation en porosité peut être négative sur les autres propriétés du béton comme montré en ce qui suit. Dans ce contexte, la figure IV.13 suivante montre la relation entre la porosité et l'absorption d'eau par capillarité du BS avec divers pourcentages en déchets métalliques.

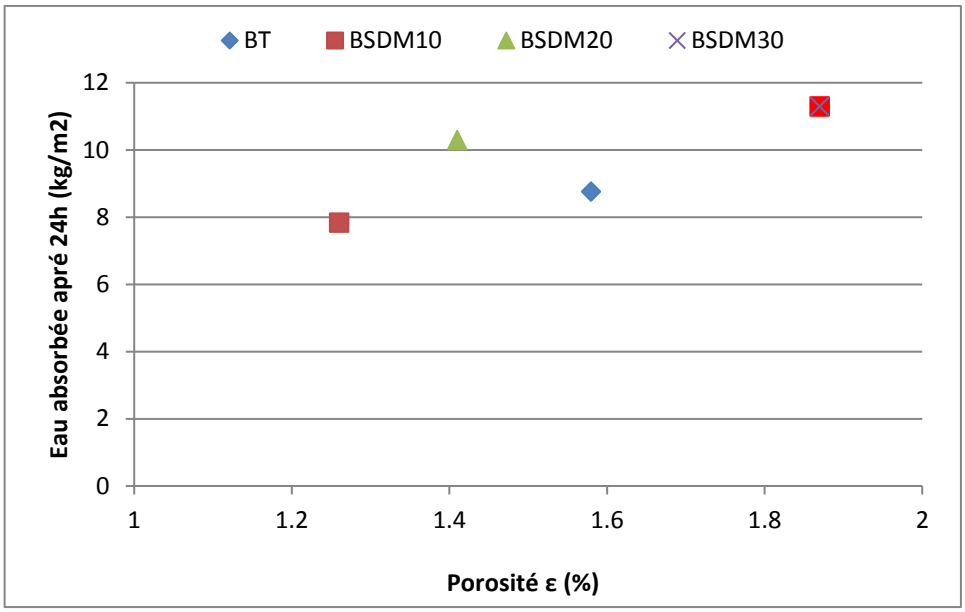


Figure IV- 12: Corrélation entre absorption d'eau et porosité du béton

De la figure IV-12 ci-dessus on remarque que plus la porosité du béton augmente plus l'absorption d'eau par capillarité de ce dernier augmente (sauf pour le cas du béton avec 10% de DM) et ceci en fonction de l'augmentation en % de DM. Ceci confirme les résultats et représentés en ce qui suit trouvés sur les corrélations entre résistance en compression et porosité du béton (Figure IV. 13 suivante) ainsi que la résistance à la traction et porosité (Figure IV. 14 suivante) comme déjà avancé dans le paragraphe IV.3.1.

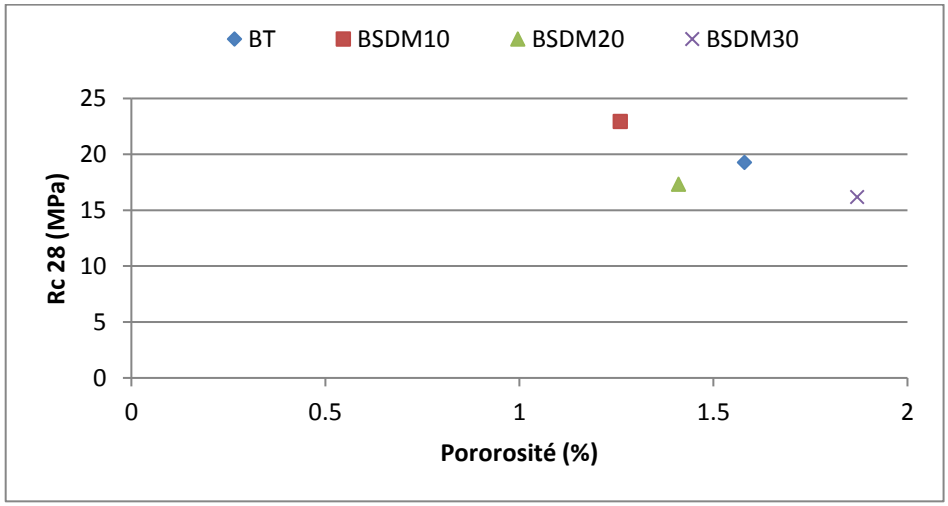


Figure IV- 13: Corrélation entre Resistance à la compression et porosité du béton

