REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de L'enseignement Supérieur et de La Recherche Scientifique

Université de Médéa YAHIA FARES

Faculté de Technologie

Département de génie civil

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDE POUR L'OBTENTION DU DIPLÔME DE MASTER EN GÉNIE CIVIL

Option : Matériaux en génie civil

THEME

L'INFLUENCE DE LAITIER GRANULE SUR LES PROPRIÉTÉS DE BETON DE SABLE FLUIDE

Réalisé par :

Fethi Maghraoui

Cherrati Abdelaziz

Proposé et dirigé par :

Dr. Guendouz Mohamed

M*elle*. Boukhelkhal Djamila

Promotion juin 2018


بسم الله الرحمن الرحيم

ملخص

الهدف الرئيسي من هذا المشروع هو المساهمة في تثمين و رسكلة خبث أفران الصهر المحبب ودمجها بشكل حجمي للرمل في كتلة الخرسانة الرملية المائعة بنسب مختلفة (0٪، 5٪، 10٪، 15٪, 20٪، 25٪، 30٪) على التوالي مع دراسة خصائصها في الحالة الرطبة وفي الحالة الصلبة ومقارنتها مع خرسانة رملية مائعة عادية.

وقد أظهرت النتائج أن الخصائص الميكانيكية للخرسانة الرملية المائعة تتحسين. بحوالي 11٪ باستبدال 5٪ من الرمل الطبيعي بالخبث المحبب. لذلك فمن الممكن الحصول على مواد البناء الجديدة التي يمكن استخدامها لأنواع مختلفة من عناصر البناء.

Remerciement

Tout d'abord, Nous tiens à remercier ALLAH, le clément et le miséricordieux de m'avoir donné la force et le courage de mener à bien ce modeste de travail.

Ce n'est pas qu'il est difficile de remercier tous ceux qui ont participé de près ou de loin à ce travail, mais il faut avouer que les formules sont nombreuses et que le choix des bons mots a été toujours difficile. Entre vifs, sincères, profonds et nous passons les obscures subtilités de la langue française, le choix de la formule de remerciements est difficile. Nous tiens à remercier :

Notre encadreurs Dr. ***GUENDOUZ Mohamed*** *et* ***M^{elle} BOUKHELKHAL Djamila*** *d'avoir accepté de nous encadrer, et pour ses conseils précieux pendant la réalisation de ce travail. Pour l'honneur qu'il m'a fait d'encadrer ce travail, pour sa disponibilité, pour son écoute, pour l'aide très précieuse et l'intérêt constant qu'il a bien voulu montrer pour ce travail qu'il a guidé par de judicieux conseils, qui a bien su me communiquer pour mener au mieux cette étude.*

Nous sommes grées au membre de jury, d'avoir accepté d'examiner ce travail et de présider le jury de notre travail.

Je leur exprime ma profonde reconnaissance pour leur lecture critique et éclairante sur ce travail de recherche.

Un grand merci est adressé à tous les ingénieurs et les travailleurs du hall pour leurs aides et disponibilités.

Mes sincères remerciements vont également à tous les enseignants du département de Génie civil de l'université de Médéa, qui nous ont offert tout ce savoir.

Et nous n'oublions certainement pas nos parents nos amis ainsi tous ceux qui nous ont aidés dans notre tâche, nous leur dirons merci.

Enfin je remercie tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.

Fethi/Abdelaziz

Résumé

L’objectif principal de ce projet consiste à valoriser et recycler le laitier granulé de haut fourneau et incorporé dans la masse du béton de sable fluide par substituions volumique du sable avec différents pourcentage (0%,5% ,10% ,15%,20%,25% et 30%). Les propriétés à l’état frais et à l’état durci des différents mélanges réalisés ont été analysées et comparées auxbéton de sable témoin respectif.

Les résultats obtenus montrent que la performance mécanique du béton de sable fluide est améliorée d’environ 11% en fonction de substitution de 5% du sable naturel par le laitier granulé. Donc, il est possible d’obtenir un nouveau matériau de construction utilisable pour différents types d’éléments de construction**.**

Abstract

The main objective of this project is valorization and recycling of Granulated Blast Furnace Slag and incorporated into the mass of flowable sand concrete by volumetric substitution of sand at different percentage (0%,5% 10% ,15%,20%,25% et 30%). The properties in a fresh and a hardened state of the various flowable sand concretes carried out were analyzed and compared with control flowable sand concrete respective.

The results obtained show that the mechanical and thermal properties of the flowable sand concrete is increasing about 11% according to substitution of 5% of naturel sand by Granulated Blast Furnace Slag. So, it is possible to obtain a new material, which allows a use in the various types of structural components**.**

Sommaire

Remerciement I
ملخص..... III
Résume..... IV
Abstract V
Sommaire..... VI
Liste des tableaux..... IX
Liste des figures..... XI
Listes des symboles et des abréviations..... XV

INTRODUCTION GENERALE.....02

Chapitre 01 : synthese bibliographique

1.1 Introduction 05
1.2 Valorisation et recyclage des déchets.....05
1.2.1la valorisation des dechets.....05
1.2.2 Déchets.....05
1.2.3Type des déchets.....06
1.2.4 La valorisation de déchets en Algérie.....08
1.2.5 Recyclage de dechets.....11
1.2.6 Sous-produits industriel et leur valorisation en génie civil.....11
1.3 Le laitier de haut forneau.....12
1.3.1 Origine.....12
1.3.2 Formation.....13
1.3.3 Méthode de refroidissement.....13
1.3.4 Élaboration.....15
1.3.5 Caractéristiques physico-chimique.....16
1.3.6 Caractéristiques minéralogiques.....17
1.3.7 Valorisation de laitier de haut Fornoue.....19
1.4 Le béton de sable.....19
1.4.1 Introduction.....19
1.4.2 Historique.....20

1.4.3 Définition de bétons de sable.....23
1.4.4 Les composants du béton de sable.....24
1.4.5 Propriété de bétons de sable.....27
1.4.6 Exemple d'application le béton de sable.....34
1.4.7 types de béton de sable.....36
1.4.8 La formulation de béton de sable.....38
1.5 Valorisation de laitier du haut fourneau dans les matériaux à base cimentaire...50
1.5.1 Introduction.....50
1.5.2 L'influence de laitier granule dans les matériaux à base cimentaire..... 51
a) ouvrabilité.....50
1.5.2.2 état durci.....52
a) résistance a la compression et à la traction.....52
1.6 approche de durabilité.....54
1) retrait.....54
2) résistance au feu.....54
1.7 Conclusion.....55

Chapitre 02 : Matériaux et essais

2.1 Introduction.....57
2.2 Matériaux utilisés.....58
2.2.1 Le sable.....58
2.2.2 Le ciment.....60
2.2.3 Les fillers.....61
2.2.4 Adjuvant.....62
2.2.5 Eau de gachage.....62
2.2.6 laitier granule.....62
2.3 Composition de mélange.....63
2.4 Malaxage et conservation.....64
2.5 Essai réalisé à l'état frais.....65
2.5.1 Etalement.....65
2.5.2 La densité.....66
2.5.3 Essai de l'entonnoir en (v-funnel).....67
2.6 Fabrication et confection des eprouvettes.....67

2.7 Essai sur le béton de sable fluide durci.....68
2.7.1 Essai de compression.....68
2.8 Essai sure l'approche de durability.....70
a) absorption capillaire.....70
b) la variation dimensionelle.....71
2.9 variable étudier.....73
2.10 Conclusion.....74

Chapitre 03 : résultats et interprétation

3.1 Introduction.....76
3.2 influencée déchets de laitier sure les comportements de BSF.....76
3.2.1 Caractéristique du BSF a l'état frais.....76
3.2.2 approche de durabilité……..... 80
3.2.1.1 etalement.....76
3.2.1.2 Temps d'écoulement dans l'entonnoir (V-funnel).....77
3.2.1.3 Densité.....78
3.3 Caractéristiques de BSF à l'état durci.....79
3.3.1 Résistances à la compression.....79
3.3.2.1 absorption d'eau.....80
3.3.2.2 retrait.....81
3.3.2.3 gonflement.....82
3.4 Conclusion.....83
Conclusions Générales Et Recommandations.....85
Références Bibliographiques.....88
Annexe.....91

Liste des Tableaux

Liste des Tableaux

Tableau.1.1 Composition chimique élémentaire du laitier de haut-fourneau 16

Tableau.1.2 Constituents des laitiers cristallisés d'après 18

Tableau.1.3 Relation entre la granulométrie et le dosage en ciment 25

Tableau 2.1 Caractéristiques physiques de sable utilisé 59

Tableau 2.2 composition chimique de ciment utilise 61

Tableau 2.3 composition minéralogique de ciment utilisé 61

Tableau 2.4 essai physique sure le ciment utilisé 61

Tableau 2.5 Caractéristiques physiques de fines de marbre utilise 62

Tableau 2.6 Caractéristiques de laitier utilise 63

Tableau 2.7 composition de beton de sable fluide de laitier granule pour (1 m^3) 64

Tableau 2.8 essais sure le béton de sable fluide 65

Tableau 2.9 essais sur le béton de sable durci 68

Liste des Figures

Liste des figures

Fig.1.1. Stratégies de traitement des déchets 10

Fig.1.2. Représentation schématique d'un haut fourneau. 13

Fig.1.3. Principaux traitement de Laitier 14

Fig.1.4. Laitier cristallisé compact 15

Fig.1.5. Laitier cristallisé poreux 15

Fig.1.6. laitier bouleté 16

Fig.1.7. Diagramme de Kei 17

Fig.1.8. Phare de Port-Saïd 1969 21

Fig.1.9. Le pont de Brooklyn1871-72New York 22

Fig.1.10. La maison de COIGNET 22

Fig.1.11. Aqueduc des eaux de captation de la rivière « La Vanne » 23

Fig.1.12. BS, BS chargé et BO 23

Fig.1.13. Evolution de la porosité en fonction du module de finesse) 29

Fig.1.14. Variation du coefficient de compacité en fonction du diamètre maximal des grains de sable (Dmax) 29

Fig.1.15. Effet du dosage en filler sur la compacité du béton de sable 30

Fig.1.16. Evolution de la maniabilité en fonction du module de finesse des sables 31

Fig.1.17. Effet des ajouts sur la maniabilité du béton de sable 31

Fig.1.18. Effet du rapport E/C sur la maniabilité d'un béton de sable dunaire 32

Fig.1.19. Eprouvettes non vibrées non piquées 33

Fig.1.20. Pont de Saint-Martory 35

Fig.1.21. Les éléments préfabriqués en béton de sable 36

Fig.1.22. Domaine d'application de béton de sable 36

Fig.1.23. Dallage en BS fluidifié auto compactant (Base aérien de Dijon) 38

Fig.1.24. Influence du diamètre D du sable sur le dosage en fibres 41

Fig.1.25. Influence de la dimension d sur la porosité minimale du béton Pour deux tailles du sable 42

Fig.1.26. Relation entre l'ouvrabilité et le dosage (e + v) d'une matrice 43

Fig.1.27. Coefficient d'activité du filler calcaire (modèle) Pour mise en œuvre donné 45

Fig.1.28. Organigramme de la méthode théorique**.** 46

Fig.1.29. Evolution de la maniabilité en fonction Du dosage en fine d'addition 50

Fig.1.30. Masse volumique apparente en fonction Du dosage en fine d'addition 50

Fig.1.31. Temps d'écoulement du béton à base de laitier granulés 51

Fig.1.32. La résistance à la compression du béton en fonction de pourcentage de laitier haut fourneau à l'âgé de 28 (a) et 90(b) jours 52

Fig.1.33.L'influence de laitier haut fourneau sur la résistance à la compression du béton 53

Fig.1.34.28 Days Strength of BSF Concrete for different mixes 53

Fig.1.35. La résistance à la compression à l'âge 28jours du béton à base de laitier granulé 54

Fig.1.36. La résistance à la compression à l'âge 56 jours du béton à base de laitier granulé 55

Fig.2.1. Le sable utilisée 58

Fig.2.2. Courbe granulométrique du sable et de laitier granulé utilisés 59

Fig.2.3. Ciment MATINE utilisée 60

Fig. 2.4 diagramme de DRX appliqué sure le ciment utilisé 61

Fig.2.5. Les fillers de marbre utilisés 61

Fig.2.6. Superplastifiant utilisé dans notre étude 62

Fig. 2.6 laitiers granule utilisé 63

Fig. 2.7 procédure de malaxage 65

Fig. 2.8 mesure de l'étalement de béton de sable fluide 66

Fig. 2.9 mesure de la densité de béton de sable fluide 66

Fig. 2.10 Protocole de l'essai d'entonnoir (v-funnel) 67

Fig. 2.11 moules des éprouvettes 68

Fig. 2.12 dispositif de rupture a la compression 69

Fig. 2.13 essai de compression 69

Fig. 2.14 absorption d'eau par succion capillaire 70

Fig. 2.15 la mesure a l'aide de déformètre 71

Fig. 2.16 variable étudié 73

Fig. 3.1 Etalement de BSF à base de laitier granulé avant réglage 76

Fig. 3.2 Etalement de BSF à base de laitier granulé après réglage 77

Fig. 3.3 temps d'écoulement de BSF Aa base de laitier granulé 78

Fig. 3.4 la densité de BSF à base de laitier granulé 78

Fig. 3.5 la résistance à la compression de BSF à base de laitier granulé 79

Fig. 3.6 absorption capillaire de BSF à base de laitier granulé 80

Fig. 3.7 le retrait de BSAP à base de laitier granulé 81

Fig. 3.8 gonflement de BSAPG à base de laitier granule 82

Fig.A.1 ciment mâtine 92

Fig.A.2 la fiche technique de ciment 93

Fig.A.3 tamiseuse électrique 94

Fig.A.4 malaxeur 94

Fig.A.5 essai d équivalant de sable 94

Fig.A.6 séchage de l'étuve de calcaire 94

Fig.A.7 broyage pare broyeur 95

Fig.A.8 essai de la maniabilité 95

Fig.A.9 balance 96

Fig.A.10 instrument pour mesure l'étalement 96

Fig. A 11. Usine d'El-Hadjar - Annaba 97

Fig.A.12 Marbre - Skikda 97

Fig. A 13-1. La Fiche technique de l'adjuvant – MEDAFLOW 30 98

Fig. A 13-2. La Fiche technique de l'adjuvant – MEDAFLOW 30 99

Liste des symbole et Abréviations

Liste des Symbole et des Abréviations

FFOM : Fraction fermentescible des ordures ménagères

DIS : Déchets industriels spéciaux

DMS : Déchets ménagers spéciaux

D.I.B : Les déchets industriels banals

BS : Béton de sable

E/C : Eau/Ciment

C : Dosage en ciment

C_2S : Silicate bicalcique (belite)

C_3A : Aluminate tricalcique

C_3S : Silicate tricalcique (alite)

C_4AF : Aluminate-ferrite tétracalcique

$CaCO_3$: Carbonate de calcium

Al2O3 : Oxyde d'Aluminium

Fe2O3 : Oxyde de fer

Cao : Oxyde de calcium

S_iO_2 : Silicium

MgO : Magnésium

Dmax **:** Diamétre maximale des granulats

G/S: Gravillons sur sable

ES : Equivalent de sable

R7j : Résistance à 7 jours

R28j : Résistance à 28 jours

R90j : Résistance à 90 jours

DRX : Diffractomètre au rayon X

MEB: Microscope électronique à balayage

V : Volume des vides du mélange granulaire ;

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

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

M sable : masse nécessaire pour 1 m^3 du béton de sable.

MVA sable : masse volumique absolue du sable.

S_i : dosage en sable après correction

S_{i-1} : dosage en sable avant correction MVAT, MVAR : les masses volumiques du béton théorique et réel

MV sable : masse volumique absolue du sable

V : le volume d'eau à rajouter ou à retrancher selon l'écoulement

CPA CEM I 42.5 : Ciment Portland ordinaire de Classe 42,5

ρ : masse volumique apparente (kg.m-3)

ρs : masse volumique absolue (kg.m-3)

λ : Conductivité thermique (W/m°C)

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

I : Moment d'inertie de la section transversale

ν : La distance de la fibre la plus éloignée

R_C : Résistance à la compression en (MPa)

F_C: Charge de rupture en (N) ;

b : Côte de l'éprouvette

ε : porosité totale (%)

M_{air} **:** La masse d'éprouvette imbibée pesé dans l'air

M_{sec} **:** La masse d'éprouvette sec

M_{eau} **:** La masse d'éprouvette immergée dans l'eau

ΔL : Variation de longueur par apport à la longueur origine,

L0 : Longueur de base, prise égale à 160mm.

ΔM : Variation de masse par apport à la masse au moment du démoulage,

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

BSF : béton de sable fluide

BSFT : béton de sable fluide témoigne

BSFLG : béton de sable fluide a base de laitier granule

Introduction générale

Introduction générale

Depuis ces vingt dernières années, les déchets de construction représentent une part importante des déchets solides municipaux. De plus, ils posent un sérieux problème à cause de leur durée de vie et parce que ce sont des déchets voyants. Leur gestion est donc nécessaire que ce soit d'un point de vue environnemental, économique ou social. Parmi ces déchets on distingue les déchets industriels. L'intérêt de la valorisation des sous-produits industriels et déchets ménagers, est justifiée par leurs abondances en quantités importantes, sans l'existence de circuit de récupération, de recyclage et de valorisation. [1]
En Algérie, la production annuelle du laitier est estimée à 500.000 tonnes/an. Or, la granulation du laitier se fait en fonction des débouchés en cimenterie qui sont limités et ne permettent pas d'absorber les quantités produites.

Le recyclage de ces déchets dans le domaine de construction pourra résoudre un double problème : d'une part les problèmes environnementaux et d'autre part les problèmes économiques et techniques rencontrés dans le domaine de la construction.

C'est dans ce contexte que s'ouvre la réflexion sur la formulation de nouveaux bétons qui utiliseraient des ressources abondantes, peu ou pas exploitées, et présenteraient soit des caractéristiques comparables à celles des bétons usuels, soit des caractéristiques répondant à certaines exigences mal assurées par ces derniers.

Le béton est le matériau de construction le plus répandu à l'époque actuelle, à cause de ses

Performances et parce qu'il donne en plus un monolithisme à la construction.

Un béton de sable est un béton ne comportant pas de gravillons ou ne comportant qu'une proportion telle que le rapport massique (Sable / Gravillon) soit supérieur à 1. Le béton de sable présente beaucoup d'avantages tels que : la petite granularité, la bonne résistance, le bel aspect de surface, l'absence de ségrégation, la facilité de mise en œuvre, etc.

La méthodologie de notre travail consiste à comparer un béton de sable fluide témoigne et un

Béton de sable fluide modifié par la substitution de laitier granule de hauts fourneaux. Notre objectif, est de connaitre l'influence de la substitution de laitier granule avec des augmentations de pourcentages sur la caractéristique mécanique de béton de sable fluide

Pour atteindre ces objectifs, le travail présenté poursuit une démarche progressive s'articulant

autour de trois chapitre principale principales : synthèse bibliographique, matériaux et essai, et résultats et interprétation

Chapitre 01:
Synthèse bibliographique

1.1 Introduction

De nos jours l'utilisation intensive et abusive des ressources et le rejet des déchets dans l'environnement contribuent à détériorer notre milieu. Ce changement a un impact sur la société, la santé humaine, l'économie, les espèces vivantes, la production alimentaire, le tourisme et l'écologie.

Chaque jour la pollution de notre environnement augmente, la santé humaine est de plus en plus mise en danger, mais nous nous ne préoccupons pas. Comme l'on ne voit pas directement les conséquences de nos actes, on s'en préoccupe peu.

C'est pourquoi nous ne pourrons pas diminuer le rejet des déchets tant que l'on n'exploitera pas les ressources d'une façon intelligente et en prévenant le gaspillage inutile. Inspiré sur la source. [2]

1.2Valorisation et recyclage des déchets

1.2.1 La valorisation des déchets

La valorisation est définie comme "L'élimination des déchets comporte les opérations de collecte, transport, stockage, tri et traitement nécessaires à la récupération des éléments et matériaux réutilisables ou de l'énergie, ainsi qu'au dépôt ou au rejet dans le milieu naturel de Tous autres produits dans des conditions propres à éviter les nuisances.
Avant de valoriser un déchet, il faut connaître son origine, l'analyser, caractériser son état Actuel et son comportement dans le temps et évaluer sa traitabilité. Il s'agit donc de «mesurer Pour connaître et connaître pour agir».
L'approche globale du déchet permettra d'en définir son devenir, à savoir quel type de Valorisation choisir. [3]

1.2.2 Déchets

Tout objet qui doit être jeté car il est cassé, usé, contaminé, ou abimé d'une manière ou d'une autre, pour certains, sera qualifié de déchet, mais ne sera pas nécessairement Considéré comme tel par les autres. [4]

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. [4]

- **Comment tri le déchet ?**

Les opérations de tri et de prétraitement des déchets peuvent être réalisées au sein de l'entreprise avant leur acheminement vers les unités de traitement collectif spécialisées, au sein de l'usine ou de l'entreprise, dans une unité spécifique chargée de regrouper et valoriser certains types de déchets ou encore comme matières premières d'une tierce entreprise. [4] Elles nécessitent généralement un stockage tampon des déchets dans l'entreprise.

Toutes ces opérations peuvent devoir faire l'objet, pour les déchets dangereux ou polluants, d'une autorisation préfectorale. . [4]

1.2.3 Types de déchets

Il existe de nombreux types de déchets fabriqués par une variété de processus. Chaque type de Déchets à différentes méthodes de gestion associées. [4]

- **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 Contamines par des résidus de pesticides, de métaux, dioxines, etc. Selon leur origine. Ils peuvent être revalorisés par différentes filières (bioénergie, biocarburants, Compostage /Amendements / engrais…). [4]

- **Les déchets ultimes**

Tout déchet ménager et assimilé brut issu du ramassage parallèle à la collecte sélective, le Refus de tri, le déchet industriel banal issu des ménages et des déchetteries ainsi que les boues de stations d'épuration. Outre les déchets ultimes : « ne sont plus susceptibles d'être

traités dans les conditions techniques et économiques du moment». Eux seuls devraient encore pouvoir être mis en décharge. [4]

- **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. [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 … [4]

A) Déchets usuels inerte

Les déchets usuels inertes sont produits par les ménages et les industries. Ils forment la part la plus large des déchets recyclables. Ils sont souvent simples à collecter et à transformer. Ils sont peut dangereux. En revanche, ils représentent des volumes importants à transporter et à Stocker. [4]

B) Déchets usuels non inertes

Les plus connus de ces déchets sont les huiles et les peintures. L'incinération avec valorisation Énergétique est un des procédés employés pour les recycler. Elle permet la production d'énergie et la destruction des déchets peu combustibles. [4]

C) Déchets industriels dangereux

L'industrie produit une grande quantité de déchets dangereux. Ce sont pour la plupart des produits comprenant des substances chimiques toxiques ou instables. Les déchets toxiques sont dangereux pour la santé et pour l'environnement. La manipulation de déchets instables entraîne des risques d'accidents graves. [4]

D) Déchets toxiques en quantités dispersées

Certains déchets toxiques sont mélangés en faible quantité à des produits non polluants.

