REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA

Faculté de **T**echnologie

Mémoire de fin d'études de Master

Filière : Génie Civil

Spécialité : Matériaux en génie civil

DURABILITE DU BETON DE SABLE FLUIDE A BASE DES DECHETS DE FONDERIE

Présenté par

Hammouche Mouna

Bourezza Bochra

Proposé et Dirigé par

Dr. Guendouz Mohamed

Dr. boukhelkhel Djamila

Promotion Juin 2019

Remerciements

En préambule à ce mémoire nous remerciant ALLAH qui nous aide et nous donne la patience et le courage durant ces langues années d'étude

Nous tenons d'abord à remercier très chaleureusement ***Dr.GUENDOUZ Mohamed*** *et* ***Dr. BOUKHELKHAL Djamila*** *qui nous a permis de bénéficier de leurs encadrements.Les conseils qu'ils nous ontprodigués, la patience, la confiance qu'ils nous ont témoignés ont été déterminants dans la réalisation de notre travail de recherche.*

Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail Et de l'enrichir par leurs propositions.

Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements à tous les professeurs qui nous ont enseigné et qui par leurs compétences nous ont soutenu dans la poursuite de nos études

Nous tenons à remercier aussi nos parents pour leur contribution, leur soutien et leur patience.

Enfin, nous adressons nos plus sincères remerciements à tous nos proches et amis, qui nous ont toujours encouragées au cours de la réalisation de ce travail.Merci à tous et à toutes

MOUNA/BOCHRA

DEDICACE

Je dédie ce travail qui n'aura jamais pu voir le jour sans les soutiens indéfectibles et sans limite de mes chers parents qui ne cessent de me donner avec amour le nécessaire pour que je puisse arriver à ce que je suis aujourd'hui. Que dieux vous protège et que la réussite soit toujours à ma portée pour que je puisse vous combler de bonheur.

Je dédie aussi ce travail à :

Mes grands-parents.

Mes frères : Abd Esslem ,Zine Eddine Marzak et Abd Erahmen

mes sœurs : Fella et Kamilia

Mes oncles, mes tantes et leur famille.

Tous mes cousins et cousines.

Tous mes amis, mes collègues et tous ceux qui m'estiment.

MOUNA

Je dédie ce travail qui n'aura jamais pu voir le jour sans les soutiens indéfectibles et sans limite de mes chers parents qui ne cessent de me donner avec amour le nécessaire pour que je puisse arriver à ce que je suis aujourd'hui. Que dieux vous protège et que la réussite soit toujours à ma portée pour que je puisse vous combler de bonheur.

Je dédie aussi ce travail à :

Mes frères : Djillali et Mohamed et leurs familles

Mes oncles, mes tantes et leur famille.

Tous mes cousins et cousines.

Tous mes amis, mes collègues et tous ceux qui m'estiment.

BOCHRA

ملخص

الهدف الرئيسي من هذا المشروع هو دراسة ديمومة الخرسانة الرملية المائعة مصنوعة بأنواع مختلفة من نفايات رمل المسابك ومسحوق الصب ومقارنتها مع ديمومة الخرسانة الرملية المائعة العادية.

وقد أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن أفضل ديمومة للخرسانة الرملية يتم الحصول نفايات رمل المسابك ومسحوق الصب. لذلك فمن الممكن الحصول على عليها باستخدام مواد البناء الجديدة التي يمكن استخدامها لأنواع مختلفة من عناصر البناء.

Résumé

L’objectif principal de ce projet consiste à étudie la durabilité de béton de sable à base de déchets de fonderie (Sable de moulage et poudre de fonte) et la comparé avec la durabilité d’un béton de sable témoin.

Les résultats obtenus montrent que le béton de sable fluide durable est celle qui est fabriqué à partir de déchets de fonderie. Donc, il est possible d’obtenir un nouveau matériau de construction à base de ces déchets utilisable pour différents types d’éléments de construction**.**

Abstract

The main objective of this project is to study the durability of fluid sand concrete made from different types of foundry waste (molding sand and cast iron powder).

The results obtained show that durable soft sand concrete is that which is made from foundry waste. Thus, it is possible to obtain a new construction material based on this waste that can be used for different types of building elements.

sommaire

Sommaire

Remerciements
Dédicace
ملخص
Résume
Abstract
Sommaire
Liste des tableaux
Liste des figures
Listes des symboles et des abréviations
Introduction général

CHAPITRE 01 : SYNTESE BIBLIOGRAPHIQUE

1.1 Introduction ……03

1.2 Béton de sable ……..……..03
1.2.1 Historique ……..……..…03
1.2.2 Définition ……...05
1.2.3 Bétons de sable fluides ……05
1.2.4 Quelle est la différence entre le béton de sable et le mortier? ……...……...…..…07
1.2.5 Application de ce genre de béton ……...……....07
1.2.6 Intérêt des bétons de sable ……08
1.2.7 Limites des bétons de sable ……..…09
1.2.7.1 Limites des bétons de sable ……....09
1.2.7.2 Raisons techniques……09
1.2.8 Formulation de béton de sable ……..……..09
1.2.8.1 Composition de béton de sable ……...……09
1.2.8.1.1 Sables ……..……10
1.2.8.1.2 Les ciments ……...……..10
1.2.8.1.3 L'eau ……..……..10
1.2.8.1.4 Les fines d'ajouts ……..10
1.2.8.1.5 L'adjuvant ……..12
1.2.8.2 Méthode de formulation de béton de sable ……..…12
1.2.9 Propriétés des bétons de sable……...…...15
1.2.9.1 Résistance et maniabilité……16
1.2.9.2 Granulométrie- Résistance……16
1.2.9.3 Durabilité……..…...18

1.3 Valorisation des déchets dans les bétons de sable 18
1.3.1 Les différents déchets ……...……...19
1.3.2 Fonderie et déchet de fonderie ……...……21
1.3.2.1 La fonderie…….……21
1.3.2.1.1 Généralités ……..……21
1.3.2.1.2 Définition de fonderie ……..……22
1.3.2.2 Sable de moulage…….……..23
1.3.2.2.1Définition …….....23
1.3.2.2.2Composition de sable de fonderie 24
1.3.2.2.3 Les sables de fonderie en Algérie……...…..24
1.3.2.2.4 Le moulage au sable …….……...….25
1.3.2.3 poudre de fonte……..……..…26
1.3.2.3.1 Définition ……26
1.3.2.3.2 Les types de poudre de font…….……..……26

1.4 Conclusion.....27

CHAPITRE 02 : MATERIAUX ET ESSAIS

2.1 Introduction…….....28

2.2 Caractérisation des Matériaux utilisés.……...…....28

2.2.1 Le sable…..…….....28

2.2.2 Ciment ……..…….....30

2.2.3 Ajouts (fillers)……..…….....33

2.2.4 Adjuvant…….....…….....34

2.2.5 Eau de gâchage ……..……..……..34

2.2.6 Déchets de fonderie ……..…….....34

2.3 Composition des mélanges ……..……..…....…….....35

2.4 Malaxage et conservation…….....38

2.5 Essais réalisés sur le béton .……..….....39

2.5.1 Etalement au mini-cône ……...……..……..39

2.5.2 Ecoulement à l'entonnoir en v-funnel…...……...……40

2.5.3 La densité……40

2.6 préparation et conservation des éprouvettes …….....41

2.7 Essais réalisés sur la durabilité……..…...……...42

2.7.1 Essais de résistance aux sulfates ……..……..……...……..42

2.7.2 Essais de résistance aux acides ……..……..……..42

2.7.3 Essais de résistance au feu ……..…..…….43
2.8 Variable étudiées ……...…..…..…...……....45
2.9 Conclusion…….……..…...……46

CHAPITRE 03: RÉSULTATS ET INTERPRÉTATION

3.1 La résistance aux sulfates …….....47
3.1.1 Introduction …….....…...47
3.1.2 Gonflement……..…47
3.1.3 Résistance mécanique……...……..…49
3.1.4 Aspect visuel……..….50
3.2 La résistance aux acides 52
3.2.1 Perte de masse ……52
3.2.2 Résistance mécanique ……...…..53
3.2.3 Aspect visuel……....54
3.3. Résistance au feu ……..…57
3.3.1 Perte de masse ……57
3.3.2 Resistance à la compression ……..……..58
3.4 Conclusion ……..……...…..…60

Conclusions générales……...61
Recommandations……62
Références bibliographiques ….……..……63
Annexe ……...64

Liste des Tableaux

Liste des Tableaux

Tableau .2.1 Caractéristiques physiques des sables utilisés.....29

Tableau 2.2 Analyse chimique du ciment et composition du clinker ……...…..31

Tableau .2.3 Caractéristique physiques du ciment ……....32

Tableau.2.4 Evolution de la résistance du ciment en fonction de l'âge ……33

Tableau.2.5 Caractéristiques physiques des fins de marbre utilisées…….....……33

Tableau 2.6 Caractéristiques physiques de déchet de fonderie utilisé …….……..34

Tableau 2.7 Compositions des Béton de sable fluide à base de déchet de poudre de fonte pour ($1m^3$).……..…..36

Tableau 2.8 Compositions des Béton de sable fluide à base déchet de sable de moulage pour ($1m^3$) …….……37

Tableau 2.9 Essais sur bétons frais …….……39

Tableau 3.1 Résistance mécanique des BSF à base de sable de moulage avant et après l'immersion dans la solution Na2SO4…….…..49

Tableau 3.2 Résistance mécanique des BSF à base de poudre de fonte avant et après l'immersion dans la solution Na2SO4……..……..49

Tableau 3.3 Résistance mécanique des BSF en fonction de sable de moulage avant et après l'immersion dans la solution Hcl……...54

Tableau 3.4 Résistance mécanique des BSF en fonction de poudre de fonte avant et après l'immersion dans la solution Hcl……..…..54

Liste des Figures

Liste des figures

Fig.1. 1 Le phare de Port-Saïd aux environs de 1869……...…….....04

Fig.1. 2 Dallage en BS fluidifié autocompactant (Base aérien de Dijon)…….....07

Fig.1.3 Le béton de sable dans la Préfabrication……..08

Fig.1.4 Le béton de sable en projection……...……..08

Fig.1. 5 Effet du dosage et de la finesse de l'addition sur la résistance…….…….……..17

Fig.1. 6 Effet de la granularité sur la résistance…….…….……..…17

Fig.1. 7 procédure de fonderie……..…….23

Fig.1.8 Sable de moulage…….....….23

Fig.1.8 Moule au sable…….……25

Fig.1.9 Sable de fonte…….…..26

Fig.2.1 Sable roulé utilisé.……...…….……..……....28

Fig.2.2 Courbe granulométrique de sable utilisée…….…….……...……...…….…….29

Fig.2.3 Courbe analyse chimique de sable utilisé.……..….……30

Fig.2.4 Ciment MATINE.……..…….…….…….....34

Fig.2.5 Les fins de marbre…..…….…….....…….33

Fig.2.6 Déchet de poudre de fonte utilisé..……...…….…..….35

Fig.2.7 Déchet de sable de moulage utilisé.……..35

Fig.2.8 procédure de malaxage au laboratoire…….…….…….38

Fig.2.9 Mesure de l'étalement du béton de sable fluide…….……...…...39

Fig.2.10 Essai d'écoulement à l'entonnoir en V …….....……...…….…..….40

Fig.2.11 Mesure de la densité du béton de sable fluide…….…….…….....41

Fig.2.12 Fabrication des éprouvettes……..……...41

Fig.2.14 Résistance à l'acide (HCL)……..…….....43

Fig.2.15 Résistance au feu……..…….....44

Fig.2.16 Variables étudiées…….……..……45

Fig. 3.1 Evolution de la masse des BSF SM en fonction de la période

d'immmersionen Na_2SO_4……..……..……...48

Fig. 3.2 Evolution de la masse des BSF PF en fonction de la période d'immmersion en Na_2SO_4……..…..……...48

Fig. 3.3 Aspect visuel des BSF à base de sable de moulage avant et après l'immersion dans la solution Na2SO4…….……..…50

Fig.3.4 Aspect visuels des BSF en fonction de type de fillers avant et après l'immersion dans la solution Na2SO4.....51

Fig.3.5 Evolution de la masse des BSF à base de sable de moulage en fonction de la période d'émersion en Hcl…...……..…..52

Fig. 3.6 Aspect visuel des BSF à base de poudre de fonte avant et après l'immersion dans la solution Hcl…….…….....53

Fig .3.7 Aspect visuel des BSF à base de sable de moulage avant et après l'immersion dans la solution Hcl…….…….55

Fig.3.8 Aspect visuel des BSF à base de sable de moulage avant et après l'immersion dans la solution Hcl…….....56

Fig.3.9 Perte de masse des BSFSM en fonction de l'élévation de température ……...57

Fig.3.10 Perte de masse des BSF PF en fonction de l'élévation de température…….....…....57

Fig. 3.11 Résistance à la compression des BSF en fonction de l'élévation de température…….58

Fig. 3.12 Résistance à la compression des BSF en fonction de l'élévation de température…..…59

Fig. A.1 Ciment MATINE utilisé ……64

Fig. A.2 La fiche technique de ciment……...……...65

Fig. A.3 fiche technique d'adjuvant…….....66

Fig. A.4 Malaxeur ……..……..…….....67

Fig. A.5 Broyage par broyeur ……...……...…….....68

Liste des symboles et des Abréviations

Liste des Symboles et des Abréviations

BSF : Béton de sable fluide

BAP : Béton autoplaçant

DMA : Les déchets ménagers et assimilés

OM : Les ordures ménagères

DM : Les déchets municipaux

DIB : Les déchets industriels banals

DIS : Les déchets industriels spéciaux

DI : Les déchets inertes

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

Al_2O_3 : Oxyde d'Aluminium

Fe2O3 : Oxyde de fer

Fe3C : Carbure de fer

Na_2SO_4 :Sulfate de sodium

H_2O : Molécule de eau

$Ca(OH)_2$: Portlandite

NaOH: Hydroxyde de sodium

CaO : Oxyde de calcium

$Al(OH)_3$: Hydroxyde d'aluminium

$CaSO_4$: Sulfate de calcium

C-S-H : Silicates de calcium hydratés

Hcl : Acide chlorhydrique

S_iO_2 : Silicium

MgO : Magnésium

Dmax **:** Diamètre maximale des granulats

ES : Equivalent de sable

DRX : Diffractomètre au rayon X

MEB: Microscope électronique à balayage

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

CPJ-CEM II/A 42.5: Ciment Portland ordinaire de Classe de résistance 42,5

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

ρs : Masse volumique absolue (kg.m-3)

λ : Conductivité thermique (W/m°C)

R_C: Résistance à la compression en (MPa)

ε : Porosité totale (%)

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

$\boldsymbol{M_{sec}}$ **:** La masse d'éprouvette sec

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

BSFT : Béton de sable fluide témoin.