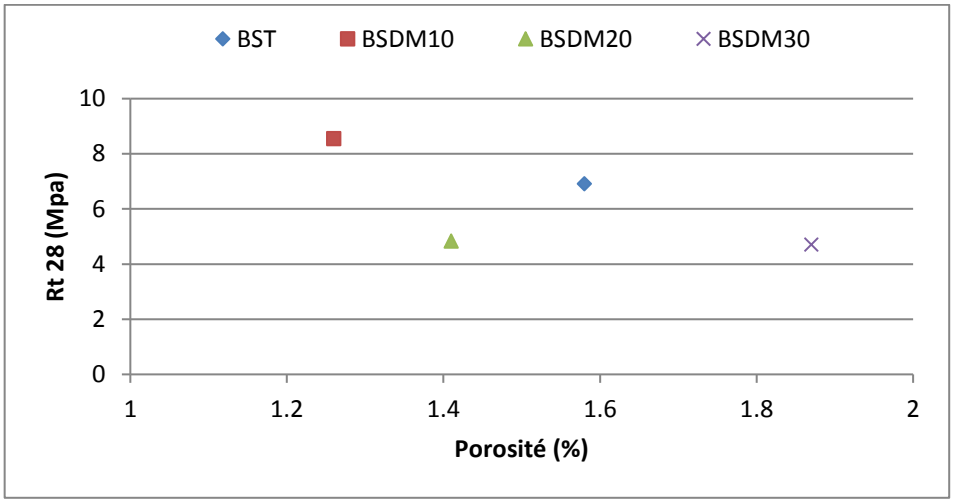


Figure IV- 14: Corrélation entre Resistance à la traction et porosité du béton

IV.3.6 Effet de déchets métallique sur la conductivité thermique du béton

La figure IV-15 montre l'effet de l'évolution de la conductivité thermique du béton en fonction du pourcentage d'ajout en DM. De ce graphe, on remarque que plus on augmente en pourcentage de DM, plus la conductivité thermique du béton augmente et par suite le pouvoir isolant du béton diminue. Ce résultat viens de confirmer les investigations de KESSIER **[41]** dans ce domaine**.**

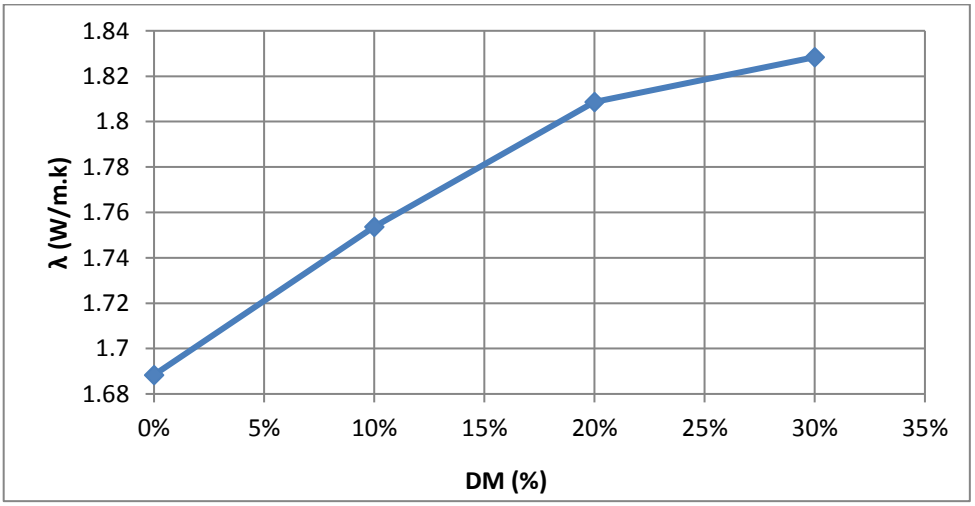


Figure IV- 15: Variation de la conductivité thermique du béton en fonction du % DM

Le béton ayant la conductivité thermique le plus élevée (1.8284 W/m.K) **BSDM30%** est celui qui a la densité apparente la plus élevée (2523 kg/m3) et l'inverse est vrais pour le plus petit qui est BST (1.6884 W/m·K) avec la densité (2131 kg/m3). Alors on peut conclure que la densité et la nature du métal utilisé dans le mélange joue un rôle important sur le pouvoir isolant de BS avec DM. Plus le béton est dense plus sa conductivité thermique augmente est par conséquence son pouvoir isolant diminue.

IV.3.7 Resistance au feu

La résistance en compression à 28 jours est la principale caractéristique utilisée pour caractériser la variation des propriétés thermiques du béton. **La figure IV-16** illustre la variation de la résistance a la compression en fonction de la température. Tous les bétons sont soumis à une calcination sous 200, 400 et 600°C et à chaque température on mesure le résistance en compression du béton.

