République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique
Universitaire Yahia FARES de Médéa
Faculté De Technologie
Département de Génie Civil

Projet de fin d'étude

Pour l'obtention du diplome de Master en Génie Civil

Option: Matériaux en génie civil

Thème :

Valorisation des déchets de fonderie dans le béton de sable fluide

Etudié par :

M^elle^.IKHLEF Khadidja

M^elle^.ZIRARI Imen

Encadré par :

Dr .GUENDOUZ Mohamed

M^elle^. BOUKHELKHEL Djamila

Promotion Juin 2018


بسم الله الرحمن الرحيم
١٤٢٥

Remerciements

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Imen/khadidja

Dédicace

Tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude, l'amour, le respect, la reconnaissance, c'est tous simplement que :

Je dédie cette mémoire de master :

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

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

À ma mère !

A mon père

À tous mes frères et sœurs, ainsi que leurs enfants

À mes grands parents et à toute ma famille

À tous mes amis et collègues

À tous les étudiants de la promotion 2017|2018 Option : Génie Civil

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

Khadidja

Dédicace

Tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude, l'amour, le respect, la reconnaissance, c'est tous simplement que :

Je dédie cette mémoire de master :

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

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

À ma mère !

A mon père

À tous mes frères, sœurs et mon fiancé

À mes grands parents et à toute ma famille

À tous mes amis et collègues

À tous les étudiants de la promotion 2017|2018 Option : Génie Civil

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

Imen

ملخص

الهدف الرئيسي من هذا المشروع هو المساهمة في تثمين و رسكلة نفايات المسابك وبالتحديد نفايات رمل المسابك ومسحوق الصب و دمج هذه النفايات بشكل حجمي وإضافي في كتلة الخرسانة الرملية المائعة بنسب مختلفة (0٪، 3٪، 5٪، 8٪ و 10٪) و(0٪، 5٪، 7٪، 10٪،12٪و 15٪) على التوالي مع دراسة خصائصها في الحالة الرطبة و في الحالة الصلبة ومقارنتها مع خرسانة رملية مائعة عادية .

وقد أظهرت النتائج أن الخصائص الميكانيكية للخرسانة الرملية المائعة تتحسن بتغيير نسبة 3٪ من الرمل الطبيعي بنفايات رمل المسابك وبإضافة نسبة 10٪ من مسحوق الصب على التوالي . لذلك فمن الممكن الحصول على مواد البناء الجديدة التي يمكن استخدامها لأنواع مختلفة من عناصر البناء .

Résumé

L’objectif principal de ce projet consiste à valoriser et recycler les déchets de fonderie (plus précisément les déchets de sable de moulage et poudre de fonte) et incorporé dans la masse du béton de sable fluide par substituions volumique du sable et par ajout en différents pourcentages (0%,3%,5%,8% et 10%) et (0%,5%,7%,10%,12% et 15%) respectivement. Les propriétés à l’état frais et à l’état durci des différents mélanges réalisés ont été analysées et comparées aux bétons de sable fluide témoin respectifs.

Les résultats obtenus montrent que la performance mécanique du béton de sable fluide est augmentée en fonction de substitution de 3% du sable naturel par le sable de moulage et de 10% d’addition de poudre de fonte respectivement. Donc, il est possible d’obtenir un nouveau matériau de construction utilisable pour différents types d’éléments de construction**.**

Abstract

The main objective of this project is value and recycle the fonder waste (waste foundry sand and cast powder) and incorporated into the mass of flowable sand concrete by substitution volumetric of natural sand and addition at different percentage (0% ,3%,5%,8% et 10%) and (0%,5%,7%,10% ,12% et 15%) respectively. The properties in a fresh and a hardened state of the various flowable sand concretes were analyzed and compared with control flowable sand concretes witness.

The results obtained shows that the mechanical performance of flowable sand concrete is increase according to the substitution of 3% of sand by waste foundry and addition of 10% of cast powder respectively. So, it is possible to obtain a new material which allows a use in the various types of structural components**.**

sommaire

Sommaire

Remerciements
Dédicace
Résume
ملخص
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 Valorisation des déchets et activité de recyclage en construction……...03
1.2.1 Introduction ……..…03
1.2.2 Valorisation des déchets et sous produits industriels dans le domaine génie civil…..04
1.2.3 Constitution chimique du déchet ……05
1.2.4 Origine de la production de déchets ……...…05
1.2.5 Différents déchets utilisés en génie civil ……....06
1.2.6 Activité du recyclage des déchets en construction ……07
1.3 Fonderie et déchets de fonderie ……..08
1.3.1 La Fonderie ……..08
1.3.1.1 Définition ……...08
1.3.1.2Type de fonderie……..09
1.3.1.3 Equipement de la Fonderie ……...10
1.3.1.4 Les séquelles industrielles de la fonderie sur la santé et l'environnement ……....11
1.3.2 Sable de la fonderie ……..11
1.3.2.1 Généralité ……...11
1.3.2.2 Définition ……...11
1.3.2.3 Composition de sable de fonderie ……..12
1.3.2.4 Propriétés chimique du sable de la fonderie ……..12
1.3.2.5 Les sables de fonderie en Algérie ……..13
1.3.2.6 Caractéristiques des différents sables utilisés en fonderie ……14
1.3.2.7 Les critères pour le choix d'un sable ……..15
1.3.3 Sable de fonte ……...16
1.3.3.1 Définition ……...16
1.3.3.2 Les types de poudre de fonte ……16
1.3.3.3 Propriétés mécaniques de fonte ……17
1.3.3.4 Propriétés physiques de fonte ……17
1.3.3.5 Moulage en sable mécanique ……17

1.3.3.6 Particularités des sables usés ……18
1.3.3.7 Les étapes du moulage au sable pour choisir les meilleurs matériaux ……..18
1.4 Le béton de sable ……...20
1.4.1 Introduction ……..20
1.4.2 Origines de béton de sable ……21
1.4.3 Définition ……..22
1.4.4 Les composants du béton de sable ……23
1.4.5 Propriétés du béton de sable ……24
1.4.6 Retrait et Fluage……31
1.4.7 Domaines d'emploi des bétons de sable……36
1.4.8 Formulation du béton de sable……...37
1.5 Influence des ajouts minéraux sur les propriétés des matériaux cimentaires……..48
1.6 Conclusion ……54

CHAPITRE 02 : MATERIAUX ET ESSAIS

2.1 Introduction……..55
2.2 Caractérisation des Matériaux utilisés.……...…...55
2.2.1 Le sable…….....55
2.2.2 Ciment ……...…….....57
2.2.3 Ajouts (fillers)……..……..……...….....60
2.2.4 Adjuvant…….....…….....61
2.2.5 Eau de gâchage ……...……..……..61
2.2.6 Déchets de fonderie ……..…….....61
2.3 Composition des mélanges ……..……..…..…….....63
2.4 Malaxage et conservation…….....64
2.5 Essais réalisés à l'état frais.……...….....65
2.5.1 Etalement……..66
2.5.2 Ecoulement à l'entonnoir en v-funnel…...……...……66
2.5.3 La densité……67
2.6 préparation et conservation des éprouvettes …….....67
2.7 Essais réalisés à l'état durci……..…...……68
2.7.1 Résistance a la compression ……..……..……..68
2.7.2 Retrait et gonflement……..……..……70
2.7.3 Absorption capillaire……..……...……72

2.8 Variable étudiées ……...…..…..…...……...72

2.9 Conclusion…….……..…...……74

CHAPITRE 03: RÉSULTATS ET INTERPRÉTATION

3.1 Introduction ..... .75

3.2 Influence de déchets de sable de moulage sur le comportement du BSF……75

3.2.1 Caractéristiques du BSFSM à l'état frais…….75

3.2.1.1 Etalement……75

3.2.1.2 Temps d'écoulement dans l'entonnoir (V-funnel)…….76

3.2.1.3 La densité 77

, 3.2.2 Caractéristique du BSFSM à l'état durci…….77

3.2.2.1 Résistances à la compression.....77

3.2.2.2 Approche de durabilité.……..78

- ✓ Absorption d'eau……78
- ✓ Retrait…….79
- ✓ Gonflement…….80

3.3 Conclusion…….81

3.4 Influence de déchets de poudre de fonte sur le comportement du BSF……..82

3.4.1 Caractéristiques du BSFPF à l'état frais ...……..82

3.4.1.1 Etalement……82

3.4.1.2 Temps d'écoulement dans l'entonnoir (V-funnel)…….83

3.4.1.3 La densité 83

3.4.2 Caractéristique du BSFSM à l'état durci…….84

3.4.2.1 Résistances à la compression…….84

3.4.2.2 Approche de durabilité……...85

- ✓ Absorption d'eau……85
- ✓ Retrait……86
- ✓ Gonflement…….87

3.5 Conclusion ……88

Conclusions générales……...89
Recommandations……90
Références bibliographiques ……91
Annexe ……...98

Liste des Tableaux

Liste des Tableaux

Tableau 1.1 Caractéristiques des différents sables utilisés en fonderie……..14
Tableau 2.1 Caractéristiques physiques des sables utilisés…….56
Tableau 2.2 Analyse chimique du ciment et composition du clinker ……58
Tableau 2.3 Caractéristique physiques du ciment ……..……59
Tableau 2.4 Evolution de la résistance du ciment en fonction de l'âge …….59
Tableau 2.5 Caractéristiques physiques des fins de marbre utilisées.....61
Tableau 2.6 Caractéristiques physiques des granulats de poudre de fonte et sable de moulage ……..62
Tableau 2.7 Compositions des Béton de sable fluide à base de déchet de poudre de fonte…….63
Tableau 2.8 Compositions des Béton de sable fluide à base déchet de sable de moulage...……64
Tableau 2.9 Essais sur bétons de sable fluide frais…….……....65
Tableau 2.10 Essais sur bétons de sable fluide durci…….……....68
Tableau 2.11 Essais d'approche de durabilité……70

Liste des Figures

Liste des figures

Fig.1. 1 Procédure de fonderie ……09
Fig.1. 2 Fonderies de cloche……..10
Fig.1. 3 Poches de coulée……..11
Fig.1. 4 Sables de la fonderie……12
Fig.1. 5 Sables de fonte……16
Fig.1. 6 Les moules au sable……19
Fig.1. 7 Carte de déserts dans le monde……21
Fig.1. 8 Phare de port Saïd réalisé en béton aggloméré Coignet (Egypte)……...22
Fig.1. 9 Le temps d'écoulement en fonction du module de finesse……..25
Fig. 1.10 Influence de la nature du sable sur la maniabilité (avec fines d'addition calcaire)…...26
Fig. 1.11 Effet de fillers calcaire sur la densité des sables DS, RS et RDS……..26
Fig.1. 12 Effet du dosage et de la finesse de l'addition sur la résistance à la compression……..27
Fig.1. 13 Influence de la nature de l'addition sur le niveau de résistance à la compression.....27
Fig.1. 14 Effets de la granularité sur la résistance……28
Fig.1. 15 Variation de l'adhérence d'une armature en fonction de la formulation……...29
Fig.1. 16 Influence de la résistance en traction du béton de sable sur l'adhérence des armatures……29
Fig1. 17 Courbe de distribution de la porosité en fonction des rayons des pores……..30
Fig.1. 18 Evolution du fluage du béton de sable…….....32
Fig.1. 19 Eprouvettes non vibrées non piquées……33
Fig.1. 20 Le béton de sable en projection……..34
Fig.1. 21 Dallage en BS fluidifié autocompactant (Base aérien de Dijon)……...35
Fig.1. 22 Le béton de sable dans la Préfabrication……....36
Fig.1. 23 Le béton de sable en projection……..36
Fig.1. 24 Influence du diamètre D du sable sur le dosage en fines……...38
Fig.1. 25 Influence de la dimension d sur la porosité minimale du béton pour deux tailles D du sable……...39
Fig.1. 26 Relation entre l'ouvrabilité et le dosage (e + v) d'une matrice pour une mise en œuvre donnée ……...40

Fig.1. 27 Coefficient d'activité du filler calcaire (modèle)……....42
Fig.1.28 Organigramme de la méthode théorique…….43
Fig.1. 29 Evolution de la maniabilité en fonction du dosage en fines d'addition…….47
Fig.1. 30 L'affaissement du béton ordinaire en fonction de déchets de fonderie…….47
Fig.1. 31 La résistance à la compression du béton en fonction d'âge……...48
Fig.1. 32 La résistance à la compression des bétons à base de déchets de fonderie…….49
Fig.1. 33 La résistance à la compression du béton en fonction d'âge……...50
Fig.1. 34 La résistance à la traction du béton en fonction d'âge…… .50
Fig.1. 35 La résistance à la traction par flexion du béton à base de déchets de fonderie…… .51
Fig.1. 36 Le module d'élasticité du béton à base de déchets de fonderie…….. .52
Fig.1. 37 Le retrait total de béton à base de déchets de sable de fonderie…….....53
Fig.2.1 Sable roulé d'Oued Souf utilisé……..……..…….... 55
Fig. 2.2 Granulométrique de sable utilisée ……..…….55
Fig. 2.3 Courbe analyse chimique de sable utilisé ……..……56
Fig. 2.4 Ciment MATINE…….....57
Fig.2.5 Diagramme de DRX appliqué sur le CEM II/B 42.5 MATINE ……...…….....60
Fig.2.6 Les fins de marbre ……..…….……60
Fig.2.7 Déchet de poudre de fonte utilisé……...…….……62
Fig.2.8 Déchet de sable de moulage utilisé……...62
Fig. 2.9 procédure de malaxage au laboratoire ……65
Fig. 2.10 Mesure de l'étalement du béton de sable fluide ……66
Fig.2.11 Essai d'écoulement à l'entonnoir en V…….....…….67
Fig.2.12 Mesure de la densité du béton de sable fluide …….…….....67
Fig.2.13 Fabrication des éprouvettes …….……...68
Fig.2.14 Dispositif de rupture à la compression……69
Fig.2.15 Presse Hydraulique (2000KN)……..…….....69
Fig.2.16 Essais de compression ……..…….....70
Fig.2.17 Mesure des variations dimensionnelles à l'aide de déformètre …….……71
Fig.2.18 Absorption d'eau par succion capillaire …..……...72
Fig.2.19 Variables étudiées……...73
Fig. 3.1 Étalement de BSF à base de sable de moulage avant réglage ……..….....75

Fig. 3.2 Etalement de BSF à base de sable de moulage après réglage ……..….76
Fig. 3.3 Temps d'écoulement de BSF à base de sable de moulage.…….……..…76
Fig.3.4 La densité des BSF à base de sable de moulage ……..……..……...77
Fig.3.5 La résistance à la compression des BSF à base de sable de moulage …...……..78
Fig. 3.6 Absorption capillaire des BSF à base de sable de moulage ……..…….…….....79
Fig. 3.7 Le retrait des BSF à base de sable de moulage ……..…….…….....79
Fig .3.8 gonflement du BSF à base de sable de moulage ……...……80
Fig.3.9 Étalement de BSF à base de poudre de fonte ……..…....82
Fig.3.10 Étalement de BSF à base de poudre de fonte après réglage…….…...83
Fig.3.11 Temps d'écoulement de BSF à base de poudre de fonte ……..83
Fig. 3.12 La densité du BSF à base de poudre de fonte …….…….....84
Fig. 3.13 La résistance à la compression des BSF à base de poudre de fonte …….....85
Fig. 3.14 Absorption capillaire des BSF à base de poudre de fonte ……...…..85
Fig. 3.15 Le retrait de BSF à base de poudre de fonte …….……86
Fig.3.16 Le gonflement de BSF à base de poudre de fonte …….……..…...87
Fig. A.1 Ciment utilisé…….…….98
Fig. A.2 La fiche technique ciment……...99
Fig. A.3 fiche technique d'adjuvante……..100
Fig. A.4 Tamiseuse électrique …….……..…… 101
Fig. A.5 Malaxeur ……..……....101
Fig. A.6 Broyage par broyeur ……...……...…….101
Fig. A.7 Essai de l'étalement …….……..…..102
Fig. A.8 Essai v-funnel……102

Liste des symboles et des Abréviations

Liste des Symboles et des Abréviations

FFOM : Fraction fermentescible des ordures ménagères

DIS : Déchets industriels spéciaux

DMS : Déchets ménagers spéciaux

D.I.B. : Les déchets industriels banals

MF : Aminoplastes

COV : Composés organiques volatils

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

Cao : Oxyde de calcium

S_iO_2 : Silicium

MgO : Magnésium

Dmax **:** Diamètre maximale des granulats

G/S: Gravillons sur sable

ES : Equivalent de sable

R7j : Résistance à 7 jours

R28j : Résistance à 28 jours

R90j : Résistance à 90 jours

DRX : Diffractomètre au rayon X

MEB: Microscope électronique à balayage

V : Volume des vides du mélange granulaire ;

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

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

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

MV sable : masse volumique du sable.

MVA sable : masse volumique absolue du sable.

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

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

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

ρs : masse volumique absolue (kg.m-3)

λ : Conductivité thermique (W/m°C)

ν : La distance de la fibre la plus éloignée

R_C: Résistance à la compression en (MPa)

F_C: Charge de rupture en (N);

b: Côte de l'éprouvette

ε : porosité totale (%)

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

M_{sec} : La masse d'éprouvette sec

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

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.

Δ**L** : Variation de longueur par apport à la longueur origine,

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

Δ**M** : Variation de masse par apport à la masse au moment du démoulage,

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

introduction général

Introduction général

Les déchets posent actuellement un sérieux problème à cause de leur durée de vie, leur gestion est donc nécessaire que ce soit d'un point de vue environnemental, économique ou social.

Les déchets industriels ont trouvé leur place comme matériaux cimentaires dans la fabrication des bétons ou des mortiers de ciment comme ajout minéral ou granulat fin, afin d'améliorer certaines propriétés à l'état frais ou l'état durci, Parmi ces déchets, la fumées de silice, le laitier granulé de haut fourneau, les cendres volantes et les sables de la fonderie. Les sables de fonderie sont des sous-produits de l'industrie de la fonderie. Dans le procédé de moulage des pièces métalliques, les fonderies utilisent un sable fin siliceux associé à d'autres matériaux tels que l'argile ou des liants organiques. Ce sable peut être recyclé mais le nombre de réutilisation de celui-ci est limité. Quand le sable n'est plus réutilisable pour l'industrie de la fonderie, il est mis en décharge. Les sables de fonderie sont donc susceptibles de constituer une matière première d'un coût assez faible pour la fabrication des bétons hydrauliques. Pour cette raison, les recherches continues pour trouver des constituants rentrant dans la formulation des bétons spéciaux afin de diminuer le cout de fabrication de ces bétons et d'utiliser d'autres ressources afin de minimiser l'utilisation du sable de mer (cas du nord Algérie).

C'est dans ce contexte que s'ouvre la réflexion sur la formulation de nouveaux bétons qui utiliseraient des ressources abondantes, peu ou pas exploitées, et présenteraient soit des caractéristiques comparables à celles des bétons usuels, soit des caractéristiques répondant à certaines exigences mal assurées par ces derniers. La valorisation des matériaux locaux ainsi que la réutilisation des déchets de différentes nature actuellement l'objet de différentes recherches.

Ce travail consiste donc à récupérer des déchets de la fonderie, rejetés dans les usines, après avoir été collectés, sont incorporés dans le béton de sable fluide par substitution volumétrique du sable et par ajout. Le composite ainsi réalisé est appelé ***''béton de sable fluide à base de déchets de fonderie''***. A part le ciment, chaque matériau de base constituant ce béton entre soit dans le cadre de la valorisation des matériaux locaux, soit dans le cadre de la réutilisation des déchets industriels.

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 en général 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 les propriétés à l'état frais (étalement, temps d'écoulement et densité), les propriétés mécaniques (résistance à la compression), la durabilité (absorption d'eau, variations dimensionnelles (retrait et gonflement).

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

Enfin des conclusions générales et des recommandations sont présentées pour achever ce modeste travail de recherche.

Chapitre 01 :
Synthèse bibliographique

1.1 Introduction

Dans le domaine du génie civil réputé par sa grande consommation de matériaux naturels, les avancées scientifiques ont permis de valoriser différentes variétés de sous-produits industriels dans les applications de béton et en technique routière, dans une démarche d'économie circulaire. Cependant, les méthodes de formulation n'ont pas évolué autant. La récupération et recyclage des déchets touchent deux impacts très importants, l'impact environnemental qui est résout par l'évacuation de ces déchets et l'impact économique qui est l'utilisation de ces derniers dans l'industrie ou dans le domaine de la construction, ces déchets ont l'avantage d'être disponibles en grande quantité et avec de faible valeur marchande.

1.2 Valorisation des déchets et activité de recyclage en construction

1.2.1 Introduction

Vue les besoins sans cesse augmentant des ressources en matériaux et aux exigences et conditions de préservation de l'environnement dans un but de développement durable, il est devenu nécessaire et pertinent de chercher et étudier toutes les possibilités et opportunités de réutilisation et de valorisation des déchets dont La production mondiale a pratiquement doublé au cours des dernières années notamment dans le domaine des travaux publics .**[1]**

L'un des secteurs les plus important dans la génie civil est la valorisation des déchets, sachant que le produit final obtenu n'est pas soumit à des critères de qualité très durs , a savoir , deux impacts importants sont touchés : l'impacts environnemental, et économique , le premier est résout par l'évacuation de ces déchets, alors que le deuxième s'intéresse à l'utilisation de ces derniers dans l'industrie ou le domaine de construction comme avantage pour cette valorisation c'est la disponibilité des déchet en grande quantité avec une faible valeur marchande.

1.2.2 Valorisation des déchets et sous produits industriels dans le domaine génie civil

- **Déchet**

Le déchet est défini comme « Tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau, produit ou plus généralement tout bien meuble abandonné ou que son détenteur destine à l'abandon».

D'après la loi française du 15 juillet 1975 : « Est ultime un déchet résultant ou non du traitement des déchets et qui n'est plus susceptible d'être traité dans des conditions techniques et économiques du moment notamment par l'extraction de la part valorisable ou par réduction de son caractère polluant ou dangereux » **[1]**

- **Récupération**

Séparation de certains produits ou matériaux des déchets à des fins de réemploi de réutilisation et de recyclage.

- **Recyclage**

Le recyclage est un procédé de traitement des déchets et de réintroduction des matériaux qui en sont issus dans le cycle de production d'autres produits équivalents ou différents. Le recyclage permet de réduire les volumes de déchets, et donc leur pollution, et de préserver les ressources naturelles en réutilisant des matières premières déjà extraites. **[2]**

- **Compostage**

Procédé biologique qui permet, sous l'action de bactéries aérobies (en présence d'oxygène), la dégradation accélérée de déchets organiques pour produire du compost.

- **Incinération**

Méthode de traitement thermique des déchets qui consiste en une combustion (technologie et température variant selon la nature du déchet) et un traitement des fumées. De cette technique résultent trois catégories de résidus : mâchefers, cendres et résidus d'épuration des fumées. La chaleur générée par l'incinération fait l'objet de valorisation énergétique (production d'électricité et de chaleur) dans la plupart des unités.

- **La Valorisation**

Terme générique recouvrant le recyclage matière et organique, la valorisation énergétique des déchets, ainsi que le réemploi, la réutilisation et la régénération. **[3]**

Avant de valoriser un déchet, il faut connaître son origine, l'analyser, caractériser son état actuel et son comportement dans le temps et évaluer sa traitabilité. Il s'agit donc de «mesurer pour connaître et connaître pour agir».

L'approche globale du déchet permettra d'en définir son devenir, à savoir quel type de valorisation choisir**. [1]**

1.2.3 Constitution chimique du déchet

Les déchets sont pour la plupart constitués des mêmes molécules chimiques que celles des produits. Ce qui différencie les déchets des autres produits provient d'un certain nombre de particularités. Certains déchets résultent du traitement involontaire de molécules usuelles avec production de sous produits de composition, a priori inconnu. Par ailleurs, le déchet peut se retrouver dans un milieu dont il n'est pas issu en tant que produit et de ce fait auquel il n'est pas destiné. Enfin, le mélange au hasard des déchets peut conduire à la formation de produits nouveaux**. [3]**

1.2.4 Origine de la production de déchets

La production des déchets est inéluctable pour les raisons suivantes :

• **biologiques :** tout cycle de vie produit des métabolites.

• **chimiques :** toute réaction chimique est régie par le principe de la conservation de la matière et dès que veut obtenir un produit à partir de deux autres on en produira un quatrième.

• **technologiques :** tout procédé industriel conduit à la production de déchet.

• **économiques :** les produits en une durée de vie limitée.

• **écologiques :** les activités de la dépollution (eau, air) génèrent inévitablement d'autres déchets qui nécessiteront une gestion spécifique.

• **accidentelles** : l'inévitable dysfonctionnement des systèmes de production et de Consommation sont eux aussi à l'origine de déchets.

1.2.5 Différents déchets utilisés en génie civil

En général les déchets sont classés en cinq catégories comme illustrés ci –dessous ; bien que les déchets utilisables en génie civil soient : **[4]**

A. Déchets industriels dangereux non toxiques

Ce type de déchets regroupe généralement :

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

B. Déchets inertes

Tout déchet qui ne subit aucune modification physique, chimique ou biologique importante, qui ne se décompose pas, ne brûle pas, ne produit aucune réaction physique ou chimique, n'est pas biodégradable et ne détériore pas les matières avec lesquelles il entre en contact d'une manière susceptible d'entraîner des atteintes à l'environnement ou à la santé humaine ».

Parmi les déchets inertes produits par le secteur du bâtiment on trouve : le béton, les briques, les tuiles, les céramiques, les carrelages, les matériaux à base de gypse.

C. Déchets toxiques

Ils sont à caractère industriel et obtenus en général après traitement chimique des matériaux synthétiques. Certains déchets toxiques sont mélangés en faible quantité à des produits non polluants. Il est alors impossible de recycler ces produits sans les avoir débarrassés des déchets toxiques.

D. Déchets industriels dans des conditions spécifiques

Ils proviennent d'industries générant de très grandes quantités de déchets en sous produits industriels, dont les caractéristiques sont bonnes et relativement stables (cendres volantes les scories d'aciéries, le laitier, les cendre volante, etc.)

E. Déchets ménager et assimilés

Les déchets ménagers et assimilés sont les déchets solides produits par les ménages sur leur lieu d'habitation Ils regroupent :

- les ordures ménagères.
- les déchets d'emballage recyclables en verre.
- les déchets encombrants issus des ménages.
- les déchets végétaux.
- Déchets de matière alimentaire (Déchets de café).
- Déchets de l'automobile (huiles, épaves, batteries, pneus, …).

F. Les déchets industriels banals (D.I.B.)

Un déchet industriel banal (DIB) est un déchet ni inerte ni dangereux, généré par les entreprises dont le traitement peut éventuellement être réalisé dans les mêmes installations que les ordures ménagères : cartons, verre, déchets de cuisine, emballages, déchets textiles, ...

1.2.6 Activité du recyclage des déchets en construction

1.2.6.1 Recyclage des déchets

Le recyclage consiste à récupérer des matériaux qui seraient normalement traités comme des déchets.

Il permet la réutilisation des matériaux pour la même finalité ou à des fins différentes. Les déchets métalliques, les bouteilles en verre, le bois, les textiles et les plastiques en sont des exemples courants. Les matériaux à recycler peuvent être collectés séparément ou extraits des déchets. Il existe pour cela différentes méthodes, comme le tri mécanique par taille ou densité, le tri manuel ou le tri magnétique. Les déchets inutilisables et contaminants doivent être isolés des matériaux recyclables. Les déchets résiduels sont parfois incinérés pour extraire l'énergie qu'ils renferment sous forme de chaleur ou d'électricité. Les entreprises de recyclage sont de toutes tailles, et vendent généralement leur production sur les marchés d'occasion (textiles) ou à d'autres industries pour transformation ultérieure (déchets métalliques).

