REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA



Faculté de **T**echnologie

Mémoire de fin d'études de Master

Filière : Génie Civil

Spécialité : Matériaux en Génie Civil

Fabrication des nouveaux éco-béton a base des déchets solides municipaux

---

Présenté par :

M^{elle} . Khelil marwa

M^{elle} . Ben saleh bouchra

Proposé et Dirigé par :

Dr.GUENDOU Mohamed

Mr.HADJADJ Moussa

Promotion Juin 2023

Remerciements

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

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

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

Un grand merci à monsieur **HADJADJ Moussa** , pour son aide pratique et son soutien moral et ses encouragement .

Un grand merci est adressé à tous les ingénieurs et les travailleurs du hall technologique .

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

Dédicace

Je dédie ce mémoire a mes chers parents qui ont été toujours à mes cotés et m'ont toujours soutenu tout au long de ces longues années d'études. En signe de reconnaissance, qu'ils trouvent ici, l'expression de ma profonde gratitude pour tout ce qu'ils ont consenti d'effort et de moyens pour me voir réussir dans mes études.

A vous mes frères (Houcine, Djamal, Zohir) qui m'avez toujours soutenu et encouragé durant ces années d'études. Ma nièce (Farah Yasmine). A mon fiancé Mohamed.

A tout ma famille

Et A toutes mes amies,

Et surtout Zineb, Mereim,Rihab.

Et tout qui m'aide et compulse ce modeste travail. En fin, je remercie mon binôme, Marwa, qui a contribué à la réalisation de ce modeste travail.

Bouchera

Dédicace

Je dédie ce travail à : Ma mère **« HABIBA BOUAICHAOUI»**, pour son amour , ses encouragements et ses sacrifices . Mon père **« HAMID»** , pour son soutien etMon marié « Abd ErrezaK» que dieu lui garde pour moi son affection et la confiance qu'il m'a accordé . A ma chère sœur **« HADIL Et ISRAE »** et mon frère **« YASSER»**, je souhait qui Dieu nous accorde une longue vie et bonne santé .

Ma grande mère **« HJILA»**, A tout ma famille **« khelil, bouaichaoui, hamani»**,

Mes chers amis **« hind, chaima,inas,anfal»**Et A toutes mes amies avec que j'ai partage les plue belles journées d'école

Et tous ceux que ont contribués avec moi dans mon projet de fin d'études. En fin, je remercie mon binôme, **« bouchra »** .

Marwa

ملخص

الهدف الرئيسي من هذا المشروع هو المساهمة في تثمين و رسكلة النفايات الصناعية(الجرانيت) المواد الحيوية (الصدفات) ودمج هذه النفايات بشكل حجمي في كتلة الخرسانية الرملية المائعة بنسب مختلفة مع دراسة خصائصها في الحالة الرطبة (الجريان و الكثافة) و الحالة الصلبة (مقاومة الضغط, الامتصاص ,المسامية, الكثافة, السرعة بالموجات و قد أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن فرق الصوتية, توصيل حراري) و مقارنتها مع خرسانة رملية مائعة عادية. الخصائص الميكانيكية للخرسانة تتحسن بشكل ملحوظ و من الممكن استعمال هذا النوع من الخرسانة في مختلف مجالات البناء و في جميع العناصر الإنشائية.

الكلمات المفتاحية-الخرسانة الرملية المائعة,نفايات,تثمين,الخصائص الميكانيكية.

Résumé

L'objectif principal de ce projet est de contribuer à la valorisation et au recyclage des déchets industriels (granite) et les déchets biossources (coquillage) dans la formulation de béton de sable fluide avec déférents pourcentages. Les caractéristiques de béton à l'état frais (étalement, densité apparent) et à l'état durci (la résistance a la compression, la densité apparent, la vitesse ultrasonique, la porosité, la conductivité thermique et l'absorption d'eau par capillarité) on étudier et comparé avec des bétons référence. Les résultats obtenus montrent que les caractéristiques mécaniques de béton sable fluide sont améliorées avec l'augmentation de substitution de déchets industrielle et bio sources, donc il est possible d'utiliser ce type de béton dans le domaine de la construction.

Mot clé-Béton de sable fluide ,Déchets, Valorisation, caractéristiques mécanique.

Abstract

The main objective of this project is to contribute to the valorisation and recycling of industrial waste (granite) and biosource waste (shell) in the formulation of flowable sand concrete with different percentages. The characteristics of concrete in the fresh state (flowablity, apparent density) and in the hardened state (compressive strength, apparent density, ultrasonic velocity, porosity, thermal conductivity and water absorption by capillarity) we study and compare with reference concretes. The results obtained show that the mechanical characteristics of flowable sand concrete are improved with the increase in substitution of industrial waste and bio sources, so it is possible to use this type of concrete in the field of construction.

Keywords-Flowable sand concrete, Waste, Valorization, Mechanical characteristics.

SOMMAIRE

SOMMAIRE

Remerciements

Dédicace

Résumés

Sommaire

Liste des Tableaux

Liste des Figures

Notation et Abréviation

Introduction Générale 1

CHAPITRE I : RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE.

I. Valorisation des déchets et activité de recyclage en construction 2

I.1.Introduction 2

I.2. Valorisation des déchets et sous produits industriels dans le génie civil 2

I.2.1. Définition de déchets

I.2.2. Valorisation 2

I.2.3. Méthodes de valorisation 3

I.2.4. Type des déchets 3

I.2.5. Différents déchets utilisés en génie civil 4

I.3. Coquillages 7

I.3.1.Définition de coquillage 7

I.3.2. Types de coquillages 7

I.3.3. Collectionner les coquillages 11

I.3.4. Utilisation 12

SOMMAIRE

I.4. Granite 13

I.4.1. Introduction 14

I.4.2. Les élément composent 14

I.4.3. Diversité des granites 14

I.4.4. les Compositions des granites 15

I.4.5. Utilisation 17

I.5. Le béton de sable 17

I.5.1. Introduction 17

I.5.2. Origines de béton de sable 18

I.5.3. Définition 18

I.5.4. Techniques particulières 18

I.5.5. Béton de sable projeté 19

I.5.6. Béton de sable fluide 19

I.5.7. Les composants du béton de sable 20

I.5.8. Formulation du béton de sable 23

I.5.8.1 Approche théorique d'une formulation d'un béton de sable 23

I.5.8.2 Méthode expérimentale de formulation des bétons de sable 27

I.6. Conclusion 30

CHAPITRE II : MATÉRIAUX ET ESSAIS

II.1 Introduction 32

II .2 Caractérisation des matériaux utilisés 32

II.2.1 Ciment 32

II.2.2 Granulats

II.2.2.1 Sable 33

II.2.2.2 Granite 35

II.2.2.2.a Recyclage sable de granite (SRG) 37

II.2.2.2.b poudre de granite recyclé (PGR) 38

II.2.2.2.c caractérisation des déchets de granite 39

II.2.2.3 Coquillage 39

II.2.2.3.a Recyclage des déchets de coquillage (DPQ) 40

II.2.2.3.b caractéristiques de (DPQ) 41

II.2.3 Filler 41

II.2.4 Eau gâchage 42

II.2.5 Adjuvant 42

II.3 Formulation du béton 43

II.4 Séquence de malaxage du béton 46

II.5 Les essais sur le béton (BSF) 47

II.5.1 Etat frais 47

II.5.2 Démoulage et conservation des éprouvettes 48

II.5.3 Etat durci 49

II.6 Variables étudiées 54

II .7 Conclusion 55

CHAPITRE III : RESULTATS ET INTERPRITATION

III.1 Introduction 57

III.2. Essais sue béton de sable fluide à base des déchets 57

SOMMAIRE

III.2.1 Influence de combinaison du déchet industriel et de coquillage sur le béton de sable à l'état frais 57

III.2.2 Influence de combinaison du déchet industrie et de coquillage sur le béton de sable à l'état durci 59

III.3 Conclusion 71

Conclusions générales 73

Recommandations 74

Références bibliographique 75

Annexe

Liste des tableaux

Liste des tableaux

Tableau II.1 : L'analyse chimique du ciment et composition du clinker 35

Tableau II.2 : Propriétés physiques d'identification de sable utilisés 36

Tableau II.3 : Propriétés physiques de PGR 40

Tableau II.4 : Propriétés physiques de SGR 40

Tableau II.5: Propriétés physiques de PQ 42

Tableau II.6 : Propriétés physiques de filler de marbre blanche 42

Tableau II.7 : composition des bétons formulés 44

Liste des figures

Listes des figures

Figure I.1 : Stratégies de traitement des déchets. 06

Figure I.2 : différence entre déchet recyclable, biodégradable ou composable. 07

Figure I.3 : déchets inertes. 08

Figure I.4 : déchets toxiques. 09

Figure I.5 : Différentes espèces de bivalves. 10

Figure I.6 : Gastropodes marins et terrestres. 11

Figure I.7 : les gastéropodes à branchies. 11

Figure I.8 : Vues externe et interne d'un brachiopode. 12

Figure I.9 : Anatomie d'un céphalopode. 13

Figure I.10 : Nautile. 14

Figure I.11 : Type de Coquillages. 14

Figure I.12 : Une belle collection avec les coquilles de plusieurs espèces de tellines. 15

Figure I.13 : Une conque utilisations. 16

Figure I.14 : L'intérieur de la coquille de l'ormeau est recouvert de nacre. 16

Figure I.15 : déchet de granite. 17

Figure I.16 : La diversité des couleurs de granite. 18

Figure I.17: Composition minéralogique du granite. 19

Figure I.18 : Composition chimique du granite. 19

Figure I.19 : Le béton de sable en projection. 21

Figure II.1: Le ciment utilisé (Annexe A). 35

Figure II.2 : Sable moyenne d'Oued Sauf. 36

Figure II.3 : analyse granulométrique des sables utilisé. 37

Figure II.4 : Déchet de sable granite. 38

Figure II.5 : Déchet de poudre granite. 38

Figure II.6 : Protocole de concassage des déchets de granite sous forme sable 0/3. 39

Figure II.7 : Protocole de concassage des déchets de granite sous forme ciment 39

Figure II.8 : Déchet de coquillage 40

Figure II.9 : Protocole de concassage des déchets de coquillage sous forme ciment 41

Figure II.10 : Poudre de marbre. 42

Figure II.11 : super plastifiant utilisé TOMPO-10 43

Figure II.12 : Séquence de malaxage du béton de sable fluide 47

Figure II.13 : Procédure de malaxage au laboratoire 47

Figure II.14 : Développement de l'essai d'étalement 48

Figure II.15 : Mesure de la densité du béton 48

Figure II.16: Conservation des éprouvettes 49

Figure II.17 : Essai de compression sur éprouvette béton 50

Figure II.18 : Etalonnage et mesure du temps de parcours des ondes ultrasonores 50

Figure II.19 : Essai de l'absorption capillaire 51

Figure II.20 : Essai de conductivité thermique 52

Figure II.21 : Essai de propriété accessible 53

Figure II.22 : Densité 53

Figure II.23: Variable étudier 54

Figure III.1 :L'étalement en fonction de substitution du déchet (%) et Dosage des super Plastifiant de défirent type du béton 57

Figure III.2 : Densité apparent du mélange BSF 58

Figure III.3 : ultrasonique des mélanges BSF 59

Figure III.4 : La résistance à la compression en fonction de substitution du déchet (%) S1 60

Figure III.5 : La résistance à la compression en fonction de substitution du déchet (%) S2 61

Figure III.6 : La résistance à la compression en fonction de substitution du déchet (%) S3 62

Figure III.7 : Conductivité thermique 63

Figure III.8 : Porosité accessible 64

Figure III.9 : Absorption d'eau action en fonction de substitution du déchet (%) S1 65

Figure III.10 : Absorption d'eau action en fonction de substitution du déchet (%) S2 66

Figure III.11 : Absorption d'eau action en fonction de substitution du déchet (%) S3 67

Notations et abréviations

Notations et abréviations

BSF Béton de sable fluide

BSFT Béton de sable fluide témoin

BSF, 2,….18 Béton de sable fluide à base de déchets de céramique, granite et de Coquillage.

CPA Ciment Portland Artificiel

CPJ Ciment Portland Composée

E/C Rapport eau sur ciment

R Résistance

RC Résistance à la compression

SRSable recyclé

SPSuper plastifiant

NANorme Algérienne

NE Norme Européenne

MF Module de finesse

ES Equivalent de sable à piston

ESV Equivalent de sable à vue

E Quantité d'eau

M Moment de flexion

IMoment d'inertie

LLiante

FFilaire

INTRODUCTION

GENERAL

Contexte général

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

Les déchets industriel et les déchets bio sources sont trouvé leurs place comme matériaux cimentaires dans la fabrication des bétons ou des mortiers de ciment comme ajout minéral ou granulat fin, afin d'améliorer certaines propriétés à l'état frais ou l'état durci, Parmi ces déchets, , les déchets de granite et les déchets de coquillages… ,Cette déchets peuvent être recyclés et utilisés dans les matériaux cimentaire comme les bétons et les mortiers.

C'est dans ce contexte que s'ouvre la réflexion sur la formulation de nouveaux bétons qui utiliseraient des ressources abondantes, peu ou pas exploitées, et présenteraient soit des caractéristiques comparables à celles des bétons usuels, soit des caractéristiques répondant à certaines exigences mal assurées par ces derniers. La valorisation des matériaux locaux ainsi que la réutilisation des déchets de différentes nature actuellement l'objet de différentes recherches. Ce travail consiste donc à récupérer les déchets rejetés dans la nature, après avoir été collectés, sont incorporés dans le béton de sable fluide par substitution volumétrique du sable de cimentindustriel granite et biologique (coquillage) .

Pour le but de contribuer à la valorisation et au recyclage des déchets industriel et déchet de coquillage, nous avons étudié l'effet de la combinaison de ces déchets sur les caractéristique de béton de sable fluide à l'état frais (étalement, v-tunnel, densité) et à l'état durci (C et l'absorption capillaire)

Le premier chapitre consiste à une recherche bibliographique sur la valorisation et l'activité de recyclage en construction, sur les déchets industriel granit et déchet de coquillage.

Dans cette partie nous soulignons aussi les grands titres pour faire apparaître une vue générale sur le BSF et la Valorisation des déchets et activité de recyclage en construction (déchet de granite et de coquillage).

Le deuxième chapitre donne une description des matériaux utilisés et les essais réalisés et fait l'objet d'une section réservée aux détails de l'expérimentation mise en place durant toute la maîtrise de cette recherche.

Le dernier chapitre est consacré à la présentation des résultats et leurs interprétations. Les différentes résultats sont analysés indépendamment les uns des autres. Finalement, on

terminera ce travail par une conclusion générale et des recommandations pour le futur afin de bien contourner et compléter cette modeste étude, par l'initiation à la recherche.