BSFPF : Béton de sable fluide à base de poudre de fonte.

BSFSM: Béton de sable fluide à base de sable de moulage.

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.

KF: Coefficient granulaire (varie de 4.5 à 5)

$\mathbf{R_C}$: Classe de résistance du ciment (Mpa).

$\mathbf{R_T}$: Résistance en traction de béton à 28 jours (Mpa).

(e+v) : Volume d'eau + vide en litres

C : Dosage en ciment

$\mathbf{R_b}$: Résistance en compression de béton à 28 jours (MPa).

SM : Sable de moulage

PF : Poudre de fonte

K1 : Coefficient pouzzolanique.

K2 : Coefficient d'activité du filler calcaire.

$\mathbf{K_{CV}}$**;**$\mathbf{K_{FS}}$**et**$\mathbf{K_{fil}}$**:** Coefficient d'équivalence en ciment des différentes additions en fines.

CV ; FS et FIL : Dosage en cendre volante, fumée de silice et de fillers (Kg/m3).

C' : Quantité de ciment, de fine de sable (Kg/m^2)

C : Quantité de ciment (Kg/m^2)

F : Quantité de fillers (<80µm) dans le sable

D : Diamètre maximum de l'ensemble des granulats (mm)

$\mathbf{f_{cj}}$: Résistance caractéristiques : pourcentage de fines total (ciment compris)

$\mathbf{S_{gi}}$: Quantité de sable à l'exception des fillers (Kg/m3)

F_i : Quantité de fillers de sable

f_j : Pourcentage de fillers dans le sable

M_1 **:**La masse des éprouvettes avant l'immersion dans la solution (g)

M_2 **:**La masse des éprouvettes après l'immersion dans la solution (g)

introduction générale

Introduction générale

Le croisement des déchets posent un sérieux problème à cause de leur durée de vie et. Leur gestion est donc nécessaire que ce soit d'un point de vue environnemental, économique ou social. Parmi ces déchets on distingue les déchets de fonderie.

Le béton de sable fluiderépond aux besoins d'exécution et la productivité des chantiers ainsi que la qualité et la durabilité des ouvrages. Ce béton est 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

Ce travail consiste à récupérer des déchets de fonderie (la poudre de fonte et le sable de moulage) et incorporées dans le béton de sable par substitution et par ajouts et étudier l'influence de ces déchets (poudre de fonte et sable de moulage) sur la durabilité de béton de sable fluide.

Pour le besoin de l'étude, les matériaux utilisés sont les suivants :

- Un seul type de sable : il s'agit d'un sable roulé d'Oued Souf.
- Trois types de déchets : le marbre provenant d'une carrière de SKIKDA, le sable de moulage et la poudre de fonte provenant de la société de fabrication des pompes et des vannes POVAL à Berrouaghia wilaya de Médéa.

Pour atteindre ces objectifs, le travail présenté poursuit une démarche progressive s'articulant autour des trois chapitres suivants :

Nous présentons tout d'abord dans le premier chapitre, une synthèse bibliographie regroupant une généralité sur le béton de sable fluide, la valorisation des déchets et l'activité de recyclage en construction, fonderie et déchets de fonderie et l'effet et l'effet de déchets de fonderie sur les caractéristiques des matériaux cimentaire.

Dans le deuxième chapitre, nous présentons les caractéristiques des matériaux de base, la formulation du béton de sable fluide, et les techniques expérimentales utilisées durant cette étude pour évaluer la durabilité :a résistance au sulfate, la résistance à l'acide la résistance au feu (perte de masse et résistance à la compression)

Le troisième chapitre présente l'analyse et la discussion des résultats obtenus.

Enfin des conclusions générales et des recommandations pour de futurs travaux sont données

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 n'en 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 gaspillageinutile. **[1]**

Dans notre travail, nous allons essayer de valoriser les déchets de fonderie. Ce travail a pour but de l'amélioration le béton et les incitations économiques et les avantages environnementaux.

1.2 Béton de sable

1.2.1 Historique

Le premier grand ouvrage ayant fait appel à l'usage du béton de sable est sans doute le phare de Port Saïd construit par François Coignet à l'embouchure du canal de Suez. Coignet utilisa du sable de mer et si le phare proprement dit n'est plus en service, l'édifice est toujours debout. Après la seconde guerre mondiale, l'URSS, riche en sable mais pauvre en granulats, et devant faire face à un très grand programme de reconstruction utilisa largement le béton de sable pour bâtir des routes, des aérodromes, des bâtiments…

Dans un article du Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées (Le béton de sable en Union Soviétique, 1991, n° 174, pp. 61-69), Jean-Jacques Chauvin fait le point sur l'usage du béton de sable en Union Soviétique. Dans son introduction, il mentionne l'ouvrage de Nicolas de Rochefort publié en Russe en 1918 : « si l'on broie en même temps clinker et sable dans un rapport de un pour un, on obtient un produit qui, mélangé au sable naturel dans un rapport de un pour trois (soit au total un de clinker pour 6 de sable), conduit aux mêmes résistances qu'un mélange de 1/3 de clinker broyé seul et de sable, c'est-à-dire que l'on double les performances du ciment ! » L'explication est donnée quelques lignes plus loin :

« 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 ».

En France, pour limiter l'extraction des ressources naturelles des lits rivières, démarra, en 1988, le projet MATERLOC qui visait à optimiser l'usage des matériaux locaux et notamment celui du sable issu du broyage des roches calcaires. Une partie de ce projet est connue sous le nom de SABLOCRETE dont les enjeux et les recommandations ont été publiées en 1994 aux Presses de l'ENPC : Bétons de sable, caractéristiques et pratiques d'utilisation.

Une norme

Aujourd'hui, la norme NF P 18-500 de juin 1995 énonce les spécifications relatives aux bétons de sable, lorsqu'elles diffèrent de celles des bétons traditionnels.

Pour cette norme, le béton de sable est un béton fin constitué par mélange de sable(s), de ciment, d'addition(s) et d'eau ; outre ces composants de base, le béton de sable comporte habituellement un ou plusieurs adjuvants.

L'incorporation de gravillons est possible tant que le rapport massique gravillons/sable reste inférieur à 0,7. La norme précise qu'on parle alors de béton de sable chargé.

On peut également admettre l'emploi d'un granulat de granulométrie continue de 0 mm à 8 mm maximum tant que le rapport massique entre les éléments supérieurs à 4 mm et les éléments inférieurs à 4 mm reste inférieur à 0,7 mm. **[2]**



Fig.1.1 Le phare de Port-Saïd aux environs de 1869 **[2]**

1.2.2 Définition

Le matériau trouve son origine dans le « béton aggloméré» mis au point par F. Coignet versla fin du 19ème siècle. Ce mélange était constitué de ciment, chaux, sable et eau. On retrouvecette technique dans l'édification de la tour de Port Saïd en Egypte [52 mètres]. Cependant, lepays où il a été le plus utilisé est incontestablement l'ex URSS. On le retrouve, sous saformulation moderne, dans la construction du Port de Kaliningrad et du port CHERNAVSKIF à Voroney.Après la fin du second conflit mondial, le professeur Rebinder reprit les travaux scientifiques, ce qui a rendu possible la construction de nombreux aérodromes. Le développement de ce béton a autorisé son utilisation à grande échelle jusqu'à des volumes de 1 million de m^3paran.

La pénurie de gros granulats et la disponibilité de grands gisements de sable, notamment dans le sud-ouest Français, autorisèrent l'usage de ce matériau. A cet effet, l'association SABLOCRETE a vu le jour en 1988 en France pour coordonner les travaux de recherche sur ce matériau. **[3]**

Les ouvrages actuels caractérisent par leurs complexités de leurs forme architecturelles donc c'est difficile d'utiliser des bétons plastiques alors les chercheurs développent des bétons spéciaux leurs mis en œuvre est rapide ; très déformables, très fluides, stable et homogène .Permis ces bétons on a le béton de sable fluide BSF, le béton autoplaçant BAP.

1.2.3 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 superplastifiants 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 traditionnel **[4]**

Fig. 1.2 Dallage en BS fluidifié autocompactant (Base aérien de Dijon) **[4]**

1.2.4 Quelle est la différence entre le béton de sable et le mortier ?

Le béton de sable comme son nom l'indique est un béton ou le gros granulat est le sable (D_{max} = 5mm), il ne consomme que (250 à 400) Kg/m3 de ciment, dosage habituel des 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. **[5]**

1.2.5 Application de béton de sable

On utilise un béton de sable dans divers domaines grâce à ses propriétés spécifiques :

- **La préfabrication** : tel que la préfabrication pour des murs architecturaux, pour des mobiliers urbains, en bâtiment et en voirie (fig.1.3).

Fig.1.3 Le béton de sable dans la Préfabrication **[4]**

- **La projection** : utilisé en projection dans des travaux de rénovation, de ponts, d'égouts visitables et de bâtiments (fig.1.4).

Fig.1.4 Le béton de sable en projection **[4]**

- **Béton de sable coulé**: Il peut être coulé sur place dans les routes et autoroutes, dansles aérodromes et en bâtiment **[6]**

1.2.6 Intérêt des bétons de sable

Le béton ne nécessite pas un niveau très élevé de résistanceCependant il exige, parfois, des caractéristiques qui peuvent être mieux assurées par le bétonde sable. Parmi ces caractéristiques :

- La maniabilité
- La cohésion et l'absence de ségrégation

- Le poids plus faible
- Faible granularité
- Bel aspect de surface

1.2.7 Limites des bétons de sable

Dans l'état actuel des connaissances, les bétons de sable ne peuvent pas prétendre au remplacement systématique des bétonsclassiques. Ceci pour des raisons économiques ou techniques

1.2.7.1 Raisons économiques

Avec le béton de sable, nous pouvons atteindre leniveau de résistance des bétons classiques en multipliant lenombre des ajouts ou en augmentant le dosage en ciment.

Par contre, l'incidence sur le coût est importante etdans la mesure où le béton de sable n'apporte pas un "plus" dansl'usage envisagé, il est préférable de recourir à l'utilisationdu béton classique.

Tout sera fonction, évidemment, du contexte local enmatière de granulats et de l'usage concerné. **[7]**

1.2.7.2 Raisons techniques

On n‘a que peu de connaissances sur les caractéristiques et le comportement du béton de sable, comme le retrait, le fluage et la durabilité, ce qui exclut,peut-être, ce matériau des éléments fortement sollicités ou précontraints. **[6]**

1.2.8 Formulation de béton de sable

1.2.8.1 Composition de béton de sable

Un béton de sable est composé de sable, de fines d’ajouts, de ciment et d’eau. Parrapport à cette composition de base et pour répondre aux besoins de certain usage, d’autresajouts spécifiques peuvent être envisagés : gravillons, fibres, adjuvants. **[8]**

1.2.8.1.1 Sables

Les sables utilisables sont ceux conformes aux définitions des normes NFP18-541[8] (ES≥75 si le sable est roulé et ES≥ 65 s'il est concassé). Il peut s'agir d'un sable alluvionnaire, deballastière ou de concassage 0/D. Aucun critère granulométrique n'est exigible à priori, la seulerestriction d'emploi réside dans la propreté. Les sables de plage ou des dunes pourraient donc être utilisés. **[9]**

1.2.8.1.2 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. [**4]**

1.2.8.1.3 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. **[4]**

1.2.8.1.4 Les fines d'ajouts

Une qualité essentielle du béton de façon générale est sa compacité. Les paramètresessentiels qui vont jouer sur la compacité sont :- La granulométrie du mélange et sa teneur en eau,- L'énergie de mise en place.

Des fillers de dimensions majoritairement inférieures à 80 µm sont utilisés pour remplir lesvides entre les grains de sable afin de réduire la quantité de ciment. Leur rôle assure deux fonctionsprincipales : l'une grossière de remplissage, l'autre d'ordre physico-chimique devant améliorerl'enchevêtrement cristallin et la cohésion du mélange.La forme des grains et la nature géologique des fillers influent sur la quantité d'eau requisepour obtenir un mélange maniable. **[9]**

- **Et on distingue plusieurs types d'addition (active ou inerte) [10]**

A. Type d'addition active

- **La pouzzolane :** Les pouzzolanes sont des matériaux, naturels ou artificiels.

  Pouzzolane naturelle : Est un produit d'origine volcanique essentiellement composé de silice, d'alumine et D'oxyde de fer ayant naturellement des propriétés pouzzolanique.

  Pouzzolane artificielle : C'est une matière essentiellement composée de silice, d'alumine et d'oxyde de fer ayant subi un traitement thermique pour lui assurer despropriétés pouzzolaniques. Les roches traitées thermiquement : argiles, schistes, latérite, bauxite.

- **La fumée de silice :** Les fumées de silice sont des particules très fines (taille moyennedes graines environ 1µm) présentant une très forte teneur en silice amorphe. Elles proviennentde la réduction de quartz de grande pureté par du charbon dans les fours à arc électrique utiliséspour la production de silicium et d'alliage Ferro silicium.
- **Le laitier de haut fourneau** : Ou le laitier broyé comme il voudrait peut-être mieuxl'appeler est un sous-produit de la fabrication de la fonte brusquement refroidi par aspersiond'eau, c'est un matériau comporte de l'oxyde de calcium dans des proportions de l'ordre de 40à 50 %, de la silice entre 25 à 35%, de l'alumine entre 12 à 30% ainsi que la magnésie et d'autresoxydes en très faibles quantités, tous ces éléments étant pratiquement les mêmes que ceux du clinker.
- **Les cendres volantes** : Les cendres volantes sont des poudres fines constituéesprincipalement de particules vitreuses de forme sphérique, issues de la combustion du charbonpulvérisé en présence ou non de COcombustibles,ayant des propriétés pouzzolaniques etcomposées essentiellement de SiO_2 et de $A_{l2}O_3$; la proportion de SiO_2 réactive constituant au moins 25 % de la masse.

B. Types d'addition inerte

- Les additions calcaires conformes à la norme NF P 18 508.
- Les additions siliceuses conformes à la norme NF P 18 509.