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

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

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

1.2.6.2 Impacts du recyclage sur l'environnement

La récupération des déchets touche deux impacts très importants, l'impact environnemental qui est résout par l'évacuation de ces déchets et l'impact économique qui est l'utilisation de ces derniers dans l'industrie ou dans le domaine de la construction, ces déchets ont l'avantage d'être disponibles en grande quantité et avec de faible valeur marchande. **[6]**

Le recyclage de déchets permet de :

- ✓ Réduire l'extraction de matières premières.
- ✓ Réduire des pollutions et nuisances.
- ✓ Préservé de la diversité biologique et des espaces naturels.
- ✓ Protection des recoures naturels.
- ✓ La protection de l'atmosphère.
- ✓ Contrôle et déduire des déchets dangereux.

1.3 Fonderie et déchets de fonderie

1.3.1 La Fonderie

1.3.1.1 Définition

En termes simplifiés, une fonderie est une usine où des pièces sont produites en fondant le métal, versant le métal liquide dans des moules, puis leur permettant de se solidifier. Même si vous n'avez jamais été dans une fonderie, ou ne savez même pas à quoi cela ressemble, vous êtes entourés par les pièces de métal qu'elles produisent. Il y a une forte chance qu'en lisant ceci vous êtes à moins de 10 pieds d'une d'entre elles.

Les fonderies ne produisent pas seulement des produits en métal pour moteurs, chemin de fer ou des éléments de tuyaux. Ils mettent en forme aussi des éléments pour machines qui sont requis pour faire beaucoup des produits de consommation essentiels dont nous

dépendons. 90 pour cent de tous les articles manufacturés dépendent de pièces métalliques**.** **[7]**



Fig. 1.1 procédure de fonderie **[7]**

1.3.1.2 Type de fonderie

Il existe cinque types de fonderie :

- **Fonderie des métaux ferreux** : fonte (NAF 2451Z), et acier (NAF 2452Z). un métal ferreux est n'importe quel métal qui contient du fer
- **Fonderie des métaux non ferreux** : cuivre, zinc et alliages (NAF 2454Z). un métal non ferreux est n'importe quel métal qui ne contient pas du fer
- **Fonderie alliages légers** : aluminium, zamac, et autres alliages légers (NAF 2453Z).

Les alliages de fonderie contiennent généralement une plus grande proportion d'éléments d'alliage que les alliages de corroyage. L'ajout des éléments d'alliages, tels le silicium, le magnésium ou le cuivre se fait en fonction de nombreux facteurs propres à la fonderie : la coulabilité, la fluidité, la résistance à la déchirure à chaud, l'étanchéité à la pression, le retrait de refroidissement.

- **Fonderie d'art**

La fonderie d'art est un procédé de formage d'œuvres d'art ou de pièces d'ornementation métalliques, qui consiste à couler un métal ou un alliage liquide dans un moule pour reproduire, après refroidissement, une pièce donnée (forme intérieure et extérieure) en limitant autant que possible les travaux ultérieurs de finition.**[8]**

- **Fonderie de cloches**

Une cloche est un objet simple destiné à l'émission d'un son. C'est un instrument de percussion et un idiophone. Sa forme est habituellement un tambour ouvert et évidé d'une seule pièce qui résonne après avoir été frappé. Un objet de cette forme est dit campaniforme **[9].**



Fig. 1.2 fonderie de cloche **[10]**

- **Fonderie typographique**

Une fonderie typographique est une entreprise qui réalise des polices de caractères pour l'imprimerie, il s'agit de concevoir et de fabriquer des caractères en relief, en plomb, pour la typographie. **[11]**

1.3.1.3 Equipement de la Fonderie

Les fonderies modernes sont hautement mécanisées. Elles contiennent tout l'appareillage et l'équipement utilisé dans le modelage, noyautage, coulée et moulage Cet assortiment comprend de gros fours de fusion, poches de coulée, chariots élévateurs, grues, tapis roulants et conteneurs de transfert. Tout l'équipement de fonderie est conçu spécialement pour fonctionner fiablement dans les fours d'aciéries.

Le type exact d'équipement est déterminé par les métaux avec lesquels la fonderie travaille; les fours à arc électrique sont idéaux pour travailler avec l'acier, tandis qu'une fonderie spécialisée dans le cuivre utilisera plutôt un four à induction. Les fours peuvent prendre différentes tailles, d'un équipement de table à ceux qui pèsent plusieurs tonnes. La quantité de production peut atteindre d'une fraction d'once à plusieurs tonnes. La même variabilité du modèle et la taille s'étend au modelage et machines de moulage, et autres équipements de fonderie. **[12]**



Fig .1.3 poches de coulée **[12]**

1.3.1.4 Les séquelles industrielles de la fonderie sur la santé et l'environnement

Les fonderies sont ou ont été des sources importantes de pollution de l'air, de l'eau et des sols, plus ou moins selon leur taille, leur âge, les accidents qu'elles ont pu subir, et la nature des sols et paysages.

Les métiers de la fonderie présentent des risques particuliers liés notamment aux pièces brûlantes, à l'exposition à la chaleur et à l'inhalation d'aérosols métalliques ou de polluants émis par les combustibles utilisés pour faire fondre le métal ou par les résines et leurs produits de dégradation.

Les fonderies sont des installations classées pour la protection de l'environnement en France. Elles font en tant que tel l'objet de contrôles particuliers, durant leur activité, ainsi que leurs friches industrielles, après la fin de vie de l'usine. **[13]**

1.3.2 Sable de la fonderie

1.3.2.1 Généralité

Les principaux déchets générés en fonderie peuvent être classés en deux catégories : les déchets non liés au procédé, il s'agit de déchets non spécifiques à la fonderie résultant d'opérations annexes et les déchets liés au procédé générés au cours du process de fabrication d'une pièce métallique moulée.

1.3.2.2 Définition

Le sable de fonderie est un élément essentiel de la préparation des moules qui concerne deux secteurs de la fonderie :

Le secteur sablerie qui stocke, prépare les mélanges, achemine la matière vers l'atelier de Moulage en sable, puis récupère le sable usé pour, soit le régénérer, soit le transporter en décharge.

Le secteur noyautage qui possède, dans les grandes fonderies, sa propre préparation de mélange sable+résine+catalyseur, au plus près des machines de moulage des noyaux. **[14]**

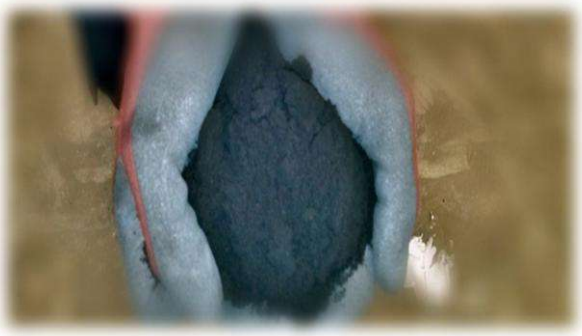


Fig. 1.4 sable de la fonderie **[14]**

1.3.2.3 Composition de sable de fonderie

Sont constitués d'un réfractaire (Silice) aggloméré par de l'argile activée par de l'eau. Des additifs sont ajoutés à ce sable afin d'en améliorer son comportement à la coulée

Les constituants du sable sont :

- le sable siliceux
- l'argile, souvent du type bentonite
- les additifs carbonés
- l'eau

D'autres éléments éventuellement **[14]**

1.3.2.4 Propriétés chimique du sable de la fonderie

La silice est le principal constituant des sables par exemple la plupart des sables de fonderies en contiennent plus de 95 0/01, d autres composés chimiques peuvent être présents; en particulier la proportion d'Al_2O_3, Fe_2O_3, K_2O et $CaCO_3$, peut souvent dépasser I 0/0. De grandes concentrations d'impuretés diverses peuvent être importantes

dans l'usage industriel [par exemple le Fe affecté la qualité du sable pour I 'industrie du verre, Pour le gazon, le facteur le plus important est la quantité contenue de chaux. **[15]**

1.3.2.5 Les sables de fonderie en Algérie

L'industrie Algérienne des fonderies utilise de nombreux types de sables qui servent à confectionner des moules et des noyaux pour le moulage de ces pièces métalliques. Le plus souvent en sable siliceux (sable d'origine) complété par des liants selon les applications envisagées et le type d'alliage. Les principaux sables de moulage étudiés et utilisés sont répertoriés comme suite **:**

- **Sable à vert ou à l'argile**

Le sable de base est constitué principalement de grains de silice pure (quartz), mélangés avec de la bentonite (5 % à 10 %), avec du noir minéral et de l'eau. Le sable à vert est très utilisé pour la confection des moules, appelé « moulage à vert». Ce procédé est employé pour la fabrication des pièces en fonte.

- **Sable au silicate de soude**

Le sable au silicate de soude dénommé sable de remplissage (3 % à 4 %) est utilisé pour la confection de grandes séries de moules et de noyaux. Ces mélanges sont durcis, par injection de gaz carbonique. Ce type de sable est utilisé pour le moulage de pièces en acier.

- **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.

- **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. **[16]**

- **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.

1.3.2.6 Caractéristiques des différents sables utilisés en fonderie

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. **[17]**

Tableau 1. 1 Caractéristiques des différents sables utilisés en fonderie. **[17]**

	Chromite	Kerphalite	Olivine	Silice	Zircon
Disponibilité	Faible	Grande	Moyenne	Grande	Faible
Prix	Elevé	Elevé	Moyen	Faible	Elevé
Formulation	Cr_2O_3,FeO	Al_2O_3, SiO_2	$(Mg,Fe)_2SiO_4$	SiO_2	$ZrSiO_4$
Densité	4.3-4.6	3.1	3.2-3.5	2.6	4.4-4.6
Réaction Moule/Métal	Réduite	Réduite	Réduite	Elevée	Réduite
Grains	Anguleux	Anguleux	Anguleux	Ronds	Ronds
Compatibilité avec résine	+ +	+ +	+	+ + +	+ + +
T fusion	2100°C	1850°C	1850°C	1725°C	2300°C
Dilatation thermique	Faible	Moyenne	Moyenne	Importante	Faible

Rapport technique: on peut par exemple conclure que la silice a une température de fusion assez faible par rapport aux autres sables, on ne l'utilisera pas pour des applications nécessitant de très bonnes caractéristiques mécaniques.

Le "sable" comporte également des liants qui lui donnent sa plasticité (caractéristique du sable à épouser les formes du modèle et à les conserver après la solidification du métal). C'est liants doivent réduire au maximum les réactions entre le métal et le moule qui sont les facteurs de risque les plus sensibles. Les liants sont soit minéraux (argile, plâtre, ciment, ...) soit organiques (résines synthétiques, huiles siccatives, ...). D'autres produits entrent dans la composition du sable comme les agents de démoulage ou les enduits destinés à faciliter d'extraire les pièces de leurs moules.

Un acheteur sollicitera une fonderie de moulage au sable s'il cherche des pièces:

- Facile à mettre en œuvre
- À bon prix
- Avec un bon état de surface

1.3.2.7 Les critères pour le choix d'un sable

Les critères pour le choix d'un sable sont :

- **Economique** (coût et disponibilité). De ce point de vue, la silice est de loin la moins chère et la plus disponible. C'est aussi le sable qui est le plus largement utilisé en moulage sable à vert. Le zircon est par exemple d'un coût environ 20 fois supérieur à la silice et est faiblement disponible.
- **Techniques** Les caractéristiques physiques et en particulier la température de fusion et la dilatation thermique qui vont impacter la tenue à chaud et la résistance à l'agression du métal liquide lors de la coulée. La silice à, de ce point de vue, les moins bonnes propriétés intrinsèques alors que la chromite et le zircon présentent, quant à eux, les meilleures caractéristiques, ce qui réservent leur utilisation aux métaux ferreux à haut point de fusion. D'autres critères de choix peuvent intervenir comme la compatibilité avec les résines utilisés, la facilité de mise en décharge ou de recyclage (compatibilité avec d'autres types de sable). **[17]**

1.3.3 Sable de fonte

1.3.3.1Définition

Les fontes sont des alliages métalliques constitués essentiellement de fer et d'au moins 2% de carbone. L'addition d'éléments comme le chrome ou le nickel leur donne une meilleure résistance à la corrosion et à l'oxydation(Fig.1.5)**. [18]**



Fig. 1.5 Sable de fonte **[19]**

Les fontes à structure lamellaire (GL) et à structure sphéroïdale (GS) sont les plus utilisées et permettent d'atteindre des températures d'utilisation de 850°C pour les GL et de 900°C pour les GS. Leur dureté supérieure à l'acier les impose dans des applications où la rigidité est importante.

1.3.3.2 Les types de poudre de fonte

- **Fonte alliée**

Les fontes alliées sont celles dont les teneurs en éléments d'alliage dépassent certaines limites. Les limites sont les suivantes : Ni et Cu > 0,30 % ; Cr > 0,20 % ; Ti, V, Mo et Al > 0,10 %.

- **Fonte blanche**

Fonte dont le carbone se trouve entièrement combiné au fer sous forme de carbure. La cassure présente un aspect blanc.

➢ **Fonte grise**

Famille des fontes où le carbone se trouve sous forme de graphite. La structure graphitique du carbone est obtenue par un refroidissement très lent de la fonte, ou l'ajout de composants graphitisants comme le silicium. La cassure présente un aspect gris contrairement à la fonte blanche dont la couleur de la cassure est blanche. Il existe des fontes dont l'aspect est gris et blanc qui sont appelées fontes truitées. **[20]**

1.3.3.3 Propriétés mécaniques de fonte

C'est un métal cassant, non malléable, qui ne prend presque pas d'allongement avant de rompre, à l'essai de traction. La résistance de la fonte ordinaire est de 10 à 12 kilogrammes par millimètre carré : elle peut monter exceptionnellement à 20 kilogrammes. Ce métal résiste bien mieux à la compression :

Sa charge de rupture, dans ce cas, peut varier de 4« à 100 kilogrammes. Dans les constructions, on admet une charge pratique de i à 2 kilogrammes pour les pièces qui travaillent à la traction, de 6 à 8 pour celles qui travaillent à l'écrasement. **[21]**

1.3.3.4 Propriétés physiques de fonte

La fonte solide surnage sur la fonte liquide ; on en a conclu qu'elle se dilate en se solidifiant, ce qui lui permettrait de mieux: remplir les parties minces des moules**.** Cette interprétation est douteuse. D'après M. Keep, il y a trois expansions à diverses périodes du refroidissement, elles sont variables avec la composition chimique, le manganèse les atténue ou les fait disparaître. Le résultat général est un retrait qui diminue d'amplitude quand la fonte est riche en silicium : on compte i, 5 à 2 °/0 pour les fontes fruitées ou blanches, 1 °/0 pour la fonte grise. La densité varie de 6,90 (fontes grises) à 7,40 (fontes blanches). Elle diminue par la trempe, et peut reprendre sa valeur initiale par un recuit prolongé, La chaleur totale de la fonte fondue est de 33o à 3x5° calories par kilogramme. La chaleur latente de fusion de 80 à 110. **[21]**

1.3.3.5 Moulage en sable mécanique

Le moulage en sable à la main ne se pratique que pour un nombre réduits de pièces ou pour des pièces volumineuses. De plus, le serrage du sable à la main prend du temps, il est fatiguant et peu régulier. Le moulage mécanique permet de remédier à ces inconvénients.

En effet, le sable est serré mécaniquement par pression et/ou par secousses. L'empreinte de la pièce est donnée par un modèle métallique fixe sur un support dont l'ensemble est appelé

- **Avantages et inconvénient du procédé**

- Elaboration de tous types de matériaux métalliques.

- Poids des pièces: 200 grammes à plusieurs tonnes (dépend du matériau).

- Tolérances dimensionnelles : ±0,5 à ±10mm suivant la côte tolérancée.

- Epaisseur minimale des parois: 2,5mm.

- La surface de la pièce moulée contient du sable => usure rapide des outils de coupe a que modèle.

1.3.3.6 Particularités des sables usés

Les sables usés sont des résidus de calcination qui résultent du traitement thermique des sables de moulage à haute température (parfois plus de 1000°C) lors de la coulée du métal en fusion. On peut détecter des traces d'adjuvant tels que le noir minéral qui facilite le démoulage des pièces ou des produits organiques de toutes natures (paraffines, graisses aux silicones-esters, sulfonâtes,…). Il est important de signaler que les sables usés peuvent également contenir un certain nombre de corps étrangers (billes de métal, bavures, supports de noyaux, …), si les déchets issus du traitement de régénération des sables de moulage (déchets métalliques, refus de criblage, dépoussiérage) ne sont pas convenablement gérés. Ils peuvent contenir des quantités importantes de métaux lourds, comme le nickel et le chrome, deux éléments d'alliage fréquemment rencontrés dans les aciers. Certains sables usés, issus des sables de moulage à la résine, peuvent contenir des matières organiques plus ou moins dégradées par la coulée. **[16]**

1.3.3.7 Les étapes du moulage au sable pour choisir les meilleurs matériaux

Le moulage au sable est l'un des plus anciens processus métallurgiques et reste l'un des plus populaires à ce jour. Lorsque le processus de moulage au sable est utilisé, il est important de choisir les bons matériaux. Les matériaux que vous choisirez dépendront en grande partie de la taille de la pièce, de l'usage auquel celle-ci est destinée et des coûts associés aux matériaux disponibles. Lorsque vous choisissez votre matériel, il est utile de

comprendre le processus. Nous décrivons brièvement les six principales étapes du processus de moulage au sable ci-dessous :



Fig. 1.6 les moules au sable **[22]**

- **La fabrication des moules**

La première partie consiste à concevoir et préparer les moules. Les moules sont faits de sable compacté à l'intérieur d'un moule selon un modèle (qui suit la forme extérieure de votre pièce). La conception d'un moule de sable peut être très simple ou très complexe, selon les spécifications du projet. Il y a souvent des composantes conçues pour prendre place à l'intérieur d'une pièce ou des noyaux uniques caractéristiques à la coulée. Le temps requis pour concevoir et préparer les moules dépend de la complexité de la coulée. Les moules sont souvent chauffés ou cuits au four avant l'ajout des métaux en fusion.

- **Le serrage**

Une fois que le moule de fonte initial en sable est fait et préparé, il est temps d'ajouter le métal fondu. À ce stade, un lubrifiant est ajouté afin de faciliter le retrait de la coulée finale. Une fois lubrifié, des carottes sont ajoutées au moule, mises en place et fixées. Le moule est mis en serres très étroitement pour s'assurer qu'aucune matière ne puisse sen échapper.

- **La coulée**

La coulée est assez simple : le métal fondu est coulé dans le moule de sable. Le métal fondu doit être maintenu à une température constante et versé adéquatement pour remplir le moule et tous ses coins et racoins. La durée du remplissage est généralement assez rapide, car la température peut chuter rapidement, causant ainsi la solidification d'une ou plusieurs parties du moule avant les autres.

- **Le refroidissement**

Le refroidissement est une étape importante pour la qualité de la finition de la coulée. Selon l'épaisseur de la fonte et la température de la matière, temps de refroidissement peut varier. Il est important d'assurer un refroidissement complet et adéquat, puisque celui-ci affectera la qualité du produit fini. Un refroidissement trop rapide peut entraîner un rétrécissement des pièces, des fissures ou des pièces incomplètes; il est donc essentiel d'avoir un environnement de refroidissement contrôlé.

- **Le démoulage**

Retirer la pièce coulée du moule se fait généralement en brisant le moule. Ce processus s'appelle « shakeout » et est habituellement fait à l'aide d'une machine spéciale qui vibre et enlève le sable et la coulée du moule. Une fois enlevé, le morceau de fonte est souvent grenaillé pour enlever toute oxydation ou sable sur la surface interne.

- **La finition**

Parce qu'il existe des canaux à l'intérieur du moule, il y aura du matériel excédentaire rattaché à la pièce finie qu'il faut enlever. À l'aide d'une presse de parage, d'une scie ou d'autres méthodes de coupe, tout matériel supplémentaire pourra être enlevé. Selon le type de coulée, cela peut être très rapide ou prendre plus de temps. Lors du choix de matériaux possibles pour la production d'une pièce moulée, il est pertinent de parler avec un consultant expérimenté qui comprend le processus de moulage au sable et les spécifications de votre projet. Les consultants présents chez Monet ont travaillé sur de nombreux projets de moulage et de forge de toutes tailles depuis des générations. Si vous cherchez à entreprendre un projet de moulage au sable, appelez-nous pour discuter des matières idéales pour votre projet. **[22]**

1.4 Le béton de sable

1.4.1 Introduction

Les régions du sud du pays dépourvus de matériaux pierreux et très riches en sable. Dans ces régions n'est-il pas préférable d'utiliser des bétons de sable dont le résultat atteindra des performances mécaniques analogues à celles des bétons traditionnels. **[23]**

Le béton traditionnel a été préféré au béton de sable utilisé antérieurement vu l'abondance des granulats du plus gros calibre permettant d'obtenir facilement des niveaux élevés de résistances. Le béton de sable retrouve cependant de nos jours un intérêt certain du fait des propriétés spécifiques de ce matériau, par rapport au béton traditionnel : excellente maniabilité et cohésion, bonne adaptation aux milieux fortement ferraillés, qualités esthétiques, etc. Par ailleurs, dans certaines régions riches en sable, il peut procurer des économies par rapport au béton traditionnel. **[24]**



Fig.1.7 Carte de déserts dans le Monde **[26]**

1.4.2 Origines de béton de sable

Le béton de sable confectionné par F.coignet dans le 3ème quart de XIX (19ème) siècle en France. Il était constitué de sable, de ciment, de chaux et d'eau

Les premières tentatives de correction granulaire restent l'apanage de François.Coignet qui, pour les besoins de réalisation de certaines parties de l'aqueduc de Vanne construit entre 1869 et 1872,mélange a un sable fin traditionnel à un sable non utilisé à l'époque car jugé impropre à la construction.

Cette technique a été mise au point depuis des décennies, en URSS, en témoignent la réalisation du port Kaliringrad en Prusse- Orientale en béton de sable au début du siècle et aussi du pont de Chernavskif coulé sur place à Voronej (500Km de Moscou).

A la fin du second conflit mondial, le professeur académicien Rebinder a permis l'utilisation de ce matériau dans plusieurs domaines : (les chaussés, les pistes d'aviation, élément de remplissage, murs architecturaux, planchers, dalles, réhabilitation, etc.). **[25]**

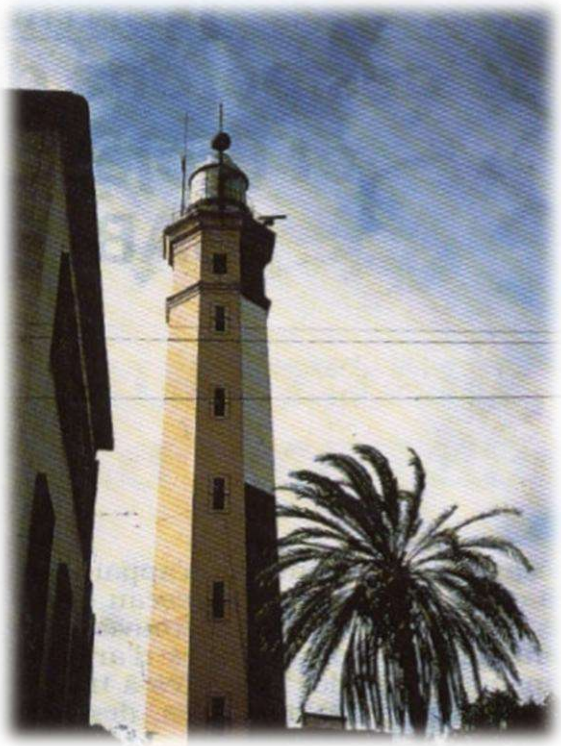


Fig.1.8 Phare de port Saïd réalisé en Béton aggloméré Coignet (Egypte) **[26]**

1.4.3 Définition

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

1.4.4 Les composants du béton de sable

Un béton de sable est composé de sable, de fines d'ajouts, de ciment et d'eau. Par rapport à cette composition de base et pour répondre aux besoins de certain usage, d'autres ajouts spécifiques peuvent être envisagés : gravillons, fibres, adjuvants. **[26]**

1.4.4.1 Les sables

Les sables utilisables sont ceux conformes aux spécifications des bétons classiques, mais des sables considérés non performants peuvent également être employés. D'ailleurs, des programmes nationaux de recherche (SABLOCRETE en France, par exemple) s'efforcent de promouvoir l'utilisation de tous les types de sables. **[26]**

1.4.4.2 Les fines d'ajout (ou addition)

Par définition, le béton de sable contient une (ou plusieurs) addition(s)
Il s'agit essentiellement de fillers- calcaires, siliceux, de laitier - de cendres volantes, mais aussi d'autres fines (argile calcinée, ultra-fines...).

- **Les fillers calcaire**

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

Les fillers calcaires conformes à la norme **NFP18-508** sont du type inerte selon la norme **EN 206-1** et sont substituable au ciment au sens et sous les conditions de cette norme **[26].**

- **Laitier**

Ce sont des résidus minéraux résultant du refroidissement rapide des scories provenant de la fusion de minerais de fer en haut fourneau. Ce sont des combinaisons d'oxydes de calcium (CaO), de silicium (S_iO_2) et de magnésium(MgO).Les ciment en laitier offrent une meilleure résistance chimique aux environnements agressifs (eau sulfatées, milieu marin) et permettent l'obtention d'une bonne durabilité du béton. Il existe deux types de laitiers :

- **Cendres volantes**

Ce sont des produits pulvérulents provenant du dépoussiérage électrostatique ou mécanique des gaz brûlés des chaudières industrielles alimentées en charbon pulvérisé. Essentiellement siliceuses, parfois calciques, elles ont des propriétés hydrauliques et/ou pouzzolaniques.

1.4.4.3 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 **[26]**.

1.4.4.4 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.

1.4.4.5 Adjuvants

Les adjuvants sont des agents chimiques qui sont ajoutés en petites quantités pour modifier certaines propriétés du béton comme la rhéologie, la durabilité et les propriétés mécaniques. Il existe beaucoup de types d'adjuvant, on les définit d'après leur action principale, même s'ils ont plusieurs actions secondaires. On utilise dans les bétons de sable les mêmes adjuvants que dans les bétons traditionnels, et pour en exploiter les mêmes propriétés. **[26]-[27]**

1.4.5 Propriétés du béton de sable

Les propriétés du béton durci sont largement influencées par les propriétés du béton frais, qui sont principalement l'ouvrabilité (maniabilité) et la compacité. **[28]**

1.4.5.1 Propriétés générales

- **Granulométrie et maniabilité**

Une des particularités des bétons de sable est de nécessiter davantage d'eau que le béton classique ; ceci traduit par des valeurs du rapport E/C (eau/ciment) systématiquement supérieur à 0.5, ce rapport se situant généralement entre 0.6 et 0.8.