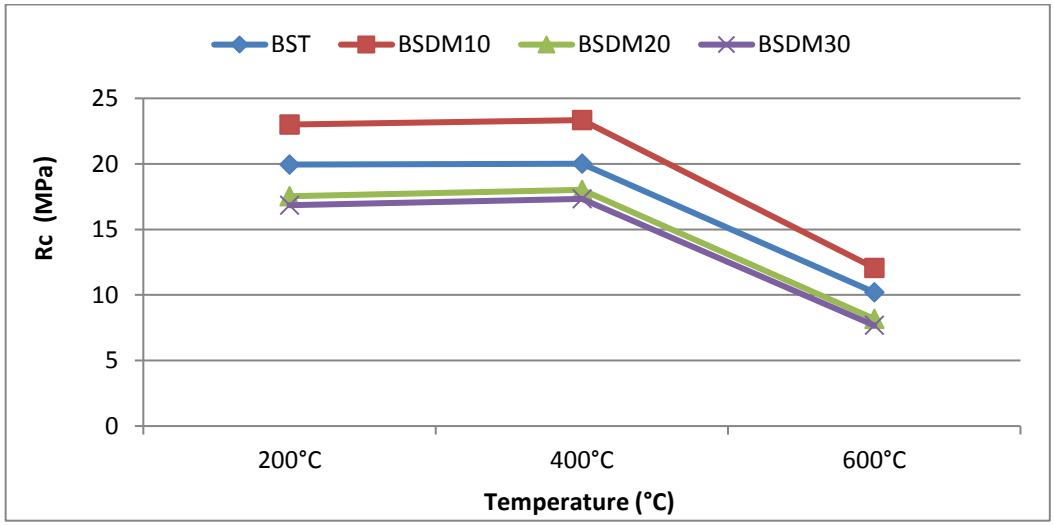


Figure IV- 16 la résistance a la compression en fonction de la température

A partir de la figure IV-14 on distingue deux zones de comportement du béton. de 200 à 400 °C, la résistance du béton est stationnaire mais a partir de ce seuil elle chute d'environ 50% et ceci pour tout les type de BSDM. Comme déjà expliqué par certaine recherche antérieurs, cette chute peu avoir origine une perte dans les forces d'attraction de l'etringite, suite à une transformation chimique, le repoussement des feuillets de CSH et fillers de calcaire [65].

D'une autre façon, on peut analyser la variation des propriétés thermiques du béton par la perte de masse du béton soumis a différents températures. Les courbes de la perte de masse relative des **BS** étudiés ont été rassemblées sur **la figure IV-17**. Les valeurs de perte de masse relative ont été représentées en fonction de la température.

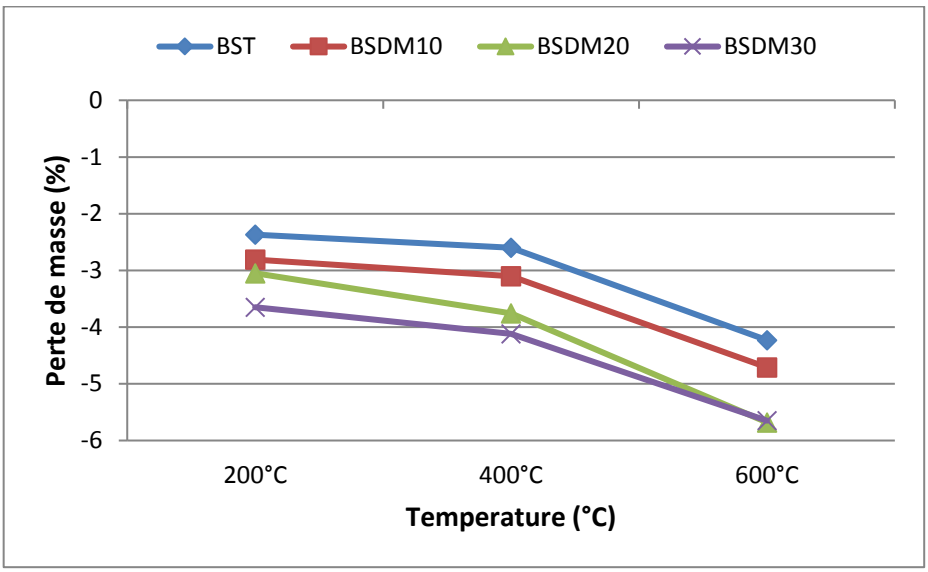


Figure IV- 17 : perte de masse en fonction de la température

De la figure IV.15, on observe une augmentation de la perte de masse en fonction de l'augmentation de température (les valeurs de l'axe des y sont négatif). De 200 à 400 °C, l'augmentation de la masse est faible et lente pour les quatre type du béton puis au dela de cette limite la perte de masse du béton augmente plus. La perte de masse dans ce palier de température (200-400°C) correspond à un départ d'eau libre contenue dans les pores du béton. Puis entre 400°C et 600 °C cette augmentation correspond au départ de la totalité de l'eau libre, capillaire ou liée chimiquement. La perte en masse est estimée entre 0.2% pour BST et 0.4% pour le BSDM30 de sa masse initiale.

Une augmentation de la perte de masse accompagnée d'une chute de résistance est très significative au-delà de 400 °C. Ceci peut être expliqué par une modification de la structure du béton due à la différence du coefficient de dilatation thermique de la pâte de ciment et des déchets métallique, l'augmentation de la porosité, l'apparition de micro et macro fissures et la décomposition du granulat à des températures supérieure à 600 °C. Ces mêmes résultats sont

obtenus par Hager et al. **[65].** Les figures IV.16 et IV.17 donne une idée générale sur l'aspect visuel de la surface du béton après calcination



