REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA



Faculté de **T**echnologie

Mémoire de fin d'études de Master

Filière : Génie Civil
Spécialité : Matériaux

Formulation et caractérisation d'un mortier fibré à base des déchets industriels

Présenté par

M^{lle}.ben zaibak Hafida
M^{me}. hatchene hassina

Proposé et Dirigé par
M^{me} : blaifi habiba
Dr: Gundouz Mohamed

Promotion Juin 2021

REMERCIEMENTS

Le présent travail

a été réalisé au sein du laboratoire du béton

De Hall de Technologie de Médéa.

On tient à remercier en premier lieu DIEU "Allah" Miséricordieux

Qui nous a donné la force et la volonté d'achever ce modeste travail.

On adresse nos remerciements à nos encadreurs ***Dr. GUENDOUZ Mohamed*** *et* ***M^{elle} BOUKHELKHAL Djamila*** *et* ***M^{me} blaifi habiba,*** *on le remercie de nous avoir encadré, orienté, aidé et conseillé pour la réalisation de ce travail.*

Et sans oublier à remercier les responsables de laboratoires GC de l'UV de Médéa

Qui nous ont aidé et fournit les moyens pour réaliser cette recherche.

On voudrait remercier nos familles

(Qu'on dédie ce travail) pour leurs soutiens et leurs encouragements.

Finalement, merci pour toutes personnes qui

Nous ont aidés de près ou de loin.

Hassina

&

Hafida

DEDICACE

Je remercie Dieu tout puissant qui m'a donné toute la volonté et la patience pour aboutir à la réalisation de ce travail. Je dédiée ce modeste travail : A mon source de douceur, de tendresse, d'amour et affection et grâce au encouragement et aux sacrifices qu'elle a consentis j'ai pu arriver à réaliser ce travail, ma très chère mère. A mon très cher père , pour les sacrifices qu'il a consentis pour mon éducation et pour l'avenir qu'il m'a cessé d'offrir. A , mes chers frère (Mohamed islam) et toutes mes chères sœurs(ghalia ,nassima). Aces qui m'ont soutenu, encouragée, apprécie mon efforts et crées le milieu favorable, l'ambiance joyeuse et l'atmosphère joviale pour mon procurer ce travail, mes chers sœurs à dieu: fatmazohra, Hayat , Hafida , khira, Khadîdja, yassmine, Asma , A mes chères amis : Khadîdja , Mona , silya, Sara, hajer, manel, hind… et tous mes amis sans exception qui j'ai passée des bonnes moments avec-ils. A mon cher ami et mon binôme : Hassina A Toute ma promotion. A tout ce qui j'aime et tout ce qu'ils m'aiment. Toutes ces personnes que j'ai senties redoutable de leur dédier ce modeste travail en termes d'amour et de profonde gratitude.

Hafida

DEDICACE

Je remercie Dieu tout puissant qui m'a donné toute la volonté et la patience pour aboutir à la réalisation de ce travail. Je dédiée ce modeste travail : A mon source de douceur, de tendresse, d'amour et affection et grâce au encouragement et aux sacrifices qu'elle a consentis j'ai pu arriver à réaliser ce travail, ma très chère mère. A mon très cher père ,et mon chère(Mustapha) et ma belle (mayssouma) pour les sacrifices qu'il a consentis pour mon éducation et pour l'avenir qu'il m'a cessé d'offrir. A , mes chers frère (abd elnour Salim Lotfi) et toutes mes chères sœurs (dahbia Naima souila ratiba). Aces qui m'ont soutenu, encouragée, apprécie mon efforts et crées le milieu favorable, l'ambiance joyeuse et l'atmosphère joviale pour mon procurer ce travail, mes chers sœurs à dieu : ichrak ,fatmazohra , Hayat , Hafida , khira , Khadîdja, yass mine, Asma , A mes chères wissam ,serin ,lokman,ishak,akram, amine,ibtihal,khiredin ,et ma famille Agueb … et tous mes amis sans exception qui j'ai passée des bonnes moments avec-ils. A mon cher ami et mon binôme : Hafida A Toute ma promotion. A tout ce qui j'aime et tout ce qu'ils m'aiment. Toutes ces personnes que j'ai senties redoutable de leur dédier ce modeste travail en termes d'amour et de profonde gratitude.

Hassina

ملخص

الهدف الرئيسي من هذا المشروع هو المساهمة في تثمين نفايات السيراميك والألياف الحديدية و دمجها بشكل حجمي في كتلة الخرسانة الرملية المائعة بنسب مختلفة (10٪، 20٪، 30٪، 40٪، 50٪) في حالة نفايات السيراميك و(0.5 و1٪) في حالة (الألياف) مع دراسة خصائصها في الحالة الرطبة و في الحالة الصلبة ومقارنتها مع خرسانة رملية مائعة عادية.

وقد أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن تدفق الخرسانة الرملية المائعة تنخفض بزيادة النسبة المئوية نفايات السيراميك والألياف الحديدية.من جهة اخرى أظهرت النتائج أن الخصائص الميكانيكية للخرسانة الرملية المائعة قد تحسنت. 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 les déchets de céramique et fibres métalliques et les incorporés dans la masse du béton de sable fluide (avec un ajout en cas de fibre (0.5%, 0,75% et 1%) et par substituions volumique en cas des déchets céramiques (10% ,20%,30%,40% et50%). Les propriétés à l'état frais et à l'état durci des différents mélanges réalisés ont été analysées et comparées aux bétons témoin respectifs.

Les résultats obtenus montrent que l'étalement de béton de sable fluide est diminué en fonction d'augmentation de pourcentage de fibres métalliques et de déchets céramique. Par ailleurs les performances mécaniques de béton de sable fluide sont améliorées. Donc, il est possible d'obtenir un nouveau éco-matériau de construction utilisable pour différents types d'éléments de construction.

Abstract

The main objective of this project is to valorization of ceramic waste and steel fiber and incorporates them into the mass of flow able sand concrete (with an addition in the case of fiber (0.5%, 0.75% and 1%) and by volume substitutions in the case of ceramic waste (10%, 20%, 30%, 40% and 50%) The properties in the fresh state and in the hardened state of the various mixtures produced were analyzed and compared with the respective control concretes.

The obtained results show that the spreading of flow able sand concrete is reduced according to the percentage increase of steel fibers and ceramic waste. Furthermore, the mechanical performance of flowable sand concrete is improved. So, it is possible to obtain a new eco-building material that can be used for different types of building elements.

sommaire

Sommaire

Remerciements

Dédicace

ملخص

Résume

Abstract

Sommaire

Liste des tableaux

Liste des figures

Listes des symboles et des abréviations

Introduction général

CHAPITRE 01 : SYNTESE BIBLIOGRAPHIQUE

1.1 Introduction générale……..…01

1.2 Céramique et Déchets céramique……...…….…….....02

1.2.1 Introduction ……....02

1.2.2 céramique et types céramique…….…….....…….... 02

- Définition de céramique ……..……...…02

1.2.3 types de céramique ……....04

1.2.3.1 composition chimique de céramique…….....08

1.2.3.2 fabrication de la céramique rouge.…….09

1.2.3.3 utilisation de la céramique rouge ……....13

1.3 béton de fibres.…….……...……15

1.3.1 définition de béton de fibres .……..…….....15

1.3.2 déférents types de fibres ……..……...…16

1.3.3 compostions des fibres dans le béton ……..….26

1.3.4 utilisation des fibres dans le béton ……....27

- Utilisation des fibres à l'usines ……27
- Utilisation des fibres au chantier ……....27

1.3.5 moyens d'utilisation des fibres 28

1.4 Le béton de sable ……...28

1.4.1 Introduction ……..28
1.4.2 Origines de béton de sable ……29
1.4.3 Définition ……..30
1.4.4 Les composants du béton de sable ……30
1.4.5 formulation du béton de sable ……32
1.5 Influence de déchets céramique rouge sur les propriétés des matériaux cimentaires……..50
1.6 Conclusion …….50

CHAPITRE 02 : MATERIAUX ET ESSAIS

2.1 Introduction……..51
2.2 Caractérisation des Matériaux utilisés……...…...51
2.2.1 Le sable…….....51
2.2.2 Ciment ……..…….....53
2.2.3 Ajouts (fillers)……..… ……...….....55
2.2.4 Adjuvant…….....…….....56
2.2.5 Eau de gâchage ……...……..……...…..56
2.2.6 Déchets de céramique rouge …….....56
2.2.7 fibres……57
2.3 Composition des mélanges ……..…….…….....58
2.4 Malaxage et conservation…….....61
2.5 Essais réalisés à l'état frais.……...….....62
2.5.1 Etalement au mini-cône…….….....62
2.6 préparation et conservation des éprouvettes …….....63
2.7 Essais réalisés à l'état durci……...……...64
2.7.1 Résistance a la compression ……..……...…..64
2.8 Variable étudiées ……...…..…..…...……...66
2.9 Conclusion…….……...……68

CHAPITRE 03: RÉSULTATS ET INTERPRÉTATION

3.1 Introduction 69

3.2 Influence de déchets céramique sur le comportement du BSF……69

3.2.1 Caractéristiques du BSF à l'état frais……..……...….69

3.2.1.1 Etalement…….……...….69

3.2.2 Caractéristique du BSF à l'état durci…….……...…….70

3.2.2.1 Résistances à la compression.....70

3.3 Conclusion…….70

Conclusions générales……...……74

Annexe ……..……75

Références bibliographiques ….……80

Liste des figures

Liste des figures

Fi g1.1 Produit Céramique……..…….….03

Fig1.2 Vase en céramique, Théodore Deck, XIX^{e} siècle.……04

Fig.1.3 une toiture en tuiles ……..……..04

Fig1.4 Les Faïences-Matériaux albigeois Elodie…….....05

Fig. 1.5 Brique creux et Brique plaine …….……..05

Fig1.6 Dalle de sol …….…….……..…...06

Fig1.7 Porcelaine …….……..…07

Fig1.8 Fabrication de céramique……...……...11

Fig1.9 fabrication des tuiles …….…….…..…….….12

Fig1.10 Fabrication de dalle de sol ……..…….…...13

Fig1.11 Carrelage au sol ……...…...14

Fig1.12 Le carrelage fait le mur …….…….…….....15

Fig1.13 Les fibres organique et inorganique.……...….……..16

Fig1.14 Fibre de verre et Fibre de carbone broyer .……..17

Fig1.15 Formes des fibres métalliques ……..18

Fig1.16 Fibres polypropylène.……..…...…….19

Fig1.17 Les fibres naturelles …….....…..……20

Fig1.18fibre de polyester PET de LEFICO.…….……...……..21

Fig1.19 Les différents types des fibres des feuilles.……..……...…..22

Fig.1.20 Feuille de vigne naturelle et fossile……..…22

Fig.1.21 Les différents types des fibres des tiges……23

Fig.1.22 Les différents types des fibres de bois……..…23

Fig.1.23 Les différents types des fibres synthétiques…….…..….25

Fig.1.24 Les différents types des fibres minérales……...…..26

Fig.1.25 Carte de déserts dans le monde……..……..28

Fig.1.26 Phare de port Saïd réalisé en Béton aggloméré Coignet (Egypt)…….……...29

Fig.1.27 Schéma explicatif de l'apparence du BS pur, BS chargé et du béton traditionnels.30

Fig.1.28 le béton de sable en projection ……..……..34

Fig.1.29 Influence du diamètre D du sable sur le dosage en fines……..……..……..38

Fig.1.30 Influence de la dimension d sur la porosité minimale du béton pour deux tailles du sable……..…….…….....39

Fig.1.31 Relation entre l'ouvrabilité et le dosage (e + v) d'une matrice pour une mise en œuvre donnée……...….40

Fig.1.32 Coefficient d'activité du filler calcaire (modèle)……..……..42

Fig.1.33 Organigramme de la méthode théorique……...……...……...….44

Fig.1.34 Evolution de la maniabilité en fonction du dosage en fines d'addition …….……...49

Fig.1.35 masse volumique apparente en fonction du dosage en fines d'addition ……...49

Fig2.1 Sable utilisé…….…..51

Fig2.2 Courbe granulométrique de sable utilisée…….....52

Fig2.3 Ciment MATINE…….……....53

Fig2.4 Procédure de recyclage déchets céramique rouge …….…..57

Fig2.5 Type de fibre métallique utilisé…….58

Fig2.6 Séquence de malaxage du béton de sable fluide…….……61

Fig2.7 procédure de malaxage au laboratoire……..…….……..62

Fig2.8 Mesure de l'étalement du béton de sable fluide…….…….…….....63

Fig2.9 Fabrication des éprouvettes……..…….…...63

Fig2.10 Dispositif de rupture à la compression……..…….64

Fig2.11 Presse Hydraulique (2000KN)…….…...65

Fig2.12 Essai de traction par flexion sur béton……..66

Fig2.13 Variables étudiées……..…….……67

Fig3.1. Étalement de BSF à base de déchets céramique et fibres métallique……..……..69

Fig3.2 La résistance à la compression à l'âge de 7 jours des BSF à base de déchets céramique et fibres métalliques……...70

Fig3.3. La résistance à la compression à l'âge de 28 jours des BSF à base de déchets céramique et fibres métalliques……..71

Fig3.4 La résistance à la traction par flexion à l'âge de 7 jours des BSF à base de déchets céramique et fibre métalliques……72

Fig3.5 La résistance à la traction par flexion à l'âge de 28 jours des BSF à base de déchets céramique et fibre métalliques……72

Fig. A.1 Ciment Matine utilisé…….…….....75

Fig. A.2 La fiche technique ciment…….…..……..75

Fig. A.3 fiche technique d'adjuvante utilisé…….…….....76

Fig. A.4 Los Angeles……..……...77

Fig. A.5 concassage par concasseur et broyage manuelle…….…….....77

Fig. A.6 les fibre……..78

Fig. A.9 Tamiseuse électrique…….78

Fig. A.10 Malaxeur …….78

Fig. A 11 essai de l'étalement…….79

Fig. A.12 Les éprouvettes avant l'écrasement essai de l'étalement……80

Fig. A.13 Les éprouvettes après l'écrasement……80

Liste des tableaux

Liste des Tableaux

Tableau 1.1.Céramiques classiques……..……8

Tableau 1.2. Produits électrotechniques……...……8

Tableau 1.3.Produits réfractaires……..……8

Tableau1.4.Verres……...……9

Tableau 1.5. Ordre des étapes selon lesquelles sont élaborés les cramiques .....…...9

Tableau 1.6. Relation entre la granulométrie et le dosage en ciment…….32

Tableau .2.1 Caractéristiques physique de sable et les déchets utilisés Caractéristiques Sable ……..…52

Tableau 2.2 Analyse chimique du ciment et composition du clinker…….54

Tableau .2.3 Caractéristique physiques du ciment …….55

Tableau.2.4 Evolution de la résistance du ciment en fonction de l'âge …….55

Tableau.2.5 Caractéristiques physiques des fins de marbre utilisé…….56

Tableau 2.6 Caractéristiques physiques de déchet de fonderie utilisé……...…….57

Tableau 2.7 Caractéristiques de Fibre…….58

Tableau 2.8 Compositions des Béton de sable fluide à base déchet céramique pour (1m3)...60

Tableau 2.9 Essais sur bétons durci…….……64

Liste des symboles et des abriviations

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 tétra calcique

$CaCO_3$: 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

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

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

b: Côte de l'éprouvette

ε : porosité totale (%)

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

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

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

BSFT : Béton de sable fluide témoin.

BSFT : Béton de sable fluide témoin.

BSFDCR : Béton de sable fluide à base de déchets céramique rouge.

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 générale

Introduction générale

L'Algérie est un pays en développement, ce qui augmente le taux de déchets générés par les acteurs économiques. La prise en charge des déchets est parmi les priorités inscrite par les pouvoirs publiques, d'autant plus que les déchets peuvent être injecter directement dans plusieurs domaines, notamment le secteur de la construction, qui s'intéresse de plus en plus à la valorisation des déchets, vu l'obligation de la prise en charge des déchets par la réglementions en vigueur, et l'importance économique, environnementale ainsi que technique que certains déchets inertes (marbres ,fibre métalliques, produits céramiques…...etc.). La recherche actuelle sur les matériaux s'intéresse au développement de nouveaux composites et matériaux de construction. Parmi ces matériaux, qui peuvent être exploités, notamment le marbre ,sous forme de poudre, et les fibre métallique utilisés comme fibres de renfort.

Ce travail consiste à utiliser des résidus de céramique après avoir été écrasés, séchés, puis incorporés dans le béton de sable en remplaçant le volume de sable par des pourcentages (10%.20%, 30%, 40%, 50%).

Ainsi, le composé final est un béton de sable à base de fondations céramiques, quel que soit le ciment. Chaque matériau de base qui constitue ces matériaux est utilisé soit pour récupérer des matériaux locaux, soit pour réutiliser des déchets industriels. Aux fins de l'étude, les matériaux utilisés sont:

- Un seul type de sable: c'est du sable à Wadi Souf.
- Marbre

Pour atteindre ces objectifs, le travail présenté suit une approche pas à pas centrée sur les trois chapitres suivants:

Dans le premier chapitre, nous présentons une synthèse bibliographique qui combine les généralités du béton de sable liquide, l'activité de recyclage et de recyclage des déchets de construction et les déchets céramiques et l'effet des déchets céramiques sur les propriétés des matériaux dans la construction.

Dans le chapitre deux, nous présentons les propriétés des matériaux de base, la formulation de béton sableux liquide et les techniques expérimentales utilisées pendant cette étude pour évaluer la durabilité:

La densité, la résistance à la compression, la résistance à la traction par flexion.

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

Enfin, des conclusions générales et des recommandations pour les travaux futurs sont présentées.