CHAPITRE I :

RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

I. Valorisation des déchets et activité de recyclage en construction

I.1. Introduction

La production de déchets du côté du bâtiment et de la construction est très répandue et variée, ce qui rendre important l'amélioration de la valorisation des déchets. En effet, le secteur de la construction est lui seul responsable de plus de 40 millions de tonnes de déchets. Néanmoins, les déchets dangereux, pourront très bien êtrerécupérés, recyclés et valorisés. Cependant, la multitude de producteurs de déchets en plus de la variété de ceux-ci entraîne des complications au niveau du recyclage et de lavalorisation construction. Il va donc sans dire que les filières de récupération et de valorisation ne sont pas tout à fait en mesure de s'occuper de ces déchets en raison de ce chiffre important.**[1]**

I.2. Valorisation des déchets et sous produits industriels dans le génie civil

I.2.1. Définition e déchet

Un déchet définit simplement par un objet en fin de vie ou une substance issue d'un processus, jugés devenus inutiles, dangereux ou encombrants, et dont on veut se débarrasser. Tout objet qui doit être jeté car il est cassé, usé, contaminé, ou abîmé d'une manière ou d'une autre, pour certains, sera qualifié de déchet, mais ne sera pas nécessairement considéré comme tel par les autres.**[2]**

I.2.2. Valorisation

Terme générique recouvrant le recyclage matière et organique, la valorisation énergétique des déchets, ainsi que le réemploi, la réutilisation et la régénération. Avant de valoriser un déchet, il faut connaître son origine, l'analyser, caractériser son état actuel et son comportement dans le temps et évaluer sa traficabilité. Il s'agit donc de «mesurer pour connaître et connaître pour agir». L'approche globale du déche permettra d'en définir son devenir, à savoir quel type de valorisation choisir. **[3]**

I.2.3. Méthodes de valorisation

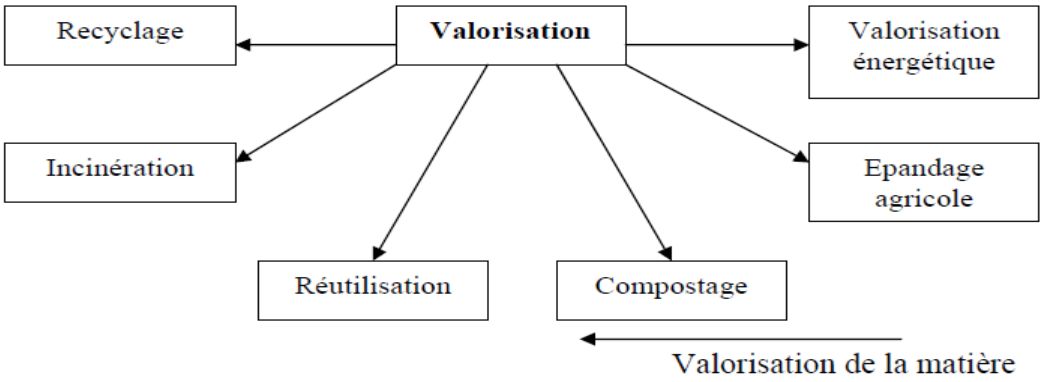


Figure I.1 : Stratégies de traitement des déchets.**[4]**

- **Valorisation matière**

Elle est appelée également, recyclage mécanique, il s'agit de l'opération globale consistant à la production d'une nouvelle matière à partir d'un déchet. **[5]**

- **Valorisation énergétique**

La valorisation énergétique consiste à récupérer et à valoriser l'énergie produite lors du traitement des déchets sous forme de chaleur, d'électricité, de carburant. Onpeutdistinguer deux sortes de valorisation énergétique : la valorisation par traitement thermique (incinération, Co-incinération, pyrolyse et gazéification) et la valorisation du biogaz issu notamment des installations de stockage de déchets non dangereux et de la méthanisation des déchets organiques.**[6]**

- **Valorisation chimique**

Cette valorisation, principalement utilisée pour le PET, consiste à retourner aux constituants chimiques ou de base, de manière à produire un matériau dont les propriétés sont très proches du matériau d'origine**.[7]**

I.2.4. Types des déchets

On distingue plusieurs types des déchets :

a. Les déchets biodégradables

Sont des déchets (notamment des déchets verts, biodéchets1 ou déchets organiques) constitués, pour l'essentiel, de matière organique naturelle pouvantêtre décomposés, plus ou

moins rapidement, par des bactéries et/ou de microchampignons avant d'être réintégrés par les écosystèmes2.Ils sont principalement issus de l'agriculture, de l'industrie agroalimentaire, de la restauration, de la filière bois-papier, des jardins privés ou de collectivités (espaces verts) ou de cuisines.**[2]**

b. Les déchets spéciaux et déchets industriels spéciaux

Ces déchets sont générés par les activités administratives et de bureautique (par exemple les piles, les tubes fluorescents,...), les équipements divers et varié (batteries de voitures, huiles de vidange, solvants, vernis, peintures…), et les déchets de chantiers. Ils font souvent l'objet d'une réglementation spécifique (amiante, ...). **[8]**

c. Les déchets recyclables

Matériaux de construction, métaux, matières plastiques : ces matériaux peuvent être réutilisés tels quels dans d'autres domaines ou recyclés : par exemple, les métaux sont refondues réintégrés dans de nouvelles pièces, les plastiques sont hachés et servent de rembourrage ou de combustible.**[9]**

d. Déchets organiques

Les termes suivants recouvrent la même notion : bio déchets ou déchets fermentescible ou FFOM (fraction fermentescible des ordures ménagères). Il s'agit de :

- Déchets végétaux des parcs et jardins (déchets verts).
- Déchets organiques de la cuisine (restes de repas, épluchures, papiers essuie-tout, papier journal, fleurs coupées, marc de café, filtres à café, sachets de thé, coquilles d'œufs…).**[9]**



Figure I.2 : différence entre déchet recyclable, biodégradable oucomposable. **[10]**

I.2.5. Différents déchets utilisés en génie civil

En général les déchets sont classés en cinq catégories comme illustrés ci –dessous ; bien que les déchets utilisables en génie civil soient **[3]**

a. Déchets industriels dangereux non toxiques

Ce type de déchets regroupe généralement :

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

b. Déchets inertes

Tout déchet qui ne subit aucune modification physique, chimique ou biologique importante, qui ne se décompose pas, ne brûle pas, ne produit aucune réaction physique ou chimique, n'est pas biodégradable et ne détériore pas les matières avec lesquelles il entre en contact d'une manière susceptible d'entraîner des atteintes à l'environnement ou à la santé humaine ».Parmi les déchets inertes produits par le secteur du bâtiment on trouve: le béton, les briques, les tuiles, les céramiques, les carrelages, les matériaux à base de gypse.



Figure I.3: déchets inertes**. [11]**

c. Déchets toxiques

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



Figure I.4: déchets toxiques**. [12]**

d. Déchets industriels dans des conditions spécifiques

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

e. Déchets ménager et assimilés

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

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

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

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

I.3. Coquillages

I.3.1 Définition de coquillage

Un coquillage est un animal aquatique (généralement marin), qui appartient au groupe des mollusques, et dont le corps est protégé par une coquille bien visible. On parle de coquillage principalement dans deux domaines : dans l'alimentation, les coquillages sont un des principaux types de fruit de mer : ce sont les fruits de mers à coquille, et la plupart d'entre eux appartiennent au groupées bivalves dans la vie courante les coquillages sont les coquilles vides d'animaux marins, que l'on peut trouver, notamment, sur la plage. Certains les collectionnent, ou en font des bijoux, etc. Ce genre de coquillage appartient principalement au groupe des gastéropodes.**[13]**

I .3.2 Type de Coquillages

On distingue trois types de coquillage **[13]**

a. Les bivalves

Leur corps est totalement enfermé dans une coquille qui s'ouvre en deux parties : lesdeux valves. Un grand nombre de coquillages, notamment ceux que l'on mange, sont des bivalves, comme : l'huître, la moule, la coquille Saint-Jacques, le pétoncle, les coques, les praires, les amandes, les tellines, les palourdes, les couteaux...

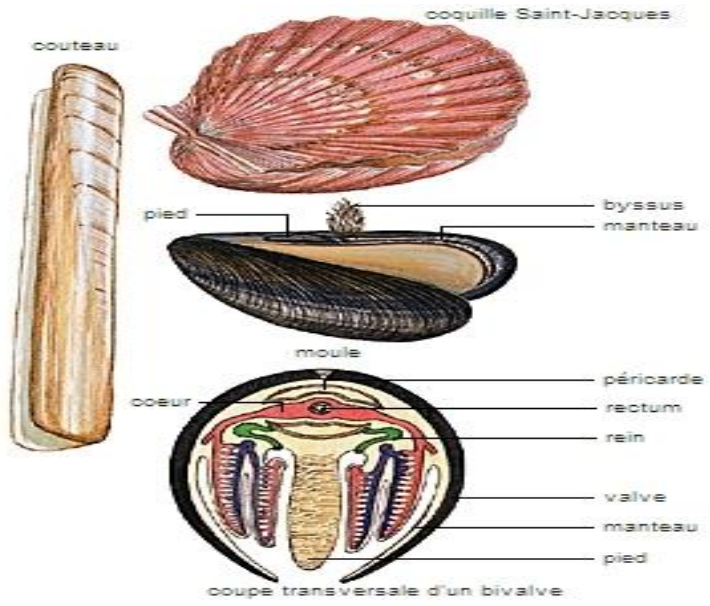


Figure I.5: Différentes espèces de bivalves.**[14]**

b. Les gastéropodes

Les gastéropodes ont, en principe, une coquille enroulée, mais, chez certains d'entreeux, comme les limaces, ou les limaces de mer, elle peut être très petite, et cachée, ou même avoir totalement disparu. Les gastéropodes que l'on appelle couramment « coquillages » sont ceux qui ont une coquille bien visible, et qui vivent généralement dans la mer, ou, plus rarement, en eau douce. Ceux qui vivent sur la terre ferme sont généralement appelés escargots et ils ne sont pas considérés comme des coquillages.

Exemple de gastéropode, le Cérithe goumier.

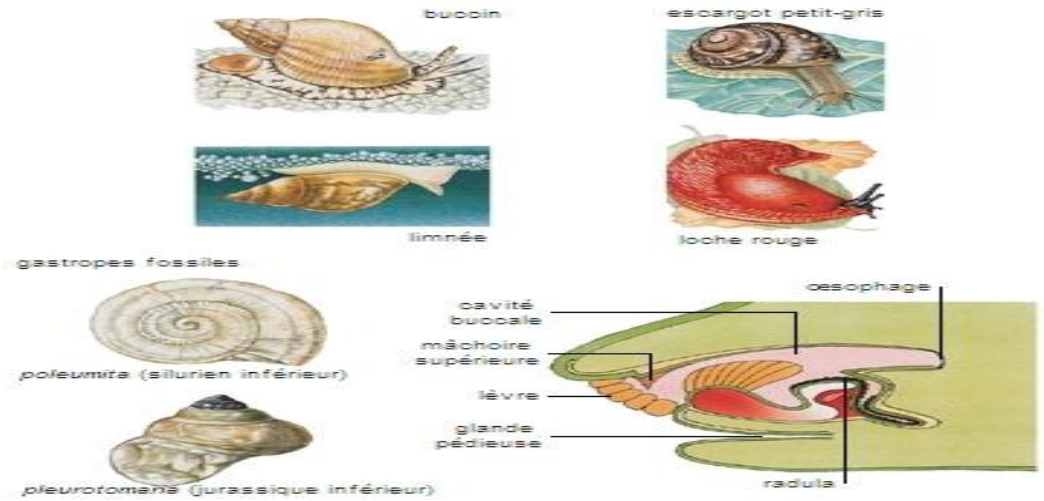


Figure I.6: Gastropodes marins et terrestres.**[14]**



Figure I.7: les gastéropodes à branchies. **[14]**

c. brachiopode

Animal marin à coquille calcaire bivalve. (Les brachiopodes forment un petit embranchement.), la plupart des brachiopodes sont fixés au fond de la mer par un pédoncule, ordinairement recourbé en crosse et issu d'une valve ventrale, que la valve dorsale recouvre comme un couvercle, avec ou sans charnière. La masse du corps n'occupe qu'une faible partie de la « boîte », où s'étendent de grandes branchies, soutenues par un squelette etconstituant le lophophore. Comptant aujourd'hui 250 espèces, les brachiopodes abondaient aux ères primaire et secondaire (jusqu'à 7 000 espèces) et leurs fossiles sont communs (térébratule, rhynchonelle, spirifer).

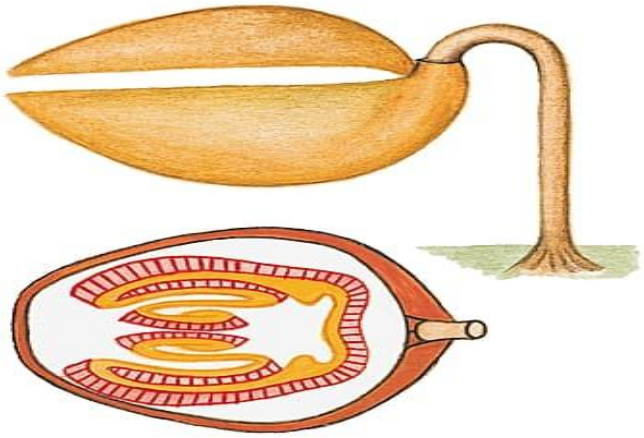


Figure I.8 : Vues externe et interne d'un brachiopode. **[14]**

d. céphalopode

Mollusque marin carnassier, très évolué, dont la tête est munie d'une couronne de tentacules, tel que le poulpe, la seiche, les ammonites fossiles, le nautile. (Les céphalopodes forment une classe).Comptant environ 700 espèces, toutes marines, les céphalopodes sont les plus évolués des mollusques. Ce sont des prédateurs de crustacés, d'autres mollusques et de poissons, qu'ils capturent et amènent à leur bouche à l'aide de leurs tentacules. Fermant à volonté leur cavité palléale, ils en chassent l'eau sous pression et nagent ainsi par réaction.

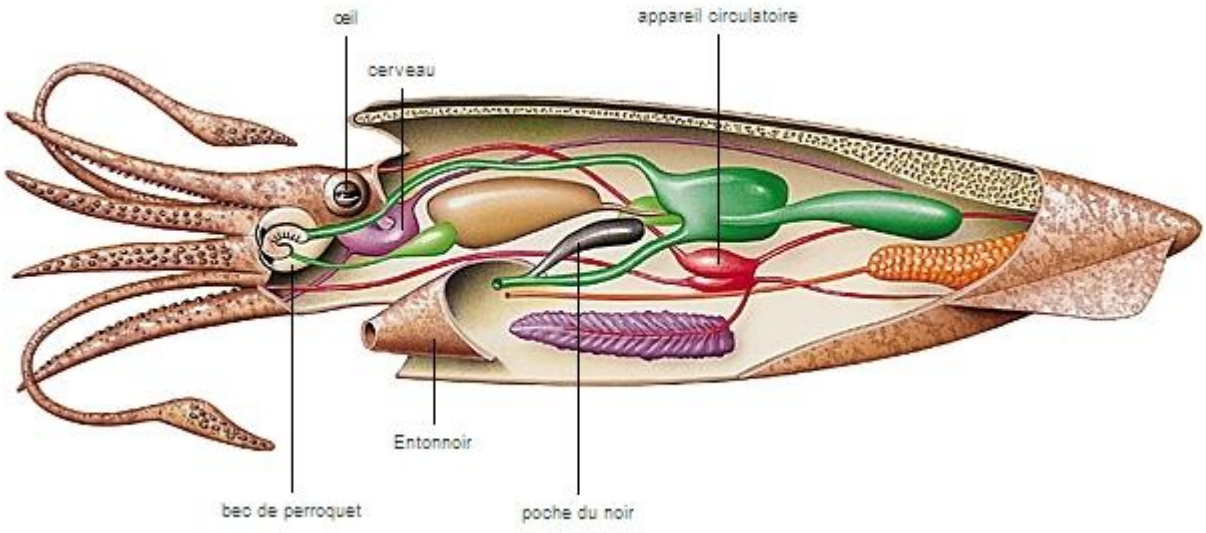


Figure I.9: Anatomie d'un céphalopode. **[14]**

e. nautile

Les nautiles représentent les derniers vestiges d'un groupe disparu, celui des céphalopodes tétrabranchiaux, qui fut très prospère au paléozoïque. Il n'existe que cinq espèces actuelles, qui vivent dans le Pacifique équatorial. Ils occupent surtout les eaux peu profondes, et leurs Coquilles sont rejetées sur la côte.

Les caractères les plus importants sont :

- la présence de quatre branchies, ce qui provoque des différences anatomiques avec les autres céphalopodes.
- une coquille divisée par des cloisons en compartiments successifs, abandonnés à mesure que l'animal grandit car il n'occupe toujours que le dernier.
- la présence d'un siphon, tube charnu qui traverse toutes les cloisons et s'attache à l'extrémité postérieure du corps.
- les tentacules sans ventouses, qui diffèrent beaucoup de ceux des autres céphalopodes.