D'ailleurs, si l'on considère non plus le rapport E/C, mais le rapport E/C+A (A=Addition en fines), on obtient des valeurs similaires aux bétons traditionnels. La granulométrie du sable jouera également sur le besoin en eau : plus le sable est riche en éléments grossiers, plus la maniabilité s'améliore. Ceci se traduit par une relation entre module de finesse et maniabilité. **[29]**

La figure 1.9 qui exprime une relation entre le module de finesse et la maniabilité

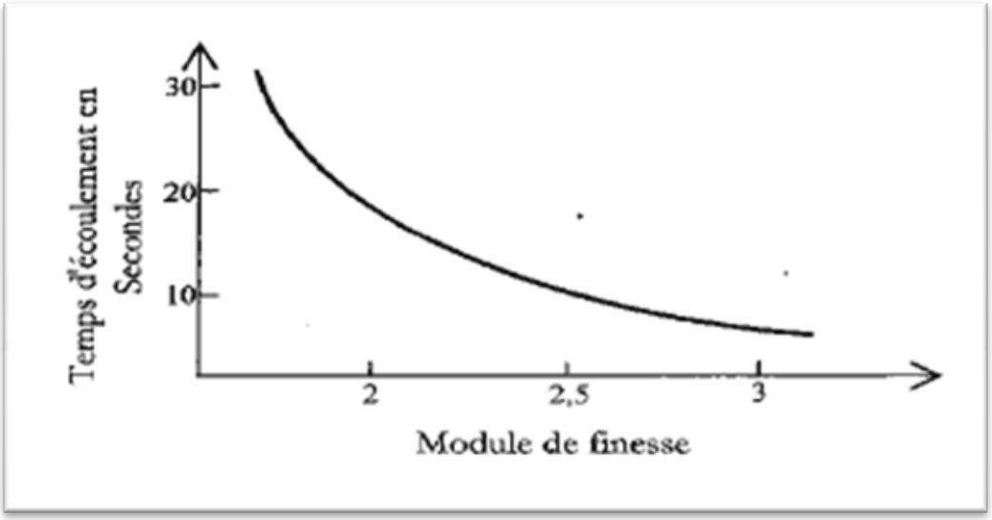


Fig. 1.9 Le temps d'écoulement en fonction du module de finesse **[26]**

On constate ainsi que la relation entre le dosage en fines et la maniabilité dépend aussi de la nature du sable et sa granulométrie. Les graphiques de la Figure 1.10, montrent l'effet différent de fines calcaires sur un sable alluvionnaire 0/4 et un sable de dune. Pour le sable de dune, l'ajout de fines jusqu'à 200 kg/m^3 entraîne une chute de maniabilité, ce qui n'est pas le cas pour le sable plus compact.

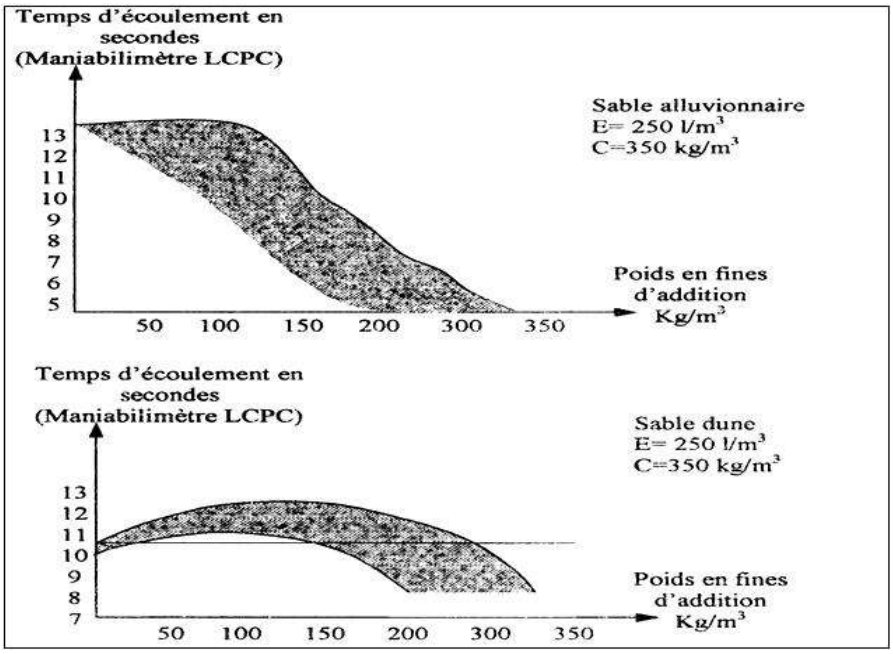


Fig. 1.10 Influence de la nature du sable sur la maniabilité (avec fines d'addition calcaire) **[28]**

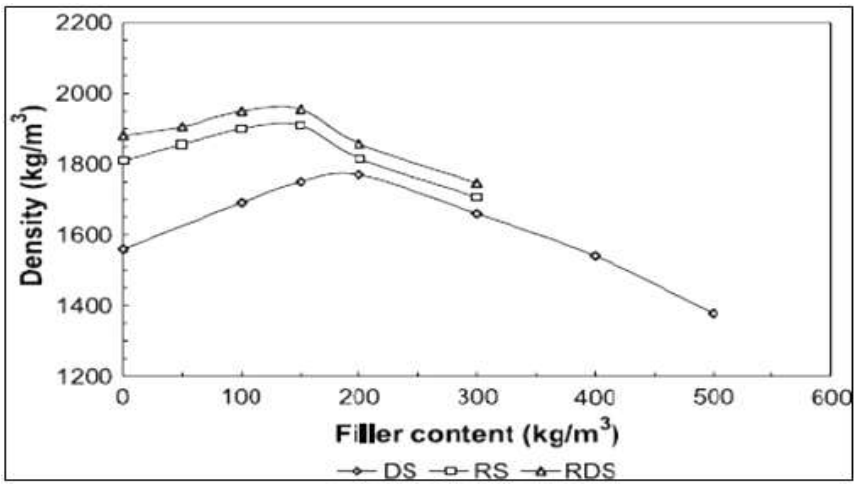


Fig. 1.11 Effet de fillers calcaire sur la densité des sables DS, RS et RDS **[26]**

D'après la (Fig. 1.11), on remarque qu'il existe un dosage optimal de fillers calcaires où la compacité est maximale. L'amélioration de la compacité par l'ajout de fillers calcaires devrait rendre l'eau plus efficace et donc améliorer la maniabilité.

- **Granulométrie et résistance**

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

❖ **La finesse de l'addition**

Plus l'addition est fine plus elle est efficace au niveau du gain en compacité et donc du gain en résistance ; ce résultat est valable quelle que soit la granulométrie du sable (sable alluvionnaire, sable de dune…). **[29]**

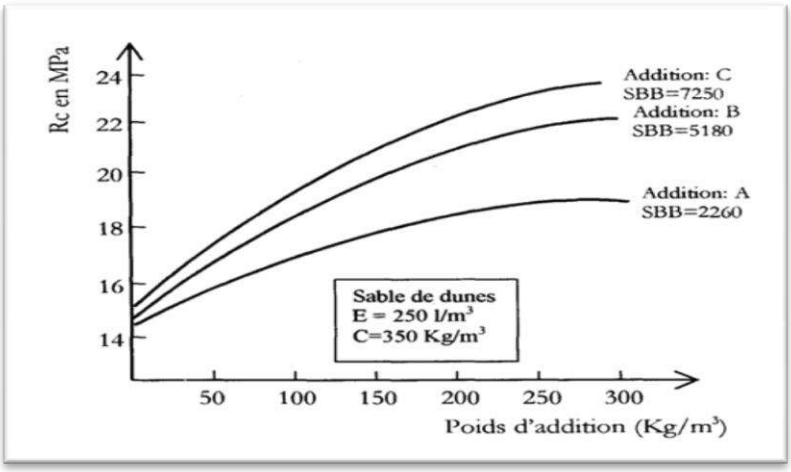


Fig. 1.12 Effet du dosage et de la finesse de l'addition sur la résistance à la compression **[26]**

❖ **La nature de l'addition**

A même dosage, la Figure 1.13, permet de constater l'extrême diversité du niveau de performance atteint selon la nature du filler ; si l'addition de fines permet d'améliorer systématiquement la résistance, ce gain est en effet très variable. **[29]**

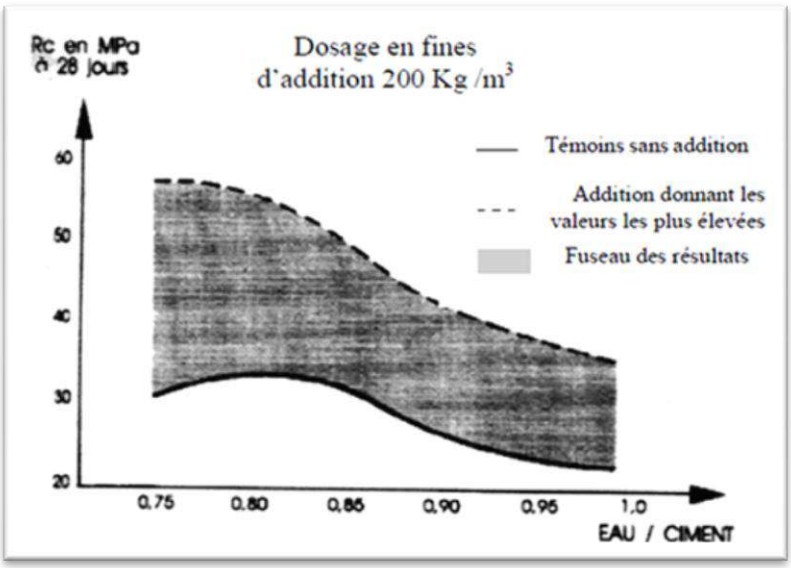


Fig. 1.13 Influence de la nature de l'addition sur le niveau de résistance à la compression **[26]**

❖ **La dimension du D_{max}**

Pour une même valeur du rapport E/C, on constat (Figure 1.14) que l'effet du diamètre Dmax du plus gros granulat est peu important et en tout état de cause, pas défavorable aux sable. Cependant on constant que la maniabilité est très différente selon le type de sable. **[26]**

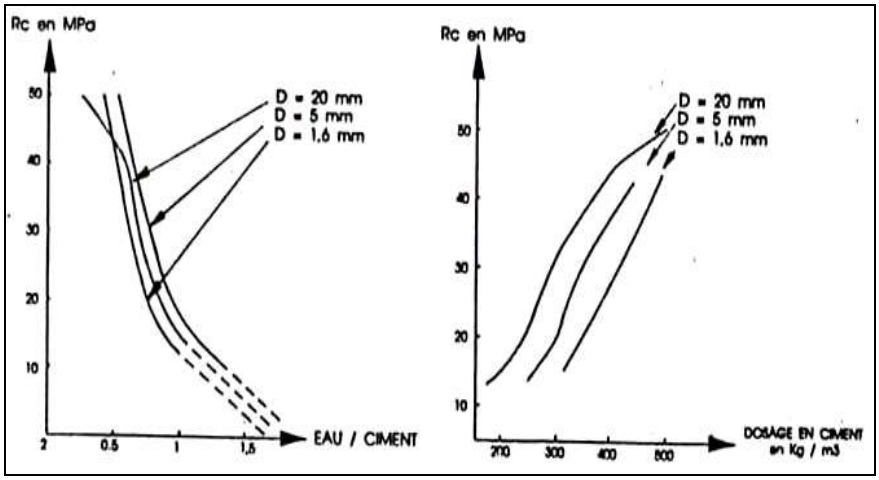


Figure (a) **Figure (b)**

Fig. 1.14 Effets de la granularité sur la résistance **[29]**

1.4.5.2 Propriétés spécifique

➢ **L'adhérence aux armatures**

Selon la formulation du béton de sable (donc son niveau de performance), on obtient des propriétés spécifiques à l'adhérence aux armatures plus ou moins bons que le béton de référence. Quelques comparaisons ont été réalisées entre différentes formulations de béton de sable et un béton témoin traditionnel à l'aide de l'essai pullout. Il s'agit de mesurer le déplacement d'une armature qui se trouve dans le matériau durci, en fonction de l'effort de traction qui lui est appliqué. Sur la base des résultats de cet essai, on remarque que des variations de compositions appliquées au béton de sable mènent à des écarts du même ordre que les bétons traditionnels, ce qui a amené à penser que les bétons de sable ne se distinguent pas particulièrement sur cet aspect des bétons traditionnels classiques. (Fig.1.15). **[26]**

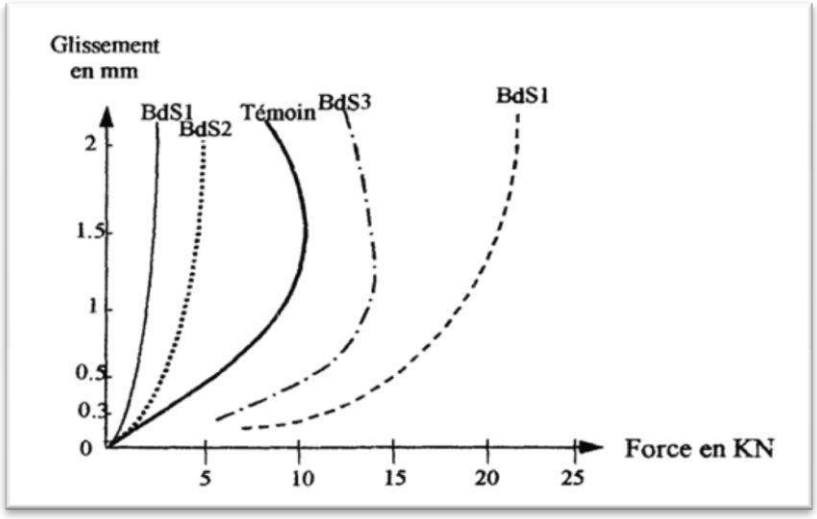


Fig. 1.15 Variation de l'adhérence d'une armature en fonction de la formulation. **[26]**

Dans le cas des petites déformations (partie initiale), on constate que la contrainte correspondant au même niveau de déformation (50 microns) est d'autant plus forte que la résistance en traction du béton de sable est élevée. (Fig. 1.16) Le phénomène d'adhérence observé dans le béton de sable est pratiquement identique à celui des bétons traditionnels (contrainte ultime varie de 30 à 60 bars), alors qu'on peut dire que l'association béton de sable-acier engendre une adhérence suffisante entre les deux matériaux, ceci permet d'envisager l'utilisation du béton de sable comme béton de structure.

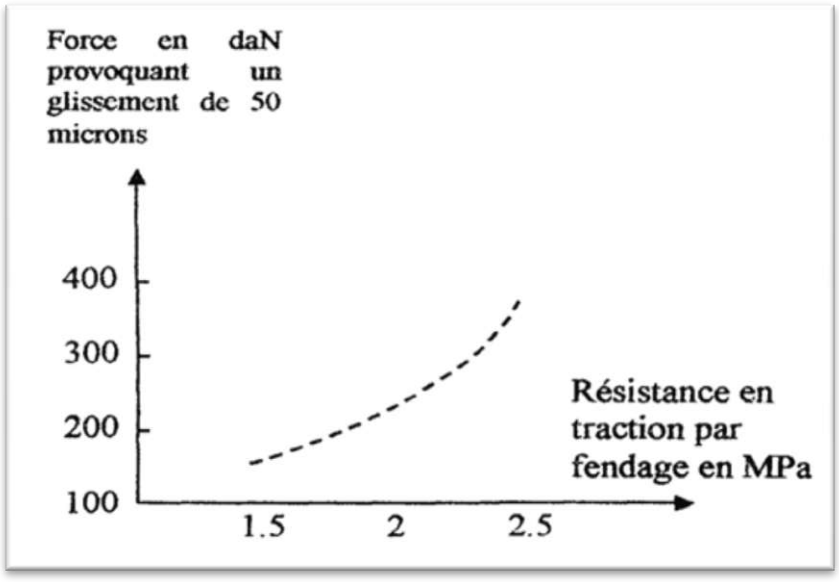


Fig. 1.16 Influence de la résistance en traction du béton de sable sur l'adhérence des armatures**[26]**

➢ Durabilité des bétons de sable

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 dur la durabilité sont encore peu nombreuses, encore que rassurantes on cite souvent des réalisations en béton de sable plus que centenaires aqueduc de la vanne, phare de Port-Saïd en Egypte, le grand mur de retenue qui domine la place du Trocadéro à Paris, etc. **[26]**

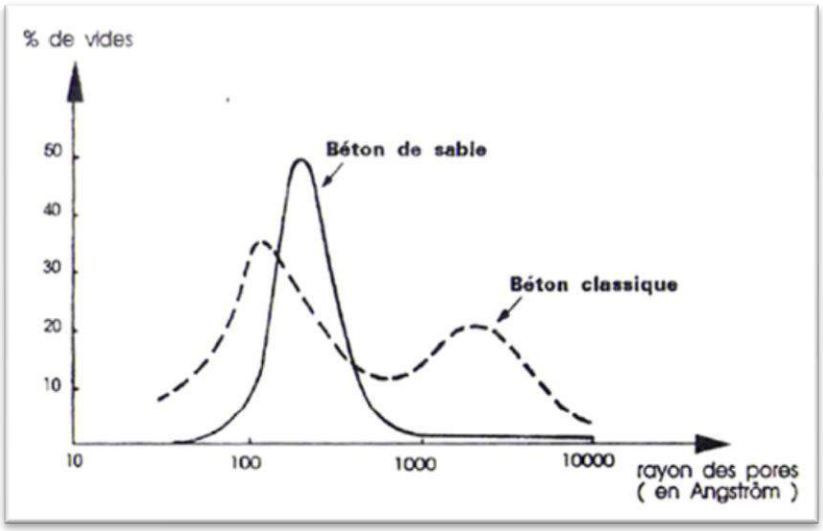


Fig. 1.17 Courbe de distribution de la porosité en fonction des rayons des pores **[26]**

➢ Résistance au gel et au dégel

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

bien répartie par l'emploi d'entraîneur d'air, s'explique par la microstructure particulière des bétons de sable, qui est en général, caractérisée par une bonne répartition de micropores **[26].**

1.3.6 Retrait et Fluage

Les essais de retrait et fluage ont été réalisés sur un béton de sable et un béton classique, afin de les comparer. **[30]**

- **Le retrait**
  - ✓ **Retrait hygrométrique**

Le retrait est la diminution de longueur ou de volume du béton au cours du temps. Mais lorsqu'il est conservé dans l'eau, le retrait devient presque nul.
[31-33]

  - ✓ **Retrait sous charge ou fluage**

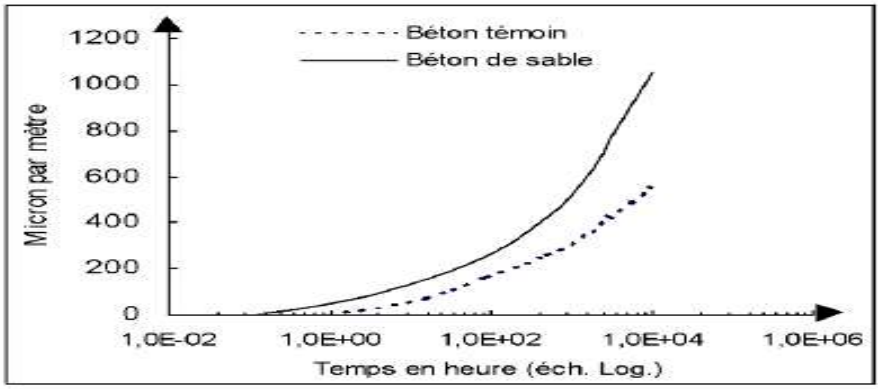
Le retrait était plus important lorsque le béton était conservé en étant soumis à une compression. Il existe donc un retrait sous charge, ou fluage, qui vient s'ajouter au retrait hygrométrique.

- **Le fluage**

Le fluage est une déformation qui résulte de l'effet d'une contrainte constante appliquée au béton.

Afin d'atténuer ce phénomène, il est conseillé de réduire le dosage en ciment en ajoutant des granulats.

Les essais de fluage effectués sur le fluage ont concerné les bétons de sable et les bétons ordinaires afin de les comparer. La (Fig. 1.18) montre que la valeur du fluage du béton de sable est plus importante que celle du béton classique. Ceci est lié aux paramètres rentrant dans la composition des deux matériaux et qui influent systématiquement sur les déformations et donc sur les résistances **[32-33]**



Fluage d'auto-dessiccation

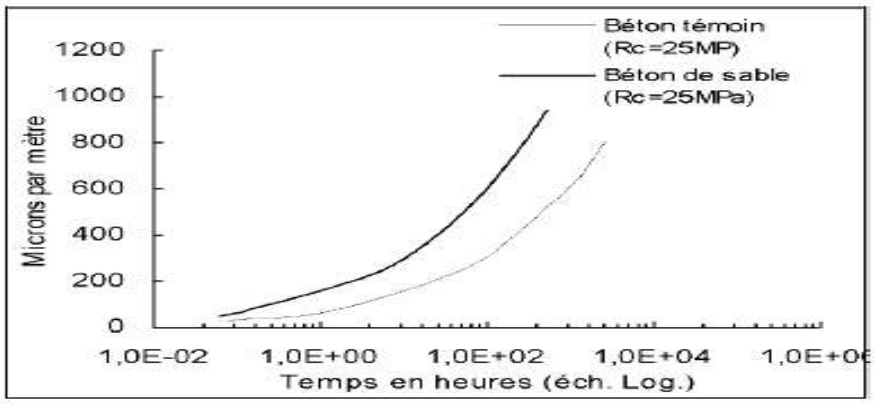


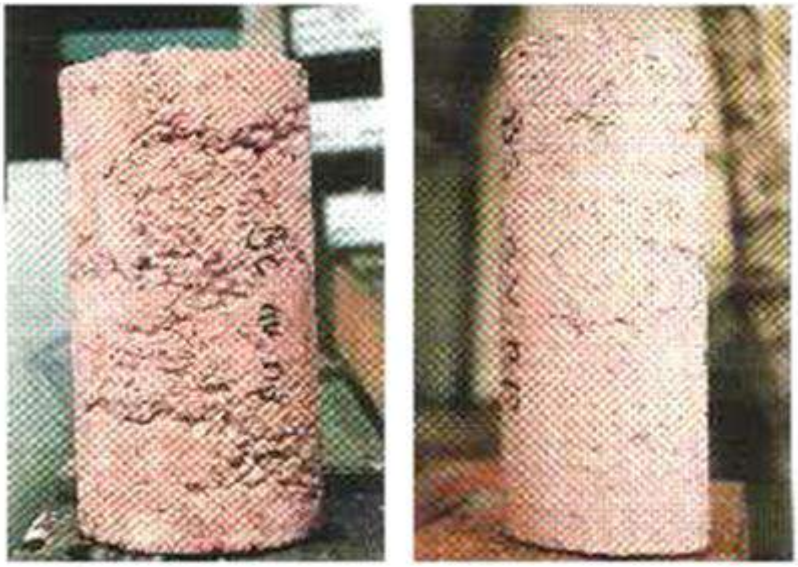
Fig. 1.18 Evolution du fluage du béton de sable **[33]**

- **Comportement thermique du béton de sable**

La conductivité thermique des bétons traditionnels varie de 1.4 à 1.8 W/m°C. Les conductivités thermiques mesurées sur bétons de sable sont légèrement inférieurs. Le béton de sable est donc plus isolant. Ce résultat s'explique par la porosité plus importante du béton de sable **[26].**

- **Phénomène de ségrégation des constituants**

Du fait de leur faible étendue granulaire, et donc de leur plus grande homogénéité, combinée à une bonne maniabilité, cela confèrent aux bétons de sable un meilleur comportement vis à vis des phénomènes de ségrégation que les bétons traditionnels. Cette faculté apparaît plus clairement à travers des expériences comparatives sur des bétons de sable et des bétons classiques équivalents, avec des plasticités et des modes de mise en œuvre variables. Les deux Figures qui suivent montrent les différences d'aspect de la peau de deux éprouvettes coulées, sans action extérieure sur le serrage, à des consistances plastiques équivalentes (cône de 14 cm).



a) Béton ordinaire **b)** Béton de sable

Fig. 1.19 Eprouvettes non vibrées non piquées **[26]**

1.4.6.1 Techniques particulières

Les applications citées précédemment, ont privilégié dans certains cas l'utilisation des BS par rapport aux bétons traditionnels. Dans certaines techniques de mises en œuvre, l'utilisation du BS répond parfaitement à la solution de quelques problèmes, qui restent à nos jours, mal résolus par le béton traditionnel. C'est le cas des techniques de projection de béton et de bétons fluides.

1.4.6.2 Béton de sable projeté

La technique de la projection de béton est apparue au début de vingtième siècle aux Etats-Unis et en France. Le domaine d'application de la projection de béton comprend la réparation et les renforcements des ouvrages en béton et en maçonnerie ainsi que les constructions de formes complexes **[26].**

La projection de BS est une technique intéressante spécialement dans le cas des réhabilitations des structures d'ouvrages souterraines (Fig. 1.20). Par sa finesse granulométrique, le BS représente une alternative aux bétons traditionnels, particulièrement dans le cas de présence des ferraillages denses. Le faible taux de perte liée à l'utilisation de BS 20 projeté, sa granulométrie fine et donc sa pompabilité en fait du BS projeté une solution adapté à des problèmes mal résolus par les bétons traditionnels **[30]**.