Chapitre I : Synthèse bibliographique

1.2 Céramique et déchets de Céramique

1.2.1 Introduction

L'évolution des concepts et des technologies, les exigences de plus en plus strictes en matière de protection de l'environnement et la révision des référentiels économiques inspirés du développement durable font que le recyclage et le recyclage des sous-produits industriels deviennent aujourd'hui un enjeu de préoccupation. homme. Le recyclage des déchets en génie civil est un secteur important, car les gens veulent des produits qui ne soient pas soumis à des normes de qualité trop strictes. La récupération et le recyclage des déchets ont deux effets très importants, le traitement de ces déchets pour résoudre l'impact environnemental, et l'utilisation de ces derniers dans le secteur industriel ou de la construction pour résoudre l'impact économique. Ce type de déchets présente les avantages suivants : grande quantité et faible valeur marchande.

1.2.2 Céramique et types céramique

- **Definition**

L'évolution des concepts et des technologies, les exigences de plus en plus strictes en matière de protection de l'environnement et la révision des référentiels économiques inspirés du développement durable font que le recyclage et le recyclage des sous-produits industriels deviennent aujourd'hui un enjeu de préoccupation homme [1]

Le recyclage des déchets en génie civil est un secteur important, car les gens veulent des produits qui ne soient pas soumis à des normes de qualité trop strictes. La récupération et le recyclage des déchets ont deux effets très importants, le traitement de ces déchets pour résoudre l'impact environnemental, et l'utilisation de ces derniers dans le secteur industriel ou de la construction pour résoudre l'impact économique. Ce type de déchets présente les avantages suivants : grande quantité et faible valeur marchande [1]



Fig1.1 Les produits céramique [1]

les céramiques traditionnelles), des nitrures et des carbures. Les propriétés caractéristiques des céramiques sont leur grande résistance mécanique, leur résistance à l'usure et leur longévité; chimiquement inertes, elles sont non toxiques, résistantes à la chaleur et au feu, et ont généralement des propriétés isolantes et parfois une porosité spécifique. en grains fins qui La surface spécifique est importante, ce qui rend difficile d'assurer un bon enveloppement du coulis de grenaille. Cela conduit à une augmentation de la quantité de ciment (non économique), qui libère plus de chaleur d'hydratation et endommage les grandes structures. De plus, des particules de sable très fines réduiront l'activité du ciment, diminuant ainsi considérablement la résistance mécanique du béton. D'autre part, en raison de la grande surface spécifique du ciment, l'absorption capillaire augmente, ce qui réduit l'imperméabilité du béton durci et augmente le retrait .

L'ajout d'autres matériaux, notamment industriels, est non seulement meilleur pour l'environnement, mais peut également améliorer certaines propriétés.

Certaines études ont montré le potentiel de différents types de granulats de déchets : briques, béton, caoutchouc, verre et plastiques, notamment PET. Compte tenu de leurs effets positifs sur certaines propriétés, on pense que les déchets céramiques sont utilisés comme additif dans la formulation des mortiers à base de sable de dunes pour améliorer leurs propriétés mécaniques (compression, traction, flexion), et pour observer les effets de ces paramètres sur utilisation à long terme. -Durabilité à long terme.



Fig1.2 Vase en céramique, Théodore Deck, XIX^{e} siècle [2]

1.2.3 Type de céramique

- **Céramique rouge**

  - **Les tuiles**

    Aujourd'hui encore ce type de toiture est l'une des plus courantes en France. Normal, quand on connaît ses qualités de résistance aux intempéries notamment et ses pouvoirs isolants. Une toiture en tuiles est aussi écologique car constituée de matériaux naturels. Sans oublier son esthétisme, très apprécié……[3]



Fig1.3 une toiture en tuiles [4].

- **Les faiences**

La faïence est le terme générique qui désigne les carreaux poreux émaillés fabriqués par pressage. Les carreaux de faïence sont constitués d'un support en pâte généralement blanche, dite biscuit, dont les composants de base sont l'argile, le kaolin, des produits siliceux et des fondants….[5].



Fig1.4 Les Faïences-Matériaux albigeois Elodie [6]

- **Brique**

Brique est un parallépipède rectangle de terre argileuse crue et séché au soleil ou cuite au four, utilisé comme matériau de construction. L'argile est souvent mêlée de sable. On distingue différent types de briques :

- brique de terre crue (qui peut aussi contenir des fibres (pailles, lin, crin..)
- brique cuite pleine matériau traditionnel très ancien,
- brique cuite creuse, inventée au XIXe siècle, plus légère et isolante qui est de nos jours de loin la plus utilisée.
- brique non gélive
- brique réfractaires, pour la construction des fours, chaudières, foyers, cheminées, etc La brique pleine peut être laissée apparente ou être employée comme matériau de parement, tandis que la brique creuse, qui présente l'avantage d'être plus légère et plus isolante, est généralement enduite…….[7]



Fig1.5 Brique creux et Brique plaine [8]

- **Dalle de sol**

Plaque dimensionnée de marbre, pierre, céramique, verre, métal, béton, etc., plus grande qu'un carreau, employée en nombre pour le revêtement de sols ou de murs. Grand espace ouvert constitué par un sol artificiel réunissant des immeubles modernes à un niveau dit rez-de-dalle.

- **Alpinisme**

Paroi rocheuse, plus ou moins redressée, lisse et sans fissure.

- **Bâtiment**

Plancher monobloc en béton armé, solidaire de ses appuis, allégé ou non par des corps creux et raidi ou non par des nervures.

- **Géologie**

Plaque de roche limitée en épaisseur par deux surfaces parallèles provenant d'un débit naturel ou d'un sciage. [9]



Fig1.6 Dalle de sol [10]

- **Céramique blanc**

- **La porcelaine**

C'est un matériau naturel traditionnel pour la fabrication des W.-C., élaboré à partir d'argile et de substances minérales On le trouve dans de nombreuses couleurs, même si le blanc est toujours prédominant. Facile à nettoyer car très lisse, la porcelaine possède une **bonne**

résistance à l'usage des produits ménagers, y compris à l'eau de Javel et aux produits anticalcaires.

Les W.-C. en porcelaine ont pour principal défaut **leur fragilité**, ce qui ne présente pas d'inconvénient majeur pour un usage familial, mais les rend **inadaptés à une utilisation dans une collectivité**…….[11]



Fig1.7 Porcelaine [12]

➢ Vase blanc en terre cuite

- grand **vase blanc** a été fabriqué en **terre cuite** à la force des bras, sur un tour à pied.
- Ensuite il a été séché à l'air libre puis entreposé dans des fours pour la cuisson.
- Slim le peint enfin à la peinture mate dans différents coloris. Ici, le blanc mat illuminera votre décoration.
- L'argile est extraite à la pelle et à la pioche, puis elle est plongée dans un bassin plein d'eau. Ensuite elle est pétrie sous les pieds nus des artisans. Une fois ferme, elle passe au pétrissage manuel pour préparer la motte destinée à la fabrication des poteries. L'objectif de la manœuvre est de supprimer toute bulle d'air, qui serait fatidique à la cuisson du grand vase] blanc….. [13]

1.2.3.1 Composition chimique de Céramique

la composition de certains matériaux en argile….. [14]

Tableau 1.1.Céramiques classiques.[14]

Composition	argile	Kaolin	feldspath	Craie	Talc	Quartz
Grés	80	-	-	-	-	20
Faïence	50	-	20	(20)	(20)	30
Porcelainedure	3	42	25	5	-	25
vitréous	50	-	25	-	-	25

Tableau 1.2. Produits électrotechniques [14]

Composition	Argile	kaolin	feldspath	Craie	Talc	Alumine	Carbonate de barium
Stéatite	-	5	-	-	80	-	20
Porcelainealumineuse	3	42	25	5	-	25	-
Produitalumineux	-	10	-	-	10	80	-
Vitréous	50	-	25	-	-	25	-

Tableau 1.3. Produits réfractaires [14]

Composition	argile	Chamotte	Cianite	talc	Alumine	Carbonate de ba
Silico alumineux	20	80	-	80	-	20
Mullite	-	-	80	-	20	-
Cordierite	40	-	-	40	20	-

Tableau1.4. Verres [14]

Composition	Quartzite	Carbonate de NA	Craie	Borax	Quartz pur
Verre a vitre standard	60	20	20	-	-
pyrex	60	10	20	10	-

1.2.3.2 Fabrication de la céramique rouge

Les céramiques sont élaborées selon l'ordre montré dans le tableau 1.5 ci-dessous. [14]

Tableau 1.5. Ordre des étapes selon les quelles sont élaborés les Céramique

Famille de céramiques	1ère étape	2ème étape	3ème étape
Céramiques traditionnelles ou techniques	Poudre	Mise en forme	Traitement thermique
Verres	Poudre	Traitement thermique	Mise en forme
Liants minéraux	Traitement thermique	Poudre	Mise en forme

- **La brique**

La brique d'argile est l'un des plus anciens matériaux de construction connus. Servit-elle à édifier la tour de Babel il y a 12 000 ans? La question reste posée, mais la brique servit en tout cas pour construire Babylone 3 000 ans avant Jésus-Christ, puis les ouvrages colossaux des Romains, la Grande Muraille de Chine et certaines cathédrales (Lubeck, Albi). Bien utilisée, elle défie les siècles et les intempéries. De nos jours, la fabrication en est entièrement mécanisée : traitement de la pâte (autrefois, les ouvriers piétinaient l'argile humide), façonnage, séchage (il durait jadis près de deux ans) et cuisson. Les fours modernes peuvent traiter jusqu'à trois millions de briques à la fois, à une température de 900 à 1000 °C, 1250 °C pour les briques vernissées. Parfois, la présence de sel dans l'atmosphère de cuisson confère aux produits une légère glaçure. La brique bien cuite est lisse d'aspect et rend un son clair ; la brique mal cuite est friable et rend un son sourd [14].

➢ Les faïences

Sont des terres cuites recouvertes en surface d'un émail qui les rend imperméables aux liquides. La fabrication s'effectue en deux stades : d'abord établissement et cuisson de l'objet, appelé alors "biscuit de faïence", puis émaillage et nouvelle cuisson pour durcir le décor. Suivant la composition de la pâte et la nature de l'émaillage, on obtient des faïences différentes. Elles servent à l'exécution de poteries culinaires, de vaisselle plus ou moins décorée, d'appareils sanitaires ou de carreaux de revêtement. Si par émaillage la faïence est rendue imperméable, elle reste toutefois fragile et sensible aux brusques changements de température. C'est pourquoi les carreaux de faïence, qui offrent un choix de couleurs et de motifs variés, ne sont utilisés qu'en revêtement mural. Faciles à entretenir, ils ne sont pas attaqués par les acides et ne se rayent que difficilement. Ils sont couramment employés pour protéger les murs des locaux humides (salles de bains, cuisines, etc.) ou pour créer une note décorative sur une table ou sur un plan de travail. En principe, ils résistent à la chaleur, veillez cependant à ne pas les exposer à une température trop élevée qui ferait fissurer l'émail et enlèverait au carreau ses qualités d'étanchéité. Les carreaux de faïence sont en général de forme carrée (150 mm x 150 mm ou 108 mm X 108 mm) ou rectangulaire (100 mm x 150 mm), et d'une épaisseur assez faible, de 4 à 6 mm. Vous pourrez constater que, parmi les nombreuses fabrications présentées sur le marché, il existe parfois une énorme différence de prix de vente. Cela provient du mode de fabrication des carreaux qui peuvent être soit émaillés en continu sur une chaîne automatique (carreaux unis, jaspés...), soit émaillés, puis décorés à la main un par un pour reproduire un motif donné. Ce dernier procédé (encore utilisé de nos jours et dans la plus pure tradition artisanale) est évidemment d'un coût plus élevé … [14]



Fig1.8 Fabrication de céramique [15]

➢ La fabrication des tuiles

D'abord, l'argile est extraite d'une carrière. Elle est ensuite acheminée à l'usine qui va la transformer. Ce n'est jamais un long voyage, car une usine est toujours à proximité de sa carrière. Ensuite, l'argile est broyée, mélangée avec de l'eau, puis débitée (ou extrudée) sous forme d'un long ruban. Ce ruban est alors découpé, moulé, en tuiles de tailles variées. Dans certains cas, on les recouvre de pigments minéraux qui donneront une large palettes de couleurs aux tuiles. Les tuiles sont séchées, puis cuites pendants plusieurs heures à environ 1000°C. Les fours peuvent atteindre plus de 200 mètres de long ! Pour diminuer les émissions de CO2 issues du séchage et de la cuisson, les fabricants utilisent de plus en plus de sources d'énergies renouvelables : biogaz obtenu à partir de la méthanisation des déchets, électricité issue de champs de panneaux photovoltaïques …….ect …... [16]

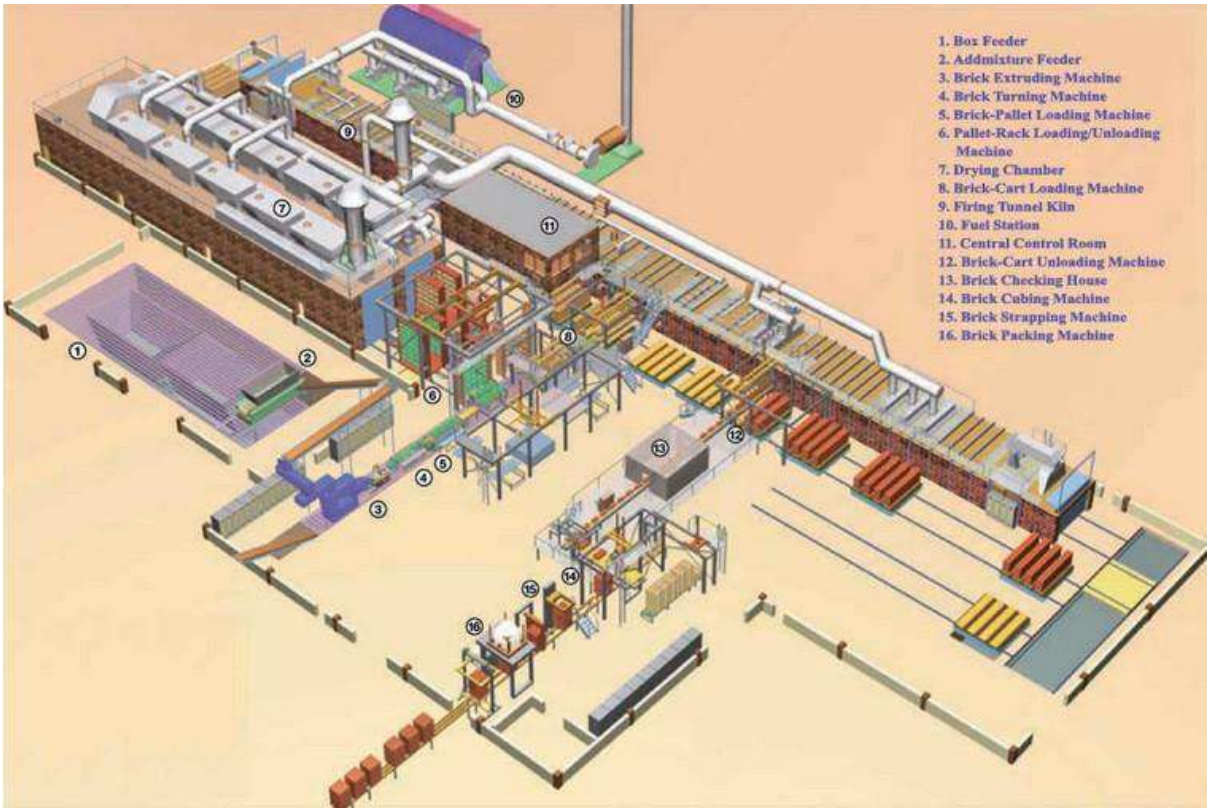


Fig1.9 fabrication des tuiles [17]

- **Fabrication de Dalle de sol**

Les matières premières sont mélangées et broyées de manière à former une pâte fine et homogène appelée barbotine. Cette barbotine est ensuite séchée via un atomiseur qui permet d'en extraire l'eau pour n'en retenir que la poudre. Cette poudre est ensuite injectée dans un moule de la taille et de la forme recherchée du carreau, puis est enfin pressée. Après pressage, le carreau est nettoyé puis soumis à plusieurs étapes de séchage pour faire tomber son taux d'humidité de 5-6 % à environ 0,5 %.

Le carreau sera ensuite émaillé. Afin de lui donner l'aspect recherché, il existe trois types d'émaillage : l'émaillage à sec, l'émaillage humide et la sérigraphie. Le zircon (ou silicate de zirconium $ZrSiO_4$) est utilisé pour l'opacification des émaux. Cet usage représente 53 % de la consommation mondiale de zirconium.

Le carreau subit une dernière étape de cuisson au four avant d'être conditionné pour la vente. [18].



