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

Développement d'un nouveaux composite cimentaire à base des déchets industriels combinés avec les déchets de coquillage

---

Présenté par :

M^{elle}. BERKANI Ikram hana

M^{me}. AHMEDI Malika

Proposé et Dirigé par :

Dr .GUENDOUZ Mohamed

Promotion Juin 2022

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*** *et* ***BOUKHELKHAL DJ,****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 ***HADJEDJ 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 travail à :

Ma mère « FATMA ZOHRA», pour son amour , ses encouragements et ses sacrifices .

Mon père « LARBI» , pour son soutien , son affection et la confiance qu'il m'a accordé .

A ma chère sœur « HIBA » et mon frère « ZAKARIA», je souhait qui Dieu nous accorde une longue vie et bonne santé .

Ma grande mère « FATMA »et mes cousines: KAWTHER , MERIEME, KENZA, SIHEM. INES, CHANEZ, MALAK, A tous la famille MIHOUBI et BERKANI.

A ma chère « ZINEB», tu a été pour moi durant ces années passés ensemble plus qu'une amie ; une sœur, qu'Allah te protège, je t'aime.

A tous mes amis surtout « MALIKA», qu'avec lesquelles j'ai partagé de très bon moments à l'université, et qu'ils vont trouver ici le témoignage d'une fidélité et d'une amitié infinie.

IKREM HANAA

Dédicace

A la fin de ce cycle , te tiens à dédier ce modeste travail à :

Mes **CHÉRE PARENTS** que nulle dédicace ne puisse exprimer mes sincères sentiments pour leur patience illimitée , leur encouragement continu , leur aide en témoignage de mon profond amour et respect pour leur sacrifices .

Ma sœur « **HADJER** » ma vie et mon frére « **MOHAMED YACINE** » mon bonheur

Mon marié « **ABDENOUR** » que dieu lui garde pour moi , et ma princesse , mon oxygéne , ma fille « **RANIM** »

Ma **BELLE MÉRE** que Dieu le tout puissant vous comble de santé, de bonheur et vous prouve une longue vie pleine de joie.

A « **IKRAM** » une personne qui a une place spéciale dans mon cœur, , une amie Qui a été a mes cotés tous au long de cette année qui a partagé avec moi beaucoup de choses.

La famille « **AHMEDI** », « **FAID AICHAOUI** » et « **KHAOUANE** »

A tous ceux que j'ai connus, et qui reconnaitrons. A tous ceux que j'aime et ceux qui m'aiment.

MALIKA

ملخص

الهدف الرئيسي من هذا المشروع هو المساهمة في تثمين و رسكلة النفايات الصناعية و فايات الصدفات و دمج هذه النفايات بشكل حجمي في كتلة الخرسانة الرملية المائعة بنسب مختلفة , مع دراسة خصائصها في الحالة الرطبة و فيالحالة الصلبة و مقارنتها مع خرسانة رملية مائعة عادية .

وقد أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن الخصائص الميكانيكية للخرسانة تتحسن بشكل ملحوظ , من الممكن استعمال هذا النوع من الخرسانة في مختلف مجالات البناء و في جميع العناصر الانشائية .

Résumé

L'objectif principale de ce projet est de contribuer à la valorisation et au recyclage des déchets industriel et déchets de coquillage dans la masse de béton de sable fluide avec déférents pourcentages , on été étudié les caractéristique de béton à l'état frais (étalement , v-funnel , densité) et à l'état durci (R_C , R_t) .

Les résultats obtenus montrent que les caractéristique mécanique de béton sable fluide sont amélioré avec l'augmentation de substitution de déchets industriels et déchet de coquillage , donc il est possible d'utiliser ce type de béton dans le domaine de la construction .

Abstract

The main objective of this project is to contribute to the recovery and recycling of industrial waste and shell waste in the mass of fluid sand concrete with different percentages, the characteristics of concrete in the fresh state have been studied (spreading, v-funnel, density) and in the hardened state (R_C , R_t).

The results obtained show that the mechanical characteristics of fluid sand concrete are improved with the increase in substitution of industrial waste and shell waste, so it is possible to use this type of concrete in the field of construction .

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 3
I.1.Introduction 3
I.2. Valorisation des déchets et sous produits industriels dans le génie civil 3
I.2.1. Définition 3
I.2.2. Valorisation 3
I.2.3. Méthodes de valorisation 3
I.2.4. Types des déchets 4
I.2.5. Différents déchets utilisés en génie civil 5
I.3.Déchets de céramique 7
I.3.1.Introduction 7
I.3.2.Définition de céramique 7
I.3.3. Quelques données économiques sur le marché des céramiques 8
I.3.4. Les différents types de céramiques 9
I.3.5. Technologie de fabrication d'une céramique 9
I.3.6. Propriétés des céramiques 10
I.3.7. L'utilisation de déchet de céramique 11
1.4. Coquillages 12
1.4.1 Introduction 12
1.4.2. Définition de coquillage 12
1.4.3. Type de Coquillages 13
1.4.4. Composition du Coquillages 15
1.4.5. Valorisation de déchets de coquillages 16

1.5. Granite et déchet de granite 17
1.5.1 Origine de granite 17
1.5.2 Les compositions de granite 18
1.5.3 Diversité des granites 18
1.5.4 Utilisation des Granites 20
1.6 Le béton de sable 20
1.6.1 Introduction 20
1.6.2 Origines de béton de sable 20
1.6.3 Définition 21
1.6.4 Techniques particulières 22
1.6.5 Béton de sable projeté 22
1.6.6 Bétons de sable fluide 22
1.6.7 Les composants du béton de sable 23
1.6.8 Formulation du béton de sable 25
1.6.8.1 Approche théorique d'une formulation d'un béton de sable 25
1.6.8.2 Méthode expérimentale de formulation des bétons de sable 33
I.7 Influence de poudre de coquillage sur les propriétés des matériaux cimentaires 37
I.7.1 Etats frais 37
I.7.2 Etat durci 39
I.8 Influence des déchets céramiques rouge sur les propriétés des matériaux cimentaires 43
I.8.1. Etats frais 43
I.8.2 Etats durci 45
I.9 Influence des déchets granite sur les propriétés des matériaux cimentaires 47
I.9.1. Etat frais 47
I.9.2. Etat durci 47
I.10 Conclusion 48