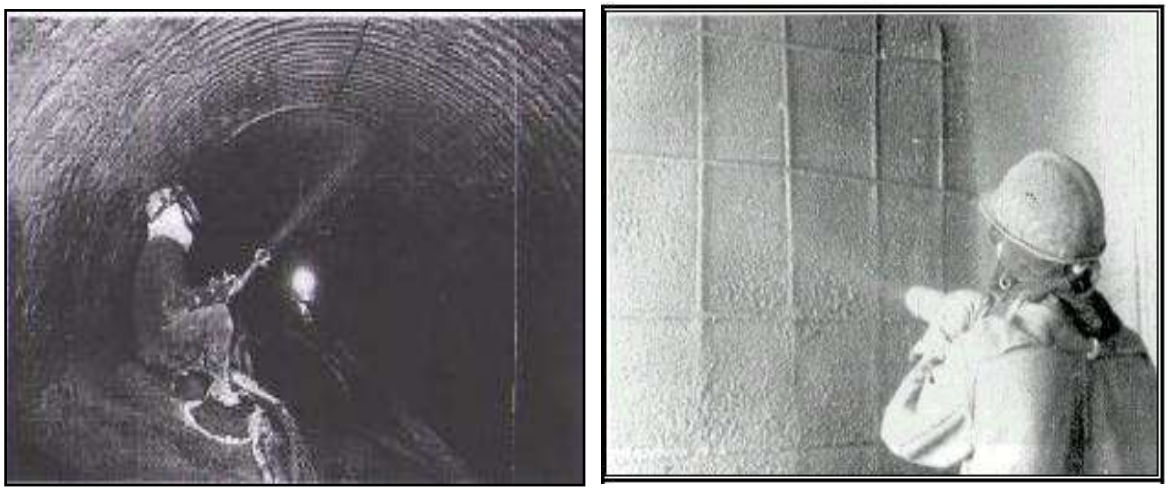


Fig. 1.20 Le béton de sable en projection **[26]**

1.4.6.3 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 **[34].**

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 **[34].**

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



Fig. 1.21 Dallage en BS fluidifié autocompactant (Base aérien de Dijon) **[26]**

1.4.6.4 La préfabrication

Le béton de sable peut être utilisé dans la préfabrication pour des murs architecturaux, pour des mobiliers urbains, en bâtiment et en voirie (Fig. 1.22). **[26]**

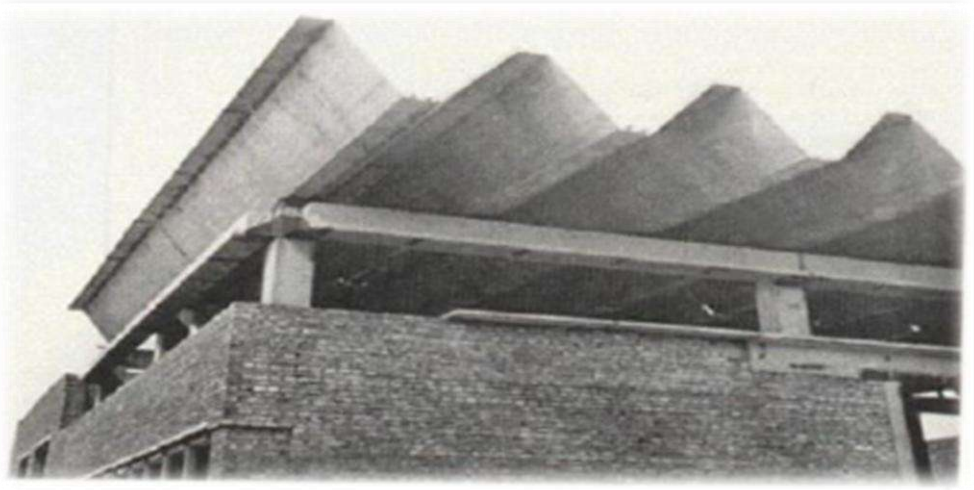


Fig. 1.22 Le béton de sable dans la Préfabrication **[26]**

1.4.6.5 La projection

Le béton de sable peut être également utilisé en projection dans des travaux de rénovation, de ponts, d'égouts visitables et de bâtiments (Fig. 1.23). **[26]**



Fig. 1.23 Le béton de sable en projection **[26]**

1.4.7 Domaines d'emploi des bétons de sable

Les BS sont employés à grand échelle dans plusieurs domaines telle que le domaine de préfabrication : bordures et toitures, tuyaux, mobilier urbain, voûtes en voiles minces, caissons de plafond, cloisons et autres éléments constructifs d'immeubles, etc. Et aussi dans le bâtiment, ou le BS consiste a remplacer le BO dans des structures en béton armé coulé et vibré, ou hyper compacté : (éléments horizontaux et verticaux, dalles, fondations etc.)**[26]**

1.4.8 Formulation du béton de sable

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

Les granulats d'un béton jouent un rôle d'ossature et la pâte (généralement le ciment avec l'eau) assure, dans un premier temps, la cohésion et l'écoulement, et joue aussi le rôle d'une colle liant les granulats en donnant une certaine durabilité au matériau durci. Le premier problème qui se pose lors d'une formulation d'un béton est la compacité du squelette granulaire définie comme le rapport du volume des constituants solides sur le volume total du mélange ; il faut assurer au mélange une compacité maximale et donc diminuer au maximum la porosité.

Cependant la détermination de cette compacité maximale n'est pas facile et fait l'objet de modélisation poussée. Caquot **[35]** a pu établir à partir des données expérimentales une relation mathématique reliant le volume des vides d'un mélange granulaire présentant une compacité maximale et son étendue granulaire (d/D_{max}). Pour ce mélange optimisé la relation de Caquot s'écrit comme suit :

$$V=Vo\ (d\ /D_{\mathbf{max}})^{1/5} \quad \text{.....(1)}$$

V : Volume des vides du mélange granulaire ;

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

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

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

Cette formule est à la base de nombreuses méthodes de formulation des bétons qui consistent généralement à définir une courbe granulaire de référence telles que la méthode de Faury, Bolomey, Dreux, etc.

- **Dosage en fines d'un béton de sable**

Pour le but d'optimiser la compacité des constituants solides du béton de sable, il faut que ces constituants soient séparés en deux fractions:

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

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

En faisant cette distinction entre les fines incluant les éléments inférieurs à 80 µm et

l'étendue du sable comprise entre 80 μm et le diamètre maximal du sable, la porosité du sable peut être calculée selon la formule précédente de Caquot :

$$Ps = V = 0.75\ (0.08/D)^{1/5} \quad \text{.....(2)}$$

Ps (v) : Porosité du sable d'étendue granulaire comprise entre 80 μm et Dmax.

Dmax : Diamètre maximal du plus gros grain du mélange.

La constante expérimentale (Vo) est prise comme étant la moyenne des valeurs extrêmes (0.7, 0.8). Un dosage optimal en fines d'ajout sert à compléter l'étendue granulaire bornée inférieurement par la coupure 80 μm, et à combler la porosité du sable ainsi calculée. En effet, il est impossible de prendre en compte la distribution de la taille des particules pour les fines d'ajout car l'assemblage géométrique relève surtout des forces électriques inter-granulaires.

En apportant quelques simplifications, Caquot s'est rendu compte que le volume de l'ensemble des particules fines (< 80 μm) et le volume de vide associé à l'empilement de ces fines sont égaux, autrement dit le volume des vides restant dans le mélange est égal au volume de l'ensemble des fines d'ajout. [Fines]= [Vides].

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

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

Cette dernière formule montre que le dosage en fines dépend surtout de la dimension du plus gros grain, il apparaît très clair que plus le diamètre maximum diminue plus le dosage en fines augmente Figure (1.24).

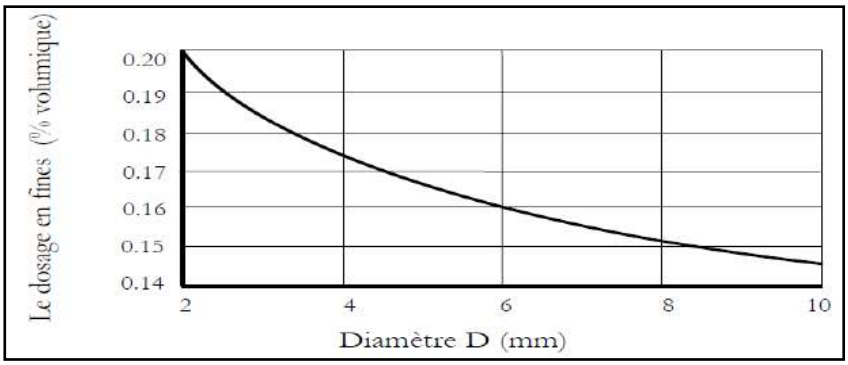


Fig. 1.24 Influence du diamètre D du sable sur le dosage en fines **[26]**

- **Dosage en eau d'un béton de sable**

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

$$(e+v)_{min} = 0.8\ (d/\ Dmax)^{1/5} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ (4)$$

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

$$d = (60 / (f))\ mm \times \rho \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ (5)$$

Avec:

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

ρ : densité du constituant exprimée en g/cm3.

C'est la moyenne harmonique de la dimension des grains les plus fins du constituant assimilés à des sphères.

Cette définition de (d) ne peut pas être retenue pour les mélanges floculés:

La dimension des flocs relevant des considérations physico-chimiques très complexes. Un ordre de grandeur peut être avancé de l'ordre de 20 à 25 μm pour le diamètre ; ainsi l'élargissement de l'étendue est la seule solution pour la réduction de la porosité théorique minimale. (Fig. 1.25)

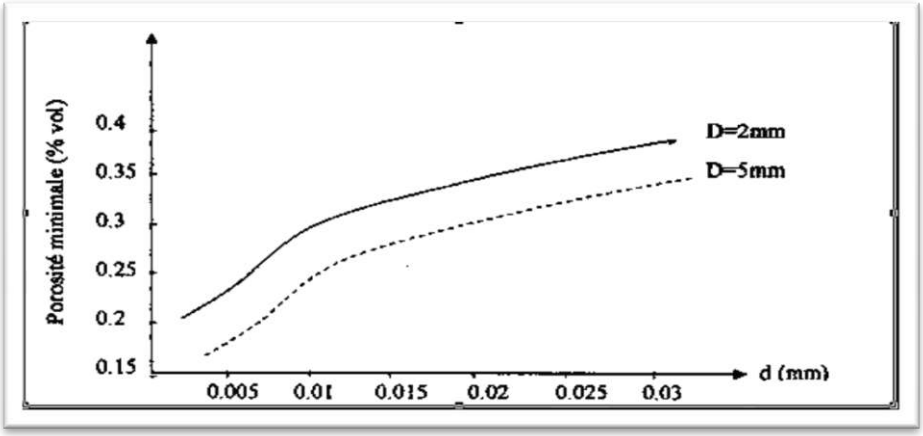


Fig. 1.25 Influence de la dimension d sur la porosité minimale du béton pour deux tailles D du sable **[26]**

L'expérience montre que pour des quantités d'eau inférieures à la quantité d'eau permettant d'obtenir l'ouvrabilité optimale, le mélange piégera une forte quantité d'air quelques soient les moyens de serrage utilisés, et par suite une porosité (e+v) supérieure à (e+v) min, alors pour des quantités d'eau supérieures à celles qui donnent l'ouvrabilité optimale, la quantité d'air piégée reste stable et l'ouvrabilité augmente de façon linéaire. (fig.1.26)

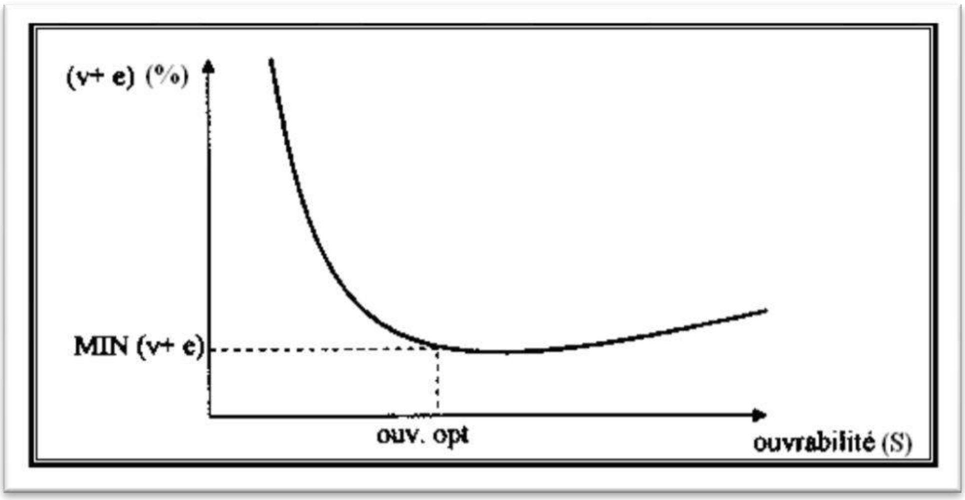


Fig. 1.26 Relation entre l'ouvrabilité et le dosage (e + v) d'une matrice pour une mise en œuvre donnée **[26]**

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

[Vide] = K [eau] ………..……………………(6)

Avec :

K : constante comprise entre 0.2 et 0.25.

- **Dosage en sable**

Pour estimer le dosage en sable, il suffit de compléter au mètre cube la somme des constituants fines, eau et vides, comme ci-dessous :

[Sable]=1000-[fine]-[eau]-[vide] (l/m3)

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

- **Estimation de la résistance en compression**

L’estimation de la résistance en compression se fait par référence aux méthodes classiques adoptées pour les matrices cimentaires qui consistent à partitionner la

contribution du squelette granulaire, de la nature du liant et des dosages des constituants de la pâte.

Dans le cas de bétons formulés avec des fines potentiellement réactives, une généralisation de la formule de FERET **[1]** a été proposée récemment.

$$R_b = \frac{Kf * Rc}{\left(1 + \frac{3.1(e+v)}{c(1+K1+K2)}\right)^2} \quad \text{.....(7)}$$

Kf : coefficient granulaire compris entre 4.5 et 5 ;

Rc : classe vraie du ciment (MPa) ;

e : dosage en eau totale (l/m3) ;

V : air piégée (l/m3) ;

C : dosage en ciment (kg/m3) ;

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

Avec

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

0.2<Kcv<0.4 ;

2<Kfs<3.3 ;

K1 0.5 K2= Kfi1 (Fil/C);0<Kfil 0.4 ;

K1<0.2

K1 : coefficient pouzzolanique

K2 : coefficient d'activité du filler calcaire.

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

CV, FS, FIL : dosage en cendres volantes, fumée de silice et filler calcaire (kg/m3)

Cette formule ne peut être utilisée que par une identification précise de l'activité des additions par l'intermédiaire des coefficients déjà mentionnés (Kcv., Kfs et Kfil).

Les valeurs données pour les différents coefficients d'activité ont, ici, un caractère essentiellement indicatif, d'autres additions peuvent être également utilisées, telles que les fines siliceuses généralement considérées inertes et les fines de laitier qui peuvent présenter un caractère hydraulique non pris en compte dans la formule précédente**.**

Ainsi d'autres paramètres pourraient également jouer un rôle sur l'activité liante des fillers tels que la répartition granulaire, la forme des grains, et leur porosité. L'activité de

filler calcaire présente un optimum au-delà duquel la contribution de l'activité de filler ne participe plus aux développements de performances mécaniques. (fig.1. 27**)**

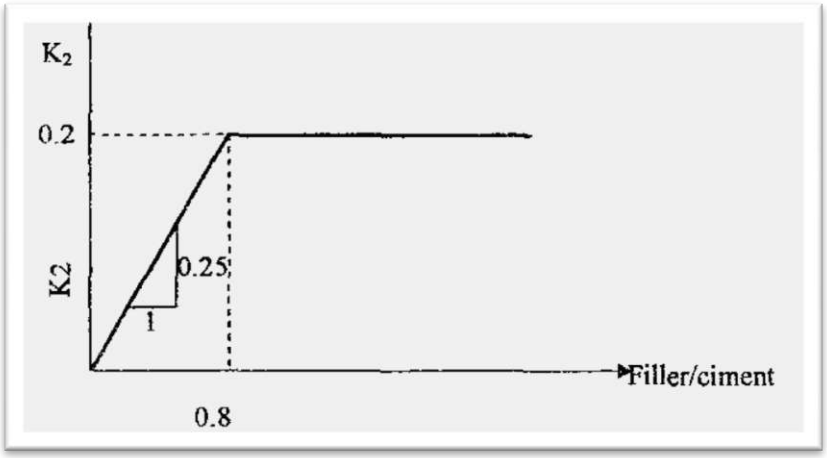


Fig. 1.27 Coefficient d'activité du filler calcaire (modèle) **[26]**

Ainsi il y a d'autre paramètre qui s'ajoutant pour le dosage en fines, toute fois le dosage en fines est estimé en terme de compacité, ces fines regroupant le ciment, l'addition (filler calcaire, cendres volantes …) et la fraction du sable inférieur à 80 µm, ainsi que l'optimum de la résistance serait atteint pour les dosages en ciment et en addition, solution du système suivant :

- Dosage en ciment + dosage en fines d'addition = dosage en fines.
- Dosage en fines d'addition / dosage en ciment = optimum d'activité.

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

Elle ne peut être utilisée que dans un cadre limité, ceci est dû aux nombreuses hypothèses qui la jalonnent, c'est aussi pour cela que cette approche ne sera acceptée qu'après passage à l'expérience qui la confirme.

On peut résumer toutes les étapes de la formulation théorique sous forme d'organigramme comme indique la Figure (1.28).

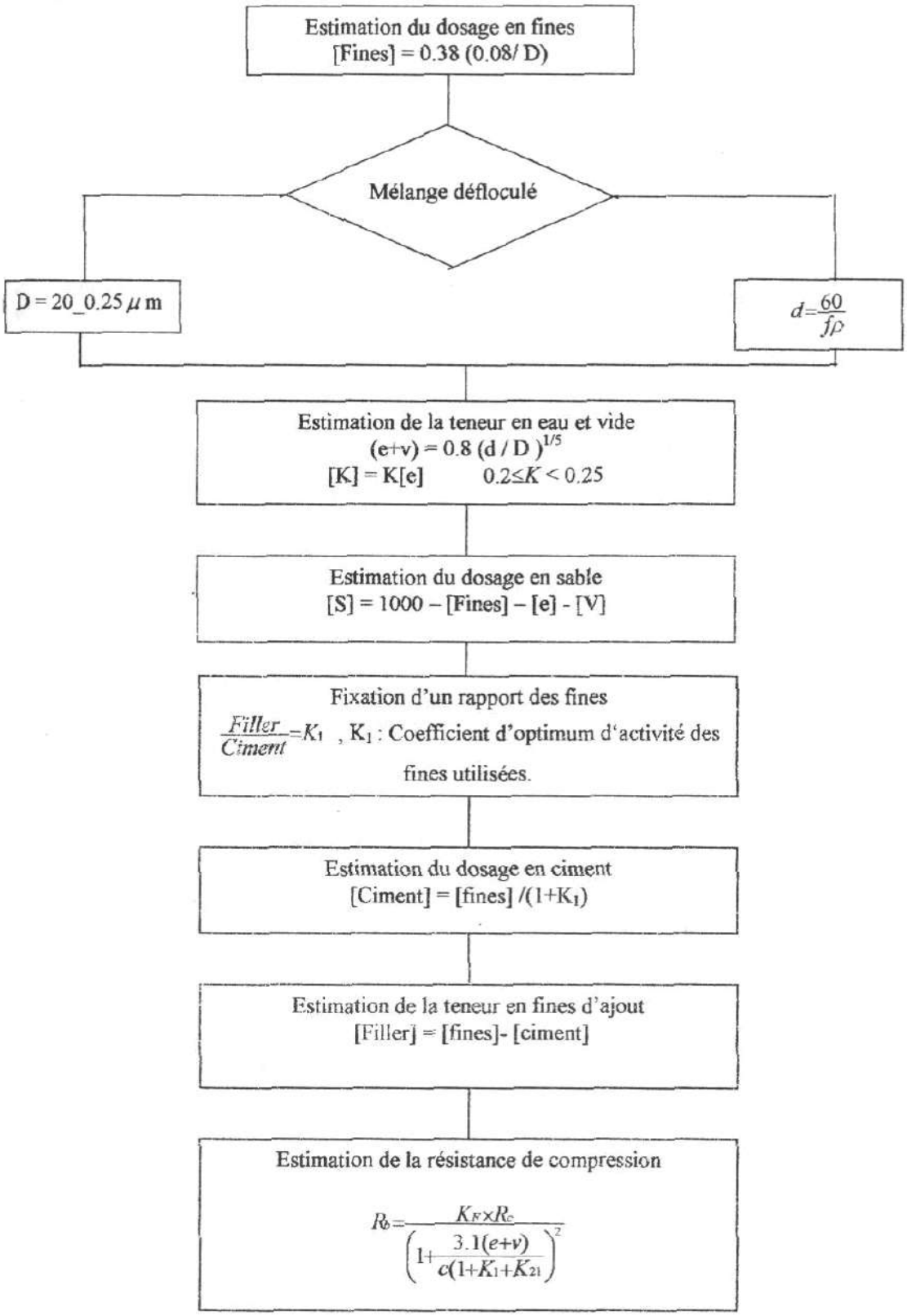


Fig. 1.28 Organigramme de la méthode théorique **[26]**

1.4.8.2 Méthode expérimentale de formulation des bétons de sable

- **Détermination d'une formule de base sans fines d'addition**

Pour cela on cherche à réaliser un béton de sable dont la maniabilité est comprise entre 7 et 10 secondes au maniabilimètre LCPL ; ce béton est composé seulement de ciment, d'eau et de sable.

- ✓ **Le dosage en ciment**

Les dosages en ciment sont souvent influencés par la destination du béton (bâtiment, barrage, milieu agressif...etc.), mais on opte toujours à des minimums selon les prescriptions et les normes en vigueur. Ces dosages sont fixés lors de l'étude et sont notés par C (kg/m3).

- ✓ **Dosage en eau**

L'estimation du dosage en eau est approximative. A ce stade de la formulation et sur la base de l'expérience, les praticiens donnent à titre indicatif un dosage en eau de 220 l/m3 pour un dosage en ciment de 350kg/m3, 250l/m3 d'eau pour un dosage en ciment de 400Kg/m3, mais on peut toujours utiliser la formule exposée dans la méthode théorique permettant d'estimer le dosage en eau en fonction de la porosité du squelette granulaire.

$$E = \frac{800}{1+\alpha} * \left(\frac{d}{D}\right)^{\frac{1}{5}}$$

α: compris entre 0.1 et 0.15 ;

d : est la borne inférieure de la phase solide du béton (mm) ;

D : est la borne supérieure de l'étendue granulaire du sable (mm) ;

- ✓ **Détermination du dosage en sable**

Dans un premier temps et pour permettre la défloculation des fines, on utilise un fluidifiant réducteur d'eau au dosage normal préconisé par le fabricant (N% du poids des éléments inférieurs à 80 μm) .

Le béton contient toujours un volume d'air Vair , la teneur en air des bétons est de l'ordre 3% en volume. Cette valeur est supérieure pour le béton de sable et se situe entre 5% et 7 % du volume. Le dosage en sable peut être calculé par soustraction des différents volumes des constituants précédents

$$V_{sable} = 1000 - V_c - V_{adj} - V_{air} - V_{eau} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (8)$$

Connaissant la masse volumique absolue du sable, on peut déduire la masse nécessaire pour la formulation d'un mètre cube du béton de sable.

$$M_{sable} = MVA * V_{sable} \quad \text{……………………………….. (9)}$$

Msable: masse nécessaire pour 1 m3 du béton de sable.

MVA sable : masse volumique absolue du sable.

V_{sable} : volume du sable.

Après détermination des différentes proportions des constituants, cette formulation permet de calculer la masse volumique apparente théorique (MVAT) en sommant l'ensemble des masses ainsi calculées pour le volume unitaire (1 m3).

$$MVAT = m_{ciment} + m_{eau} + m_{adj} + m_{sable} \quad \text{…………………...(10)}$$

✓ **Réglage de la maniabilité et du rendement de la formule**

Le mélange obtenu selon les formules précédentes doit répondre aux objectifs fixés et qui se résument dans les deux critères essentiels :

- La masse volumique apparente réelle doit être égale à la masse volumique apparente théorique calculée par la formule (9)
- La maniabilité du mélange sera comprise entre 7 et 10 s selon le maniabilimètre LCPC.

L’objectif est d’obtenir une formule de un mètre cube (c’est-à-dire faire tendre la masse volumique apparente théorique (MVAT) vers la masse volumique apparente réelle (MVAR)) et le temps d’écoulement de 7 à10 S.

La formule du béton doit être corrigée à l’aide de l’équation itérative suivante (correction sur le sable).

$$Si = S_{i-1}(MVAT_{i-1} - MVAR_{i-1}) + V * MVA_{sable}. \quad \text{………… (11)}$$

Où

Si : dosage en sable après correction

S_{i-1} : dosage en sable avant correction MVAT,

MVAR : les masses volumiques du béton théorique et réel

MV sable : masse volumique absolue du sable

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

Il sera rajouté si 1’écoulement au maniabilimètre est supérieur à 10s (-V dans la formule précédente n° 10). Il sera retranché si 1’écoulement au maniabilimètre est inférieur à 7s (+V dans la formule n° 10) Après chaque correction la masse volumique théorique sera comparée à la masse volumique réelle. En ajustant le dosage en eau et en sable

conformément à ce principe, le dosage en eau devient définitif et le temps d'écoulement est alors compris entre 7 et 10 s, et la formule fait le mètre cube du béton de sable.

- **Détermination du dosage en fines d'addition**

Les fines d'ajout sont destinées à corriger l'indice des vides des sables et à limiter le dosage en ciment des bétons de sable. Elles sont incorporées au mélange de base à un rapport E / C constant et à un dosage optimal permettant d'augmenter la compacité sans changement du volume total (MVAR=(MVAT).

Ce qui revient à dire que la masse volumique théorique du mélange et la masse volumique réelle restent égales. Pour cela des gâchées de béton de sable seront réalisées aux différents dosages en fines dans leur plage d'emploi usuelle. Pour chaque gâchée, les essais de maniabilité et la détermination de la masse volumique doivent être réalisés et fixés précédemment afin de les comparer aux critères imposés. Si ces derniers ne sont pas vérifiés, la correction sur le sable s'effectue toujours selon la formule suivante jusqu'à égalité des masses volumiques théorique et expérimentale.

$$Si = S_{i-1}-(MVAT_{i-1} -MVAR_{i-1}) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(12)$$

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

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

- **Fine d'addition N° 1 :** Son utilisation conduit à une maniabilité optimale entre 150 et 180 Kg/m^3 de fines. Figures 1.29 et 1.30.
- **Fine d'addition N° 2 :** Dans sa plage de dosage (0 à 240 Kg/m3) il n'y pas d'optimum de maniabilité et masse volumique, l'optimum doit exister pour des dosages supérieurs.
- **Fine d'addition N° 3 :** Son optimum de maniabilité et de masse volumique est compris entre 60 et 90 Kg/m3de fines.

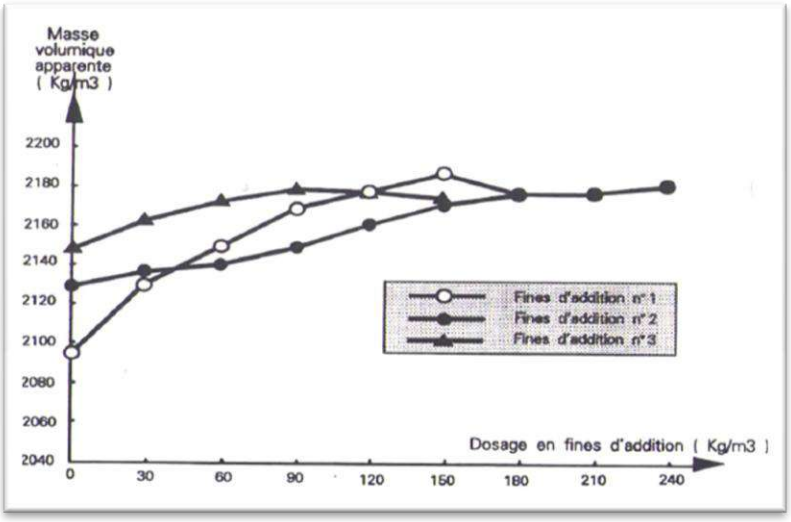


Fig.1.29 masse volumique apparente en fonction du dosage en fines d'addition **[26]**

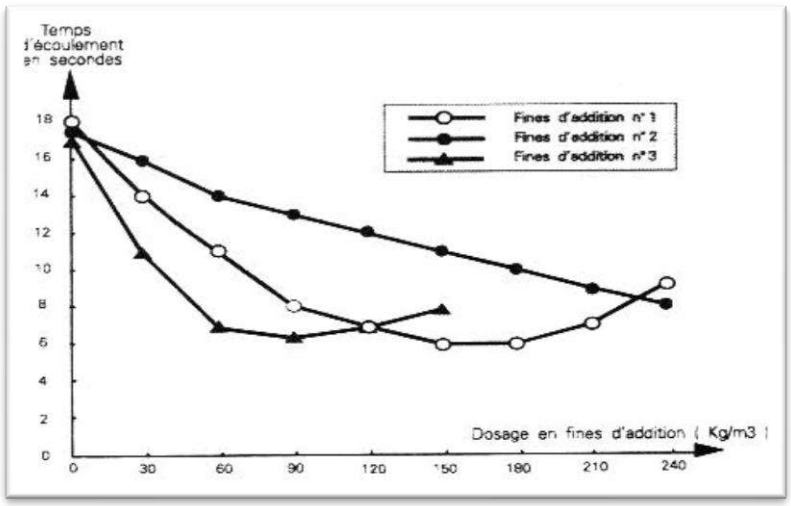


Fig.1.30 Evolution de la maniabilité en fonction du dosage en fines d'addition **[26]**

1.5.1 Influence des ajouts minéraux sur les propriétés des matériaux cimentaires

1.4.1.1. Etats frais

- **L'ouvrabilité**

Joy et Mathew **[36]** ont étudié l'influence de déchets de sable de fonderie sur l'ouvrabilité du béton géopolymère .Ils ont constaté que l'ouvrabilité du béton est diminue en fonction d'augmentation du pourcentage de sable de fonderie.35

Khatib et al. **[37]** ont constaté que le remplacement de (0%, 20%, 40%, 60%, 80% et 100%) du sable par le sable de fonderie influe négativement sur l'affaissement du béton

ordinaire ce qui confirme les résultats de Aggarwal and Siddique **[38],**qui ont trouvé aussi que l'affaissement du béton ordinaire est diminué en fonction d'augmentation du pourcentage de déchets de fonderie et qui ont expliqué cette diminution par l'absorption d'eau de grain de déchets de fonderie qui est plus importante que celle du grain du sable naturel.