Fig.1.10 Fabrication de dalle de sol[19]

1.2.3.3 Utilisation de céramique rouge

- **La mise en œuvre des produits Céramique**

Les produits céramiques destinés aux revêtements des surfaces forment un assemblage désigné par le terme classique de "carrelage". Il faut tout de suite distinguer deux utilisations distinctes : le carrelage des sols, le carrelage des murs. L'un et l'autre proviennent d'un assemblage de carreaux ou d'éléments similaires, mais les matériaux et les produits utilisés sont parfois très différents, et il faut savoir les reconnaître [20]

- **Le carrelage des sols**

L'assemblage s'exécute traditionnellement à l'aide de mortier et de ciment. Chaque carreau est scellé au support ainsi qu'au carreau suivant. Un carrelage de sol doit être résistant et parfaitement plan. Cette planéité est obtenue en exécutant au préalable un support rigide sous toute la surface à carreler : une chape de béton parfaitement dressée est, en général, la meilleure solution. Ensuite, les carreaux sont disposés un à un sur le sol et scellés à l'aide d'un mortier de pose. Utilisez un cordeau pour obtenir une surface parfaitement plane et laissez bien, entre chaque carreau, l'écartement nécessaire aux joints, cet écartement étant fonction de la surface des carreaux. Tous les carreaux étant scellés, il faut ensuite combler les joints par un ciment liquide qui assurera l'étanchéité entre chaque carreau et nettoyer la surface du carrelage pour enlever l'excédent du ciment avant qu'il ne durcisse. Pour réussir un bon carrelage, il faut, sans doute, de la patience, de l'ordre et de la méthode, et, si vous n'avez pas l'habitude, il vaut mieux faire appel à un spécialiste, car il est difficile à un amateur de réussir du premier coup [20]



Fig1.11 Carrelage au sol [21]

- **Le carrelage de murs**

Le procédé, sans être tout à fait différent, n'exige pas les mêmes impératifs de solidité. Le carrelage doit cependant être plan et étanche, mais les carreaux utilisés sont moins volumineux et moins difficiles à sceller. Il s'agit en général de carreaux de faïence ou de mosaïque pouvant être scellés avec un ciment-colle ou une colle spéciale, procédé plus souple d'utilisation et mieux adapté aux travaux d'amateur. Comme pour le carrelage d'un sol, la pose s'effectue sur un support plan et lisse, mais il n'est pas impératif de réaliser un enduit au mortier. On peut poser ce carrelage sur un mur de plâtre ou sur une cloison en briques dont la surface a été préalablement enduite et lissée comme pour recevoir de la peinture ou du papier peint. (Il peut tenir également sur une cloison en aggloméré de bois ou même sur le plateau d'une table, pourvu que les matériaux servant de supports ne soient pas trop sensibles aux variations atmosphériques.) Sur un support plan, vous pouvez poser vous-même un carrelage en utilisant un mastic adhésif ou une colle spéciale, ce qui ne demande pas de connaissances techniques particulières. Prévoyez simplement un ordre de travail bien déterminé et commencez, si possible, par une petite surface, afin de vous faire la main. Voici une façon logique de conduire cette opération :

- Relevez les dimensions de la surface à carreler ainsi que celle de tous les objets qui s'y trouvent (ce sont tous les éléments fixés au mur tels que lavabos, évier, etc.).

-Dessinez sur un papier, à échelle réduite, la position des lieux, puis, sur un autre papier transparent, le quadrillage représentant le carrelage terminé.

- Superposez les deux plans pour étudier la disposition la plus logique et comptez le nombre de carreaux utiles.

- En vous aidant du plan, tracez alors sur le mur une ligne horizontale et une ligne verticale correspondant à la première rangée de carreaux horizontaux et à la première rangée de carreaux verticaux. Utilisez un fil à plomb et un niveau pour que ces deux lignes soient rigoureusement perpendiculaires.

- Le long de la ligne horizontale, fixez momentanément au mur une règle en bois qui servira de guide à la première rangée de carreaux.

- Ensuite, préparez vos carreaux, empilez-les en respectant l'ordre qu'ils doivent occuper, puis encollez le mur.

-Étalez la colle à l'aide d'une spatule crantée, égalisez l'épaisseur du film de colle pour qu'il soit partout identique (2 à 3 mm).

- Mettez en place la première rangée de carreaux horizontaux, puis la première rangée gauche de carreaux verticaux. Travaillez avec soin, prenez le temps de vérifier la position de chaque carreau, la colle ne sèche pas instantanément.

- Continuez en plaçant alternativement une rangée horizontale et une rangée verticale jusqu'à ce que toute la surface soit carrelée... [20]



Fig1.12 Le carrelage fait le mur. [21].

1.3Béton de fibres

1.3.1 Définition de béton de fibres

On appelle béton de fibres, un béton dans lequel on a incorporé une armature par inclusion Directe de fibres isolées au moment du gâchage ou de projection. Les fibres sont assimilables à un granulat spécial de forme très allongée et forte résistance à la traction, susceptible

D'améliorer légèrement la résistance à la traction du matériau et de ralentir la propagation des fissure. En pontant les fissures, les fibres améliorent le comportement post fissuration de la matrice en maintenant une forte portance pendant l'accroissement des déformations [22].

1.3.2 Différents types de fibres

Il existe plusieurs types de fibres, ils sont classés selon leur origine (naturelles ou artificielles), leur diamètre et leur longueur (macro ou micro fibres), leur forme et leur état de surface ((lisse, rugueuse, plate, ondulée, crantée …) ainsi leurs propriétés mécanique. résistance à la traction et adhérence au béton, qui procurent un comportement mécanique spécifique aux structures renforcées de fibres.[22].

Le choix des fibres dépend de l'usage recherché (pièces minces ou massives, renforcement de pâte pure, de mortier ou de béton, réparation des structures), de leurs propriétés (résistance et module élevés, bonne adhérence), de leur prix . Les principales fibres utilisées sont les fibres organiques et les fibre Inorganiques .



Fig1.13 Les fibres organique et inorganique [23]

- **Fibres artificielles**

Cette famille de fibre regroupe les fibres d'acier, les fibres de fonte, les fibres de verres, les fibres de carbone, amiante ….etc. Ces fibres sont utilisées dans le domaine industriel et particulièrement dans le domaine de génie civil.[22]

- **Fibre de verre**

Les fibres de verre sont obtenues par fabrication à partir de verre fondu qui passe dans filière, chauffé par effet de joule. Elles présentent de bonnes caractéristiques mécaniques, elles sont disponibles dans le commerce sous forme de bobines.

Les fibres « E » sont sensibles aux alcalis libères par l'hydratation du ciment. L'emploi de ce type dans le béton nécessite l'incorporation de polymères ou autres ajouts au mélange, au moment du gâchage qui ont pour fonction d'enrober la fibre et de la protéger de l'attaque alcaline.[22]



Fig1.14 Fibre de verre et Fibre de carbone broyer [24].

Les fibres AR (alcali-résistantes) sont obtenues avec un verre riche en zirconium moins sensible aux alcalis.

Les principales propriétés des fibres de verre sont :

-Bonne adhérence avec la matrice

-Bonne résistance à l'humidité et à la corrosion.

-Faible conductibilité thermique.

- **Fibres métalliques**

Leur résistance à la traction doit être supérieure à 1000 M Pa selon la norme NF EN ISO 16120-2 et [asquapro]. La longueur de la fibre doit être trois fois plus grande que le diamètre du plus gros granulat. La géométrie de la fibre doit favoriser son ancrage dans la matrice béton (ex : un façonnage symétrique en forme de baïonnette appelée "crochet" optimise l'ancrage de la fibre dans la matrice béton).

Ce type de fibre est le plus utilisés dans le domaine de génie civil et qui ont fait l'objet de plusieurs recherches. [ROSSI, 2005]

Les fibres métalliques sont de types et de formes variées et présentent une très bonne compatibilité avec le béton. **(La fig1.15)** présente différentes géométries de fibres métalliques. Les fibres sont composées d'acier au carbone, d'acier inoxydable ou d'acier galvanisé contre la corrosion. En général ,la longueur des fibres varie de 25 à 60 mm et le diamètre varie de 0,5 à 1,3 mm La fabrication des fibres métalliques s'effectue selon plusieurs méthodes en relation avec leurs formes géométriques multiples. Ces fibres travaillent en tension dans le béton en étant sollicitées soit par frottement soit par ancrage ou les deux.



Fig1.15 Formes des fibres métalliques. [25]

- **Fibres de polypropylène**

Les fibres de polypropylène sont fabriquées depuis 1954 par l'industrie textile. Le polypropylène est un polymère cristallisable de la famille des polyoléfines des produits chimiques. Il a connu une extension croissante dans ce domaine où il apporte les avantages suivants : déformabilité élevée, imputrescibilité et bonne résistance en tr action qui peut atteindre 800 MPa. Ces fibres sont utilisées dans les bâtiments pour l'élaboration de revêtement de façades dans plusieurs constructions (Londonderry House Hôtel), ainsi que l'élaboration de panneaux décoratifs de 33cm d'épaisseur et aussi dans la réalisation des canalisations et des pieux.

Les fibres de polypropylène sont en général assez longues (30 à 60 mm), légères et ne sont pas attaquées par le ciment. Leur module d'élasticité plus faible que la pâte durcie

Il convient de les utiliser de préférence pour les pièces minces devant résister, soit à l'action corrosive de certaines ambiances dans lesquelles l'acier pourrait se corroder rapidement, soit aux chocs mécaniques.

Si leurs caractéristiques mécaniques ont des valeurs lus faibles que celles des fibres métalliques, il faut cependant mentionner leur insensibilité chimique, leur souplesse, qui rend aisée leur incorporation au béton et leur allongement à la rupture (15 à 20 %), qui favorise la « ductilité » du béton.

Comme la plupart des matières plastiques, les fibres de polypropylène sont peu résistantes au feu : leur température de fusion est d'environ 160 C mais leur fusion n'affecte pas la résistance du béton



Fig1.16 Fibres polypropylène [26]

- **Fibres naturelles :**

Les fibres naturelles sont utilisées depuis 3000 ans dans les composites, par exemple dans L'ancienne Égypte, où la paille et d'argile étaient mélangées pour construire des murs. Au cours de la Dernière décennie, les composites renforcés de fibres naturelles ont reçu une attention croissante, tant auprès du monde universitaire que de diverses industries.



Fig1.17 Les fibres naturelles [27]

Il existe une grande variété de fibres naturelles qui peuvent être utilisées pour le renforcement ou comme charges Les principales catégories de fibres agricoles sont :

- Fibres libériennes : extraites de la partie extérieure de la tige (lin, chanvre, jute, …)
- Fibres extraites des feuilles : fibres de sisal, de bananier, de palmier…
- Fibres extraites de poils séminaux des graines : fibres de coton, de kapok…
- Fibres extraites de l'enveloppe du fruit : fibres de coco…
- Fibres extraites des tiges ou des troncs : paille de blé, de riz, d'orge ou d'autres cultures Les fibres naturelles contiennent principalement de la cellulose, de l'hémicellulose et de la lignine ; il existe aussi, en faible proportion, des constituants extractibles comme les protéines ou encore des composés inorganiques. La proportion d'holocellulose (comprenant la cellulose et L'hémicellulose) et de lignine varie selon les fibres naturelles et l'âge de ces fibres. La composition Dépend de la condition de croissance, de l'âge du végétal, des conditions climatiques et bien sûr de la nature des fibres[Mohamed DalourHossen 2007].

- **Fibres organiques**

Les fibres organiques courantes sont les polypropylènes et plus rarement les polyamides et les polyesters.



Fig1.18 fibre de polyester PET de LEFICO [28]

➢ Fibres végétales

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

A savoir: les fibres de feuille, de tiges, de bois et de surface. Elles sont utilisées généralement dans la fabrication des cordes ou de textile ou bien dans le renforcement du ciment et du béton [22].

- **Classification des fibres végétales [29]**

Les fibres végétales sont classées en quatre groupes suivant leur provenance. A s'avoir: les Fibres de feuille, de tiges, de bois et de surface.

- **Classification des fibres végétales [29]**

Les fibres végétales sont classées en quatre groupes suivant leur provenance. A s'avoir: les fibres de feuille, de tiges, de bois et de surface.

✓ Fibres des feuilles

Ces fibres sont obtenues grâce au rejet des plantes monocotylédones. Les fibres sont Fabriquées par chevauchement de paquet qui entoure le long des feuilles pour les renforcer ces fibres sont dures et rigides.

Les types de fibres de feuilles les plus cultivées sont la fibre de sisal, de Henequen et

d'abaca**(Fig1.19)** De ces fait, plusieurs chercheurs tel que : NILSSON, AYYAR et al ont montré l'efficacité du renforcement du ciment par les fibres de feuilles.



Fig1.19 Les différents types des fibres des feuilles [30]

✓ Fibres de vigne

Les origines de la vigne ont pu être étudiées grâce à la découverte des vignes fossile

datant de l'Eocène au Pliocène.



Fig1.20 Feuille de vigne naturelle et fossile [31**]**

✓ Fibres des tiges

Les fibres de tige sont obtenues dans les tiges des plantes dicotylédones. Elles ont pour

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

Les fibres de tige les plus utilisées sont les fibres de jute, de lin, de ramie de Sun, de kenaf, deurena et de chanvre **(Fig1.21)**[30]



Fig1.21 Les différents types des fibres des tiges **[**30]

- ✓ **Les fibres de bois**

Les fibres de bois proviennent du broyage des arbres tels que les bambous ou les roseaux. Elles sont généralement courtes. Plusieurs chercheurs ont montré l'efficacité de ces fibres dans le renforcement des ciments **(Figure1.22)**Fibre et plant de bambous Fibre et plant de roseau



Fig1.22 Les différents types des fibres de bois [30]

- ✓ **Les fibres de surface**

Les fibres de surface entourent en général la surface de la tige, de fruits ou de grains. Les fibres de surface des grains constituent le groupe le plus important dans cette famille de fibres. Nous citons entre autre le Cotton et la noix de coco (coco). Les fibres de coco ont donné de bons résultats pour la résistance à la flexion du ciment de fibre. Il est à noter que,

les fibres de palmier, qui entourent son tronc, appartiennent à cette famille de fibres [30]

➢ Caractéristiques des Fibres Végétales

✓ Caractéristiques Chimiques des Fibres Végétales

Les fibres végétales sont caractérisées par leur composition chimique qui influe Énormément sur leur durabilité et spécialement dans les milieux alcalins. La composition Chimique des fibres végétales est formée de trois principaux constituants à savoir : la Cellulose, l'hémicellulose et la lignine [34].

- **Cellulose**

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

- **Hémicellulose**

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

- **Lignine**

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

➢ **Fibres synthétiques**

Cette famille regroupes plusieurs types de fibre comme le nylon, le polypropylène, l'acryle , le polyester….etc.). Elles sont apparues à la fin du XIX siècle sous le nom rayonne. Elles sont

dérivées de la cellulose naturelle. Aujourd'hui, la plupart des fibres synthétiques proviennent de produit dérivé du pétrole et des polymères dont la structure ressemble à celle des matières plastiques. La première fibre plastique commercialisées avec succès, le nylon, date de 1938. Depuis, de nombreux synthétique, dans les fibres acryliques, l'aramide, l'oléfine et le polystyrène sont apparus. Ces fibres ont également été étudiées à des fins industrielles très précises, telles que la fabrication des matériaux d'isolation, tissu pare-balles, les fuselages et ailes d'avion **(Fig1.23)**[40]Fibre d'aramide Fibre de polypropylène

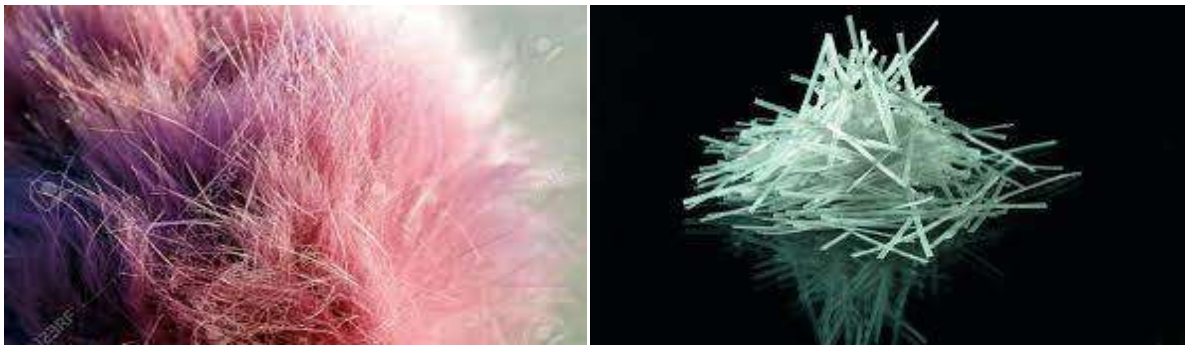


Fig1.23 Les différents types des fibres synthétiques [34]

➢ Fibres non organiques

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

- **Fibres minérales**

Elles groupent plusieurs sortes de fibres (amiante, alumine….etc.), et sont utilisées en grande quantité dans plusieurs applications traditionnelles. Les fibres d'amiante autrefois utilisées pour l'isolation et l'ignifuge âge, se sont aujourd'hui relevées cancérigènes **(Figure1.24)**[35]



Fig1.24 Les différents types des fibres minérales [35]

1.3.3 compostions des fibres dans le béton

Les bétons renforcés de fibres ont fait l'objet depuis maintenant une cinquantaine d'années d'efforts de recherche importants. Le développement depuis une dizaine d'années de matrices cimentaires performantes a relancé l'intérêt pour l'utilisation des composites cimentaires renforcés de fibres. L'utilisation de fibres augmente la ductilité du béton, c'est-à-dire ses caractéristiques en post fissuration. De plus, l'utilisation de fibres peut apporter une amélioration en flexion, en tension, en torsion et en cisaillement ainsi qu'à la résistance aux impacts et à la fatigue [ABQ]. Un béton fibré continue donc à supporter des charges après la formation de fissures.

L'augmentation de la capacité en flexion est obtenue grâce à l'augmentation de la résistance résiduelle par l'utilisation des fibres. Cette propriété est aussi fonction de la nature, de la quantité et de l'efficacité des fibres utilisées. Il est important de se rappeler que la distribution uniforme des fibres dans le mélange est la condition essentielle pour obtenir une amélioration des caractéristiques mécaniques du béton fibré.

Il faut combiner tout apport de fibres dans le béton à des techniques d'insertion des fibres permettant d'éviter la formation « d'oursins ».

La recherche d'une composition optimale du béton de fibre est assez difficile, car l'ouvrabilité et l'homogénéité du composite dépend de trois facteurs essentiels à savoir :La géométrie des fibres définit par l'élancement, le volume de fibres ajoutées dans le béton et la forme d'ancrage des fibres.