CHAPITRE II : MATÉRIAUX ET ESSAIS

II.1 Introduction 49
II .2 Caractérisation des matériaux utilisés 49
II.2.1 Ciment 49

II.2.2 Granulats 51
II.2.2.1 Sable 52
II.2.2.2 Déchets de granite 52
II.2.2.2.a caractérisation des déchets de granite 53
II.2.2.3 Déchets de céramique 53
II.2.2.3.a Recyclage des déchets de céramique (SCR) 54
II.2.2.3.b Sable de céramique recyclé (SCR) 54
II.2.2.3.c caractéristiques de SCR 55
II.2.2.4 Déchet de coquillages 56
II.2.2.4.a Recyclage des déchets de coquillages (SCQR) 56
II.2.2.4.b caractéristiques de SCQR (Sable de coquillages recyclé) 57
II.2.3 Eau de gâchage 58
II.2.4 Super plastifiant 58
II.2.5 Filler de marbre blanche 58
II.3 Formulation du béton 59
II.4 Séquence de malaxage du béton 62
II.5 Les essais sur le béton (BSF) 63
II.5.1 Etat frais 63
II.5.2 Démoulage et conservation des éprouvettes 65
II.5.3 Etat durci 65
II.6 Variables étudiées 68
II .7 Conclusion 69

CHAPITRE III : RESULTATS ET INTERPRITATION

III.1 Introduction 70
III.2 Essais sur le béton de sable fluide à base des déchets 70
III.2.1 Influence de combinaison du déchet industriel et de coquillage sur le béton de sable à l'état frais 70
III.2.2 Influence de combinaison du déchet industriel et de coquillage sur le béton de sable à l'état durci 72
III.3 Conclusion 76

Conclusions générales 77
Recommandations 78
Références bibliographique 79
Annexe 86

Liste des Tableaux

Listes des tableaux

Tableau II.1 : L'analyse chimique du ciment et composition du clinker 50

Tableau II.2 : Propriétés physiques d'identification de sable utilisés 51

Tableau II.3 : Propriétés physiques de SGR 53

Tableau II.4 : Propriétés physiques de SCR 55

Tableau II.5 : Propriétés physiques de SCQR 57

Tableau II.6 : Propriétés physiques de MEDAFLOW 30 58

Tableau II.7 : Propriétés physiques de filler de marbre blanche 59

Tableau II.9 : composition des bétons formulés 60

Liste des Figures

Listes des figures

Figure I.1 : Répartition des déchets par activité 5

Figure I.2: Déchet de céramique . 8

Figure I.3 : Répartition en chiffre d'affaires des céramiques en Europe par secteur . 8

Figure I.4 : Différentes étapes d'élaboration des céramiques. 9

Figure I.5: Conductibilité thermique des matériaux en fonction de la température. 10

Figure. I.6: Schéma des bandes d'énergie électronique de métaux, semi-conducteur et Isolants. 11

Figure I.7 : Coquillage . 13

Figure I.8: Les familles de bivalves . 14

Figure I.9 : Les familles de gastéropodes. 14

Figure I.10 : mollusques "sans coquilles" - les céphalopodes . 15

Figure I.11 : Décoration avec coquillage. 17

Figure I.12 : Le granite. 17

Figure I.13 : Composition chimique du granite. 18

Figure I.14 : La diversité des couleurs de granite 19

Figure I.15 : Composition minéralogique du granite. 19

FigureI.16 : Les phares d'Égypte : laboratoire et conservatoire de l'ingénierie européenne du xixe siècle . 21

Figure I.17 : Le béton de sable en projection . 22

Figure I.18: Influence du diamètre D du sable sur le dosage en fines. 27

Figure I.19: Influence de la dimension d sur la porosité minimale du béton pour deux tailles D du sable. 28

Figure I.20 : Relation entre l'ouvrabilité et le dosage (e + v) d'une matrice pour une mise en œuvre donnée 29

Figure I.21 : Coefficient d'activité du filler calcaire (modèle) 31

Figure I.22: Organigramme de la méthode théorique 32

Figure I.23 : masse volumique apparente en fonction du dosage en fines d'addition 36

Figure I.24 : Evolution de la maniabilité en fonction du dosage en fines d'addition 36

Figure I.25 : Influence de déchets de coquillage sur la fluidité du mortier autoplaçant 37

Figure I.26 : Influence de substitution de ciment par le coquillage sur la densité de ciment 38

Figure I.27 : Effet de déchets de coquillers sur la densité de béton 38

Figure I.28: Influence de substitution de sable par le coquillage sur la densité de MAP 39

Figure I.29: Effet de sable de coquillage sur la porosité du béton ordinaire 39

Figure I.30: Influence de substitution de sable par le coquillage sur la Rc et Rt de MAP 40

Figure I.31 : Effet de sable de coquillage sur la résistance à la compression du béton ordinaire 41

Figure I.32 : Influence de substitution de ciment par le coquillage sur la Rc de ciment 41

Figure I.33 : Influence de substitution de ciment par le coquillage sur la Rt de ciment 42

Figure I.34 Influence de substitution de sable par le coquillage sur le module d'élasticité de MAP 43

Figure I.35 :L'effet de déchets céramique rouge sur la fluidité des mortiers 44

Figure I.36 : L'effet de déchets céramique sur la densité de béton 44

Figure I.37 :L'effet de déchets céramique rouge sur la fluidité des mortiers 45

Figure I.38 :L'effet de déchets céramique rouge sur la Rc du béton 45

Figure I.39 :L'effet de déchets céramique rouge sur la Rt du béton 46

Figure I. 40:L'effet de déchets céramique rouge sur le module d'élasticité du mortier 46