Figure IV- 18: BSDM30 Après l'avoir placé à 600 ° C

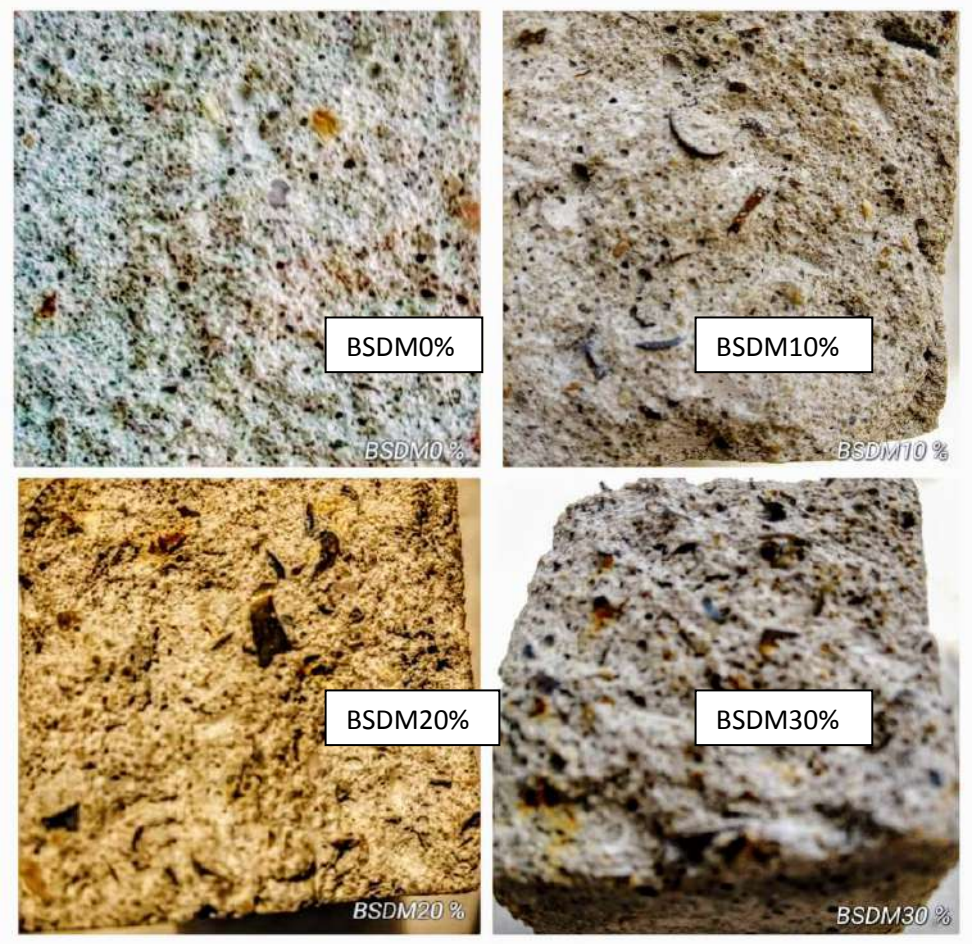


Figure IV- 19 : les différent BS étudiés

IV.4 Conclusion

Cette partie a présenté les différents résultats des essais expérimentaux ainsi que leur interprétation à l'état frais et à l'état durci des **BS** afin d'étudier l'influence de déchets métallique sur les propriétés physico- mécaniques et thermique

CONCLUSION GENERALE

Et

RECOMMANDATION

CONCLUSION GENERALE

Le béton de sable présente un caractère fragile et la dégradation de ce matériau est liée à des processus de fissuration. Le développement d'une fissure fait apparaître des déformations irréversibles, une perte de rigidité, et une localisation des déformations au niveau des zones endommagées. L'objectif de ce travail est de déterminer l'influence des déchets métalliques sur les performances du béton de béton de sable à l'état frais et durci. Sur la base des résultats obtenues on conclut que :

- La densité et la granulométrie de déchets métalliques est variable car ce genre de déchets contient plusieurs variétés de métaux (acier, font, cuivre…..etc.).
- Les différents formes des grains contenus dans les déchets métalliques (copeaux, grain, aiguille, …. Etc.) engendre un effet de voute et de parois à l'intérieur du mélange du béton a base de ce déchet. Ces phénomènes peuvent influencer négativement sur les propriétés du béton avec déchets métalliques.
- Lors du substituer de volume de sable avec les déchets métallique, notez que la fluidité du mélange augmente, et par conséquent nous avons diminué le pourcentage de superplastifiant.
- La densité du béton de sable augmente avec l'augmentation du pourcentage des déchets métalliques.
- La résistance à la compression chute en fonction du pourcentage de substitution en déchets métalliques, À l'exception de 10%, nous avons constaté une légère augmentation de la résistance mécanique
- Les déchets métalliques influent favorablement par diminution du retrait de béton. Un optimum de 10 % d'ajout de déchets métalliques est recommandé.
- Le pouvoir isolant du béton de sable avec déchets métalliques diminue avec l'augmentation du pourcentage des déchets métalliques.

RECOMMANDATIONS

Les observations et analyses que nous avons effectuées dans le cadre de cette recherche pourraient mener à des développements futurs dans le domaine du recyclage des déchets métalliques dans le béton. Les aspects suivants restent encore à aborder :

- la suite des recherches sur d'autre type de béton avec d'autre type de déchets métalliques et avec des pourcentages différents.
- Etudier la durabilité du béton avec déchets métalliques.
- Pour éviter la corrosion, les déchets métalliques doivent être recouverts de cuivre ou galvanisés, car ils sont très sensibles au contact de l'eau et de l'oxygène. Ce genre de traitement de ce genre de déchets et son incorporation dans le béton mérite une étude avancée.
- Il n'est pas recommandé d'utiliser ce béton dans des endroits humides car des déchets métalliques sont exposés à la surface du béton, car cela mène à gonflement et éclatement du béton.