Prabhu et al. **[39]** ont conclue aussi que l'ouvrabilité du béton ordinaire est diminuée en fonction de substitution du sable par le sable de fonderie, ce qui confirme les résultats de Guney et al. (Fig. 1.31**)**

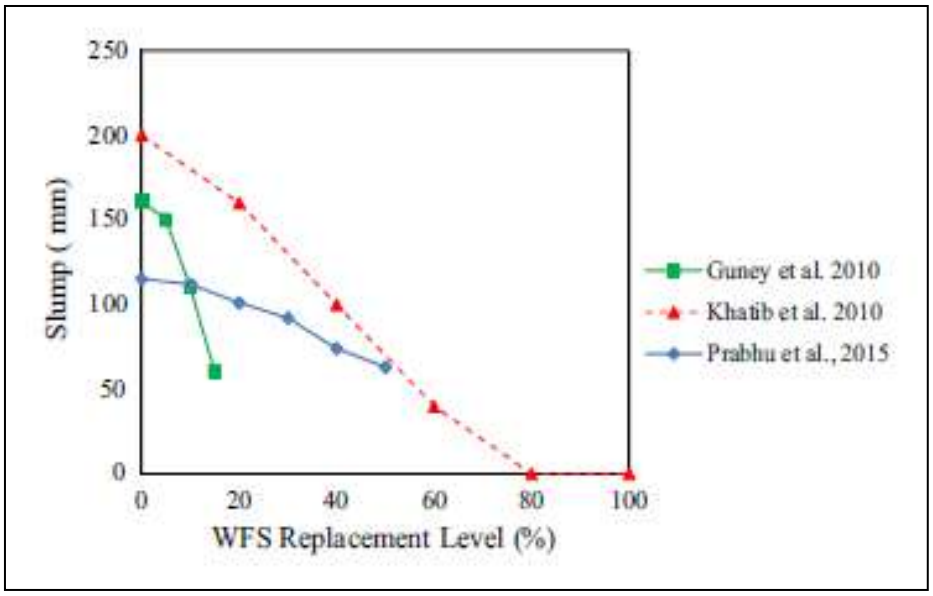


Fig. 1.31 L'affaissement du béton ordinaire en fonction de déchets de fonderie **[50]**

- **La densité**

Basar et al. **[40]** ont étudié l'influence de substituions de (0%, 10%, 20%, 30% et 40%) du sable par le déchet de sable de fonderie. Ils ont trouvé que plus le pourcentage de sable de fonderie augmente plus la densité diminue.

Plusieurs auteurs **[39,41, 42]** ont constaté que quelque la densité du béton est diminue en fonction d'augmentation du pourcentage de déchets de sable de fonderie .Ils ont expliqué cette diminution par l'augmentation de la porosité induit par la mauvaise adhérence entre la pate cimentaire et le grain de sable de fonderie.

1.4.1.2 Etats durci

- **La résistance à la Compression**

Naik et al. **[44]** ont étudié l'effet de remplacement partiel (25% et 35%) du sable par du sable de déchets de fonderie sur la résistance du béton ordinaire. Ils ont constaté que la résistance de compression à 28 jours du béton à base de 25% et 35% est diminuée 23% et 35% respectivement par rapport à la résistance à la compression du béton témoin.

Singh and Siddique **[45]** ont observe que la résistance à la compression du béton ordinaire augmente en fonction d'augmentation de déches de sable de fonderie avec les pourcentages de (5%, 10%, 15% et 20%) **[45].**

Salokhe et al. **[46]** ont conclue que la résistance du béton à base de déchets de fonderie ferreux est plus importante que celle du béton fabriqué à partir de granulats de déchets de fonderie non-ferreux.

Siddique et al. **[47,48]** ont constaté que la résistance à la compression du béton ordinaire augemente quand le remplacement du sable naturel par le déchet de sable de fonderie est plus que 30% ce qui confirme les résultats de Pathariya et al. **[49].** Siddique et al. **[39]** ont trouvé que la résistance à la compression de béton à base de 30%, 40% et 50% est plus importante que celle du béton témoin à l'age de 28 ,90 et 365 jours **[41].** Ce résultat confirme les résultats trouvé par Siddique et al. **[41];** Aggarwal et Siddique **[38];** Prabhu et al**. [39];** Khatib et al. **[37]** qui sont présenté dans la (Fig. 1.32)

.

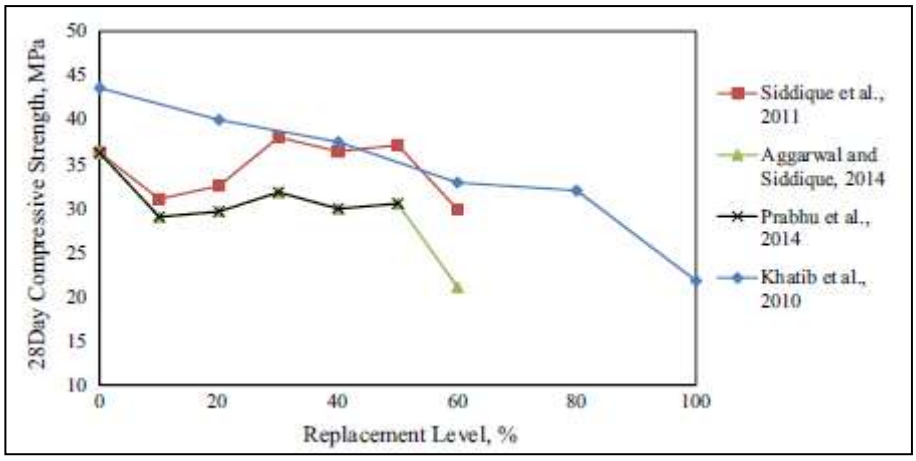


Fig. 1.32 La résistance à la compression des bétons à base de déchets de fonderie [**50**]

Basar et al. **[40]** ont remplacé (0%,10%,20%,30% et 40%) du sable naturel par le sable de fonderie. Ils ont remarqué que plus le pourcentage de déchets de fonderie augmente plus la résistance à la compression diminuée et cela pour tous les âges (Fig. 1.33)

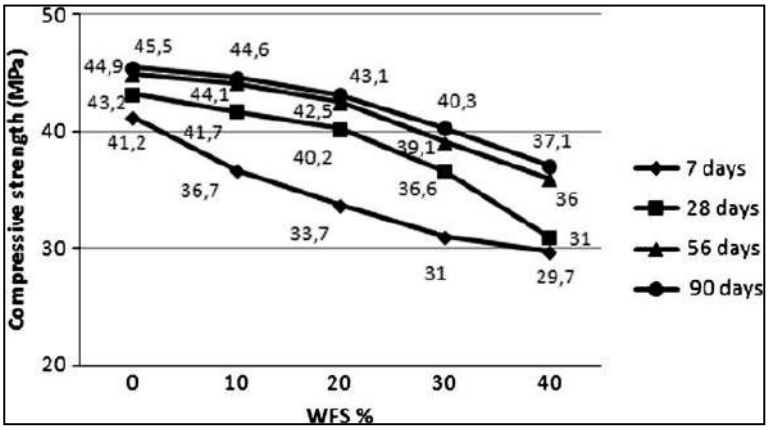


Fig. 1.33 La résistance à la compression du béton en fonction d'âge **[37]**

- **La résistance à traction**

De la même façon que la résistance à la compression Basar et al**. [37]** ont étudié l'effet de remplacement de (0%,10%,20%,30% et 40%) du sable naturel par le sable de fonderie sur la résistance à la flexion du béton. Ils ont constaté que plus le pourcentage de déchets de fonderie augmente plus la résistance à la flexion diminuée et cela pour tous les âges (Fig. 1.34).

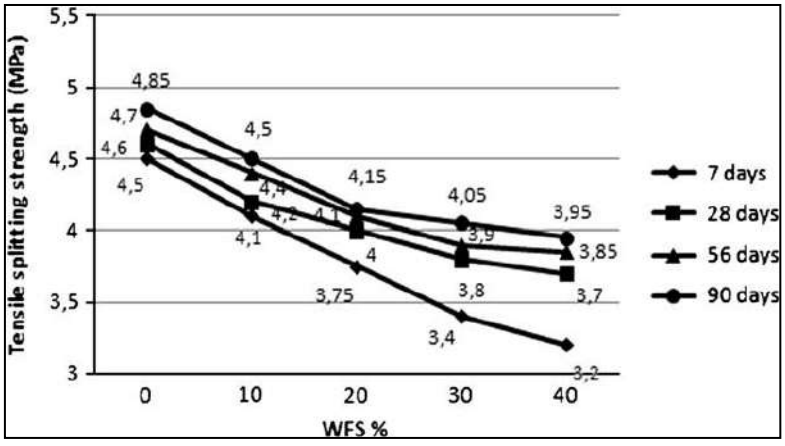


Fig. 1.34 La résistance à la traction du béton en fonction d'âge **[37]**

Prabhu et al. **[39]** ont étudié l'influence d'addition de déchets de sable de fonderie d'aluminium sur la résistance à la traction par flexion du béton ordinaire. Ils ont constaté

que la résistance à la traction est augmentée pour un remplacement de 20% de sable de fonderie (Fig. 1.35).

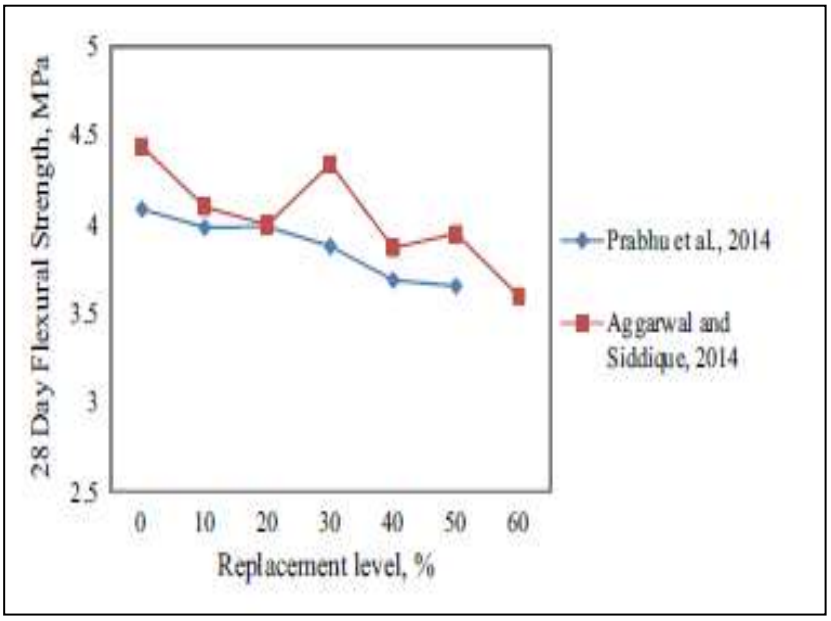


Fig. 1.35 La résistance à la traction par flexion du béton à base de déchets de fonderie **[39]**

- **Module d'élasticité**

Basar and Aksoy **[49]** ont trouvé que le remplacement du (0, 10, 20, 30 and 40%) sable naturel par des déchets de fonderie influe négativement sur le module d'élasticité.
Prabhu et al. **[39]** ont aussi constaté que le module d'élasticité du béton diminué en fonction d'augmentation de déchets de fonderie (Fig. 1.36).

Singh and Siddique **[52]** ont constaté que le module d'élasticité du béton ordinaire augumente en fonction de la substitution du (0%,5%,10%,15% et 20%) du sable naturel par de sable de fonderie (Fig. 1.36).

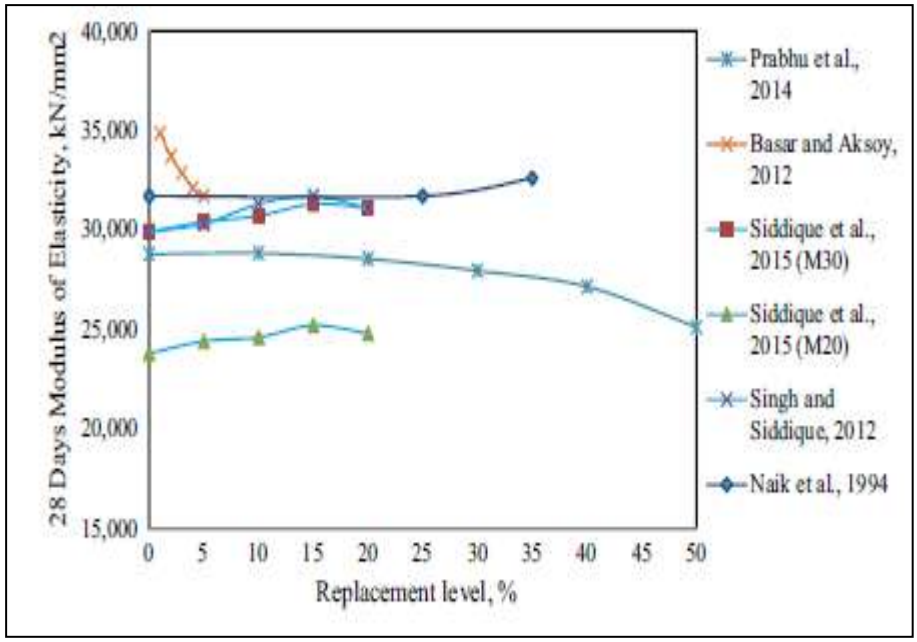


Fig. 1.36 Le module d'élasticité du béton à base de déchets de fonderie **[39]**

1.4.1.3 Approche de durabilité

- **L'absorption capillaire**

Salokhe et al. **[47]** n'ont observé aucun effet de substitution du sable par le déchet de sable de fonderie sur l'absorption du béton. D'autres études ont montré que l'addition de déchets de sable fonderie influe négativement sur l'absorption capillaire du béton ordinaire **[49].**L'augmentation de l'absorption du béton est liée essentiellement par la résistance à la diminution de la résistance à la compression et à l'augumentation de la porosité induit par la présence de grain angulaire de déchets de sable de fonderie **[37,54].**

Kaur et al. **[53]** ont constaté que l'incorporation de 20% de déchets de sable de fonderie dans la masse du béton diminue l'absorption d'ordre de (68.8%).

- **Le retrait**

Khatib et Ellis **[55]** ont observé que le retrait total de béton vibré augmente en fonction d'augmentation de déchets de sable de fonderie.

Khatib et al. **[37]** ont remplacé le sable naturel par le déchet de sable de fonderie et étudié l'influence de ces fillers sur le retrait total de béton ordinaire. Ils ont constaté une augmentation plus importante de valeurs de retrait en fonction d'argumentation de pourcentage de déchets de sable de déchets de fonderie (Fig. 1.37**)**

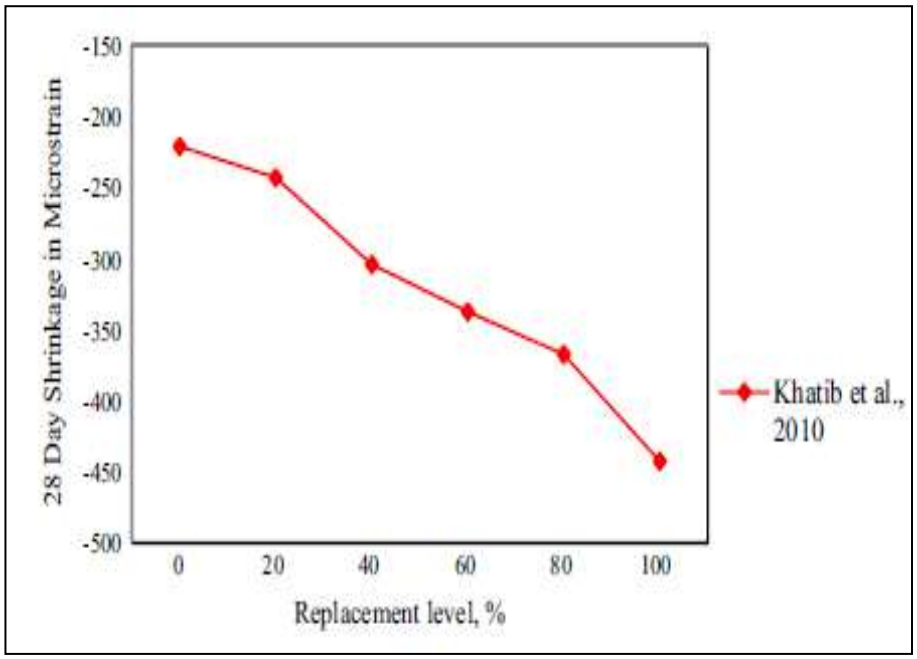


Fig. 1.37 Le retrait total de béton à base de déchets de sable de fonderie **[36]**

- **Permeability**

L'augmentation de la perméabilité du béton fabriqué à partir de granulat de déchets de sable de fonderie est plus importante que celle de la perméabilité du béton fabriquer à partir de granulat naturel **[39].** Siddique R. and Kadri El-Hadj **[56]** ont étudié l'effet de remplacement de sable naturel par 20% du déchet de sable de fonderie sur l'absorption de béton à base de 15% metakaolin. Ils ont trouvé que l'incorporation de sable de fonderie diminue la perméabilité du béton.

5.1 Conclusion

Le déchet est par définition « matière » et a ce titre il est en premier lieu sollicité pour le traiter, il est nécessaire de trouve les moyens pour en extraire les fractions valorisables ou pour diminuer les capacités de nuisances. Plusieurs types de déchets peuvent être utilisés comme granulats.

Dans ce chapitre nous avons passé en revue la problématique des déchets usagés non réutilisables, ainsi que de leurs recyclage et valorisations. Puis on a donné une généralité sur le déférant déchet de la fonderie (définition, composition, propriétés, utilisation), et le béton de sable (définition, composition, utilisation, formulation), ainsi que finalement un aperçu sur l'effet de valorisation de différents types de déchet de fonderie sur les caractéristique de matériaux à base cimentaire.

Chapitre 02 :
Matériaux et essais

2.1. Introduction

Dans ce chapitre nous présenterons, les caractéristiques des matériaux utilisés durant ce projet de recherche, la procédure du malaxage pour confectionner nos mélanges, les compositions des différents mélanges utilisés dans le cadre de cette étude, les différents essais expérimentaux pour caractériser les mélanges à l'état frais et durci.

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 figure 2.1 suivante donne un aperçu sur la nature du sable utilisé. L'analyse granulométrique de sable utilisée est présentée sur la figure.2.2 et Les caractéristiques physiques du sable utilisé sont regroupées dans le tableau 2.1 ci-dessous.



Fig.2.1 Sable roulé utilisé.

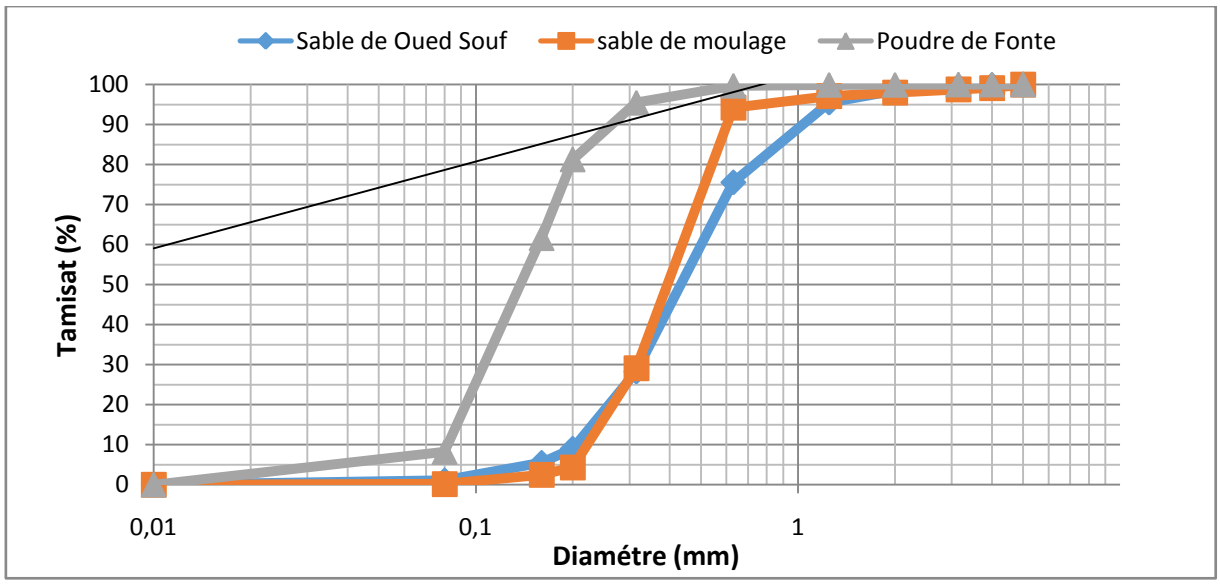


Fig.2.2 Courbe granulométrique de sable utilisée.

Tableau .2.1 Caractéristiques physiques des sables utilisés.

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.

Le spectre obtenu sur le sable utilisé démontre que sa nature est calcaire (Figure2.3).

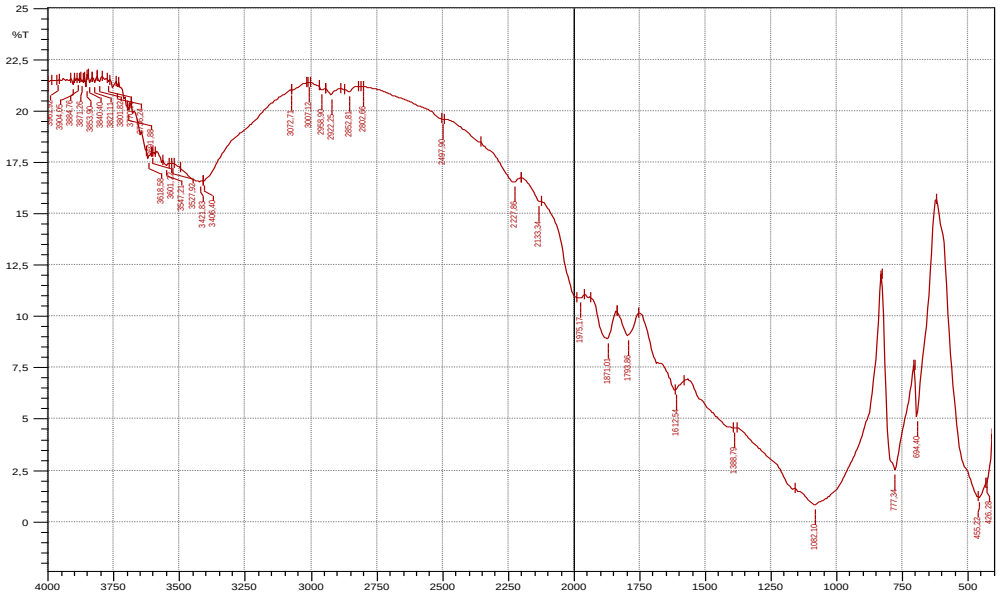


Fig.2.3 Courbe analyse chimique de sable utilisé.

2.2.2. Ciment

Le ciment utilisé dans cette étude est le ciment portland composé ''MATINE'' CPJ-CEM II/A 42.5R, 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.

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 on forme à la norme NA 442 **[61]**, et à la norme NF 15-301 **[62].**



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,

Tableau 2.2 Analyse chimique du ciment et composition du clinker.

Analyse chimique du ciment	Perte au feu (%)	7.00-9.50
	Résidus insolubles (%) (NA 5042)	1.50-3.00
	Teneur en sulfates SO3 (%) (NA 5042)	2.00-2.50
	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 d'après la norme [NF P 15-476] [63].

- **La consistance normale**

C'est la quantité d'eau de gâchage qu'il faut ajouter à une quantité de ciment préalablement pesée pour obtenir une pâte dite normale, elle est mesurée à l'aide de l'appareil de Vicat d'après la norme [NF P 15-431] [64].

- **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 d'après la norme NF P 15-473 [65].

Le Tableau 2.3 résume les résultats des essais physiques sur le ciment utilisé.

Tableau .2.3 Caractéristique physiques du ciment.

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

Selon la fiche technique les essais mécaniques sur le ciment ont été effectués conformément à la norme NF P 15-471 **[66]** 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 2.4 résume l'évolution de la résistance du ciment en fonction de l'âge.

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

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

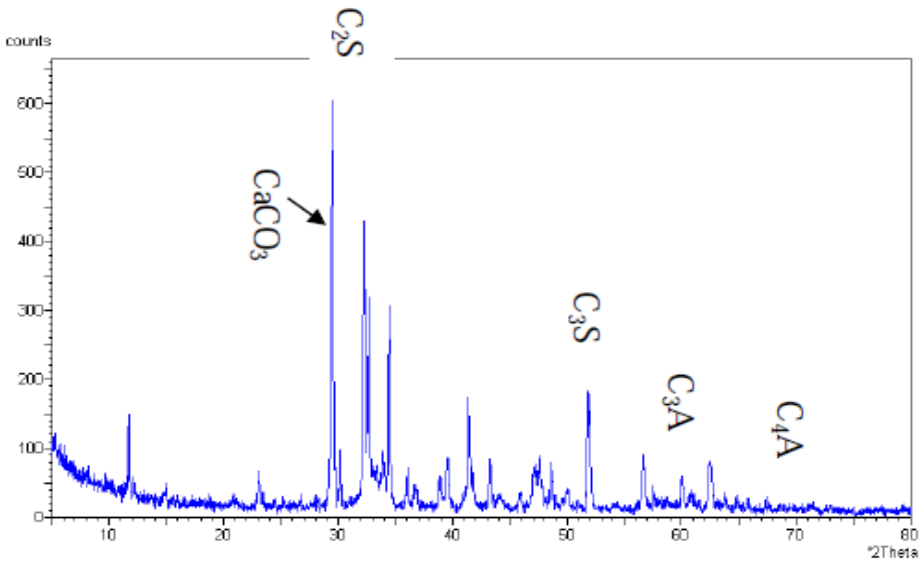


Fig.2.5 Diagramme de DRX appliqué sur le CEM II/B 42.5 MATINE.

2.2.3 Ajouts (fillers)

Les fillers utilises dans notre cas sont de nature marbre (Fig.2.5). Ils sont obtenus par broyage des déchets de concassage d'une carrière de Skikda abandonnée se trouvant dans l'usine de marbre de Zawya wilaya de Blida. Rappelons que la poudre de marbre sont les plus adaptés au béton et donnent de meilleures performances **[67].** Leur caractéristique physique est mentionnée dans le Tableau.2.5.