Concernant le premier facteur, les fibres doivent être suffisamment longues pour s'opposer à l'ouverture des fissures ainsi elles doivent munis d'un système d'ancrage aux extrémités dans

le cas des fibres droites, néanmoins l'augmentation de la longueur et la présence des ancrages diminuent l'ouvrabilité du mélange [HUG .81].

Les granulats du matériau doivent avoir des dimensions permettent leurs encadrement par la fibre [DEH 75], c'est pour cette raison que la matrice de béton doit être riche en élément fin. Lors de la mise en œuvre du béton de fibre il est conseillé d'assurer le serrage par mise en vibration du coffrage ou table vibrante pour permettre l'orientation des fibres parallèlement au coffrage par effet de paroi, ce qui permettra l'enrobage de la fibre dans le béton et par conséquent éviter la corrosion des aciers. La diminution de l'ouvrabilité du béton de fibre est récupérée par l'ajout du plastifiant dans le mélange.

1.3.4 Utilisation des fibres dans le béton

Les producteurs membres de l'ABQ considèrent que les fibres incorporées au béton doivent être traitées comme des adjuvants et des granulats et donc ajoutées par le producteur de béton à l'usine. Le producteur de béton est le mieux placé pour livrer un produit de performance selon l'utilisation demandée d'un béton fibré coulé en place. Par contre, il est important que le producteur considère le béton fibré comme un composite de haute gamme. Il est donc important que le producteur soit disposé à adapter la formulation des composantes du béton à l'incorporation de fibres [36].

- **Utilisation des fibres à l'usine**

Cette méthode permet de mieux homogénéiser le béton, car le temps de malaxage peut être augmenté. Par le fait même, il y a un meilleur contrôle de la qualité du produit livré. Il est également plus facile d'ajuster et de modifier la formulation du béton en usine. Un ajustement de la quantité d'adjuvants peut être nécessaire afin d'obtenir un niveau de fluidité permettant de bien disperser les fibres et aussi lorsque des variantes de température et de livraison surviennent en chantier [36].

- **Utilisation des fibres au chantier**

Cette méthode est fortement déconseillée, car elle provoque un sur malaxage du béton qui augmente le temps de mise en place. De plus, l'introduction des fibres au chantier peut diminuer la dispersion des fibres en fonction du temps de malaxage et du type de camions malaxeurs2. Le contrôle qualitatif en chantier est donc plus difficile à réaliser qu'en usine [36]

1.3.5 Moyens d'utilisation des fibres

Les fibres peuvent être ajoutées au moyen d'un convoyeur, d'une soufflerie ou de toute autre méthode qui permet un ajout uniforme, constant et sans agglomération de fibres non dispersées(phénomène communément appelé « formation d'oursins »). Il est recommandé que les toupies des camions malaxeurs soient munies d'ailettes propres et adéquates permettant une bonne dispersion des fibres lors du malaxage. Il est à noter que l'ajout des fibres au béton implique que la construction des rampes servant à l'ajout des fibres soit approuvée par la Commission de la santé et de la sécurité au travail (CSST).Selon le type de fibres utilisé, leur géométrie et surtout la quantité spécifiée, il faut prévoir une séquence appropriée d'introduction des fibres. Il est très important de consulter le manufacturier de fibres à cet effet[36]

I.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.

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.



Fig1.25 Carte de déserts dans le monde.[36]

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 Kaliningrad en Prusse- Orientale en béton de sable au début du siècle et aussi du pont de Cherna vskif 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.).

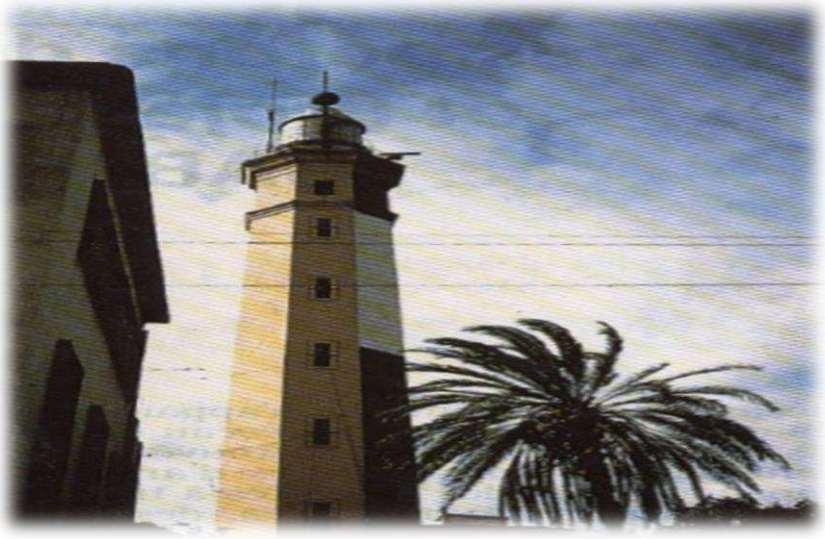


Fig1.26 Phare de port Saïd réalisé en Béton aggloméré Coignet(Egypte)[37]

1.4.3 Définition

Selon la norme française NF P 18-500 , le béton de sable est un béton fin constitué par un mélange de sable(s), de ciment, d'addition(s) et d'eau ; outre ces composants de base, le BS comporte habituellement un (ou plusieurs) adjuvant.

Les ajouts (fibres, colorants, ...) utilisés dans le béton traditionnel peuvent également être incorporés au mélange.

L'incorporation de gravillons d/D autorise l'appellation «béton de sable» tant que le rapport massique G/S reste inférieur à 0,7 (G = gravillon ; S = sable) : on parle alors de béton de sable chargé.

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

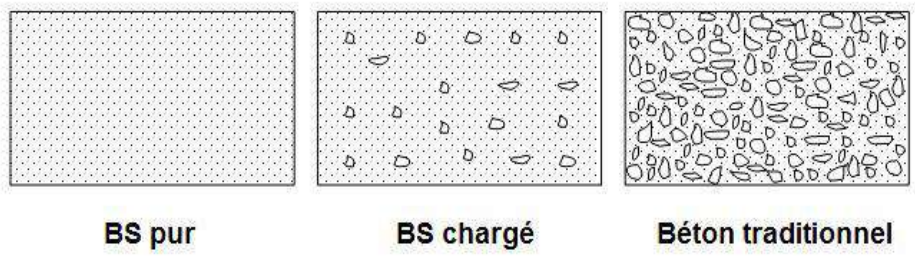


Fig1.27 Schéma explicatif de l'apparence du BS pur, BS chargé et du béton traditionnel [37]

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[37]

A. **Les sables**

Par sables en entend tous granulats 0/D conformes aux définitions des normes NF P 18-101 et NF P 18-301. Il s'agit soit d'un sable naturel alluvionnaire ou de ballastière, soit d'un sable de carrière issu du concassage d'une roche massive ou détritique. Aucun critère granulaire n'est à

priori exigible pour réaliser un béton de sable : on peut utiliser aussi bien un sable fin même (holométrique, type sable de dune) qu'un sable alluvionnaire moyen ou grossier ou de type (0/D) de concassage [43]. La seule restriction d'emploi des sables réside dans leur propreté. Même si des études ont été faites sur les sables- pollués, aucune application n'a été réalisée avec ces sables. Les sables riches en fines naturelles nécessitent généralement beaucoup plus d'eau de gâchage, ce qui entraîne une chute de la résistance. Mais il est plus prudent à ce stade de se limiter à l'utilisation des sables propres tels qu'ils sont employés pour les bétons classiques.

- **Classification des sables selon leurs provenances**

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

- **Sable de rivière :** il est obtenu par dragage des lits des cours d'eau. Il doit être dur et propre pour qu'on puisse l'utiliser dans les bétons.
- **Sable de mer :** il provient des côtes de la mer. Pour l'utiliser dans les bétons, il faut qu'il ne soit pas trop fin et qu'il soit lavé de son sel.
- **Sable de carrière :** Il contient souvent de l'argile qui enrobe les grains et les empêche d'adhérer aux liants. Il est donc à proscrire.
- **Sable artificiel :** il est obtenu par concassage des roches (calcaires durs, gré …). Il est souvent plein de filler. Pour qu'il soit utilisable dans les bétons, il faut limiter le pourcentage des fines.
- **Sable de dune :** c'est une variété des sables de mer. Il est donc très fin. Les sables dedune se trouvent dans les régions sud du pays. Ils sont situés en zone présaharienne. Les sables retenus sont ceux issus des dunes continentales. Ces dunes sont constituées des nombreux amas de sables fins accumulés dans certaines régions spécifiques du Sahara.

B. **Les fines d'ajout (ou addition)**

La qualité essentielle du béton de façon générale est sa compacité. Les paramètres essentiels qui vont jouer sur la compacité sont [37]:

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

La différence entre le béton classique et le béton de sable réside principalement dans la granulométrie différente.

L'optimisation de la compacité, en relation avec la granulométrie, obéit à certaines règles, le principe est simple : les éléments les plus fins se logent dans les éléments les plus gros ; c'est en quelque sorte le principe des tables gigognes. Dans le cas d'un béton classique, on part des éléments les plus gros qui sont les gravillons (10 à 20 mm) ; ils créent des macrovides que l'on peut remplir par des sables et les vides du sable par des fines. Et ces fines sont du ciment, puisque la quantité nécessaire de ciment pour assurer la résistance coïncide avec celle qu'il faut en fines pour obtenir la bonne compacité. Cette concordance entre le besoin en fines et le dosage en ciment est interprétée par la règle suivante: [37]

C =550/ $\sqrt[5]{D}$ ou **C =700/** $\sqrt[5]{D}$**…….** (Selon l'usage du béton)

Donnant le dosage minimum en ciment en fonction du diamètre (D) du granulat employé.

Granularité	$\sqrt[5]{D}$	$550/\sqrt[5]{D}$	$700/\sqrt[5]{D}$	
0/25	1.904	290	370	BETON
0/20	1.821	300	385	
0/16	1.741	315	400	
0/8	1.516	360	460	
0/6.3	1.445	380	480	
0/4	1.320	415	530	MORTIER
0/2	1.149	480	610	
0/1	1.000	550	700	

Tableau 1.6. Relation entre la granulométrie et le dosage en ciment.

1.4.5 Formulation de béton de sable

1.4.5.1 Composition de 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.[37]

- **Sables**

Les sables utilisables sont ceux conformes aux définitions des normes NFP18-541[8] (ES≥75 si le sable est roulé et ES≥ 65 s'il est concassé). Il peut s'agir d'un sable alluvionnaire, de ballastière ou de concassage 0/D. Aucun critère granulométrique n'est exigible à priori, la

seule restriction d'emploi réside dans la propreté. Les sables de plage ou des dunes pourraient donc être utilisés. [38]

- **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. [39]

- **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. [38]

- **Les fines d'ajouts**

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

Des fillers de dimensions majoritairement inférieures à 80 μm sont utilisés pour remplir les vidés entre les grains de sable afin de réduire la quantité de ciment. Leur rôle assure deux fonctions principales : l'une grossière de remplissage, l'autre d'ordre physico-chimique devant améliorer l'enchevêtrement cristallin et la cohésion du mélange. La forme des grains et la nature géologique des fillers influent sur la quantité d'eau requise pour obtenir un mélange maniable. [39].

1.4.5.2 Techniques particulières

Le béton de sable peut être utilisé dans différents domaines, et sous plusieurs formes. La plupart des applications actuelles du béton de sable tiennent davantage à ses propriétés spécifiques, par rapport au béton traditionnel, qu'à l'économie qu'il pourrait représenter en remplaçant celui-ci. **[37]**

1.4.5.3 Béton de sable projeté

Ils se sont révélés particulièrement intéressants, techniquement et économiquement et se prêtent au renforcement de structure par projection, exemple :

- La réhabilitation de collecteurs d'assainissement.
- La stabilisation de parois ou talus.

En général, le béton de sable peut être également utilisé en projection dans des travaux de Rénovation, de ponts, d'égouts visitables et de bâtiments **[37]**

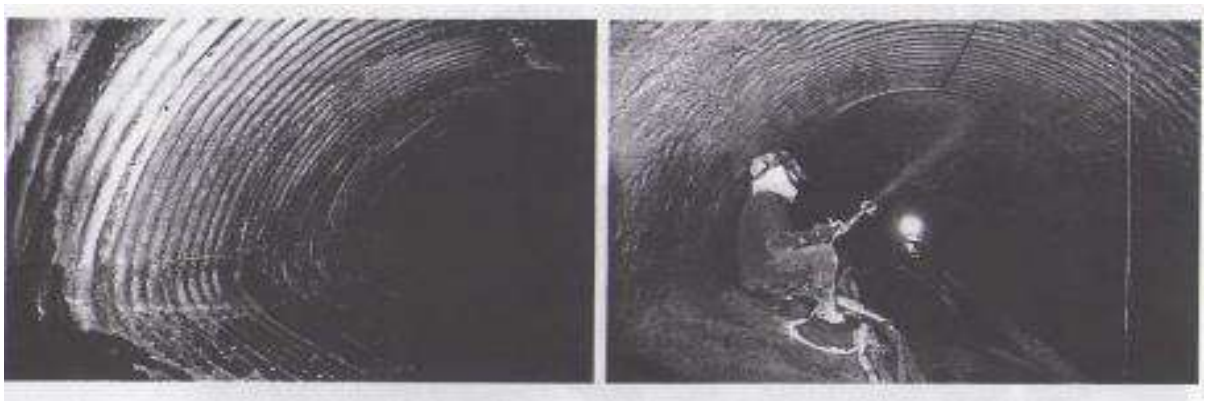


Fig. 1.28 Le béton de sable en projection **[37]**

1.4.5.4 Bétons de sable fluides

Les bétons fluides ont été développés récemment afin d'améliorer les conditions d'exécution et la productivité des chantiers ainsi que la qualité et la durabilité des ouvrages. Ces bétons ont trouvé un grand intérêt dans certaines conditions d'utilisation telles que : l'absence de vibration, la faible accessibilité aux zones ferraillées et aux formes complexes des coffrages et le besoin de pomper le béton à des distances importantes. Le concept du BS s'adapte parfaitement aux conditions particulières citées ci-dessus. En plus, l'absence totale ou partielle des gros granulats dans le BS minimise le risque de ségrégation. La fluidité doit être assurée par l'utilisation des adjuvants super plastifiants afin d'éviter l'ajout excessive et incontrôlé de l'eau, qui entraîne une diminution des performances physico-mécaniques et de la durabilité. Pour que les bétons de sable fluides soient homogènes et stables vis-à-vis du phénomène de ségrégation et de ressuage, l'utilisation des éléments fins ou d'un adjuvant de viscosité est obligatoire.

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

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

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

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

- Risques de ségrégation préjudiciables ;

- Forte densité de ferraillages

- Recherche d'un produit fini ;

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

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

1.4.5.5 Méthode de formulation de béton de sable

Dans la formulation des bétons traditionnels, on cherche généralement d'obtenir les propriétés essentielles : l'ouvrabilité et la résistance mécanique, à partir d'une combinaison de leurs constituants (sable, gravillon, ciment et eau). Dans ce cas, il existe plusieurs méthodes de formulation permettant de viser ces propriétés, en se fixant généralement la taille des plus gros granulats sur la base de considérations technologiques.

Dans le cas du BS (caractérisés par sa granulométrie fine), l'application directe des méthodes de formulation adaptées aux bétons traditionnels conduit généralement à des dosages très élevés en ciment. A cet effet, les pâtes de ces bétons contiennent toujours, en supplément du ciment et de l'eau, des ajouts et des adjuvants, afin de minimiser le dosage de ciment.

Deux types d'approches de formulation sont présentées : une approche théorique, basée essentiellement sur l'optimisation de la compacité du BS en partant de la relation de Caquot et une méthode expérimentale, basée sur la réalisation de gâchées [37]

1.4.5.5.1 Approche théorique de la formulation des bétons de sable

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

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

diminuer au maximum la porosité. Cependant la détermination de cette compacité maximale n'est pas facile et fait l'objet de modélisation poussée. Caquot [41] a pu établir à partir des données expérimentales une relation mathématique reliant le volume des vides d'un mélange granulaire présentant une compacité maximale et son étendue granulaire (d/Dmax).

$$V = V_0 \left(\frac{d}{D}\right)^{1/5} \quad \text{.....(Equation1.1)}$$

V : Volume des vides du mélange granulaire ;

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

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

Dmax : La dimension du plus gros grain de l'étendue granulaire.

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

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

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

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

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

$$Ps = V = 0.75\ (0.08/D)^{1/5} \quad \text{.....(Equation 1.2)}$$

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

Dmax : Diamètre maximal du plus gros grain du mélange.

La constante expérimentale (V0) est prise comme étant la moyenne des valeurs extrêmes (0.7÷0.8).

Un dosage optimal en fines d'ajout sert à compléter l'étendue granulaire bornée inférieurement par la coupure 80m m, et à combler la porosité du sable ainsi calculée.

En effet, il est impossible de prendre en compte la distribution de la taille pour les fines d'ajout car l'assemblage géométrique relève surtout des forces électriques inter-granulaires. En apportant quelques simplifications, Caquot s'est rendu compte que le volume de l'ensemble des particules fines (< 80m m) et le volume des vides associé a l'empilement de ces fines sont égaux, autrement dit le volume des vides restant dans le mélange est égal au volume de l'ensemble des fines d'ajout.