Référence bibliographie

[1] Benaissa A, Morlier P, Viguier C, Chauvin J. Cinétique de déssication et retrait du béton de sable. ANNALES DE L'INSTITUT TECHNIQUE DU BATIMENT ET DES TRAVAUX PUBLICS1992.

[2] Bederina M. Caractérisation mécanique et physique des bétons de sables à base de déchets de bois. 2007.

[3] L BM. contribution à l'étude des bétons de sables dunaires pour éléments de structures [Thèse de magister]: Université de Constantine; Oct.1992.

[4] Bédérina M, Khenfer M, Dheilly R, Quéneudec M. Reuse of local sand: effect of limestone filler proportion on the rheological and mechanical properties of different sand concretes. Cement and concrete research. 2005;35:1172-9.

[5] Mohamed AA. Etude des propriétés mécaniques du béton de sable de dunes.

[6] Moutier F, Duan T, Chauvin J. The Effects of the Formulation Parameters on the Mechanical Behavior of Mixes. Association of Asphalt Paving Technologists Proc1988.

[7] Skender Z. Durabilité du béton à base de sable de concassage. 2009.

[8] Les normes françaises :.

- NF P15-301 : Liants hydrauliques - Ciments courants - Composition, spécifications et critères de conformité

- NF P15-431 : Liants hydrauliques - Technique des essais - Détermination du temps de prise sur mortier normal 94

- NF P15-471 : Méthodes d'essais des ciments – Partie 5 : essai de pouzzolanicité des ciments pouzzolaniques (Indice de classement)

- NF P15-473 : Méthodes d'essais des ciments – Partie 2 : analyse chimique des ciments (Indice de classement) 2006

- NF P15-476 : Méthodes d'essais des ciments - Partie 6 : détermination de la finesse1990

- NF P18-303 : Eau de gâchage pour béton

- NF P18-340 : Adjuvants spéciaux pour bétons1998

- NF P18-404 : Bétons - Essais d'étude, de convenance et de contrôle - Confection et conservation des éprouvettes1981

- NF P18 – 440 : Essai pour béton frais - Partie 6 : masse volumique1999

- NF P18 -452 : Bétons - Essai de compression - BETON 1981

- NF P18-541 : Granulats - Granulats pour béton hydrauliques – Spécifications1994

- NF P18 -500 : Béton ; Bétons de sable 1995

- NF P18-598 : Granulats - Équivalent de sable - GRANULATE 1991

- NF EN 933-1 : détermination de la granularité - Analyse granulométrique par tamisage 2012

- NF EN 1097-6 : détermination de la masse volumique réelle et du coefficient d'absorption d'eau2014

- NF EN 1097-3 : méthode pour la détermination de la masse volumique en vrac et de la porosité intergranulaire1998

- NF EN 933-8 : évaluation des fines - Équivalent de sable2012

- NF EN 934-2 : adjuvants pour béton - Définitions, exigences, conformité, marquage et étiquetage2012

- NF EN 993-15 : détermination de la conductivité thermique par la méthode du fil chaud (parallèle) 2005

- NF EN 13055-1 : granulats légers pour bétons et mortiers2002

- EN 196-1 : détermination des résistances mécaniques2006

- NBN NE 13057 : Méthodes d'essai - Détermination de l'absorption capillaire2002.

[9] Hadjoudja M. Contribution à l'étude physico-mécanique et durabilité du béton de sable de d'unes-Influence du traitement de cure et de l'ajout de fillers: Université de Laghouat-Amar Telidji; 2001.

[10] Neville, A., « Propriétés des bétons » Eyrolles, France, 2000.

[11] ASTM C 618 « Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete ».

[12] Adam M. Neville, propriétés des Bétons, Traduit par le CRIB, Editions Eyrolles, Paris, 2000.

[13] Moulin E, Revil P, Jain B. Using concrete technology to improve the performance of lightweight cements. SPE/IADC Middle East Drilling Technology Conference: Society of Petroleum Engineers; 1997.

[14] Tafraoui A. Caractérisation et valorisation du sable de l'erg occidental Algérien dans le BUHP et l'outillage 2007.

[15] Benabed B, Azzouz L, Damene Z. Comportement mécanique et durabilité de mortiers a base du sable de dune. Colloque CMEDIMAT Oran2005.

[16] Benmalek. M.L., Derbala .R. « Elaboration et caractérisation d‟un béton à base de sable dunaire et de sous–produits industriels »;université de Skikda et Guelma 2009.

[17] RebihZaitri, M. Bederina, F. Dif, Y. Guetaf « Etude de l‟˝influence des fines calcaires sur le comportement du béton formulé à base des granulats recyclés » 2015.

[18] Belmecheri« Etude d‟˝un composite à base de sable de dune, Ciment et granulats en billes de polystyrène expansé » Thèse de magister 2012.

[19] AbdulkadirKan a,*, RamazanDemirbog˘a«A novel material for lightweight concrete production» 2009.

[20] Bonavetti V, Irassar E. The effect of stone dust content in sand. Cement and Concrete Research. 1994;24:580-90.