Il est alors impossible de recycler ces produits sans les avoir débarrassés des déchets toxiques. [5]

- **Déchets organiques**

Les termes suivants recouvrent la même notion : bio déchets ou déchets fermentescibles ou FFOM (fraction fermentescible des ordures ménagères).

Il s'agit de :

- déchets végétaux des parcs et jardins (déchets verts).

- déchets organiques de la cuisine (restes de repas, épluchures, papiers essuie-tout, papier Journal, fleurs coupées, marc de café, filtres à café, sachets de thé, coquilles d'œufs, etc.[5]

- **Déchets dangereux**

Ils regroupent deux types de déchets :

A) Déchets industriels spéciaux (DIS)

Ces déchets figurent en raison de leurs propriétés dangereuses, exemple : déchets contenant De l'arsenic, du plomb ; constitués de boues de peinture, d'hydrocarbures ; provenant de l'industrie pétrolière, etc.… [5]

B) Déchets ménagers spéciaux (DMS)

Ce sont les déchets à risque contenus dans les déchets ménagers, tels que les aérosols, colles, détergents, détachants insecticides, peintures, piles, tubes néon, produits de nettoyage. Il peut

S'agir de ce qu'on appelle également les DTQS : déchets toxiques en quantité dispersée. [5]

1.2.4 Valorisation des déchets en Algérie

L'industrie en Algérie a une part de responsabilité majeure dans la pollution globale du pays, notamment l'industrie pétrochimique, chimique, métallurgique et de traitement des minerais.

Les nuisances de l'industrie sur l'environnement sont :

- Emission de vaste quantité de polluants dans l'atmosphère (l'industrie du ciment en Algérie est le plus grand producteur de poussière 10 % environ de la quantité de ciment produite était rejetée dans l'atmosphère sous forme de poussière générant. [6]

Pollution d'environ 600.000 tonnes/an de poussière de ciment).

- Production des déchets solides industriels (la production de la fonte dans les hauts

Fourneaux est accompagné par une production parallèle d'un sous-produit solide (laitier du haut fourneau). Pour 1m3 du métal en fusion environ 280 à 340 kg de laitier est produit.

- Déversement dans les eaux des déchets toxiques et autres déchets organiques ainsi libérés dans la nature :

Annuellement plus de 220 millions de m3 d'eau usées chargés de : (plus de 55.000 tonnes de DB05, plus de 134.000 tonnes de matières en suspension et 8000 tonnes de matières azotées). [6]

Dans la période actuelle marquée par des tensions sur l'énergie, ou le prix du pétrole reste une inconnue (bien que l'on sache que son niveau actuel, plutôt bas, Remontera dès que la situation économique s'améliorera), la recherche de nouveaux moyens pour produire de l'énergie est presque une cause nationale. La valorisation des déchets trouve sa place ici, et toutes les opportunités méritent d'être consciencieusement étudiées. Ceci dit, il reste vrai que les déchets ne sont pas des combustibles classiques. Il est nécessaire de connaître les déchets que l'on brûle, pour que des substances dangereuses ne soient pas véhiculées par les fumées par exemple. Autre exemple, les farines animales. Après le scandale européen lié aux farines animales, il a fallu se débarrasser de ces farines. Ce sont les cimentiers qui ont utilisé ces farines, pour fabriquer du ciment. Un bel exemple de valorisation des déchets, alors que le casse-tête pour se débarrasser des farines animales, probablement avec un coût exorbitant, était bien réel. Deuxième type de valorisation, la valorisation matière. Dans la pratique, elle prend différentes formes :

• extraction des matières organique naturelles et synthétiques

• récupération des métaux et des matières minérales

• élaboration de matériaux BTP

• récupération du verre

• récupération des plastiques

• récupération des papiers cartons

La stratégie d'une bonne gestion des déchets s'appuie sur deux grands principes :

- Il faut prendre en compte simultanément les notions de matière, d'énergie, d'environnement et d'économie.

- Des lorsque ces stratégies ont pour objectif le retour des déchets dans le milieu naturel, il y a lieu de s'inspirer des lois qui régissent le fonctionnement de ce milieu. [6]

Ces lois existent à travers les cycles biogéochimiques qui régentent la circulation des éléments chimiques. gestion des déchets passe par cinq stratégies possibles qui sont représentés à la figure 1

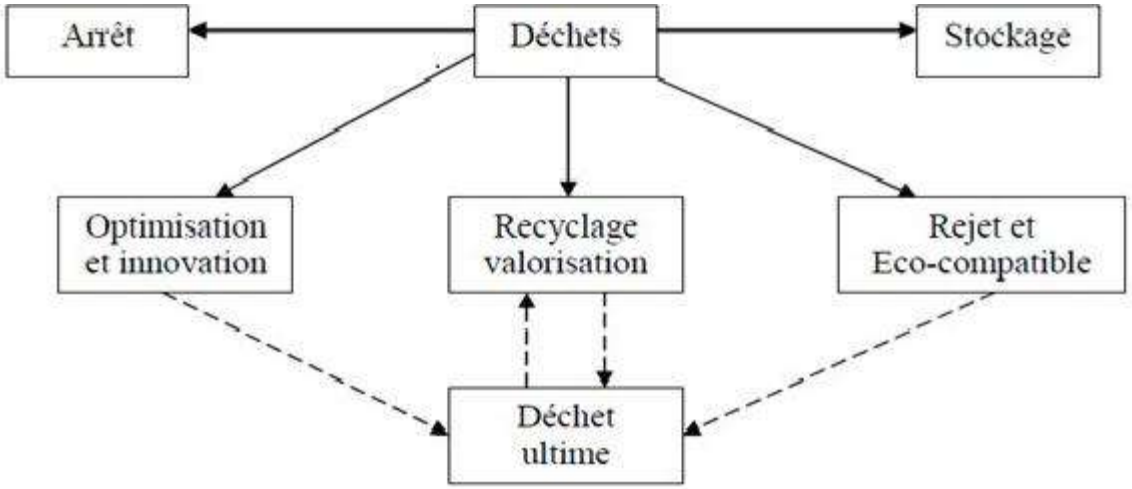


Fig.1.1. Stratégies de traitement des déchets [6]

1.2.5 Recyclage des déchets

- **Définition**

Le recyclage est un procédé de traitement des déchets industriels et des déchets ménagers qui Permet de réintroduire, dans le cycle de production d'un produit, des matériaux qui le composent. [5]

Le recyclage a deux conséquences écologiques majeures : la réduction du volume de déchets

Et la préservation des ressources naturelles. C'est une des activités économiques de la société

De consommation. Certains procédés sont simples et bon marché mais, à l'inverse, d'autres Sont complexes, coûteux et peu rentables. Dans ce domaine, les objectifs de l'écologie et ceux des consommateurs se rejoignent mais parfois divergent ; c'est alors le législateur qui intervient. [5]

Ainsi, en particulier depuis les années 70, le recyclage est une activité importante de L'économie et des conditions de vie des pays développés. [7]

Le recyclage s'inscrit dans la stratégie du traitement des déchets dite des trois R :

- réduire, qui regroupe tout ce qui concerne la réduction de la production de déchets.
- réutiliser, qui regroupe les procédés permettant de donner à un produit usagé un nouvel usage.
- recycler, qui désigne le procédé de traitement des déchets par recyclage. [5]

1.2.6 Sous-produits de l'industrie et leurs valorisations dans le génie civil

Une substance ou un objet issu d'un processus de production dont le but premier n'est pas la production de cette substance ou cet objet peut être considéré comme un sous-produit et non comme un déchet au sens de l'article L. 541-1-1 que si l'ensemble des conditions suivantes est rempli :

– l'utilisation ultérieure de la substance ou de l'objet est certaine ;

– la substance ou l'objet peut être utilisé directement sans traitement supplémentaire autre que les pratiques industrielles courantes ;

– la substance ou l'objet est produit en faisant partie intégrante d'un processus de production

– la substance ou l'objet répond à toutes les prescriptions relatives aux produits, à l'environnement et à la protection de la santé prévues pour l'utilisation ultérieure

– la substance ou l'objet n'aura pas d'incidences globales nocives pour l'environnement ou la santé humaine.

Les opérations de traitement de déchets ne constituent pas un processus de production au sens du présent article. [2]

Les sous-produits (bois, plastiques, pneus usagés, verre, granulats issus de la démolition, laitiers, …) proviennent des déchets des diverses secteurs d'activités professionnelles. Leur valorisation dans les bétons et les structures du BTP offre une voie de la gestion des déchets industriels et urbains différente de celles conventionnelles (énergétique par incinération, …) et une réponse au déficit entre production et consommation de certains matériaux naturels. [2]

1.3 Le laitier de haut fourneau

Les laitiers de haut fourneau sont des coproduits formés au cours de l'élaboration de la fonte à partir de minerai de fer. [8]

L'utilisation du laitier granulé reste cependant limitée en Algérie au domaine de la cimenterie en raison de son faible pouvoir hydraulique. [9]

1.3.1Origine

Le haut-fourneau est un réacteur à lit consommable à contre-courant. Les deux réactions principales qui s'y déroulent sont des réactions de réduction des oxydes et d'échange entre le métal et le laitier. On introduit par le gueulard alternativement du coke, du minerai et du fondant, qui sont les matières. [10]

Premières utilisées pour l'élaboration de la fonte.

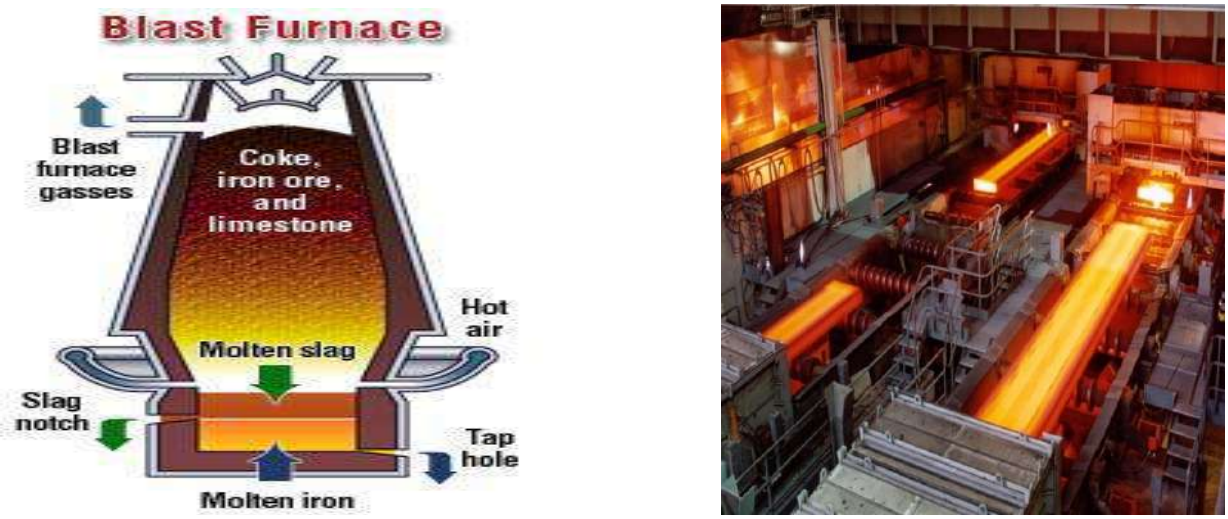


Fig.1.2. Représentation schématique d'un haut fourneau**.** [10]

On peut signaler que la fonte en fusion contient les éléments suivants : Fe, C,
Si, Mn, P, S…et que le laitier en fusion en bas du haut-fourneau contient les éléments SiO2, P2O5, MnO, CaO, Al2O3… [8]

1.3.2 Formation de laitier

Aux températures atteintes, tous les constituants non métalliques et non gazeux de la charge se liquéfient : la densité du liquide ainsi obtenu (le laitier) est d'environ 3 alors que celle de la fonte est de 7. Il y a donc séparation par gravité du laitier et de la fonte : le laitier surnage à la surface du bain de fonte dans le creuset du haut-fourneau et rassemble les éléments provenant de la gangue, du fondant et des cendres de combustion. [8]

1.3.3 Méthode de refroidissement

Le type de refroidissement du laitier peut conduire à deux formes de laitier décrites ci-après.

1.3.3.1 Laitier cristallisé

Le laitier liquide à 1300°C /1500°C est évacué immédiatement en poche à laitier, dès la sortie du haut-fourneau vers des zones spécifiques nommées crassiers, pour y être déversé, coulée après coulée. Il s'y refroidit lentement, se transformant ainsi en roche dure artificielle. Le laitier cristallisé, chimiquement

Stable, est destiné à être concassé. Ses constituants sont essentiellement des silicates et des silico-aluminates de calcium. Les laitiers de haut-fourneau cristallisés permettent l'élaboration de granulats au sens de la norme XP P18-540. [8]

1.3.3.2 Laitier vitrifié

Brutalement refroidi à l'eau (trempe), il présente une structure vitreuse désordonnée, susceptible, sous certaines conditions, d'évoluer vers une forme cristalline stable en développant des résistances mécaniques, comme le ferait un ciment. Les laitiers de haut-fourneau vitrifiés possèdent des propriétés

Hydrauliques mises à profit dans les cimenteries ou directement dans le traitement des assises de chaussées. Il existe deux types de laitier vitrifié :

A- le laitier granulé, pour lequel le refroidissement se fait en bassin ou par jet d'eau sous pression.

B- le laitier bouleté qui est soumis à deux types d'actions, un jet d'eau et une action mécanique. Le laitier liquide se déverse sur un tambour tournant cannelé qui comporte des trous en périphérie, alimentés en eau sous pression. Les particules de laitiers sont alors projetées à plusieurs mètres du tambour, ce qui permet une trempe à l'air pendant la durée du trajet des particules, le laitier moulu peut être ajouté au béton pour améliorer certaines de ses propriétés ou lui conférer des propriétés particulières comme le comportement aux milieux agressifs et à l'alcali-réaction, l'exo thermicité ou la porosité. Il provient du

Broyage du laitier vitrifié (granulé ou bouleté). [8]

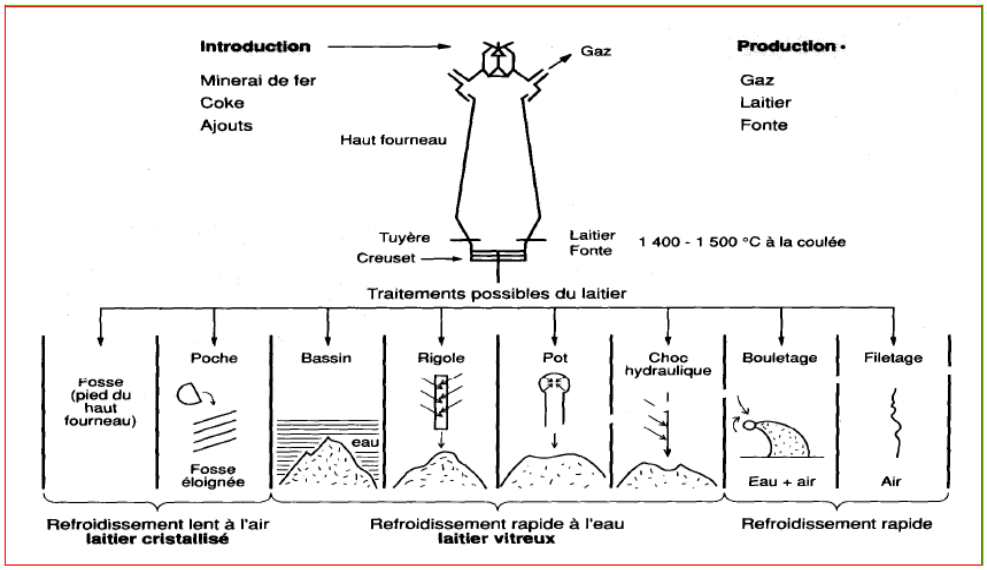


Fig.1.3. Principaux traitement de Laitier**.** [8]

1.3.4 Elaboration de laitier

L'élaboration des laitiers de haut-fourneau produit toute une gamme de granulats (laitiers cristallisés), et de liants hydrauliques (laitiers vitrifiés), dont on rappelle ci-dessous les caractéristiques élémentaires telles que décrites en particulier par Alexandre et Sebileau.



Fig.1.4. Laitier cristallisé compact [12]



Fig.1.5. Laitier cristallisé poreux [12]

Le laitier cristallisé de haut-fourneau est élaboré selon différentes classes granulaires tout-venant, concassés O/D et d/D selon la demande on distingue :

- le laitier tout-venant :C'est un laitier cristallisé, de fraîche production ou non, tel que repris à l'engin les granulométries sont de l'ordre de 0/300 mm, sans garantie de fuseau. Il s'agit plutôt d'un matériau de remblais ou de couche de forme.
- le laitier concassé : C'est un laitier cristallisé concassé, livré en toutes

Granulométries Le laitier O/Dest dit «de compactage», lorsqu'il est criblé et calibré, mélangé ou non en proportions variables, avec du laitier granulé.

Ou tout autre liant hydraulique. La granulométrie maximale de l'O/D est de 0/50 mm ; il s'agit plutôt d'un matériau d'assises a prise lent.

Le laitier vitrifié granulé correspond à un *sable* à prise hydraulique (0/5 à 0/6 mm), il peut être pré broyé, ce qui augmente sa teneur fine autour de 10 à 12 % et ainsi sa réactivité. Il peut être activé pour développer son hydraulicité, l'activation de type calcique ou sulfate-calcique étant effectuée selon la NF P 98-107. Le laitier bouleté, matériau à prise hydraulique, s'apparente en termes d'utilisation au laitier granulé ; la fraction granulométrique la plus grosse peut être utilisée comme granulat léger de laitier expansé à faible densité, notamment en construction d'ouvrages d'art.



Fig.1.6. laitier bouleté [12]

1.3.5 Caractéristiques physico-chimiques

Le laitier contient essentiellement quatre éléments dont l'expression en oxydes représente 95 à 97 % des constituants du laitier : chaux (CaO), silice (SiO2), alumine (Al2O3), magnésie (MgO). Les autres phases sont des oxydes Secondaires (FeO, MnO) et des composés sulfurés. Le tableau 1.1 présente la composition chimique élémentaire du laitier : Eléments

Tableau.1.1. Composition chimique élémentaire du laitier de haut-fourneau [12]

Eléments	(%)
CaO	40 à 48
SiO_2	32 à 41
Al_2O_3	9 à 18
MgO	1 à 9
MnO	0,4 à 0,7
FeO	0,2 à 1
S	0,6 à 1,5

Diagramme de Keil, diagramme triangulaire représentant le système ternaire chaux-silice-alumine (Figure 1.7), permet de situer le laitier de haut-fourneau Par rapport à d'autres liants utilisés en technique routière. Ce diagramme montre Que les laitiers ont une composition relativement proche de celle du clinker du Ciment Portland, même si celui-ci ne nécessite qu'un apport d'eau pour Déclencher son hydraulicité, alors que le laitier doit être activé.

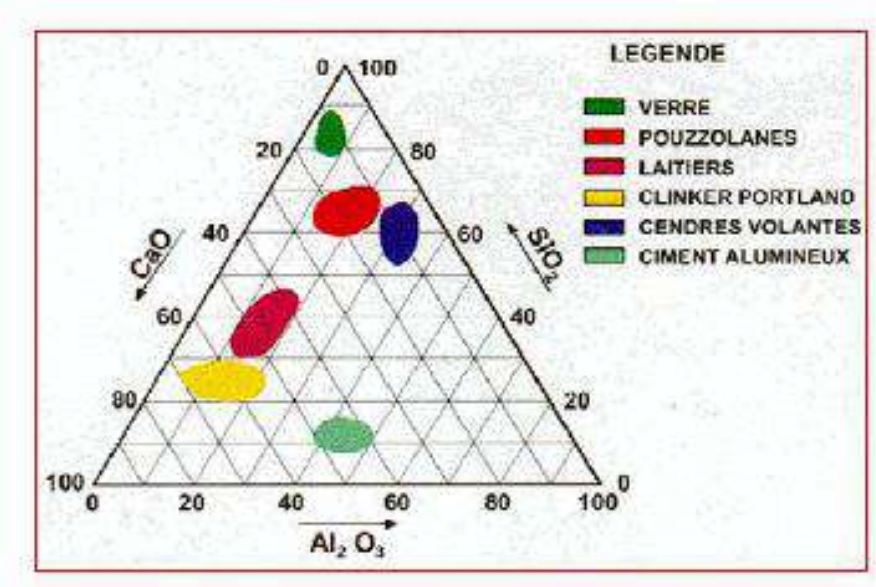


Fig.1.7. Diagramme de Kei [8]

1.3.6 Caractéristiques minéralogique de laitier

D'un point de vue minéralogique, les constituants des laitiers de haut fourneau sont essentiellement des silicates ou des silico-aluminates de chaux. Il S'agit d'une forme minéralogique stable.

-Laitier cristallisé : obtenu par refroidissement lent du laitier en fusion, le laitier cristallisé est composé de constituants cristallisés, essentiellement de silicate ou

De silico-aluminate de chaux ainsi que des oxydes, des sulfures et

Exceptionnellement des nitrures issus essentiellement de la *gangue* et des fondants utilisés dans la matière première (minerai, fonte, acier,…). Le tableau 1.2

Ci-dessous, présente les constituants des laitiers cristallisés.

- Laitier vitrifié : L'analyse des phases par diffraction des rayons X fait apparaître, pour le laitier vitrifié, des raies de phases

Cristallisées (mélinite et merwinite). L'importance de la phase amorphe dépend du degré de vitrification : sur un laitier totalement vitrifié, seule la phase amorphe est représentée.