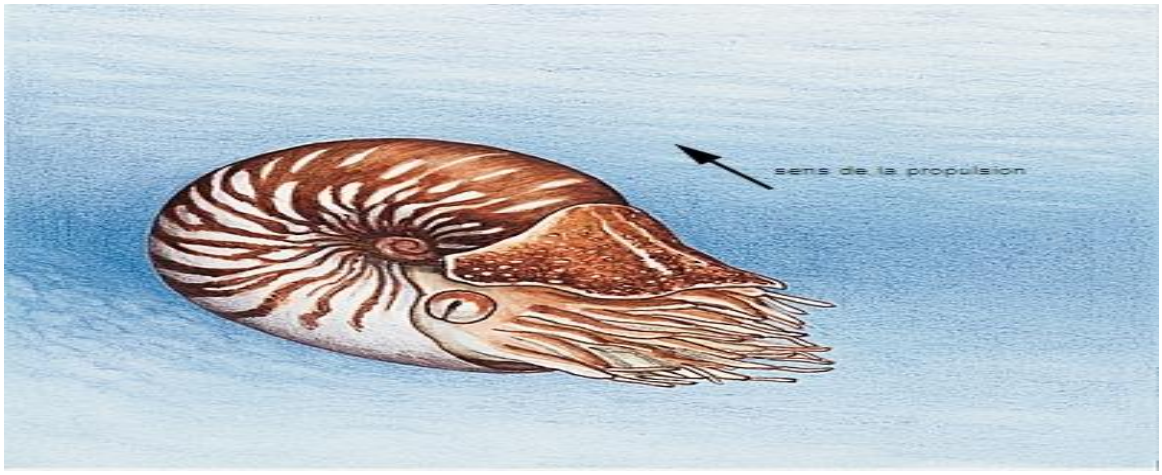


Figure I.10 : Nautile.**[14]**



Figure I.11 : Type de Coquillages. **[14]**

I.3.3 Collectionner les coquillages

Il existe de très belles collections de coquillages, qui rassemblent des coquilles très belles, grandes, ou très colorées. Pour bien comprendre comment avoir de belles collections de coquillages, il faut comprendre que la coquille d'un coquillage est constituée de substances minérales, organisées en petits cristaux colorés. Elle est souvent recouverte par une fine couche de corne, le periostracum, qui donne sa couleur à sa coquille. Et, quand la coquille est dans l'eau, elle est souvent recouverte par de nombreux êtres vivants, comme des algues, ou des animaux marins, qui poussent dessus. La coquille, et surtout le periostracum, sont très

sensibles à la lumière, et notamment à celle du soleil, qui détruit leurs belles couleurs. C'est la raison pour laquelle les coquillages que l'on trouve sur les plages, et qui sont généralement là depuis longtemps, sont beaucoup plus pâles que ceux que l'on peut trouver dans la mer. Les plus belles coquilles se trouvent dans la mer, mais attention : certains coquillages sont protégés, et il ne faut donc pas leur faire de mal. Après avoir trouvé les coquilles, le collectionneur va la nettoyer, pour enlever tout ce qui y est accroché. Selon le type de coquille, il pourra aussi enlever ou non le per ostracum, pour que la coquille devienne visible. La coquille est alors prête à être rangée, dans une boîte, à l'abri de la lumière.**[13]**



Figure I.12 : Une belle collection avec les coquilles de plusieurs espèces de tellines. **[13]**

I .3.4 Utilisations

- la nacre est une substance brillante, sécrétée par le mollusque, et qui recouvre l'intérieur desa coquille. On l'extrait de certains coquillages, comme les ormeaux, et elle est utilisée pour faire des boutons, ou des objets de décoration.
- certains coquillages sont utilisés pour leur coquille, dure et épaisse, dans laquelle on taille des objets d'arts, comme les camées : c'est notamment le cas du casque.
- la coquille de certains coquillages est également utilisée pour former différents objets : les coquilles du tridacne ont notamment été utilisées, depuis très longtemps, pour

servir de bénitier (d'où leur autre nom). Certains coquillages, comme les conques, sont également utilisées comme instruments de musique, et, là encore, ce nom est utilisé autant pour le coquillage que pour l'instrument de musique. Des coquilles vides ont été utilisées depuis très longtemps, avant l'invention de la poterie, pour servir de vaisselle chez les hommes préhistoriques : une coquille d'huître vide, par exemple, pouvait servir de cuiller, et une coquille plus grande, de bol ! Aujourd'hui, les coquillages sont plutôt utilisés dans les objets d'art.**[13]**



Figure I.13: Une conqueutilisations. **[13]**



Figure I.14 : L'intérieur de la coquille de l'ormeau est recouvert de nacre. **[13]**

I.4.Granite

I.4.1 Introduction:

Le granit est une roche magmatique formée par le refroidissement et la solidification de l'écorce terrestre, avec ou sans cristallisation des minéraux qui compose la roche (quartz, feldspaths, micas). Ses propriétés mécaniques et physico-chimiques sont exceptionnelles, ce qui garantit une bonne tenue de son aspect de surface. La palette de couleurs est très diversifiée selon la composition. Elégance, sobriété, et authenticité, sont les maîtres mots de cette matière si noble.**[15]**



Figure I.15: déchet de granite**. [16]**

I.4.2 Les éléments composent

La composition minéralogique moyenne des granites est constituée de :

Minéraux cardinaux : quartz, feldspath potassique (orthose ou microcline), feldspath calcosodique (plagioclase). Minéraux essentiels : micas (biotite, muscovite) et amphibole. Minéraux accessoires : apatite, zircon, saphène, oxydes (ilménite, magnétite), minéraux alumineux (grenat, cordiérite, silicate d'alumine...), tourmaline (magma riche en fluide). La composition chimique moyenne des granites serait : 74,5 % de SiO_2, 14 % d'Al_2O_3, 9,5% de (Na_2O, K_2O), 2 % d'oxydes (Fe, Mn, Mg, Ca). **[17]**

I.4.3Diversité des granites

Les granits ont une couleur blanche, grisâtre, jaunâtre, bleuâtre, rougeâtre, rose ou noire



Figure I.16 : La diversité des couleurs de granite.**[18]**

En d'autres termes, on peut également les distinguer sur la base de leur origine mantellique, cristal ou mixte), de leur composition minéralogique : abondance de minéraux cardinaux etnotamment les types de feldspaths ; nature et abondance des minéraux ferromagnésiens; type et nature des minéraux accessoires (présence ou non de saphènes, présence ou non de cordiérite, présence ou non de magnétite….) de leur composition géochimique et même en fonction du contexte géodynamique global (contexte orogénique ou anorogénique). **[17]**

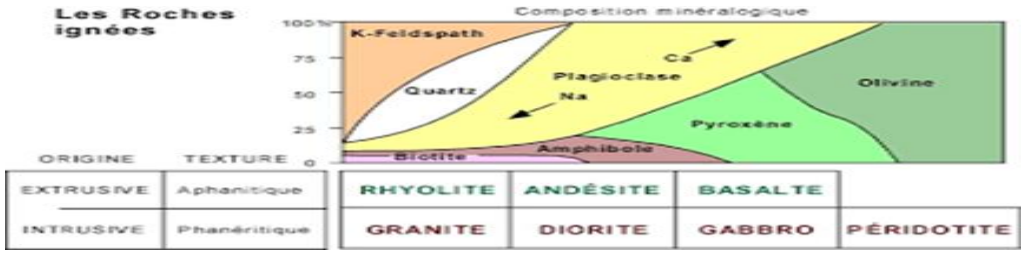
I.4.4Les compositions de granite

La composition minéralogique moyenne des granites est constituée de :

- minéraux cardinaux : quartz, feldspath potassique (orthose ou microcline), feldspath calcosodique (plagioclase).
- Minéraux essentiels : micas (biotite, muscovite) et amphibole.
- Minéraux accessoires : apatite, zircon, saphène, oxydes (ilménite, magnétite), minéraux alumineux (grenat, cordiérite, silicate d'alumine...), tourmaline (magma riche en fluide).

La composition chimique moyenne des granites serait : 74,5 % de SiO2, 14 % d'Al2O3,

9,5 % de (Na2O, K2O), 2 % d'oxydes (Fe, Mn, Mg, Ca).**[17]**



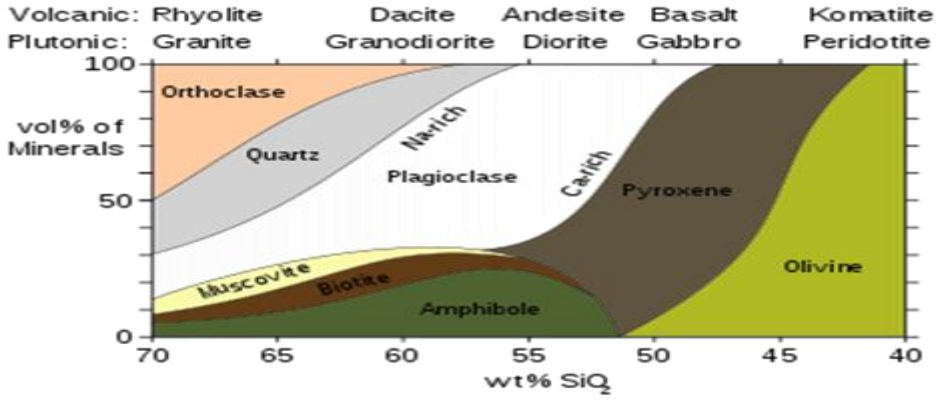


Figure I.17: Composition minéralogique du granite. **[18]**

Composition chimique des granites

	SiO_2	K_2O	Na_2O	CaO	MgO	$FeO + Fe_2O_3$	Al_2O_3
granite rose	72,2 %	5,3 %	4,2 %	1,4 %	0,2 %	2,5 %	12,9 %
leucogranite	73,9 %	5,1 %	3,5 %	0,7 %	0,3 %	1,9 %	13,7 %

Figure I.18: Composition chimique du granite. **[18]**

I.4.5 Utilisation

Matériau de construction, empierrement, sculpture, comptoir. Matériau noble utilisé deparle monde pour la fabrication de monuments funéraires, dallage, bordure de trottoir, depuis les années 1980 ornement de cuisines et salles de bain, etc. ; les utilisations sont multiples et variées.**[19]**

I.5 Le béton de sable

I.5.1 Introduction

Le béton de sable est un matériau ancien utilisé antérieurement au béton traditionnel. Il est tombé en désuétude, avec l'abondance des granulats du plus gros calibre permettant d'obtenir facilement des nouveaux élevés de résistances. Il 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 au milieu fortement ferraillés, qualités esthétiques, etc. Par ailleurs, dans certaines régions riches en sable, il peut procurer des économies par rapport au béton traditionnel. Dans ce chapitre on présentera un aperçu général sur les BS, ou on va exposer d'abord l'historique et l'origine des bétons de sable ainsi que leur définition et la différence entre les BS et les mortiers. Ensuite, on donnera une description des constituants entrant dans la fabrication, on décrit les propriétés mécaniques et hygrométriques, puis on explique le caractère non fissurant du BS. Finalement, on met en relief les innovations et les avantages apportés par les BS et on donnera quelques exemples de réparation structurale réalisés par ce matériau.**[20]**

I.5.2 Origines de béton de sable

Le béton de sable trouve ses origines en France dans le béton aggloméré confectionné par F.coignet dans le 3ème quart de XIX siècle. Il était constitué de sable, de ciment, de chaux et d'eau. Le mur de soutènement a Passy, la maison Coignet à Saint-Denis, constituent les premières applications de cette technique que l'on retrouve aussi dans la réalisation de la tour de Port Said en Egypt (hauteur : 52m) et du pont de New-YorkLes premières tentatives de correction granulaire reste l'apanage de F.Coignet qui, pour Les besoins de réalisation de certaines parties de l'aqueduc de Vanne construit entre 1869 et 1872,mélangea 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 les réalisations du port Kaliringrad en Prusse- Orientale en béton de sable au début du siècle et aussi du pont de Chernavskif coulé sur place à Voronej (500 Km de Moscou).

A la fin du second conflit mondial, le professeur académicien Rebondir 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.).**[4]**

I.5.3 Définition

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

Le béton de sable comme son nom l'indique est un béton ou le gros granulat est le sable (Dmax = 5mm), il ne consomme que (250 à 400) Kg/m3 de ciment, dosage habituel desbétonsclassiques,la compacité optimal étant atteinte par un ajout complémentaire de fines(fillers) et de plastifiant, tandis que le mortier utilise un fort dosage en ciment de (400à 600)Kg/m3. **[4]**

I.5.4 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.**[21]**

I.5.5Béton 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 collecteur 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. **[22]**



Figure I.19 : Le béton de sable en projection.**[23]**

I.5.6 Bétons de sable fluide

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 doitêtre 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 œuvrent. 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 préjudiciable
- 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 fluidifiantes 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 bétonstraditionnel. **[4]**

I.5.7 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. **[3]**

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 .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. **[25]**

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 de dune 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:

- 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 macros vides 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 concordanceentre le besoin en fines et le dosage en ciment est interprétée par la règle suivante:

C =550/ 5 D ou C =700/ 5 D..... (Selon l'usage du béton)

Donnant le dosage minimum en ciment en fonction du diamètre (D) du granulat employé. **[3]**

c. Les ciments

Comme pour le béton classique, le ciment utilisé pour la confection d'un béton de sable est conforme à la norme NF P 15-301. Le choix du ciment est fait à partir de sa classe de résistance, de ses caractéristiques d'hydratation, de l'agressivité du milieu…et, d'une façon plus générale, de la composition du béton et de l'usage auquel on le destine. **[9]**

d. L'eau

L'eau utilisée pour la confection des bétons de sable est conforme à la norme NFP18- 303. L'eau efficace comprend, en plus de l'eau de gâchage, une quantité non négligeable d'eau apportée par les additions, adjuvants et autres ajouts, et surtout par les sables. **[9]**

e. Les adjuvants

Les adjuvants sont des agents chimiques qui sont ajoutés en petites quantités pour modifier certaines propriétés du béton comme la rhéologie, la durabilité et les propriétés mécaniques. Il existe beaucoup de types d'adjuvant, on les définit d'après leur action principale, même s'ils ont plusieurs actions secondaires. On utilise dans les bétons de sable les mêmes adjuvants que dans les bétons traditionnels, et pour en exploiter les mêmes propriétés. La spécificité du béton de sable privilégie toutefois l'usage du plastifiant ousuperplastifiant : ils améliorent la maniabilité, le plus souvent avec augmentation de résistance par suite d'une diminution de la teneur en eau et de la défloculation des éléments fins. On se contentera à expliquer ceux qui ont été utilisés dans cette étude. Les adjuvants employés devront par ailleurs être conformes à la norme NF P 18-103. **[9]**

I.5.8 Formulation du béton de sable

I.5.8.1 Approche théorique d'une formulation d'un béton de sable

Les granulats d'un béton jouent un rôle d'ossature et la pâte (généralement le ciment avec l'eau) assure, dans un premier temps, la cohésion et l'écoulement, et joue aussi le rôle d'une colle liant les granulats en donnant une certaine durabilité au matériau durci. Le premier problème qui se pose lors d'une formulation d'un béton est la compacité du squelette granulaire définie comme le rapport du volume des constituants solides sur le volume total du mélange ; il faut assurer au mélange une compacité maximale et donc diminuer au maximum la porosité. Cependant la détermination de cette compacité maximale n'est pas facile et fait l'objet de modélisation poussée. Caquot pu établir à partir des données expérimentales une relation mathématique reliant le volume des vides d'un mélange granulaire présentant une compacité maximale et son étendue granulaire (d/Dmax). Pour ce mélange optimisé la relation de Caquot s'écrit comme suit :

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

V : Volume des vides du mélange granulaire ;

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

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

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

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

A. Dosage en fines d'un béton de sable

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

1. Les éléments fins qui regroupent tous les grains de taille inférieure à 80 μm et qui sont ciment, les fines d'ajout et la fraction du sable inférieure à 80 μm.
2. Toute l'étendue du sable comprise entre 80 μm et le diamètre maximal du sable Dmax, ainsi que l'éventuelle fraction des éléments supérieurs à 80 μm, provenant des fines d'ajout.

En faisant cette distinction entre les fines incluant les éléments inférieurs à 80 μm et l'étendue du sable comprise entre 80 μm et le diamètre maximal du sable, la porosité du sable peut être calculée selon la formule précédente de Caquot :

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

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

D_{max} : Diamètre maximal du plus gros grain du mélange.

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

égaux, autrement dit le volume des vides restant dans le mélange est égal au volume de l'ensemble des fines d'ajout. [Fines]= [Vides].

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

[Fines] = 0.38 (0.08/Dmax)1/5..... (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

B. 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.

$$\mathbf{(e+v)\ min = 0.8\ (d/D_{max})\ 1/5} \quad (4)$$

Le calcul de la porosité minimale exige la connaissance de la plus petite dimension de l'étendue granulaire du mélange (d).

L'estimation de cette valeur dans le cas d'un mélange totalement défoulé (chaque particule élémentaire agit indépendamment) est donnée par la formule suivante :

d = (60 / (f)) mm □ □ □ …….. (5)

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

□ : densité du constituant exprimée en g/cm3.

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

Cette définition de (d) ne peut pas être retenue pour les mélanges floculés: La dimension des flocs relevant des considérations physico-chimiques très complexes. Un ordre de grandeur

peut être avancé de l'ordre de 20 à 25 µm pour le diamètre ; ainsi l'élargissement de l'étendue est la seule solution pour la réduction de la porosité théorique minimale. L'expérience montre que pour des quantités d'eau inférieures à la quantité d'eau permettant d'obtenir l'ouvrabilité optimale, le mélange piégera une forte quantité d'air quelques soient les moyens de serrage utilisés, et par suite une porosité (e+v) supérieure à (e+v) min, alors pour des quantités d'eau supérieures à celles qui donnent l'ouvrabilité optimale, la quantité d'air piégée reste stable et l'ouvrabilité augmente de façon linéaire.