- Les fillers « fillers siliceux de classe B, C » conforme à la norme NF P 18 501

1.2.8.1.5 L'adjuvant

On utilise les mêmes adjuvants que le béton classique avec la spécificité privilégier les réducteurs d'eau et améliorent la maniabilité et la résistance simultanément. Les adjuvants utilisés doivent être confirmes à la norme NF P18-103. **[11]**

1.2.8.2 Méthode de formulation de béton de sable

La formulation ou l'étude de la composition d'un béton consiste à définir le mélange optimaldes différents composants (Ciment, granulats, eau, adjuvants,…), afin de réaliser un bétonrésistant et durable.

Il existe deux méthodes de formulation des bétons de sable, la première a été utilisée dans le projet de SABLOCRETE origine de l'amendement de la norme révisée P 18-500 « bétonde sable » exposé dans l'ouvrage intitulé « bétons de sable : caractérisations et pratiqued'utilisation » et la deuxième a été proposée par Cisse (1996).

A. Approche théorique de formulation de SABLOCRETE [Sablocrete, 1994]

- **Etapes de calcul**

- **Estimation du dosage en fines d'un béton de sable**

On considère que les constituants solides sont séparés en deux fractions : Les fines regroupant l'ensemble de grains de taille inférieure à 80µm.Le sable de dimension 80µm jusqu'à D

(D : diamètre maximal du sable)Les fines sont constituées du ciment, de fine d'addition et de la fraction du sable inférieure à80µm.

Considérons que $\rho_S = 0.75(0.08/D)^{1/5}$(En % volumique).

- ρ_s : la porosité de l'étendue granulaire du sable.

D'après l'hypothèse de Caquot [fines] = [V], le dosage volumique optimal des fines s'écrit: $[Fines] = 0.38(0.08/D)^{1/5}$(En % volumique).

- **Porosité et dosage en eau dans le béton sable ρ**

$(E+V)_{min}=0.8(d/D)^{0.2}$-- - ‘’*d*” calculé de la formule suivante : *d*=60/f*ρ

f : surface spécifique en cm2/g

ρ: densité en g/cm3

. [vide] = K [eau] (l/m3) ; K compris entre 0.2 et 0.25

- **Estimation du dosage en sable**

[Sable] = 1000 - [fines] – [eau] – [eau] – [vides] en (l/m3)

- **Estimation de la résistance en compression**

$$R_b = \frac{(K_f * R_c)}{[1+\frac{3.1(e+v)}{C(1+K_1+K_2}]^2}$$

K_F: Coefficient granulaire (varie de 4.5 à 5)

R_C: Classe de résistance du ciment (Mpa).

(e+v) : volume d’eau + vide en litres

C : dosage en ciment

$\mathbf{R_b}$: résistance en compression de béton à 28 jours (MPa).

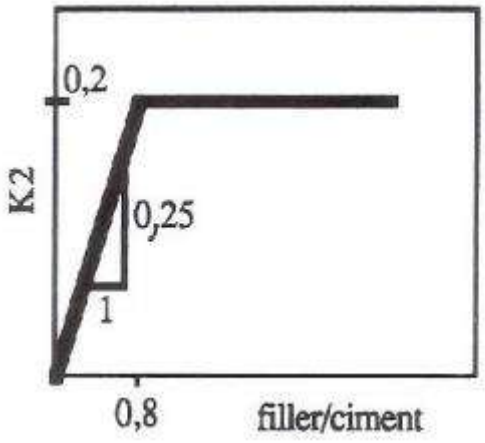
$$k_1 = k_{cv}\frac{cv}{c} + k_{fs}\frac{fs}{c}$$

0.2 <K_{CV}< 0.4 2 <K_{FS}< 3.3 et $K_1 \leq 0.5$

$K_f = K_{filfil/c}$ 0 <K_{fil}< 0.5 et K2 ≤0.2

K1 : Coefficient pouzzolanique.

K2 : Coefficient d’activité du filler calcaire.



Coefficient d'activité du filler calcaire [Sablocrete, 1994]

K_{CV};K_{FS}et **K_{fil}**: Coefficient d'équivalence en ciment des différentes additions en fines.

CV ; FS et **FIL** : Dosage en cendre volante, fumée de silice et de fillers (Kg/m3).

B. Approche de Cissé *[Zri, 2010]*

Cette méthode se base sur la formule empirique du dosage minimum en fines en fonction dudiamètre (D) du granulat employé. Contrairement aux méthodes classiques de formulation desbétons et celle de SABLOCRETE qui visent à chercher la porosité minimale, la méthodeproposée par Cissé vise à chercher le mélange de composants tel que le dosage en cimentdonné, la résistance soit maximale, elle se base sur la formule empirique suivante :

$$C' = C_{min} = \frac{f_{cj}+250}{\sqrt[5]{D}}$$

A l'instar du projet SABLOCRETE, le rapport massique des fines sur le squelette granulairedoit être compris entre 0,2 et 0,3 ; il est donné par la formule suivante :

$$r = \frac{C+F}{C+F+\sum_{i=1}^{n} S_i}$$

Avec

C' : quantité de ciment, de fine de sable (Kg/m²)

C : quantité de ciment (Kg/m²)

F : quantité de fillers (<80µm) dans le sable

D : diamètre maximum de l'ensemble des granulats (mm)

f_{cj} : résistance caractéristiques : pourcentage de fines total (ciment compris)

S_{gi} : quantité de sable à l'exception des fillers (Kg/m3)

Le dosage des sables est déterminé suit à la résolution du système suivant dont il faut fixerpréalablement la quantité des fillers

$$\begin{cases} \sum_1^n S_{gi} = c' \frac{1-r}{r} \\ \sum_1^n f_j . S_{gi} \ \sum_i^n f_i \end{cases}$$

Avec :F_i : quantité de fillers de sable

f_j : pourcentage de fillers dans le sable.Les quantités de sable sont fixées par la relation suivante :

$$S_i = \frac{S_{gi}}{(1-f_i)}$$

Pour des faibles valeurs de fi cette relation s'écrit :

$$S_i = S_g (1 + f_i)$$

Le dosage en eau est calculé après avoir fixé de la valeur du rapport E/C en considérant lasurface spécifique des granulats et les conditions d'exposition de l'ouvrage

La valeur maximale théorique de ce rapport massique est égale à 0,7. **[12]**

1.2.9 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 **[5]**.

1.2.9.1 Résistance et maniabilité

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

Les dosages en ciment de ces bétons sont de l'ordre de 250 à 450 Kg/m3, la compacité optimale est atteinte par adjonction des fines et de plastifiant. La résistance à la compression à 28 jours se situe entre 12 et 60MPa selon la composition **[5]**.

1.2.9.2 Granulométrie- Résistance [5]

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

- **La finesse de l'adition** : plus l'addition est fine plus elle est efficace au niveau du gain en compacité et donc en gain de résistance ; ce résultat est valable quelque soit la granulométrie du sable. (Figure1.5)
- **La nature de l'addition** : l'extrême diversité du niveau de performance atteint selon la nature du filler : si l'addition de fines permet d'améliorer systématiquement la résistance, ce gain est en effet très variable.

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

Pour une même valeur du rapport E/C, on constate (figure 1.6) que l'effet du diamètre Dmax est peu important, mais par contre il influe sur la maniabilité; ou il faut employer un plastifiant réducteur d'eau, afin de fixer la maniabilité et atteindre la résistance voulu. **[5]**

Fig. 1.5 Effet du dosage et de la finesse de l'addition sur la résistance **[5]**

Fig. 1.6 Effet de la granularité sur la résistance **[5]**

1.2.9.3 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 –Said en Egypte, le grand mur de retenue qui domine la place du Trocadéro a Paris, etc. **[5]**

1.3 Valorisation des déchets dans les bétons de sable

- **Déchet**

Un déchet peut être défini de différentes manières selon le domaine et l'intérêt d'étude et parfois l'origine et l'état des déchets. La loi N° 01-19 du 12/12/ 2001 article 3 du journal officiel de la république algérienne N° 77en 2001, définit le déchet comme : Tout résidu d'un processus de production, de Transformation ou d'utilisation, et plus généralement toute substance ou produit et tout bien Meuble dont le propriétaire ou le détenteur se défait, projette de se défaire, ou dont il a Obligation de se défaire ou de l'éliminer. La diversité des produits de consommation excède maintenant la biodiversité. **[13]**

- **Recyclage**

Un recyclage exprime la réutilisation d'un composé pour son retour à l'origine, avec un processus de conversion de matériaux sous un état où ils peuvent être réutilisés. Le recyclage est un processus dont l'objectif est de convertir les déchets en nouveaux produits ou en matières premières pour une utilisation ultérieure.

Le recyclage peut prendre différentes formes:

Recyclage des matières premières dans un but similaire: par exemple le verre. Certaines matières premières (comme le plastique ou le papier) perdent en qualité, également appelée recyclage.

Recycler les matières premières dans un autre but: par exemple, utiliser d'abord du pétrole pour fabriquer du plastique, puis brûler à la deuxième place pour utiliser l'énergie. **[14]**

- **Le compostage**

Le compostage est un processus de transformation des déchets organiques en présence d'eau et d'oxygène par le biais de micro-organismes. Il peut être réalisé en tas ou en composteur. **[15]**

- **La récupération**

La récupération d'un déchet consiste à le sortir de son circuit traditionnel de traitement. La récupération se base sur le tri des déchets, par exemple jeter les bouteilles en plastique dans un conteneur spécifique. La récupération des déchets vient en amont de la valorisation, qui permet de redonner de la valeur aux déchets récupérés. **[16]**

- **Incinération**

L'incinération des déchets est une technique de transformation par l'action du feu. Incinérer signifie « réduire en cendres » ou, dit autrement, qu'on brûle complètement les matières à incinérer. C'est une des techniques de gestion des déchets qui peut servir à produire de l'électricité et/ou de la chaleur (chauffage urbain par exemple), mais qui peut être source de pollution de l'air et/ou de production de cendres et refioms toxiques. **[17]**

- **Valorisation**

Est un terme générique recouvrant le recyclage matière et organique, la valorisation énergétique des déchets, ainsi que le réemploi, la réutilisation et la régénération.

1.3.1 Les différents déchets [18]

A. Les déchets ménagers et assimilés (DMA)

Cette catégorie recouvre :

- Les ordures ménagères (OM).
- Les déchets municipaux (DM) ou urbains, les résidus urbains (déchets du nettoiement).
- Les déchets occasionnels (déchets verts, encombrants et déchets de bricolage)
- Ainsi Les ordures ménagères.

B. Les déchets des collectivités locales

Les collectivités locales produisent annuellement 22.5 Mt de boues de station d'épuration, de matières de vidange, de déchets d'espaces verts, de résidus du nettoiement des rues et de papiers divers des locaux administratifs.

C. Les déchets industriels

On distingue :

- Les déchets industriels toxiques : devant êtres traités avec de multiples précautions
- Les déchets industriels banals (DIB) ou déchets non dangereux : ils sont issus d'activités commerciales, artisanales, industrielles ou de service. Ils regroupent principalement les plastiques, les papiers cartons, les textiles, le bois non traité, les métaux, les verres et matières organiques
- Les déchets industriels spéciaux (DIS) Ils regroupent les déchets dangereux autres que les déchets dangereux des ménages et les déchets d'activité de soins à risque infectieux.

D. Les boues

Les boues se situent à la frontière des domaines respectifs des déchets solides et des eaux résiduaires. On les assimile généralement à des déchets solides. Ce sont des mélanges de solide et de liquide (l'eau dans la plupart des cas), dont la fraction solide est constituée de fines particules.

E. Les déchets spatiaux

Les déchets orbitaux des satellites se meuvent à grande vitesse et sont en mesure d'endommager ou de mettre en péril les satellites actifs, en particulier les satellites habités. **[18]**

F. Les déchets inertes (DI)

Qui peuvent être réutilisés en sous-couches pour les routes ou enfouis dans des centres de stockage des déchets. **[19]**

1.3.2 Fonderie et déchet de fonderie

1.3.2.1 La fonderie

1.3.2.1.1 Généralités

La fonderie utilise très rarement des métaux à l'état pur, mais presque toujours des alliages qui présentent les avantages suivants :

- plus faciles à obtenir ;

- plus basse température de fusion (par exemple 1536°C pour le fer et 1150°C pour la fonte) ;

- meilleure coulabilité ;

- retassure et retrait souvent plus faible :

- plus grande facilité de réglage des caractéristiques mécaniques.

Les alliages de fer sont les plus employés dans l'industrie. L'acier et la fonte, dont le rôle est le plus grand, sont des alliages fer-carbone.

La première caractéristique essentielle des fontes est de contenir une partie de leur carbone à l'état insoluble à l'état solide, c'est-à-dire ne se dissolvant dans le fer qu'à partir du début de sa fusion. Quand la totalité du carbone se dissout dans le fer par chauffage avant que l'on atteigne sa fusion, le métal est par définition un acier.

La seconde caractéristique essentielle des fontes réside dans le fait que le carbone (insoluble ou soluble avant fusion) peut se présenter sous deux formes bien distinctes à tous égards : à l'état de carbone pur libre, cristallisé, qui constitue le graphite ; et à l'état combiné au fer, formant alors le carbure de fer ou cémentite

L'addition dans les fontes de divers éléments d'alliages permet d'agir sur leurs structures et d'améliorer leurs caractéristiques mécaniques, chimiques ou leurs aptitudes à répondre aux traitements thermiques. Suivant leur influence sur la structure, on peut distinguer.

- Les éléments alphagènes qui stabilisent la ferrite et réduisent le domaine de l'austénite et

accroissent le domaine de la ferrite du diagramme Fe3C. Citons : Cr, W, Mo, Va, Ti, Si, Al, P, Cu.

Ils forment une ferrite alliée dure et résistante.

- Les éléments gammagènes qui stabilisent l'austénite et augmentent son domaine dans le

diagramme Fe3C. Citons : Ni, Mn, Co, Pt, C.

Suivant leur affinité pour le carbone, on peut distinguer :

- Les éléments carburigènes qui donnent avec le Fe des aciers et des fontes des carbures

complexes, stables, durs ou de la cémentite alliée (Fe, X)3 C. Ce sont presque tous des éléments alphagènes. Ce sont des éléments antigraphitisants. Citons : Mn, Cr, W, Mo, Va, Ti, Nb, B, N.

Les éléments graphitisants ou anticarburigènes, c'est-à-dire qui ont une faible affinité pour le carbone. Citons : Si, Ni, Al.