FigureI.41 : La maniabilité de béton à base de déchets de granite 47

Figure I.42 : La résistance à la compression de béton à base de déchets de granite avec (a) 7 jours, (b) 28 jours 47

Figure II.1 : Le ciment utilisé (Annexe A) 50

Figure II.2: Sable moyenne d'Oued sauf 51

Figure II.3 : Courbe granulométrique des sables utilisées 52

Figure II.4 : Déchets de granite sous forme sable 0/3 52

Figure II.5 : Déchets de céramique sous forme sable 0/3 53

Figure II.6: Protocole de concassage des déchets de céramique sous forme sable 0/3 55

Figure II.7 : Déchets de coquillage sous forme sable 0/3 56

Figure II.8: Protocole de concassage des déchets de coquillage sous forme sable 0/3 57

Figure II.9 : MEDAFLOW 30 58

Figure II.10: poudre de marbre 59

Figure II.11 : Séquence de malaxage du béton de sable fluide 63

Figure II.12 procédure de malaxage au laboratoire 63

Figure II.13 : Développement de l'essai d'étalement 64
Figure II.14 : Mesure de la densité du béton 64
Figure II.15 : Conservation des éprouvettes 65
Figure II.16 : Essai de compression sur béton 66
Figure II.17: Essai de traction par flexion sur béton 66
Figure II.18 : Essai de l'absorption capillaire 67
Figure II.19 : Variables étudiées 68
Figure III.1 : Dosage des superplastifianten de défirent type du béton 70
Figure III.2 : L'étalement en fonction de substitution du déchet (%) 71
Figure III.3 : Evolution des masses volumiques en fonction de substitution du déchet (%) 72
Figure III.4 : La résistance à la compression en fonction de substitution du déchet (%) 73
Figure III.5 : La résistance à la traction en fonction de substitution du déchet (%) 74
Figure III.6 : Absorption d'eau action en fonction de substitution du déchet(%) 75

LISTES DES FIGURES

Notation et Abréviation

BSF Béton de sable fluide

BSFT Béton de sable fluide témoin

BAP1,2,….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

$\mathbf{R_C}$ Résistance à la compression

$\mathbf{R_T}$ Résistance à la traction

SR Sable recyclé

SP Superplastifiant

NA Norme 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

I Moment d'inertie

L Liante

F Filaire

INTRODUCTION GÉNÉRAL

INTRODUCTION GÉNÉRAL

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 biosources 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 céramique, 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, après avoir été collectés, sont incorporés dans le béton de sable fluide par substitution volumétrique du sable et par ajout. Le composite ainsi réalisé est appelé "béton de sable fluide à base de déchets de fonderie". A part le ciment, chaque matériau de base constituant ce béton entre soit dans le cadre de la valorisation des matériaux locaux, soit dans le cadre de la réutilisation des déchets industriels

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

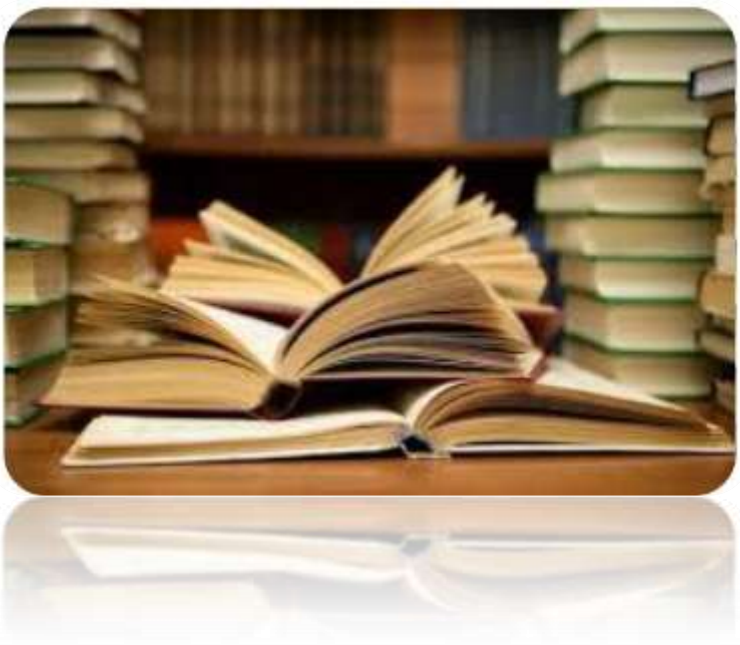
Le premier chapitre consiste à une recherche bibliographique sur la valorisation et l'activité de recyclage en construction, sur les déchets industriel et déchet de coquillage. Dans cette partie nous soulignons les grands titres pour faire apparaître une vue générale sur le BSF et la Valorisation des déchets et activité de recyclage en construction (déchet de céramique ,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

Le recyclage n'est pas un luxe ou une mode mais une nécessité, qui provient d'une Constatation forte simple : nous vivons dans un monde limité. S'il n'est pas possible de supprimer la production de déchets, sous produits ou résidus Industriels ou urbains, il convient alors de définir les meilleures conditions de valorisation. Presque toute l'activité industrielle portant atteinte aux ressources naturelles et dégradantes L'environnement, le recyclage et la valorisation des déchets est un devoir autant qu'une nécessité.