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

$$[Fines] = 0.38\ (0.08/D_{max})^{1/5} \quad \text{..... (Equation 1.3)}$$

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 **(Fig1.29)**

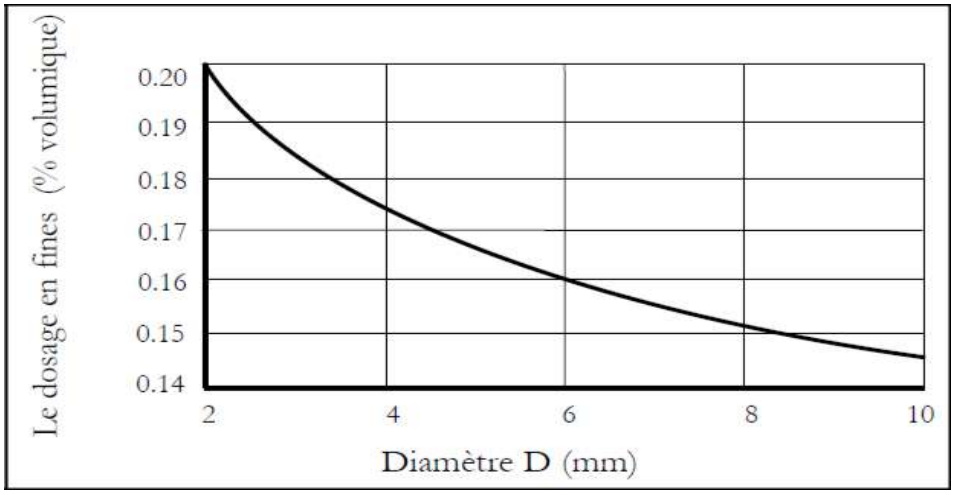


Fig1.29 Influence du diamètre D du sable sur le dosage en fines [37]

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

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

$$(e + v)_{min} = 0.8\ (d/D_{max})^{1/5} \quad \text{……..…..(Equation 1.4)}$$

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

$$d = (60 / (f))\ mm \times \rho \quad \text{.....(Equation 1.5)}$$

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 mm pour le diamètre ; ainsi l'élargissement de l'étendue est la seule solution pour la réduction de la porosité théorique minimale comme la**(Fig1.19)** le montre :

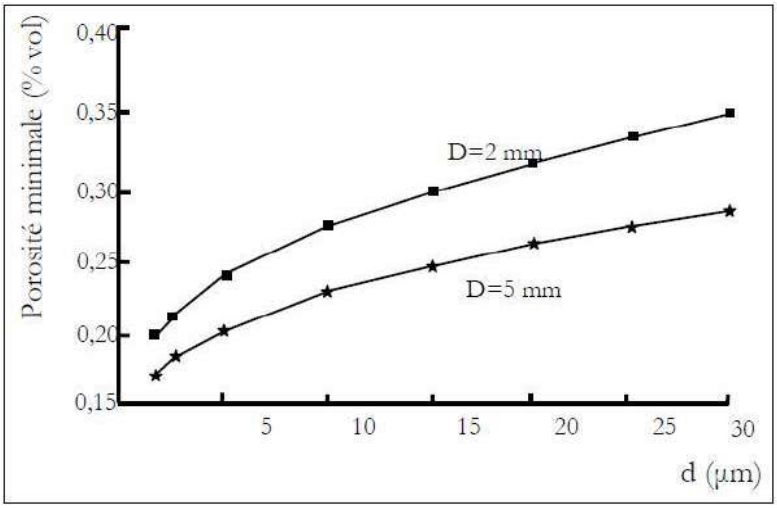


Fig1.30 Influence de la dimension d sur la porosité minimale du bétonpour deux tailles du sable [37].

On remarque que la porosité minimale d'un mélange granulaire varie considérablement avec son étendue granulaire, mais cette porosité est décomposée en un volume d'eau (e) et un volume de vides (v).

En pratique, confectionner un béton avec les strictes quantités d'eau conduit à une mauvaise

Ouvrabilité ; la Figure 1.nous montre la relation entre l'ouvrabilité et le dosage en eau.

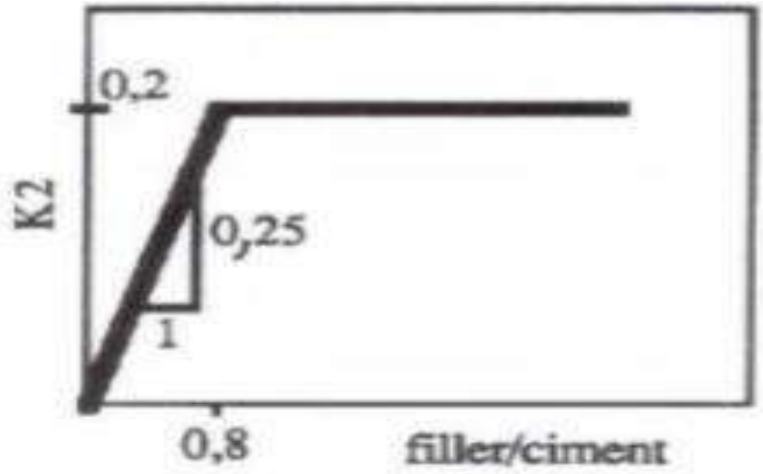


Fig1.31 Relation entre l'ouvrabilité et le dosage (e + v) d'une matrice pour une mise en œuvre donnée [37]

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

Finalement, pour estimer le dosage en eau, il faut préalablement évaluer la quantité d'air piégée.

Dans les bétons de sable cette quantité est légèrement supérieure à celle des bétons ordinaires et la formule qui suit conduit à des teneurs en air de l'ordre de 3 à 5%.

$$[\text{Vides}] = K\,[\text{eau}] \quad \text{(Equation 1.6)}$$

Avec :

K : constante comprise entre 0.2 et 0.25.

- **Dosage en sable**

Afin de compléter un volume unitaire de béton de sable, ($1m^3$), de la formulation, le dosage en sable est obtenu en faisant soustraire au mètre cube du mélange les dosages estimés précédemment des autres constituants (fines, eau, vide).

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

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

- **Estimation de la résistance en compression**

Après avoir optimisé la compacité et déterminé les différentes proportions des constituants, il est jugé nécessaire d'évaluer la résistance à la compression de ce mélange. Pour ce faire, comme tous les autres mélanges à base de ciment, les méthodes classiques sont adaptées. Ces méthodes faisant intervenir la contribution de tous les paramètres influant sur la résistance : le squelette granulaire, la nature des liants, et les dosages des constituants de la pâte.

Dans le cas de bétons formulés avec des fines potentiellement réactives, une généralisation de la formule de FERET [59] a été proposée récemment.

$$R_b = \frac{Kf \times Rc}{\left(1 + \frac{3.1(e+v)}{c(1+K_1+K_2)}\right)^2} \quad \text{……. (Equation 1.7)}$$

Avec:

Kf : coefficient granulaire compris entre 4.5 et 5 ;

Rc : classe vraie du ciment (MPa) ;

E : dosage en eau total (l/m^3) ;

V : air piégé (l/m^3) ;

C : dosage en ciment (kg/m^3) ;

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

Avec :

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

0.2<Kcv<0.4 2<Kfs<3.3 K1 £ 0.5

K2= Kfil (Fil/C) ;

0<Kfil £ 0.4 K1<0.2

K1 : coefficient pouzzolaniques

K2 : coefficient d'activité du filler calcaire. (Voir figure 1.28.)

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

CV, FS, FIL : dosage en cendres volantes, fumée de silice et filler calcaire (kg/m^3).

Cette formule ne peut être utilisée que par une identification précise de l'activité des additions par l'intermédiaire des coefficients déjà mentionnés. Les valeurs données pour les différents coefficients d'activité ont, ici, un caractère essentiellement indicatif, d'autres additions peuvent être également utilisées, telles que les fines siliceuses généralement considérées inertes et les fines de laitier qui peuvent présenter un caractère hydraulique non pris encompte dans la formule précédente ,alors que d'autres paramètres pourraient influer sur l'activité liante des fillers telles que la répartition granulaire, la forme des grains, et leur porosité. Cette activité pour chaque type de filler présente un optimum au-delà duquel elle ne développe plus des performances mécaniques.

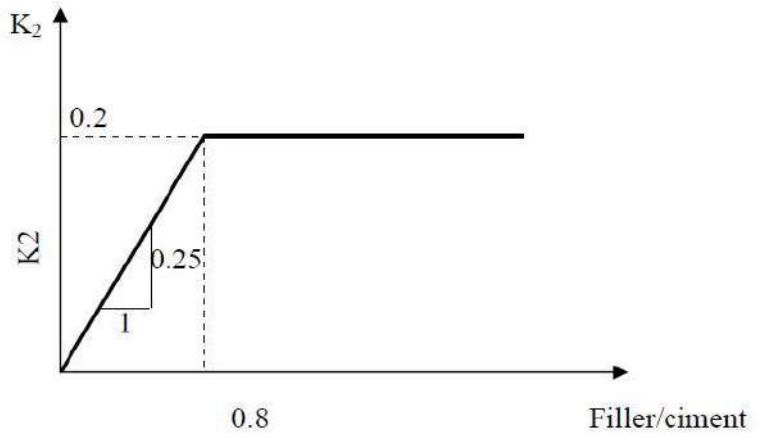


Fig1.32 Coefficient d'activité du filler calcaire (modèle) [37]

Sur la base de la remarque de l'activité des fillers, un autre paramètre s'ajoute pour le dosage en fines, tonte fois le dosage en fines est estimé en terme de compacité regroupant les fines d'addition et le ciment, alors que l'optimum de la résistance s'obtient en se fixant le rapport des dosages en fines d'addition-ciment au maximum d'activité. Le problème revient à résoudre le système de deux équations simples

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

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

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

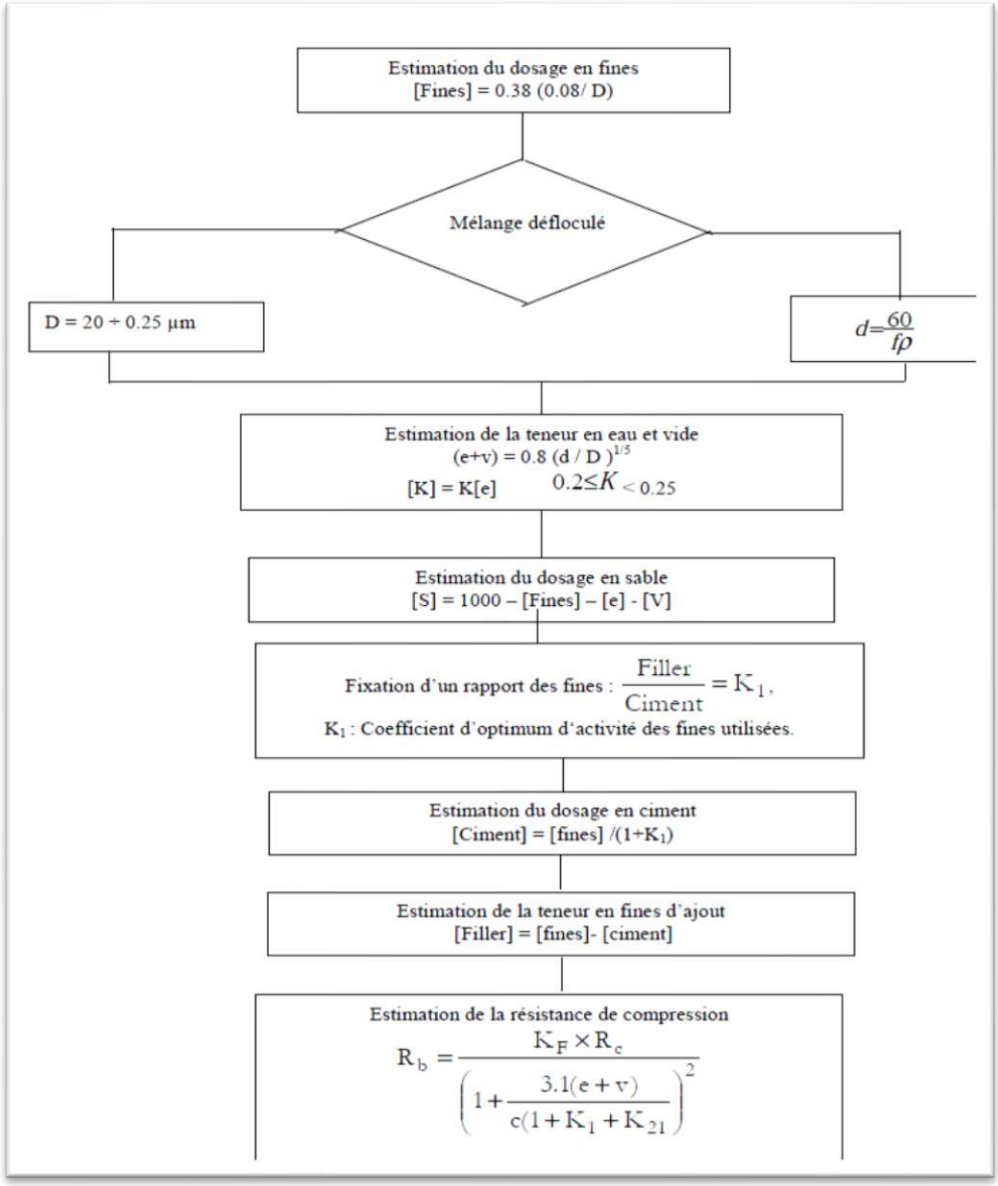


Fig1.33 Organigramme de la méthode théorique

1.4.5.4 Méthode expérimentale de formulation

La méthode expérimentale, doit permettre de formuler un béton de sable mais son but n'est pas d'expliquer ou de formaliser les phénomènes qui entrent en jeu dans la formulation des bétons.

D'autres méthodes expérimentales existent, elles peuvent différer en fonction des approches théoriques et des habitudes de travail, toutefois, l'objectif reste le même : formuler un béton qui soit le plus compact possible, et par conséquent de bonnes performances.

Dans cette méthode, on travaille à dosage en ciment fixé, de manière à mieux répondre aux prescriptions contractuelles ou normatives qui imposent bien souvent un dosage minimum. Cette méthode est une adaptation de la méthode dite BARON-LESAGE, elle est itérative et est basée sur la réalisation de gâchées légères. Les gâchées sont caractérisées par des mesures de la maniabilité, au maniabilimètre à mortier LCL, et de la masse volumique apparente. Diverses formulations de bétons de sable ont déjà été réalisées par cette méthode, on cite à titre d'exemple : le béton de pieux, le béton routier, le béton de projection etc., et ont donné

pleine satisfaction [37] .

a) **Les différentes étapes de la formulation**

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

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

- **Dosage en ciment**

Les prescriptions contractuelles ou normatives imposent très souvent un dosage minimum en ciment par mètre cube de béton, en fonction du type d'ouvrage ou bien de l'agressivité du milieu. On choisit donc de travailler avec un dosage en ciment fixé qui ne variera pas tout au long de l'étude, on le note C (Kg/m^3).

- **Dosage en eau**

A ce stade de la méthode, une valeur approximative du dosage en eau, E (l/m^3), suffit. Pour estimer ce dosage, les praticiens s'appuient sur l'expérience. Par exemple, on peut prendre 220 litres d'eau pour 350 Kg de ciment, et 250 litres pour 400 Kg de ciment.

- **Détermination du dosage en sable**

Dans cette formule, il faut introduire un fluidifiant réducteur d'eau, au dosage préconisé par le fabricant (N% du poids des éléments inférieurs à 80 µm en extrait sec), qui permettra de défloculer les fines. D'autre part, un béton contient toujours un volume d'air, Vair, la teneur en air des bétons de sable est toujours supérieure à celle des bétons ordinaires et se situe entre 5 et 7 % de volume du béton.

Les quantités de ciment, d'eau, d'adjuvant et d'air sont connues, nous devons donc compléter la formule par du sable de manière à obtenir un mètre cube de béton; on aboutit à la relation suivante :

$V_{air} + V_C + V_E + V_{adj} + V_{sable} = 1000$ (En litres). …… (Equation 1.8)

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

$$M_{sable} = MVA * V_{sable} \quad \text{(Equation 1.9)}$$

Msable: masse nécessaire pour 1 m^3 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 m^3).

$$MVAT = m_{ciment} + m_{eau} + m_{adj} + m_{sable} \quad \text{(Equation1.10)}$$

- **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 (1)
- 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).

$$S_i = S_{i-1}(MVAT_{i-1} - MVAR_{i-1}) + V * MVA_{sable} \ldots\ldots\ldots \text{(Equation 1.11)}$$

Où

S_i : dosage en sable après correction

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

théorique et réel

MV sable : masse volumique absolue du sable

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

Il sera rajouté si 1'écoulement au maniabilimètre est supérieur à 10s (-V dans la formule précédente n° 2). Il sera retranché si 1'écoulement au maniabilimètre est inférieur à 7s (+V dans la formule n° 2) 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**

Il faut maintenant introduire dans le béton les fines d'addition et en définir le dosage optimal

à rapport E/C constant. Pour cela, il est nécessaire de réaliser des gâchées de béton de sable avec 5 à 6 dosages en fines dans la plage d'emploi usuelle de ces fines.
L'incorporation des fines doit permettre d'augmenter la compacité du béton, en remplissant

les vides.

Notre objectif, est d'obtenir une formule de un mètre cube dans laquelle la masse volumique apparente théorique tend vers la masse volumique apparente réelle, et un temps d'écoulement adéquat.

Pour chaque gâchée, on détermine la maniabilité ainsi que la masse volumique apparente réelle (MVAR) que l'on compare à la masse volumique apparente théorique (MVAT) de la formule. Si besoin, la correction sur le sable s'effectue à l'aide de la formule suivante :

$$S_i = S_{i-1}-(MVAT_{i-1} - MVAR_{i-1}) \quad \text{(Equation 1.12)}$$

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 180Kg/m^3 de fines. Figures 1.47 et 1.48
- **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.