C. Dosage en sable

Pour estimer le dosage en sable, il suffit de compléter au mètre cube la somme des constituants fines, eau et vides, comme ci-dessous : [Sable]=1000-[fine]-[eau]-[vide] (l/m3) Il reste à noter que le volume du sable ainsi calculé regroupe toutes les particules de taille supérieure à 80μm, soit du sable, soit de la fraction des fines d'addition.

D. Estimation de la résistance en compression

L'estimation de la résistance en compression se fait par référence aux méthodes classiques adoptées pour les matrices cimentaires qui consistent à partitionner la contribution du squelette granulaire, de la nature du liant et des dosages des constituants de la pâte.

Dans le cas de bétons formulés avec des fines potentiellement réactives, une généralisation de la formule de FERETa été proposée récemment.

$$\mathbf{RB}=\frac{\boldsymbol{kF*RC}}{\mathbf{3.1}*(\boldsymbol{e+v})}$$

Kf : coefficient granulaire compris entre 4.5 et 5

RC : classe vraie du ciment (MPa)

e : dosage en eau totale (l/m3)

V : air piégée (l/m3)

C : dosage en ciment (kg/m3)

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= Kfi1

(Fil/C);

0<Kfil 0.4

K1<0.2

K1 : coefficient pouzzolanique

K2 : coefficient d'activité du filler calcaire.

Kcv, Kfs, Kfil : coefficients d'équivalence en ciment des différentes additions en fines. CV, FS, FIL : dosage en cendres volantes, fumée de silice et filler calcaire (kg/m3) Cette formule ne peut être utilisée que par une identification précise de l'activité des additions par l'intermédiaire des coefficients déjà mentionnés (Kcv., Kfs et Kfil). Les valeurs données pour les différents coefficients d'activité ont, ici, un caractère essentiellement indicatif, d'autres additions peuvent être également utilisées, telles que les fines siliceuses généralement considérées inertes et les fines de laitier qui peuvent présenter un caractère hydraulique nonpris en compte dans la formule précédente. Ainsi d'autres paramètres pourraient également jouer un rôle sur l'activité liante des fillers tels que la répartition granulaire, la forme des grains, et leur porosité. L'activité de filler calcaire présente un optimum au-delà duquel la contribution de l'activité de filler ne participe plus aux développements de performances mécaniques.**[27]**

1.6.8.2 Méthode expérimentale de formulation des bétons de sable

A. Détermination d'une formule de base sans fines d'addition

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

- **Les dosages en ciment**

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

- **Dosage en eau**

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

- **Détermination du dosage en sable**

Dans un premier temps et pour permettre la défloculation des fines, on utilise un fluidifiant réducteur d'eau au dosage normal préconisé par le fabricant (N% du poids des éléments inférieurs à 80 μm). Le béton contient toujours un volume d'air Vair, la teneur en air des bétons est de l'ordre 3% en volume. Cette valeur est supérieure pour le béton de sable et se situe entre 5% et 7 % du volume. Le dosage en sable peut être calculé par soustraction des différents volumes des constituants précédents

$$\mathbf{Vsable = 1000 - Vc - Vadj - Vair - Veau} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (8)$$

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

$$\mathbf{Msable = MVA * } \boldsymbol{Vsable} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (9)$$

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

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

$$\mathbf{MVAT = mciment + meau + m\ adj. + msable} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (10)$$

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

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

- La masse volumique apparente réelle doit être égale à la masse volumique apparente théorique calculée par la formule (9)
- La maniabilité du mélange sera comprise entre 7 et 10 s selon le maniabilimètre LCPC. L'objectif est d'obtenir une formule de un mètre cube (c'est-à-dire faire tendre la masse volumique apparente théorique (MVAT) vers la masse volumique apparente réelle (MVAR)) et le temps d'écoulement de 7 à10 S. La formule du béton doit être corrigée à l'aide de l'équation itérative suivante (correction sur le sable).

Si = Si-1(MVATi-1 –MVARi-1) + V * MVAsable. …… (11) Où

Si : dosage en sable après correction

Si-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 aumaniabilité est supérieur à 10s (-V dans la formule précédente n° 10). Il sera retranché si 1'écoulement au maniabilité est inférieur à 7s (+V dans la formule n° 10) Après chaque correction la masse volumique théorique sera comparée 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.

B. Détermination du dosage en fines d'addition

Les fines d'ajout sont destinées à corriger l'indice des vides des sables et à limiter le dosage en ciment des bétons de sable. Elles sont incorporées au mélange de base à un rapport E / C constant et à un dosage optimal permettant d'augmenter la compacité sans changement du volume total (MVAR=(MVAT). Ce qui revient à dire que la masse volumique théorique du mélange et la masse volumique réelle restent égales. Pour cela des gâchées de béton de sable seront réalisées aux différents dosages en fines dans leur plage d'emploi usuelle. Pour chaque gâchée, les essais de maniabilité et la détermination de la masse volumique doivent être

réalisés et fixés précédemment afin de les comparer aux critères imposés. Si ces derniers ne sont pas vérifiés, la correction sur le sable s'effectue toujours selon la formule suivante jusqu'à égalité des masses volumiques théorique et expérimentale.

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

I.6 Conclusion

Le déchet est par définition « matière » et à 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 granite (introduction,Les éléments composent,Diversité, 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 granites sur les performances de matériaux à base cimentaire à l'état frais et durci.**[9]**

CHAPITRE II :

MATERAUX ET ESSAI

II.1 Introduction

Ce chapitre présente à la fois les matériaux que nous utiliserons, et les méthodes qui seront mises en œuvre dans la suite de ce travail, après on exposera les caractéristique bien connues à savoir fuseau granulaire du squelette.

- Les dosages en sable, ciment, d'addition, d'eau et d'adjuvant.
- La caractérisation des bétons de sable fluide à base de dechets (granite)et biologique(coquillage), à l'état frais et à l'état durci, nécessite de définir les corps d'épreuve sur lesquels seront mesurées les grandeurs spécifique du matériau et les techniques d'essai. Les différents essais faits au cours de ce travail sont

Sur béton frais

- Etalement
- Densité

Sur béton durci

- La résistance à lacompressionpour demi-prisme d'éprouvettes prismatiques de dimension 4x4x16cm
- Absorption capillaire
- Porosité accessible à l'eau
- Conductivité thermique
- Ultrason
- Densité apparent

II.2 Caractérisation des matériaux utilisés

Pour la confection du béton, Nous avons utilisé des matériaux locaux de la wilaya de Médéa sont caractérisés expérimentalement au laboratoire de génie civil tout en assurant les recommandations des normes en vigueur.

II.2 .1 Ciment

Le ciment utilisé est CPJ-CEM II/A (Mâtine) (figure II.1), est un ciment Portland artificiel dont la résistance minimale à la compression à 28 jour est de 42,5MPa, produit par la cimenterie de LAFARGE dont l'ajout est le calcaire qui est conforme à la norme [NA442]. Le

tableau II.1 résume l'Analyse chimique du ciment et composition hypothétique du clinker, selon la fiche technique <annexe > du ciment.



Figure II.1 : Le ciment utilisé (Annexe)

Tableau II.1 : L'analyse chimique du ciment et composition du clinker

Analyse chimique Du ciment	Perte au feu (%) (NA 5042) 7.00-9.50	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

II.2.2 Granulats

II.2.2.1 Sable

Le sable utilisé au court de ce travail est un sable alluviamaire que provient de la régen de (Oued sauf). Il est propre, les grains sont de forme généralement isométrique et arrondie . Les caractéristiques de sable utilisé sont représentées dans le tableau II.2 et la figure II.2 représente la courbe granulométrique de sable utilisés.



Figure II.2 : Sable moyenne d'Oued Sauf

TableauII.2 : propriétés physiques d'identification de sable utilisés

Caractéristique	**Sable**
Provenance	Oued sauf
Classe granulaire	0/3
Module de finesse	2.07
Masse volumique absolue (g/cm³)	2.63
Masse volumique apparent (g/cm³)	1.48
Equivalant de sable (%)	81.16
Taux d'absorbation d'eau (%)	0.2

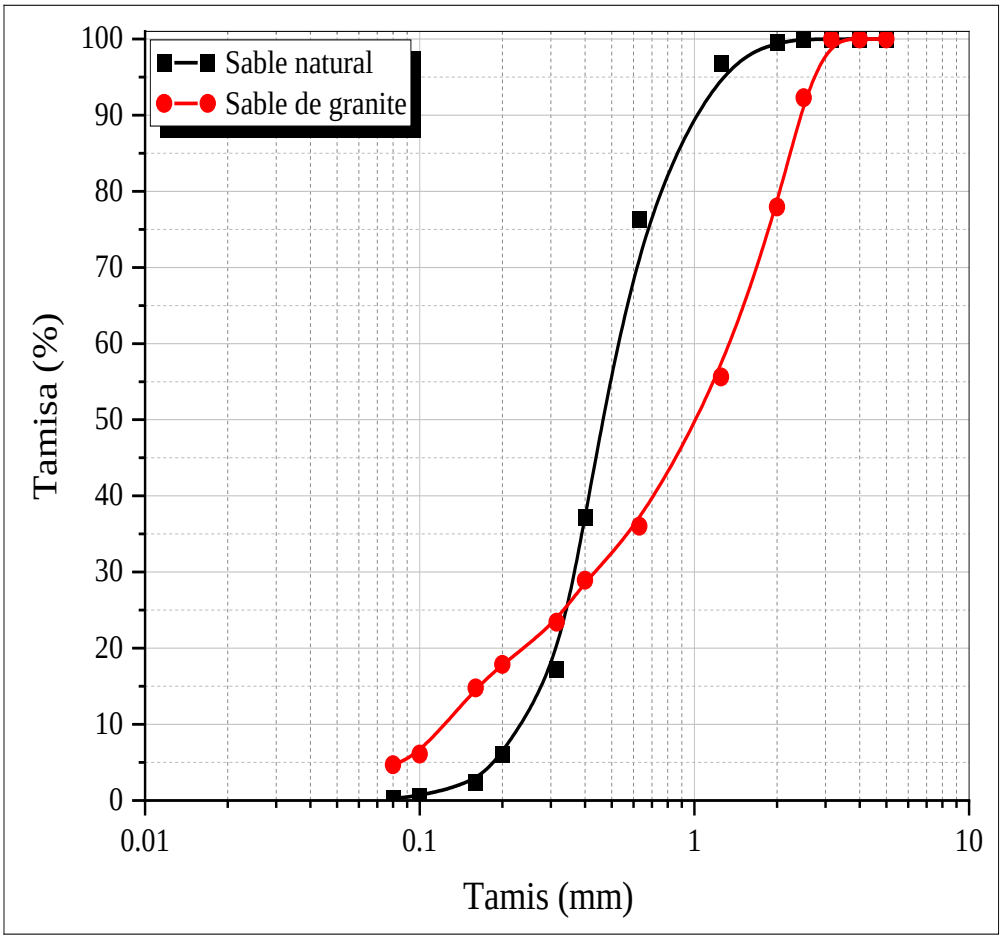


Figure II.3 :analysegranilométrique des sables ulilisé

II.2.2.2 Déchets de granite

Les déchets de granite (déches de GALAXY) utilisée à la cour de ce travail de recherche sous la forme :

- Déchets granite sous forme sable (SGR)



Figure II.4: Déchet de sable granite

- Déchets granite sous forme ciment (PGR).



Figure II.5: Déchet de poudre granite

II.2.2.2.a Recyclage des déchets de granite

Les déchets de granite utilisée aucour de ce travail est provient de l'usine de l'industrie de granite , après avoir récupérée les déchets de granite ont été broyer et utilisé dans la masse de béton de sable fluide sous forme de sable de (0/3) , la granulométrie et les caractéristique de déchet de granite utilisé dans ce travail sont représente dans la figure II.7.



Figure II.6 : Protocolede concassage des déchets de granite sous forme sable 0/3

c. Poudre de granite recyclé



Figure II.7 : Protocole de concassage des déchets de granitesous forme ciment

Tableau II.3 : propriétés physiques de sabel granite

Caractéristique	**Granite**
Classe granulaire	0/3
Surface spécifique (cm^2/g)	6000 cm^2/g
Masse volumique absolue (g/cm^3)	2.8

II.2.2.2.de caractérisationdesdéchetsdegranit

Des caractéristiques suivant des déchets de granite sont représenté dans le tableau II.4.

TableauII.4 : Propriétés physiques de ciment granite

Caractéristique	**Granite**
Classe granulaire	0/3
Module de finesse	2.78
Masse volumique absolue (g/cm^3)	2.51
Masse volumique apparent (g/cm^3)	1.22
Taux d'absorbation d'eau (%)	0.34

II.2.2. 3 Déchets de coquillage

Eté Les déchets de coquillages utilisée au court de ce travail est provient de plage AINTAYA de la wilaya d'Alger après avoir récupérée les déchets de coquillages ont été broyé et utilisé dans la masse de béton de sable fluide sous forme de ciment.les caractéristiques des déchets de coquillagesutilisés dans ce travail sontreprésentédans le tableau II.5.



Figure II.8 : Déchet de coquillage

II.2.2.3.a Recyclage des déchets de coquillages (DPQ)

Souvent considérés comme des déchets, les projectiles ont été utilisés dans le cadre de notre projet à d'autres fins. Tout d'abord, ils ont été collectés dans leur source naturelle. Nous les avons ramenés au laboratoire UNV / Médée dans le but de les soumettre à des laveurs consécutifs visant à purifier et éliminer toutes sortes d'impuretés. Ensuite, nous l'avons mis dans un four à 200 ° C pendant 24 heures. À la suite de ce dernier procédé, il a été broyé et tamisé avec un tamis à trous de 3,15 mm, afin d'obtenir les déchets de coquillage de la même forme que le sable utilisé. Il le remplacera en différentes proportions afin d'étudier et d'évaluer lesuccès de ce procédé.(Figure II.10).



Figure II.9 : Protocole de concassage des déchets de coquillage sous forme ciment

II.2.2.3.b caractéristiques de DPQ

Les déchets de coquillage est caractérisé suivant les normes en vigueurs, voire les procédures des essais qu'on a réalisées sur ce ciment, les résultats sont représentés dans le tableau II.5.

Tableau II.5: Propriétés physiques de DPQ

Caractéristique	
Classe granulaire	0/3
Surface spécifique (cm2/g)	6000
Masse volumique absolue (g/cm3)	2.88

II.2.4 Fillers

Les fillers utilisées au cours de ce travail sont obtenues par les déchets de marbre (figure II.11). Ils sont obtenus par tamisage manuelle (au tamis 80µm) et broyage des déchets abandonnés dans la nature. Rappelons que la poudre de marbre sont les plus adaptés au béton et donnent de meilleures performances. Leur caractéristique physique est mentionnée dans le tableau II.6.



Figure II.10 : Poudre de marbre

Tableau II.6 : Propriétés physiques de filler de marbre blanche

Caractéristique	
Classe granulaire	0/3
Surface spécifique	3000
Masse volumique absolue (g/cm3)	2.70

II.2.5Eau de gâchage

Pour la confection des éprouvettes on utilisée est une eau potable du robinet, exempte de tout impureté nuisible au béton et conforme à la norme [NF EN 1008]**.**

II.2.6 Adjuvant

Un seul type d'adjuvants ont été utilisés dans notre étude, appelée : TEMPO-10 est un super plastifiant haut réducteur d'eau polyvalent de nouvellegénération non chloré, à base de copolymère. Le TEMPO-10 combine plusieursmécanismes d'action. Rédaction d'eau extrêmement importante, en plus rapide desrésistances à court terme, de étanchéité fortement améliorée.



Figure II.11 :super plastifiant utilisé TOMPO-10

II.3Formulation de béton

La formulation du béton de sable fluide pour la confection des éprouvettes estbasée sur la méthode théorique SABLOCETE 1994.

L'objectif de la formulation est de déterminer la quantité nécessaire pour chaque matériaux du gâchée, afin d'obtenir un béton (BSF) avec des propriétés souhaitées.

Notre étude est focalisée sur l'influence desubstitution volumétrique par de déchets de graniteavec de procentage de (20 ٪,40٪,60٪,80٪et100٪)et de substitution volumétrique de ciment creet de procentage de (0٪ ,5٪, 10٪,15٪et20٪)sur les caractéristique à l'état frais et durci d'un béton sable fluide (BSF).