En effet, pour des raisons économiques, réglementaire, commerciales et environnementales, la valorisation des déchets (industriels, municipaux et de l'industrie de construction) dans le béton, est en cours de développement ces dernières années dans plusieurs pays développés. **[1]**

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

I.2.1. Définition e déchet

Un déchetse 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. **[1]**

I.2.2. Valorisation

La valorisation est définie comme "L'élimination des déchets comporte les opérations de collecte, transport, stockage, tri et traitement nécessaires à la récupération des éléments et matériaux réutilisables ou de l'énergie, ainsi qu'au dépôt ou au rejet dans le milieu naturel de tous autres produits dans des conditions propres à éviter les nuisances". Avant de valoriser un déchet, il faut connaître son origine, l'analyser, caractériser son état actuel et son comportement dans le temps et évaluer sa traficabilité. Il s'agit donc de «mesurer pour connaître et connaître pour agir ». L'approche globale du déchet permettra d'en définir son devenir, à savoir quel type de valorisation choisir. [**2]**

I.2.3. Méthodes de valorisation

a. 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. [**2]**

b. Valorisation énergétique

Elle est appelée également, recyclage énergétique, elle vise la production d'énergie calorifique. Plusieurs techniques permettent d'atteindre cet objectif dont les plus connus sont l'incinération, la pyrolyse ou la thermolyse. Cette énergie calorifique peut être utilisée sur place ou transformée par la suite en énergie électrique, en fonction des besoins du moment ou du lieu de traitement. [**2]**

c. Valorisation chimique

Il s'agit de tout processus chimique permettant la transformation d'un déchet en des Produits chimiques utilisables comme intermédiaires réactionnels dans l'industrie chimique. [**2]**

I.2.4. Types des déchets [1]

On distingue plusieurs types des déchets :

a. Les déchets biodégradables

Résidus verts, boues d'épuration des eaux, restes alimentaires…, qui s'assimilent en première approche à la biomasse. Ces déchets sont au moins pour partie détruits naturellement, plus ou moins rapidement, en général par les bactéries, champignons et autres micro-organismes et/ou par des réactions chimiques (oxydation, minéralisation), laissant des produits de dégradation identiques ou proches de ceux qu'on peut trouver dans la nature, parfois néanmoins contaminés par des résidus de pesticides, de métaux, dioxines, etc. ,selon leur origine. Ils peuvent être revalorisés par différentes filières (bioénergie, biocarburants, Compostage/Amendements / engrais…).

b. Les déchets spéciaux et déchets industriels spéciaux

À la différence du déchet banal peuvent entrer dans la catégorie des déchets dangereux, dont font partie les déchets toxiques et les déchets radioactifs qui doivent faire l'objet d'un traitement tout à fait particulier en raison de leur nocivité particulière liée à la radioactivité. Parmi les déchets nucléaires, on distingue les déchets radioactifs ultimes.

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.

d. Déchets organiques

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

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

I.2.5. Différents déchets utilisés en génie civil

En général les déchets sont classés en cinq catégories comme illustrés ci –dessous ; bien quels déchets utilisables en génie civil soient les déchets inertes, les déchets ménagers et les déchets en sous produits industriels dans des conditions spécifiques. [**2]**

a. Déchets industriels dangereux mais 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.

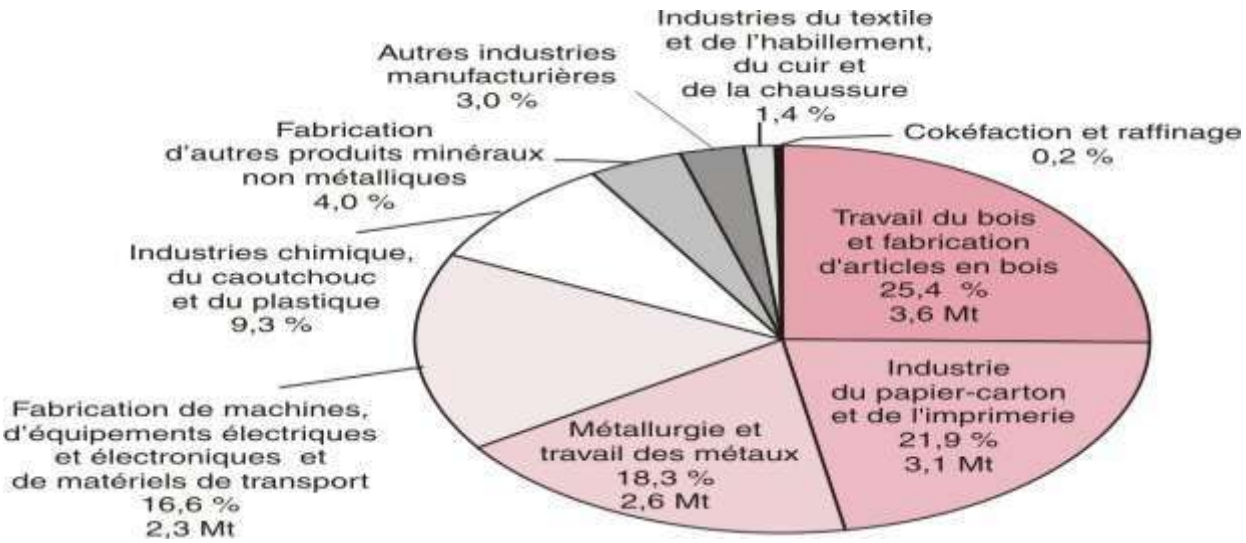


Figure I.1 :Répartition des déchets par activité**[3]**

b. Déchets inertes

Ce sont des déchets non susceptibles d'évolution physique, chimique ou biologique importante. Ils sont essentiellement constitués de déblais et gravats et ne doivent pas être mélangés avec d'autres déchets. Les dépôts de déchets inertes sont souvent à l'origine de décharges sauvages. [**4]**

c. Déchets toxiques

Ils sont à caractère industriel et obtenus en général après traitement chimique des matériaux synthétiques. Certains déchets toxiques sont mélangés en faible quantité à des produits non polluants. Il est alors impossible de recycler ces produits sans les avoir débarrassés des déchets toxiques. **[2]**

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.) [**2]**

e. Déchets ménager et assimilés

Ce type de déchets regroupe :

- Des déchets en matériaux de synthèse,
- Des déchets solides non dangereux de construction ou de démolition de bâtiment à caractère industriel.
- Déchets volumineux ou "encombrants" soit collectés en porte à porte, soit réceptionnés dans une installation mise à la disposition des ménages.
- Déblais et gravats produits par les ménages réceptionnés dans des déchetteries ou des dépôts réservés aux seuls déchets inertes.
- Déchets ménagers spéciaux (DMS), ne pouvant en raison de leur danger être éliminés sans risques avec les déchets ménagers. Ils sont réceptionnés dans des déchetteries équipées à cet effet.
- Déchets végétaux issus de l'habitat pavillonnaire.
- Déchets de l'automobile (huiles, épaves, batteries, pneus, …).