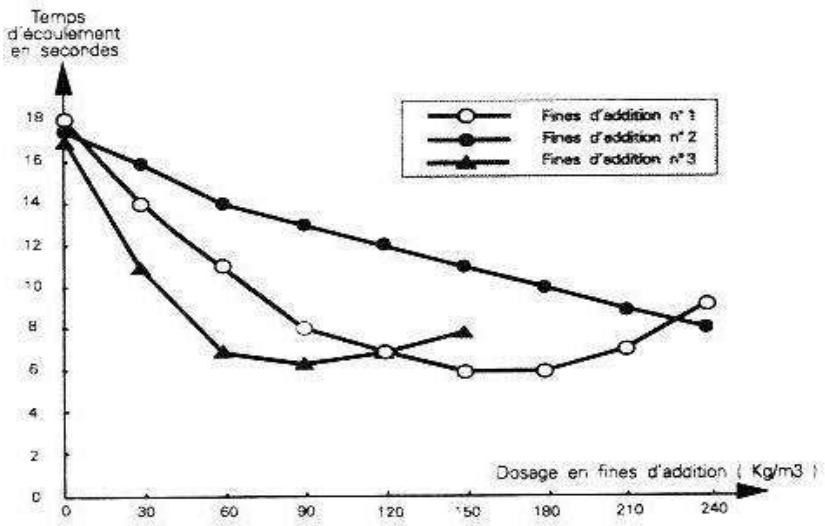


Fig1.34 Evolution de la maniabilité en fonction du dosage en fines d'addition [37]

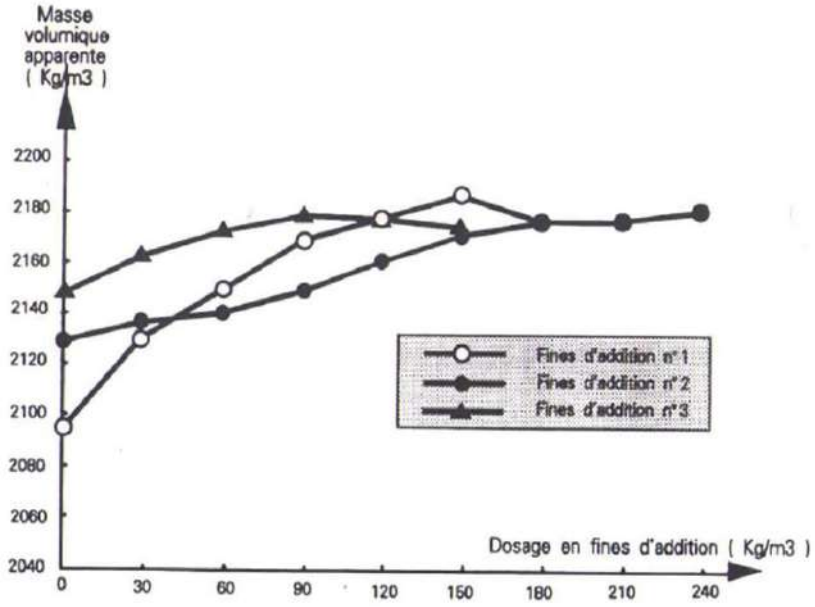


Fig1.35 masse volumique apparente en fonction du dosage en fines d'addition [39]

1.5.1Influence des déchets céramiques rouge sur les propriétés des matériaux cimentaires

Plusieurs études ont été faites sur l'étude de l'effet de l'incorporation des déchets céramique (dalle de sol, faïence, brique……) sur le comportement des matériaux cimentaire à l'état frais et durci [40]

5.1Conclusion

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 céramique (définition, composition, propriétés, utilisation), et le béton de sable (définition, composition, utilisation, formulation), ainsi que finalement un aperçu sur l'effet de valorisation et recyclage de déchets céramiques sur les performances de matériaux à base cimentaire à l'état frais et durci.

Chapitre:02
Matériaux et essais

2.1 Introduction

Ce chapitre a pour objectif de présenter les différents matériaux et les techniques expérimentales utilisées dans notre étude. On présente en première partie les caractéristiques et les propriétés des matériaux de base utilisés dans la composition des mortiers et des bétons. Dans une seconde partie, on exposera la méthode de formulation adoptée dans les différentes compositions des bétons de sable. Ensuite, on présente les essais réalisés au cours de notre investigation sur les mortiers et les composites obtenus à l'état frais et à l'état durci. Le béton de sale est caractérisé à l'état frais par les essais spécifiques suivants :

-Essai d'étalement au Mini-cône.

- La densité A l'état durci nous avons évalué, la résistance à la compression

-la résistance à la compression par flexion.

2.2 Caractérisation des matériaux utilisés

2.2.1. Le sable

Dans cette étude nous avons utilisé un seul type de sable, il s'agit un sable roulé issue de carrière d'OUED SOUF, sa classe granulaire est 0/3. La (**Fig2.1)** suivante donne un aperçu sur la nature du sable utilisé. L'analyse granulométrique de sable utilisée est présentée sur la (**Fig2.2)** et Les caractéristiques physiques du sable utilisé sont regroupées dans le tableau2.1ci-dessous [42]



Fig.2.1 Sable utilisé

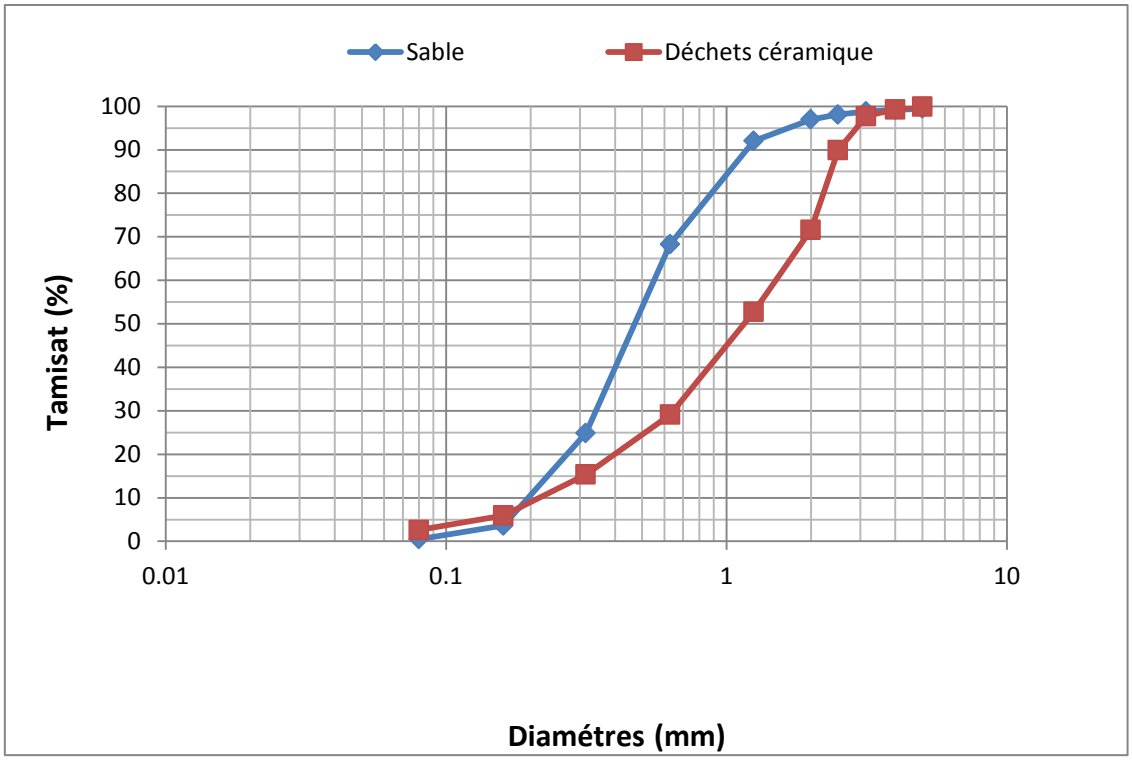


Fig.2.2 Courbe granulométrique de sable utilisée Tracé à coté de ca la courbe granulo de céramique

Tableau .2.1 Caractéristiques physique de sable et les déchets utilisés [42]

Caractéristiques Sable

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)	1.57	NF EN 1097-6 **[59]**
La compacité (%)	59	NF EN 1097-3 **[60]**
La porosité (%)	41	NF EN 1097-3 **[60]**
Equivalent de sable (%)	81.9	NF EN 1097-3 **[60]**
Coefficient d'absorption d'eau (%)	0.42	NF EN 1097-6 **[59]**

2.2.2 Ciment

Pour tous les mélanges que nous avons réalisés, le ciment utilisé est un ciment portland composé MATINE CPJ II/A 42.5 provenant de la cimenterie de M'SILA en Algérie dont l'ajout est le calcaire MATINE est un ciment gris de hautes résistances initiales et finales, résultat de la mouture du clinker obtenu par cuisson jusqu'à la fusion partielle d'un mélange convenablement dosé et homogénéisé de calcaire et d'argile. Ce ciment est constitué d'oxydes minéraux dont les principaux sont la chaux (CaO) à fonction basique et la silice (SiO2) à caractère acide. On trouve également l'aluminium (Al 2O3) et le fer (Fe2O3). Ils sont rendus aptes à réagir entre eux et avec l'eau par traitement thermique à des températures comprises entre 1300 °C et 1500°C. En présence d'eau à lieu la réaction d'hydratation consistant en la formation d'un réseau résistant constitué principalement de microcristaux de silicates de calcium hydratés MATINE présente des performances mécaniques et des caractéristiques physicochimiques [42]



Fig.2.3 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, **[42]**

Tableau 2.2 Analyse chimique du ciment et composition du clinker [48]

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. **[42]**

- **La consistance normale**

C'est la quantité d'eau de gâchage qu'il faut ajouter à une quantité de ciment préalablement pesée pour obtenir une pâte dite normale, elle est mesurée à l'aide de l'appareil de Vicat **[42]**

- **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 [42] Le Tableau2.3 résume les résultats des essais physiques sur le ciment utilisé.

Tableau .2.3 Caractéristique physiques du ciment [42]

Caractéristique	Valeur
Masse volumique absolue (g /cm3)	0.99
Masse volumique apparent (g/cm3)	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)(cm2/g)	4300-4800
Expansion (mm)	0.50– 2.50

C. Essais mécaniques sur le ciment

Les essais mécaniques sur le ciment été effectués sur des éprouvettes prismatiques 4x4x16 cm³ à raison de trois éprouvettes rapportées à la moyenne par âge. Le mortier utilisé est un mortier normalisé : 450 g de ciment, 1350 g de sable naturel et 225 g d'eau. Le Tableau 2.4résume l'évolution de la résistance du ciment en fonction de l'âge [42]

Tableau.2.4 Evolution de la résistance du ciment en fonction de l'âge [42]

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

2.2.3 Ajouts (fillers)

Les fillers utilises au cours de ce travail sont les fillers de marbre **(Fig.2.4)**. les fillers sont obtenus parles déchets de marbre de l'industrie. Rappelons que les fins de marbre sont les plus adaptés au béton et il donne tune meilleure performance. Leurs caractéristiques physiques sont mentionnées dans le Tableau.2.4.

Tableau.2.5 Caractéristiques physiques des fins de marbre utilisé [42]

Caractéristiques	Valeurs
La masse volumique apparente (Kg/m3)	1.083
La masse volumique absolue (Kg/ m3	2.73
La finesse	3200
La compacité(%)	39.6
La porosité(%)	60.4

2.2.4 Adjuvant

L'adjuvant utilisé au cours de ce travail est un Super plastifiant-Haut réducteur d'eau fabriqué par la société, Algérienne GRANITEX, commercialisé sous l'appellation 'MEDAFLOW30', de forme liquide ; de couleur brai clair ; d'un PH égal à 6-6.5, de densité 1,07 ± 0,01 et d'une teneur en chlore<0.1g/L [42]

2.2.5 Eau de gâchage

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

2.2.6 Déchets de céramique rouge

Les déchets céramiques utilisés au court de ce travail sont obtenus par le recyclage mécanique de déchets de déchets broyer de la dalle de sol **(Fig2.4).** Après avoir étaient récupérée (triée) ,puis broyer, extrudés sous forme de sable et incorporé dans la masse du béton de sable fluide par substitution volumique du sable avec des pourcentage de 10%,20%,30%,40%et 50%.La granulométrie de déchet céramique représenté dans la **(fig2.4)**, et leurs caractéristiques physiques sont donné dans le tableau 2.6.



Avant **Après**

Fig.2.4 Procédure de recyclage déchets céramique rouge

Tableau 2.6 Caractéristiques physiques de déchet de céramique utilisé

Caractéristique	Sable de céramique
Module de finesse	2.96
La masse volumique absolue (Kg/m^3)	2.45
La masse volumique apparente (Kg/m^3)	1.22
La porosité (%)	41.21
La compacité (%)	58.78

2.2.7 Fibres

Les fibres utilisées sont des fibres métallique DRAMIX de type RC-80/30-BP à haute teneur en carbone. Elles sont fabriquées à partir de fil d'acier tréfilé à froid. La fibre comporte à chacune de ses extrémités un façonnage en forme de baïonnette appelé « crochet » destiné à favoriser son ancrage dans le béton.

Les principales caractéristiques dimensionnelles et physiques sont les suivantes :

Tableau 2.7 Caractéristiques de Fibre

Caractéristique	**Valeur**
Longueur	30 mm ± 3 mm
Diamètre	0.375 mm±0.02mm
L des extrémités des crochets	1 mm ≤ L ≤3 mm
Amplitude de crochet	h ≥0,75 mm
Angle du crochet	$\alpha \geq 20^{\circ}$
R à la traction	R_m > 1 050 N/mm²
Type d'ancrage	fibre avec 2 crochets
Conditionnement	Fibres encollées en plaquette
Facteur d'élancement	80 =L/d = 30/0.75



Fig.2.5 Type de fibre métallique utilisé

2.3 Composition des mélanges

La composition du béton de sable pour la confection des éprouvettes est basée sur la méthode expérimentale de projet de SABLOCRETE 1994 . Les déchets céramique est incorporé dans la masse du béton de sable par substitution volumique du sable avec de pourcentage de,10%,20%.30%.40% et 50%. Les familles du béton de sable obtenus sont répertoriées comme suit:

BSFT : Béton de sable fluide témoin.

BSF 1 : Béton de sable fluide à base de 10% déchets céramique +0.5% fibre métallique.

BSF 2: Béton de sable fluide à base de 10% déchets céramique +1% fibre métallique.

BSF 3 : Béton de sable fluide à base de 20% déchets céramique +0.5% fibre métallique.

BSF 4: Béton de sable fluide à base de 20% déchets céramique +1% fibre métallique.

BSF 5 : Béton de sable fluide à base de 30% déchets céramique +0.5% fibre métallique.

BSF 6: Béton de sable fluide à base de 30% déchets céramique +1% fibre métallique.

BSF 7 : Béton de sable fluide à base de 40% déchets céramique +0.5% fibre métallique.

BSF 8: Béton de sable fluide à base de 40% déchets céramique +0.75% fibre métallique.

BSF 9 : Béton de sable fluide à base de 50% déchets céramique +0.5% fibre métallique.

BSF 10: Béton de sable fluide à base de 50% déchets céramique +1% fibre métallique.

Tableau 2.8 Compositions des Béton de sable fluide à base déchet céramique pour ($1m^3$)

	Sable (Kg/m^3)	Ciment (Kg/m^3)	Fillers de marbre (Kg/m^3)	Eau (Kg/m^3)	Adjuvant (%)	Déchet de céramique rouge(g)	Fibre (g)
BSF1	1400	400	200	260	1		
BSFDCR 10%	1271.54	400	200	260	1.4	128.44	3
					1.5	128.44	9
BSFDCR 20%	1143.08	400	200	260	1.7	256.88	3
					1.8	256.88	9
BSFDCR 30%	1014.60	400	200	260	1.9	385.39	3
					1.95	385.39	6
BSFDCR 40%	886.14	400	200	260	2	513.85	3
					2	513.85	9
BSFDCR 50%	757.67	500	200	260	2	642.32	3
					2	642.32	9

2.4 Malaxage et conservation

Le malaxage des bétons de sable fluide se fait en malaxeur à mortier d'une capacité de 5 L Fig. 2.8, pour la confection des éprouvettes 4*4*16cm. L'introduction des constituants se fait du plus gros au plus fin. Le but recherché est de répartir, le plus régulièrement possible, chaque constituant afin d'assurer un mélange homogène et d'obtenir ainsi les mêmes propriétés. [42]

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

- On verse le ceramique et 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 minute.
- 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 1 minutes, puis on laisse le mélange repose 2 minute et ajoute les fibre métallique .
- Puis lancer vitesse rapide pendant 1 minute .

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

- Mesure la densité et l'ouvrabilité du béton frais immédiatement au fin malaxage [42].

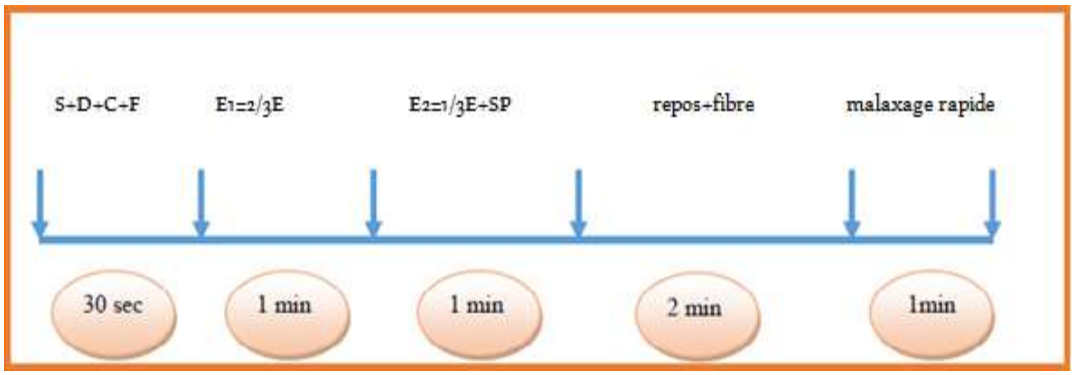


Fig.2.6 Séquence de malaxage du béton de sable fluide



Fig.2.7 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:

2.5.1L'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]**.