Les propriétés mécaniques de la fonte sont déterminées par sa structure, surtout par son composant graphitique. La fonte peut être envisagée comme un acier transpercé par du graphite qui joue le rôle des entailles affaiblissant la matrice métallique de la structure. Dans ce cas, les propriétés mécaniques dépendent de la quantité, de la grandeur et de la distribution des inclusions de graphite. La résistance de la fonte est d'autant plus grande que la quantité des inclusions graphitiques est plus petite, qu'elles sont plus fines et plus isolées. Lorsque les inclusions de graphite sont fines et tourmentées, les propriétés de la fonte sont bien meilleures.

Les lamelles de graphite diminuent brusquement la résistance à la décohésion, la charge de rupture et tout particulièrement la plasticité de la fonte. Quelles que soient les propriétés de la matrice métallique, l'allongement à la traction de la fonte grise est pratiquement nul (pas plus de 0.5%). **[20]**

1.3.2.1.2 Définition de fonderie

Les fonderies sont des installations qui produisent des pièces de métal et offrent des services associés à ces pièces. **[21]**

Fig.1.7 procédure de fonderie **[22]**

1.3.2.2 Sable de moulage

1.3.2.2.1 Définition

Ce sont des sables siliceux liés avec des matériaux naturels (bentonite, sables à verts) ou de résines chimiques (sables à prise chimique), les sables de fonderie sont utilisés pour confectionner des moules et des noyaux dans lesquels sont coulés les métaux en fusion. Ce procédé de « moulage au sable » est utilisé pour la totalité des productions de fonderie de fonte et d'acier et pour environ la moitié des productions d'alliages et de métaux non ferreux [Torralba, 2010]. Après l'opération de démoulage des pièces métalliques, une grande partie des sables est réutilisée sur place par régénération, tandis que les sables usés de fonderie résiduaire (nommés également « sables rejetés », « vieux sables » ou « sables brûlés ») doivent être éliminés. **[23]**

Fig.1.8 Sable de moulage **[4]**

1.3.2.2.2 Composition de sable de fonderie

- le sable siliceux
- l'argile, souvent du type bentonite
- les additifs carbonés
- l'eau
- d'autres éléments éventuellement **[24]**

1.3.2.2.3 Les sables de fonderie en Algérie

Les principaux sables de moulage étudiés et utilisés sont répertoriés comme suite **:**

- **Sable à vert ou à l'argile**

Le matériau le plus utilisé pour réaliser un moule en fonderie est le sable à vert. C'est un sable synthétique à base de silice et d'argile pure. Son pouvoir de cohésion est fonction de son humidité.

Le sable à vert est constitué :

- De silice cristallisée sous forme de quartz de granulométrie appropriée,
- D'argile présentant un gonflement important en présence d'eau : la bentonite,
- D'addition d'eau si possible non calcaire,
- D'additifs

Plus de 90 % du sable à vert est réutilisé. Une partie est régénérée après décochage, ce qui permet au sable de conserver ses titres en eau et en argile active, après élimination et nettoyage des impuretés. En effet, au cours de la coulée, au contact du métal en fusion, l'eau d'addition s'évapore et l'argile en perdant son eau de constitution perd son pouvoir de cohésion, elle devient morte. **[25]**

- **Sable au silicate de soude**

Plusieurs choses a propos de tes noyaux au silicate

Le silicate de soude de chez Casto ou autre distributeur courant même celui de céradel est trop est généralement trop liquide ce n'est pas vraiment la formulation que l'on utilise en fonderie tu le trouve chez EPMF avec le silicate dont tu dispose tu peut obtenir un

durcissement mais il sera moins bon de toutes façons tu remplis ton moule avec ton sable tu tasses ensuite avec une tige fine diamètre O,5 ou 1 genre corde a piano tu fais quelques trous sur toute la hauteur de ton moule de façon a ce que le gaz se diffuse bien ensuite tu pose une ventouse reliée a ton tuyau de CO2 sur le dessus en couvrant progressivement toute la surface **[26]**

- **Sable au silicate de soude avec bentonite**

Appelé aussi sable de contact. Sa composition est la même que celle du sable au silicate de soude (S2) mais on ajoute de la bentonite (4 % à 4.5 %) pour améliore l'état de surface des pièces. **[27]**

- **Sable à la résine furanique**

D'une manière générale, les résines sont utilisées à faible dosage, de l'ordre de 2 %, comme liant organique. La résine furanique est un mélange d'alcool furfurylique et d'alcool formaldéhyde. Cette résine thermodurcissable durcie en présence d'un catalyseur acide composé de l'acide xylène-sulfonique, de l'acide benzène-sulfonique et de l'acide sulfurique. Le sable à la résine furanique sert à la fabrication de pièces massives en fonte. **[27]**

- **Sables au ciment**

L'incorporation de 8% à 10% de ciment (généralement du ciment Portland) est utilisée pour la confection de moules de grande dimension. La vitesse de la prise peut être accélérée par des adjuvants appropriés. **[27]**

1.3.2.2.4 Le moulage au sable

Le moulage au sable est un procédé de fonderie qui utilise une empreinte réalisée dans du sable dont la composition le rend à la fois facile à mouler et suffisamment figé pour pouvoir y couler le matériau fondu. Il convient pour des matériaux de fonderie dont le point de fusion est élevé type fonte et acier. Ce sont souvent des petites séries, des prototypes ou des pièces de grandes dimensions. Le moule comporte les châssis qui contiennent le sable, le sable + ses additifs, l'empreinte créée à partir du modèle et de noyaux, le modèle ou plaque modèle, les noyaux. Pour le moulage au sable, il existe plusieurs types de sables: si la silice est le plus répandu de par son faible coût, on trouvé également d'autres sables aux caractéristiques

variées et adaptées au type de pièces (matériau, forme et résistance), ainsi il est fréquent de trouver des sables complexes types chromite, zircon ou kerphalite. **[27]**

Fig.1.9 Moule au sable **[27]**

1.3.2.3 Poudre de fonte

1.3.2.3.1 Définition

La fonte est un alliage métallique ferreux. Elle est principalement composée de fer. L'élément additionnel est le carbone, qui est présent en relativement faible proportion**. [28]**

Fig. 1.10 Sable de fonte **[4]**

1.3.2.3.2 Les types de poudre de fonte

- **Fonte alliée**

D'autres éléments peuvent être incorporés à la fonte, que l'on qualifie alors de fonte alliée. Voici quelques exemples :

- le chrome améliore les caractéristiques mécaniques de la fonte ;

- le molybdène rend la fonte plus résistante aux chocs ;
- le phosphore améliore la coulabilité de la fonte.

- **Fonte blanche**

Qui présente un aspect blanc à la cassure. Il s'agit d'une fonte alliée (manganèse) au sein de laquelle le carbone se trouve sous forme de carbure de fer (Fe3C). La fonte blanche est très dure et résistante à l'usure, mais extrêmement fragile aux chocs.

- **Fonte grise**

Les fontes grises correspondent également à des fontes alliées (silicium). Mais le carbone s'y trouve à l'état de graphite lamellaire, d'où sa couleur grise.

1.4 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons donné un concept général sur les bétons de sable. Et d'après la description des constituants du béton de sable, on a pu les définir, ensuite décrire leurs propriétés (résistance et maniabilité, granulométrie- résistance, a dimension du D max et la durabilité).

Nous avons présenté une généralité sur le béton de sable puis on a définir le déchet et cité plusieurs différents types qui peuvent être utilisés comme granulats. Le déchet il est nécessaire de trouve les moyens pour en extraire les fractions valorisables ou pour diminuer les capacités de nuisances, nous avons passé en revue la problématique des déchets usagés non réutilisables, ainsi que de leurs recyclage et valorisations, ensuite on a donné une généralité sur le différent déchet de la fonderie (sable de moulage et poudre de fonte).

Chapitre 02 :
Matériaux et essais

2.1 Introduction

Tant que ce projet étudier la durabilité de béton de sable fluide à base des déchets de fonderie, et tant que l'étude de durabilité exiger des ouvrages anciens donc les éprouvettes étudies sont déjà formulées

Dans ce chapitre nous présenterons les caractéristiques des matériaux utilisés, les formulations ainsi que les essais sur la durabilité (la résistance aux acides, la résistance aux sulfates, la résistance au feu).

Nous avons fait aussi une formulation

2.2 Caractérisation des matériaux utilisés

2.2.1. Le sable

Le sable utilisé dans cette étude est un sable de carrière d'OUED SOUF situé à 500 Km au Sud Est de la capitale d'Alger, sa classe granulaire est 0/3. La Fig 2.1 suivante donne un aperçu sur la nature du sable utilisé. L'analyse granulométrique de sable utilisée est présentée sur laFig2.2 et Les caractéristiques physiques du sable utilisé sont regroupées dans le tableau2.1ci-dessous [**4]**

Fig.2.1 Sable roulé utilisé.

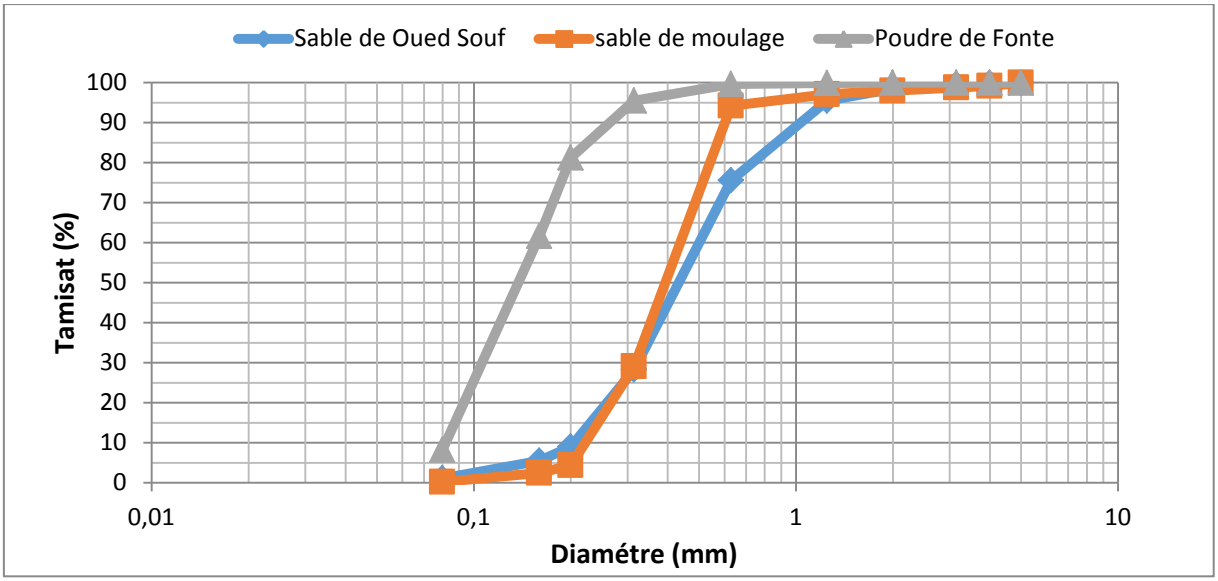


Fig.2.2 Courbe granulométrique de sable utilisée **[4]**

Tableau .2.1 Caractéristiques physique de sable et les déchets utilisés **[4]**

Caractéristiques	**Sable**	**Normes**
Classe granulaire	**0/3**	NF EN 933-1 **[58]**
Module de finesse	2.25	NF EN 933-1 **[58]**
Masse volumique absolue (Kg/ m^3)	2.63	NF EN 1097-6 **[59]**
Masse volumique apparente (Kg/m^3)	1.56	NF EN 1097-3 **[60]**
La compacité (%)	59	NF EN 1097-3 **[60]**
La porosité (%)	41	NF EN 1097-3 **[60]**
Equivalent de sable (%)	81.9	NF EN 933-8 **[57]**
Coefficient d'absorption d'eau (%)	0.42	NF EN 1097-6 **[59]**

- **Analyse chimique de sable utilisé**

Le sable utilisé a été analysé à l'aide d'une spectrophotométrie infrarouge, pour l'identification des différents groupements caractéristiques de la biomolécule.**[4]**

Le spectre obtenu sur le sable utilisé démontre que sa nature est calcaire (Fig2.3).

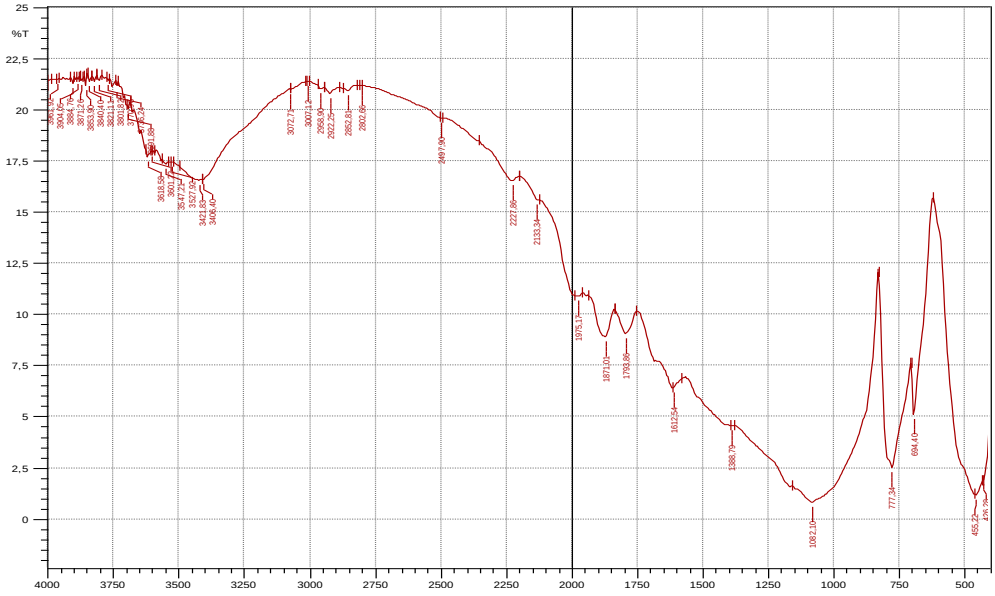


Fig.2.3 Courbe analyse chimique de sable utilisé **[4]**

2.2.2 Ciment

Le ciment utilisé dans cette étude est le ciment portland composé ''MATINE'' CPJ-CEM II/A 42.5R (Fig. 2.4), produit par la cimenterie CIBA-LAFARGE à M'sila en Algérie 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 $_2$O3) et le fer (Fe_2O3). 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 [4]



Fig.2.4 Ciment MATINE.