Des déchets commerciaux, emballages et autres résidus générés par les activités commerciales comme les déchets plastiques. [**2]**

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

Appelés quelquefois déchets industriels assimilés aux déchets ménagers, sont constitués de déchets non dangereux et non inertes.

Ils contiennent effectivement les mêmes composants que les déchets ménagers mais en proportions différent. [**2]**

I.3.Déchets de céramique

I.3.1.Introduction

Le terme céramique a pour origine le mot grec keramikos, qui fait référence à la poterie et à la « terre brûlée ». Les céramiques constituent une gamme très étendue de matériaux non métalliques. Elles sont toutes élaborées par des procédés thermiques et incluent de nombreux Silicates et oxydes ; beaucoup ont pour origine les argiles naturelles analogues à celles qui servent à la fabrication de tuiles et de briques pour le bâtiment, argiles qui sont durcies par chauffage. Les constituants principaux sont les argiles et les aluminosilicates provenant des feldspaths. Aujourd'hui la gamme de matières premières est beaucoup plus étendue et elle aboutit, via la poterie et la céramique d'art, à des produits industriels très élaborés.**[5]**

I.3.2Définition de céramique

Les céramiques sont définies selon le Larousse comme étant « Art de fabriquer les poteries, fondé sur la propriété des argiles de donner avec l'eau une pâte plastique, facile à façonner, devenant dure, solide et inaltérable après cuisson ».

La société américaine ASTM (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS) définit une céramique comme : « un article ayant un corps vitrifié ou non, de structure cristalline ou partiellement cristalline, ou de verre, dont le corps est formé de substances essentiellement inorganiques et non métalliques, et qui est formé par une masse en fusion qui se solidifie en se refroidissant, ou qui est formé et porté à maturité, en même temps ou ultérieurement, par l'action de la chaleur. » Les céramiques sont des matériaux inorganiques, non métalliques, nécessitant de hautes températures lors de leur fabrication. Il s'agit en général d'oxydes métalliques, et plus généralement de métaux oxydés, mais pas uniquement. Les céramiques ont en général une structure cristalline, parfois associée à une phase amorphe. Lorsque la majorité est amorphe, on parle de vitrocéramique ; lorsque la totalité est amorphe, on parle du verre.**[6]**



Figure I.2:Déchets de céramique

I.3.3. Quelques données économiques sur le marché des céramiques

Le génie civil consomme plus de 80 % du marché total des céramiques. En Europe à titre d'exemple est de l'ordre de 30 milliards d'euros/an. Les secteurs les plus importants (Figure II.1) sont l'industrie des carreaux de revêtement et de dallage (39 %), les tuiles et briques (24 %), les réfractaires (12 %), les céramiques techniques (10 %), les sanitaires (8 %), la vaisselle et l'ornementation (6 %). La plus grande partie de la production a lieu en Allemagne, Grande-Bretagne, Espagne et en Italie.**[30]**

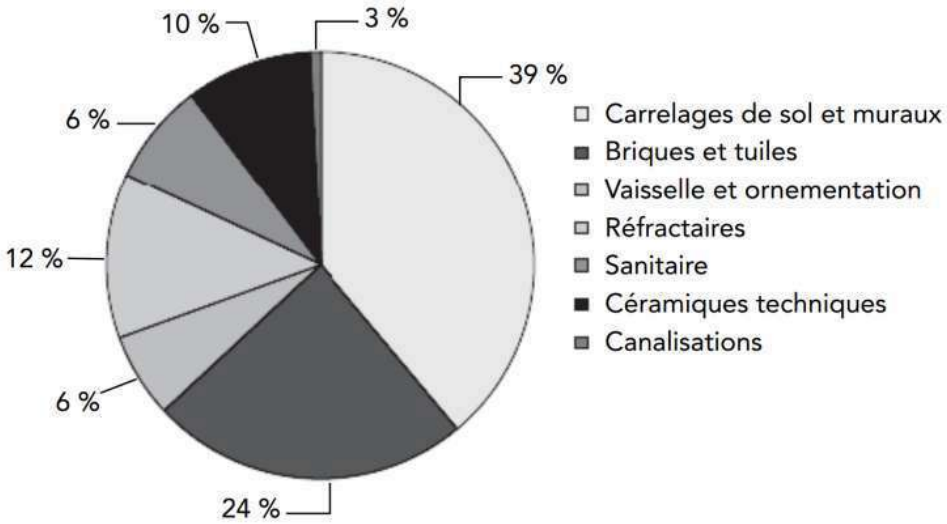


Figure I.3 : Répartition en chiffre d'affaires des céramiques en Europe par secteur.**[7]**

I.3.4. Les différents types de céramiques [8]

On distingue deux types des céramiques **:**

a. Les céramiques traditionnelles

Les céramiques traditionnelles sont issues de matières premières naturelles (argile, kaolin, quartz) et généralement mise en œuvre par coulée, exemples : la faïence, terres cuites (briques de construction), porcelaines (vaisselle, objets décoratifs).

b. Les céramiques techniques

Les céramiques techniques regroupent les matériaux développés récemment dans les laboratoires de recherche en raison de leurs propriétés chimiques ou physiques exceptionnelles. Elles sont obtenues le plus souvent par frittage (traitement thermomécanique dans des fours spéciaux, qui provoque la cohésion de granulés de poudre avec un aggloméré préparé à froid) ou par électro fusion(les oxydes sont coulés directement dans un moule).