Tableau.1.2. Constituants des laitiers cristallisés d'après [11]

Désignation Composition	**Minéralogique**	**Formule Simplifiée**
Classe des silicates		
Mélilite (mélange cristallin) : Gehlenite Akermanite	2 Ca0 – Al203 – Si02 2 Ca0 – Mg0 – 2 Si02	C2AS C2MS2
Merwinite	3 Ca0 – Mg0 – 2 Si02	C3MS2
Silicate bicalcique (a = Bredigite) (b = Larnite)	2 Ca0 – Si02	C2S
Rankinite	3 Ca0 - Si02	C3S2
Wollastonite β	Ca0 - Si02	CS
Forsterite	2 Mg0 - Si02	M2S
Enstatite	Mg0 - Si02	MS
Monticellite	Ca0 – Mg0 - Si02	CMS
Anorthite	Ca0 – Al203 – 2 Si02	CAS2
Diopside	Ca0 – Mg0 – 2 Si02	CMS2
Leucite	(K20 – Na20) Al203 - 4 Si02 (KN)	AS4
Augite (silicate complexe)	(Ca – Mg – Fe – Ti – Al)	
Classe des oxydes		
Spinelles	Mg0 – Al203 Fe0 – Fe023	MA
Perowskite	Ca0 – Ti02	
Classe des sulfures		
Oldhamite	CaS MnS FeS	
Autres constituants possibles	Carbures – Nitrures - Thiosulfates alcalins,…	

1.3.7 Valorisation du laitier du haut fourneau

La composition et la structure physique du laitier du haut fourneau varient énormément en fonction des procédés et des méthodes de refroidissement appliqués au laitier ; selon ces procédés on obtient le laitier granulé, bouleté et cristallisé. Chaque variété trouve des débouchés intéressants.

a) En cimenterie

L'emploi du laitier granulé en cimenterie est doublement important, car il permet à la fois des économies considérables d'énergie (réduction du combustible de 30 à 40 %), et permet d'obtenir des ciments présentant des propriétés variées. Le laitier peut produire un liant hydraulique de plusieurs façons.

Premièrement, il peut être mélangé à du calcaire et être utilisé comme matière première pour produire du ciment Portland par le procédé à sec. Deuxièmement, le laitier granulé et broyé est utilisé dans le ciment portland comme ajout pour fabriquer des ciments portland au laitier.

Troisièmement, le laitier du haut fourneau granulé broyé à une finesse appropriée peut être utilisé seul comme liant mais en présence d'un catalyseur à base d'alcalis.

b) Pour la fabrication des bétons

Dans la formulation du béton, le squelette granulaire (sable et granulats naturels peuvent être remplacé par le laitier vitreux et le laitier cristallisé concassé respectivement). Le laitier concassé forme d'excellents granulats pour le béton.

c) Pour les travaux routiers

Les utilisations concernent la construction des chaussées, des routes, autoroutes et les assises où on peut utiliser soit le laitier granulé où le laitier concassé.

1.4 Le béton de sable

1.4.1 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 [15].

Le béton de sable se distingue d'un béton traditionnel par un fort dosage en sable et par l'absence ou par un faible dosage en gravillon. Il se différencie également des mortiers par un plus faible dosage en ciment et surtout par son domaine d'application. L'emploi de béton de sable en remplacement des bétons classiques peut constituer une variante de structure rigide intéressante sur le plan économique lorsque le sable est facilement accessible et à un coût moindre que les granulats courants [17].

1.4.2 Historique

Le béton de sable est un matériau utilisé bien antérieurement au béton traditionnel.
Selon POIEVIN [18], 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 [18].

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

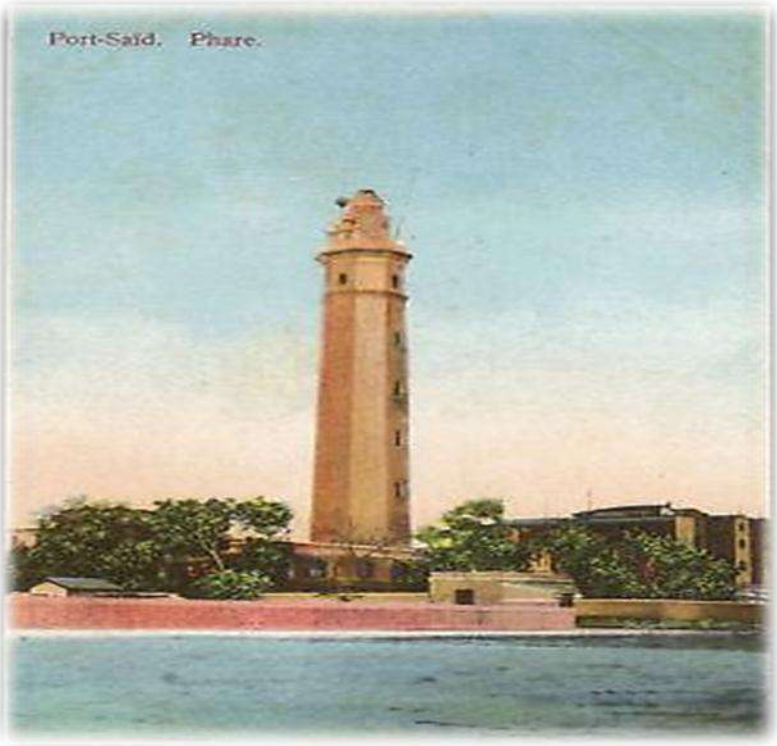


Fig.1.8. Phare de Port-Saïd 1969. (Egypte) [13]

COIGNET exporte sa technique jusqu'aux USA, où son entreprise "New York and Longis land Coignet stone compagny" construit en 1871-72 en blocs de béton aggloméré le pont de Brooklyn à New York [18].



Fig.1.9. Le pont de Brooklyn1871-72New York [21].



Fig.1.10. La maison de COIGNET [14]

Vers la fin du XIX*ème* et au début du XX*ème* 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 [20].

En 1918 une expérience a été faite à **St-Petersburg**, par le conte **M. Nicolas** de **ROCHEFORT**. Elle consistait à broyer en même temps sable et clinker à parts égales, puis à mélanger ce produit à du sable dans le rapport de 1 (produit broyé) à 3 (sable).

Les résistances obtenues furent les mêmes que celles d'un mélange sable-ciment, beaucoup plus riche en ciment (1/3 de ciment pour 2/3 de sable).

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



Fig.1.11. Aqueduc des eaux de captation de la rivière « La Vanne » [21]

1.4.3 Définition de béton de sable

La norme Française AFNOR. NF P 18 500 (juin 1995) définit le béton de sable comme suit : "Le béton de sable est un béton fin constitué par un liant hydraulique, un (ou plusieurs) sable(s), des fines et de l'eau ; on utilise habituellement un (ou plusieurs) adjuvant(s) et on peut, éventuellement, admettre une quantité de gravillons [17].

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

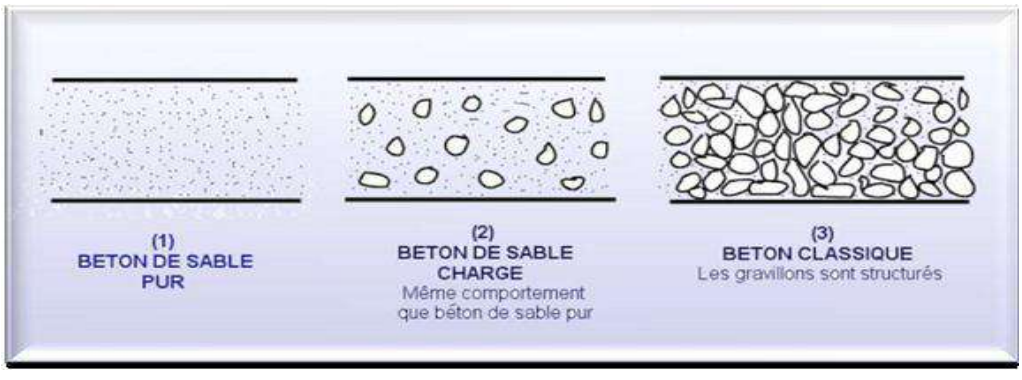


Fig.1.12. BS, BS chargé et BO [22]

- **la différence entre le béton de sable et le mortier**

Le béton de sable comme son nom l'indique est un béton ou le gros granulat est le sable (Dmax= 5mm), il ne consomme que (250 à 400) Kg/m3 de ciment, dosage habituel des bétons classiques, la compacité optimal étant atteinte par un ajout complémentaire de fines (fillers) et de plastifiant, tandis que le mortier utilise un fort dosage en ciment de (400à 600) Kg/m3 [17].

1.4.4 Les composants du béton de sable

Un béton de sable est composé de sable, de fines d'ajouts, de ciment et d'eau. Par rapport à cette composition de base et pour répondre aux besoins de certains usages, d'autres ajouts spécifiques peuvent être envisagés : gravillons, fibres, adjuvants…etc. [19]

A. Sables

Par sable on entend tous granulats 0/D conformes aux définitions des normes NF P 18 540etNF P 18-101 il peut s'agir soit d'un sable naturel alluvionnaire ou de ballastière, soit d'un sable de carrière issu du concassage d'une roche massive ou détritique.

Aucun critère granulométrique n'est a priori exigible pour réaliser un béton de sable : on peut aussi bien utiliser un sable fin (même homométrique, type sable de dune) qu'un sable alluvionnaire moyen ou grossier, ou un O/D de concassage. La seule restriction d'emploi des sables réside dans leur propreté.

B. Les fines d'ajout (filler)

La qualité essentielle du béton de façon générale est sa compacité. Les paramètres essentiels qui vont jouer sur la compacité sont [19] :

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

L'optimisation de la compacité, en relation avec la granulométrie, obéit à certaines règles. Le principe est simple : les éléments les plus fins se logent dans les vides des éléments les plus gros ; c'est en quelque sorte le principe des tables gigognes. Et ces fines sont du ciment, puisque la qualité nécessaire de ciment pour assurer la résistance coïncide avec celle qu'il faut en fines pour obtenir la bonne compacité. Cette concordance entre besoin

D (Selon l'usage du béton). Donnant le dosage minimum en ciment en fonction du diamètre(D) du granulat employé.

Tableau.1.3. Relation entre la granulométrie et le dosage en ciment [19]

Granularité	***D***	***D***	***D***	
0/25	1,904	290	37	**BETON**
0/20	1,821	300	385	
0/16	1,741	315	400	
0/8	1,516	360	460	
0/6,3	1,445	380	480	**MORTIER**
0/4	1,320	415	530	
0/2	1,149	480	610	
0/1	1,000	550	700	

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

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

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

Nous citerons un type de fines (fillers) que nous allons utiliser Dans notre étude nous allons utiliser un type de fine (filler) : les fillers calcaire. Ce mot filler provient de l'anglais « to fil» signifiant remplir, dont le plus gros grain de ces matériaux ne dépasse pas 0.2mm.

L'ajout de fillers permet souvent d'améliorer certaines propriétés du béton à l'état frais (accroissement de la maniabilité, réduction du ressuage…) et du béton durci (diminution

de la perméabilité et de la capillarité, réduction des risques de fissuration…) [21] .L'effet du filler sur la maniabilité dépend surtout de sa finesse. Si le filler est finement broyé, il y aura réduction de la quantité d'eau pour une maniabilité fixe.

a) Filler calcaire

Le filler calcaire n'est pas considéré comme une pouzzolane puisqu'il n'est pas réactif. Son avantage est sa finesse qui peut être utilisée pour optimiser la granulométrie de mélanges de béton [22].

L'addition de filler calcaires peut avoir plusieurs fonctions, comme par exemple compléter la courbe granulométrique d'un ciment déficient en grains fin, et compléter aussi la granulométrie du sable comme le cas des bétons de sable. Les fillers peuvent également influencer l'hydratation, être présents dans les pores capillaires (ce qui rend plus difficile la percolation de l'eau) et influencer les paramètres rhéologiques du béton [25].

C. Les ciments

Comme pour le béton classique, le ciment utilisé pour la confection d'un béton de sable est conforme à la norme NF P 15-301. Le choix du ciment est fait à partir de sa classe de résistance, de ses caractéristiques d'hydratation, de l'agressivité du milieu…et, d'une façon plus générale, de la composition du béton et de l'usage auquel on le destine [21].

D. **L'eau**

L'eau utilisée pour la confection des bétons de sable est conforme à la norme NFP18-303. L'eau efficace comprend, en plus de l'eau de gâchage, une quantité non négligeable d'eau apportée par les additions, adjuvants et autres ajouts, et surtout par les sables. [20]

E. Les adjuvants

Les adjuvants sont des agents chimiques qui sont ajoutés en petites quantités pour modifier certaines propriétés du béton comme la rhéologie, la durabilité et les propriétés mécaniques. Il existe beaucoup de types d'adjuvant, on les définit d'après leur action principale, même s'ils ont plusieurs actions secondaires. On utilise dans les bétons de sable les mêmes adjuvants que dans les bétons traditionnels, et pour en exploiter les mêmes propriétés**.** [19]

F. Autres ajouts

a) Les fibres

Elles sont surtout utilisées dans le but de réduire le retrait au premier âge : dosage et nature sont des paramètres très importants pour assurer l'efficacité de cet ajout. On utilise dans la plupart des cas des fibres organiques (polypropylène) pour contrecarrer les effets du retrait de prise et éviter la fissuration qui en résulte. Si l'on veut améliorer la ductilité, on pourra utiliser des fibres d'acier ou des fibres de fonte amorphe. [22]

b) Les gravillons

On considère qu'un béton de sable peut contenir un certain pourcentage de gravillons et conserver sa domination de béton de sable d'une façon pratique, on pourra considérer qu'on a affaire à un béton de sable tant que le rapport massique G/S (gravillons sur sable) reste inférieur à 0,70. G/S< 0,70 [22].

c) Les colorants

Les Colorants habituellement utilisés dans les bétons traditionnels peuvent également être employés pour certains usages de bétons de sable : ils nécessitent toutefois un soin particulier dans l'homogénéisation et une formulation appropriée du béton de sable pour conserver une stabilité de la teinte au cours du temps [22].

1.4.5 Propriétés des bétons de sable

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

Les propriétés du béton durci sont largement influencées par les propriétés du béton frais, qui sont principalement l'ouvrabilité (maniabilité) et la compacité. La maniabilité dépend non seulement du rapport E/C, mais aussi du module de finesse de sable, et elle dépend surtout du type et de la teneur en fines d'ajouts. Nous avons vu qu'il nécessite plus d'eau qu'un béton classique. D'autre part, il apparaît évident que le mélange ciment- sable présentera une porosité plus élevée que la porosité du béton traditionnel. Cet inconvénient

est compensé par l'ajout de fines de bonne nature pour améliorer la compacité. Il faut choisir donc des sables de bonne répartition granulaire. Il s'agit de trouver un compromis entre la maniabilité du béton et sa compacité [29].

1.4.5.1 Propriété générale

A. La compacité

La compacité d'un béton est définie comme le volume occupé par les éléments solides rapportés au volume total. Elle est bien sûr complémentaire à la porosité.

Caquot a pu établir expérimentalement une relation mathématique pour un béton entre la porosité d'un empilement granulaire, celui-ci étant caractérisé par un diamètre d des éléments les plus fin et un diamètre D des éléments les plus gros

$P = P0\ (d / D)\ 0.2$ ….. **Eq. 1**

P0 : constante expérimentale ;

d : diamètre des éléments les plus fin ;

D : diamètre des éléments les plus grands.

Notons que la validité de cette équation est limitée aux mélanges dont les proportions de chaque constituant dans l'étendue granulaire (E.G) sont également optimisées en termes de compacité. Autrement dit la compacité optimale ne dépend pas uniquement de l'étendue granulaire, mais également de la répartition granulométrique des grains [22].

Rappelons que pour les bétons de sable le diamètre de granulats ($D \leq 5mm$), de ce fait, il est évident que le mélange sable- ciment présentera une porosité très élevée en comparaison avec celle d'un béton ordinaire. Cette porosité est due à une augmentation de la surface spécifique, en effet, plus le module de finesse augmente plus la porosité diminue (Figure 14) Donc pour garder une compacité maximale la solution la plus facile est d'augmenter le dosage en ciment. Techniquement cette solution n'est pas souhaitable, vu le risque du retrait hydraulique, ainsi que l'élévation du coût global. Dans ces conditions, il est plus que nécessaire l'ajout d'un filler dont la granulométrie est voisine à celle d'un ciment, afin de combler une partie des vides de sable, dans le but de limiter le dosage en ciment.

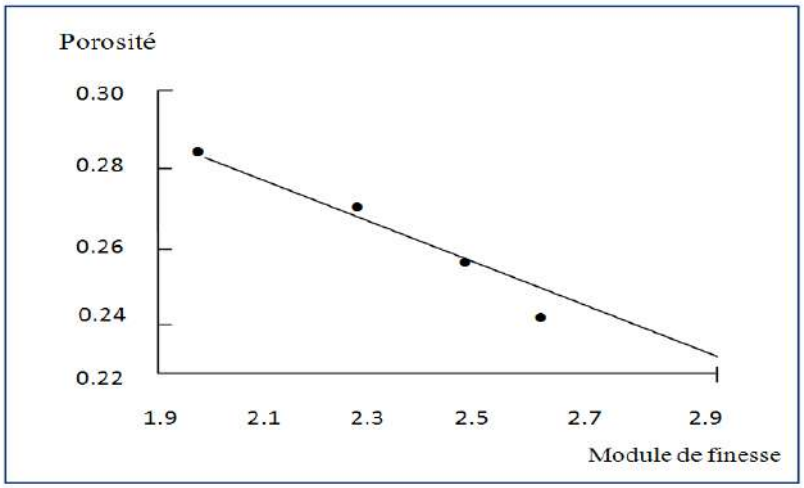


Fig.1.13. Evolution de la porosité en fonction du module de finesse) [29]

- **Effet de la granulométrie du sable sur la compacité**

Plus le sable est poreux plus le besoin en fines est élevé. La porosité dépend de la granulométrie du sable qui elle-même dépend de la nature du sable. A titre d'exemple, le sable alluvionnaire (Dmax =5 mm) nécessite moins de fines que le sable de dune (Dmax<1mm) (figure 15). [29]

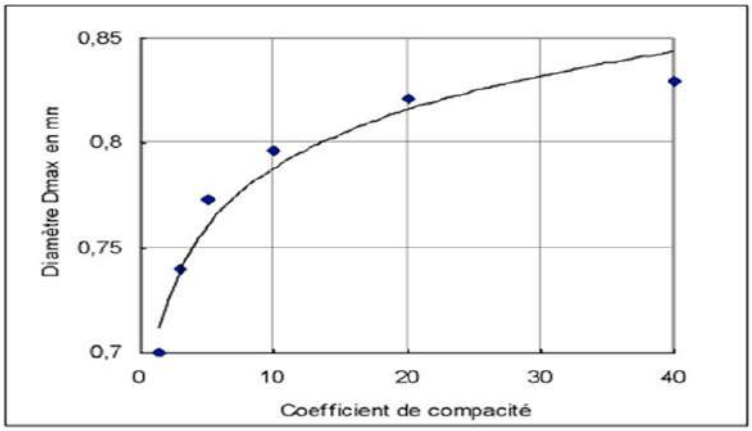


Fig.1.14. Variation du coefficient de compacité en fonction du diamètre maximal des grains de sable (Dmax**)** [29].

- **Effet des ajouts de fines**

Généralement, plus le dosage en fines augmente, meilleure est la compacité [2]. (fig.1.15). En fonction de la finesse des fines et de la porosité du sable, il existe un dosage optimal à partir duquel la compacité commence à diminuer. Plus la finesse des fines est faible et plus cet optimum est faible [30].

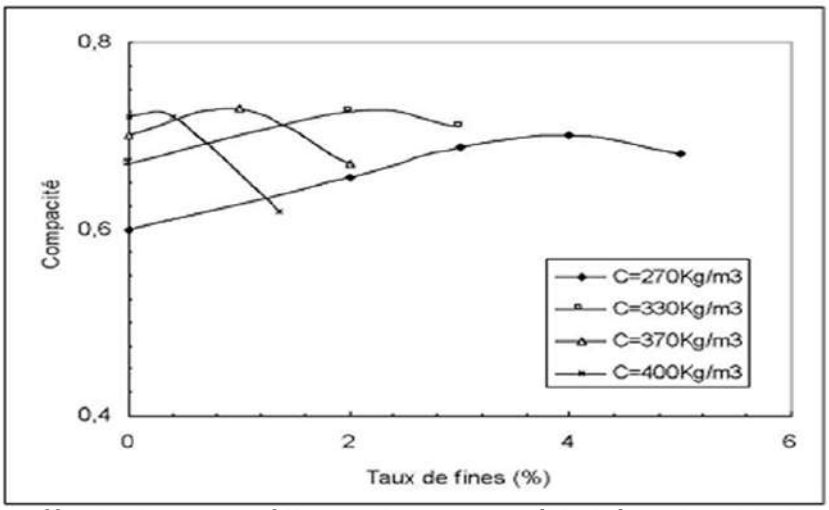


Fig.1.15. Effet du dosage en filler sur la compacité du béton de sable [28]

B. Maniabilité

La maniabilité est une propriété physique spécifique du béton sans tenir compte des conditions particulières d'utilisation pour un type donné d'application. Elle est définie comme étant la propriété d'un mortier ou d'un béton fraîchement malaxé qui définit la facilité et l'homogénéité à être malaxé, mis en place, serré et fini [29].

Les bétons de sable demandent une quantité d'eau élevée par rapport aux bétons classiques ; ceci se traduit par des valeurs du rapport E/C systématiquement entre 0.6 et 0.7. Cette particularité est due à une surface spécifique plus importante du mélange.

- **Effet de la granulométrie du sable**

A un même dosage en eau, le béton ordinaire est plus maniable qu'un béton de sable. De même, un béton de sable alluvionnaire est plus maniable qu'un béton de sable dunaire.

Ceci explique l'effet du diamètre maximal des grains sur la maniabilité. Plus le diamètre maximal est grand, meilleure est la maniabilité. Si nous parlons en termes de module de finesse, nous pouvons dire que la maniabilité s'améliore avec l'augmentation du module de finesse (Fig.1.16).

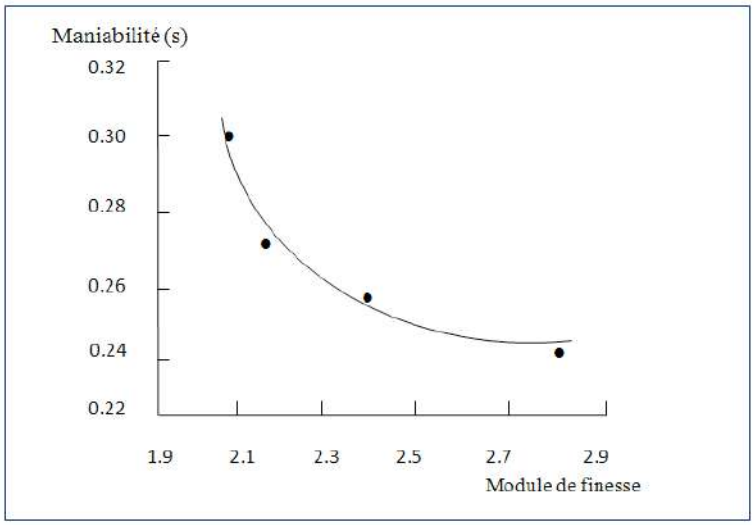


Fig.1.16. Evolution de la maniabilité en fonction du module de finesse des sables [29]

Donc il est clair que plus le module de finesse augmente plus le temps d'écoulement diminue ce qui implique une amélioration de la maniabilité. Pour tester la maniabilité, plusieurs essais Peuvent être appliqués : le Cône d'Abrams (Slump test), l'Essai VEBE, le Maniabilité LCPC (ou LCL pour mortiers), etc.