Le tableau II.7 représente les différentes compositions obtenus pour

TableauII.7 : compositiondesbétonsformulés

mélange	Ciment (kg/m)	Sable	Eau (l/m)	Fille(kg /m)	PG	PQ	SG	SP (%)
BSFT	400	1400	265	200	0	0	0	0.8
BSF1	360	1400	265	200	20	20	0	0.85
BSF2	360	1132.8	265	200	20	20	267.2	0.85
BSF3	360	865.6	265	200	20	20	534.4	0.90
BSF4	360	598.3	265	200	20	20	801.7	0.95
BSF5	360	331.1	265	200	20	20	1068.9	1
BSF6	360	63.9	265	200	20	20	1336.9	1.2
BSF7	320	1400	265	200	40	40	0	0.85
BSF8	320	1132.8	265	200	40	40	267.2	0.85
BSF9	320	865.6	265	200	40	40	534.4	0.90
BSF10	320	598.3	265	200	40	40	801.7	0.95
BSF11	320	331.1	265	200	40	40	1068.9	1
BSF12	320	63.9	265	200	40	40	1336.9	1.2
BSF13	280	1400	265	200	60	60	0	0.90
BSF14	280	1132.8	265	200	60	60	267.2	0.90
BSF15	280	865.6	265	200	60	60	534.4	0.95
BSF16	280	598.3	265	200	60	60	801.7	1
BSF17	280	331.1	265	200	60	60	1068.9	1.2
BSF18	280	63.9	265	200	60	60	1336.9	1.2
BSF19	240	1400	265	200	80	80	0	1.2

Avec :

DGR : Déchet de granite recyclé sous forme sable.**DPGR** : Déchet de granite recyclé sous forme ciment.

DPQ : Déchet coquillage recyclé sous forme ciment.

BSFT : Béton de sable fluide témoin.

BSF1 : Béton de sable fluide à base de 5%déchet de coquillage + 5%déchet de granite + 20%déchet de sable granite.

BSF2 : Béton de sable fluide à base de 5% déchet de coquillage + 5%%déchet de granite +20%déchet de sable granite.

BSF3 : Béton de sable fluide à base de 5%%déchet de coquillage + 5%%déchet de granite +40%déchet de sable granite.

BSF4 : Béton de sable fluide à base de 5%déchet de coquillage + 5%déchet de granite + 60%déchet de sable granite.

BSF5 : Béton de sable fluide à base de 5%déchet de coquillage + % déchet de granite + 80%déchet de sable granite.

BSF6 : Béton de sable fluide à base de 5%déchet de coquillage + 5%déchet de granite + 100%déchet de sable granite.

BSF7 : Béton de sable fluide à base de 10%déchet de coquillage + 10%déchet de granite + 0%déchet de sable granite.

BSF8 : Béton de sable fluide à base de 10%déchet de coquillage + 10%déchet de granite + 20%déchet de sable granite.

BSF9 : Béton de sable fluide à base de 10%déchet de coquillage + 10%déchet de granite + 40%déchet de sable granite.

BSF10 : Béton de sable fluide à base de 10%déchet de coquillage + 10%déchet de granite + 60%déchet de sable granite.

BSF11 : Béton de sable fluide à base de 10%déchet de coquillage + 10%déchet de granite + 80%déchet de sable granite.

BSF12 : Béton de sable fluide à base de 10%déchet de coquillage + 10%déchet de granite + 100%déchet de sable granite.

BSF13 : Béton de sable fluide à base de 15%déchet de coquillage + 15%déchet de granite **+** 0%déchet de sable granite.

BSF14 : Béton de sable fluide à base de 15%déchet de coquillage + 15%déchet de granite + 20%déchet de sable granite.

BSF15 : Béton de sable fluide à base de 15%déchet de coquillage + 15%déchet de granite + 40%déchet de sable granite.

BSF16 : Béton de sable fluide à base de 15%déchet de coquillage + 15%déchet de granite + 60%déchet de sable granite.

BSF17 : Béton de sable fluide à base de 15%déchet de coquillage + 15%déchet de granite + 80%déchet de sable granite.

BSF18 : Béton de sable fluide à base de 15%déchet de coquillage + 15%déchet de granite + 100%déchet de sable granite.

BSF19 : Béton de sable fluide à base de 20%déchet de coquillage + 20%déchet de granite + 0%déchet de sable granite.

II.4Séquence de malaxage du béton

La séquence de malaxage et la composition du béton ont un rôle important pour avoir une hydratation correcte, ce qui conduit à un béton préformant et durable.

Les mélanges ont été confectionnés dans un malaxeur à béton d'une capacité de 5 litres.

Selon les caractéristiques souhaitées et les composants du béton, les auteurs suivant plusieurs séquences.

Pour notre cas, la séquence suivie est celle décrite dans figure (II.13) ; elle suit les étapes Suivantes :

- On verse les gros grains (le sable).
- Puis en ajoute les fillers et le ciment après on malaxe à sec pendant 30 sec.
- On verse deux tiers d'eau de gâchage, puis on malaxe pendant 1 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 3 minutes, puis on laisse le mélange repose 3minute. Et ajoute les quantités des vibres métalliques.
- Puis lancer vitesse rapide pendant 1 minute et 30 sec.

La séquence de malaxage est la même pour tous les mélanges du béton.

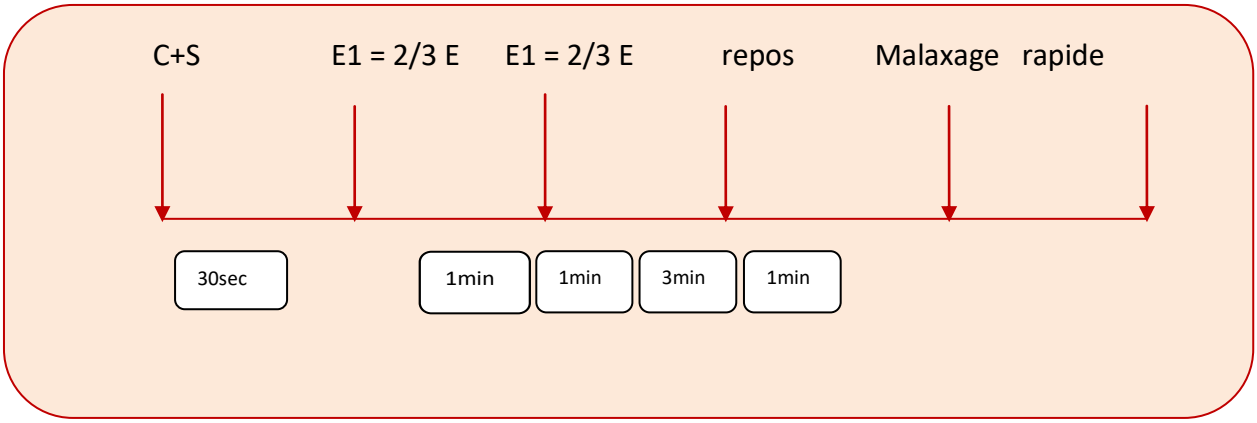


Figure II.12: Séquence de malaxage du béton de sable fluide



Figure II.13 : Procédurede malaxage au laboratoire

II.5 Les essais sur béton (BSF)

II.5.1 Etat frais

a. Essais d'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 direction perpendiculaire, le moyenne est retenu, la figure II.15 montre les tapes de l'essai d'étalement mini cône selon la recommandation selon la recommandation FNARC 2002.

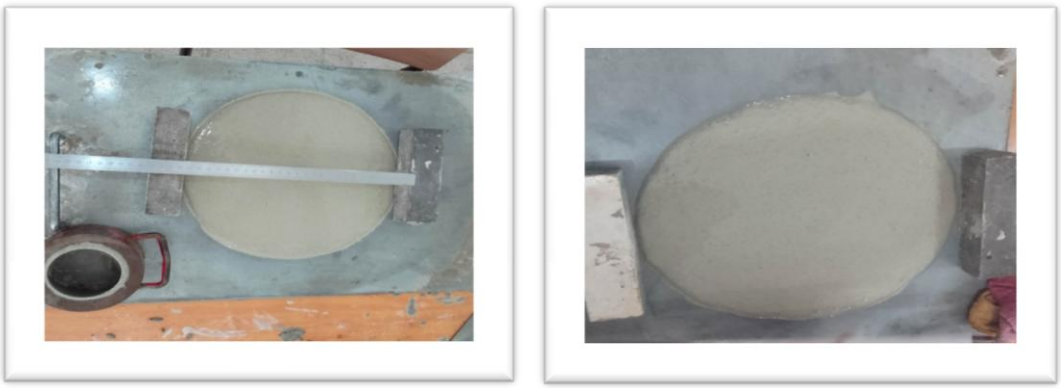


Figure II.14 : Développement de l'essai d'étalement

b. Densité

La densité des mélanges a été calculée en fonction de l'échantillon introduit dans le moule de volume **(**V= 1L) est déterminée suivant la norme NF P 18-440. La figure II.16 montre les étapes de l'essai.



Figure II.15 : Mesure de la densité du béton

II.5.2 Démoulage et conservation des éprouvettes

On prélever un échantillon du béton afin de remplir des éprouvettes prismatiques (4x4x16)cm. On stocke les éprouvettes dans une salle en attendant de les démouler 24 heures après. Après 24 heures on démoule les éprouvettes et on les place dans un bac rempli d'eau à une température d'environ 20°C jusqu'à l'échéance de l'essai, pour maintenir l'humidité Satisfaisante et la température favorable durant la période d'hydratation du ciment pour éviter L'évaporation rapide de l'eau de gâchage, afin d'assurer un bon mûrissement du béton (Figure II.16).



Figure II.16: Conservation des éprouvettes

II.5.3 Etat durci

a. Essai de la résistance à la compression

La résistance à la compression a été mesurée selon la norme [EN 196-1] par compression axiale pour d'éprouvettes cubique à l'âge de 7 et 28 jours, à l'aide d'une presse de capacité de 2000 KN .La résistance à la compression correspond à la contrainte moyenne d'écrasement de trois (3) d'éprouvettes cubique (4x4x4) cm. La figure II.18 montre les étapes de l'essai.

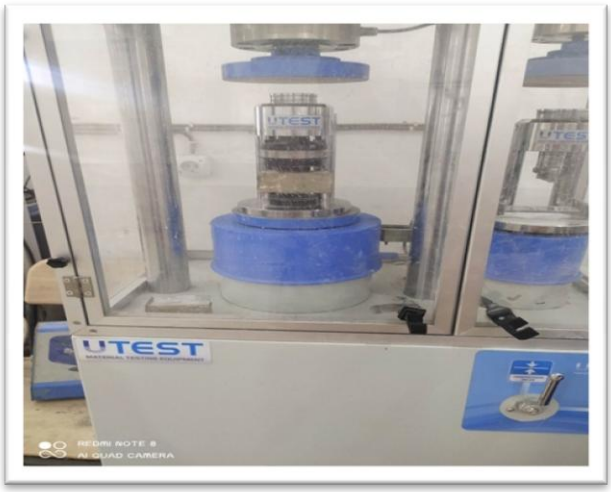


Figure II.17 : Essai de compression sur éprouvette béton

b.Essai ultrasonique

Avant de procéder aux essais à l'ultrason, on a pris le soin de vérifier le bonfonctionnement Par étalonnage de l'appareil en utilisant le barreau de calibrage pour chaqueéprouvette. Les essais à l'ultrason ont été effectués en deux sens selon la méthode partransmission directe de telle façon que le sens de mesure du temps de transit soitperpendiculaire au sens de confection. Sur les faces opposées de l'éprouvette on a placé lesdeux transducteurs en interposant entre eux une couche mince de vaseline, puisl'enregistrement du temps de transit en micro seconde est réalisé. La figure(II.19) montre lesétapes de l'essai.



Figure II.18: Etalonnage et mesure du temps de parcours des ondes ultrasonores

c. Essai de l'absorption capillaire

Le coefficient d'absorption d'eau par capillarité est mesuré surdes éprouvettes de mortier prismatiques, dans les conditions prescrites, à la pression atmosphérique. Après séchage jusqu'à masse constante, une face de l'éprouvette est immergée dans 5 mm à 10 mm d'eau pendant une durée spécifique. On détermine alors l'augmentation de la masse.



Figure II.19: Essai de l'absorption capillaire

d. Conductivité thermique

La conductivité thermique est une grandeur physique caractérisant le comportement des matériaux lors du transfert thermique par conduction. Notée λ, elle représente la quantité de chaleur transférée par unité de surface et par une unité de temps sous un gradient de température de 1 degré par mètre. Elle s'exprime en W/m°C. Cette valeur permet de quantifier le pouvoir isolant de chaque matériau. Plus elle est faible, plus le matériau seraisolant**.**Dans notre cas la conductivité thermiques des différents bétons a été mesurée à l'aide d'un CTMètre conformément la norme NF EN 993-15 sur des échantillons de 4 ×10×10 cm.



Figure II.20: Essai de conductivité thermique

e. propriété accessibleÀ la fin de la cure, les demi-prismes d'éprouvette 4x4x16cm sont séchés dans une étuve ventilée à 40 ± 5 °C jusqu'à poids constant ; elles sont ensuite prolongé dans l'eau, jusqu'à poids constant (Fig.II.21). L'échantillon est passé ensuite à imbibition sous vide, et après saturation une pesée sous eau (Meau) et une autre dans l'air (Mair) sont réalisées. Ensuite, l'échantillon est séché dans une étuve ventilée à 105 ± 5 °C jusqu'à poids constant et à nouveau, une mesure de masse (Msec) est réalisée selon la recommandation l'AFPC-AFREM.La porosité volumique accessible à l'eau , exprimée en pourcentage, est donnée par l'équation :$\boldsymbol{\varepsilon(\%)} = \frac{\text{Mair} - \text{Msec}}{\text{Mair} - \text{Meau}} \text{x}100$

$\boldsymbol{\varepsilon(\%)}$ **:**La porosité totaleMair : La masse d'éprouvette imbibée pesé dans l'air
Msec: La masse d'éprouvette sècheMeau: La masse d'éprouvette immergée dans l'eau



Figure II.21 : Essai de propriété accessible

f. Densité apparent

La densité durci utilisé équation suivent :

$$\rho = \frac{M_{sec}}{v}$$



Figure II.22: Densité

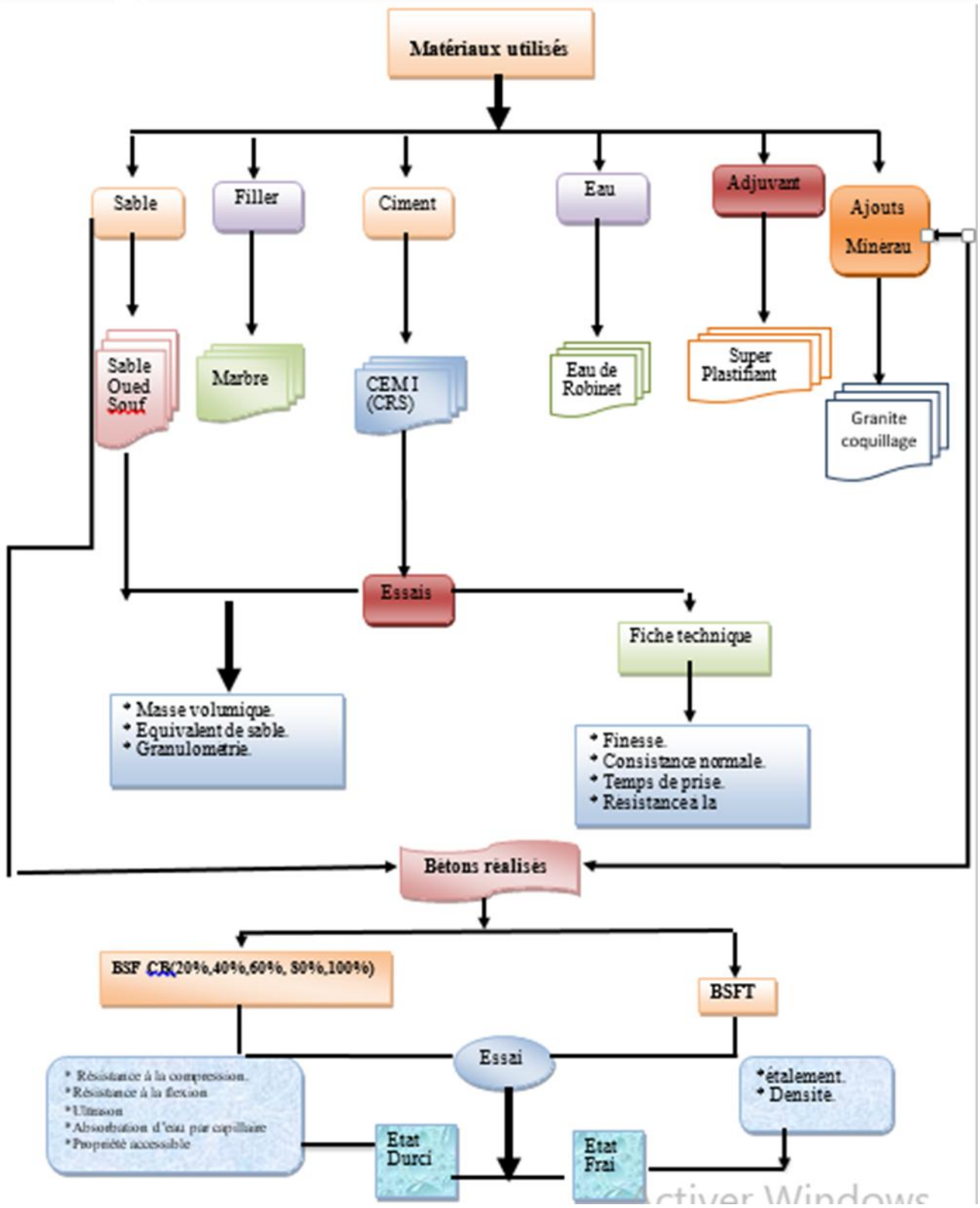


Figure II.23: Variable étudier

II.I .6 Conclusion

Dans notre recherche, nous avons utilisé les matériaux locaux, disponiblessur le marché Algérien tels que le ciment, les granulats, les super plastifiants). On a réalisés des essais importants pour déterminer les caractéristiques Rhéologiques et mécaniques. Tout dans le but de connaître l'effet des déchets de granite et coquillages sur le béton de sable fluide.