I.3.5. Technologie de fabrication d'une céramique

Le terme céramique ne recouvre pas un type de composition chimique, mais un matériau généralement poly cristallin et très bien densifié obtenu suivant un mode de mise en œuvre particulier, il est souvent synonyme dans le public d'objets usuels : carrelages, sanitaires, vaisselle... Dans le cas des céramiques techniques notamment pour l'électronique, la maîtrisée l'élaboration permet d'obtenir des propriétés performantes et utiles pour des applications très diverses (tenue mécanique, propriétés électriques, diélectriques, magnétiques). Les différentes étapes d'élaborations des céramiques sont résumées dans l'organigramme suivant :

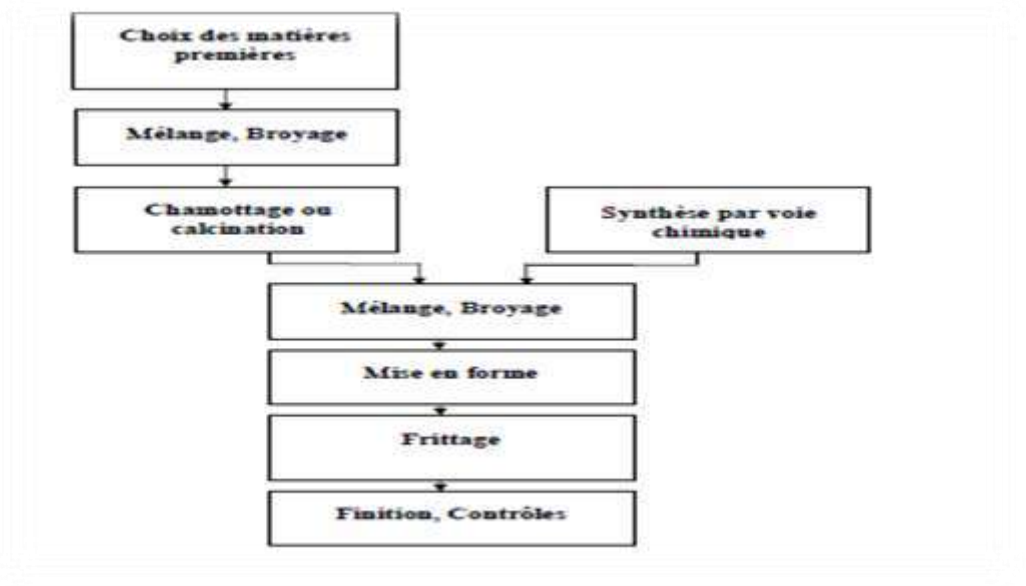


Figure I.4 : Différentes étapes d'élaboration des céramiques. **[8]**

I.3.6. Propriétés des céramiques

a. Propriétés mécaniques

La dureté des céramiques est très élevée ; la limite élastique est très faible leur module de Young à la température ambiante est compris entre 300 et 400 GPa et la résistance à la compression entre 2.103 et 30.10^3 Pa, La figure I.5 montre que le module de Young diminue avec la température. **[8]**

b. Propriétés thermiques

Les céramiques sont caractérisées par leur capacité à résister à haute température. La température de fusion des céramiques est très élevée 2050 C°. La chaleur spécifique ; la conductivité thermique et le coefficient de dilatation thermique augmentent avec la température. La figure I.11 illustre l'évolution de la conductibilité thermique des matériaux en Fonction de la température. **[8]**

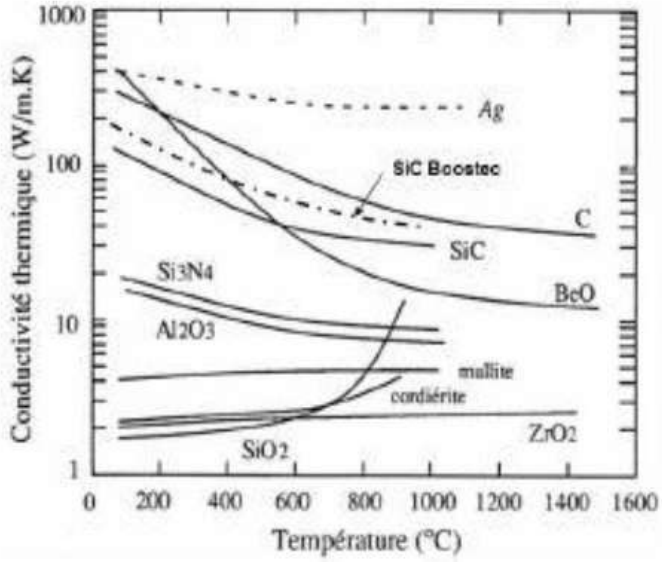


Figure. I.5: Conductibilité thermique des matériaux en fonction de la température. **[8]**

c. Propriétés électriques

La physique du solide permet de distinguer trois familles de matériaux en fonction de leur structure électronique, suivant comment sont organisées et remplies d'électrons leurs bandes de valence et de conduction (Figure I.24). Il existe des céramiques dans chaque famille.

Les matériaux conducteurs sont caractérisés par une structure électronique où les électrons ne sont pas liés à un atome en particulier. Ils sont de bons conducteurs électriques.

Le graphite, habituellement inclus dans les matériaux céramiques, ainsi que quelques carbures, se comportent, du point de vue électronique, comme des métaux. Les matériaux semi-conducteurs caractérisés par l'existence d'un domaine d'énergies interdites entre les

bandes de valence et de conduction. L'énergie minimale nécessaire à un électron excité pour passer de la bande de valence à la bande de conduction s'appelle l'énergie de « gap » Eg, ou largeur de bande interdite. Pour les semi-conducteurs, celle-ci est inférieure à 3 eV. À température nulle (0 K), la bande de valence est complètement remplie et la bande de conduction vide. A une température plus élevée, le gain d'énergie d'origine, thermique permet aux électrons d'atteindre la bande de conduction. Le matériau devient alors conducteur.