Fig.2.6 Les fins de marbre.

Tableau.2.5 Caractéristiques physiques des fins de marbre utilisées.

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

2.2.4. Adjuvant

L'adjuvant utilisé au cour 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 .

2.2.5. Eau de gâchage

L'eau qui utilisée pour le gâchage est une eau potable de distribution de notre laboratoire, exempte d'impuretés, et sans aucun traitement supplémentaire. Le PH mesuré régulièrement est voisin de 7,5.

2.2.6. Déchets de fonderie

Le déchet utilisé dans notre étude provient de la récupération de déchets de fenderie types poudre de fonte et sable de moulage, issus de démoulage de pièce métallique d'usine de POVALE de Berrouaghia , après avoir été récupérer, sécher et incorporer dans la masse de béton de sable fluide par substitution volumétrique de sable (0%,3%,5%,8% et 10%) et par ajouts (0%,5%,7%,10%,12% et 15%).

La granulométrie de ces déchets est représentée dans la figure.2.1, et leurs caractéristiques physiques sont présentés dans le tableau 2.6 suivant :

Tableau 2.6 Caractéristiques physiques de déchet de fonderie utilisé.

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.2.7 Déchet de poudre de fonte utilisé.

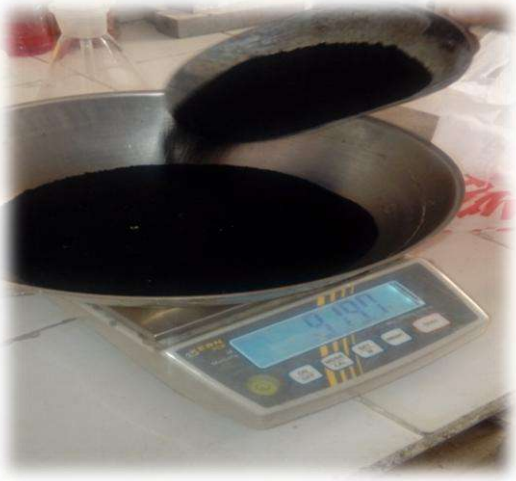


Fig.2.8 Déchet de sable de moulage utilisé.

2.3 Composition des mélanges

La composition du béton de sable fluide pour la confection des éprouvettes est basée sur la méthode théorique SABLOCRETE 1994 **[26]**. Le déchet de sable de moulage est incorporé dans la masse du béton de sable fluide par substitution volumique du sable avec de pourcentage de (0%, 3%, 5%,8% et 10%) (Tableau 2.8) et le déchet de poudre de fonte est incorporé dans la masse du béton de sable fluide comme un addition avec de pourcentage de (0%, 5%,7%,10%,12% et 15%).

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 ($1m^3$).

Béton de sable fluide	**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 ($1m^3$).

Béton de sable fluide	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.

2.4 Malaxage et conservation

Le malaxage des bétons de sable fluide se fait en malaxeur à mortier d'une capacité de 5 L, 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. 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 super plastifiant 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 à été effectué au départ (après l'introduction du sable).

➢ Mesure la densité et l'ouvrabilité du béton frais immédiatement au fin malaxage.



Fig.2.9 procédure de malaxage au laboratoire.

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.

Essais	Appareil
Etalement	mini cône
Temp 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 figure 2.10 montre les étapes de l'essai d'étalement mini cône selon la recommandation selon la recommandation EFNARC 2002 **[68]**.



Fig.2.10 Mesure de l'étalement du béton de sable fluide.

2.5.2 Ecoulement à l'entonnoir en V-FUNNEL

La norme NF EN 12350-9 **[69]** 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 2.11. 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.



Fig.2.11 Essai d'écoulement à l'entonnoir en V.

2.5.3 La densité

La masse volumique du béton de sable a été mesurée selon la norme NF EN 12350-6 **[70]** NA436 **[71]**.



Fig.2.12 Mesure de la densité du béton de sable fluide.

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 à la norme NF EN 12390-2 **[70].**



Fig.2.13 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 Essai réalisé sur le béton

- **A l'état durci**

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

Tableau 2.10 Essais sur bétons durci.

Essais	**Appareil**
Résistance a la compression	Presse Hydraulique (2000KN)

2.7.1 Resistance a la compression

La résistance à la compression a été mesurée selon la norme [NF EN 196-1] **[71]** par compression axiale pour demi-prisme d'éprouvettes prismatiques de dimensions (4×4×16) cm, à l'âge 3,7 et 28 jours, à l'aide d'une presse hydraulique de capacité maximale de 2000 KN conforme a la norme [NF P 18-412] **[72]** fig.2.14 pendant l'essai, la vitesse de chargement est constante.

La résistance à la compression est le rapport entre la charge de rupture et la section transversale de l'éprouvette correspond à la contrainte moyenne d'écrasement sur trois éprouvettes à chaque âge d'essai (3j.7j.28j).

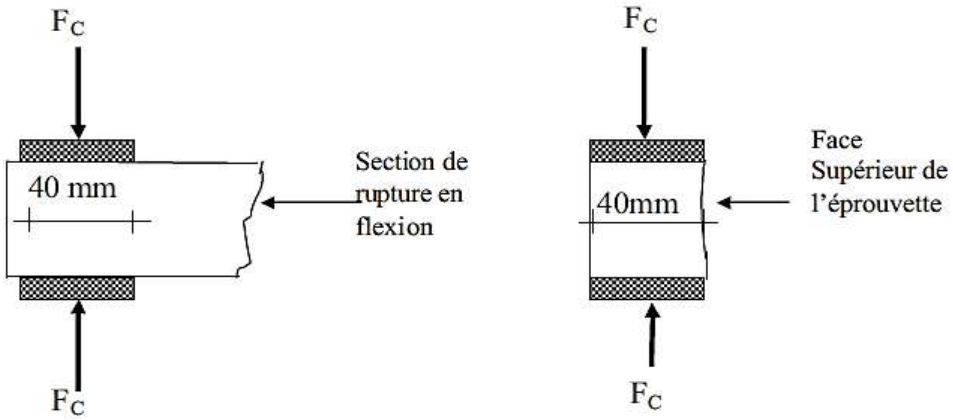


Fig.2.14 Dispositif de rupture à la compression.

La contrainte de rupture est calculée comme suit :

$$R_C = \frac{F_C}{b^2} \qquad \text{(Equation 2.1)}$$

R_C : Résistance à la compression en (MPa) ;

F_C: Charge de rupture en (N) ;

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



Fig.2.15 Presse Hydraulique (2000KN).

2.7.2 Essais d'approche de durabilité

Tableau 2.11 Essais d'approche de durabilité.

Essais	Appareil
Les variations dimensionnelles	déformètre
Absorption capillaire	balance

- **Retrait et gonflement**

Le retrait est un facteur très important dans la pratique, car il entraîne souvent l'apparition de fissures qui peuvent nuire à la durabilité du béton. La présence des éléments fins engendre des modifications dans le squelette solide vis-à-vis de la déformation (retrait) du béton.

Cet essai consistera à mesurer le retrait et le gonflement sur le béton à base de différents déchets de carrelage. Les mesures du retrait à l'air libre et gonflement sous l'eau ont été effectuées sur des éprouvettes prismatiques 4x4x16cm^3 conformément à la norme [NF P 18-404] **[73].**

Ces éprouvettes au nombre de trois par composition, sont après démoulage à 24 h, placées dans un déformètre fig.2.16 munis d'un comparateur qui permet la mesurer du retrait et gonflement à tout moment à court terme et moyenne terme (du 1j jusqu'a 28 jours)



Fig.2.16 Mesure des variations dimensionnelles à l'aide de déformètre.

- **Principe de mesure du retrait et gonflement**

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

$$l = L + dl(t) \qquad \text{(Equation 2.2)}$$

Soit l (t_0) la longueur de l'éprouvette au temps t_0 choisi d'origine. En général, cette origine est prise au moment du démoulage, 24 h après la confection des éprouvettes. La variation de longueur au temps t sera:

$$\varepsilon(t) = \frac{\Delta l(t)}{L} = \frac{dl(t) - dl(t_0)}{L} \qquad \text{(Equation 2.3)}$$

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

$$\Delta l(t) = l(t) - l(t_0) = dl(t) - dl(t_0) \qquad \text{(Equation 2.4)}$$

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

Avec :

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.

2.7.3 Absorption capillaire

Dans cet essai, on prend un morceau d'éprouvette de béton de sable déjà utilisé puis sécher. On le pesé (m_0) au début, après on l'introduire dans un bac remplit d'un film d'eau (5mm d'eau) fig.2.17, et pendant chaque intervalle de temps (12 min, 30 min ,1 h, 2h ,4h ,24h) on remesure les morceaux (m_1), le différent de poids entre m_1 et m_0 c'est le poids de l'eau absorbé (m_1- m_0) (NBN NE 13057) **[74]**.

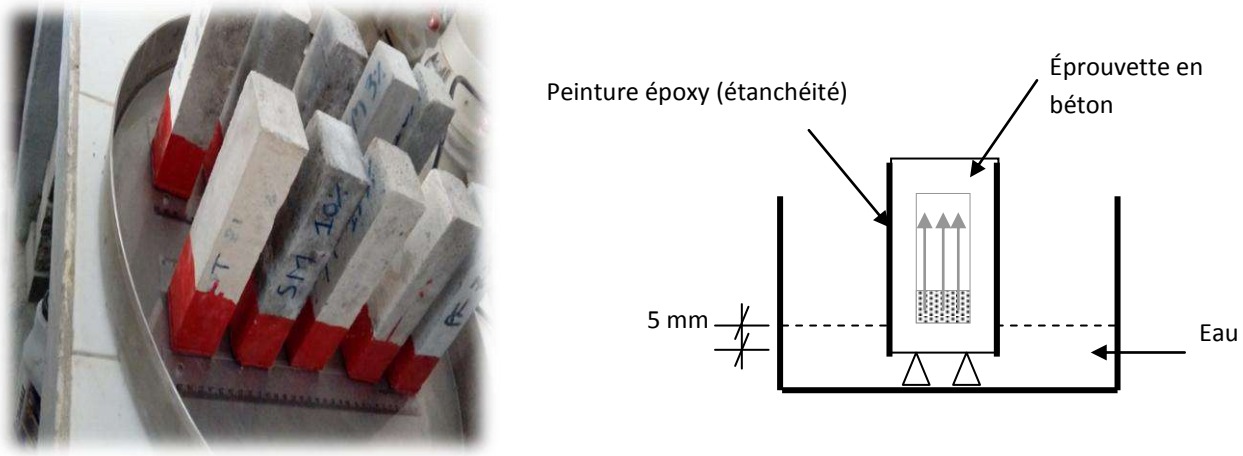


Fig.2.17 Absorption d'eau par succion capillaire.

2.8 Variables étudiées

Les variables d'étude utilisés au cours de ce travail sont résumées dans la figure suivant :

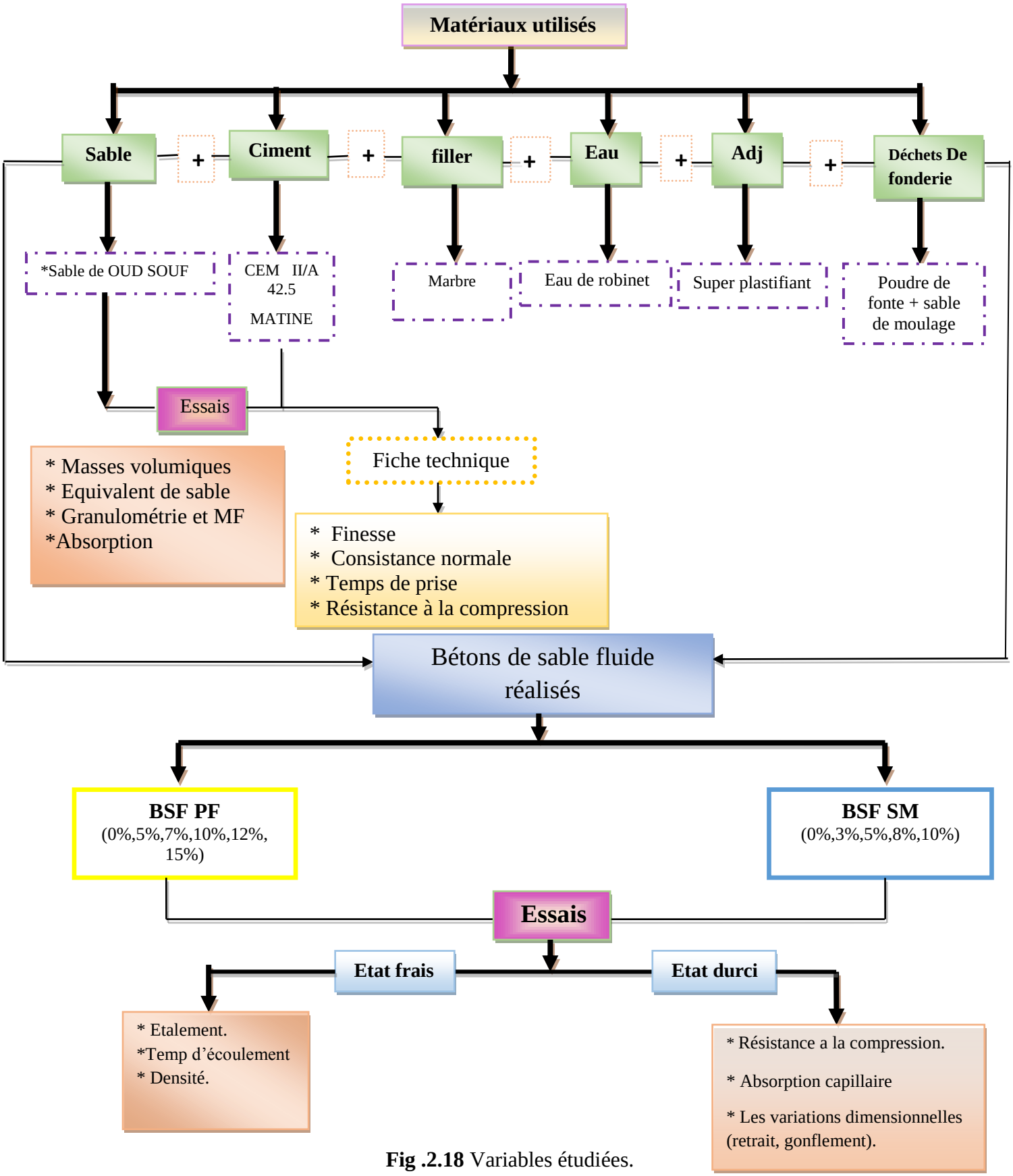


Fig .2.18 Variables étudiées.

2.9 Conclusion

L'utilisation des matériaux locaux et des déchets industriels recyclés dans la fabrication du BSF 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 sur les propriétés frais et durci 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 BSF
- La méthode de formulation utilisée, est appelée méthode théorique SABLOCRETE.;
- Les procédures expérimentales et les essais réalisés sur les différents bétons de sable fluide à base de déchets de fonderie à l'état frais et à l'état durci au cours de cette étude.

- Pour évaluer la durabilité du BSF à base de déchets de fonderie, nous avons choisi les essais d'absorption d'eau et les variations dimensionnelles (retrait et gonflement).

Chapitre 03 :
Résultats et interpétations

3.1 Introduction

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

3.2 Influence de déchets de sable de moulage sur le comportement du BSF

3.2.1 Caractéristiques du BSFSM à l'état frais

3.2.1.1 Etalement

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

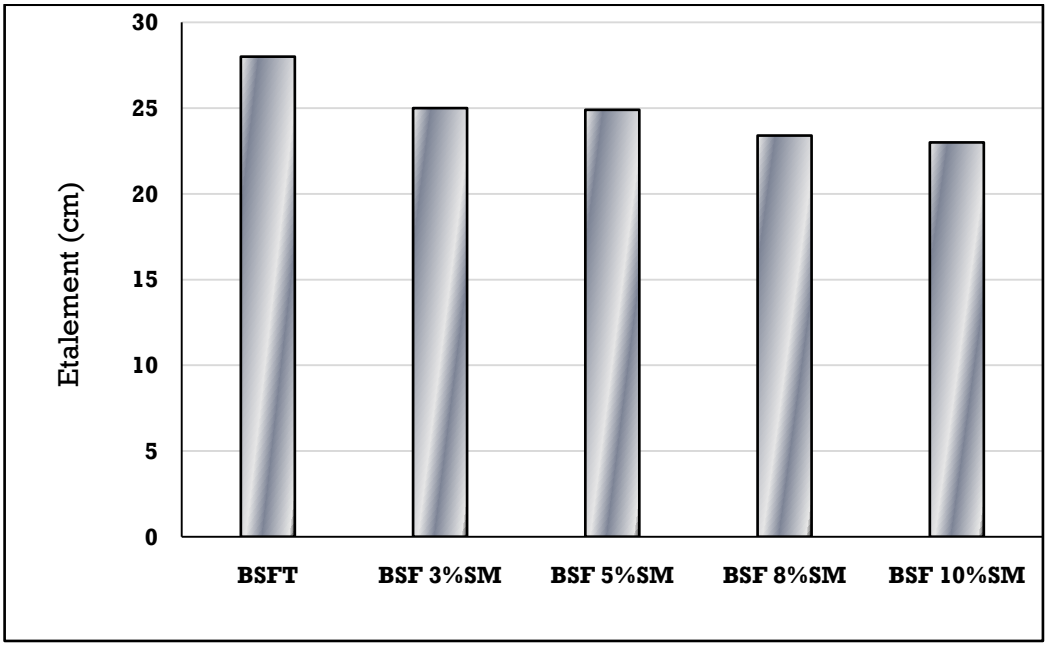


Fig.3.1 Étalement de BSF à base de déchets sable de moulage avant réglage.

D'après les figures ci-dessus, on remarque que l'étalement de bétons de sable fluide varie en fonction du pourcentage de substitution du sable par le sable de moulage. On constate aussi que plus le pourcentage de la poudre de sable de moulage augmente, plus l'étalement diminue. Cela est due peut être à la forme anguleuse de grain de sable moulage. Ce résultat confirme les résultats de Khatib et al. **[37].**

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

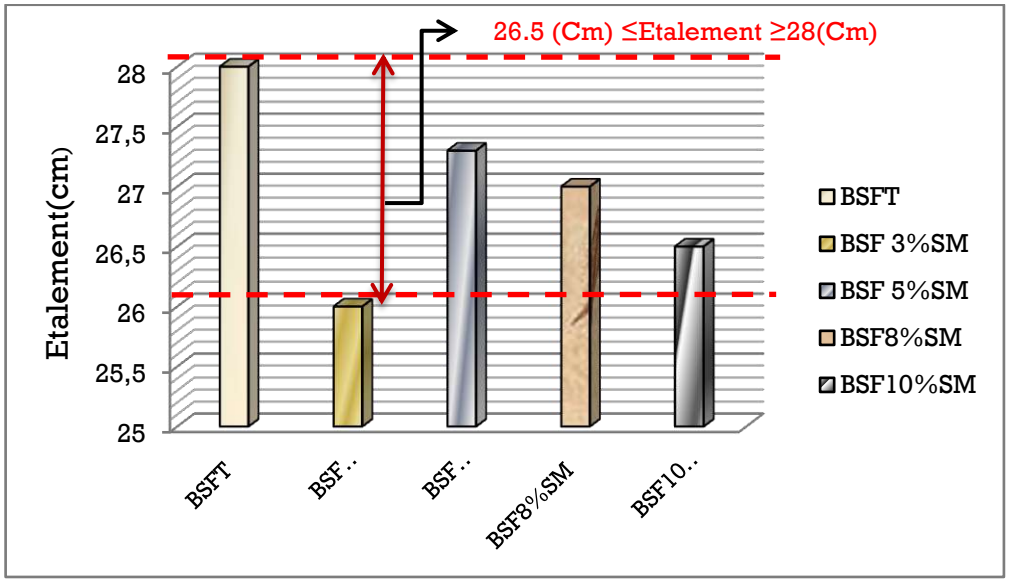


Fig.3.2 Etalement de BSF à base de sable de moulage après réglage.

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

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

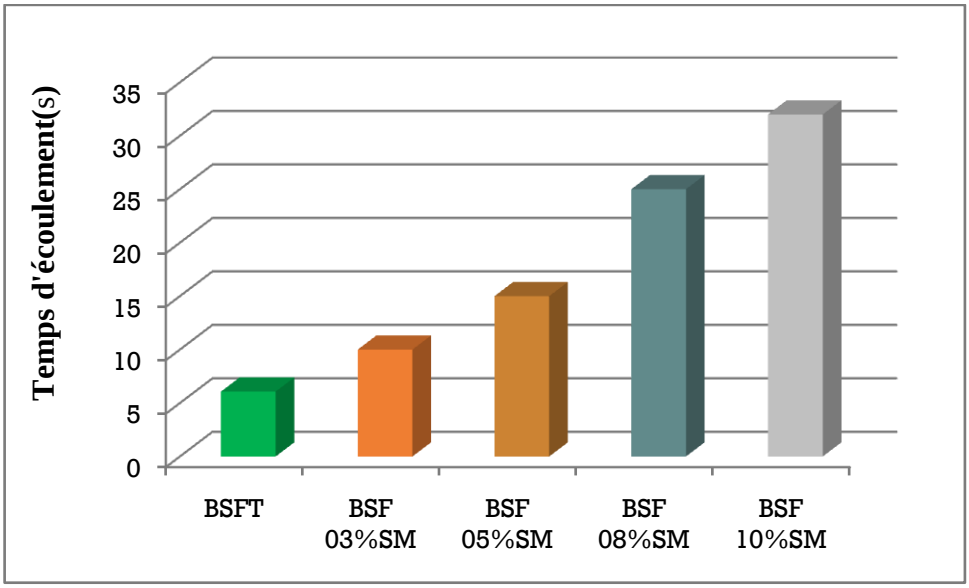


Fig.3.3 Temps d'écoulement de BSF à base de déchets sable de moulage.

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

3.2.1.3 Densité

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

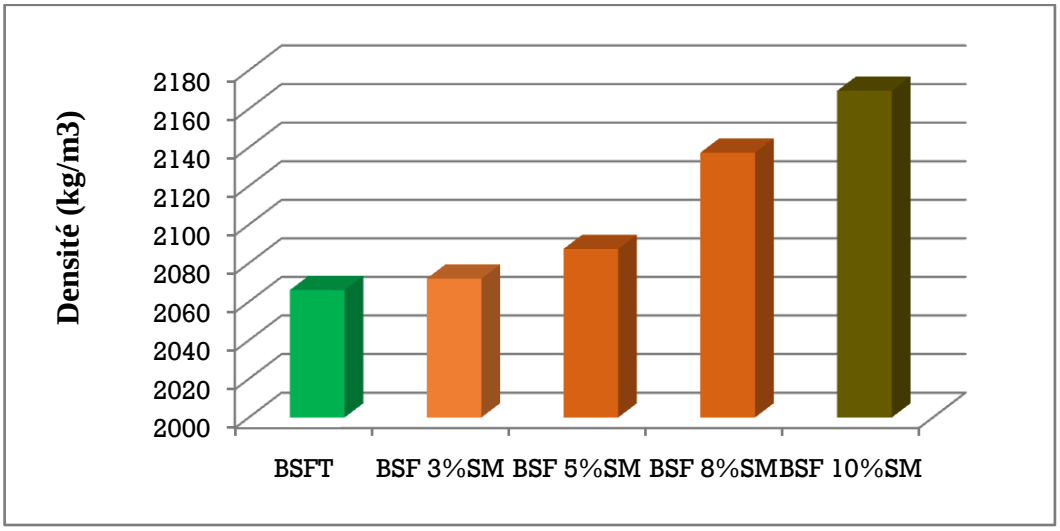


Fig.3.4 La densité des BSF à base de sable de moulage.

Les résultats obtenus montrent que la substitution du sable par le déchet sable de moulage augmente la densité de béton de sable fluide. Cette augmentation est due sans doute à la densité du sable de moulage qui est plus grand que celle du sable substitué.

3.2.2 Caractéristiques du BSFSM à l'état durci

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

3.2.2.1 Résistances à la compression

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

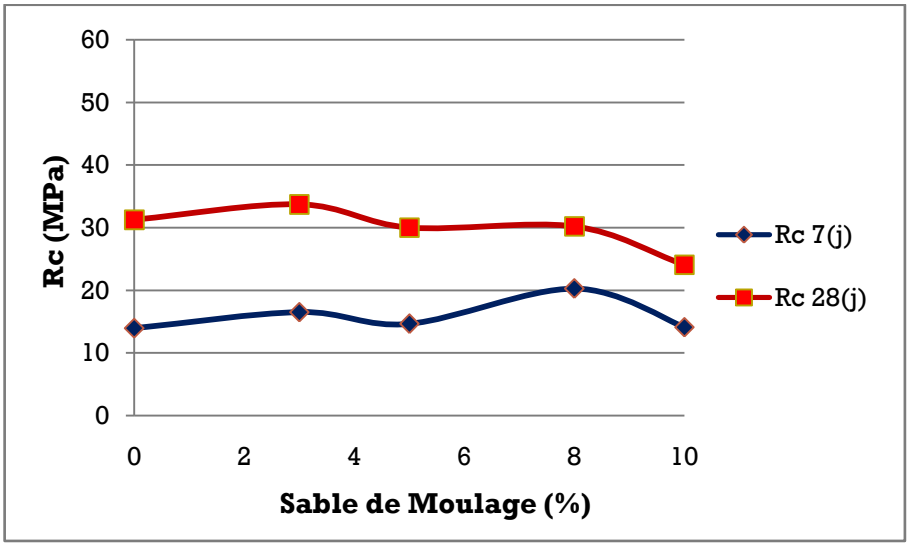


Fig.3.5 La résistance à la compression des BSF à base de sable de moulage.

Les résultats obtenus montrent que la résistance à la compression des différents bétons de sable fluide augmente en fonction de l'âge et suit la même cinétique que celle du béton de sable fluide de référence. La figure ci-dessus montre que quelque soit l'âge du béton la résistance à la compression argumente et passe par un optimum de 7% pour une substitution de 3 % du sable par le déchet sable de moulage à l'âge de 28 jours. Ce résultat est logique et attendu parce que les grains de sable de moulage incorporés dans la masse du BSF sont plus durs que celle du sable naturel substitué. Ce qui en concordance avec les résultats de Singh and Siddique **[45]** .Siddique et al. **[48,47]** ont aussi trouvé que la résistance à la compression du béton ordinaire augmente quand le remplacement du sable naturel par le déchet de sable de fonderie est plus que 30%.

3.2.2.2 Approche de durabilité

- **Absorption d'eau**

La figure 3.6 représentée l'essai de l'absorption capillaire de BSFSM.