- **Effet des ajouts sur la maniabilité**

En général, selon la granulométrie du sable, le dosage des fines augmente la maniabilité. Pour certains sables, dunaires par exemple, elle diminue au début, mais après un certain optimum elle commence à s'améliorer (figure 18). La maniabilité dépend aussi de la nature des fines incorporées. Logiquement, de fines de type sphérique devrait rendre plus efficace et donc améliore la maniabilité.

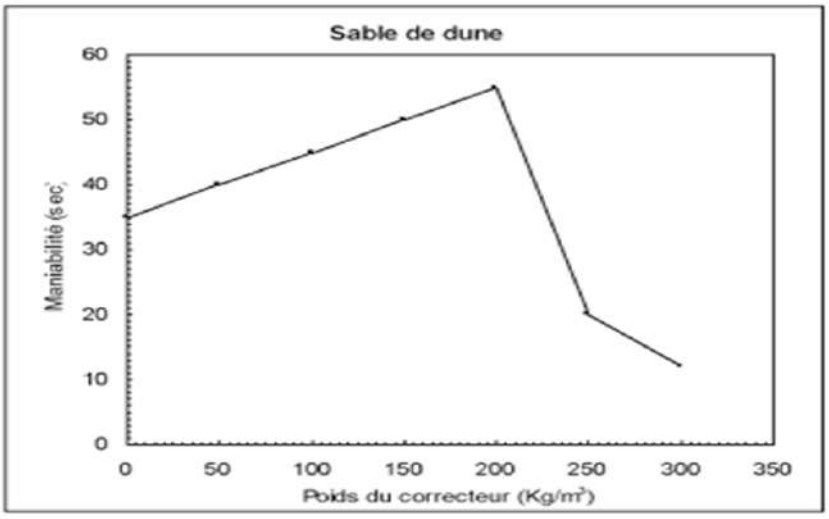


Fig.1.17. Effet des ajouts sur la maniabilité du béton de sable [29].

- **Effet du rapport E/C**

Comme pour tous les autres bétons, la maniabilité dépend du rapport E/C (ou E/(C+F) pour les bétons de sable). Généralement, l'augmentation de ces rapports augmente considérablement la maniabilité [28].

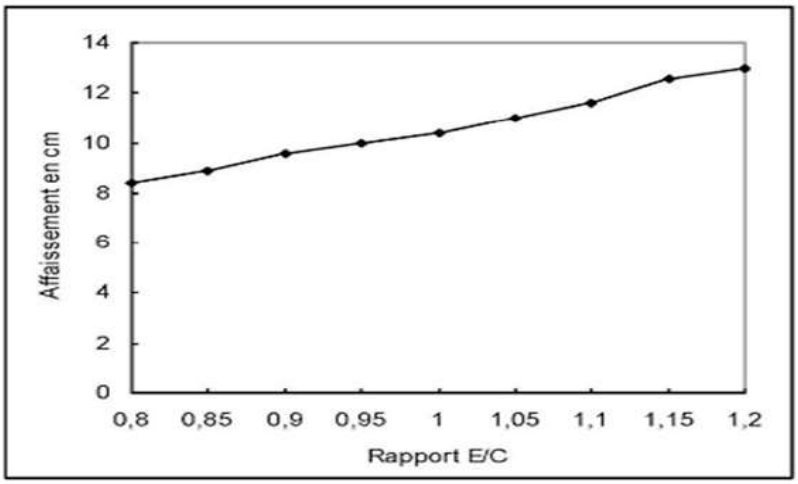


Fig.1.18. Effet du rapport E/C sur la maniabilité d'un béton de sable dunaire [29].

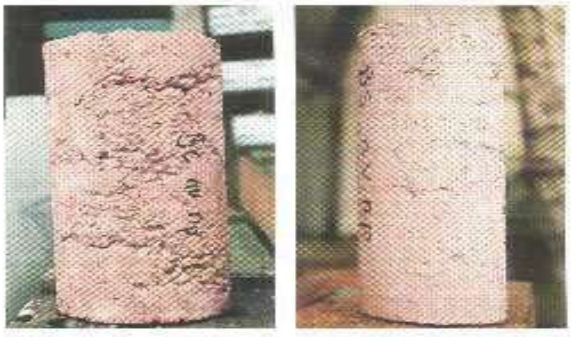
C) Autres propriétés

- **Adhérence aux armatures**

Le béton de sable adhère bien aux armatures. La contrainte d'adhérence moyenne est comparable à celles des bétons traditionnels [18]. La granularité du béton de sable n'est pas un élément essentiel puisque à un même niveau de résistance, l'adhérence mesurée pour un béton de sable dunaire (très fin) est supérieure à celle obtenue pour un béton sable alluvionnaire [20]. La nature des aciers (lisse ou tors) ainsi que leur diamètre ont aussi une influence sur la valeur de l'adhérence [19].

- **Résistance à la ségrégation**

La grande homogénéité et la bonne maniabilité des bétons de sable confèrent un meilleur comportement vis-à-vis des phénomènes de ségrégation que les bétons traditionnels.



a) Béton ordinaire b) Béton de sable

Fig.1.19. Eprouvettes non vibrées non piquées [19]

- **Comportement thermique**

La comparaison entre le béton classique et le béton de sable a montré que les deux n'étaient pas très différents du point de vue thermique. En effet, la chaleur massique est identique. Or la conductivité thermique (variable entre 1,4 et 1,8 Wm-1K-1) du béton de sable est plus faible sachant que sa porosité est plus importante et donc plus isolante .Il faut savoir que même si le béton de sable est plus poreux, la répartition de ces pores ne facilite pas la migration de la vapeur d'eau **[**19].

- **Durabilité**

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

Enfin les données sur la durabilité sont encore peu nombreuses, encore que rassurantes on cite souvent des réalisations en béton de sable plus que centenaires aqueduc de la Vanne, phare de Port –Saïd en Egypte, le grand mur de retenue qui domine la place du Trocadéro à Paris, etc. [19]

- **L'absorption capillaire**

L'absorption dépend essentiellement du taux et de la continuité des petits pores : un matériau qui présente un taux élevé de petits pores continus aura une absorption capillaire très élevée, et par conséquent une durabilité plus faible. Par contre s'il présente un taux élevé de petits pores discontinus, l'absorption capillaire sera moins élevée et la durabilité augmente, c'est le cas d'un béton de sable bien compacté.

- **La perméabilité**

La perméabilité varie en fonction de la taille des pores et de leurs continuités ; de ce fait un matériau ayant un taux de pores élevés, de tailles grandes et continues présente une perméabilité forte, ce qui conduit à une durabilité faible. En suivant cette hypothèse un béton de sable aura une perméabilité moins élevée d'où une durabilité plus forte.

Cette distribution poreuse particulière, observé sur beaucoup de béton de sable optimisé dans le cadre du projet SABLOCRETE, contribue pour une bonne part à leurs bons comportements vis-à-vis des essais de durabilité [19].

D'autres parts, la perméabilité à l'eau est du même ordre de grandeur que celle du béton traditionnel ; quant à la perméabilité à l'air, elle conduit à des résultats globalement inférieurs ou comparables à ces mêmes bétons classiques [19].

1.4.6 Exemple d'application des bétons de sable [30]

Les BS sont employés à grand échelle dans plusieurs domaines telle que le domaine de préfabrication : bordures et toitures, tuyaux, mobilier urbain, voûtes en voiles minces, caissons de plafond, cloisons et autres éléments constructifs d'immeubles, etc. Et aussi dans le bâtiment, ou le BS consiste à remplacer le BO dans des structures en béton armé coulé et vibré, ou hyper compacté : (éléments horizontaux et verticaux, dalles, fondations etc.).

On trouve également des réalisations en béton de sable dans le domaine des chaussées routières et aéroportuaires ainsi que dans des travaux de calage de bourrage ou d'injection, sans oublier le plus important dans notre recherche, son utilisation dans le domaine des réparations. La plupart des applications actuelles du béton de sable tiennent d'avantages à

ses propriétés spécifiques par rapport au béton traditionnel, qu'a l'économie qu'il pourrait représenter en remplaçant celui-ci.

Pour mettre en évidence l'utilisation des BS dans la rénovation et réparation des ouvrages, on peut citer quelques exemples d'applications :

- Réhabilitation des silos à grains à Moscou : travaux de rénovation avec ferraillage de surface et une couche de béton de sable en 6 cm d'épaisseur [31]
- Réhabilitation d'une réfrigérante centrale thermique de Lynbertsy (banlieue de Moscou) 1975. [30]
- Pont de Castagne sur le salat (construit entre 1862 et 1867) et Pont de Saint Martory (construit entre 1724 et 1727), en France [29] : Réparation des deux grands ouvrages d'art en1991, le problème qui s'est posé c'est l'érosion des fondations qui ne reposent plus sur le substratum, alors la réparation se fait en réalisant des corsets et des remplissages parfaits des vides qui comptent de béton de sable.



Fig.1.20. Pont de Saint-Martory.1724 [16]

- Réhabilitation structurante d'un collecteur encombré Agrippa d'Aubigné de la ville Paris. [20]
- Réhabilitation structurante d'un collecteur fortement dégradé Naujaede la ville Bordeaux. [20]
- Réfection de l'habillage d'un talus abrupt en bordure d'une autoroute urbaine (A10, Lormont (France).) [20]
- Réhabilitation d'une buse métallique : RN 89, ARTIGUES près de bordeaux. [20]

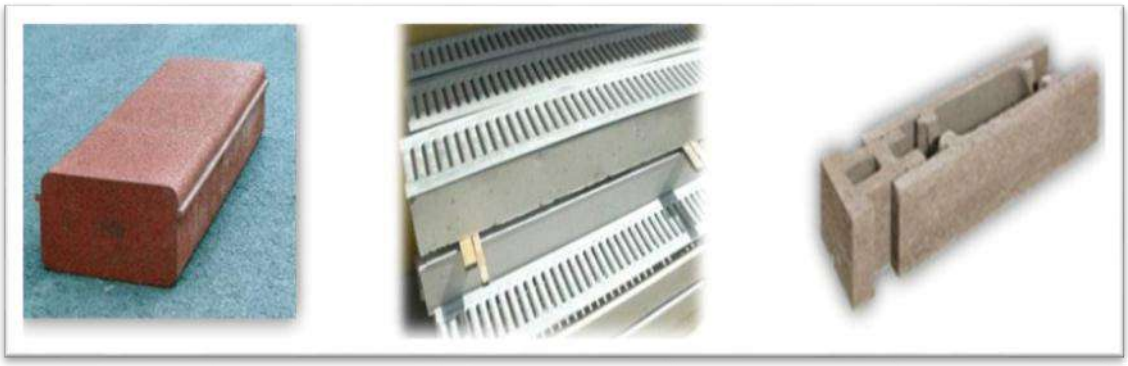


Fig.1.21. Les éléments préfabriqués en béton de sable [20]



Fig.1.22. Domaine d'application de béton de sable [20]

1.4.7 Types de béton de sables

A) Bétons de sable fluides

Les bétons fluides ont été développés récemment afin d'améliorer les conditions d'exécution et la productivité des chantiers ainsi que la qualité et la durabilité des ouvrages. Ces bétons ont trouvé un grand intérêt dans certaines conditions d'utilisation telles que : l'absence de vibration, la faible accessibilité aux zones ferraillées et aux formes complexes des coffrages et le besoin de pomper le béton à des distances importantes. Le concept du BS s'adapte parfaitement aux conditions particulières citées ci-dessus. En plus, l'absence totale ou partielle des gros granulats dans le BS minimise le risque de ségrégation.

La fluidité doit être assurée par l'utilisation des adjuvants super plastifiants afin d'éviter l'ajout excessive et incontrôlé de l'eau, qui entraîne une diminution des performances physico-mécaniques et de la durabilité. Pour que les bétons de sable fluides soient homogènes et stables vis-à-vis du phénomène de ségrégation et de ressuage, l'utilisation des éléments fins ou d'un adjuvant de viscosité est obligatoire.

Les bétons de sable fluides sont intéressants pour certaines applications en génie civil comme les pieux forés, les injections et les reprises en sous-œuvre. Les bétons de sable fluides sont économiquement mieux adaptés aux dallages du bâtiment. S'agissant d'éléments horizontaux, la fluidité convient et l'auto-nivellement est un atout considérable. L'intérêt réside dans les avantages suivants :

- Rapidité et simplicité d'exécution ;
- Limitation des moyens en personnel et en matériels ;
- Nuisances réduites (absence de vibration).

Dans le cas des aménagements de voirie peu dénivelés (comme les aires de stationnement et les voies piétons), où les performances demandées ne seront pas élevées, elles se prêtent parfaitement à la technique de fluidification de BS.

Les bétons de sable fluides présentent des performances comparables aux bétons fluides classiques, dont l'utilisation semble se développer actuellement. Indépendamment de l'aspect environnemental lié à l'utilisation des BS, il pourra être mieux adapté aux cas suivants :

- Risques de ségrégation préjudiciables ;
- Forte densité de ferraillages ;
- Recherche d'un produit fini.

Le BS fluidifié présente un surcoût allant de 10 à 25 % par rapport à un béton traditionnel. Par exemple, les BS nécessitent des dosages plus élevés en fluidifiants et additions que les bétons traditionnels, pour avoir des performances identiques.

Indépendamment à l'aspect économique et aux gains de productivité, le BS fluidifié peut être une meilleure adaptation aux plusieurs applications mal assurées par les bétons traditionnels.



Fig.1.23. Dallage en BS fluidifié auto compactant (Base aérien de Dijon) [19]

1.4.8 Formulations des bétons de sable

1.4.8.1 Définition

Le but de la formulation d'un béton de sable est de trouver les proportions des différents constituants, à fin de réaliser un béton optimisé dans son squelette granulaire et dont les qualités sont celles qui répondent aux critères techniques et économiques.

Ainsi toutes les méthodes de formulation des bétons ne relèvent pas d'une science exacte, c'est pourquoi une étude théorique ne conduit qu'à une approche du problème.

Une étude expérimentale basée sur la réalisation des gâchées successives permettra d'adapter et de corriger la formulation théorique.

A ce titre il y a lieu de présenter deux types de formulations, résistance mécanique. La maniabilité qui est la facilité de la mise en œuvre [32].

1.4.8.2 Approche théorique d'une formulation d'un béton de sable

Les agrégats d'un béton jouent un rôle d'ossature et la pâte (généralement le ciment avec l'eau) assure, dans un premier temps, la cohésion et l'écoulement, puis joue le rôle d'une colle liant les agrégats et donnant une certaine durabilité au matériau durci.

Le premier problème qui se pose lors d'une formulation d'un béton est la compacité du squelette granulaire définie comme le rapport du volume des constituants solides sur le volume total du mélange ; il faut assurer au mélange une compacité maximale et donc diminuer au maximum la porosité.

Cependant la détermination de cette compacité maximale n'est pas facile et fait l'objet de modélisation poussée. Caquot [1] a pu établir à partir des données expérimentales une relation mathématique reliant le volume des vides d'un mélange granulaire présentant une compacité maximale et son étendue granulaire (d/Dmax).
Pour ce mélange optimisé la relation de Caquot s'écrit comme suit [20]

$V = V0\ (d/Dmax)^{1/5}$ **...** **Eq. 2**

Avec :

V : Volume des vides du mélange granulaire ;
V0 : Constante expérimentale comprise entre 0,7 et 0,8 ;
d : La dimension du plus petit grain de l'étendue granulaire ;
Dmax : 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.

1.4.8.3 Dosage en fines d'un béton de sable [32]

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

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 :

$$Ps = V = 0.75\ (0.08/D)^{1/5} \qquad \textbf{Eq. 3}$$

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

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.

$$[Fines] = 0.38\ (0.08/Dmax)1/5 \qquad \textbf{Eq. 4}$$

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

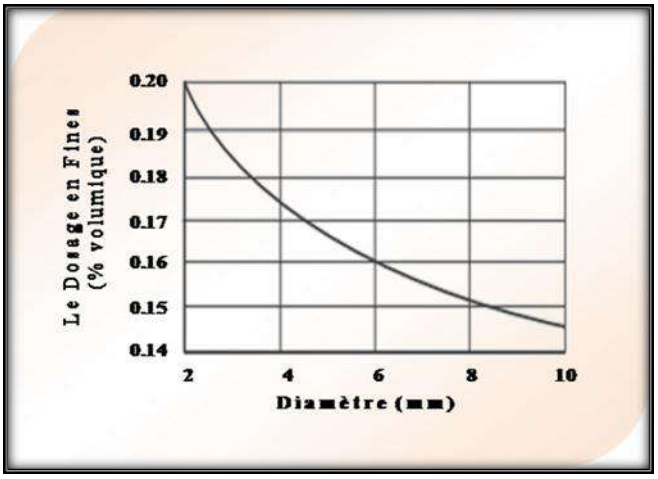


Fig.1.24.nfluence du diamètre D du sable sur le dosage en fines [22].

1.4.8.4 Dosage en eau d'un béton de sable [22]

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.

1/5

Eq. 5

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 :

$$d = (60 / (f))\ mm \times \rho \qquad \textbf{Eq.6}$$

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 I.24 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.

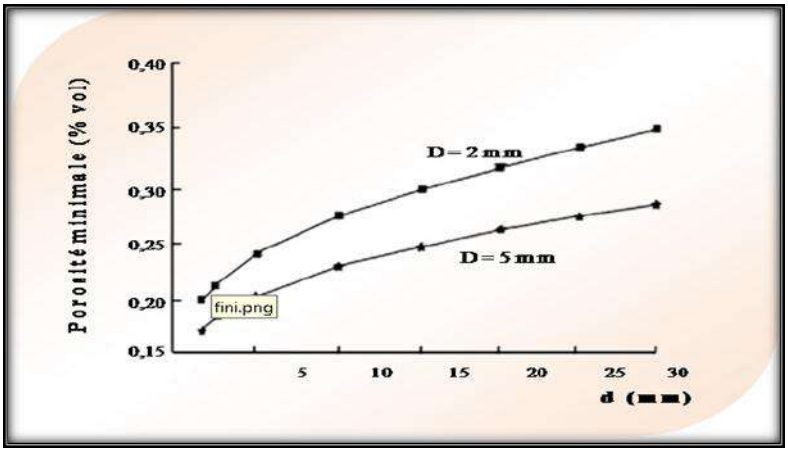


Fig.1.25. Influence de la dimension d sur la porosité minimale du béton

Pour deux tailles du sable [22]

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

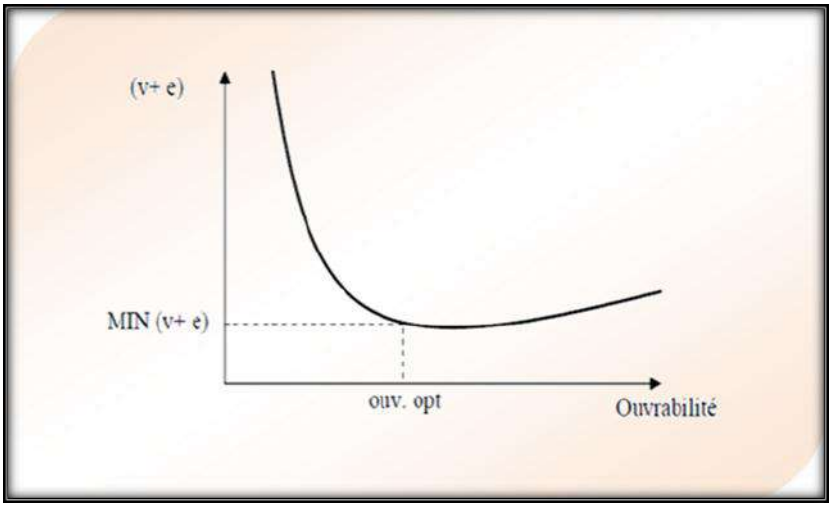


Fig.1.26. Relation entre l'ouvrabilité et le dosage (e + v) d'une matrice

Pour mise en œuvre donnée [22**]**

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

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

[Vides] = K [eau] **Eq .7**

Avec :

K : constante comprise entre 0.2 et 0.25.

1.4.8.5 Dosage en sable [18]

Afin de compléter un volume unitaire de béton de sable, (1m3), de la formulation, le dosage en sable est obtenu en faisant soustraire au mètre cube du mélange les dosages estimés précédemment des autres constituants (fines, eau, vide).

[Sable] = 1000 - [Fines] - [eau] - [Vide] (l/m3) **Eq. 8**

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.

1.4.8.6 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 [28] a été proposée récemment.

$$R_b = \frac{k_f \times R_c}{\left(1 + \frac{3,1\,(e+v)}{c\,(1+k_1+k_2)}\right)^2} \qquad \textbf{Eq. 9}$$

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 ≤ 0.5

K2 = Kfil (Fil/C) ; 0 < Kfil ≤ 0.4 K1<0.2

K1 : coefficient pouzzolaniques

K2 : coefficient d'activité du filler calcaire. (Voir figure 1.26)

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 [1], 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 au 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.

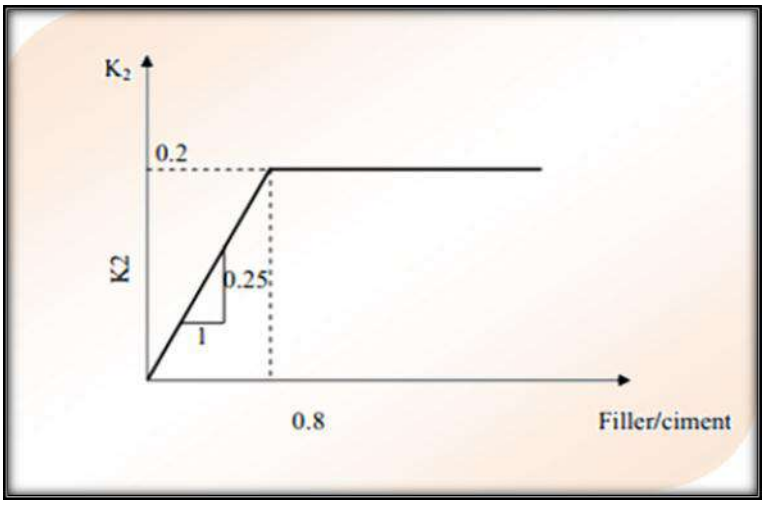


Fig.1.27. Coefficient d'activité du filler calcaire (modèle**)** [19].