Chapitre III :

Résultats et interprétations

III.1 Introduction

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

III.2 Essais sur le béton de sable fluide à base des déchets

III.2.1. Influence de combinaison du déchets industriel et déchet de coquillage sur le béton de sable fluide à l'état frais

a. Étalement

Pour notre travail on à respecter un diamètre d'étalement (diamètre constante) situé entre (270 à 300 mm) pour toutes les familles de béton de sable fluide, ca pour faciliterlacomparaison entre la famille de (BSFT) et (BSF1, 2,…18), La figure III.1 représente lavariation de dosage en super plastifiant pour avoir un étalement constant.

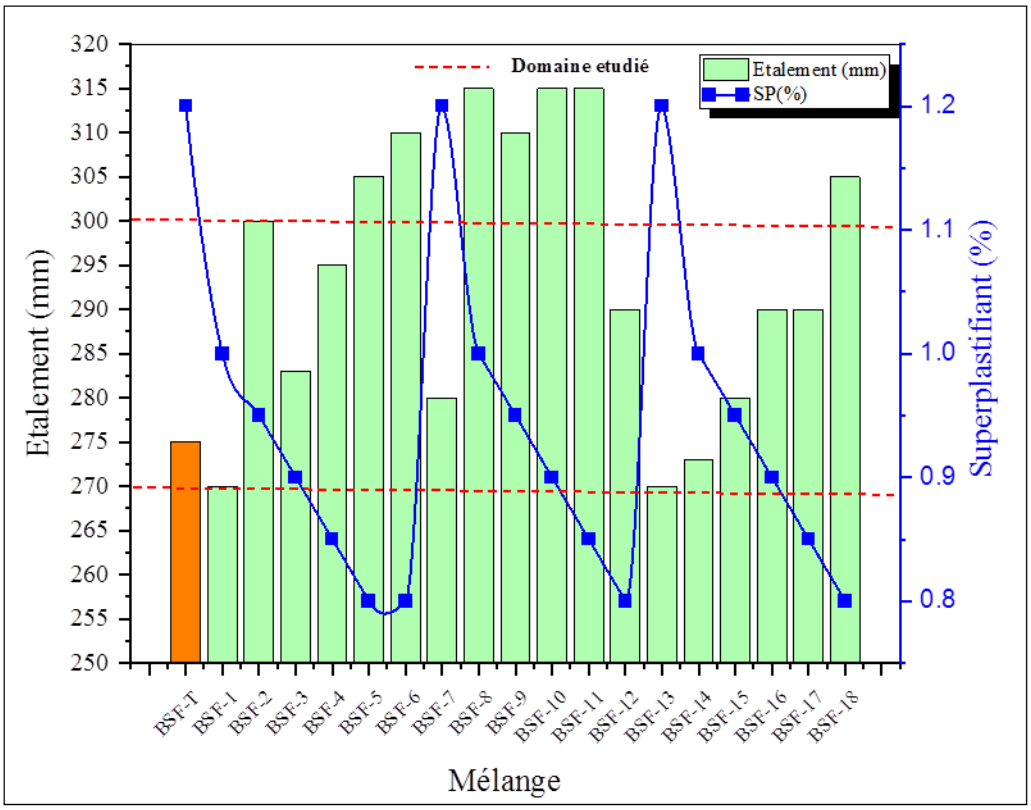


Figure III.1 : L'étalement en fonction de substitution du déchet (%) et Dosage des super plastifiant de défirent type du béton.

A travers les résultats illustrés dans la figure III.1 précédente, on remarque clairement que la fluidité de béton de sable et varié selon plusieurs caractéristiques de déchet combiné incorporé dans le béton (la forme et l'absorption), comparaison de granite : les résultats trouvés sont : le pourcentage de déchet de granite augmente plus que l'étalement diminue. Comparaison de coquillage : les résultats trouvés sont : le pourcentage de déchet de coquillage augmente plus que l'étalement diminue.

b. La densité

L'essai de la densité a été également réalisé pour évaluer la variation de la masse volumique du BSF, (La figure III.2) montre l'effet de substitution de déchet de granite, céramique, marbre, verre et de coquillage combinais sur la densité.

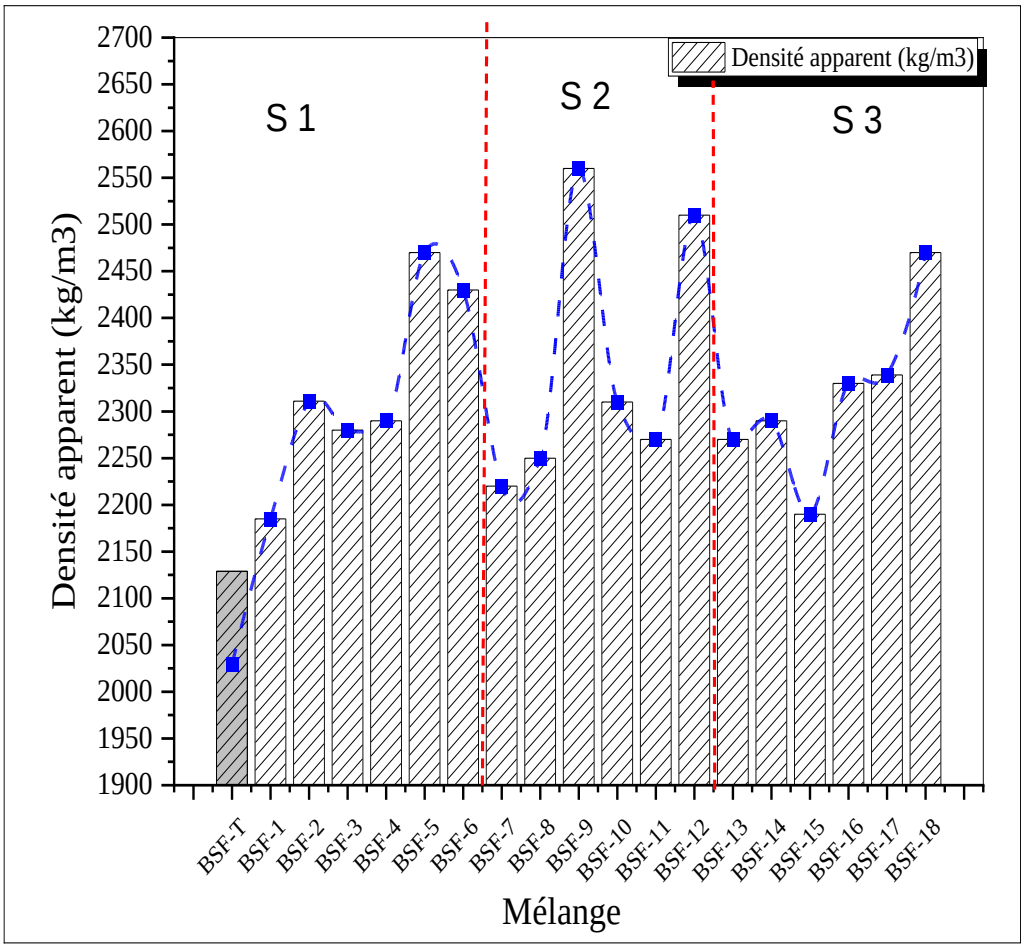


Figure III.2 : Densité apparent du mélange BSF.

Les résultats obtenus montrent que la densité des mélanges obtenus varié en fonction de la densité du différent type de déchets incorporé dans la composition de béton de sable

fluide. Comparaison de coquillage : les résultats trouvés sont : le pourcentage de déchet de coquillage augmente plus que la densité diminue.

III.2.2. Influence de combinaison des déchets granite et déchet de coquillage sur le béton de sable fluide à l'état durci

a. Vitesse Ultrasonique

Les résultats de tests ultrasoniques des différents mélanges des bétons de sable réalisés sont illustrés dans les figures III.3 suivantes :

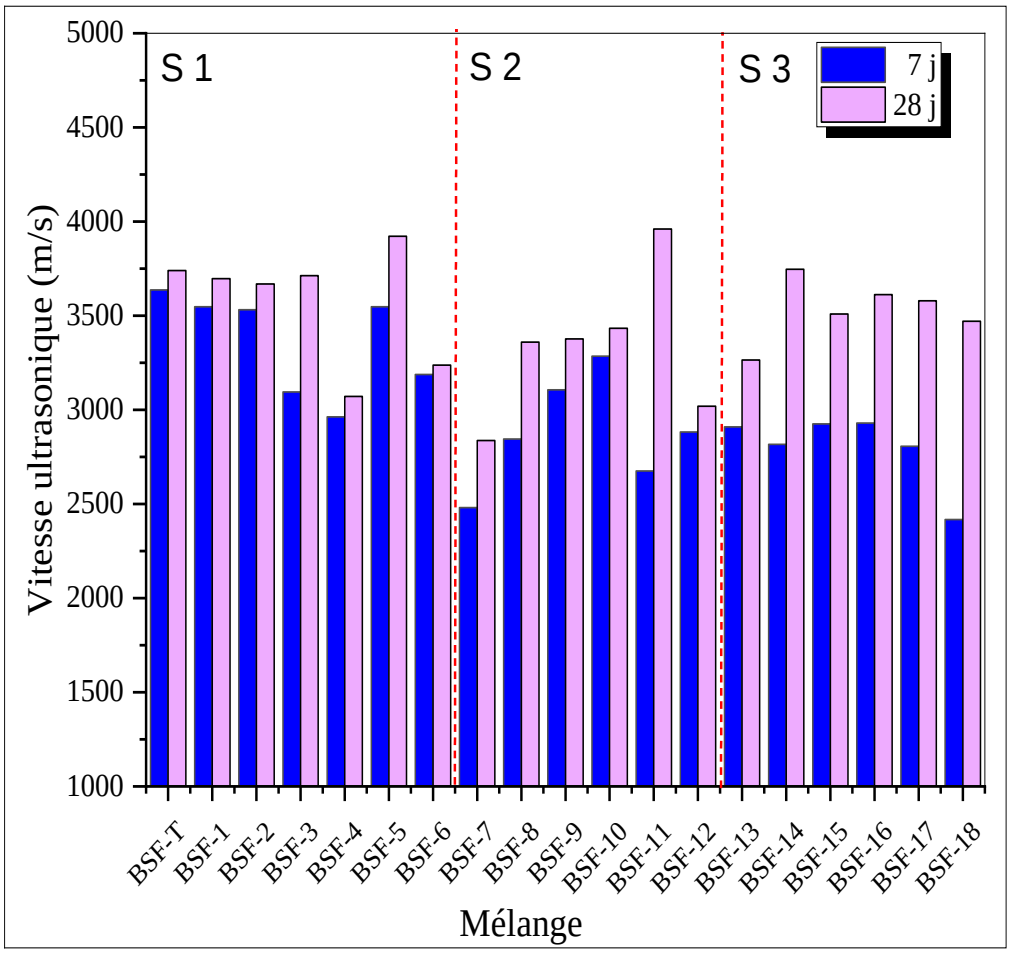


Figure III.3 : ultrasonique des mélanges BSF

D'après les résultats obtenue nous avons remarqué que la vitesse ultrasonique augmenté des mélanges de BSF augmente avec l'augmentation des déchets (granite, coquillage) cette augmentation est justifier par la di munition des pores interne (augmentation de compacité) due à la forme angulaire des particules (granite) due provoque une bonne continuité granulaire qui favorisé compacité élevé.

b. Résistances mécanique

Pour les différentes familles du BSF, les mesures ont été réalisées sur trois éprouvettescubiques de dimensions 4x4x4 cm3 pour la résistance à la compression, la moyenne des trois valeurs est retenue. Les résultats de l'essai de résistance effectué sur les différentes familles de BSF à base de déchet industriel et de coquillage combinaient à l'âge de 7 et 28 jours sont présentés dans cette partie.

b.1 Résistance à la compression

Pour mieux saisir le sens de l'évolution relative de la résistance à la compression des différentes familles de BSF avec l'âge et fonction du taux de substitution de déchet de granite, et de coquillage combinais, et permettre la comparaison avec les BSFT, les résultats sont présentés dans les figures III.4, III.5, III.6 :

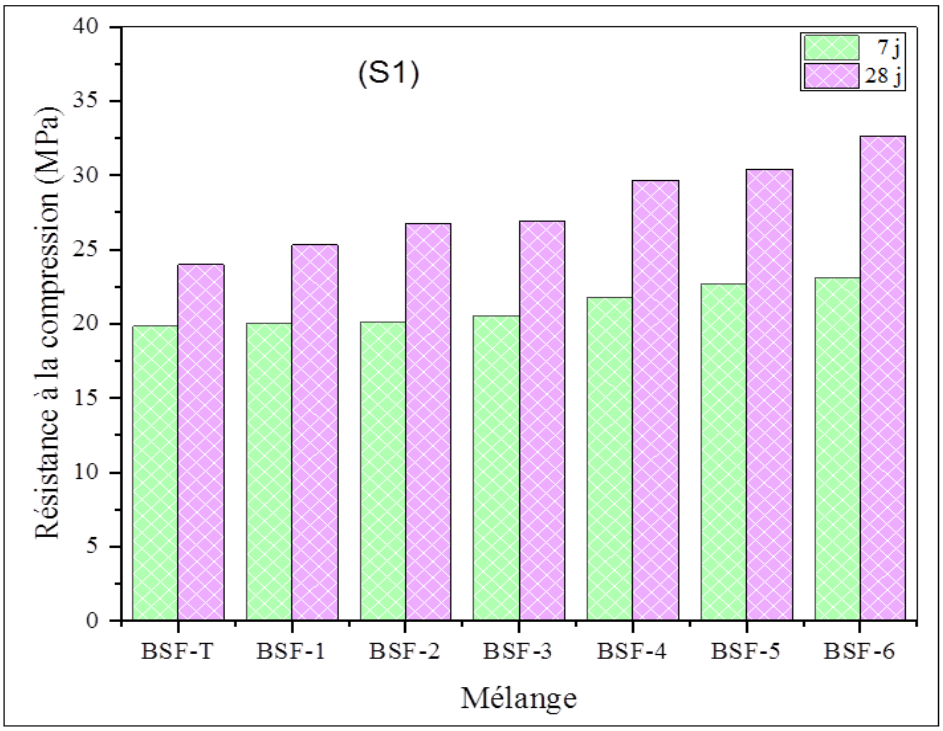


Figure III.4 : La résistance à la compression en fonction de substitution du déchet (%) S1.