[21] Ramamurthy K, Nambiar EK, Ranjani GIS. A classification of studies on properties of foam concrete. Cement and concrete composites. 2009;31:388-96.

[22] Zaitri R, Bederina M, Dif F, Guetaf Y. Etude de l'influence des fines calcaires sur le comportement du béton formulé à base des granulats recyclés. Rencontres Universitaires de Génie Civil2015.

[23] Cisse I., Laquerbe M. (mars 1999): « Caractérisation des bétons de sable routiers compactés:application, cas du Sénégal » ; Matériaux et construction ; volume 32 ; pp.151-.

[24] Benaissa, A. ; MORLIER, P. ; TRAM, V. (oct. 1992) : “ Le béton de sable, un matériau non fissurant”; Algérie-équipement, N°6, pp7-11.

[25] Mourad MH. 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. 2001.

[26] Besma B, Samira B. Béton de sable a base de fibres végétales (pétioles de feulles de vingneà. JUIN 2015.

[27] Shink M. Fissuration des materiaux cimentaires renforces de microfibres d'acier (French text). 2000.

[28] Mestere Vl. Utilisation des bétons de sable : comblement cavités sous pile de pont. Novembre 1995:PP : 29-33.

[29] DJITRINOU EA. modélisation de comportement mécanique de supports de lignes électriques en béton de sables armé et précontraint pour le réseau d'électrification rurale 2003.

[30] Roussel Y. Béton autoplaçant avec fibres comme matériau de réparation du béton. (Québec) CANADA (2000).

[31] Sablocrete C. pratiques d'utilisation. Sablocrete, Projet national de Recherche Développement, Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Edition Lavoisier. 1994:236.

[32] Bédérina M. Caractérisation mécanique et microstructure des bétons de sables locaux: effets des fillers et de la nature des sables sur le comportement mécanique du matériau. Mgister Thesis, University of Laghouat, Algeria (in French). 2000.

[33] Guoxue Z, Jianxia S, Xiaohang L. Effect of bars corrosion on bond in reinforced concrete structures [J]. Industrial Construction. 2000;30:37-9.

[34] Chanvillard G, Basuyaux O. Une methode de formulation des betons de sable maniabilite et resistance fixees. BULLETIN-LABORATOIRES DES PONTS ET CHAUSSEES. 1996:49-64.

[35] COQUILLAT G. Fluage des bétons HP chargés au jeune âge. Voies Nouvelles du Matériau Béton, Rapport de Recherche. 1992:101.

[36] Acharya PK, Patro SK. Use of ferrochrome ash (FCA) and lime dust in concrete preparation. Journal of cleaner production. 2016;131:237-46.

[37] COURET B. Utilisation du béton de sable en technique routière: CNAM; 1982.

[38] Mezidi O. 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. 2008.

[39] Presse d'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées(1994): Béton de sable, Caractéristiques et pratique d"utilisation ; Projet " SABLOCRETE ".

[40] Dreux G, Festa J. Nouveau guide du béton et de ses constituants: Eyrolles; 1995.

[41] Mohamed K. LE BÉTON A BASE DE DÉCHETS MÉTALLIQUES. Projet de Fin d'Etude Pour l'obtention du diplôme de Master en Génie Civil. JUIN 2011.

[42] Debieb F, Courard L, Kenai S, Degeimbre R. Mechanical and durability properties of concrete using contaminated recycled aggregates. Cement and Concrete Composites. 2010;32:421-6.

[43] PIMIENTA, REMOND P. Bétons de déchets : prévenir les risques. CSTB magazine, n° 109, pp 28-30. novembre 1997.

[44] Debieb F, Courard L, Kenai S, Degeimbre R. Roller compacted concrete with contaminated recycled aggregates. Construction and Building Materials. 2009;23:3382-7.

[45] CHERAIT Y, Zahredinne N. Eléments de matériaux de construction et essais. Université de GUELMA. 2007.

[46] Valdés López BR. Etude de transformations de phases dans des alliages d'aluminium par la technique des couples de diffusion: Toulouse, INPT; 2006.

[47] Rouessac F, Rouessac A, Ourisson G. Analyse chimique(méthodes et techniques instrumentales modernes). Enseignement de la chimie. 1998.

[48] CASANOVA P. Betons renforces de fibres metalliques: du materiau a la structure-etude experimentale et analyse du comportement de poutres soumises a la flexion et a l'effort tranchant. These de doctorat de l'ecole nationale des ponts et chaussees, specialite: structures et materiaux. 1995.

[49] SAADI A. Formulation et étude d'un béton de route à base de Matériaux locaux.". Civil engineering department", Université of Blida, Master Thesis, Blida, Algeria. 2010.

[50] Duval R. La durabilité des armatures et du béton d'enrobage. Paris: Pressesde l'École Nationale des Ponts et Chaussées. 1992:173-225.

[51] Bentalha-Malou M. Influence de l'introduction de fibres métalliques sur le comportement différé d'une matrice cimentaire. Caractérisation-comportementmonotone-microstructure. 2007.

[52] Benboudjema F. Modélisation des déformations différées du béton sous sollicitations biaxiales. Application aux enceintes de confinement de bâtiments réacteurs des centrales nucléaires: Université de Marne la Vallée; 2002.