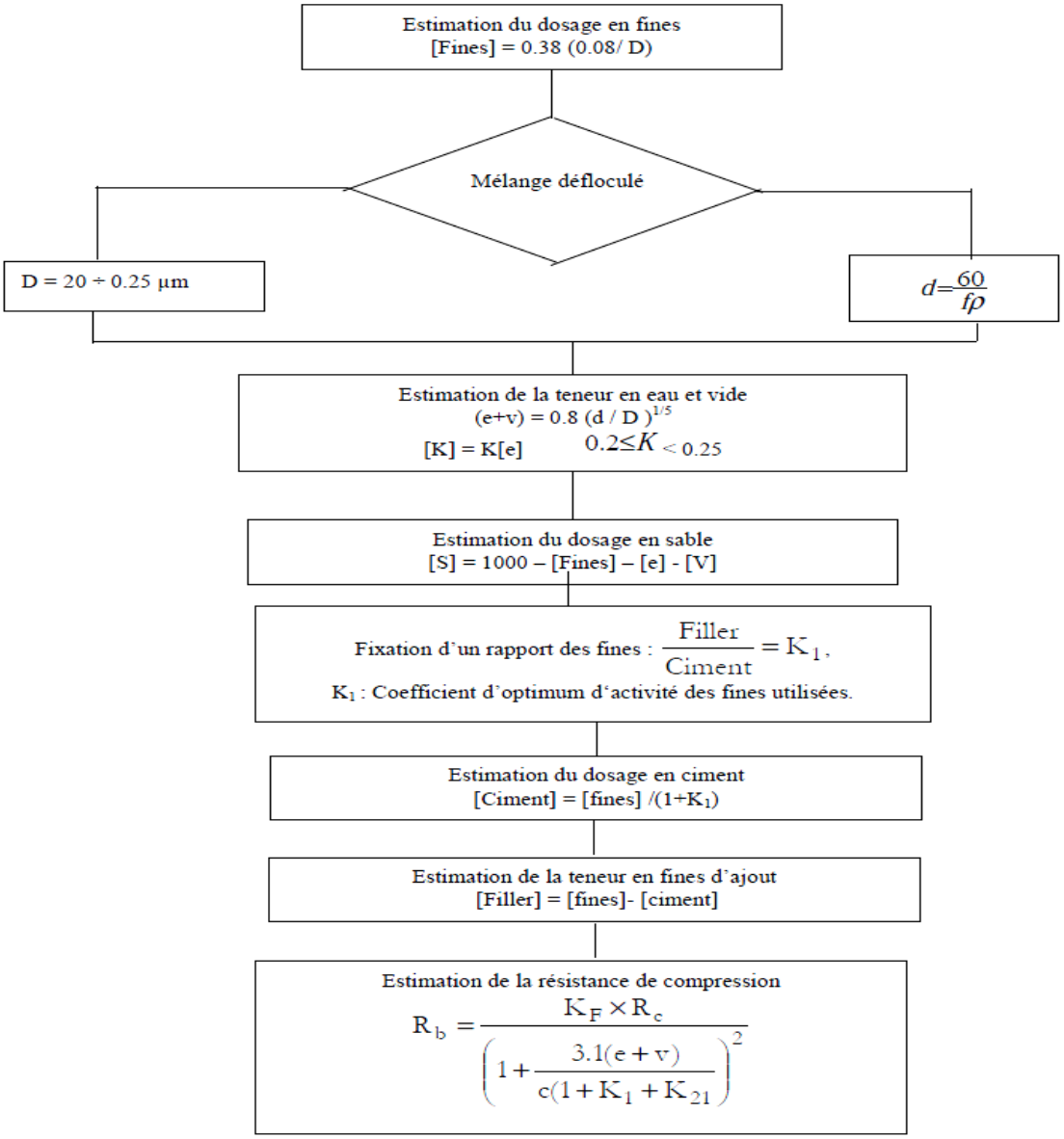


Fig.1.28. Organigramme de la méthode théorique. [19]

1.4.8.7 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 maniabilité 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 **[**22].

A) Les différentes étapes de la formulation [22]

1) Détermination d'une formule de base sans fines d'addition

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

2) 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).

3) 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.

B) 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 + V adj + V sable = 1000 (En litres) **Eq. 10**

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).

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

S*i* **=** s*i*-1 – (MVAT *i*-1 – MVAR *i*-1) ± MV sable **Eq. 11**

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 à la maniabilité 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.

D) 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 :

$$\mathbf{S}i = S_{i-1} - (MVAT_{i-1} - MVAR_{i-1}) \qquad \textbf{Eq. 12}$$

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 1.28, 1.29.
- **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.

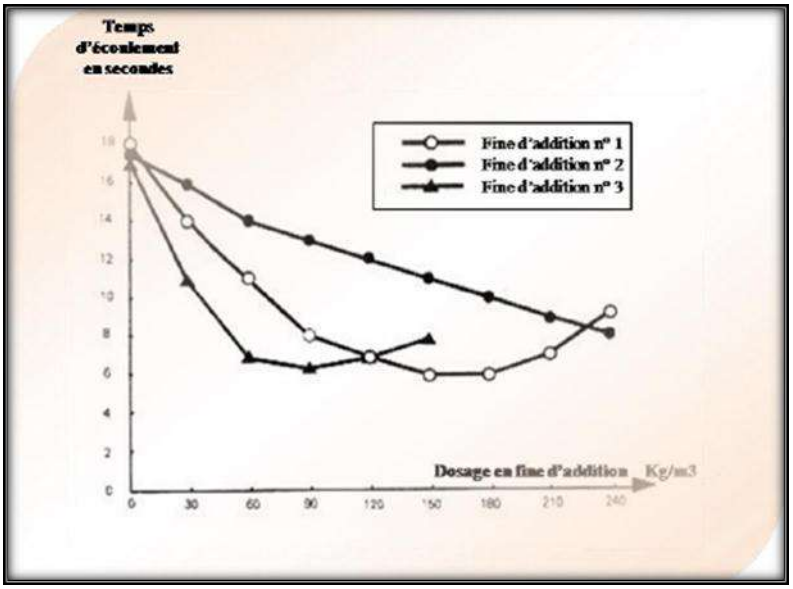


Fig.1.29. Evolution de la maniabilité en fonction Du dosage en fine d'addition [23].

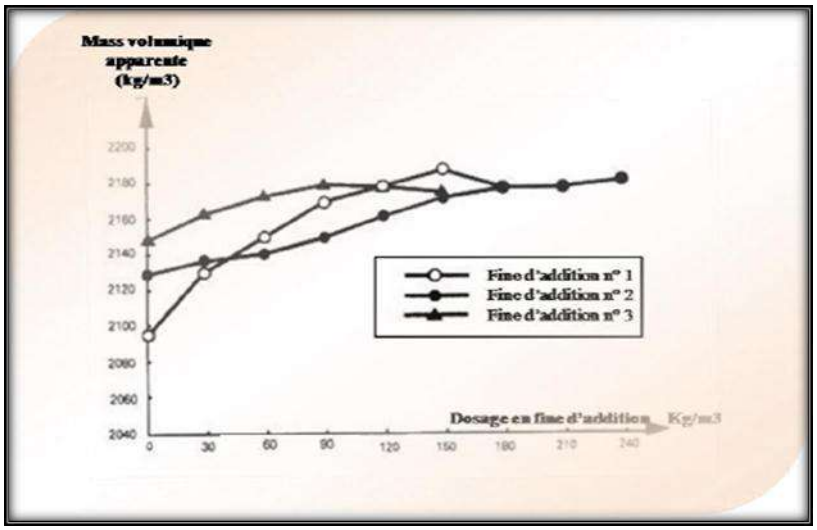


Fig.1.30. Masse volumique apparente en fonction Du dosage en fine d'addition [23]

1.5 Valorisation du laitier du haut fourneau dans les matériaux à base cimentière

1.5.1 Introduction

Depuis ces vingt dernières années, les déchets industriels représentent une part importante des déchets solides municipaux. De plus, ils posent un sérieux problème à cause de leur durée de vie et parce que ce sont des déchets voyants. Leur gestion est donc nécessaire que ce soit d'un point de vue environnemental, économique ou social. Les premiers procédés mis en place pour les traiter furent l'enfouissement et l'incinération.

Toutefois, la croissance exponentielle des déchets d'emballages plastiques amène à prévoir d'autres filières de recyclage. Les matériaux de construction peuvent représenter un débouché intéressant. En effet, des études antérieures, ont montré qu'il était possible d'utiliser les déchets de laitier dans les bétons et même d'autres types de déchets comme les granulats recyclés de démolition et/ou de construction

1.5.2 Influence de laitier granulé sur les caractéristiques de matériaux à base cimentaire

1.5.2.1 Etat frais

- **a)Ouvrabilité**

Siddique et Kaur [25] ont étudié l'influence de substitution de (0%,20%,40% et 60%) du ciment par le laitier granulé sur l'affaissement de béton ordinaire. Ils ont trouvé que plus le pourcentage de laitier augmente plus l'affaissement est diminué.

Nataraja et al. [24] ont trouvé aussi que la fluidité du mortier est diminuée en fonction d'augmentation de pourcentage de laitier granulé avec des pourcentage de (25%,50%,75% et 100%). Ce résultat confirme les résultats de D. Suresh and K. Nagaraju [25] (Fig.1.25)

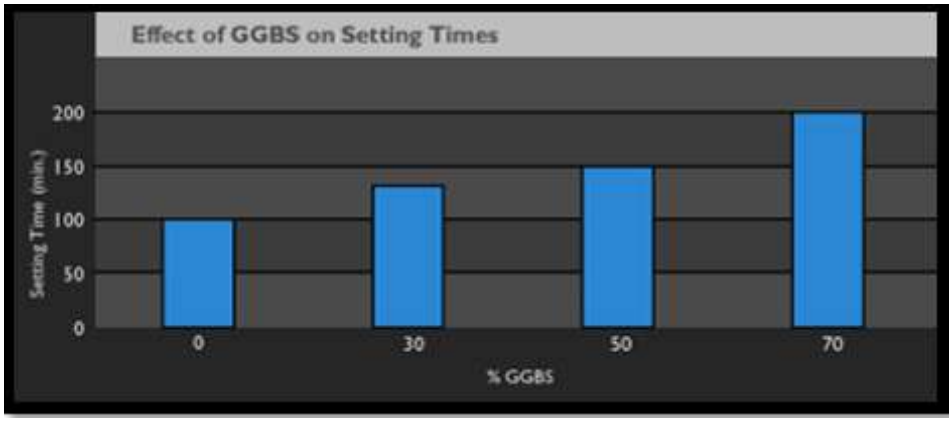


Fig.1.31. Temps d'écoulement du béton à base de laitier granules [26]

1.5.2.2 Etat durci

➢ **La résistance à la compression et à la traction**

Nata raja et al. [24] ont étudié l'effet de remplacement de (25%,50%,75% et 100%) du ciment par de laitier granulé sur la résistance à la compression du mortier ordinaire. Ils ont constaté que la résistance à la compression du mortier augmente en fonction d'augmentation de pourcentages de laitier de haut fourneau.

Singh et al.[44] ont trouvé que la substitution du sable naturel par le laitier granulé avec des pourcentage de (0%,10%,20%,30%,40%,50%,60%,70%,80%,90 ?et 100%) augmente la résistance à la compression du béton à l'âge de 28 (Fig a) et à l'âge du 90 jours (Fig b).Ils ont constaté aussi que la résistance à la compression atteins sa laveur maximal à 50% de substitutions du sable par le laitier de haut fourneau. Au de la de cette valeur la résistance à la compression commence à diminué mais reste toujours plus importante que celle du béton ordinaire. Ce résultat confirme les résultats de H. Yazıcı et al. [27] (Fig.1.32).

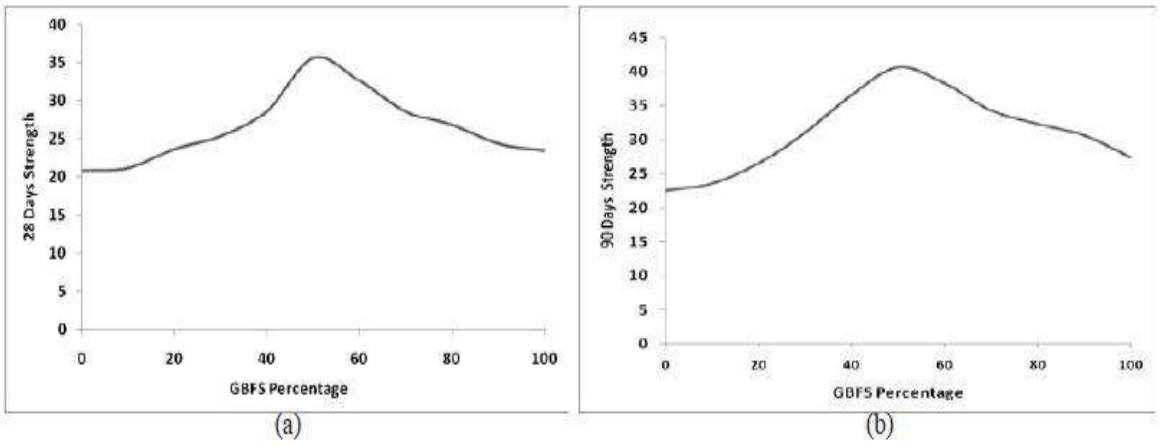


Fig.1.32. La résistance à la compression du béton en fonction de pourcentage de laitier haut fourneau à l'âgé de 28 (a) et 90(b) jours [27]

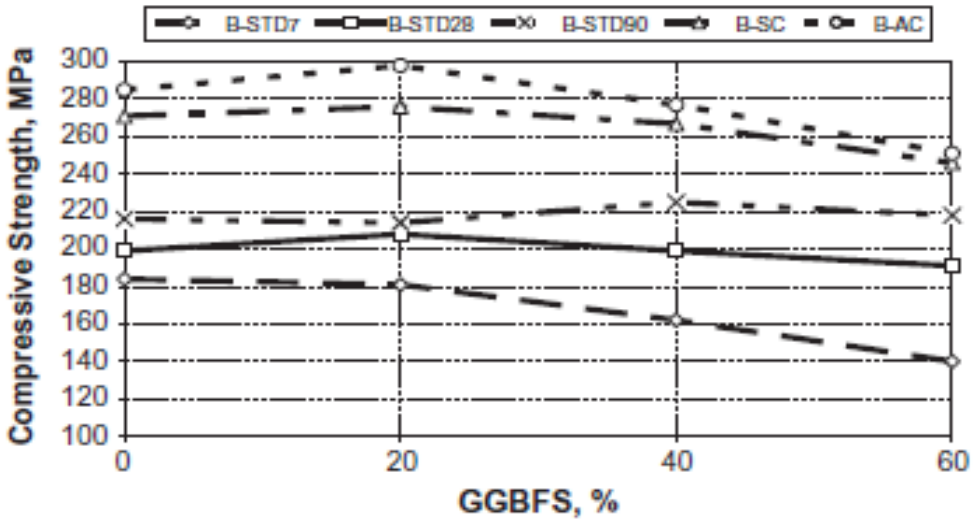


Fig.1.33.L'influence de laitier haut fourneau sur la résistance à la compression du béton [29]

Hiraskar et Patil [29] ont constaté qu'il n'est ya pas un grand effet d'incorporation laitier granulé sur la résistance à la compression et à la traction par flexion du béton ordinaire (Fig1.34).

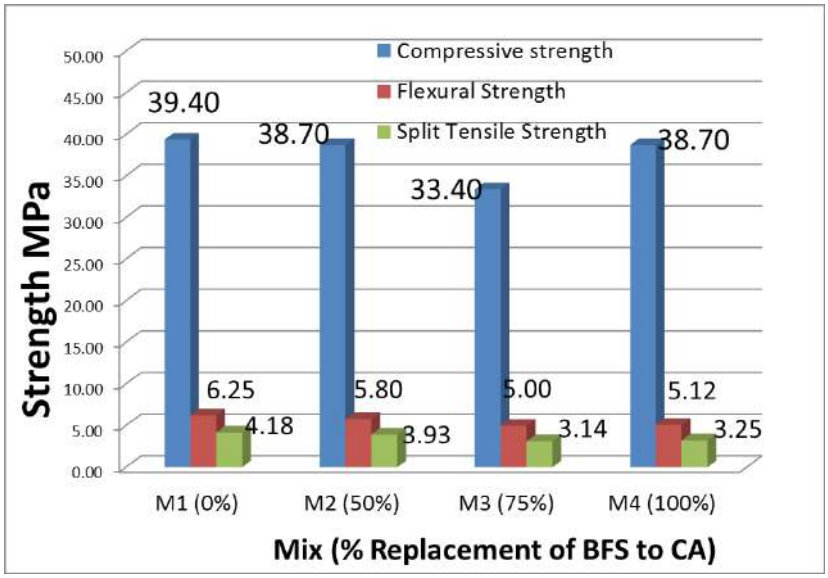


Fig.1.34.28 Days Strength of BSF Concrete for different mixes [28]

1.6 Approche de durabilité

- **Retrait**

H. Yazıcı et al. [29] ont étudié l'influence d'incorporation de laitier de haut fourneau sur le retrait total du béton vibré. Ils ont constaté que le retrait est diminué en fonction de pourcentage de laitier granulé. Ce résultat confirme le résultat de Collepardi et al. [31]

- **Résistance au feu**

Le béton est un matériau qui présente un bon comportement lorsqu'il est soumis à des hautes températures. Et c'est l'une des raisons pour laquelle il est largement utilisé pour la réalisation des structures porteuses, des bâtiments et des ouvrages de génie civil. Malgré ce bon comportement, face à un incendie, les performances du matériau peuvent être plus ou moins affectées en fonction de la température maximale atteinte, de la durée de l'incendie et de la composition du matériau [5].

Sadique et Kaur [25] ont étudié l'influence des hautes températures sur la résistance à la compression des bétons à base de laitier granulé. Ils ont conclu que la résistance à la compression est diminuée en fonction d'augmentation de température mais ces résultats restent acceptables pour un béton de construction (Fig.1.35 et Fig.1.36).

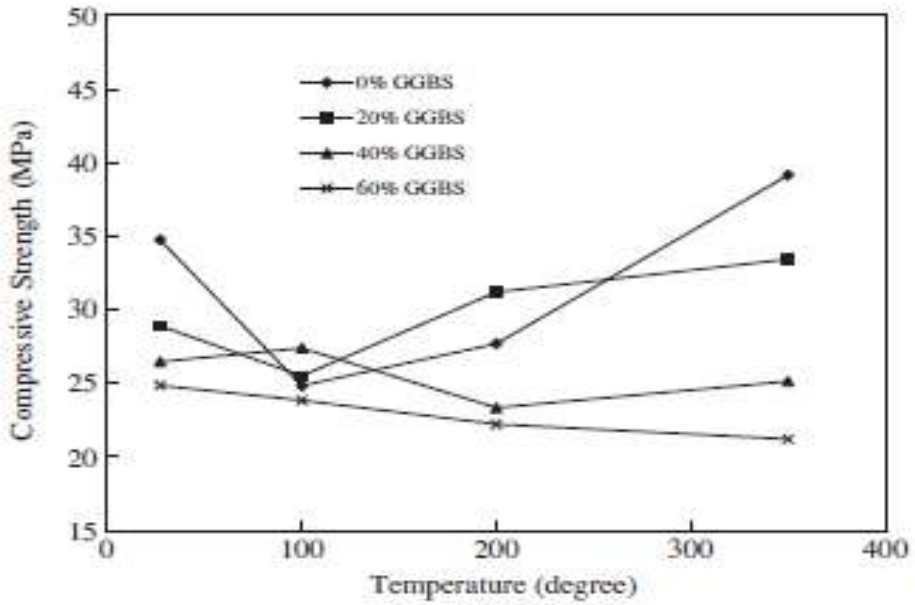


Fig.1.35. La résistance à la compression à l'âge 28jours du béton à base de laitier granulé [32]

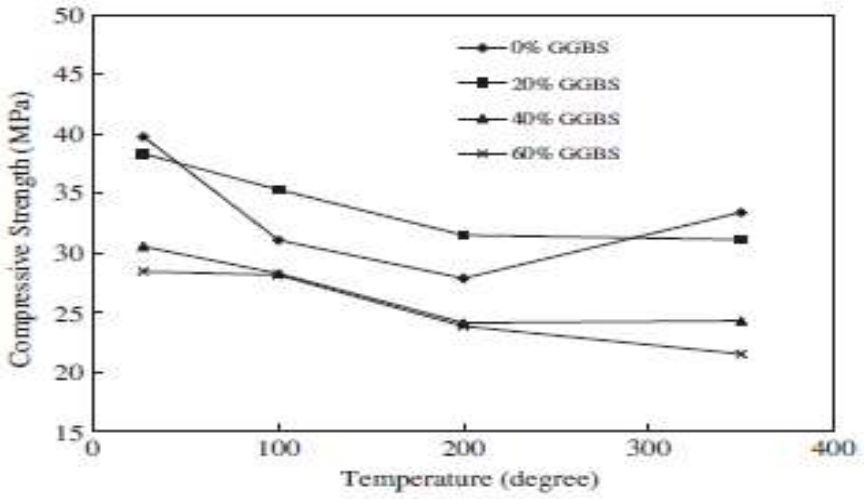


Fig.1.36. La résistance à la compression à l'âge 56 jours du béton à base de laitier granulé [32]

1.7 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons passé en revue la problématique des déchets usagés non réutilisables, ainsi que de leurs recyclage et valorisations. Puis on a donné une généralité sur le laitier de hauts fourneaux (définition, origine, composition, propriétés, utilisation), puis on parle par le béton de sable (définition, composition, utilisation, formulation).
et on termine notre chapitre pare quelque travaux scientifique et l'effet de la valorisation de LGHF comme sable et son influence sur les caractéristique des matériaux cimentaire

Chapitre 02 :
Matériaux et Essais

2.1 Introduction

Ce chapitre a pour objectif de présenter les différents matériaux et les techniques expérimentales utilisées dans notre étude. On présente en première partie les caractéristiques et les propriétés des matériaux de base utilisés dans le laitier granulé. Dans une seconde partie, on exposera la méthode de formulation adoptée dans les différentes compositions des bétons de sable fluide. Ensuite, on présente les essais réalisés au cours de notre investigation sur les BSF.

Le béton de sable fluide caractérisé à l'état frais par les essais spécifiques suivants :

- **A l'état frais**
  - L'étalement
  - V-funnel
  - La densité

A l'état durci nous avons évalué, la résistance à la compression.

En ce qui concerne l'étude de l'approche de la durabilité, nous avons réalisé les essais suivants :

- L'absorption d'eau par capillarité.
- Les variations dimensionnelles (retrait et gonflement)

2.2 Matériaux utilisés

Les caractéristiques physico-chimiques des matières premières utilisées pour la confection des bétons de sable fluide présentées ci-après.

2.2.1 Le sable

Nous avons utilisés un seul type de sable, il s'agit de sable OUED SOUFprovient de la wilaya d'OUED SOUF situé à 500 Km de sud de l'Alger. L'aspect général du sable utilisés est représenté dans la figure 2.1 ci-dessous.