- **Analyse et caractérisation**

A. Analyse chimique du ciment et composition hypothétique du clinker

Selon la fiche technique du ciment (Annexes 1). Le Tableau. (2.2) résume l'Analyse chimique du ciment et composition hypothétique du clinker, **[4]**

Tableau 2.2 Analyse chimique du ciment et composition du clinker **[4]**

Analyse chimique du ciment	Perte au feu (%)	7.00-9.50
	Résidus insolubles (%) (NA 5042)	1.50-3.00
	Teneur en sulfates SO3 (%) (NA 5042)	2.00-2.50
	Teneur en oxyde de magnésium MgO (%)	1.90-2.30
	Teneur en chlorures (%) (NA 5042)	0.01-0.03
Composition Hypothétique du Clinker	Silicates tricalciques C3S (%)	58.00-64.00
	Aluminates tricalciques C3A (%)	6.00-8.00

B. Essais physiques

- **La finesse**

La finesse du ciment influe d'une façon considérable sur la résistance mécanique, la consistance normale et le temps de prise. La finesse est déterminée par la surface spécifique de Blaine. Elle est calculée en fonction du temps à l'aide du perméabilimètre de Blaine. **[4]**

- **La consistance normale**

C'est la quantité d'eau de gâchage qu'il faut ajouter à une quantité de ciment préalablement pesée pour obtenir une pâte dite normale, elle est mesurée à l'aide de l'appareil de Vicat **[4]**

- **Le temps de prise**

Le début et la fin de prise sont déterminés à l'aide de l'aiguille de Vicat sur une pâte de consistance normale placée dans un moule tronconique **[4]**

Le Tableau2.3 résume les résultats des essais physiques sur le ciment utilisé.

Tableau .2.3 Caractéristique physiques du ciment **[4]**

Caractéristique	**Valeur**
Masse volumique absolue (g /cm^3)	0.99
Masse volumique apparent (g/cm^3)	3.04
Consistance normale de la pâte de ciment (%)	25.5-28.00
Prisométrie (Min) - **Début de prise** - **Fin de prise**	 120-180 210-280
Classe de résistance (MPa)	≥ 42.5& 62.5
Retrait à 28 jours (µm/m)	< 1000
Finesse (BLAINE)(cm^2/g)	4300-4800
Expansion (mm)	0.50– 2.50

C. Essais mécaniques sur le ciment

Les essais mécaniques sur le ciment été effectués sur des éprouvettes prismatiques 4x4x16 cm³ à raison de trois éprouvettes rapportées à la moyenne par âge. Le mortier utilisé est un mortier normalisé : 450 g de ciment, 1350 g de sable naturel et 225 g d'eau. Le Tableau 2.4résume l'évolution de la résistance du ciment en fonction de l'âge **[4]**

Tableau.2.4 Evolution de la résistance du ciment en fonction de l'âge **[4]**

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

2.2.3 Ajouts (fillers)

Les fillers utilises au cours de ce travail sont les déchets de marbre (Fig.2.5). Ils sont obtenus par broyage des déchets abandonnés dans la nature.

Rappelons que les fins de marbre sont les plus adaptés au béton et ils donnentune meilleure performance

Leurs caractéristiques physiques sont mentionnées dans le Tableau.2.5.

Fig.2.5 Les fins de marbre.

Tableau.2.5 Caractéristiques physiques des fins de marbre utilisé **[4]**

Caractéristiques	Valeurs
La masse volumique apparente (Kg/m^3)	1.083
La masse volumique absolue (Kg/ m^3)	2.73
La finesse	3200
La compacité(%)	39.6
La porosité(%)	60.4

2.2.4 Adjuvant

L'adjuvant utilisé au cours de ce travail est un Super plastifiant-Haut réducteur d'eau fabriqué par la société, Algérienne GRANITEX, commercialisé sous l'appellation 'MEDAFLOW30', de forme liquide ; de couleur brai clair ; d'un PH égal à 6-6.5, de densité 1,07 ± 0,01 et d'une teneur en chlore<0.1g/L **[4]**

2.2.5 Eau de gâchage

Pour la confection des éprouvettes on a utilisée est une eau potable du robinet, exempte d'impureté set propre.

2.2.6 Déchets de fonderie

Le déchet utilisé dans cette étude est obtenue par une récupération manuelle des déchets de fenderie types poudre de fonte et sable de moulage, et après un démoulage d'une pièce métallique obtenue par l'usine de POVALE d'El Berrouaghia, et incorporés dans la masse de béton de sable fluide par ajouts (Fig.2.6) avec les pourcentages suivants (0%,5%,7%,10%,12% et 15%) et avec une substitution volumétrique de sable (Fig. 2.7) pas les pourcentage suivants (0%,3%,5%,8% et 10%)

La granulométrie de ces déchets est représentée dans la Fig. 2.2, et leurs caractéristiques physiques sont présentées dans le tableau 2.6 suivant :

Tableau 2.6 Caractéristiques physiques de déchet de fonderie utilisé **[4].**

Caractéristiques	poudre de fonte	sable de moulage
Masse volumique absolue (kg/m^3)	6.24	3
Masse volumique apparente (kg/m^3)	1.75	1.24
Module de finesse	0.4	1.8
La compacité (%)	28	51
La porosité (%)	72	49

Fig. 2.6 Déchet de poudre de fonte utilisé [4].

Fig. 2.7 Déchet de sable de moulage utilisé [4].

2.3 Composition des mélanges

Pour la confection des éprouvettes, La composition du béton de sable fluide est basée sur la méthode théorique SABLOCRETE 1994. Nous avons incorporé les deux types de déchets dans la masse du béton de sable fluide comme une addition avec les pourcentages (0%, 5%,7%,10%,12% et 15%) cas de poudre de fonte et fluide par une substitution volumique du sable par les pourcentage suivants (0%, 3%, 5%,8% et 10%) cas de sable de moulage.

Le tableau 2.7 résume les différentes compositions du BSF obtenus :

Tableau 2.7 Compositions des Béton de sable fluide à base de déchet de poudre de fonte pour ($1m^3$). **[4]**

Béton	**Sable (Kg/m^3)**	**Ciment (Kg/m^3)**	**Fillers de Marbre (Kg/m^3)**	**Poudre de fonte (Kg/m^3)**	**Eau (l/m^3)**	**Adj (Kg/m^3)**
BSFT	1400	400	200	0	240	6.6
BSF 5%PF	1400	400	200	20	240	6.6
BSF 7%PF	1400	400	200	28	240	8.4
BSF 10%PF	1400	400	200	40	240	9
BSF 12%PF	1400	400	200	48	240	10.8
BSF 15%PF	1400	400	200	60	240	12

Tableau 2.8 Compositions des Béton de sable fluide à base déchet de sable de moulage pour ($1m^3$) **[4]**

Béton	**Sable (Kg/m^3)**	**Ciment (Kg/m^3)**	**Fillers de Marbre (Kg/m^3)**	**Sable de moulage (Kg/m^3)**	**Eau (l/m^3)**	**Adj (Kg/m^3)**
BSFT	1400	400	200	0	240	6.6
BSF 3%SM	1360.9	400	200	39.1	240	7.8
BSF 5%SM	1334.83	400	200	65.17	240	9.6
BSF 8%SM	1295.68	400	200	104.32	240	10.8
BSF 10%SM	1269.6	400	200	130.4	240	12

Avec :

BSFT : Béton de sable fluide témoin.

BSFPF : Béton de sable fluide à base de déchet poudre de fonte.

BSFSM: Béton de sable fluide à base de déchet de sable de moulage.

Remarque : pour des besoins des éprouvettes nous avons reformulé le béton de sable fluide à base des déchets de fonderie, et nous faisons tous les essais à l'étais frais et durci

2.4 Malaxage et conservation

Le malaxage des bétons de sable fluide se fait en malaxeur à mortier d'une capacité de 5 L Fig. 2.8, pour la confection des éprouvettes 4*4*16cm. 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. **[4]**

Le malaxage de chaque mélange se fait de la manière suivante :

- On verse les gros grains (le sable) ;
- Puis en ajoute les fillers et le ciment après on malaxe à sec pendant 30 sec ;
- On verse deux tiers d'eau de gâchage, puis on malaxe pendant 1 minutes ;
- Après on ajoute de superplastifiant avec le tiers de la quantité d'eau nécessaire et on mélange pendant 1 minute ;
- Après, malaxé le mélange à vitesse rapide pendant 3 minutes, puis on laisse le mélange repose 3 minute;
- Puis lancer vitesse rapide pendant 1 minute et 30 sec.

- L'Introduction du déchet de carrelage a été effectuée au départ (après l'introduction du sable).

- Mesure la densité et l'ouvrabilité du béton frais immédiatement au fin malaxage **[4]**

Fig.2.8 procédure de malaxage au laboratoire **[4]**

2.5 Essai réalisé sur le béton

- **A l'état frais**

Les différents essais réalisés sur le béton de sable fluide obtenus sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 2.9 Essais sur bétons frais **[4]**

Essais	**Appareil**
Etalement	mini cône
Temps d'écoulement	l'entonnoir en (V-funnel)
Densité	Moule (1L) + balance

2.5.1 L'étalement au mini-cône

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 Fig. 2.9 montre les étapes de l'essai d'étalement mini cône selon la recommandation selon la recommandation EFNARC 2002**[4]**



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

2.5.2 Ecoulement à l'entonnoir en V-FUNNEL

Essai d'écoulement à l'entonnoir en (V-funnel) décrit la méthode de détermination de la durée d'écoulement du BAP à travers l'ouverture d'un entonnoir en V figure 2.10. Pour cet essai, un entonnoir en forme de V, équipé d'une trappe, est rempli de béton frais. La trappe est ouvert 10 secondes après le remplissage et le temps nécessaire à l'écoulement du béton hors de l'entonnoir est mesuré et consigné comme la durée d'écoulement à l'entonnoir en V. Il permet d'évaluer la viscosité du BF. Si le béton a une faible résistance à la ségrégation statique, un blocage partiel des granulats pourra également être observé **[4]**

Fig.2.10 Essai d'écoulement à l'entonnoir en V **[4]**

2.5.3 La densité

La masse volumique du béton de sable a été montrée par la figure 2.11

Fig.2.11 Mesure de la densité du béton de sable fluide **[4]**

2.6 Préparation et conservation des éprouvettes

Les différents types de bétons de sable fluide sont tous fabriqués dans l'environnement de laboratoire. Le béton de sable fluide a été coulé dans des moules métalliques de forme prismatiques 4x4x16 cm destinées aux essais de compression et de variation dimensionnelles, ainsi que des éprouvettes 4×10×10 cm destinées pour les essais thermiques **[4]** Fig. 2.12



Fig.2.12 Fabrication des éprouvettes.

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 éprouvettes ont été démoulées et conservées dans l'eau à 20°C ± 2°C.

2.7 Les essais réalisés sur la durabilité

2.7.1 Essais de résistance aux sulfates

Les éprouvettes de forme prismatique (4*4*16 cm^3) conservées dans l'eau (HR = 100 %, T = 20°C) pendant 60 jours avant d'être soumises à l'immersion dans la solution sulfateuse 5 % de sulfate de sodium (Na_2SO_4). La solution de sulfate est renouvelée chaque deux mois, la résistance chimique relative a été déterminée après 1, 2,3, 4,5, 6 mois Fig. 2.13.

La résistance chimique relative a été évaluée par la perte de masse de l'éprouvette, puis on les écrasés.

$$\text{Perte de masse } \% = \frac{(M1-M2)}{M1} * 100$$

M_1 : la masse des éprouvettes avant l'immersion dans la solution (g)

M_2 : la masse des éprouvettes après l'immersion dans la solution (g)

Fig. 2.13 Mesure de la résistance au sulfate (Na_2SO_4)

2.7.2 Essais de résistance aux acides

Les éprouvettes de forme prismatique (4*4*16 cm3) conservées dans l'eau (HR = 100 %, T = 20°C) pendant 60 jours avant d'être soumises à l'immersion dans la solution d'acide de 3% d'acide chlorhydrique (Hcl). La solution d'acide est renouvelée chaque deux mois, la résistance chimique relative a été déterminée après 1, 2, 3, 4, 5, 6 mois Fig. 2.14.

La résistance mécanique relative a été évaluée par la perte de masse de l'éprouvette, puis on les écrasés.

$$\text{Perte de masse \%} = \frac{M1-M2}{M1} * 100$$

M_1 : la masse des éprouvettes avant l'immersion dans la solution (g)

M_2 : la masse des éprouvettes après l'immersion dans la solution (g)

Fig.2.14 Mesure de la résistance à l'acide (Hcl).