[53] Gérard B, Marchand J. Influence of cracking on the diffusion properties of cement-based materials: Part I: Influence of continuous cracks on the steady-state regime. Cement and Concrete research. 2000;30:37-43.

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

[55] NF EN 1097-6, 2001. « 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.

[56] Norme Francaise, NF P 18 - 452 « Béton – Mesure du temps d¨ecoulement des bétons et des morties aux maniabilimètres», Norme enregistrée, Mai 1988.

[57] Norme Francaise, NF P 15-437 « Liants hydrauliques – technique des essais – Caratérisation des ciments par mesure de fluidité sous vibration des moriers», Juin 1987.

[58] Norme Algérienne, NA 2607 : « Granulats-Analyse granulométrique par tamisage»,Norme enregistrée, 1990.

[59] Norme Francaise, NF EN 12350-6 « Essais pour béton frais – Partie 6 : masse volimique», avril 2012, (indice de clacement : P18 - 431 – 6) .

[60] Norme Francaise, NF P 18-412« Béton : Caractéristiques communes des machines hydrauliques pour essais de compression, flexion et traction des matériaux durs», Norme enregistrée, Déc. 1981.

[61] Norme Francaise, NF EN EN 196-1« Méthodes des essais des ciments – partie 2 : analyse chimique des ciments», avril 2006, (indice de clacement : P15 - 471 – 1) .

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

[63] NF 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 200.

[64] Les normes algériennes

- NA 442 : Composition, spécifications et critères de conformité des ciments courants 2001

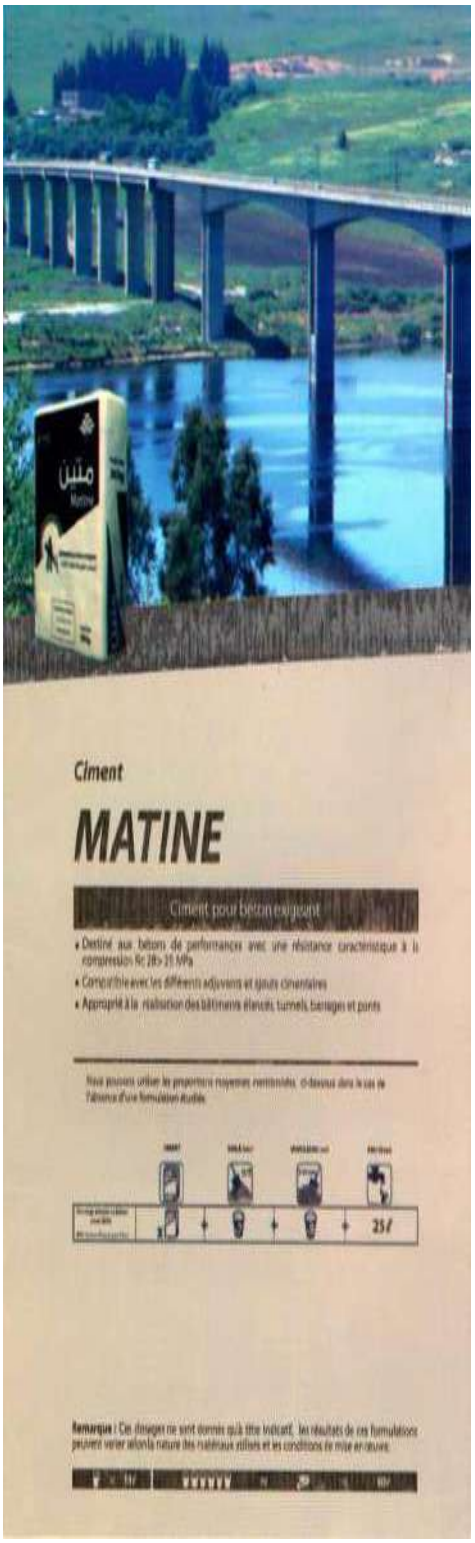
- NA 451 : Détermination de la teneur en eau pae séchage en étuve ventilée1998

- NA 2607-1990 : Granulats - Analyse granulométrique par tamisage1990.

[65] Hager I. Comportement à haute température des bétons de sable: évolution des principales propriétés mécaniques: École nationale des ponts et chaussées (France); 2004.

ANNEXES

Annexe A : Fiche technique du ciment



LAFARGE
لافارج

FICHE TECHNIQUE

MATINE

Ciment pour béton exigeant

CEM II/A 42,5 R NA 442

MATINE est un ciment gris de hautes résistances initiales et finales, résultat de la mouture du clinker obtenu par cuisson jusqu'à la fusion partielle (clinkérisation) 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'alumine (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 et 1500°c. En présence d'eau a lieu la réaction d'hydratation consistant en la formation d'un réseau résistant (propriété hydraulique) constitué principalement de microcristaux de silicates de calcium hydratés.

MATINE présente des performances mécaniques et des caractéristiques physico-chimiques conforment à la norme NA 442, EN 197-1 et à la norme NF P 15-301/94 .