Fig.2.1. Le sable utilisée

La granulométrie du sable utilisés est représentée dans la figure 2.2 et les caractéristiques physiques du sable utilisés sont regroupées dans le tableau2.1 suivant

Tableau 2.1. Caractéristiques physiques de sableutilisé

Caractéristiques	**Sable utilisé**
Module de finesse	2.25
Masse volumique absolue (Kg/ m^3)	2.64
Masse volumique apparente (Kg/m^3)	1.63
La compacité (%)	62
La porosité (%)	38
Equivalent de sable (%)	81.9
Coefficient d'absorption d'eau (%)	0.42

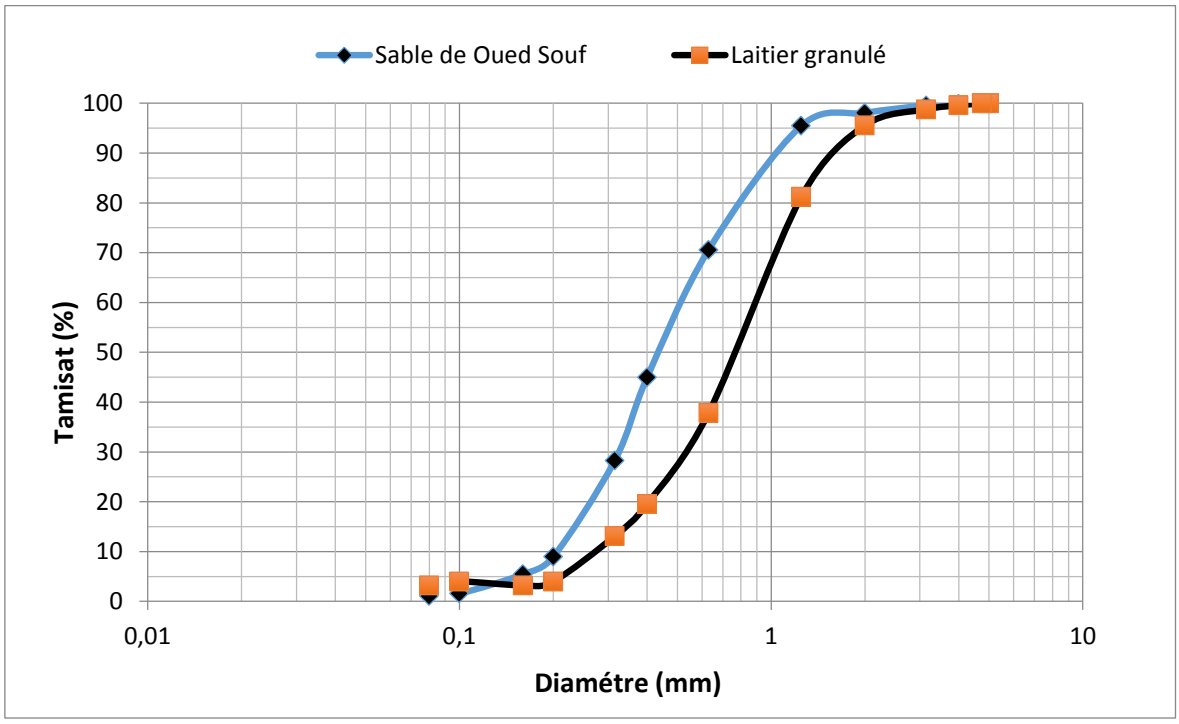


Fig.2.2. Courbe granulométrique du sableet de laitier granuléutilisée

2.2.2Ciment

Le ciment utilisé dans cette étude est le ciment portland composé ‘’MATINE ‘’ CEM II/A 42.5, qui a une résistance minimale à la compression à 28 jours de 42,5 MPa (fig.2.3), une masse spécifique de 3,1 g/cm^3, et une finesse de 3964 (cm^2/g) produit par la cimenterie d’Oggaz (Mascara) dont l’ajout est le calcaire.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 d’un mélange convenablement dosé et homogénéisé de calcaire et d’argile. Ce ciment est constitué d’oxydes minéraux dont les principaux sont la chaux (CaO) à fonction basique et la silice (SiO_2) à caractère acide. On trouve également l’aluminium (Al_2O_3) et le fer (Fe_2O_3). Ils sont rendus aptes à réagir entre eux et avec l’eau par traitement thermique à des températures comprises entre 1300 °C et 1500°C.En présence d’eau à lieu la réaction d’hydratation consistant en la formation d’un réseau résistant constitué principalement de microcristaux de silicates de calcium hydratés. MATINE présente des performances mécaniques et des caractéristiques physicochimiques conforment à la norme NA 442.



Fig.2.3. Ciment MATINE utilisés

Le tableau2.2résume la composition chimique et letableau 2.3 représentelacomposition minéralogique du ciment utilisé. Lescaractéristiques physicomécaniques sont représentées dans le tableau 2.4. L'analyse chimique du ciment menée par rayon X met en évidence l'existence des éléments de la composition minéralogique (Fig. 2.5).Néanmoins, cette analyse à un aspect qualitatif et non quantitatif. Cette analyse confirme l'existence des C_3S, C_2S, C_3A et C_4AF.

Tableau 2.2.Composition chimique de ciment utilisé

SiO2	**Al2O3**	**Fe2O3**	**CaO**	**MgO**	**K2O**	Na2O	SO3	CaOlibre	Cl	Rinso	PF
23.83	**6.05**	**4.66**	**56.35**	**2.44**	**0.83**	0.58	2.37	0.76	0.035	6.51	2.23

Tableau 2.3.Composition minéralogique de ciment utilisé

C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF	CaO libre	Gypse	Ajout
59	16	7	12	1	5	17 % calcaire

Tableau 2.4 : Essai physiques sur le ciment utilisé

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

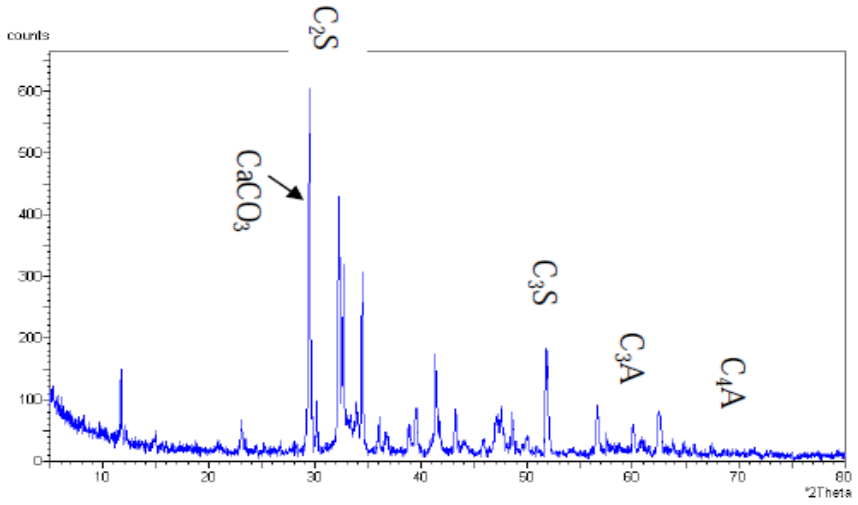


Fig.2.4. Diagramme de DRX appliqué sur le ciment utilisé

2.2.3 Fillers

Les fillers utilises dans notre cas sont de nature marbre (fig. 2.5) qui sont obtenus par broyage des roches de marbre provient de carrière de Skikda. Leurs caractéristiquesphysiquessontmentionnées dans le Tableau.2.5 ci-dessous.



Fig.2.5. Les fillers de marbre utilisés

Tableau 2.5. Caractéristiques physiques des fillers de marbre utilisées

Caractéristiques	Valeurs
La masse volumique apparente (Kg/m^3)	1.083
La masse volumique absolue (Kg/ m^3)	2.73
La finesse (Cm^2/g)	3100

2.2.4. Adjuvant

L'adjuvant utilisé est un Super plastifiant-Haut réducteur d'eau fabriqué par la société, Algérienne GRANITEX, commercialisé sous l'appellation 'MEDAFLOW130', de forme liquide ; de couleur brai clair ; d'un pH égal à 5-6, de densité 1,065 ± 0,015 et d'une teneur en chlore< 1g/L .



Fig.2.6. Superplastifiant utilisé dans notre étude

2.2.5 Eau de gâchage

L'eau qui a été utilisée pour le gâchage est une eau potable de distribution de notrelaboratoire, exempte d'impuretés, et sans aucun traitement supplémentaire. Le pH mesurérégulièrement est voisin de 7,5.

2.2.6 Laitier granulé

Le laitier granule utilisé dans cette étude est proviendt'usine e Del hadjar d'Annaba il a une forme de sable (fig.2.6) il est incorporé dans la masse de BSF avec une substitution volumique du sable avec des pourcentages de (05%,10%,15% ,20%, 25% et 30%).les caractéristique de laitier granule utilisé est représenter dans le tableau ci-dessous



Fig.2.7.laitier granule utilisés

Tableau 2.6. Caractéristiques physique de laitier granulé utilisées

Caractéristiques	laitier granulé
Module de finesse	2.65
La masse volumique apparente(Kg/m3)	1.6
La masse volumique absolue (Kg/m3)	2.70
La compacité (%)	66
La porosité (%)	33
Coefficient d'absorption d'eau (%)	0.56

2.3 Composition des mélanges

La composition du béton de sable fluide la confection des éprouvettes est basée sur la méthode théorique SABLOCRETE 1994 [18]. Le laitier granulé est incorporée dans la masse du béton de sable fluide par substitution volumique du sable avec de pourcentage de 05% ,10%,15%, 20%,25% et 30%. Les familles du béton de sable fluide obtenus sont répertoriées comme suit :

BSFT : Béton de sable fluide témoin.

BSF LG : Béton de sablefluideà base de laitier granulé.

La composition de chaque famille du béton est codifiée et mentionné dans le tableau 2.7 suivant :

Tableau. 2.7. Compositions des bétons de sable fluide de laitier granulé (pour 1 m³)

	BSFT	**BSF LG**					
Les pourcentages	0%	5%	10%	15%	20%	25%	30%
Sable (Kg/m^3)	1328	1261.6	1195.2	1128.8	1062.4	996	929.6
Ciment (Kg/m^3)	400						
Fillers de marbre (Kg/m^3)	200						
laitier Granulé (Kg/m^3)	/	66.4	132.8	199.2	265.6	332	398.4
Eau (l/m^3)	240						
Adjuvant (%)*	/	1.1	1.3	1.5	1.6	1.1.7	1.9

(* Par rapport à la masse de liant)

2.4Malaxage et conservation

Le malaxage des bétons de sablefluide fait en malaxeur à mortier d'une capacité de 0.5 L (Fig.2.7).L'introduction des constituants se fait du plus gros au plus fin. Le but recherché est de répartir, le plus régulièrement possible, chaque constituant afin d'assurer un mélange homogène et d'obtenir ainsi les mêmes propriétés. Le malaxage de chaque mélange se fait de la manière suivante :

- on verse les gros grains (le sable et de laitier granulé) ;
- puis en verse les filler (marbre) et le ciment ;
- on malaxe pendant 30seconde en vitesse faible ; puis on verse 60% de la quantité de l'eau et on malaxe pendant 1,5 minute.

- on verse le reste 40% de l'eau etla quantité d'adjuvant et on continue le malaxage pendant 2.5 minutes en même vitesse ;
- on malaxe pendant 3 minen vitesse rapide ;
- on léser le mélangereposependant 3min ;
- on malaxe le mélange pendant 1,0 min en vitesse rapide.



Fig.2.8. Procédure de malaxage

2.5Essai réalisé à l'état frais

Juste après chaque malaxage, trois essais sur béton de sable fluide frais ont été réalisés de chaque pourcentage

Tableau 2.8. Essais sur bétons sable fluide frais.

Essais	Appareil	Nombre d'essaie
L'étalement	Mini-cône	15
Temps de passage	V funnel	6
Densité	Moule (1L) + Balance	6

2.5.1 L'étalement

L'essai d'étalement consiste à remplir un moule tronconique place sur une surface horizontale lisse, une fois le moule soulève, le diamètre d'étalement du mortier est mesure suivant deux directions perpendiculaire, la moyenne est retenu. La figure 2.8 montre les étapes de l'essai d'étalement mini cône.



Fig.2.9. Mesure de l'étalement du béton de sable fluide.

2.5.2 La densité

La masse volumique du béton de sable fluide a été mesurée selon la norme NF EN 12350-6 69].



Fig.2.10. Mesure de la densité du béton de sablefluide.

2.5.3 Essai del'entonnoir en (V -funnel)

L'entonnoir est destiné à imposer un écoulement du même type que celui impose entre deux armatures parallèles. L'entonnoir est rempli de mortier et le temps pour lequel le mortier prend pour couler à travers le dispositif est mesure. Ce temps mesure indique la fluidité et Caractérise la capacité du mortier à se déformer à travers des zones confinées par son passage par l'ouverture du col du dispositif. La figure montre les étapes de l'essai.



Fig.2.11. protocole de l'essai d'entonnoir (V- funnel).

2.6 Fabrication et confection des éprouvettes

Les différents types de bétons de sable fluidesont tous fabriqués dans l'environnement de laboratoire. Lebéton a été coulé dans des moules métalliques de forme prismatiques 4x4x16cm destinées aux essais de compression et de variation dimensionnelles. (fig 2.11).
Juste après la confection, toutes les éprouvettes ont été couvertes afin d'éviter le risque d'évaporation excessive et le retrait plastique. Après 24 heures de la confection, les éprouvettesont été démoulées et conservées selon deux modes différents : à l'air libre d'un climat moyen (laboratoire).
Les échantillons conservés dans l'eau ont été séchés à l'atmosphère de laboratoire pendant environ 24 heures avant l'âge d'essai et jusqu'à poids constant.



Fig.2.12.moules des éprouvettes

2.7. Essais sur béton de sable fluide durci

Les essais de caractérisation sur béton de sable durci sont résumes dans le tableau2.10 suivant :

Tableau 2.9. Essais sur bétons de sable durci

Essais	**Appareil**	**Dimension (cm)**
Compression	La Presse hydraulique	4x4x16
Retrait + gonflement	Déformètre	4x4x16
Capacité d'absorption d'eau	/	4x4x16

2.7.1Essais de compression

La résistance à la compression a été mesurée selon la norme [NF EN 196-1] par compression axiale pour demi-prisme d'éprouvettes prismatiques de dimensions 4×4×16 cm (fig.2.12), à l'âge 3, 7 et 28 jours, à l'aide d'une presse hydraulique de capacité maximale de 2000 KN conforme à la norme [NF P 18-412]. 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 (3j ,7j, 28j).

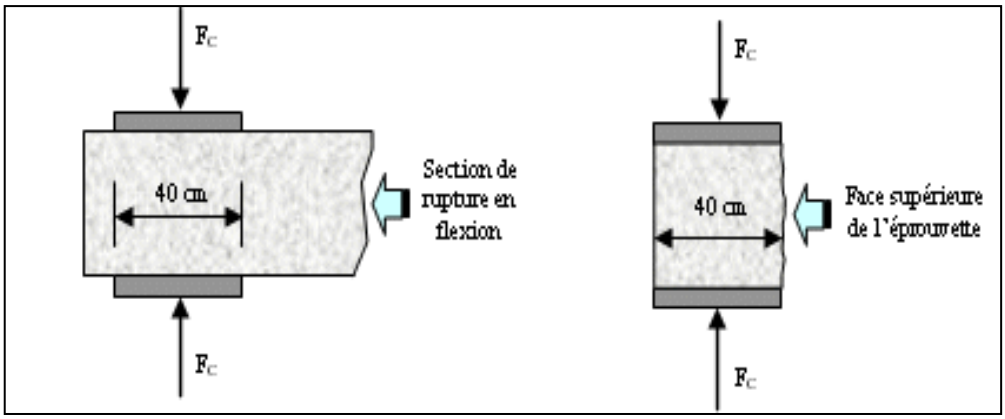


Fig.2.13. Dispositif de rupture à la compression

Les demi-prismes de l'éprouvette obtenus après rupture à la traction seront rompus à la compression comme indiquée sur la Figure 2.13, la contrainte de rupture est calculée comme suit : $\mathbf{R_C = \frac{F_C}{b^2}}$**Eq.13**

$\mathbf{R_C}$: Résistance à la compression en (MPa) ;

$\mathbf{F_C}$: Charge de rupture en (N) ;

b : Côte de l'éprouvette est égale à 40mm.



Fig.2.14.dispositif d'essai de compression

2.8. Essais sur l'approche de durabilité

❖ Absorption capillaire

Dans cet essai, on prend un morceau d'éprouvette de béton de sable déjà utilisé puis sécher. On le pesé (m_0) au début, après on l'introduire dans un bac remplit d'un film d'eau (5mm d'eau)(Fig. 2.14), et pendant chaque intervalle de temps (15 min, 30 min ,1 h, 2h ,4h ,24h, on remesure les morceaux (m_1), le différent de poids entre m_1 et m_0c'est le poids de l'eau absorbé (m_1- m_0) (NBN NE 13057) [].

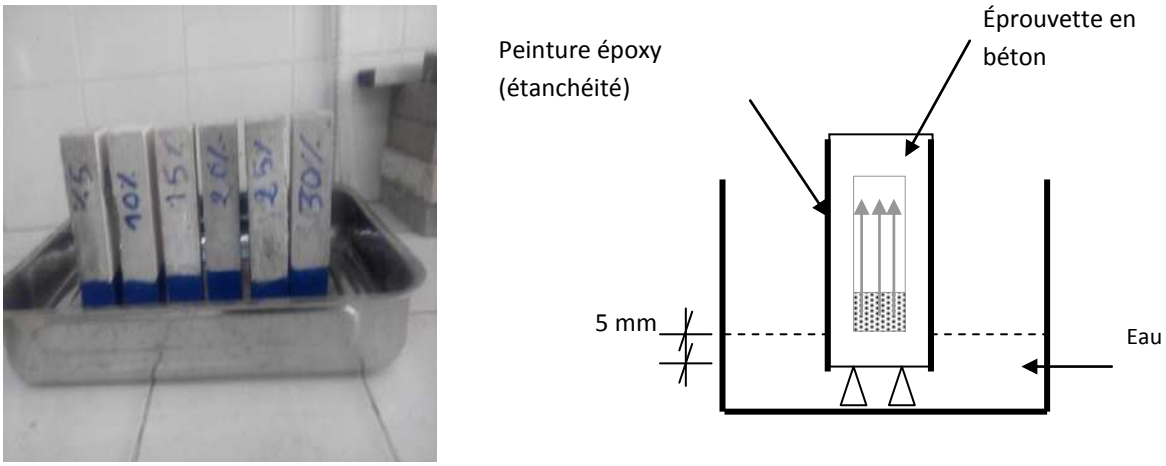


Fig.2.15. Absorption d'eau par succion capillaire.

❖ Les variations dimensionnelles

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 à l'air libre et gonflement sous eau ont été effectuées sur des éprouvettes prismatiques 4x4x16cm^{3}conformément à la norme [NF P 18-404]. Ces éprouvettes au nombre de trois par composition, sont après démoulage à 24 h, placées dans un déformètre(fig.52) munis d'un comparateur qui permet la mesurer du retrait et gonflement à tout moment à court terme et moyenne terme (du 1j jusqu'a 300 jours). La conservation des éprouvettes est faite à l'air libre dans le laboratoire à une température de

25 à 30°C pour l'essai de retrait, et dans l'eau à 20°C ± 2°C pour l'essai de gonflement.



Fig.2.16. La mesure à l'aide de déformètre

❖ **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 de0.03mm 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 seille ne peut être éliminée, l'éprouvette doit être rebutée.

Avant chaque sérié de mesures, l'appareil est étalonné avec une tige de métal de 160 mm de longueur et dont les extrémités reproduisent la forme des plots del'éprouvette (la tige est réalisée en métal Invar et protégée contre les variations de température qu'elle est appelée à subir au cours des manipulations) (fig 2.15).

➢ **Expression des résultats**

Pour chaque éprouvette on calcul les rapports suivants:

ΔL : Variation de longueur par apport à la longueur origine,

L0 : Longueur de base, prise égale à 160mm

ΔM : Variation de masse par apport à la masse au moment du démoulage,

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

- **Conduite de l'essai**

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

$$l = L + dl(t) \quad \textbf{Eq.14}$$

Soit l (t_0) la longueur de l'eprouvette au temps t_0 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:

$$\Delta l(t) = l(t) - l(t_0) = dl(t) - dl(t_0) \quad \textbf{Eq.15}$$

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

$$\varepsilon(t) = \frac{\Delta l(t)}{L} = \frac{dl(t) - dl(t_0)}{L} \quad \textbf{Eq .16}$$

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 alorsde retrait de l'éprouvette. Lorsque l'éprouvette est conservée dans l'eau, Δl(t) peut être positif: il y a alors gonflement).

2.9 Variables étudiées

Les variables d'étude utilisés au cours de ce travail sont résumés dans la Figure suivante :

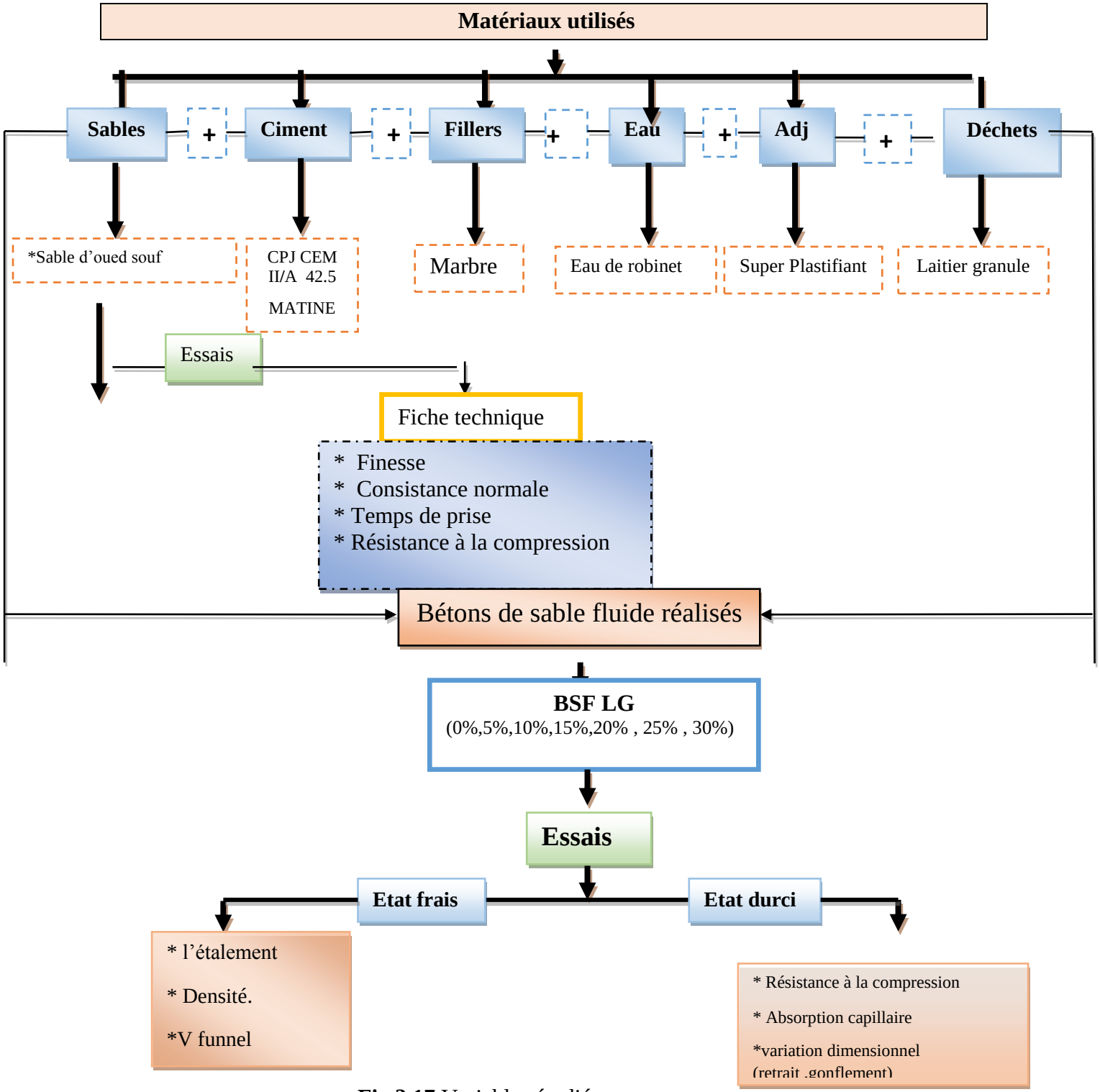


Fig.2.17. Variables étudiées.