Fig2.8 Mesure de l'étalement 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 pour les essais thermiques conformément à la norme NF EN 12390-2 **[70].**





Fig2.9 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 2.9 Essais sur bétons durci.

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

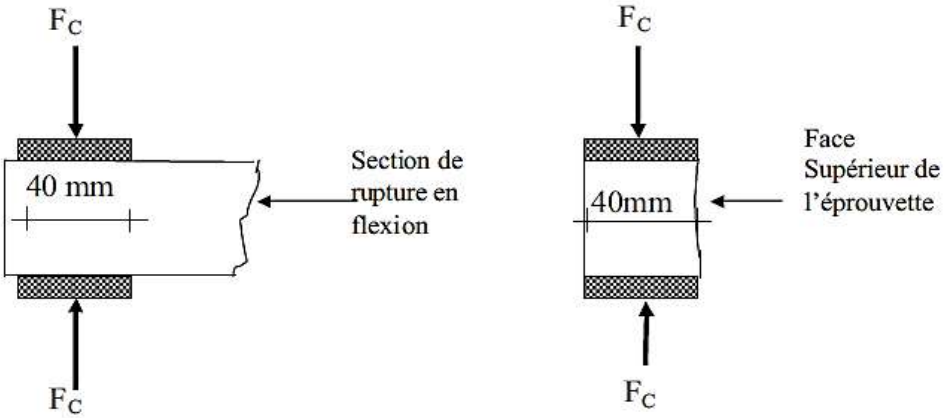


Fig.2.10 Dispositif de rupture à la compression.

La contrainte de rupture est calculée comme suit :

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

R_C : Résistance à la compression en (MPa) ;

F_C: Charge de rupture en (N) ;

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



Fig2.11 Presse Hydraulique (2000KN).

2.7.2 Essai de la résistance à la traction par flexion

À l´âge requis, les éprouvettes sont brisées par flexion en deux moitiés selon la norme [EN 196-1] **[35]**. C'est l'essai le plus couramment utilisé. Il consiste à rompre en flexion (Par trois points), une éprouvette de(4x4x16) cm de côté **a** et de longueur **L**. La figure II.20 montre les étapes de l'essai.

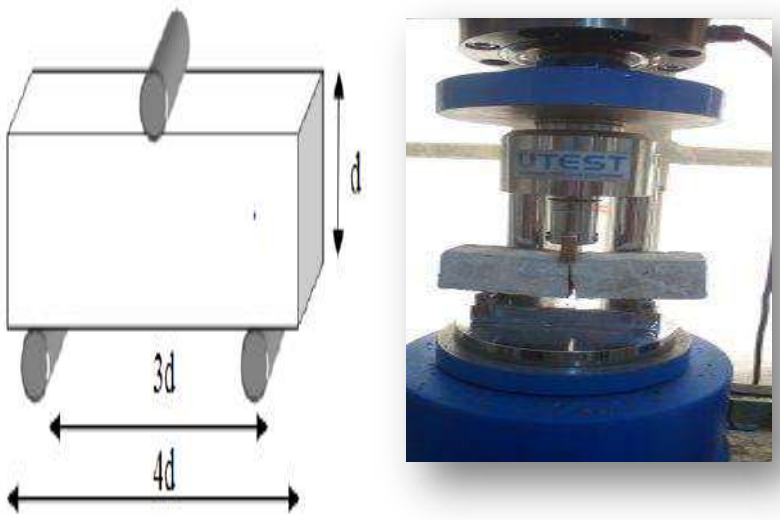


Fig.2.12 Essai de traction par flexion sur béton.

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

$$\sigma_t = \frac{M}{I} v$$

Avec :

M : Moment de flexion entre les deux points d'application de la charge : $\mathbf{M} = \frac{Ff\ L}{4}$

I : Moment d'inertie de la section transversale : $\mathbf{I} = \frac{d4}{12}$

v : La distance de la fibre inférieure la plus éloignée : $\mathbf{v} = \frac{d}{2}$

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

$$\sigma_t = \frac{M15Ff\ L}{d3}$$

2.8 Variables étudiées

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

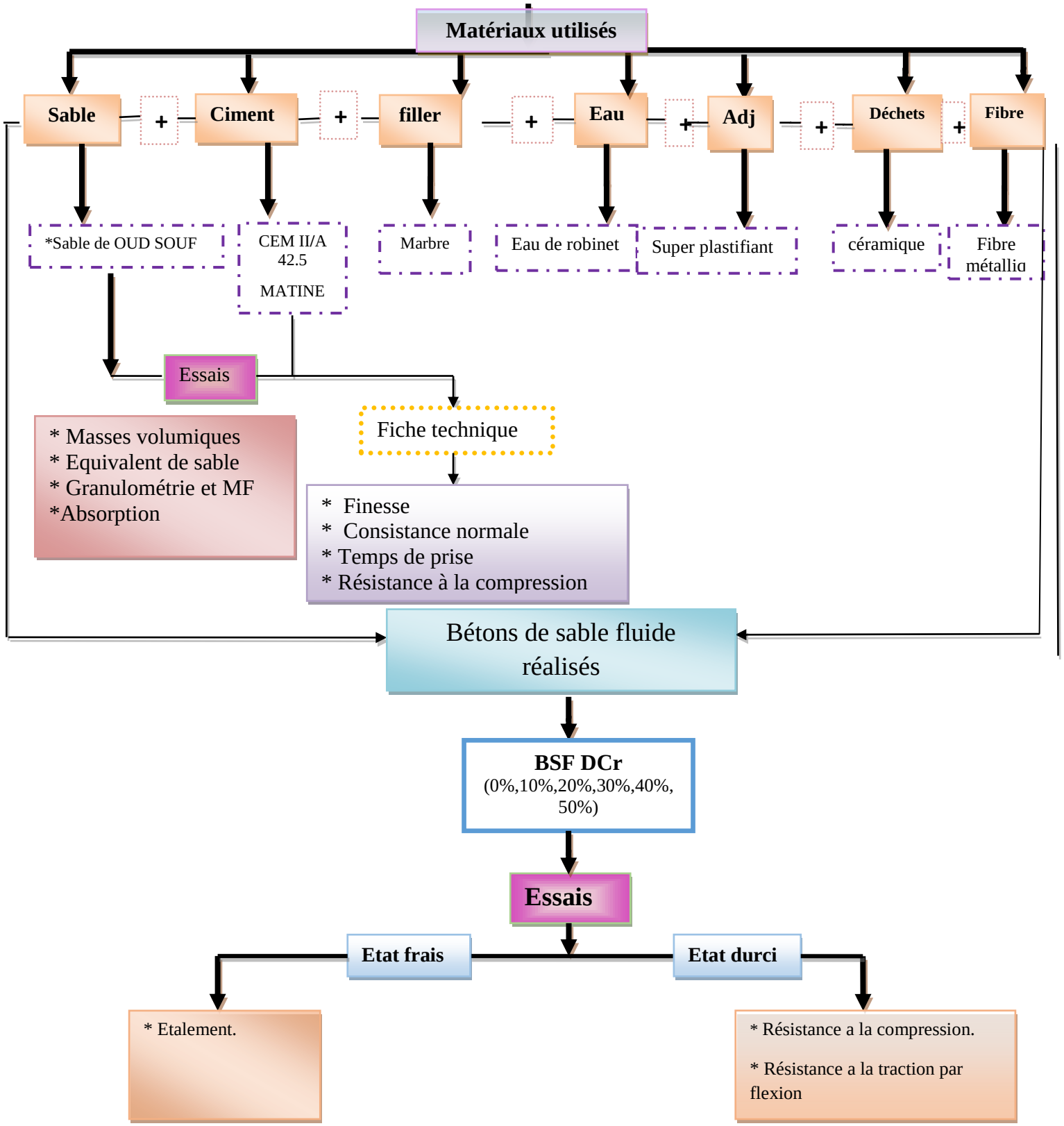


Fig2.13 Variables étudiées.

2.9Conclusion

Le recyclage et la valorisation des déchets céramiques rouges et des fibres métalliques dans la masse de béton de sable fluide constituent une alternative économique et technologique importante dans certains pays en voie de développement. Cette étude présente une contribution à l'étude de l'effet des déchets céramiques rouge et des fibres métalliques sur les propriétés frais et durci des bétons de sables fluide.

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

- Caractérisation 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 céramique .

Chapitre:03
Résultats et interprétations

3.1 Introduction

Les résultats des essais effectués sur les différents mélanges obtenus seront représentés dans ce chapitre.

3.2. Influence de déchets céramiques et fibres métalliques sur le comportement du BSF

3.2.1 Caractéristiques du BSF à l'état frais

3.2.1.1 Etalement

Les résultats sont représentés sur un histogramme **(Fig3.1)** nous permet de comparer les valeurs du l'étalement des différents bétons de sable fluide réalisés.

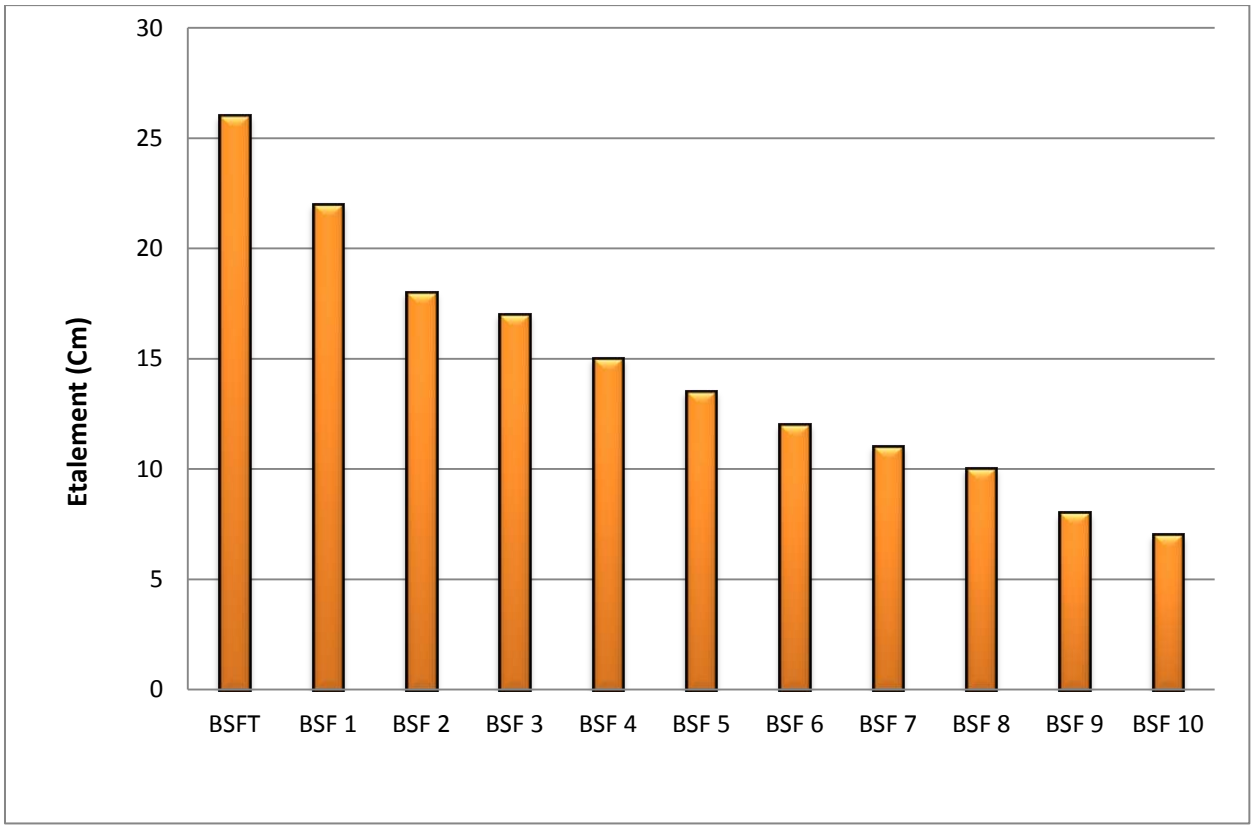


Fig.3.1. Étalement de BSF à base de déchets céramique et fibres métallique

Les résultats obtenus montrent que l'étalement de bétons de sable fluide varie en fonction du pourcentage de substitution du sable par les déchets céramiques l'ajout des fibres métalliques. On constate aussi que plus le pourcentage de déchets céramiques et fibres métalliques augmente, plus l'étalement est diminué .Cela est due à la fois à la forme anguleuse de déchets

céramique incorporés par rapport au sable substitué et à l'ajout des fibres métallique qui jouent un rôle d'obstacle dans le mélange. Ces résultats confirment les résultats de plusieurs chercheurs dans le domaine [37-40,41] .

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) (Voir tableau de formulation)

3.2.1 Caractéristiques du BSF à l'état durci

- **Résistance 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 le tableau suivant :

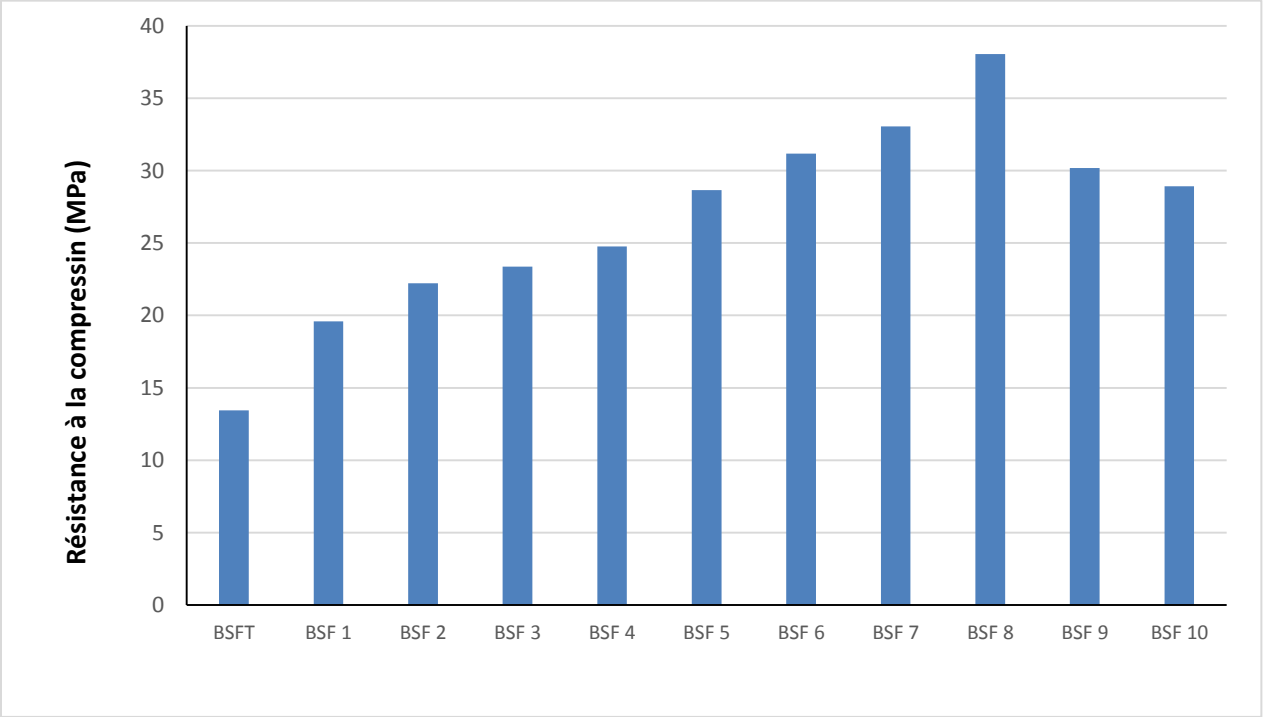


Fig.3.2. La résistance à la compression à l'âge de 7 jours des BSF à base de déchets céramique et fibres métalliques

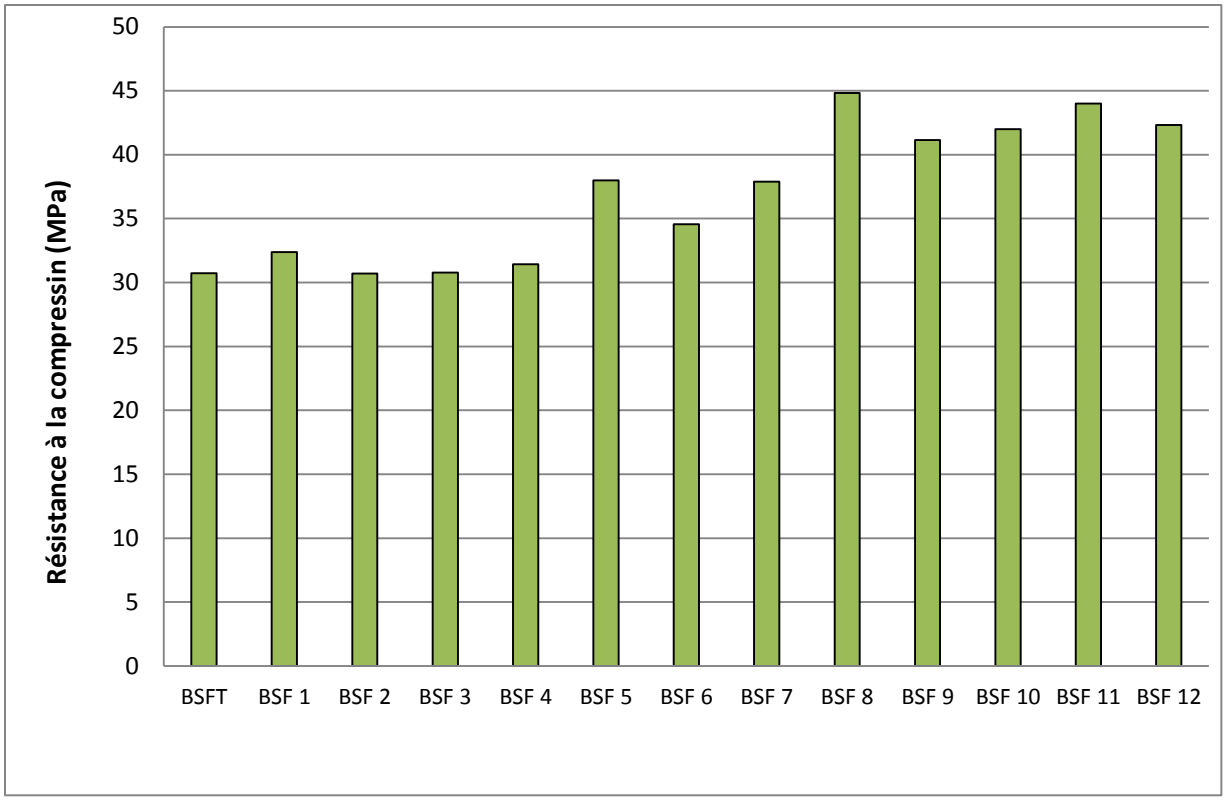


Fig.3.3. La résistance à la compression à l'âge de 28 jours des BSF à base de déchets céramique et fibres métalliques

Les résultats présentés montrent que la résistance à la compression et à la traction par flexion de béton de sable fluide est améliorée en fonction d'ajout de fibre métalliques et de substitution du sable naturel par les déchets céramiques. Le gain est estimé à 31% pour le BSF 8 qui représente l'optimum des BSF. Cette augmentation de la valeur de résistance à la compression est liée essentiellement aux grains de déchets céramiques qui sont plus dure que ceux de sable substitué. Ces résultats confirment les résultats des plusieurs chercheurs dans le domaine [10,43,61,62]. Finalement, l'utilisation de ces types des bétons est recommandée dans la construction de béton structurel.