La présence d'impuretés dans le matériau perturbe le réseau cristallin et peut introduire des niveaux d'énergie intermédiaires dans la bande interdite. Un matériau isolant électrique peut-être considéré comme un semi-conducteur ayant une largeur de bande interdite d'au moins 3 eV. L'alumine est un matériau isolant : son énergie de gap est égale à 9,6 eV. Les charges présentes dans le matériau sont alors des trous dans la bande de valence et des électrons dans la bande de conduction.**[9]**

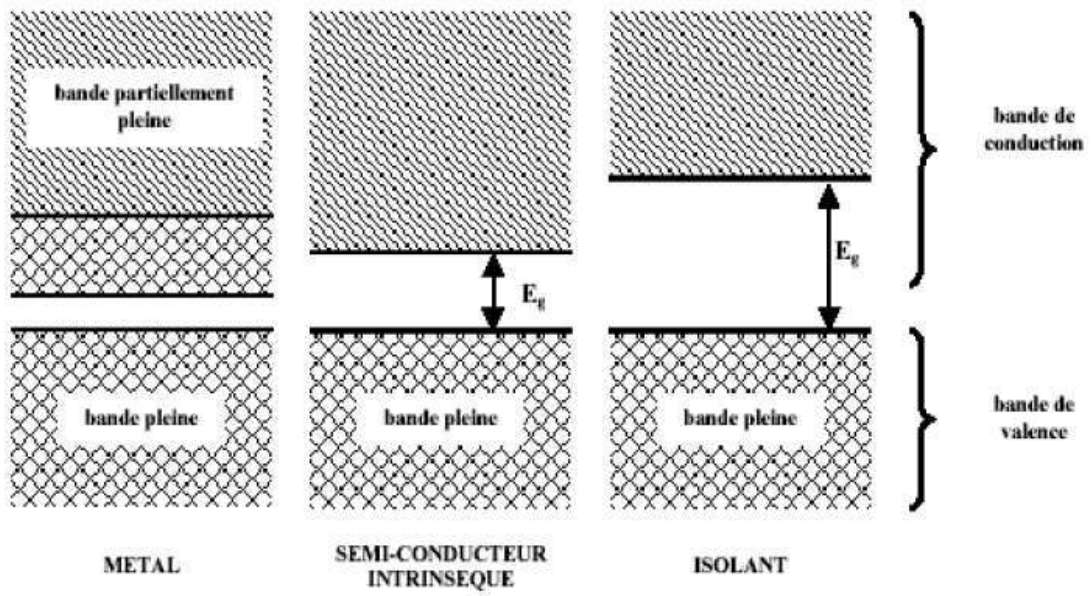


Figure. I.6: Schéma des bandes d'énergie électronique de métaux, semi-conducteur et Isolants. **[9]**

I.3.7. L'utilisation de déchet de céramique

- ✓ **le remblai :** il représente la principale façon de réutiliser les céramiques. Il peut être réemployé directement in situ selon le type de chantier ou alors être vendu à des particuliers ou des professionnels pour renforcer et terrasser certains sols .Les routes : Les granulats

obtenus après broyage servent généralement au secteur du BTP pour le terrassement ou comme sous-couche pour la création de nouvelles routes ;

- ✓ **le béton :** si le granulat de céramique est d'excellente qualité et conforme à un cahier des charges précis (dureté, propreté, granulométrie…), il peut être utilisé dans la composition du béton**.[46]**

I.4. Coquillages

I..4.1 Introduction

Le monde des mers est plein de nombreux miracles. Ce sont d'autres espèces sur cette planète qui vivent une vie complète qui n'est rien de moins que la vie sur terre, en l'occurrence les coquilles. Ces dernières, également connues sous le nom de coquillages, sont une couche extérieure dure et protectrice créée par un animal qui vit dans le milieu maritime. En fait, elles vivent dans le sable près des rives des mers et des océans, où elles ont une grande capacité à creuser et à s'enterrer pour se protéger des poissons qui s'en nourrissent et ne pas se préparer à geler en hiver et à brûler en été. Sachant qu'elles se trouvent en abondance dans de nombreuses régions du monde. Par exemple, le CAP Atlantique dispose sur son territoire les deux premiers ports de pêche de Loire-Atlantique à savoir le port de La Turballe et du Croisic. Cela représente environs 7 500 tonnes de productions conchylicoles (moules, coques, huîtres, palourdes), sans compter la pêche à pied.

Labellisé Territoire Zéro Déchet et Zéro Gaspillage, Le CAP Atlantique a souhaité proposer une opération de collecte ponctuelle de ces déchets, généralement déposés avec les ordures managers . [10] Il est alors fort intéressant de tirer profit de ces déchets maritimes en vue d'une meilleure exploitation dans les domaines ayant trait au génie civil. Dans ce contexte, nous visons dans le cadre de ce mémoire de mettre en évidence l'intérêt certain que représente cette exploration pour le génie civil.

I.4.2. 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 **.[11]**



Figure I .7 : Coquillage **[12].**

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 groupe des bivalves (voir plus bas).
- 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 (voir plus bas).**[11]**

I .4.3. Type de Coquillages

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

a) Les bivalves

Il est Composé de 2 coquilles s'articulant autour d'une charnière et reliées par un ligament. Il existe plusieurs familles, dont :

- Coques
- Coquilles Saint-Jacques & pétoncles
- Huîtres
- Moules
- Amandes de mer
- Couteaux
- Palourdes, clams, praires, vernis, telline...