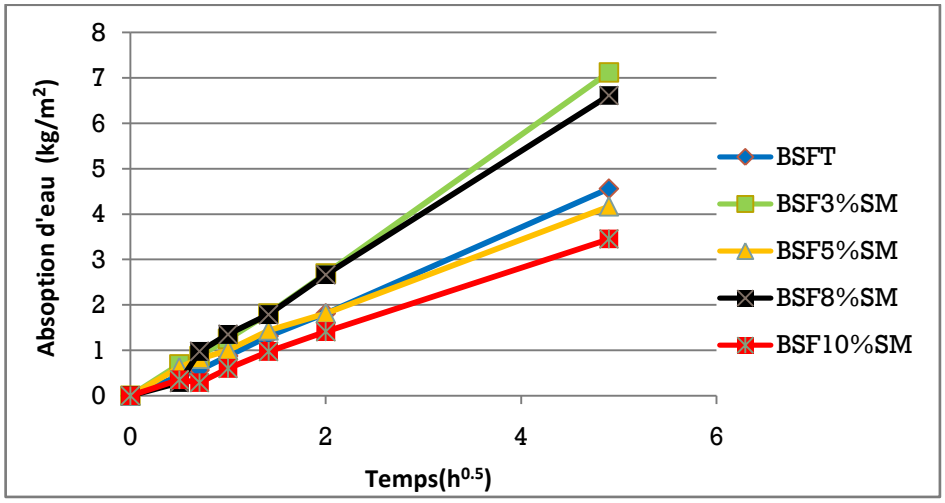


Fig.3.6 Absorption capillaire des BSF à base de sable de moulage.

A partir des résultats précédents on constate que l'absorption des bétons de sable fluide à base de déchets sable de moulage est nettement plus importante que celle du béton fluide de référence à l'exception de BSF 5% et BSF 10%. Cette augmentation est liée à la fois à l'incorporation de sable de moulage dans le béton, qui se traduit par une augmentation plus ou moins prononcée du volume de vides, associée à une diminution de la compacité du matériau, ainsi que à l'absorption de grain de sable de moulage incorporé par rapport à celle du grain de sable naturel. Ce résultat confirme les résultats de plusieurs chercheurs **[51].**

- **Retrait**

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

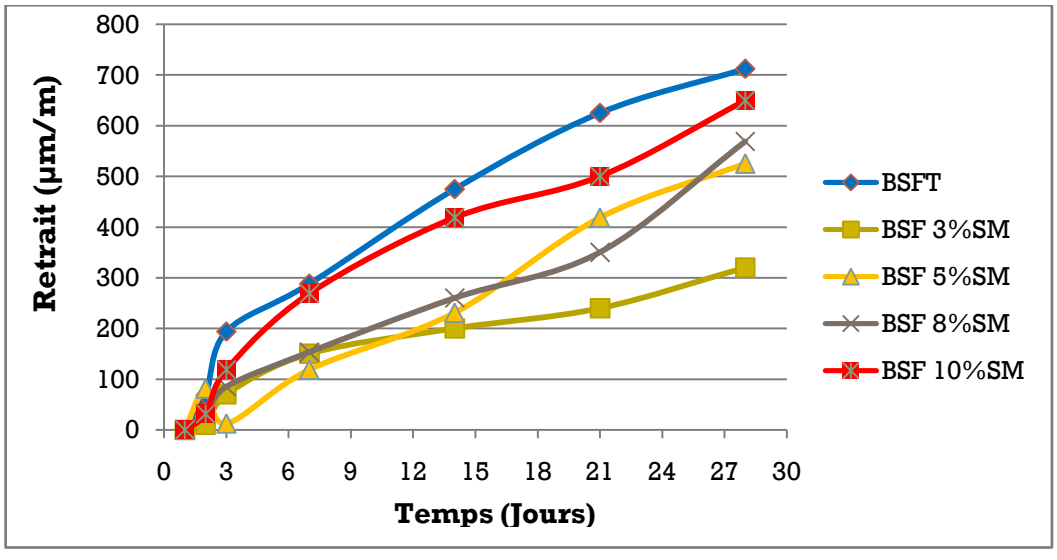


Fig.3.7 Le retrait des BSF à base de sable de moulage.

Nous pouvons remarquer clairement que le retrait de béton de sable fluide à base de sable de moulage est nettement moins important que celui du béton de sable fluide de référence. Cette diminution du retrait est liée probablement au module d'élasticité du sable de moulage qu'est moins important que celle de sable naturel. Cependant ces valeurs du retrait sont acceptables pour divers usages de béton structural. Khatib et Ellis **[55]** sont observés que le retrait total de béton vibré augmente en fonction d'augmentation de déchets de sable de fonderie.

- **Gonflement**

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

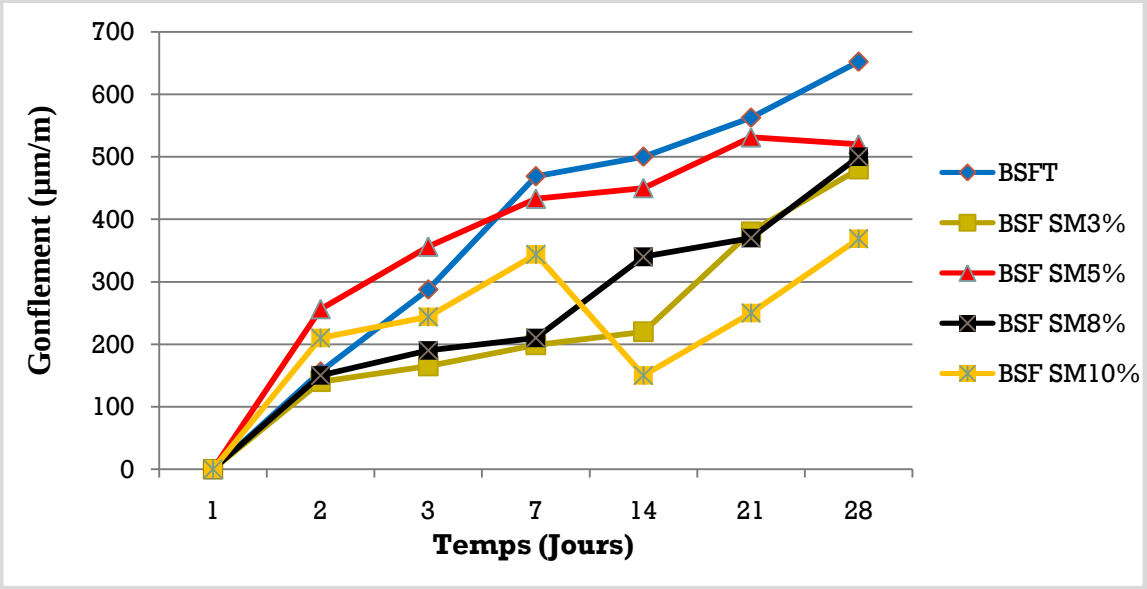


Fig.3.8 le gonflement du BSF à base de sable de moulage.

D'après les figures ci-dessus, on remarque que les valeurs de taux gonflement de tous les types de béton de sable fluide augmentent en fonction du temps. Les résultats obtenus montrent aussi que tous les bétons de sable fluide à base de sable de moulage ayant un gonflement moins important que celui du béton de sable de référence. Les valeurs du gonflement varient d'un béton à un autre selon le pourcentage de déchets sable de moulage. Cette variation est liée probablement à la porosité continuée de chaque type de BSF.

3.3 Conclusion

Sur la base des résultats obtenus on conclut que :

- L'étalement de BSF est diminué et le temps d'écoulement en fonction d'augmentation de pourcentage de sable de moulage.
- La densité de BSF augmente en fonction de substitution du sable par le sable de moulage.
- La résistance à la compression augmente de BSF et passe par un optimum de 7% pour une substitution de 3% du sable par les déchets de sable de moulage à l'âge de 28 jours.
- L'absorption capillaire de tous les BSF à base de sable de moulage de pourcentage de 3% et 8% est plus importante que celle de BSF témoin à l'exception de BSF 5% et BSF 10%.
- Les BSF à base de sable de moulage présentent un retrait et un taux de gonflement sous eau moins important par rapport au BSF témoin.

3.4 Influence de déchets de fonte sur le comportement du BSF

3.4.1 Caractéristiques du BSFPF à l'état frais

3.4.1.1 Etalement

Les résultats sont représentés sur un histogramme (Figures 3.9 et 3.10) nous permet de comparer les valeurs du l'étalement des différents bétons de sable fluide réalisés.

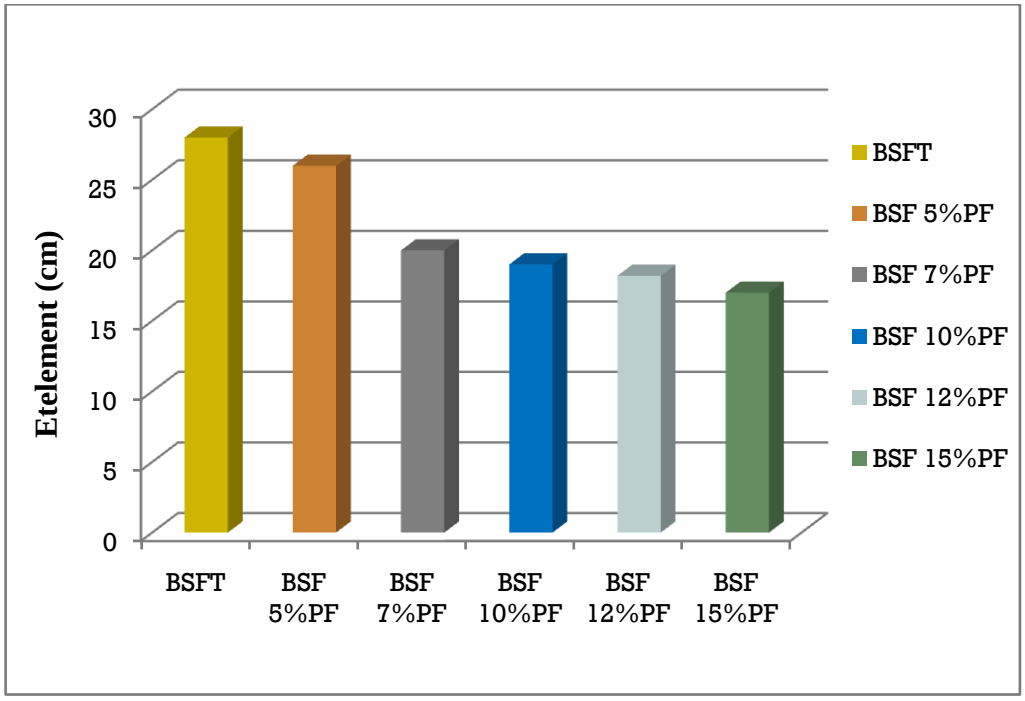


Fig.3.9 Étalement de BSF à base de poudre de fonte.

D'après les résultats obtenus, on remarque que l'étalement de bétons de sable fluide varie en fonction du pourcentage de d'addition de poudre de fonte. On constate aussi que plus le pourcentage de poudre de fonte augmente, plus l'étalement diminue. Cela est due peut être à la forme anguleuse de grain de fonte additionné au BSF. Ce résultat est en concordance avec les résultats de Khatib et al. **[37]**

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

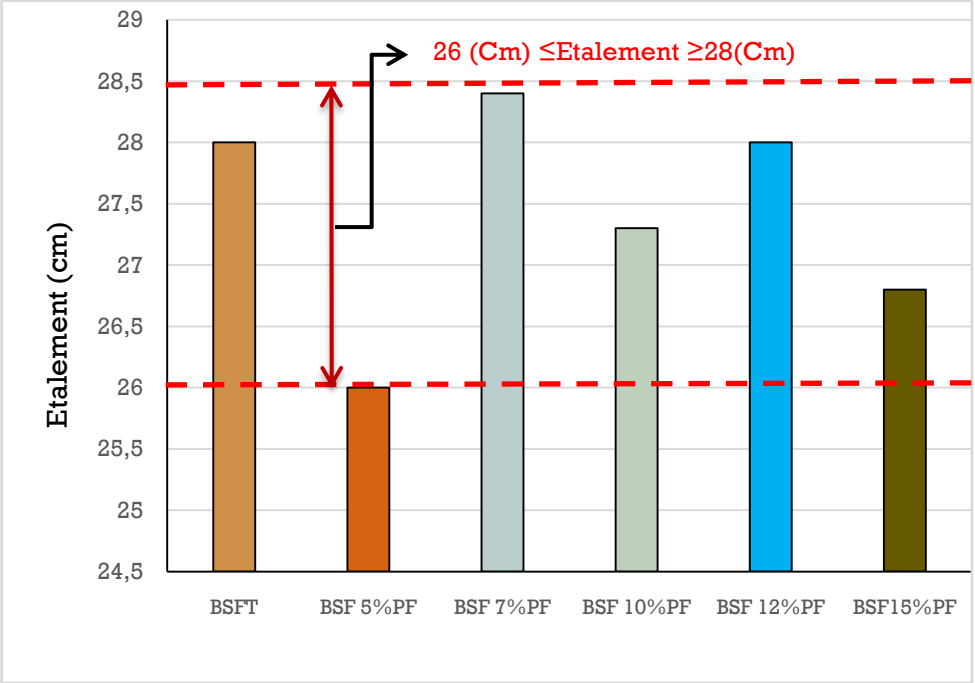


Fig.3.10 Étalement de BSF à base de poudre de fonte après réglage.

3.4.1.2 Temps d'écoulement dans l'entonnoir (V-Funnel)

Le temps d'écoulement des différents bétons de sable fluide obtenus est représenté dans la figure 3.11 ci-dessous :

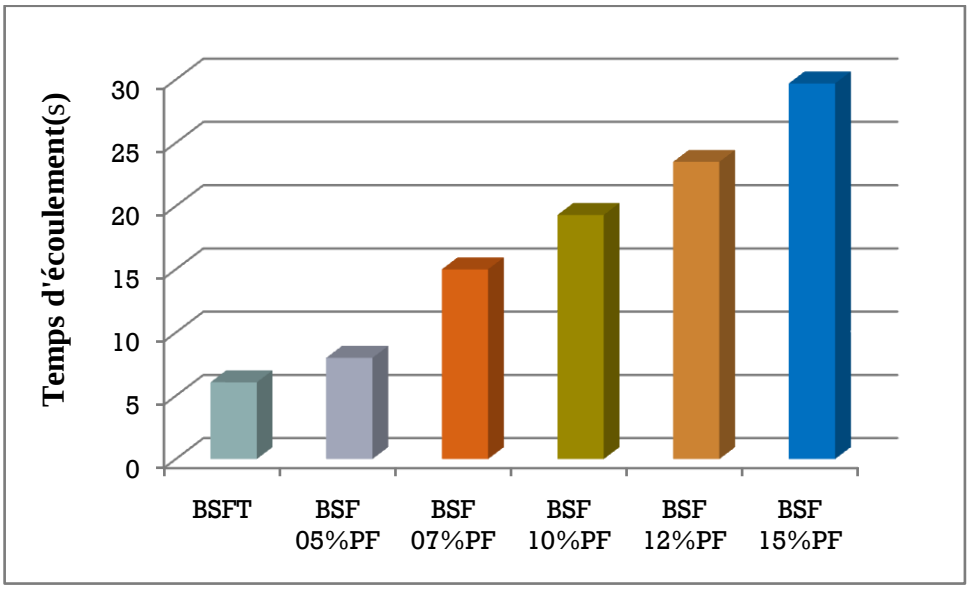


Fig.3.11 Temps d'écoulement de BSF à base de poudre de fonte.

3.4.1.3 La densité

La densité des différents bétons réalisés est résumée dans l'histogramme suivant :

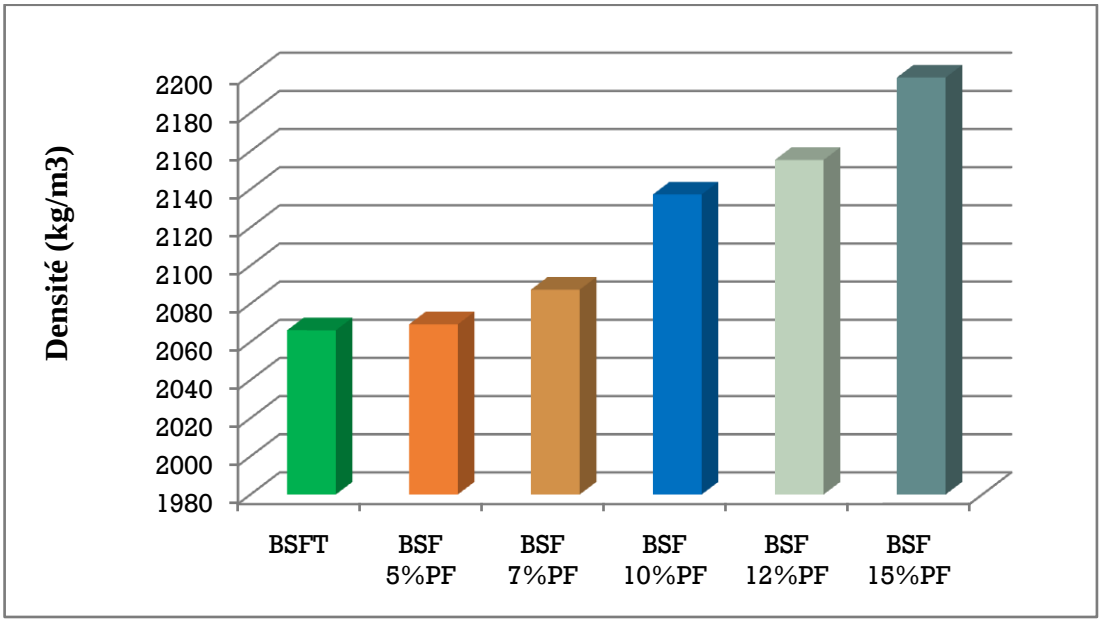


Fig.3.12 La densité du BSF à base de poudre de fonte.

A partir des résultats précédents on constate que la densité de BSF augmente en fonction d'augmentation d'adition de pourcentage de poudre de fonte. Cette augmentation est due sans doute à la densité de fonte qui est plus important que celle du sable naturel. Basar et al. **[40]** ont étudié l'influence de substituions de (0%, 10%, 20%, 30% et 40%) du sable par le déchet de sable de fonderie. Ils ont trouvé que plus le pourcentage de sable de fonderie augmente plus la densité diminue.

3.4.2 Caractéristiques du BSF à l'état durci

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

3.4.2.1 Résistances à la compression

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

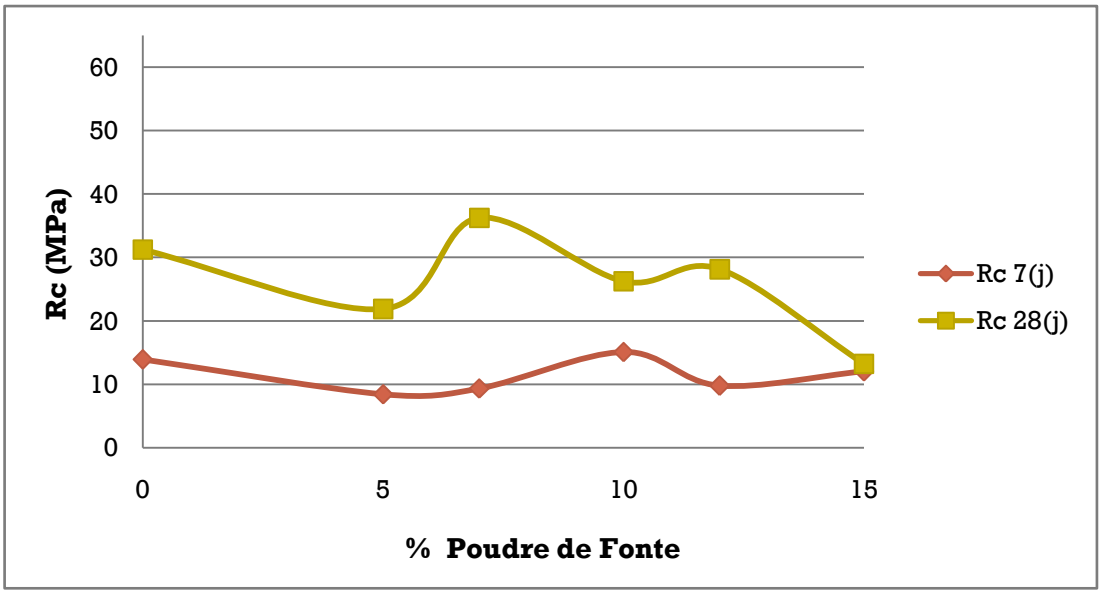


Fig.3.13 La résistance à la compression des BSF à base de poudre de fonte.

D'après les résultats trouvés on remarque que la résistance à la compression des différents bétons de sable fluide augmente en fonction de l'âge et suit la même cinétique que celle du béton de sable fluide de référence. La figure ci-dessus montre que quelque soit l'âge du béton la résistance à la compression argumente et passe par un optimum de 14% pour une addition de 10% de poudre de fonte à l'âge de 28 jours. Ce résultat est logique et attendu parce que les grains de déchets de fonte incorporés dans la masse du BSF sont plus durs que celle du sable naturel. Ce résultat confirme les résultats trouvé par Siddique et al**. [41]**

3.4.2.2 Approche de durabilité

- **Absorption d'eau**

La figure ci-dessous présente les résultats d'essai de l'absorption capillaire de BSF PF.

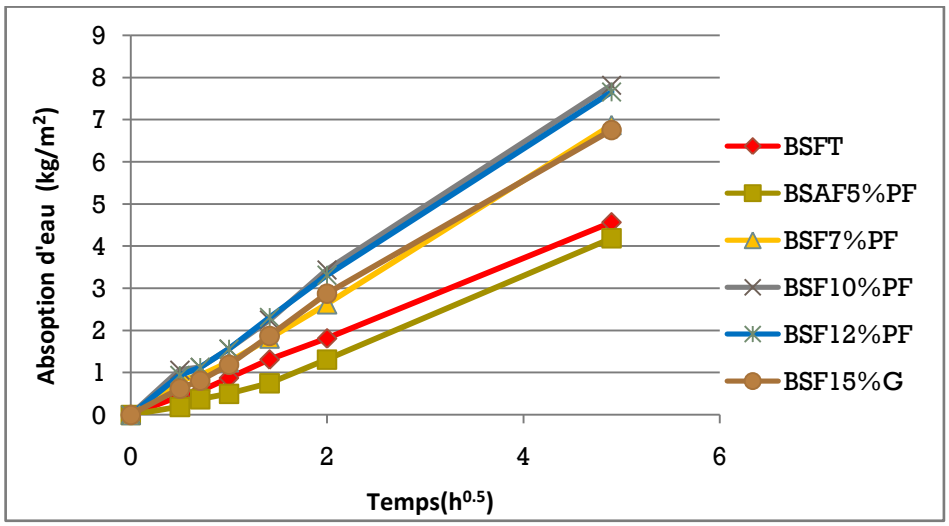


Fig.3.14 Absorption capillaire des BSF à base de poudre de fonte.

A partir des résultats précédents on constate que l'absorption de bétons de sable fluide à base de poudre de fonte est nettement plus importante que celle du béton de sable fluide de référence. Cette augmentation est liée à la fois à l'incorporation de déchets de fonte dans le BSF, qui se traduit par une augmentation plus ou moins prononcée du volume de vides, associée à une diminution de la compacité du matériau, ainsi que à l'absorption de déchets de fonte incorporé. Les résultats obtenus montrent aussi que les BSF à base de 5% à un taux d'absorption moins important que celle du béton de sable fluide témoin. Ce résultat est en concordance avec plusieurs études, qui ont montré que l'addition de déchets de sable fonderie influe négativement sur l'absorption capillaire du béton ordinaire **[51].**

- **Retrait**

Les résultats obtenus des mesures de retrait du béton de sable fluide sont regroupés aux courbes de figures 3.15 ci-dessous :

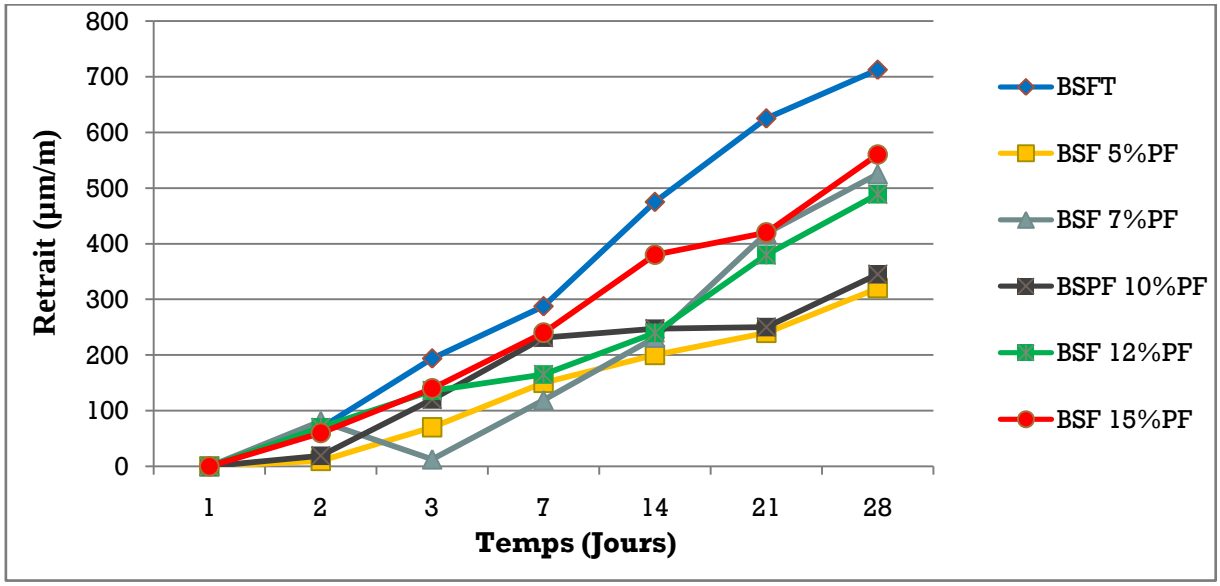


Fig.3.15 Le retrait de BSF à base de poudre de fonte.

Nous pouvons remarquer clairement que le retrait de béton de sable fluide à base de poudre de fonte est nettement moins important que celui du béton de sable fluide de référence. Cette diminution du retrait est liée probablement à l'absorption de déchets de fonte qu'est probablement moins importante que celle du sable naturel ainsi que au module d'élasticité de déchets de fonte incorporé. Cependant ces valeurs du retrait sont acceptables pour divers usages de béton structural. Khatib et al. **[37]** ont trouvé que l'incorporation de fillers de fonderie influé négativement sur le retrait du béton ordinaire.