2.7.3 Essais de résistance au feu

Cet essai est réalisé par des demi prismes d'éprouvettes $4\times4\times16cm^3$, elles sont exposées à l'air libre au laboratoire pendant 6 jours puis étuvées à 105°C pendant plusieurs jours jusqu'à stabilisation de leurs masses. Ensuite, elles sont chauffées dans un four à moufle à différentes températures 200°C, 400°C ,600°C et 800°C avec une vitesse de chauffage égale à 10°C/min maintenues la température constante dans le four pendant une heure Fig. 2.15 conformément à la norme ISO 834. Tous les demi-prismes d'éprouvettes sont ensuite refroidis à l'air puis écrasés. Pour chaque température, des mesures de pertes de masse ont été effectuées. **[29]**

$$\text{Perte de masse \%} = \frac{M1-M2}{M1} * 100$$

M_1 : la masse des éprouvettes avant l'immersion (g)

M_2 : la masse des éprouvettes après l'immersion (g)

Fig.2.15 Mesure de la résistance au feu

2.8 Variable étudie

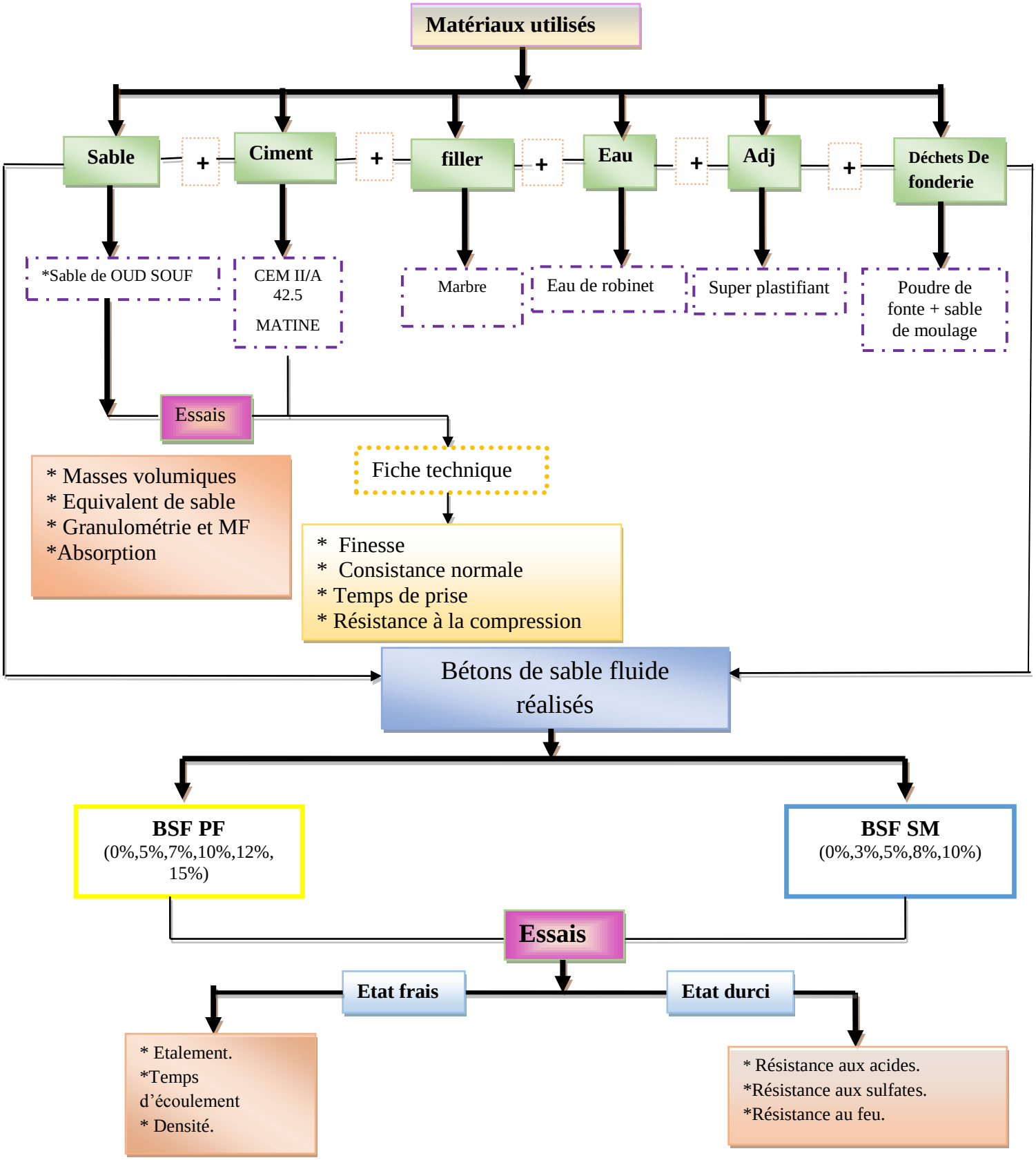


Fig.2.16 Variables étudiées.

2.9 Conclusion

L'utilisation des matériaux locaux et des déchets industriels recyclés dans la fabrication du BS constitue une alternative économique et technologique importante dans certains pays en voie de développement. Cette recherche présente une contribution à l'étude de l'effet des déchets de fonderie types poudre de fonte et sable de moulage sur la durabilité des bétons de sables.

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

- Caractérisation physique et chimique des matériaux utilisés dans les compositions des BS ;

- La méthode de formulation utilisée c'est la méthode théorique du projet SABLOCRETE.;

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

- Pour évaluer la durabilité du BS à base de déchets de fonderie, nous avons choisi les essais, la résistance au sulfate (perte de masse et résistance de compression et traction), la résistance à l'acide (perte de masse et résistance de compression et traction) la résistance au feu (perte de masse et résistance à la compression)

Chapitre 03 :
Résultats et interpétations

3.1 La résistance aux sulfates

3.1.1 Introduction

Les résultats de durabilité des différents essais réalisés sur les bétons de sable fluide à base de déchets de fonderie sont rassemblés ci-après.

3.1.2 Augmentation de masse

Les résultats de la variation relative de la masse en fonction de la période d'immersion dans la solution Na_2SO_4 des différents BSF à base de déchets de fonderie sont montrés sur la Figure 3.1. Selon ces résultats, on remarque une augmentation de masse des éprouvettes de BSF avec les périodes d'immersion pour l'ensemble des fillers étudiés. Cette augmentation varie selon chaque type de béton. Le classement de la vulnérabilité à l'attaque des sulfates dans la solution Na_2SO_4 vis-à-vis les BSF est différent pour les types de déchets utilises. On remarque clairement que tous les types de BSF à base de déchets de fonderie ont un taux de gonflement mois important que celle de BSF de référence. La vulnérabilité de l'attaque par les sulfates de sodium vis a vis du BSF a enregistré une grande valeur de la variation de la masse (9%) pour le BSF témoin et (7%) pour les BSF à base de 8% sable de moulage et 10% de poudre de fonte respectivement. Cet effet est dû la présence de la valeur maximale du C_3A, la valeur minimale du C_4AF, la nature et le pourcentage de l'ajout du tuf utilisé d'origine pouzzolanique. Les autres BSF ont presque les mêmes augmentations de la masse. Ce résultat confirme les résultats de R. Siddique, R.K. Sandhu **[30].**

Le sulfate de sodium attaque le $Ca(OH)_2$:

$$Ca(OH)_2 + Na_2SO_4.10H_2O \longrightarrow CaSO_4.2H_2O + 2NaOH + 8H_2O \quad (III.1)$$

La réaction avec l'aluminate de calcium hydraté peut être formulée de façon suivante :

$$2(3CaO.Al_2O_3.12H_2O) + 3(Na_2SO4.10H_2O) \longrightarrow$$
$$3CaO.Al_2O_3.3CaSO_4.31H_2O + 2Al(OH)_3 + 6NaOH + 17H_2O \quad (III.2)$$

Le sulfate de calcium n'attaque que l'aluminate de calcium hydraté pour former un Sulfo-aluminate de calcium (l'ettringite : $3CaO.Al_2O_3.3CaSO_4.32H_2O$)

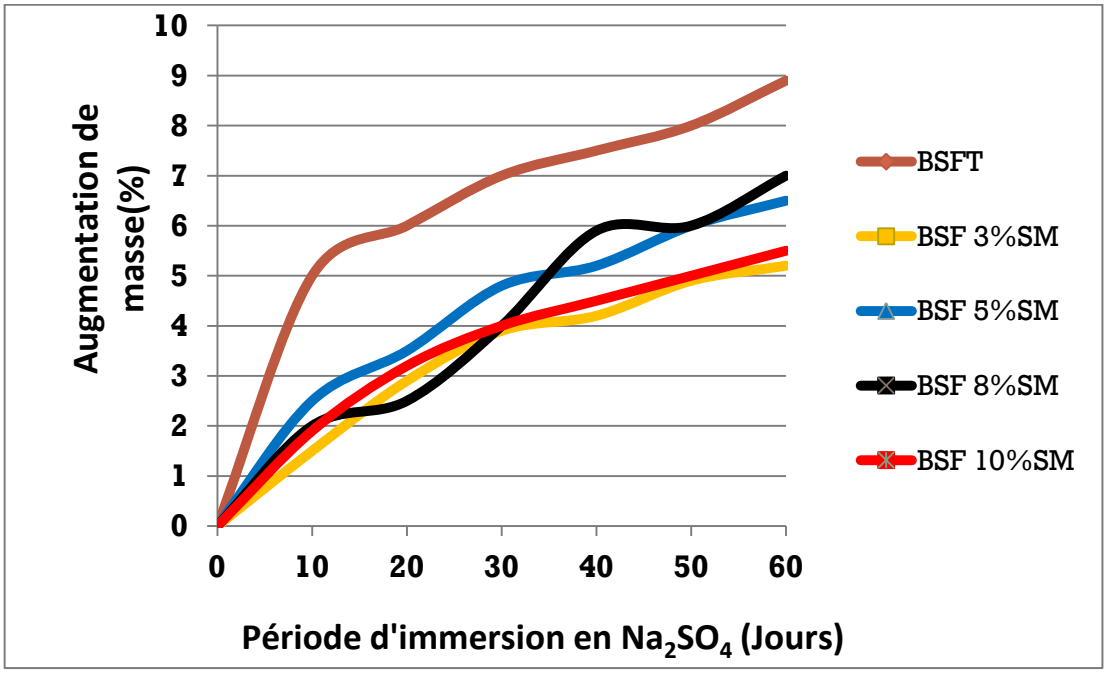


Fig. 3.1 Evolution de la masse des BSF SM en fonction de la période d'immmersion en Na_2SO_4.

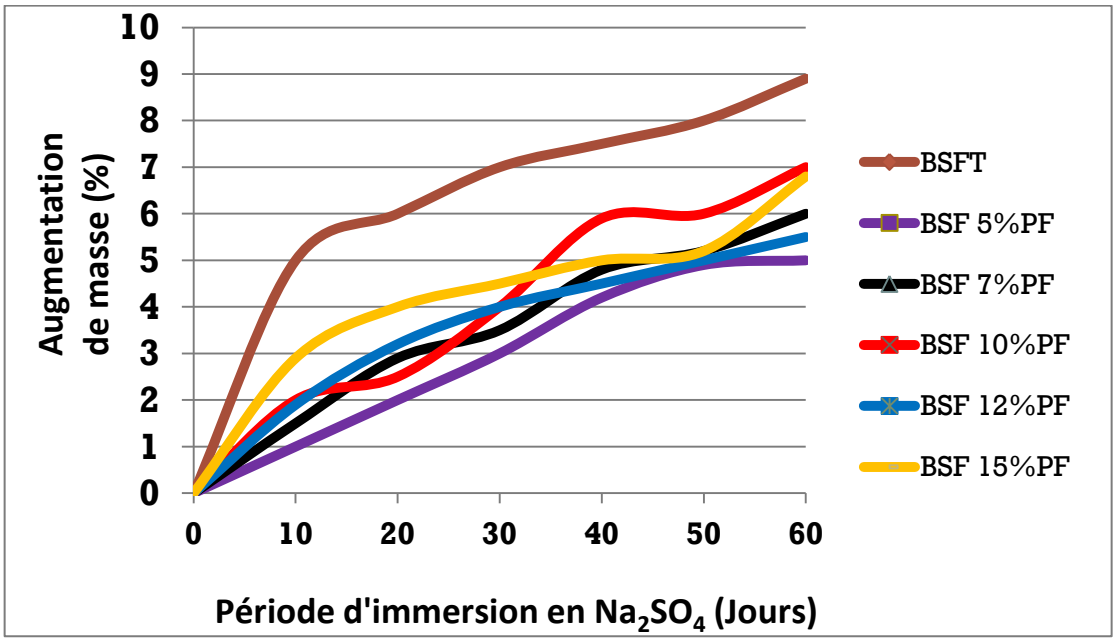


Fig. 3.2 Evolution de la masse des BSF PF en fonction de la période d'immersion en Na_2SO_4.

3.1.3 Résistance mécanique

Les tableaux 1.3 et 3.2 ci-dessous présentent la résistance à la compression et à la flexion de différents BSF à base de déchets de fonderie avant et après 6mois d'immersion en Na_2SO_4. Les résultats obtenus montrent que quelque soit le type de déchets utilisés, la résistance à la compression et à la flexion de BSF est diminué légèrement après la période d'immersion en Na_2SO_4.Cette diminution est due à la formation de gel expansif et la perte des propriétés liantes de C-S-H qui vont engendrer un gonflement de l'éprouvettes ce qui mène à la chute de résistance mécanique de béton étudié.

Tableau 3.1 Résistance mécanique des BSF à base de sable de moulage avant et après l'immersion dans la solution Na_2SO_4

Type de béton	**Rt (MPa)** avant l'immersion en **Na_2SO_4**	**Rt (MPa)** Après l'immersion en **Na_2SO_4**	**Rc (MPa)** avant l'immersion en **Na_2SO_4**	**Rc (MPa)** Après l'immersion en **Na_2SO_4**
BSFT	15.5	14.93	58	55.18
BSF3%SM	12	9.87	55	52.39
BSF5%SM	20.2	19.58	63	61.97
BSF8%SM	15.8	14.52	65	63.18
BSF10%SM	14	12.03	52	48.43

Tableau 3.2 Résistance mécanique des BSF à base de poudre de fonte avant et après l'immersion dans la solution Na_2SO_4

Type de béton	**Rt (MPa)** avant l'immersion en **Na_2SO_4**	**Rt (MPa)** Après l'immersion en **Na_2SO_4**	**Rc (MPa)** avant l'immersion en **Na_2SO_4**	**Rc (MPa)** Après l'immersion en **Na_2SO_4**
BSFT	15.5	14.93	58	55.18
BSF 5%PF	12.5	9.31	46	44.59
BSF7%PF	18.9	17.72	75	73.45
BSF10%PF	12.5	10.67	58	56.20
BSF12%PF	13.8	12.05	55	53.31
BSF15%PF	9.2	7.09	38	35.45

3.1.4 Aspect visuel

L'état des éprouvettes des BSF à base de déchets de fonderie après 06 mois d'immersion dans la solution de Na_2SO_4 sont présentés sur les Figures 3.3 et 3.4. Nous avons constaté une légère détérioration superficielle liée à l'augmentation de volume de l'éprouvette étudiée.



Fig. 3.3 Aspect visuel des BSF à base de sable de moulage avant et après l'immersion dans la solution Na2SO4



Fig.3.4 Aspect visuels des BSF en fonction de type de fillers avant et après l'immersion dans la solution Na_2SO_4.

3.2 La résistance aux acides

3.2.1 Perte de masse

La perte de masse en fonction de la période d'immersion dans les solutions Hcl des différents BSF à base de déchets de fonderie est montrée sur la Figure 3.5 et 3.6 à partir des résultats obtenus, on remarque une diminution de masse des éprouvettes de tous les types de BSF avec les périodes d'immersion pour l'ensemble des fillers étudiés. Cette diminution est lié à lixiviation de la pâte cimentaire engendré par la présence de Hcl ce qui provoque un déchaussement de granulats. Cette diminution est variée d'un BSF à un autre. Tous les BSF à base de déchets de fonderie présentent une perte de masse moins importante par rapport au BSF de référence.