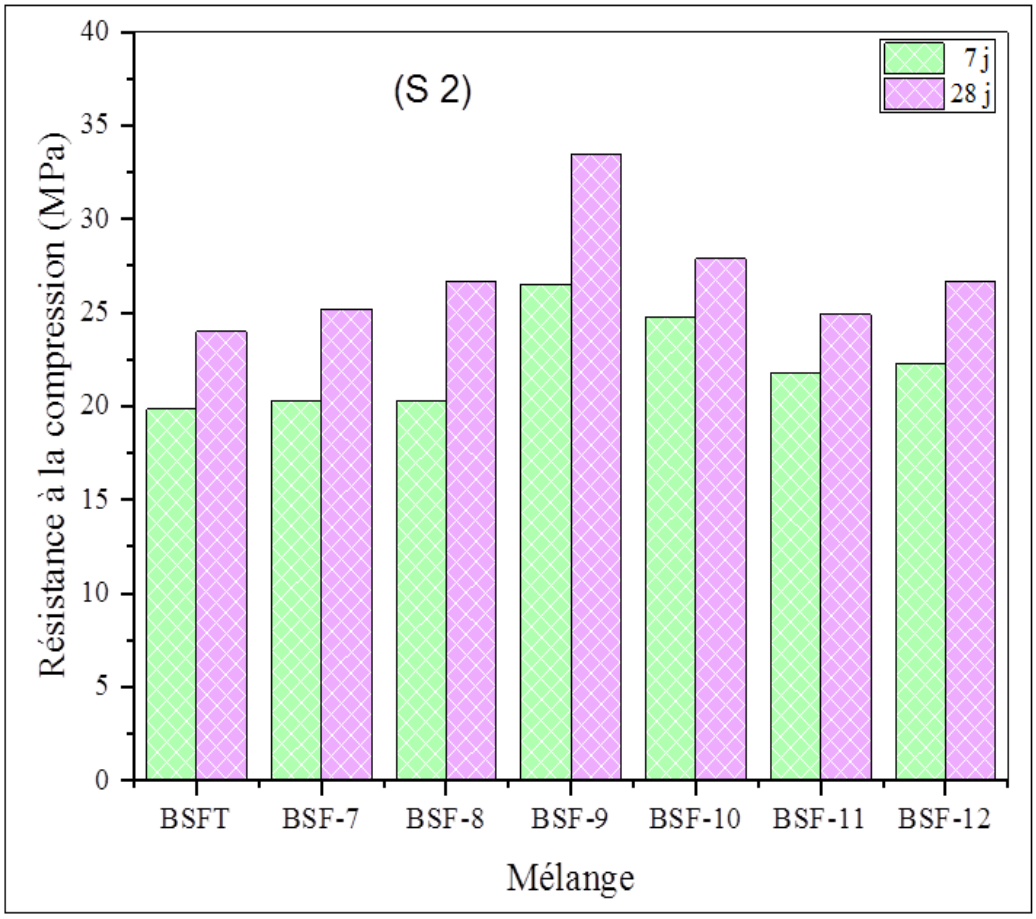


Figure III.5 : La résistance à la compression en fonction de substitution du déchet (%) S2.

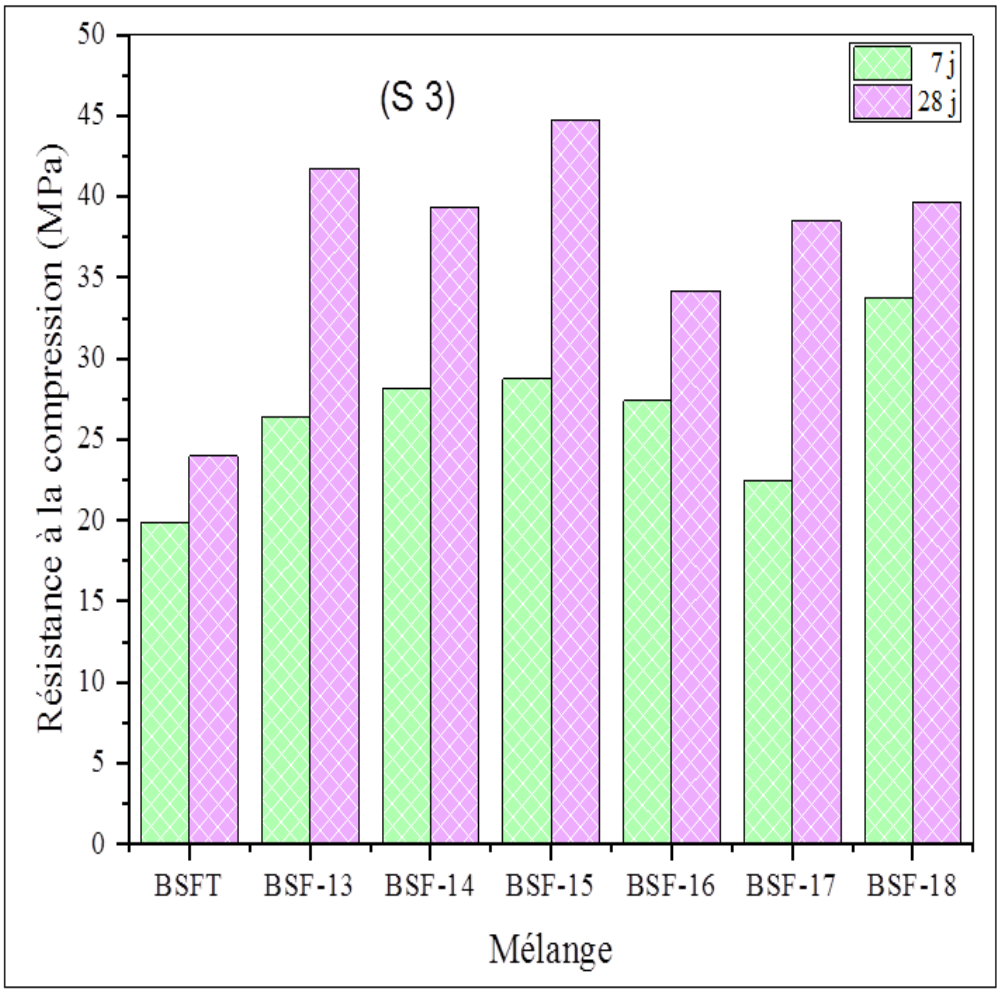


Figure III.6 : La résistance à la compression en fonction de substitution du déchet (%) S3.

À partir dela figure III.4, III.5, III.6, nous montrons que la résistance à la compression du béton de sable liquide s'est améliorée en fonction du remplacement du sable naturel par des déchets industriels et des déchets de coquillages.

Le gain est estimé à 33% pour le standard BSF (-6) et (-9)qui représentent le maximum de (S1) et (S2), tandis que pour (S3) le gain est estimé à 45% pour le standard BSF (-15), Cette augmentation de la valeur de résistance à la compression est liée essentiellement à la forme des grains de déchets granite et qui sont plus dure que ceux de sable substitué. Comparaison de granite : les résultats trouvés sont : le pourcentage de déchet de granite augmente plus que la résistance à la compression augmente. Comparaison de coquillage : les résultats trouvés

sont : le pourcentage de déchet de coquillage augmente plus que la résistance à la compression diminue.

c. Conductivité thermique

Les résultats de conductivité thermique des différents bétons de sable fluide réalisés sont illustrés dans les figures III.7.

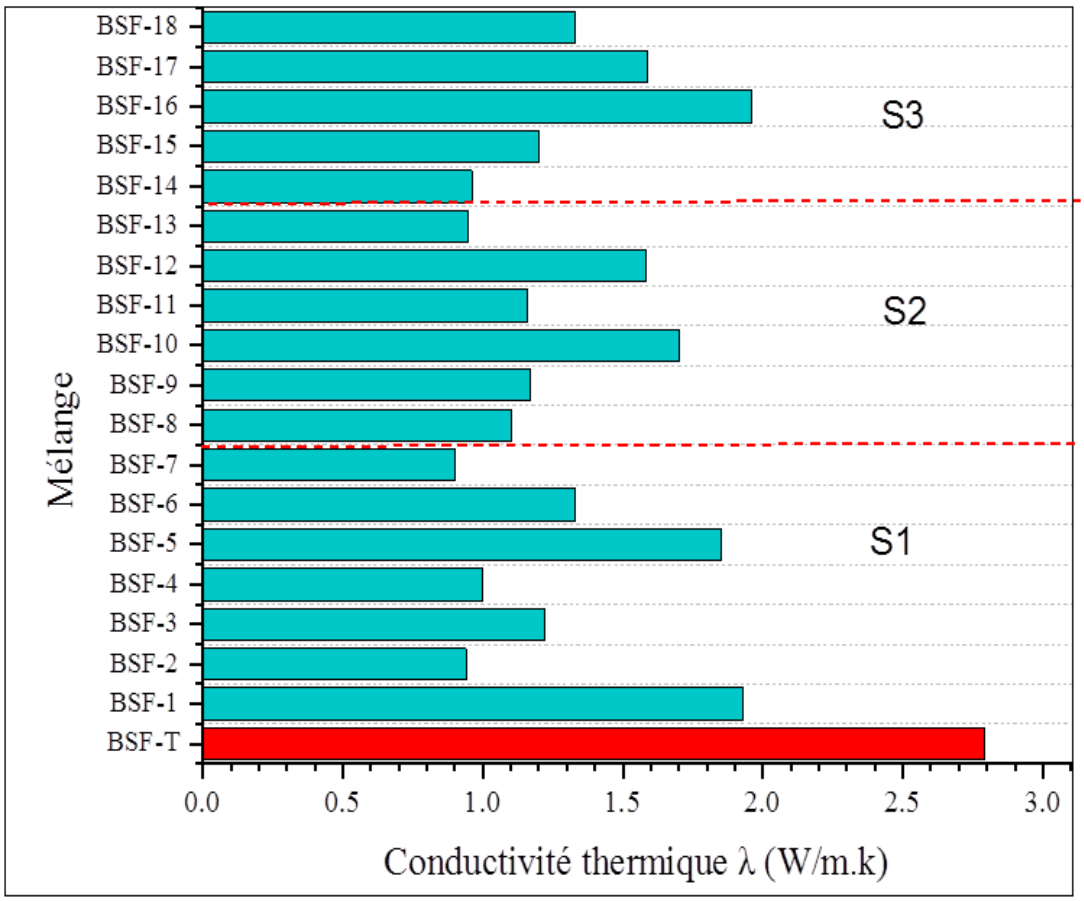


Figure III.7: Conductivité thermique

D'après le résultat obtenu, nous avons remarqué que pour tous les mélanges, les valeurs de la conductivité thermique pour les trois familles BSF sont inferieur par rapport la valeur donne pour le béton de contrôle [BSFT].cette diminution peut être liéeà la bonne isolation thermique des déchets de granite.

d. Porosité accessible à l'eau

Les résultats du porosité des différents bétons de sable réalisés sont illustrés dans les figures III.6 suivantes :

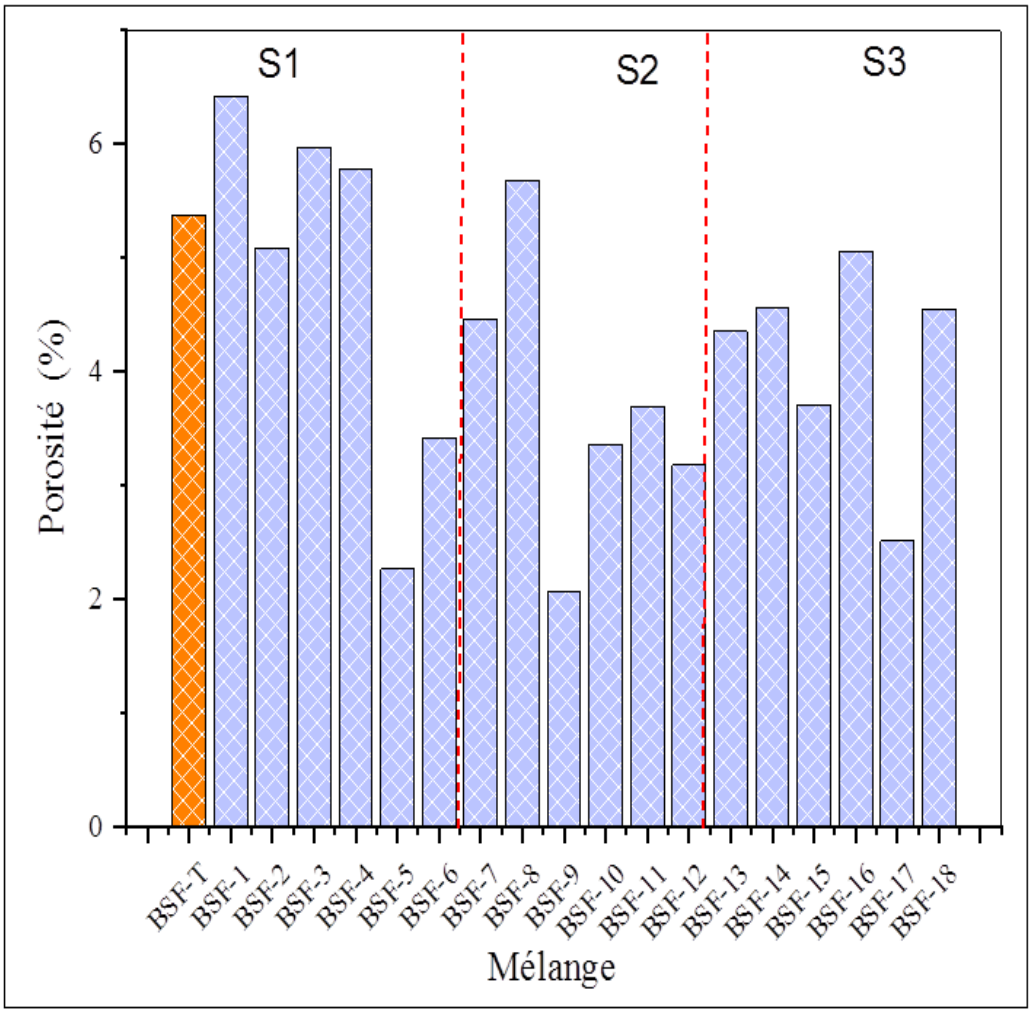


Figure III.8: Porositéaccessible

La figure III.8. Présente l'évolution de la porosité accessible à l'eau de différents mélanges de BSF à l'âge de 28 jours. Cette figure montré que la porosité son diminue pour tous les familles S1 S2 S3.

Les meilleure résultats sont enregistré pour la famille S2 (c'est-à –dire ; utilisation de 10 % poudre de granite et de coquillage). Cette diminution de la porosité est justifier par le rôle de remplissage des pores par la poudres de coquillage et de granite, ainsi que effet pouzolanique de cette poudre qui améliorée la micro structure de béton [faible micro pore et micro fissure].

e. Absorption capillaire

Les résultats d'absorption d'eau par capillarité des différents bétons de sable réalisés sont illustrés dans les figures III.3 suivantes

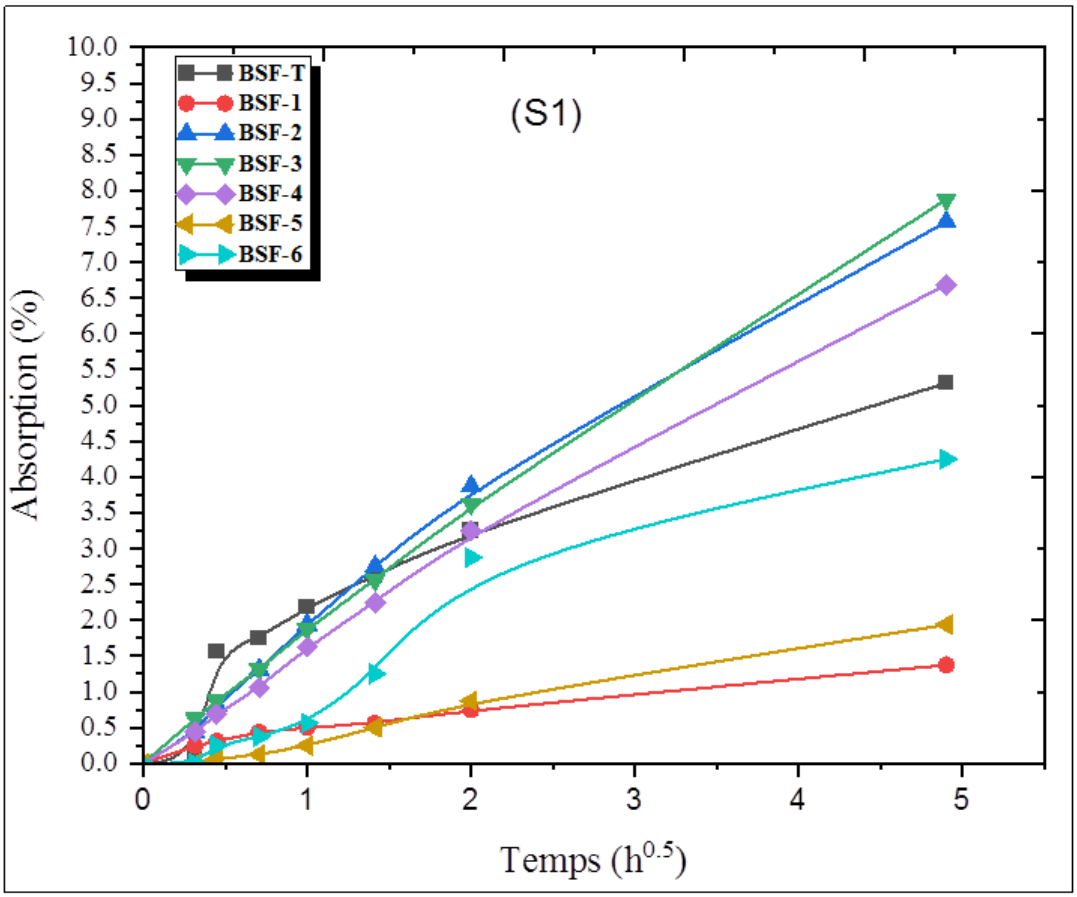


Figure III.9 : Absorption d'eau action en fonction de substitution du déchet (%)S1.