La résistance à la traction par flexion

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

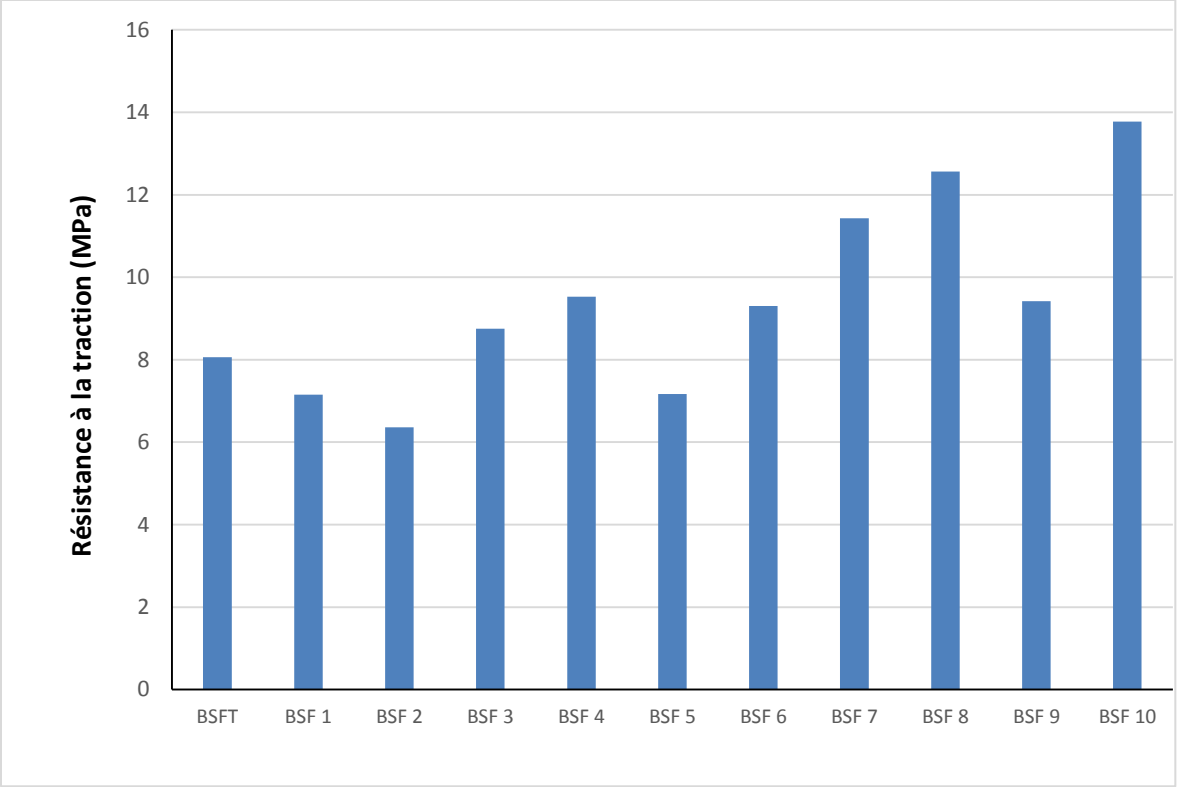


Fig.3.4. La résistance à la traction par flexion à l'âge de 7 jours des BSF à base de déchets céramique et fibre métalliques

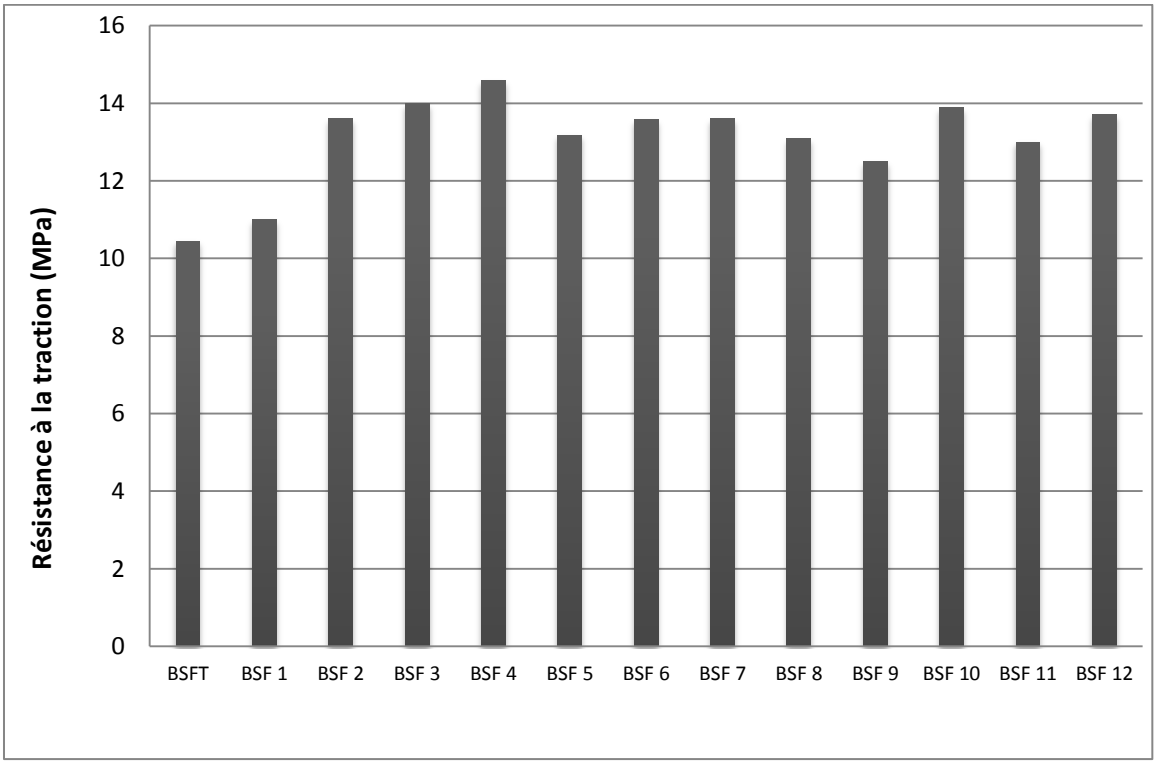


Fig.3.5. La résistance à la traction par flexion à l'âge de 28 jours des BSF à base de déchets céramique et fibre métalliques

Les figues ci-dessus montrent que quelque soit l'âge du béton la résistance à la traction par flexion du béton de sable fluide est améliorée en fonction d'augmentation de pourcentage d'ajout des fibres métallique et substitution du sable naturel par les déchets céramiques. Le gain d'augmentation est estimé à 28.37 % respectivement à l'âge de 28 jours avec un taux de 0.75% d'ajout de fibre métallique et 40% de substitution du sable naturel par de déchets céramiques. Cette augmentation de la résistance est liée à la fois à la dureté des déchets céramiques incorporé dans la masse de BSF, la bonne adhérence entre ces grains et la matrice cimentaire ainsi que à la présence des fibres métalliques qui jouent un rôle de couture des fissures. Ce résultat confirme les résultats trouvés par plusieurs chercheurs dans ce domaine [10, 43,61,62]. On peut conclure finalement que l'emploi et l'utilisation de ces types des bétons est recommandé dans les éléments de structure (Poteaux, poutre, dalle, planchers ….ect).

1.6 Conclusion

Sur la base des résultats obtenus on conclut que :

- L'étalement de BSF est augmenté en fonction d'augmentation de pourcentage de fibre métalliques et de déchets céramique.

- La résistance à la compression de BSF à l'âge de 7 et 28 jours argumente d'environ 31% en fonction d'ajout de 0.75% de fibre métalliques et 40% de déchets céramique.

- La résistance à la traction par flexion de béton de sable fluide est améliorée en fonction d'ajout de fibre métalliques et de déchets céramique.

Conclusions générales

Conclusions générales

L'objectif essentiel de ce travail et de voir l'influence de fibre métallique et de déchets céramique sur les caractéristiques de béton de sable fluide à l'état frais et durci. Les résultats de cette étude ont donné les conclusions suivantes :

- L'ajout des fibres métalliques et la substitution partielle du sable naturel par les déchets céramiques influent négativement sur l'étalement du béton de sable fluide.

- Quelque soit l'âge du béton, la résistance à la compression de béton de sable fluide à base des fibres métalliques et déchets de céramiques est nettement améliorés. Le gain est estimé à 31% pour une substitution partielle du sable (40%) du sable par les déchets céramiques et ajout de 0,75% des fibres métalliques.

- La résistance à la traction par flexion de BSF est améliorée en fonction de substituions du sable naturel par les déchets céramiques et ajout des fibres métalliques. Une augmentation d'environ 28% de la résistance à la traction par flexion de béton de sable fluide est enregistrée.

Sur la base des résultats obtenus, on recommande l'utilisation de ces types des bétons dans les éléments de béton structuraux (Panneaux préfabriqué, dallage, poteau, poutre).

Annexes



Fig. A.1 ciment Mâtine utilisé

1. Matériaux utilisés :

- La pouzzolane naturelle :

La pouzzolane naturelle utilisée est d'origine volcanique extraite du gisement de Bouhamidi situé au sud de Beni-Saf. Sa masse volumique absolue est de **2,85 g/cm³**.

Tableau 1 : Composition chimique de la pouzzolane naturelle de Béni-Saf.

SiO_2	CaO	Fe_2O_3	MgO	Al_2O_3	SO_3	K_2O	Na_2O	P.F
46,8	9,2	10,5	3,8	18,8	0,2	0,5	0,8	6,5

- Le ciment :

Le ciment utilisé dans la confection des mortiers est un CEM I/42,5 (CRS), de la cimenterie LAFARGE (Sig). Sa masse volumique absolue est de 3,11g/cm3.

Tableau 2 : Composition minéralogique du clinker de base selon Bogue.

C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF
57,5	19	2,65	14

6

19/3/2014 Mme LAOUFI TEB'14

Fig. A.2 La fiche technique ciment

NOTICE TECHNIQUE 2 1 1 9

MEDAFLOW 30

Conforme à la norme EN 934-2:TAB 1, TAB 3.1 ET TAB 3.2 NA 774.

Super plastifiant
Haut réducteur d'eau

DESCRIPTION

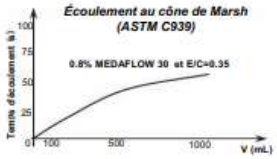
Le **MEDAFLOW 30** est un super plastifiant haut réducteur d'eau de la troisième génération. Il est conçu à base de polycarboxylates d'Ether qui améliorent considérablement les propriétés des bétons.
Le **MEDAFLOW 30** permet d'obtenir des bétons et mortiers de très haute qualité.
En plus de sa fonction 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 - plaçants
- 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



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.

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

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

CONDITIONNEMENT ET STOCKAGE

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
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 Los Angeles



Fig. A.5 concassage par concasseur et broyage manuelle.





Fig. A.6 les fibres industrielle



Fig. A.7 Tamiseuse électrique



Fig. A.8 Malaxeur



Fig. A 9 essai de l'étalement**.**



Fig. A.10 Les éprouvettes avant l'écrasement



Fig. A.11 Les éprouvettes après l'écrasement

Référeces bibliographiques

References bibliographiques

[1] https://www.futura-sciences.com/sciences/definitions/chimie-ceramique-16686/

[2]https://www.google.dz/search?q=c%C3%A9ramique&biw=1441&bih=693&tbm=isch&ei=8WfYYJvTJYLbkwXPqrnIDQ&start=20&sa=N

[3] https://jardinage.lemonde.fr/dossier-2423-toiture-tuiles.html

[4] https://www.samse.fr/guide-pose/quel-type-de-tuile-pour-toiture

[5] https://www.batiproduits.com/batiwiki/faience/definition/61175F78-B4E0-40D3-B10B-5525E63CDFB9/

[6] https://www.quadrillage.net/carrelage/les-faiences-de-salle-de-bains.html

[7] https://www.techno-science.net/definition/4717.html

[8] https://bricoleurpro.ouest-france.fr/dossier-651-construction-maison-briques.html

[9] https://www.google.com/search?client=firefox-b

d&bih=654&biw=1366&hl=fr&amp

[10] http://www.groceram.com/index.php/assortiments/dalles-de-sol

[11] https://wc.ooreka.fr/astuce/voir/719691/materiaux-des-wc

[12] https://fr.wikipedia.org/wiki/Porcelaine

[13] https://wc.ooreka.fr/astuce/voir/719691/materiaux-des-wc

[14] http://www.univ-setif.dz/facultes/ft/externe/departements/gc/Chapitre-II-Produits-

ceramiques.pdf

[15]https://www.karavaneserail.com/blog-decoration-orientale/ceramique-et-poterie-orientale/fabrication-des-ceramiques-ottomanes

[16] https://www.latuileterrecuite.com/comment-sont-fabriquees-les-tuiles/

[17] https://www.google.com/search?q=La+fabrication+des+tuiles&tbm=isch&amp

[18] http://carrelage.over-blog.com/2016/08/la-fabrication-des-carreaux-de-

ceramique.html

[19] https://www.latuileterrecuite.com/comment-sont-fabriquees-les-tuiles/

[20] file:///D:/Mémoir/Hamouch%20Riali/Chapitre-II-Produits-ceramiques.pdf

[21]https://www.futura-sciences.com/maison/questions-reponses/materiau-poser-carrelage-sol-colle-10516/

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

[23] Guy Némoz La chimie et l'habitat, Le textile, un matériau multifonctionnel

[24] Les Industries du plâtre. La plaque de plâtre au cœur de la construction durable. Http://www.lesindustriesduplatre.org, 21/09/2011

[25] MAKHLOUF Caractérisation en statique du comportement en traction direct du béton armé de fibres en copeaux université de Tizi-Ouzou 2010 p.(16,17,18)

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

[27]https://www.google.com/search?q=Les+fibres+naturelles&sxsrf=ALeKk006akdYCkK1_xcmXGDw39xNfq4MGw:1624870428869&tbm=isch&source=iu&ictx=1&fir=G_fpQ4kLZYsfNM%252C1E_GkXkJ-QKT1M%252C_&vet=1&usg=AI4_-kTFJIfBAiy2IAG5WJP8m_mP49uqQA&sa=X&ved=2ahUKEwi0q9-F-rnxAhWNlhQKHewrCmEQ_h16BAgvEAE#imgrc=tUrqHa12znw9XM

[28] P. JACQUINET, "Moulage par compression des SMC polyesters et phénoliques,"

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

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

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

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

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

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

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

[36]Desert-Map, 2012 Carte des déserts du monde, téléchargeable du site Internet: http://fr.mapsofworld.com/world-desert-map.htm#

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

[38]CHAUVIN, J.J. « Béton de sable en Union Soviétique », Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées (LCPC), n°174, juill. - août 1991.

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

[40] Jim_enez JR, Ayuso J, L_opez M, et al. Use of fine recycled aggregates from ceramic waste in masonry mortar manufacturing. Constr Build Mater. 2013;40:679–690.

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

[42] Medina C, Rojas MIS, Frías M. Reuse of sanitary ceramic wastes as coarse aggregate in eco-efficient concretes. Cem Concr Compos 2012;34(1):48–54

[43]MEDDAHI KAMELMme MEDDAHI NACIRA Née REZGUI COMPORTEMENTS DES BETONS RENFORCÉS PAR DES FIBRES METALLIQUES, MÉTHODOLOGIE ET HYPOTHÈSE DE RECHERCHE. 2015/2016 29

[44] M. Guendouz, Dj. Boukhelkhal, Properties of flowable sand concrete containing ceramic wastes, Journal of Adhesion Science and Technology, 33(24), 2661–2683 (2019). https://doi.org/10.1080/01694243.2019.1653594