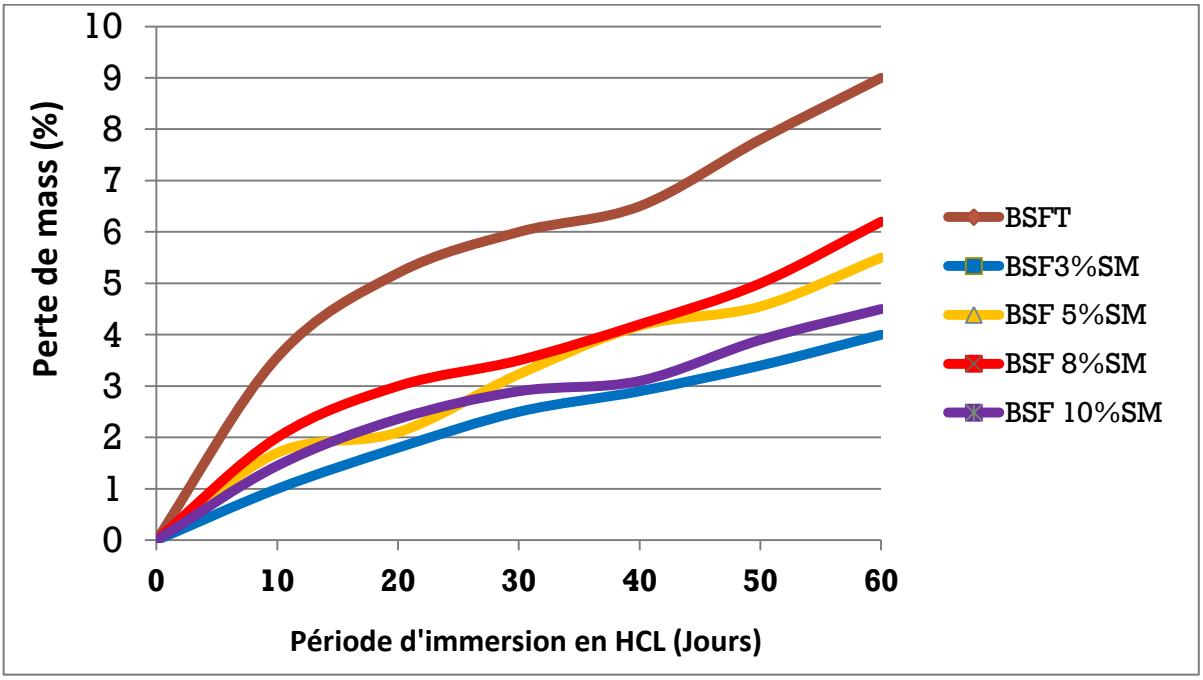


Fig. 3.5 Evolution de la masse des BSF à base de sable de moulage en fonction de la période d'immersion en Hcl.

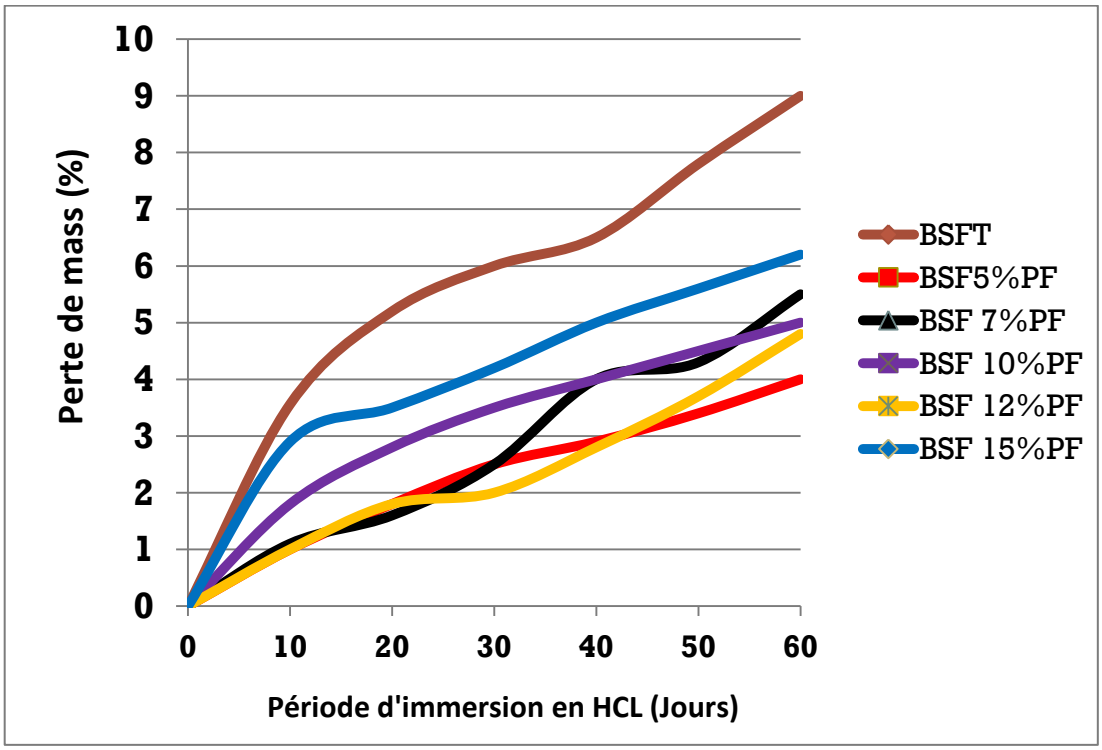


Fig. 3.6 Evolution de la masse des BSF à base de poudre de fonte en fonction de la période d'immersion en Hcl.

3.1.2Résistance mécanique

Les tableaux 3.3 et 3.4 ci-dessous présentent la résistance à la compression et à la flexion de différents BSF à base de déchets de fonderie avant et après 6mois d'immersion en Hcl. Les résultats obtenus montrent que quelque soit le type de déchets utilisés, la résistance à la compression et à la flexion de BSF est diminuée après la période d'immersion en Hcl. Cette diminution est due à la lixiviation, désintégration de la pâte cimentaire et à la et déchaussement de granulats de BSF. Finalement, les résistances mécaniques obtenues après l'immersion répondue aux besoins de chantier.

Tableau 3.3 Résistance mécanique des BSF en fonction de type de fillers avant et après l'immersion dans la solution Hcl.

Type de béton	**Rt (MPa)** avant l'immersion en **Hcl**	**Rt (MPa)** Après l'immersion en **Hcl**	**Rc (MPa)** avant l'immersion en **Hcl**	**Rc (MPa)** Après l'immersion en **Hcl**
BSFT	11.9	10.32	40.2	38.73
BSF3%SM	12.5	11.78	38	36.36
BSF5%SM	15.8	14.10	35.4	33.92
BSF8%SM	12	11.49	36.5	38.88
BSF10%SM	12.5	11.41	30.7	28.92

Tableau 3.4 Résistance mécanique des BSF en fonction de type de fillers avant et après l'immersion dans la solution Hcl.

Type de béton	**Rt (MPa)** avant l'immersion en **Hcl**	**Rt (MPa)** Après l'immersion en **Hcl**	**Rc (MPa)** avant l'immersion en **Hcl**	**Rc (MPa)** Après l'immersion en **Hcl**
BSFT	11.9	10.32	40.2	38.73
BSF 5%PF	9.2	7.80	41	39.36
BSF7%PF	16	14.82	46.8	45.35
BSF10%PF	4.05	3.09	38	36
BSF12%PF	12.5	10.69	39	37.80
BSF15%PF	5.2	4.60	30.2	28.10

3.1.3 Aspect visuel

Les Figures 3.7 et 3.8 ci-dessous présentent L'état des éprouvettes des BSF après 06 mois d'immersion dans la solution Hcl. Nous avons constaté une légère détérioration superficielle liée à détérioration et à la perte de masse engendrée par la présence de Hcl.



Fig. 3.7 Aspect visuel des BSF à base de sable de moulage avant et après l'immersion dans la solution Hcl.



Fig. 3.8 Aspect visuel des BSF à base de sable de moulage avant et après l'immersion dans la solution Hcl.

3.3 Résistance au feu

3.3.1 Perte de masse

Les résultats de la perte de masse des éprouvettes de BSF chauffées à 200, 400, 600 et 800°C sont représentés sur la figure ci-dessous :

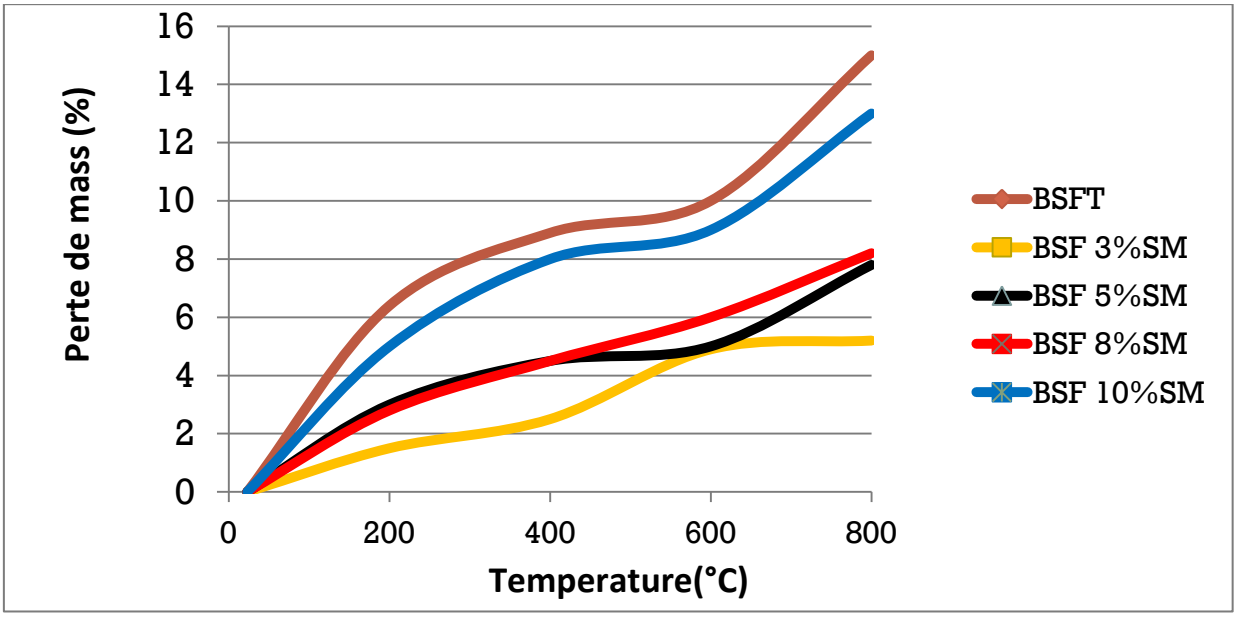


Fig. 3.9 Perte de masse des BSFSM en fonction de l'élévation de température.

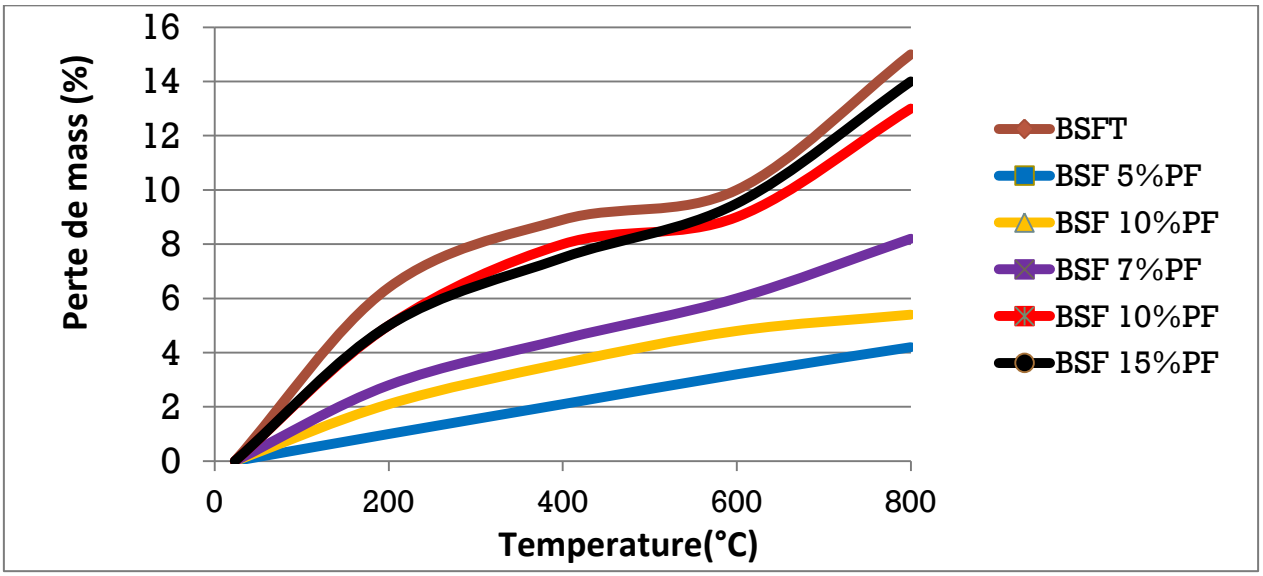


Fig. 3.10 Perte de masse des BSF PF en fonction de l'élévation de température.

Les schémas précédents représentent l'évolution de la perte de masse des différents bétons de sable à base fluide à base de déchets de fonderie en fonction de l'élévation de la température. On remarque que quel que soit le type de béton de sable fluide, la perte de masse est toujours permanente durant l'échauffement des éprouvettes. Elle varie entre 4 et 16% pour tous les types des bétons de sable à une température de 800°C. Ces pertes de masse sont dues à la déshydratation progressive du BSF. Jusqu'à la température de 200°C, l'eau libre et une partie de l'eau faiblement liée chimiquement des CSH et de l'ettringite s'évapore et les pores capillaires sont asséchés. Ces résultats confirment les résultats d'autres chercheurs **[31,32]** qui ont constaté que la masse du béton dans les éprouvettes est toujours diminuée avec l'augmentation de la température.