2.10 Conclusion

L'utilisation des matériaux locaux et des déchets industriels recyclé dans la fabrication du béton de sable fluide est constitué une alternative économique ettechnologique importante dans certains pays en voie de développement. Cette recherche présente une contribution à l'étude de l'effet de laitier granule sur les propriétés rhéologiques, mécaniques et la durabilité des bétons de sable fluide. Ont été utilisé un seul type de sable de nature, il s'agit des sables de oued souf.

Cette partie de l'étude a successivement traité les points suivants :

- Caractérisation physique et chimique des matériaux utilisés dans les compositions des BSF

- La méthode de formulation utilisée, cette méthode appelée méthode expérimentale de projet SABLOCRETE.;

- Les procédures expérimentales et les essais réalisés sur les différents bétons de sableà base de laitier granulé à l'état frais et à l'état durci au cours de cette étude.

Chapitre 03 :

Résultats et interpétations

3.1 Introduction

Dans ce dernier chapitre on présente les résultats obtenus pour les différents essais réalisés sur le béton de sable auto-plaçant frais et durci. Les résultats sont rassemblés ci-après et les valeurs données sont les moyennes arithmétiques des trois résultats d'essais.

3.2. Influence de laitier granule sur le comportement du BSF

3.2.1 Caractéristiques du BSF à l'état frais

3.2.1.1 Etalement

Les résultats sont représentés sur un histogramme (Fig. 3.1 et 3.2) nous permet de comparer les valeurs du l'étalement des différents bétons de sable fluide réalisés.

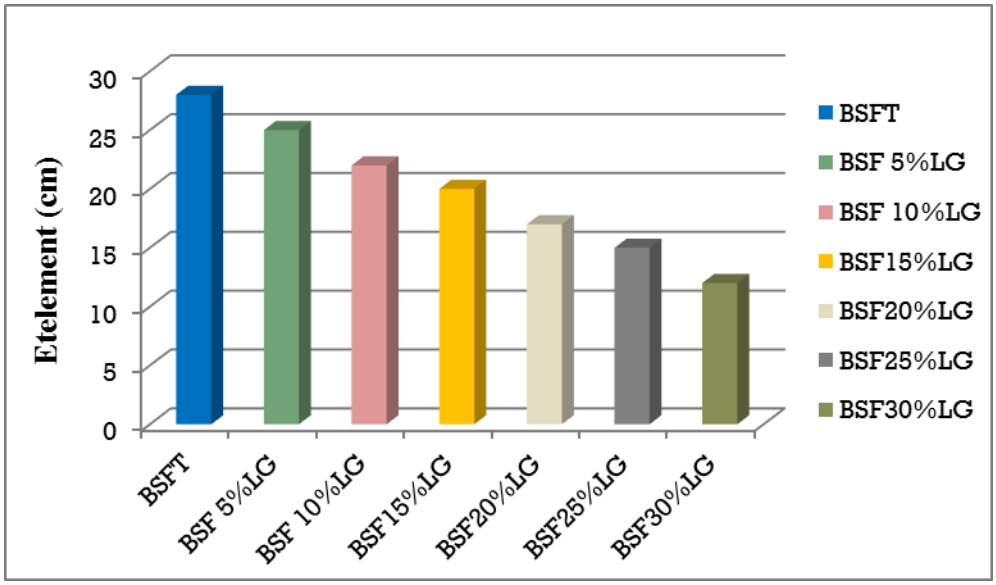


Fig.3.1. Étalement de BSF à base de laitier granulé avant réglage

D'après les résultats obtenus, on remarque que l'étalement de bétons de sable fluide varie en fonction du pourcentage de substitution du sable par le laitier granulé. On constate aussi que plus le pourcentage de laitier granulé augmente, plus l'étalement ne diminue. Cela est due peut être à la forme anguleuse de grain de laitier granulé incorporé à la masse du BSF. Ce résultat confirme les résultats de Siddique et Kaur [25]

Pour ce qui s'en suit, et pouvoir comparer les résultats obtenus à l'état durci, on a varié la quantité d'adjuvant pour obtenir un étalement constant (compris entre 26,5 (Cm) et 28 (Cm) est visé) comme indiquent la figure suivante :

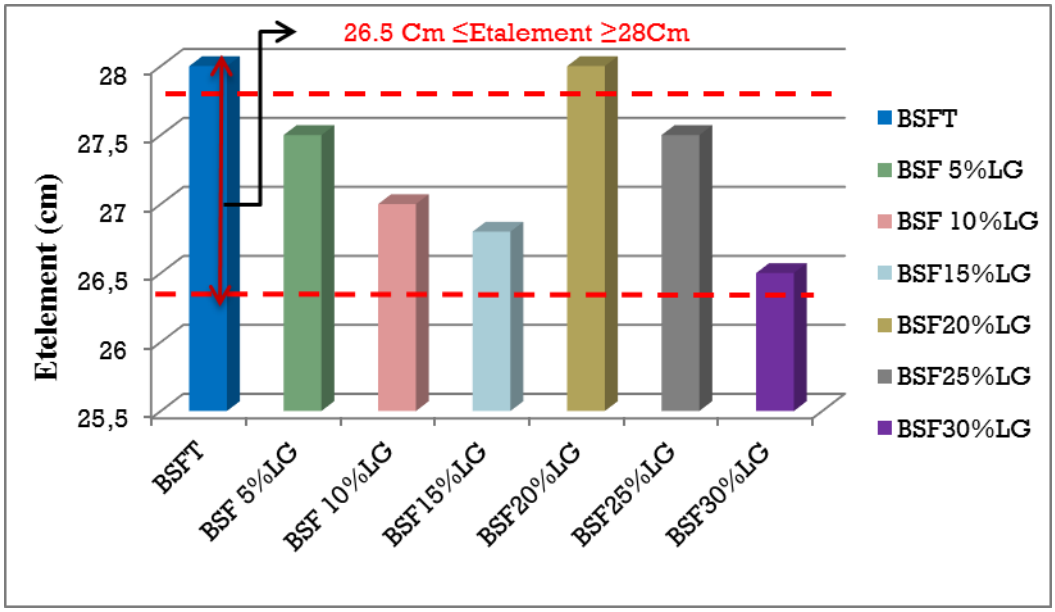


Fig.3.2. Etalement de BSF à base de laitier granulé après réglage.

3.2.1.2 Temps d'écoulement dans l'entonnoir (V-funnel)

Le temps d'écoulement des différents bétons de sable fluide obtenus est représenté dans la figure 3.3 ci-dessous :

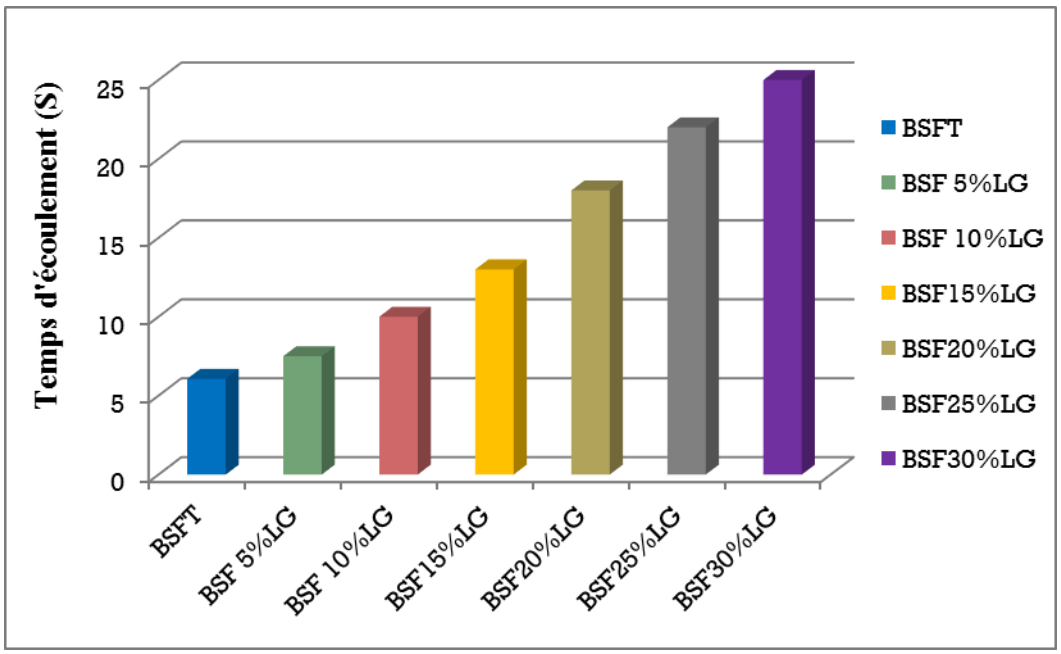


Fig.3.3. Temps d'écoulement de BSF à base de laitier granulé

De la même façon que l'étalement, les résultats d'essais V-tunnel montrent que le temps d'écoulement augmente en fonction d'augmentation de laitier granulé. Cette augmentation est liée à la forme anguleuse du grain de laitier granulé incorporé qui joue un rôle d'obstacle.

3.2.1.3 Densité

La densité des différents bétons réalisés est résumée dans les figures ci-dessous :

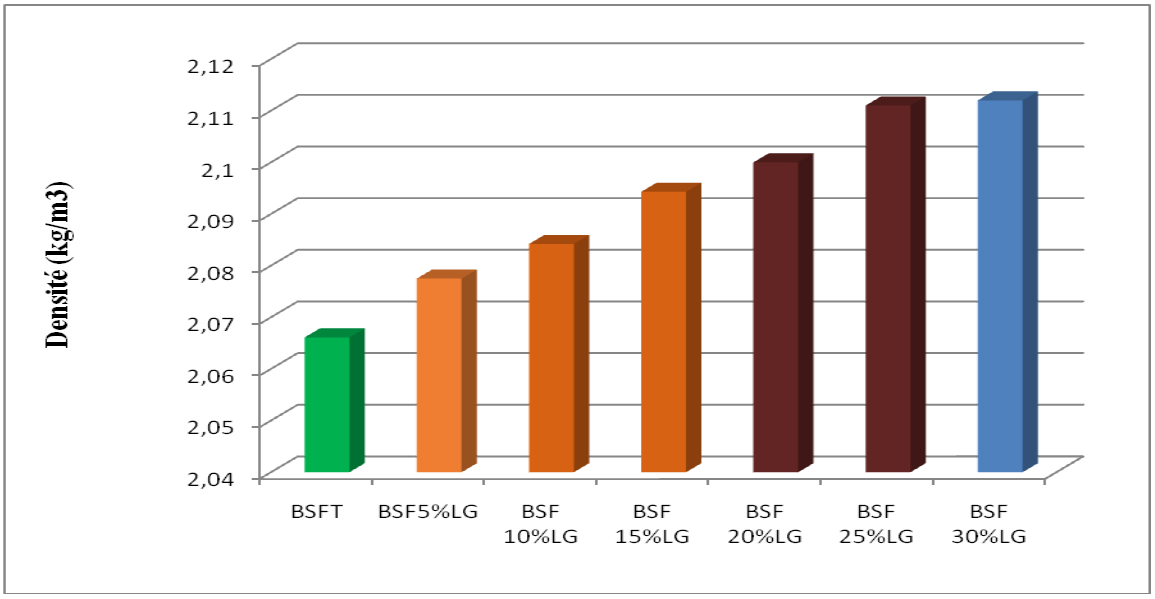


Fig.3.4. La densité des BSF à base de laitier granulé

Les résultats obtenus montrent que la substitution du sable par le laitier granulé engendre une légère augmentation de la densité de béton de sable fluide. Cette augmentation est due sans doute à la densité du laitier qui est plus grand que celle du sable substitué.

3.3 Caractéristiques du BSAP à l'état durci

De la même façon que le béton de sable frais, les résultats des différents essais réalisés sur les bétons de sable durcis sont résumés ci-dessous :

3.3.1 Résistances à la compression

Pour chaque essai, les résultats sont la moyenne de trois (03) mesures prises sur des éprouvettes de 4x4x16cm^3 à l'âge de 7 et 28 jours. Les résultats obtenus sont illustrés dans la figure suivante :

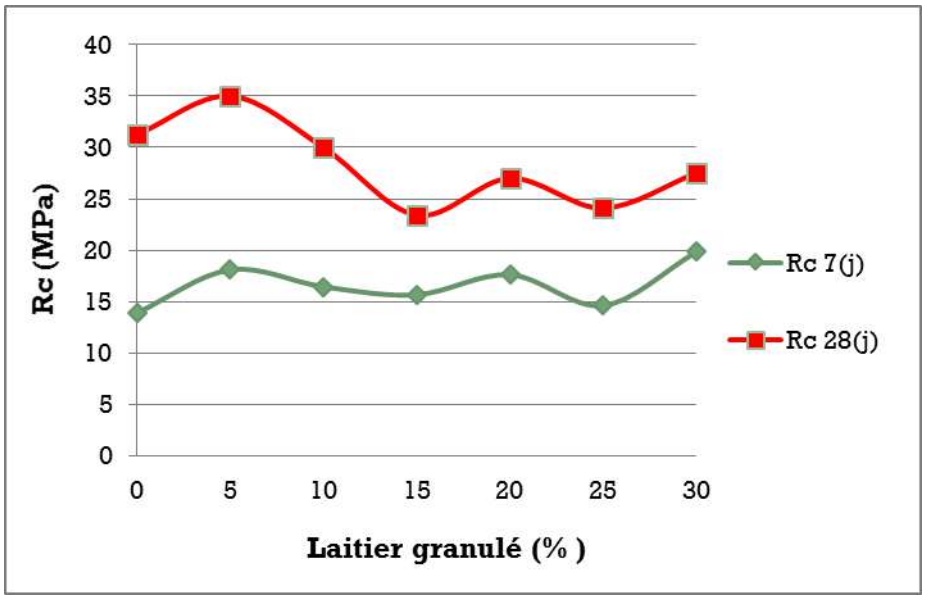


Fig.3.5. La résistance à la compression des BSF à base de laitier granulé

Les résultats obtenus montrent que la résistance à la compression des différents bétons de sable fluide augmente en fonction de l'âge et suit la même cinétique que celle du béton de sable fluide de référence. La figure ci-dessus montre que quel que soit l'âge du béton la résistance à la compression argumente et passe par un optimum de 11% pour une substitution de 5 % du sable par le laitier granulé à l'âge de 28 jours. Cette augmentation peut être expliquée par la meilleure combinaison entre le laitier granulé et le sable naturel ce qui engendre une augmentation de compacité. Ce résultat confirme les résultats de Singh et al.[28] qui ont trouvé que la substitution du sable naturel par le laitier granulé avec des pourcentage de (0%,5%,10%,15%,20%,25%,30%,) augmente la résistance à la compression du béton à l'âge de 28 et à l'âge du 90 jours.

3.3.2 Approche de durabilité

3.3.2.1 Absorption d'eau

La figure 3.6 ci-dessous représentée l'essai de l'absorption capillaire de BSFLG.

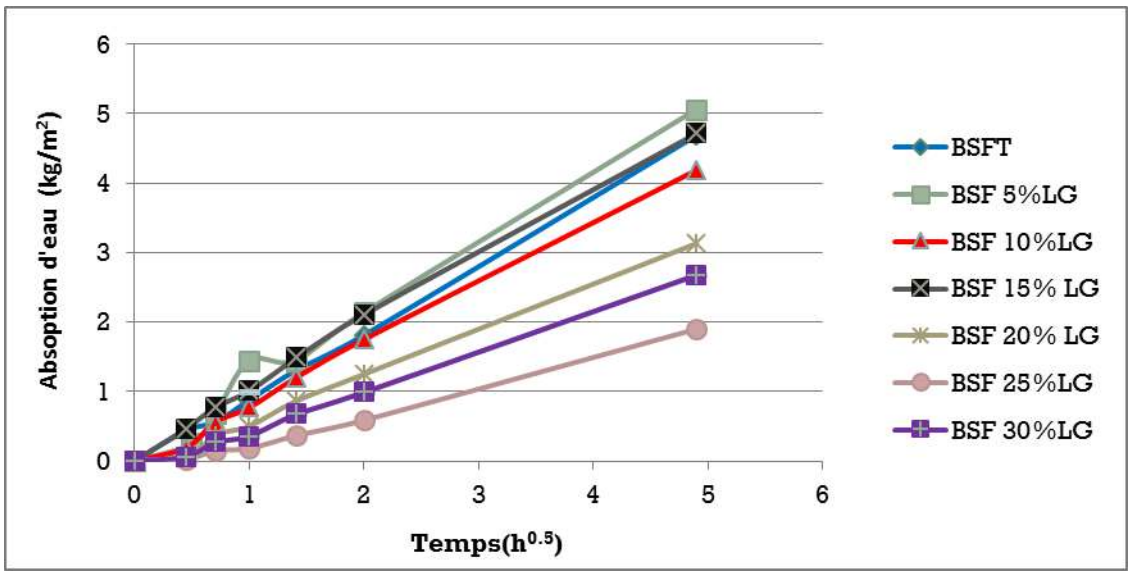


Fig.3.6. Absorption capillaire des BSF à base de laitier granulé

A partir des résultats précédents on constate que l'absorption de des bétons de sable fluide à base de déchets de laitier granulé est nettement moins importante que celle du béton fluide de référence à l'exception de BSF 5% et BSF 15% de laitier granulé. Cette diminution est liée à la fois à l'incorporation de laitier granulé dans le béton, qui se traduit par une diminution d'absorption d'eau et à la porosité de BSF à base de laitier granulé qui est moins importante que celle de BSF témoin.

3.3.2.2 Retrait

Les valeurs du retrait obtenues sont illustrées par les courbes présentées dans la figure suivante :

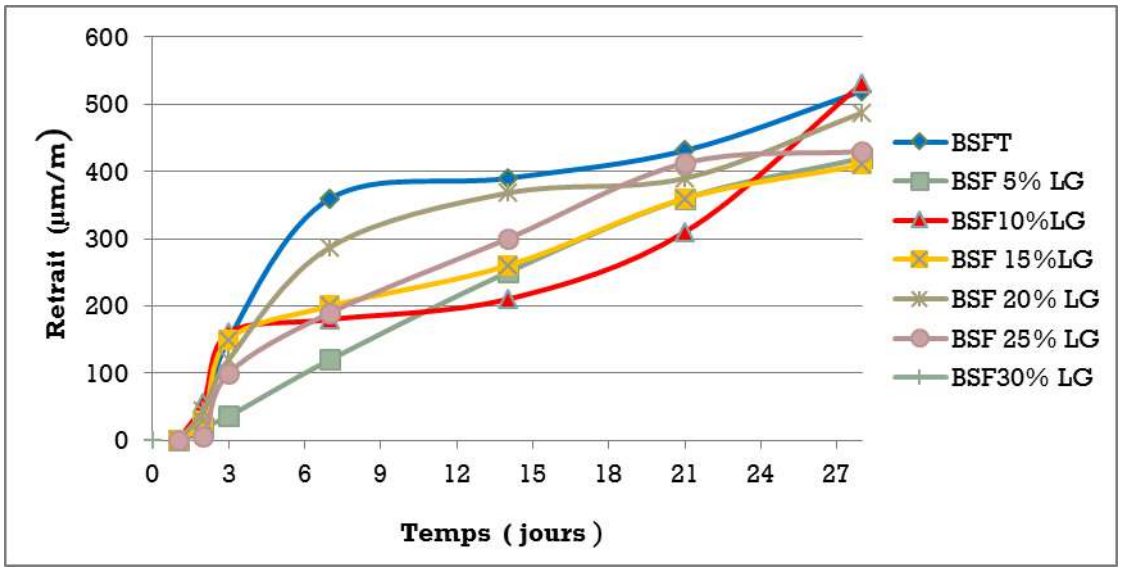


Fig.3.7 : Le retrait des BSF à base de laitier granulé

Nous pouvons remarquer clairement que le retrait de béton de sable fluide à base de laitier granulé est nettement moins important que celui du béton de sable fluide de référence. Cette diminution du retrait est liée probablement à la chaleur d'hydratation du laitier granulé qu'est moins important que celle de sable naturel substitué. Cependant ces valeurs du retrait sont acceptables pour divers usages de béton structural. H. Yazıcı et al. [30] ont étudié l'influence d'incorporation de laitier de haut fourneau sur le retrait total du béton vibré. Ils ont constaté que le retrait est diminué en fonction de pourcentage de laitier granulé. Cette resultant confirm la résultat de Collepardi et al. [31]

3.3.2.3 Gonflement

De la même façon que le retrait, les résultats du gonflement des différents bétons après 28 jours d'immersion dans l'eau, sont illustrés dans la figure ci-dessous :

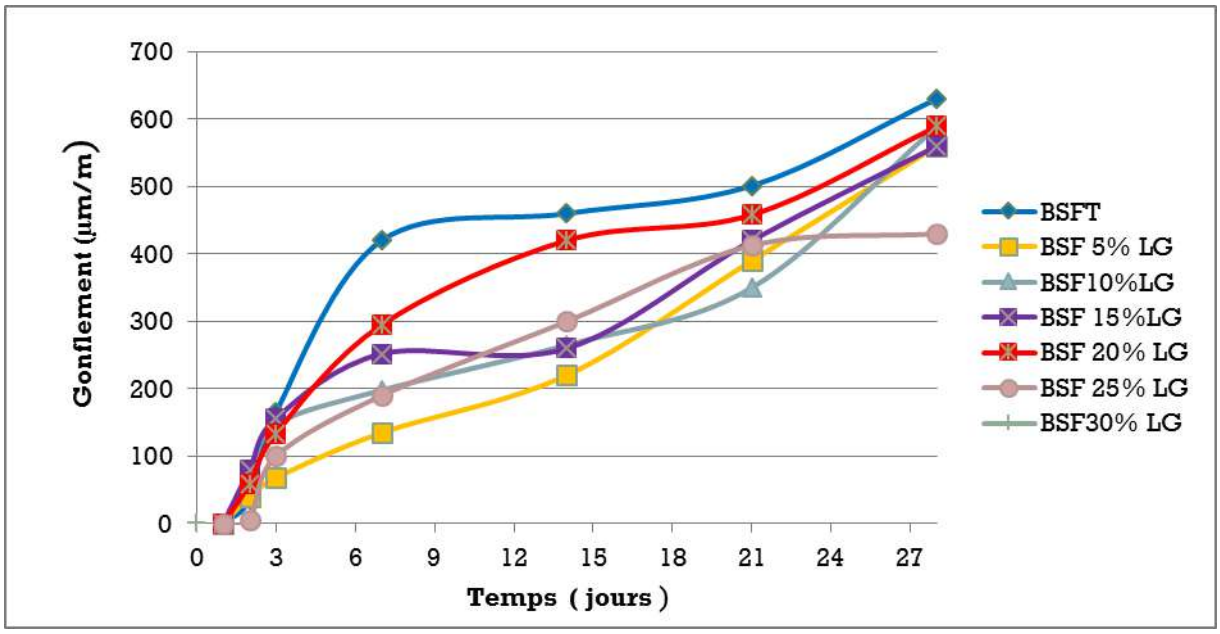


Fig.3.8. Gonflement du BSF à base de laitier granulé

D'après les résultats obtenus, on remarque que le taux gonflement de tous les types de béton de sable fluide augmente en fonction du temps. Les résultats obtenus montrent aussi que tous les bétons de sable fluide à base de laitier granulé ayant un gonflement moins important que celui du béton de sable de référence. Les valeurs du gonflement varient d'un béton à un autre selon le pourcentage de laitier granulé. Cette variation est liée probablement à la porosité induit par chaque pourcentage de laitier granulé.