- **Gonflement**

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

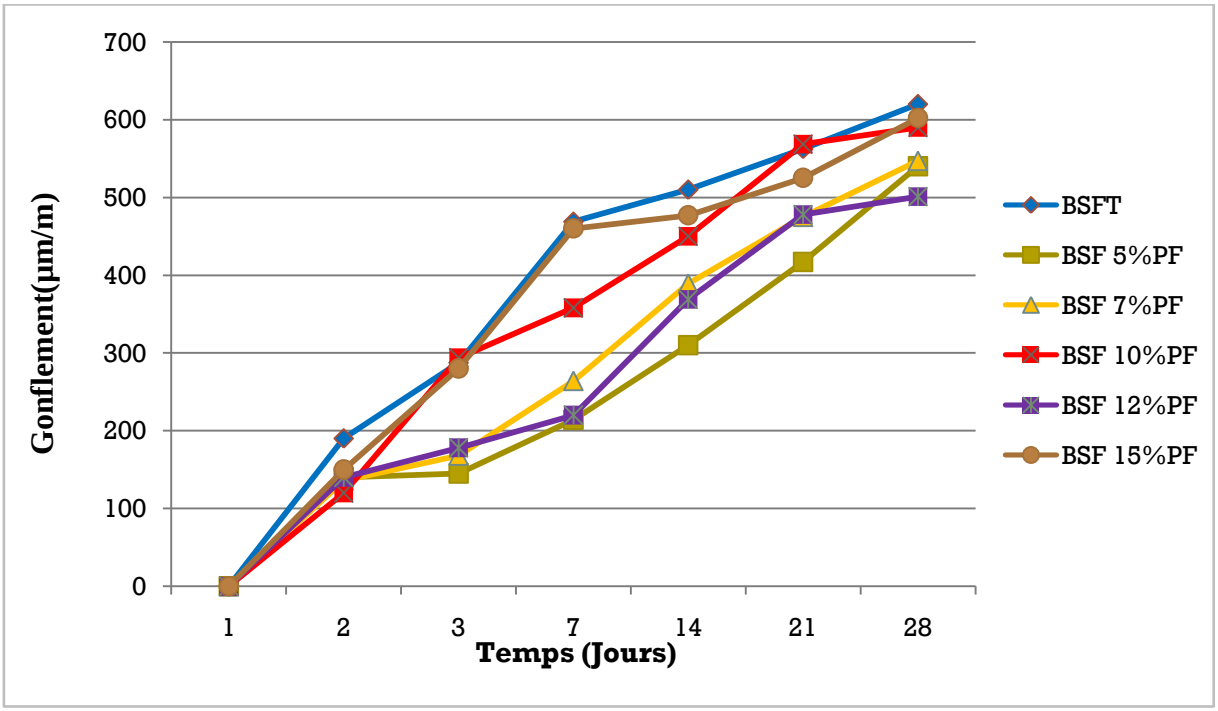


Fig.3.16 Le gonflement de BSF à base de poudre de fonte.

D'après les figures ci-dessus, on remarque que les valeurs de taux gonflement de tous les types de béton de sable fluide augmentent en fonction du temps. Les résultats obtenus montrent aussi que tous les bétons de sable fluide à base de déchets de fonte ayant un gonflement sus eau moins important que celui du béton de sable fluide de référence. Cette diminution est liés peut être à l'absorption capillaire initiale et la porosité de chaque type de BSF.

3.5 Conclusion

Sur la base des résultats obtenus on conclut que :

- L'étalement de BSF est diminué et le temps d'écoulement augmente en fonction d'augmentation de pourcentage de poudre de fonte.
- La densité de BSF augmente en fonction d'augmentation de pourcentage d'addition de poudre de fonte à la masse du BSF.
- La résistance à la compression de BSF augmente et passe par un optimum de 14% pour une adition de 10% de poudre de fonte à l'âge de 28 jours.
- L'absorption capillaire de tous les BSF à base de poudre de fonte est plus importante que celle de BSF témoin.
- Les BSF à base de poudre de fonte présentent un retrait et un gonflement moins important par rapport au BSF témoin.

Conslusions générales

Conclusions générales

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

- L'étalement des BSF diminue et le temps d'écoulement augmente en fonction d'augmentation de sable de moulage et de poudre de fonte.
- La substitution du sable par les déchets de sable de moulage ou l'ajout de poudre de fonte augmente la densité du béton de sable fluide.
- La résistance à la compression augmente d'environ (7%) et (14%) en fonction de substitution de 3% du sable naturel par le sable de moulage et de 10% d'addition de poudre de fonte respectivement.
- L'absorption capillaire de tous les BSF à base de sable de moulage ou de poudre de fonte est plus importante que celle de béton de sable fluide de référence.
- Les BSF à base de sable moulage ou de poudre de fonte présentent un retrait et un gonflement moins important par rapport au BSF témoin.

Sur la base des résultats obtenus, on peut conclure que l'utilisation des déchets de fonderie (sable de moulage et poudre de fonte) constitue une alternatif économique, environnementale et technologique très importante pour le pays. L'utilisation de ces types de béton (BSF à base de sable de moulage ou de poudre de fonte) est conseillé pour les différent voie de construction (béton structurel, dallage, route, chaussé, réparation, ouvrage d'art…..)

Recommandations

Recommandations

Nous recommandons ce qui suit :

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

-Valorisation d'autres types de sable de moulage et de déchets de fonte dans le BSF.

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

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

- Durabilité de BSF à base de déchets de fonderie.

-Influence de haute température sur le comportement de BSF à base de sable de fonderie et de poudre de fonte.

-Effet synergétique de sable de fonderie et de poudre de fonte sur le comportement et durabilité de BSF.

Références Bibliographiques

Références bibliographiques

[1] MICHEL M." Valorisations des déchets et des sous-produits industriels "EdMassion, Paris (1981).

[2]https://www.futura-sciences.com/planete/definitions/developpement-durable-recyclage 5774/.

[3] SPERANDIO K., *i*dentification des facteurs mobilisateurs des stratégies de gestion des déchets ménagers mises en oeuvre par les collectivités locales, thèse de doctorat, l'institut national des sciences appliquées de Lyon, 2001.

[4] CourardL."Valorisation des déchets et sous-produits dans le génie civil" Notes de cours (Université de Liège, Faculté des Sciences Appliquées, Service des Matériaux deConstruction, 1998), 195 p.

[5] Recyclage " Encyclo-ecolo.com " l'encyclopédie écologique, 2014.

[6] Quebaud M., "Caractérisation des granulats recyclés - Etude de la composition et du comportement de bétons incluant ces granulats", Thèse de doctorat, Université d'Artois, France, décembre 1996.

[7] http://www.reliance-foundry.com/blog/definition-fonderie-fr#gref.

[8] http://www.fonderieart.com/.

[9] http:// www.champery.ch/no/traditions-patrimoine/fonderie-de-cloches.html

[10]https://www.google.com/search?q=la+fonderie+de+cloche+definition&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahU.

[11] http://dictionnaire.sensagent.leparisien.fr/Fonderie%20typographique/fr-fr/.

[12]http://www.reliance-foundry.com/site/reliance-foundry/images/blog/posts/tapping-out-induction-furnace-2-large.jpg.

[13] http://www.ilocis.org/fr/documents/ilo053.htm.

[14] https://www.dictionnaire-environnement.com/sable_de_fonderie_ID524.html.

[15]http://www.ecoumenegolf.org/BTravauxEntretien/Prop.%20chimiques%20du%20sable%2032.PDF.

[16] OKAMURA H., OZAWA K. "Self-compactable high performance concrete", International Workshop on High Performance Concrete, American Concrete Institute, Detroit, pp. 31-44, 1994.

[17] http://souspression.canalblog.com/archives/2011/09/07/21929497.html.

[18] philippe.berger2.free.fr/productique/ressources/metallurgie/fontes/fontes.htm.

[19]https://www.google.com/search?biw=1366&bih=604&tbm=isch&sa=1&ei=dj3zWrbABMGiU5KwjNAG&q=la++poudre de fonte.

[20] http://www.ctif.com/connaissances/base-de-connaissances/glossaire-fonderie/.

[21] http://iris.univ-lille1.fr/bitstream/handle/1908/4533/42163-90.pdf?sequence=1.

[22] ACI, „"Processes, Self-Compacting Concrète"", Advanced Concrète Technology III, 203.9/3, (2003).

[23] Benaissa A ; Morlier P ; Viguier C ; Cauvin J. J **.** "Cinétique de dessiccation et retrait du béton de sable." Annales de l'institut technique du bâtiment et de travaux publics. juin 1992.

[24] ERIC F ; STEPHANE F."Le béton de sable appliqué au chaussées routières", infrastructure, Montréal, Crein, Vol.9, 5 Juill -Août. 2002.

[25]BENMALEK. M. L**.** " contribution à l'étude des bétons de sables dunaires pour éléments de structures", Thèse de magister, Université de Constantine, Oct1992.

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

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

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

[29] BELFERRAG Allaoua, Valorisation des fibres métalliques issues des déchets pneumatiques dans les bétons de sable de dunes, Mémoire MAGISTER juin 2006.

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

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

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

[33] BENAISSA A., MORLIER, P. ., VIGUIER, C. ., CAUVIN J.J., "Cinétique de dessiccation et retrait du béton de sable", Annales de l'institut technique du bâtiment et de travaux publics (ITBTP) N°504, juin 1992.

[34] Ambroise J., Prea J. et Sari M., "L'adjuvantation des bétons de sable", Rapport de recherche, Institut National des Recherches Appliquées, INSA, Lyon, Septembre 1993.

[35] DREUX G et FESTA J., « Nouveau guide du Béton et de ses constituants », Eyrollesn Huitième édition, Paris 1998.

[36] J.S. Joy, M. Mathew, Experimental study on geopolymer concrete with partial replacement of fine aggregate with foundry sand, Int. J. Adv. Technol. Eng. Sci. 3 (2015) 559–569.

[37] J.M. Khatib, S. Baig, A. Bougara, C. Booth, Foundry Sand Utilization in Concrete Production, in: J. Zachar, P. Claisse, T.R. Naik, E. Ganjian (Eds.), Second International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies, 2010: p. 8. Doi : ISBN 978-1-4507-1490-7.

[38] Y. Aggarwal, R. Siddique, Microstructure and properties of concrete using bottom ash and waste foundry sand as partial replacement of fine aggregates, Constr. Build. Mater. 54 (2014) 210–223, http://dx.doi.org/10.1016/ j.conbuildmat.2013.12.051.

[39] G.G. Prabhu, J.H. Hyun, Y.Y. Kim, Effects of foundry sand as a fine aggregate in concrete production, Constr. Build. Mater. 70 (2014) 514–521, http://dx.doi. org/10.1016/j.conbuildmat.2014.07.070.

[40] H. Merve Basar, Nuran Deveci Aksoy , The effect of waste foundry sand (WFS) as partial replacement of sand on the mechanical, leaching and micro-structural characteristics of ready-mixed concrete, Construction and Building Materials 35 (2012) 508–515

[41] R. Siddique, Y. Aggarwal, P. Aggarwal, E.H. Kadri, R. Bennacer, Strength, durability, and micro-structural properties of concrete made with, Constr. Build. Mater. 25 (2011) 1916–1925, http://dx.doi.org/10.1016/ j.conbuildmat.2010.11.065

[42] T.R. Naik, S.S. Singh, B.W. Ramme, Performance and leaching assessment of flowable slurry, J. Environ. Eng. 127 (2001) 359–368.

[43] T.R. Naik, R.N. Kraus, B.W. Ramme, F. Canpolat, Effects of fly ash and foundry sand on performance of architectural precast concrete, J. Mater. Civil Eng. 24 (2012) 851–859, http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000432.

[44] T.R. Naik, Utilization of used foundry sand in concrete, 6 (1994) 254–263.

[45] G. Singh, R. Siddique, Effect of waste foundry sand (WFS) as partial replacement of sand on the strength, ultrasonic pulse velocity and permeability of concrete, Constr. Build. Mater. 26 (2012) 416–422, http://dx. doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.06.041

[46] E.P. Salokhe, D.B. Desai, Application of foundry waste sand in manufacture of concrete, IOSR J. Mech. Civil Eng. (IOSR-JMCE) (2013) 43–48.

[47] R. Siddique, R. Gupta, I. Kaur, Effect of spent foundry sand as partial replacement of fine aggregate on the properties of concrète., in: 22nd International Conference on Solid Waste Technology and Management., 2007.

[48] R. Siddique, G. De Schutter, A. Noumowe, Effect of used-foundry sand on the mechanical properties of concrete, Constr. Build. Mater. 23 (2009) 976–980, http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2008.05.005.

[49] S.C. Pathariya, J.K. Rana, P.A. Shah, J.G. Mehta, A.N. Patel, Application of waste foundry sand for evolution of low-cost concrete, Int. J. Eng. Trends Technol. (IJETT) 4 (2013) 4281–4286.

[50] Bavita Bhardwaj, Pardeep Kumar, Waste foundry sand in concrete: A review, Construction and Building Materials 156 (2017) 661–674

[51] H.M. Basar, N.D. Aksoy, The effect of waste foundry sand (WFS) as partial replacement of sand on the mechanical, leaching and micro-structural characteristics of ready-mixed concrete, Constr. Build. Mater. 35 (2012) 508–515, http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.04.078.

[52] G. Singh, R. Siddique, Abrasion resistance and strength properties of concrete containing waste foundry sand (WFS), Constr. Build. Mater. 28 (2012) 421–426, http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.08.087.

[53] G. Kaur, R. Siddique, A. Rajor, Properties of concrete containing fungal treated waste foundry sand, Constr. Build. Mater. 29 (2012) 82–87, http://dx.doi.org/ 10.1016/j.conbuildmat.2011.08.091.

[54] J.M. Khatib, B.A. Herki, S. Kenai, Capillarity of concrete incorporating waste foundry sand, Constr. Build. Mater. 47 (2013) 867–871, http://dx.doi.org/ 10.1016/j.conbuildmat.2013.05.013.

[55] J.M. Khatib, D.J. Ellis, Mechanical properties of concrete containing foundry sand, ACI Spec. Publ. 200 (2001) 733–748, http://dx.doi.org/10.14359/10612.

[56]R. Siddique, E. Kadri, Effect of metakaolin and foundry sand on the near surface characteristics of concrete, Constr. Build. Mater. 25 (2011) 3257–3266, http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.03.012.

[57] NF EN 933-8, 1999, « Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats. Partie 8: Evaluation des fines. Equivalent de sable », AFNOR.

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

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

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

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

[62] NF 15-301, Normes Européenne : "Ciments courants ",1994.

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

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

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

[66] NF P 15-471, Normes AFNOR : « Méthodes d'essais des ciments - Partie 1 : Détermination des résistances mécaniques », Aout 1995.j.

[67] Ibrahim Messaoudene, et al. Effet des fillers de laitier et marbre sur la durabilité des ciments Portland dans des environnements de sulfate, XXXe Rencontres AUGC-IBPSA Chambéry, Savoie, 6 au 8 juin 2012.

[68] EFNARC recommandations, 2002, "The European guidelines for self-compacting concrete, specification, production and use", EFNARC Edition, united kingdom, p.63.

[69] NF EN 12350-9 a présente norme européenne spécifie la méthode de détermination de la durée d'écoulement à l'entonnoir en v pour le béton autoplaçant.

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

[71] NA 436 ,1992-08-20 «béton frais, détermination de la consistance-essais d'affaissement».Norme algérienne.

[72] NF EN 12390-2, 2001, « Essai pour béton durci. Partie 2 : Confection et conservation des éprouvettes », AFNOR.RILEM Procédions PRO 7, Paris pp109-120.

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

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

[75] [NF P 18-404], Normes AFNOR : « Essais pour béton durci - Partie 1 : Forme, dimensions et autres exigences relatives aux éprouvettes et aux moules », Décembre 1989.

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

Annex

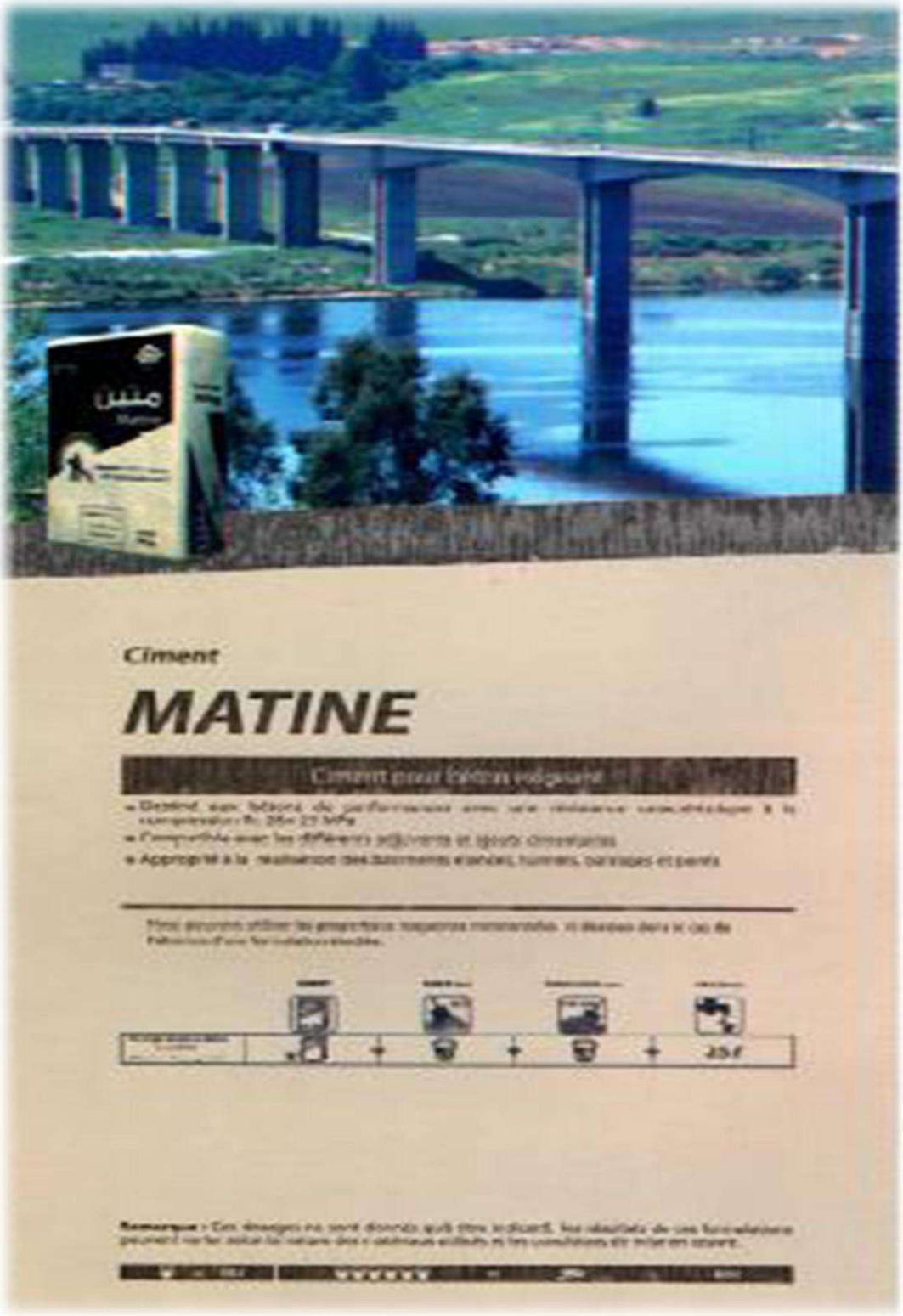


Fig. A. 1 Ciment MATINE utilisé.

LAFARGE
لافارج

FICHE TECHNIQUE

MATINE

Ciment pour béton exigeant

CEM II/A 42.5 R NA 442

MATINE est un ciment gris de hautes résistances initiales et finales, résultat de la mouture du clinker obtenu par cuisson jusqu'à la fusion partielle (clinkérisation) d'un mélange convenablement dosé et homogénéisé de calcaire et d'argile.

Ce ciment est constitué d'oxydes minéraux dont les principaux sont la chaux (CaO) à fonction basique et la silice (SiO_2) à caractère acide. On trouve également l'alumine (Al_2O_3) et le fer (Fe_2O_3). ils sont rendus aptes à réagir entre eux et avec l'eau par traitement thermique à des températures comprises entre 1300 et 1500°c. En présence d'eau a lieu la réaction d'hydratation consistant en la formation d'un réseau résistant (propriété hydraulique) constitué principalement de microcristaux de silicates de calcium hydratés.

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

Domaine d'utilisation :

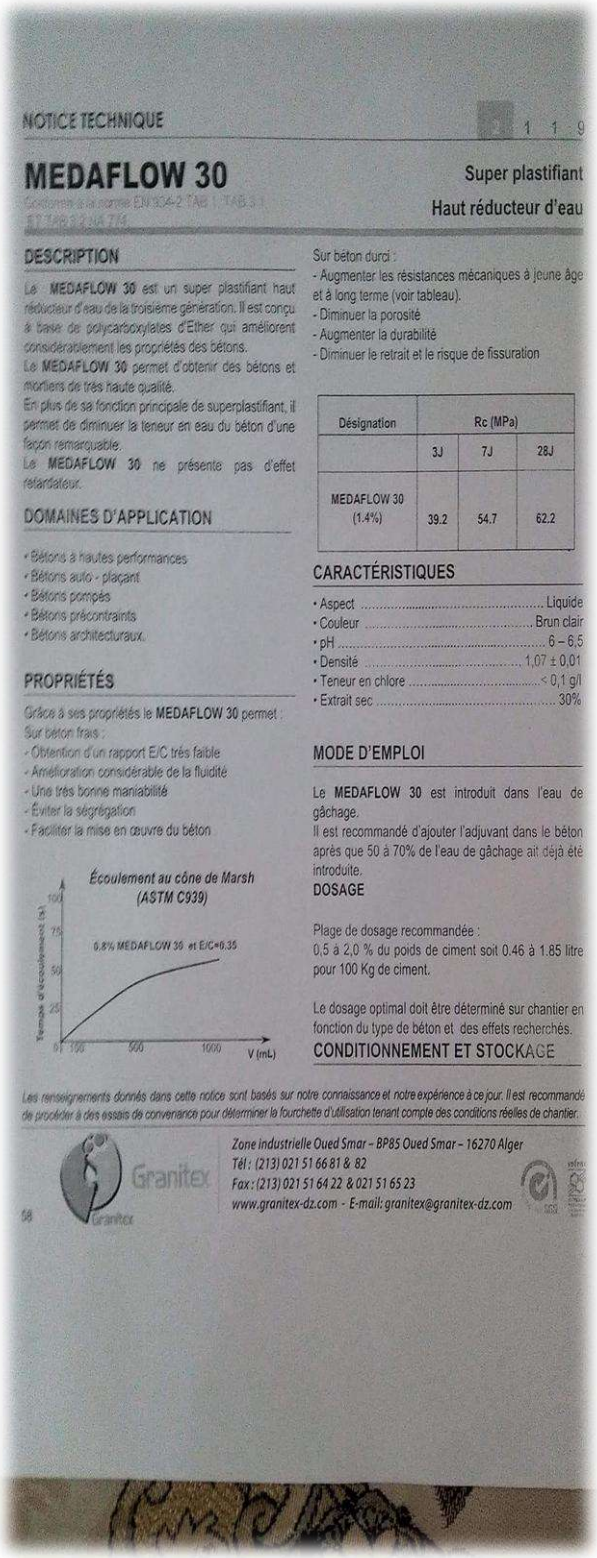
MATINE est utilisé pour tous les projets courants qui nécessitent des hautes résistances mécaniques mais ne présentent pas un besoin spécifique dans les ouvrages en béton qui ne sont pas exposés à des conditions sévères comme l'attaque des sulfates du sol ou de l'eau, ainsi que dans les ouvrages dans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

Les principales applications de ce ciment sont :

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

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

Fig. A.2 La fiche technique ciment.



NOTICE TECHNIQUE

2 1 1 9

MEDAFLOW 30

Super plastifiant
Haut réducteur d'eau

Conforme à la norme EN 934-2 TAB 1 - TAB 3.1
ET TAB 2.2 NA 774

DESCRIPTION

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

DOMAINES D'APPLICATION

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

PROPRIÉTÉS

Grâce à ses propriétés le **MEDAFLOW 30** permet :
Sur béton frais :
- Obtention d'un rapport E/C très faible
- Amélioration considérable de la fluidité
- Une très bonne maniabilité
- Éviter la ségrégation
- Faciliter la mise en œuvre du béton

Écoulement au cône de Marsh (ASTM C939)

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

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

CARACTÉRISTIQUES

- Aspect ..... Liquide
- Couleur ..... Brun clair
- pH ..... 6 – 6,5
- Densité ..... 1,07 ± 0,01
- Teneur en chlore ..... < 0,1 g/l
- Extrait sec 30%

MODE D'EMPLOI

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

DOSAGE

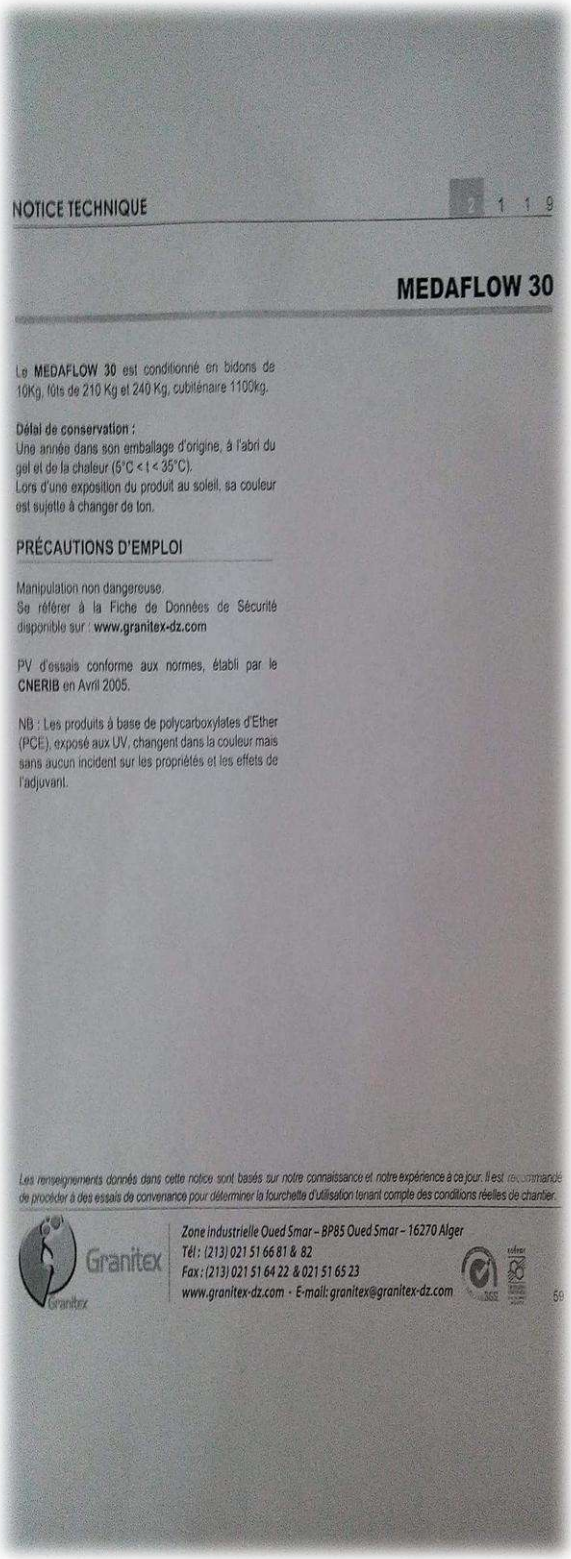
Plage de dosage recommandée :
0,5 à 2,0 % du poids de ciment soit 0.46 à 1.85 litre pour 100 Kg de ciment.

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

CONDITIONNEMENT ET STOCKAGE

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

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



NOTICE TECHNIQUE

2 1 1 9

MEDAFLOW 30

Le **MEDAFLOW 30** est conditionné en bidons de 10Kg, fûts de 210 Kg et 240 Kg, cubiténaire 1100kg.

Délai de conservation :
Une année dans son emballage d'origine, à l'abri du gel et de la chaleur (5°C < t < 35°C).
Lors d'une exposition du produit au soleil, sa couleur est sujette à changer de ton.

PRÉCAUTIONS D'EMPLOI

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

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

NB : Les produits à base de polycarboxylates d'Ether (PCE), exposé aux UV, changent dans la couleur mais sans aucun incident sur les propriétés et les effets de l'adjuvant.

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

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

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



Fig. A.4 Tamiseuse électrique.



Fig. A.5 Malaxeur.





Fig. A.6 broyage par broyeur.



Fig. A.7 essai de l'étalement**.**



Fig. A.8 essai v-funnel.