3.3.2 Résistance à la compression

Les résultats de la résistance à la compression des éprouvettes chauffées à 200, 400, 600 et 800°C sont représentés sur la figure suivante :

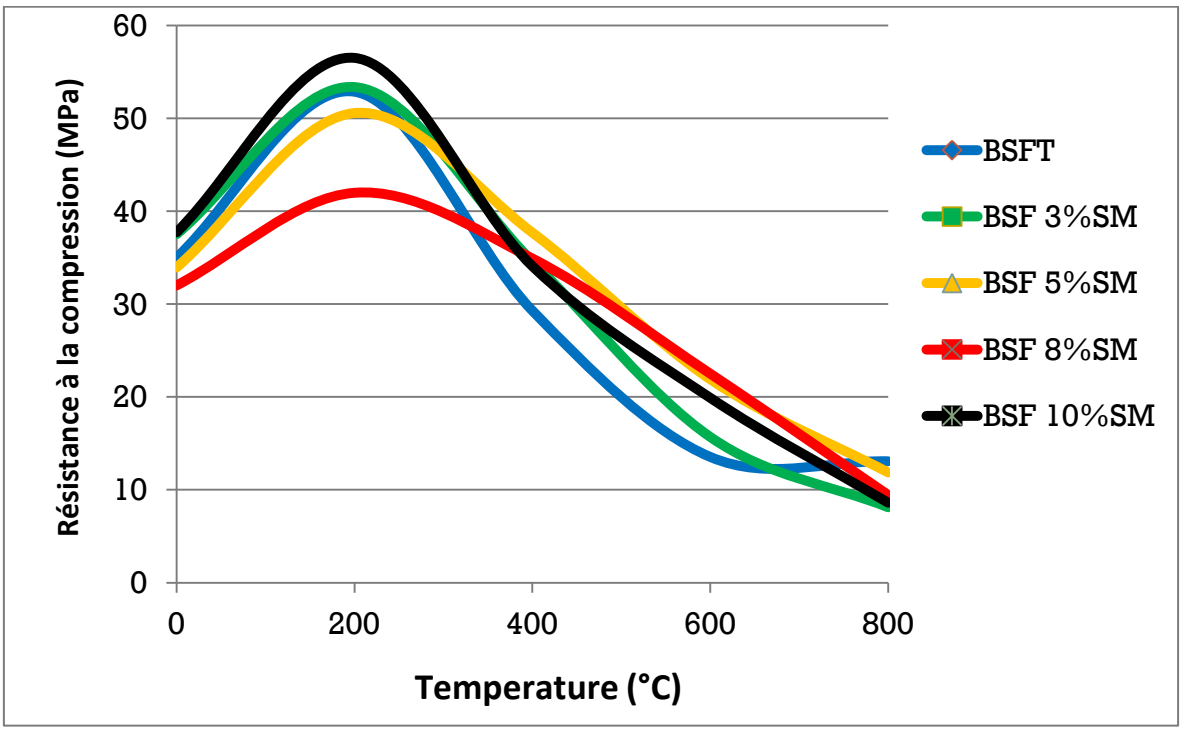


Fig. 3.11 Résistance à la compression des BSF en fonction de l'élévation de température.

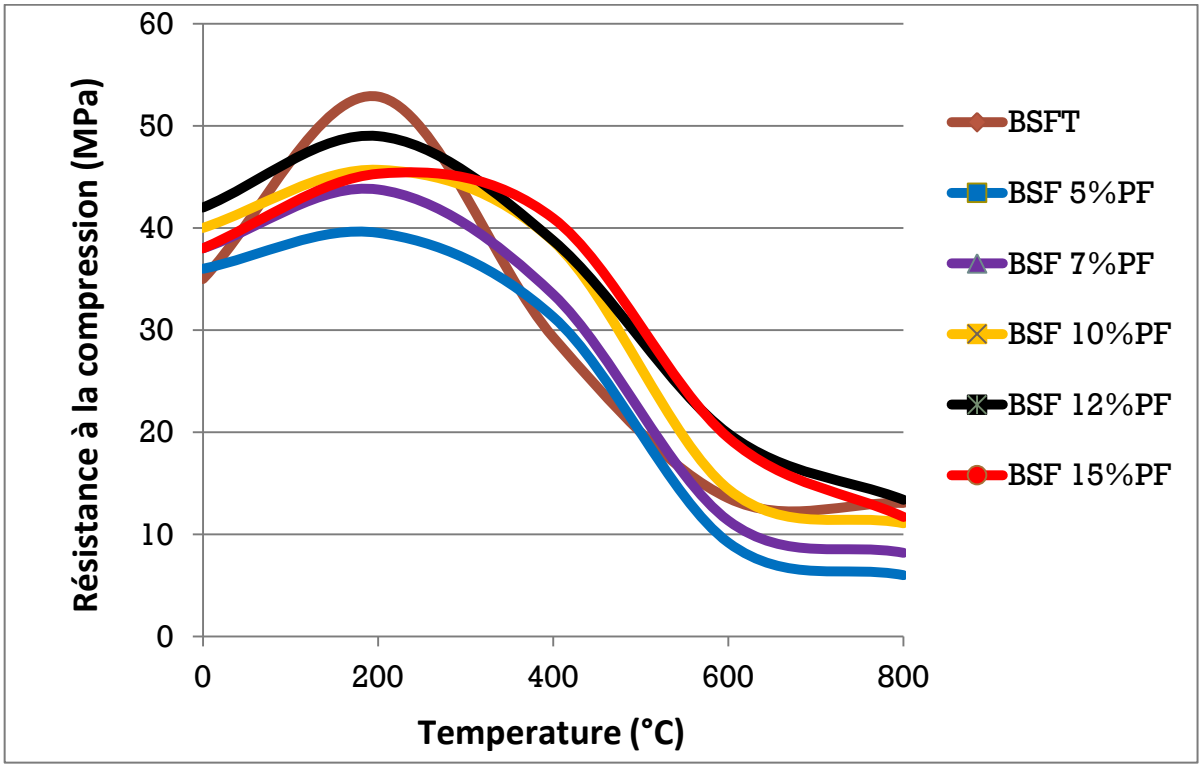


Fig. 3.12 Résistance à la compression des BSF en fonction de l'élévation de température.

Les figures précédentes montrent que tous les BSF présents un pic de résistance à la compression à 200 °C. Cette augmentation de résistance est liée probablement à l'eau non évaporable (notamment chimiquement liée dans les hydrates), qui participe à l'établissement des pressions internes qui jouent un rôle de précontrainte et par ceci à une augmentation de la résistance à la compression aux alentours de200°C. Au-delà de 200°C, le rapport de la résistance à chaud est diminué jusqu'à une faible résistance obtenus à 800°C, et cela est due à l'augmentation considérable de la porosité pour tous les bétons chauffés **[29]**.

3.4 Conclusion

L'analyse des résultats expérimentaux peut mener aux quelques conclusions suivantes:

- Tous les BSF à base de déchets de fonderie présentent un taux de gonflement moins important par rapport aux BSF de référence.
- Pas de dégradation majeure des BSF exposé à Na_2SO_4.
- Tous les BSF présentent une perte de masse et de résistance mécanique sous la solution Hcl. Les BSF à base de déchets de fonderie présentent une perte de masse moins importante par rapport au BSF témoin.
- Une chute de résistance mécanique est constatée sous la solutionNa_2SO_4ou Hcl.
- Pas de dégradation majeure des BSF exposé à Hcl.
- La masse de tous les bétons de sable fluide à base de différents types de déchets, est diminuée avec l'augmentation de la température. Cette perte de masse augmente graduellement jusqu'à 800°C ;
- Tous les bétons de sable fluide présentent un pic de résistance à 200°C. On enregistre toujours à cette température une augmentation importante de la résistance à la compression.

Conslusions générales

Conclusions générales

L'analyse des résultats expérimentaux de l'influence de différents types de déchets de fonderie sur la durabilité du BSF peut mener aux quelques conclusions suivantes

- Tous les BSF à base de déchets de fonderie présentent un taux de gonflement moins important par rapport au BSFT sous la solution Na_2SO_4.

- Tous les BSF à base de déchets de fonderie présentent une perte de masse moins importante par rapport au BSF témoin sous la solution Hcl.

- L'immersion des BSF à base de déchets de fonderie sous la solution Na_2SO_4 ou Hcl engendre une diminution de la résistance mécanique aprés et avant l'immersion. Autrement, les résistances mécaniques obtenues répondent aux exigences des règles de construction.

- La masse de tous les bétons de sable fluide à base de déchets de fonderie est diminuée avec l'augmentation de la température. Cette perte de masse augmente graduellement jusqu'à 800°C ;

- Tous les bétons de sable fluide à base à base de déchets de fonderie présentent un pic de résistance à 200°C. On enregistre toujours à cette température une augmentation importante de la résistance à la compression.

Sur la base des résultats obtenus, on peut conclure que pour avoir un béton de sable fluide durable employé dans les différentes formes de construction, l'utilisation de déchets de fonderie (Sable de moulage ou poudre de fonte) comme un composant essentiel dans la formulation de BSF est recommandé.

Recommandations

Recommandations

Nous recommandons ce qui suit :

- Etude de la rhéologie du béton de sable fluide à base de sable de moulage.

-Valorisation d'autres types de déchets de fonderie dans le BSF.

-Effet synergétique (poudre de fonte+sable de moulage) sur la durabilité de BSF.

- Etude de l'effet du mode et du retard de la cure sur les différentes caractéristiques des BSF à base de poudre de fonte.

- Etude du pompage de BSF à base déchets de fonderie.

-Influence de haute température sur le comportement de BSF à base de déchets de fonderie.

Références Bibliographiques

Références bibliographiques

[1] : Impact de la production des déchets sur l'environnement Est-ce que la production des déchets a une influence sur l'environnement ? Samedi 28 janvier 2012, par AusraStravinskaite, Juan Pablo Gonzalez, popularité : 100%

[2] : http://doc.lerm.fr/beton-de-sable/

[3] : historique : Melle IMENE BENAISSA, Thème « béton de sable fibré projeté pour panneau 3d», Thèse Pour l'obtention du diplôme de Doctorat « LMD » en Génie Civil, L'Université de Cergy- Pontoise, France L'Université des Sciences et de la Technologie d'Oran-M.B, 2015, pp 140.

[4] : ZIRARI IMEN et IKHLEF Khadidja, Thème : Valorisation des déchets de fonderie dans le béton de sable fluide, Projet de fin d'étude

[5] : GADRI KARIMA, Contribution a l'étude d'un béton de sable avec fibres et résine destine pour la réparation mince des structures, mémoire de magister, université MOHAMED KHIDER BISKRA, 03/ 07/ 2007.

[6] : application **:** GAGUI WARDA, thème : L'effet d'ajout des fibres palmiers dattiers (Saaf et Lif) sur les propriétés physico-mécanique des bétons de sable, Mémoire de Master2ième année Option : Conception et calcul de structure, 2015, pp 75

[7] : Khady NDIAYE, titre : optimisation des formulations des bétons de sable projet de fin d'études, en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur de conception.

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

[9] : SAITI ISSAM, Thème : Étude d'un procédé d'élaboration d'un béton léger cellulaire à base de sable de dune de la région de GHARDAIA, Mémoire, En vue de l'obtention du diplôme de magistère Filière : Génie civil.

[10] : GUETTAB ABDENOUR et BISSET MOKHTAR Mémoire présenté pour l'obtention Du diplôme de Master Académique, Intitulé : mortier au ciment blanc avec filler de marbre

[11] : Abdeljalil ZRI, Sujet : Mise en place d'une nouvelle approche de formulation d'une matrice cimentaire à base de sable de dragage : application aux bétons de sables et granulats, thèse de doctorat

[12] : Fatma Zohra MELAIS, thème : durabilité des bétons de sable fibres dans les différents milieux agressifs « effets de la nature des fines d'ajouts et fibres » Option Matériaux innovants et durabilité, THÈSE, Présentée en vue de l'obtention du diplôme de DOCTORAT 3ème Cycle.

[13] : YESSAD Naim ; OUASSEL Aissa ; « Contribution à l'étude des déchets ménagers de la ville de Bejaia par cartographie numérique », thèse de master, Université Abderrahmane MIR-Bejaia, 18 Juin 2017.

[14] : https://www.aquaportail.com/definition-5480-recyclage.html

[15] : http://www.lombric.com/reduire-ses-dechets/compostage/guide-pratique-du-compostage/quest-ce-que-le-compostqQ

[16] : http://cogetrad.com/valorisation

[17] : https://fr.m.wikipedia.org/wiki/Incinération_des_déchets

[18] : BELAÏB AHLEM, « étude de la gestion et de la valorisation par compostage des déchets organiques génères par le restaurant universitaire aicha Oum elmouminine (willaya de Constantine) », Mémoire de Magister, 2011-2012.

[19] : https://www.futura-science.com/planete/definitions/develpppement-durable-dechet 5725/

[20] : Abdelaziz MEDJALDI , Elaboration d'une fonte synthétique de moulage a propriétés mécaniques améliorées , mémoire de magister , 2012 , page 2-3

[21] : Published: Oct 13, 2017Sharethis: addthis sharing buttonsshare to facebookshare to twitter share to linkedinshare to plus d'options.

[22] : https://www.reliance-foundry.com/blog/definition-fonderie-fr

[23] : OFRIR Observation Français des Ressources des les Infrastructures, site internet : http://ofrir2.ifsttar.fr/

[24] : https://fr.wikipedia.org/wiki/Sable_(fonderie)

[25] : http://www.fonderie-ardennes.fr/sablerie-8.html

[26] : http://sculpture.forumactif.com/t10916-silicate-de-soude

[27] : OMIRI ABDELLAH ; BOUAZOUNI LOUNIS, Recyclage du sable de fonderie dans les mortiers autoplaçant: Utilisation en tant que sable et ajout cimentaire , thèse de master , université de Boumerdes , 2016-2017 ; page 19-20.

[28] : https://www.futura-sciences.com/sciences/definitions/chimie-fonte-16520/

[29] : Mr. GUENDOUZ Mohamed, Contribution à la formulation et à la caractérisation d'un éco-matériau à base de déchets plastiques: application au béton de sable, Thèse de doctorat ; 2017 ; page 315.

[30]:R. Siddique, R.K. Sandhu, Properties of Self-Compacting Concrete Incorporating Waste Foundry, Leonardo Journal of Sciences. 23 (2013) 105–124. Available From: <http://ljs.academicdirect.org/105>.

[31] : Kameche, Z.E. 2008, « Effets de la température sur le comportement du béton: cas des revêtements des tunnels routiers » Mémoire de Magister de l'ENSE T d'Oran

[32]: O.Arioz, Effects of elevated temperatures on properties of concrete, Fire Safety J.42 , 2007,516–522.

Annex

Fig. A. 1 Ciment MATINE utilisé.

Fig. A.2 La fiche technique ciment.

Fig. A.3 fiche technique d'adjuvante utilisé.

Fig. A.4 Malaxeur.

Fig. A.5 broyage par broyeur.

Fig. A.6essai de l'étalement**.**

Fig.A.7le four