Domaine d'utilisation :

MATINE est utilisé pour tous les projets courants qui nécessitent des hautes résistances mécaniques mais ne présentent pas un besoin spécifique dans les ouvrages en béton qui ne sont pas exposés à des conditions sévères comme l'attaque des sulfates du sol ou de l'eau, ainsi que dans les ouvrages dans lesquels le béton n'est pas affecté par le taux de chaleur d'hydratation du ciment.

Les principales applications de ce ciment sont :

- Secteur habitat (logements et d'autres constructions civiles) :
- Secteur travaux publics (tunnels, ponts, port, aéroport .ect) :
- Secteur hydraulique (barrages, châteaux d'eau, stations d'épuration, stations de désallement,..ect) ;
- Secteur industriel.

Algerian Cement Company (SPA)
33, Rue des Pins. Hydra. Alger, Algérie
Tél.: +213 (0) 21 48 16 65
Fax : +213 (0) 21 48 16 71

Annexe B : Fiche technique du **VISCOCRETE TEMPO12**

Construction

Notice technique
Edition juin 2017
Numéro 1.20
Version n°106. 2017
SIKA® VISCOCRETE® TEMPO 12

SIKA® VISCOCRETE® TEMPO 12

Superplastifiant/Haut Réducteur d'eau polyvalent pour bétons prêts à l'emploi.

Conforme à la norme NF EN 934-2 Tab. 1, 3.1 et 3.2

Présentation
SIKA VISCOCRETE TEMPO 12 est un superplastifiant/haut réducteur d'eau polyvalent de nouvelle génération non chloré à base de copolymère acrylique.

Domaines d'application
- SIKA VISCOCRETE TEMPO 12 permet la fabrication de bétons plastiques à autoplaçants transportés sur de longues distances et pompés.
- Dans les bétons autoplaçants, SIKA VISCOCRETE TEMPO 12 améliore la stabilité, limite la ségrégation du béton et rend les formules moins susceptibles aux variations d'eau et des constituants.

Caractères généraux
SIKA VISCOCRETE TEMPO 12 est un superplastifiant puissant qui confère aux bétons les propriétés suivantes :
- longue rhéologie (>2h),
- robustesse à la ségrégation,
- qualité de parement.

RHÉOLOGIE	RÉSISTANCES INITIALES	RÉDUCTION D'EAU
5	3	4

Agréments, essais de laboratoire
- PV CNERIB : DTEM : 108/2017.

Caractéristiques

Aspect
Liquide brun clair

Conditionnement
- Fûts de 230 kg
- CP de 1000 L
- Vrac

Stockage
Dans un local fermé, à l'abri de l'ensoleillement direct et du gel, entre 5 et 30 °C.
SIKA VISCOCRETE TEMPO 12 peut geler, mais, une fois dégelé lentement et réhomogénéisé, il retrouve ses qualités d'origine.
En cas de gel prolongé et intense, vérifier qu'il n'a pas été déstabilisé.

Conservation
1 an en emballage intact

Données techniques

densité
1,06 ± 0,01

pH
6 ± 1

Teneur en Na_2O Eq.
≤ 1 %

Extrait sec
30,2 ± 1,3 %

Construction

Teneur en ions Cl⁻	≤ 0,1 %

Conditions d'application

Dosage

Plage d'utilisation recommandée : 0,2 à 3 % du poids du liant ou du ciment selon la fluidité et les performances recherchées.
Plage d'utilisation usuelle : 0,4 à 1,5 % du poids du ciment ou du liant.

Mise en œuvre

SIKA VISCOCRETE TEMPO 12 est ajouté, soit en même temps que l'eau de gâchage, soit en différé dans le béton préalablement mouillé avec une fraction de l'eau de gâchage.

Précautions d'emploi

En cas de contact avec la peau, laver abondamment à l'eau.
Consulter la fiche de données de sécurité.

Mentions légales

Produit réservé à un usage strictement professionnel.
Nos produits bénéficient d'une assurance de responsabilité civile.
«Les informations sur la présente notice, et en particulier les recommandations relatives à l'application et à l'utilisation finale des produits SIKA, sont fournies en toute bonne foi et se fondent sur la connaissance et l'expérience que la Société SIKA a acquises à ce jour de ses produits lorsqu'ils ont été convenablement stockés, manipulés et appliqués dans des conditions normales. En pratique, les différences entre matériaux, substrats et conditions spécifiques sur site sont telles que ces informations ou toute recommandation écrite ou conseil donné n'impliquent aucune garantie de qualité marchande autre que la garantie légale contre les vices cachés. Notre responsabilité ne saurait d'aucune manière être engagée dans l'hypothèse d'une application non conforme à nos renseignements. Les droits de propriété détenus par des tiers doivent impérativement être respectés. Toutes les commandes sont acceptées sous réserve de nos Conditions de Vente et de Livraison en vigueur. Les utilisateurs doivent impérativement consulter la version la plus récente de la fiche technique correspondant au produit concerné, qui leur sera remise sur demande.»

Sika El Djazair
08 route de l'Arbaa, 16111 Eucalyptus
Alger/ ALGERIE
Web : dza.sika.com

Tel : 213 (0) 21 80 21 84
213 (0) 21 80 16 92 à 95
Fax: 213 (0) 21 80 22 08

Annexe C : déférence entre béton ordinaire et béton de sable