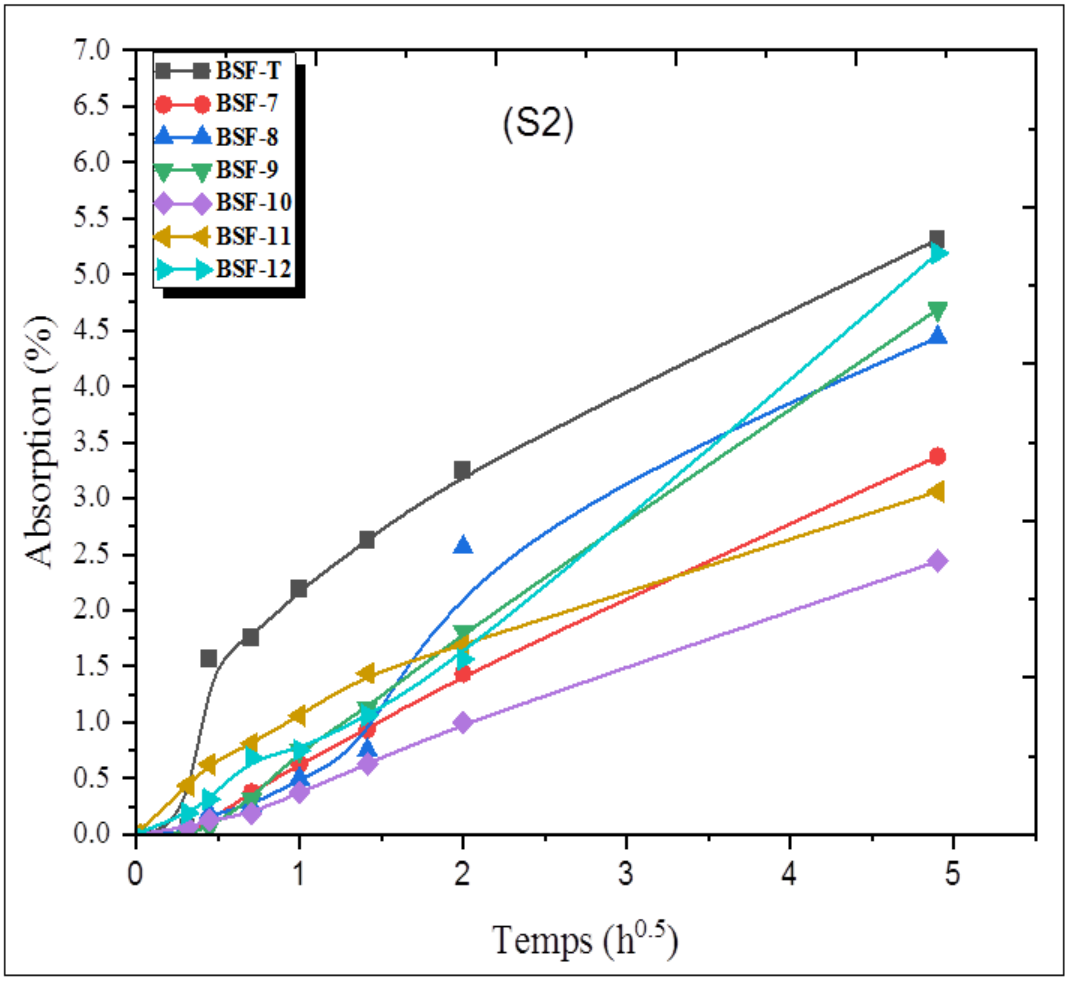


Figure III.10 : Absorption d'eau action en fonction de substitution du déchet (%)S2.

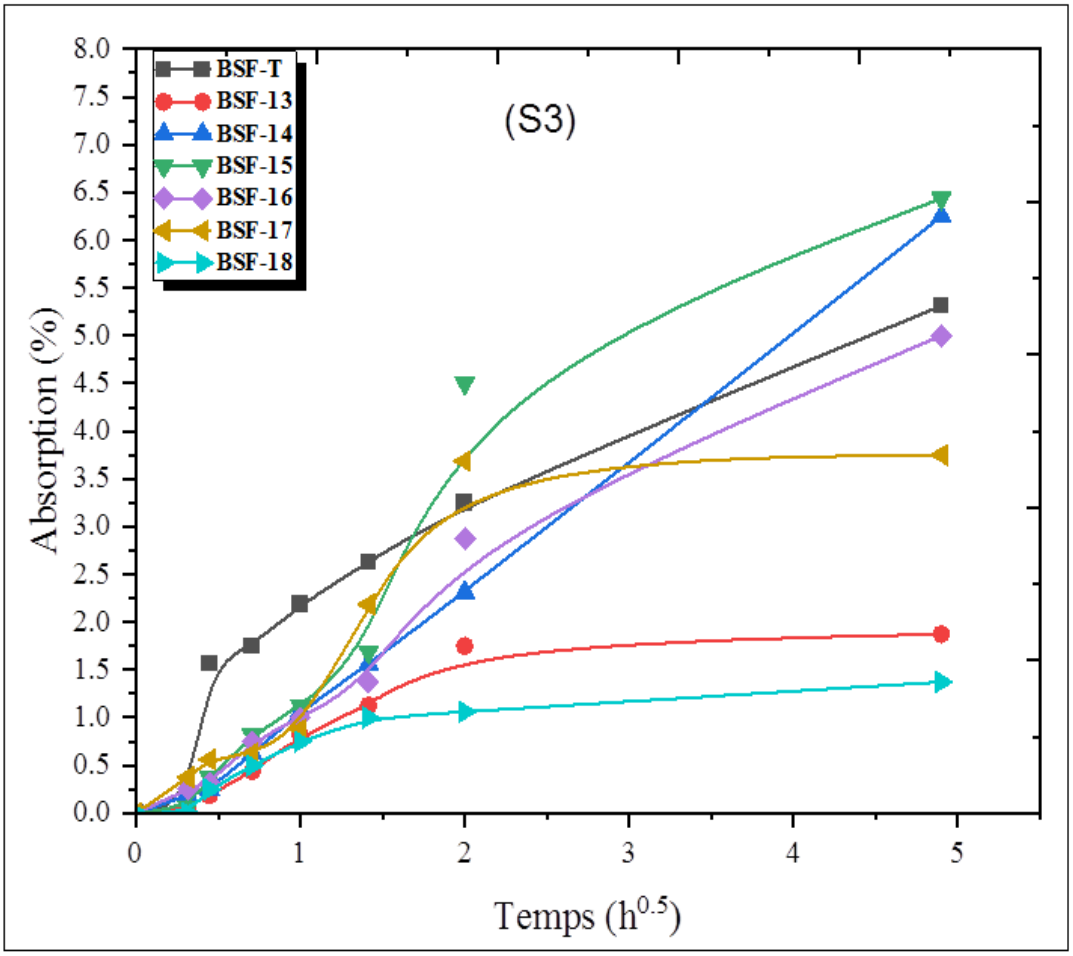


Figure III.11 : Absorption d'eau action en fonction de substitution du déchet (%) S3.

Les résultats étudiée montrent que l'absorption capillaire de (-1.-2.-4et-8) à base de déchets granite et déchet de coquillage est plus importante par rapport à l'absorption capillaire de BSFT, par contre les autres familles du béton et moins importance, Cette diminution est liée à l'absorption capillaire de déchets granite et déchets de coquillage qui sont moins importante que l'absorption capillaire de sable naturel.

III.3 Conclusion

Sur la base des résultats obtenus on conclut que :

- L'étalement de BSF est augmenté en fonction d'augmentation de pourcentage de déchets granite et déchets de coquillage.

- La résistance à la compression de BSF à l'âge de 7 et 28 jours argumente d'environ 51% en fonction d'augmentation de déchets granite et déchets de coquillage.

Conclusion Générale et Recommandation

Conclusion générale

L'objectif essentiel de ce travail et de voir l'influence de déchets de granite et déchets decoquillage sur les caractéristiques de béton de sable fluide à l'état frais et durci. Les résultatsde cette étude ont donné les conclusions suivant :

- La fluidité de béton de sable fluide est augmenté avec l'augmentation de pourcentage de déchet granite et déchet de coquillage.
- La résistance à la compression améliorée en fonction d'augmentation de pourcentage de déchet granite et déchet de coquillage, Le gain est estimé à 51% pour une substitutionpartielle du sable.
- L'absorption capillaire de béton de sable fluide est diminuée en fonction de diminution de pourcentage de déchet industriel et déchet de coquillage.

Vu les résultats obtenus de cette étude, on peut avancer que l'utilisation des déchets de granite et de déchet coquillage dans la fabrication des matériaux de construction peut constituer une alternative économique et technologique importante dans certains pays en voie de développement. On recommande finalement l'utilisation de ces types des bétons dans les différentes voie de construction (Poteaux, poutre, dalle, plate forme, route…..).

Recommandations

Nous recommandons pour des futurs travaux l'étude :

- ✓ Durabilité du béton de sable fluide à base de déchets de granite et de déchets de coquillage.
- ✓ Influence de déchets de granite et de déchets de coquillagesur la performance de béton de sable fluide.
- ✓ Influence industriel et de déchets de coquillagesur le comportement de béton de sablefluide.
- ✓ Propriété thermiques des bétons de sable fluide à base déchets de granite et de déchets de coquillage

Références Bibliographiques

[1] :https://gurdebeke.com/focus-sur-la-valorisation-des-dechets-de-construction/

[2] : Harini B., Ramana K.V., Use of Recycled Plastic Waste as Partial Replacement for Fine Aggregate in Concrete, IJIRSET, 4 (2015) 8596.

[3] : Mémoire de fin d'études de Master(IKHLEF Khadidja ; ZIRARI Imen)

[4] : Mémoire de fin d'études de Master (Riali Hammouche)

[5] : Yang S., Yue X., Liu X., Tong Y., Properties of self-compacting lightweight concrete containing recycled plastic particles, Const. Build. Mater., 84 (2015) 444–453.

[6] :https://www.fnade.org/fr/produire-matieres-energie/valorisation-energetique

[7] :https://recyclage-plastiques.fr/recyclage-plastique/la-valorisation-chimique/

[8] :https://www.dgdr.cnrs.fr/sst/CNPS/guides/doc/dechets/p02_chap04.pdf

[9] : Mémoire de fin d'études de Master (BERKANI Ikramhana . AHMEDI Malika)

[10] :https://www.biotyfullbox.fr/cosmetique-bio/actualite-bio/dechet-recyclable-biodegradable-compostable/

[11] :https://expertises.ademe.fr/sites/default/files/assets/images/dechets-inertes.jpg

[12]:http://www.vedura.fr/environnement/dechets/dechets-toxiques

[13] :https://fr.vikidia.org/wiki/Coquillage

[14]:https://www.larousse.fr/encyclopedie/divers/coquillage/187627

[15] :https://fr.wikipedia.org/wiki/Granite_utilis%C3%A9_en_construction

[16] :https://fr.dreamstime.com/photo-stock-d%C3%A9chets-production-des-produits-granit-image89240316

[17] :https://www.researchgate.net/publication/354842213_Typologie_des_Granites

[18] :https://www.google.com/search?q=granite&tbm=isch&ved=2ahUKEwjR-86C0Zr-AhXVnCcCHQr0BDEQ2cC0egQIABAA&oq=granite&gs_lcp=CgNpbWcQA1DuJljuJmCo

MGgAcAB4AIABAIgBAJIBAJgBAKABAaoBC2d3cy13aXotaW1nwAEB&sclient=img&ei=pYwxZJGVDNW5nsEPiuiTiAM&bih=420&biw=994#imgrc=IuTNJlznoW8TSM

[19] : https://www.techno-science.net/glossaire-definition/Granite-page-3.html

[20] :http://thesis.univ-biskra.dz/2429/4/Chapitre%2002.pdf

[21] :https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fjournals.openedition.org%2Fabe%2F704&psig=AOvVaw0i9Iq82w5kWFYLs8f6_ViL&ust=1590589901719000&source=images&cd=vfe&ved=2ahUKEwj61h39HpAhXJwYUKHb1zCv0Qr4kDegUIARDFAQ

[22]: https://www.google.com/search?source=hp&ei=O4vRXq-UOc-8aauDiaAH&q=Techniques+particuli%C3%A8res+de+beton+de+sable&oq=Techniques+particuli%C3%A8res+de+beton+de+sable&gs_lcp=CgZwc3ktYWIQAzIFCCEQoAE6BggAEBYQHjoICCEQFhAdEB46BwghEAoQoAE6BAghEBVQ2xVYsXlg9n1oAnAAeACAAdwJiAHpSJIBDTItNS44LjEuMi4yLjKYAQCgAQKgAQGqAQdnd3Mtd2l6&sclient=psyab&ved=0ahUKEwjvna2WjtrpAhVPXhoKHatBAnQQ4dUDCAc&uact=5

[23] : https://www.infociments.fr/betons/les-betons-projetes-definition-techniques-de-projection-formulation-utilisations-avantages-et-inconvenients

Annexes

Fiche technique du ciment MATINE



Ciment

MATINE

Ciment pour bétons courants

- Destiné aux bétons de performances ordinaires à la compression fc 25n 25 MPa
- Compatible avec les différents adjuvants et ajouts cimentaires
- Approprié à la réalisation des bâtiments standard, tunnels, ouvrages et pieds



LAFARGE
لافارج

MATINE

Ciment pour béton exigeant

CEM II/A-L 42.5 R - NA 442

FICHE TECHNIQUE

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

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

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

Domaine d'utilisation :

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

Les principales applications de ce ciment sont :

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

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

Fiche technique du adjuvant utilise

BUILDING TRUST

NOTICE PRODUIT

Sika® ViscoCrete® TEMPO-10

Superplastifiant/Haut réducteur d'eau de nouvelle génération polyvalent

INFORMATIONS SUR LE PRODUIT

Sika® ViscoCrete® TEMPO-10 est un superplastifiant/haut réducteur d'eau polyvalent de nouvelle génération non chloré, à base de copolymère acrylique.

DOMAINES D'APPLICATION

Sika® ViscoCrete® TEMPO-10 convient pour la confection de béton en préfabrication, béton sur chantier et béton prêt à l'emploi. Sika® ViscoCrete® TEMPO-10 est utilisé pour béton en cas de temps de transport ou délai de mise en oeuvre prolongés.
Sika® ViscoCrete® TEMPO-10 permet la fabrication des:

- Bétons plastiques à très fluides
- Bétons à faibles rapports E/C avec ou sans fumée de silice
- Bétons avec réduction d'eau maximale (jusqu'à 30 %)
- Bétons avec air entraîné

CARACTÉRISTIQUES / AVANTAGES

Sika® ViscoCrete® TEMPO-10 combine plusieurs mécanismes d'action. Par adsorption à la surface et le dispersionnement des fines pendant le processus d'hydratation les propriétés suivantes sont atteintes:

- Réduction d'eau extrêmement importante (donc étanchéité et résistances élevées)
- Fluidité élevée (donc moins de travail pour la mise en oeuvre et le compactage)
- Evolution plus rapide des résistances à court terme
- Etanchéité fortement améliorée
- Meilleures caractéristiques de fluage et de retrait
- Carbonatation du béton ralentie

Sika® ViscoCrete® TEMPO-10 ne contient ni chlorures ni autres substances susceptibles de provoquer ou de favoriser la corrosion de l'acier, et peut donc être utilisé sans restrictions pour la construction d'ouvrages en béton armé et précontraint.

AGRÉMENTS / NORMES

Sika® ViscoCrete® TEMPO-10 répond aux exigences de la norme NF EN 934-2 tableaux 1, 3.1 & 3.2.
PV CNERIB: DTEM 251/2016.

DESCRIPTION DU PRODUIT

Conditionnement	• Fût de 200 kg • Cubi de 1100 kg
Aspect / Couleur	Liquide brun clair.
Durée de Conservation	12 mois de la date de production si le produit est stocké correctement en emballage intact.
Conditions de Stockage	Dans un local fermé, à l'abri de l'ensoleillement direct et du gel, entre 5 et 30 °C. Sika® ViscoCrete® TEMPO 10 peut geler, mais une fois dégelé lentement et réhomogénéisé, il retrouve ses qualités d'origine. En cas de gel prolongé et intense, vérifier qu'il n'a pas été déstabilisé.
Densité	1.060 ± 0.010