3.4 Conclusion

Sur la base des résultats obtenus on conclut que :

- L'étalement de BSF est diminué et le temps d'écoulement en fonction d'augmentation de laitier granulé.
- La densité de BSF augmente en fonction de substitution du sable par le laitier granulé.
- La résistance à la compression argumente de BSF et passe par un optimum de 11% pour une substitution de 5% du sable par le laitier granulé à l'âge de 28 jours.
- L'absorption capillaire de tous les BSF à base de laitier granulé est plus importante que celle de BSF témoin à l'exception de BSF 5% et BSF 15%.
- Les BSF à base de laitier granulé présentent un retrait et un taux de gonflement sous eau moins important par rapport au BSF témoin.

Conslusions générales et Recommandations

Conclusions générales

L'analyse des résultats expérimentaux de l'influence de laitier granulé sur le comportement du BSF peut mener aux quelques conclusions suivantes

- L'étalement des BSF diminue et le temps d'écoulement augmente en fonction d'augmentation de laitier granulé.
- La substitution du sable par le laitier granulé augmente la densité du béton de sable fluide.
- La résistance à la compression argumente d'environ 11% en fonction de substitution de 5% du sable naturel par le laitier granulé.
- L'absorption capillaire de tous les BSF à base de laitier granulé est plus importante que celle de béton de sable fluide de référence.
- Les BSF à base de laitier granulé présentent un retrait et un gonflement moins important par rapport au BSF témoin.

Sur la base des résultats obtenus, on peut conclure que l'utilisation de laitier granulé de haut Fournaux d'El hadjar de la wilaya d'Annaba dans le béton de sable fluide constitue une alternatif économique, environnementale et technologique très importante pour le pays. L'utilisation de ces types de béton (BSF à base de laitier granulé) est conseillé pour les différent voie de construction (béton structurel, dallage, route, chaussé, réparation, ouvrage d'art…..)

Recommandations

Nous recommandons ce qui suit :

- Etude de la rhéologie du béton de sable fluide à base de laitier granulé.
- Valorisation de laitier cristallisé dans le BSF.
- Etude de l'effet du mode et du retard de la cure sur les différentes caractéristiques des BSF à base de laitier de haut fourneau.
- Etude du pompage de BSF à base de laitier de haut fourneau.
- Durabilité de BSF à base de laitier.
- Influence de haute température sur le comportement de BSF à base de laitier granulé.
- Effet synergétique de laitier granulé sur le comportement et durabilité de BSF.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

[1] Tahar Ali – Boucetta, contribution du laitier granulé et de la poudre de verre sur les propriétés d'écoulement et de durabilité des bétons autoplaçants et de hautes performances, Thèse doctorat cycle, Université Badji Mokhtar Annaba, 2014.

[2] https://www.actu-environnement.com/ae/dictionnaire_environnement/definition/sous-

Produit .php4 Source : Ordonnance n° 2010-1579 du 17-12-2010 Art L541-4-2.

[3] : PIMIENTA., P & REMOND., "Bétons de déchets : prévenir les risques", CST magazine, n° 109, novembre 1997.

[4] Debieb F. Performances et durabilité du béton à base de granulats recyclés contaminés par les chlorures et sulfates, Thèse PhD, Département génie civil, Université Houari Boumediene Algérie, 2007.

[5] Guendouz.M, Contribution à la formulation et à la caractérisation d'un éco-matériau de construction à base de déchets plastique : application au béton de sable. Thèse de Doctorat, Université de Médéa, Mai 2017.

[6] (ARABI Noureddine, cours valorisation des déchets industriels dans la construction, université Badji Mokhtar Annaba ,2015.).

[7] Caractérisation de la longévité des briques brutes et très bien écrasées réutilisées D'employer de bétons et Des agrégats, des matériaux et du RILEM concrets, 2011. Http : //www.rilem.net/ms.php.

[8] SALHI KAMEL (Etude de l'influence de l'ajout du sable de dune et le laitier Granulé finement broyés au ciment sur la stabilité de béton) Mémoire de magister. SOUTENU LE : 03 juillet 2007.

[9] Tahar ALI – BOUCETTA (contribution du laitier granulé et de la poudre de verre sur les propriétés d'écoulement et de durabilité des bétons auto plaçant et de hautes performances) thèse de doctorat .

[10] SOLLAC, 1975. Sidérurgie générale, tome 1 (du minerai à l'acier), 315 pages.

[11] http://www.perfdub.fr/valorisation-sous-produits-materiaux-betons-structures-genie-

civil/

[12] ALEXANDRE, J. Sebileau, J.L, ctpl 1988. Le laitier de haut-fourneau :Élaboration, traitements, propriétés, emplois. C.T.P.L. (Ed), Paris, France, 340 Pages.

[13] https://picclick.co.uk/Egypt-Port-Said-Phare-Light-House-Early-162961004398.htm.

[14] http://moisarchitectureidf.org/un-evenement/rehabilitation-de-limmeuble-coignet-saint-denis-une-performance-de-beton.

[15] BADERINA .M :«caractérisation mécanique et physique des béton de sable a base de déchets de bois », thèse de doctorat, ENP 2007 .

[16] http://unmondedimage.canalblog.com/archives/2017/03/08/35003851.html.

[17] AFNOR, ″Bétons- Bétons de sable″, Projet P 18-500,1995.

[18] BENMALEK. M. L "contribution à l'étude des bétons de sables dunaires éléments de structures", Thèse de magister, Université de Constantine, Oct.1992.

[19] SABLOCRETE, « Béton de sable », Presse de l'école nationale des ponts et chaussées Paris, 1994, France.

[20] CHAOUACH A. A. "Etude des caractéristiques du béton de sable de dunes" Thèse de Magister, Ecole National Polytechnique (ENP), juillet 1993.

[21] BENAISSA A.,MORLIER P,TRAM V**.**"Le béton de sable un matériau non Fissurant" , Algérie équipement, Revue technique de l'école nationale des travaux Publics, 06 Algérie, Oct.1992.

[22] Rakotoniaina volasolo contribution a du béton de sable - applications Promotion 2006 Date de Soutenance : 03 Aout 2007.

[23**]** Omar MEZIDI Etude comparative des caractéristiques et du comportement d'un béton de sable de dunes et d'un béton ordinaire modifiés à la poudrette de caoutchouc**.** Thèse de Magister Année universitaire 2007 / 2008.

[24] M C Nataraja, P G Dileep Kumar, A S Manu and M C Sanjay, Use of granulated blast furnace slag as fine aggregate in cement mortar, *international journal of structural and civil engineering research, Vol. 2, No. 2, May 2013*

[25] Rafat Siddique , Deepinder Kaur. Properties of concrete containing ground granulated blast furnace slag (GGBFS) at elevated temperatures, Journal of Advanced Research, (2012) 3, 45–51

[26] D. Suresh and K. Nagaraju , "Ground Granulated Blast Slag (GGBS) In Concrete – A Review", IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE), Volume 12, Issue 4 Ver. VI (Jul. - Aug. 2015), PP 76-82

[27] Halit Yazıcı *, Mert Y. Yardımcı, Huseyin Yig˘iter, Serdar Aydın, Selcuk Turkel, Mechanical properties of reactive powder concrete containing high volumes of ground granulated blast furnace slag. Cement & Concrete Composites 32 (2010) 639–648

[28] Gaurav Singha, Souvik Dasa, Abdulaziz Abdullahi Ahmeda, Showmen Sahab,Somnath Karmakarb, Study of Granulated Blast Furnace Slag as Fine Aggregates in Concrete for Sustainable Infrastructure, Procedia - Social and Behavioral Sciences 195 (2015) 2272 – 2279

[29] K.G. Hiraskar and Chetan Patil, Use of Blast Furnace Slag Aggregate in Concrete, International Journal Of Scientific & Engineering Research, Volume 4, Issue 5, May 2013

[30] Halit Yazıcı, Mert Y. Yardımcı, Huseyin Yig˘iter, Serdar Aydın, Selcuk Turkel, Mechanical properties of reactive powder concrete containing high volumes of ground granulated blast furnace slag, Cement & Concrete Composites 32 (2010) 639–648

[31] Collepardi S, Coppola L, Troli R, Collepardi M. Mechanical properties of modified reactive powder concrete. In: Proceedings of the fifth CANMET/ACI international conference on super plasticizers and other chemical admixtures in concrete, SP-173; 1997. pp. 1–21.

[32] Rafat Siddique, Deepinder Kaur, Properties of concrete containing ground granulated blast furnace slag (GGBFS) at elevated temperatures, Journal of Advanced Research (2012) 3, 45–51

Annex

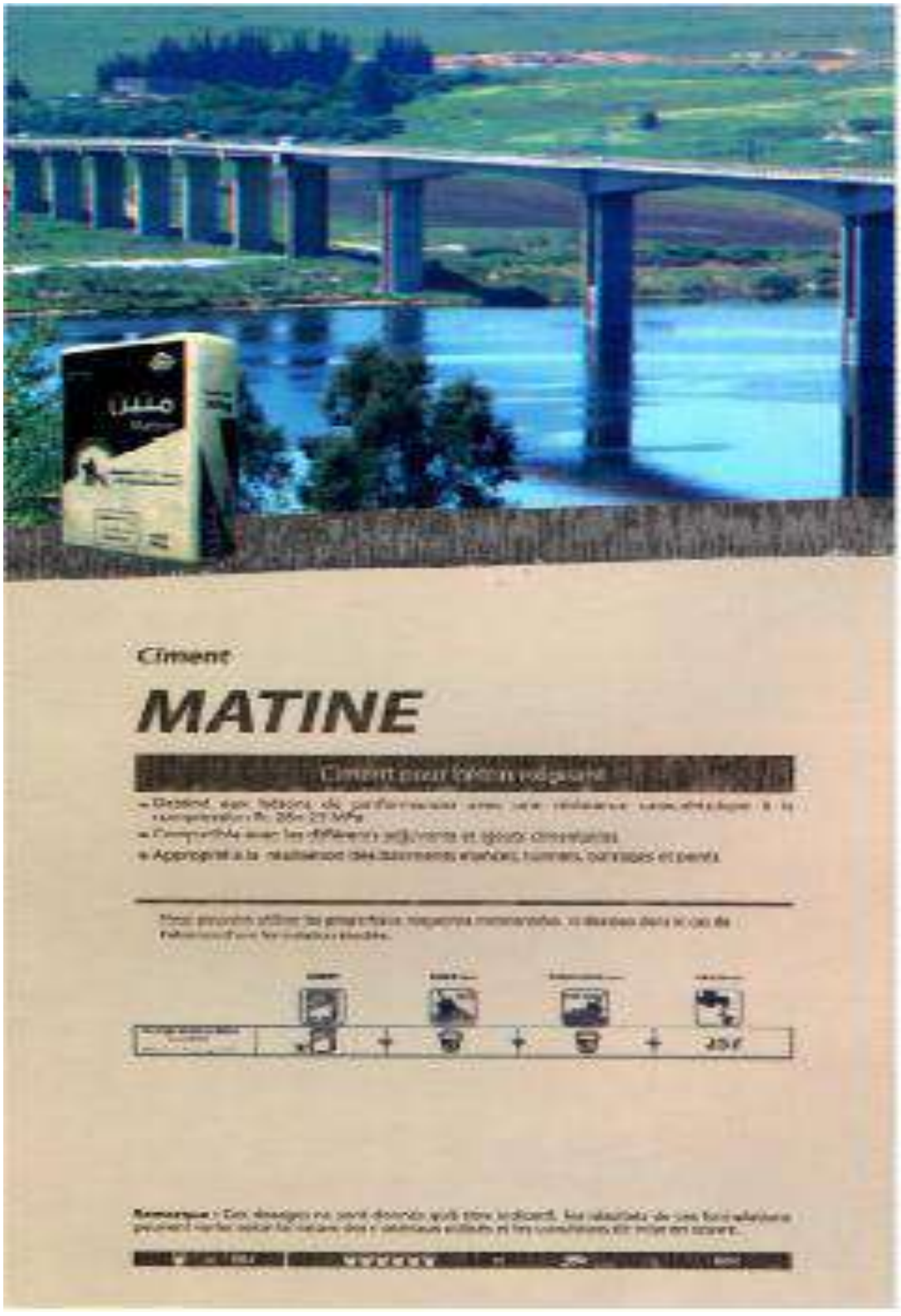


Fig. A 1. Ciment MATINE

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

Fig. A 2. La fiche technique ciment



Fig.A.3. Tamiseuse électrique



Fig. A.4. Malaxeur



Fig.A.5. Essais d'équivalent de sable



Fig.A.6. Séchage a l'étuve de calcaire



Fig. A.7.broyage par broyeur



Fig. .A.8 . Essais de la. (V- funnel).



Fig. A.9. balance



Fig. A.10. Instrument pour mesure l'étalement



Fig. A 11. Usine d'El-Hadjar - Annaba



Fig. A 12. Marbre – Skikda

NOTICE TECHNIQUE — Edition Juillet 2007 — 2 1 1 9

MEDAFLOW 30

Conforme à la norme EN 934-2

Superplastifiant – Haut réducteur d'eau

DESCRIPTION

Le **MEDAFLOW 30** est un superplastifiant haut réducteur d'eau de la troisième génération. Il est conçu à base de polycarboxylates qui améliorent considérablement les propriétés des bétons.
Le **MEDAFLOW 30** permet d'obtenir des bétons et mortiers de très haute qualité.
En plus de sa fonction principale de superplastifiant, il permet de diminuer la teneur en eau du béton d'une façon remarquable.
Le **MEDAFLOW 30** ne présente pas d'effet retardateur.

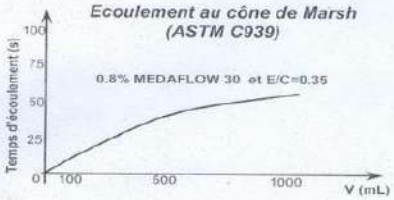
CARACTERISTIQUES

- Forme ..... Liquide
- Couleur ..... Jaunâtre
- pH ..... 6 – 6,5
- Densité ..... 1,07 ± 0,01
- Teneur en chlore ..... < 1g/L
- Extrait sec 30%

PROPRIETES ET EFFETS

Grâce à ses propriétés le **MEDAFLOW 30** permet :
Sur béton frais :
- l'obtention d'un E/C très faible
- l'amélioration considérable de la fluidité
- une très bonne maniabilité
- un long maintien d'ouvrabilité
- d'éviter la ségrégation
- de faciliter la mise en œuvre du béton

Ecoulement au cône de Marsh (ASTM C939)



Sur béton durci :
- d'augmenter les résistances mécaniques à jeune âge et à long terme (voir tableau).
- de diminuer la porosité
- d'augmenter la durabilité
- de diminuer le retrait et le risque de fissuration

Désignation	Rc (MPa)		
	3J	7J	28J
MEDAFLOW 30 (1.4%)	39.2	54.7	62.2

DOMAINES D'APPLICATION

- Bétons à hautes performances
- Bétons auto - plaçant
- Bétons pompés
- Bétons précontraints
- Bétons architecturaux.

DOSAGE

Plage de dosage recommandée :
0,5 à 2,0 % du poids de ciment soit 0.5 à1.850 litre pour 100 Kg de ciment.

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

MODE D'EMPLOI

Le **MEDAFLOW 30** est introduit dans l'eau de gâchage.
Il est recommandé d'ajouter l'adjuvant dans le béton après que 50 à 70% de l'eau de gâchage ait déjà été introduite.

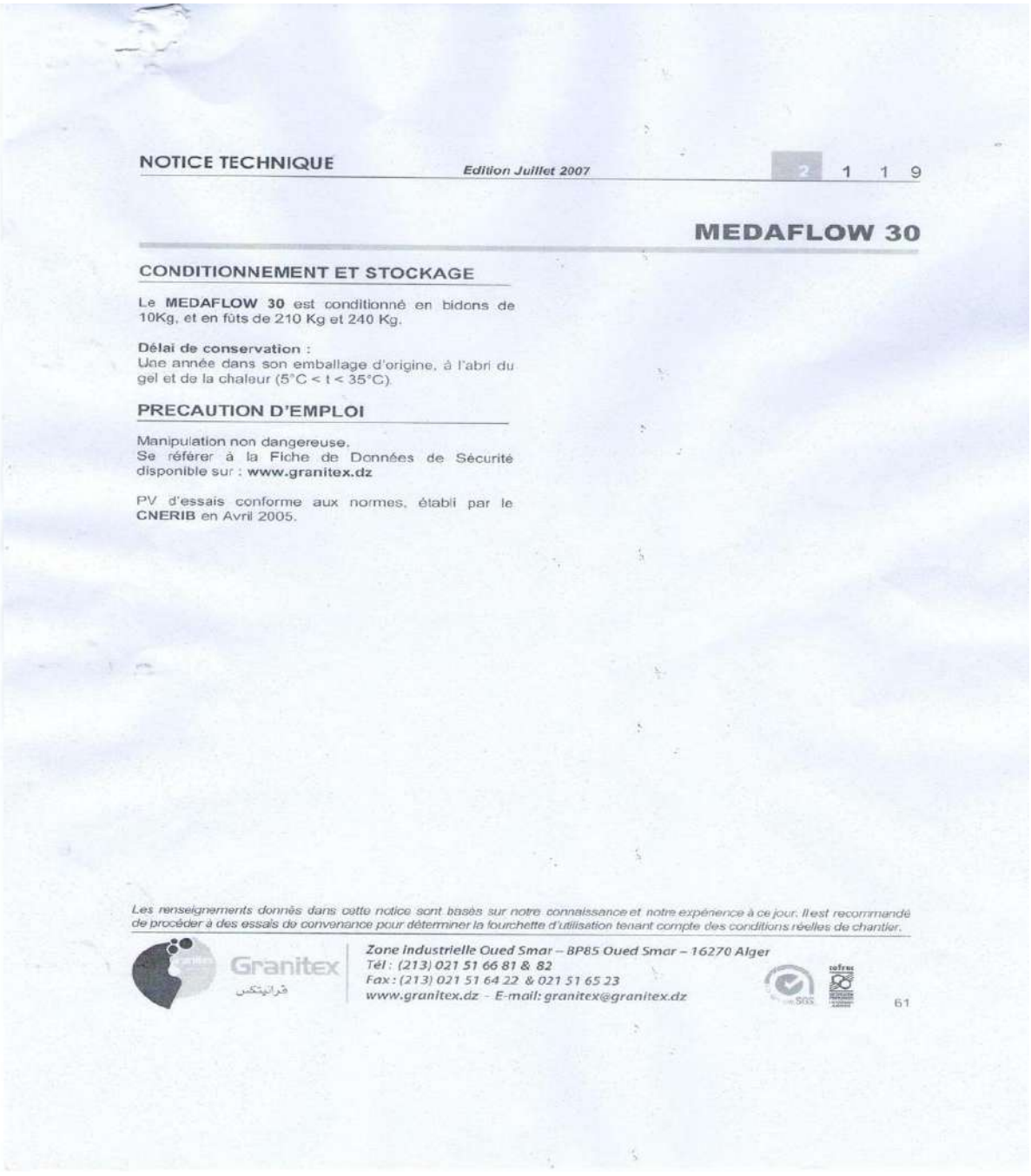
Les renseignements donnés dans cette notice sont basés sur notre connaissance et notre expérience à ce jour. Il est recommandé de procéder à des essais de convenance pour déterminer la fourchette d'utilisation tenant compte des conditions réelles de chantier.

60

Granitex
غرانيتكس

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

Fig. A 13-1. Fiche technique de l'adjuvant – MEDAFLOW 30



NOTICE TECHNIQUE *Edition Juillet 2007* 2 1 1 9

MEDAFLOW 30

CONDITIONNEMENT ET STOCKAGE

Le **MEDAFLOW 30** est conditionné en bidons de 10Kg, et en fûts de 210 Kg et 240 Kg.

Délai de conservation :
Une année dans son emballage d'origine, à l'abri du gel et de la chaleur (5°C < t < 35°C).

PRECAUTION D'EMPLOI

Manipulation non dangereuse.
Se référer à la Fiche de Données de Sécurité disponible sur : **www.granitex.dz**

PV d'essais conforme aux normes, établi par le **CNERIB** en Avril 2005.

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

Granitex
قرانيتكس

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

61

Fig. A 13-2. Fiche technique de l'adjuvant – MEDAFLOW 30