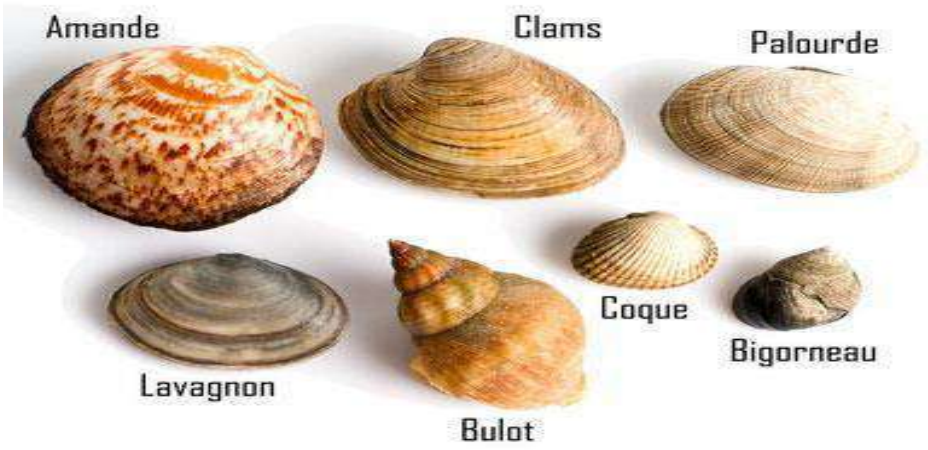


Figure I .8: Les familles de bivalves **[13].**

b) Les gastéropodes :

Sont des coquilles d'une seule pièce, souvent enroulée en spirale . On y trouve notamment les familles suivantes :

- Ormeaux ;
- Bigorneaux ;
- Bulots ;



Figure I.9 : Les familles de gastéropodes **[13].**

c) Mollusques "sans coquilles" - les céphalopodes :

Les Céphalopodes forment une classe de mollusques. Ils sont appelés ainsi parce qu'ils possèdent des tentacules à ventouses reliées à leur tête, comme: La pieuvre, le calmar ou la seiche . Ils n'ont pas le corps recouvert d'une coquille, mais il en reste une trace sous forme d'un cartilage interne. Chez la seiche, c'est ce qu'on appelle « l'os de seiche », léger, plat et bombé, que l'on retrouve parfois sur les plages.

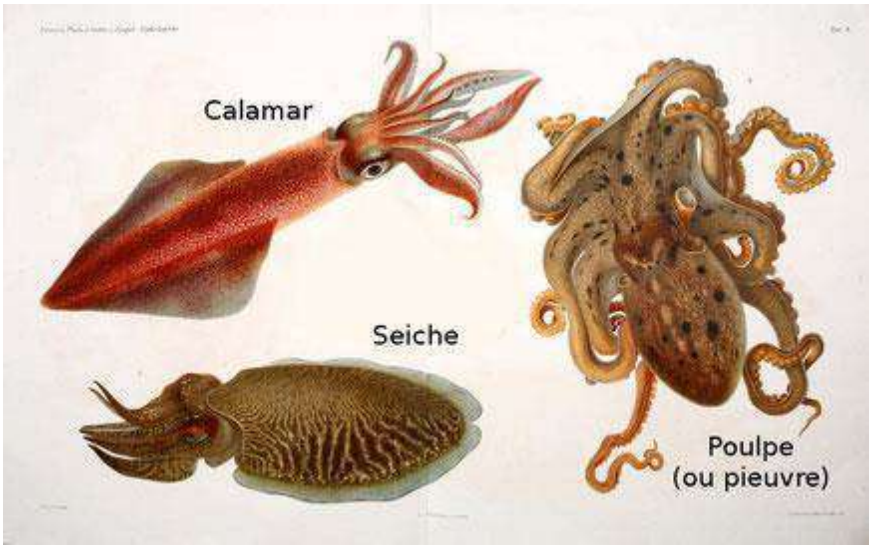


Figure I.10: mollusques "sans coquilles" - les céphalopodes **[13].**

I.4.4. Composition du Coquillages

La coquille des mollusques est constituée d'un assemblage intime et complexe de carbonate de calcium (CaCO3; appelé calcaire lorsqu'il s'agit d'une roche) et de matière organique (protéines essentiellement ; association de carbone/C; hydrogène/H; oxygène/O et azote/N), le tout secrété par l'organisme. On parle de biominéral ou bicarbonate. Même s'il n'est pas possible d'ignorer la matrice organique des biominéraux, cette matrice étant essentielle lors de la formation de ces biominéraux, les deux constituants principaux des coquilles (CaCO3 et matrice organique) seront traités dans deux paragraphes distincts. **[14]**

A. Constituant "calcaire"

Le carbonate de calcium qui est fabriqué par l'animal pour faire sa coquille peut avoir deux formes minéralogiques, la calcite et/ou l'aragonite ; qui restent toujours associées à de la matière organique. La calcite et l'aragonite, toutes deux CaCO3, n'ont pas la même organisation au niveau de leur réseau. La calcite cristallise dans le système rhomboédrique et l'aragonite dans le système orthorhombique. **[14]**

B. Constituants organiques

Il est possible d'identifier biochimiquement les phases organiques présentes au sein des biominéraux, et dont le rôle est essentiel dans le processus de bio-minéralisation. Pour cela, il faut éliminer le composant calcaire en utilisant des acides, c'est ce qu'on appelle la - décalcification. Les composés organiques ainsi recueillis ont des propriétés différentes et se divisent en deux grandes classes, les composés organiques solubles et insolubles. On peut

séparer ces 2 grands types de composés par centrifugation par exemple, ceux qui restent en suspension dans le liquide sont dits solubles tandis que ceux qui sédimentent sont insolubles. Ces composés ne joueraient pas le même rôle lors du processus de bio-minéralisation.

La matrice organique des biominéraux, soluble et insoluble, dont les composants élémentaires sont C, H, O et N, est constituée de protéines et de glucides. Les constituants des protéines sont les acides aminés qui sont eux-mêmes classés selon leur structure. Ces composants organiques sont très divers, même au sein d'une couche de coquille identifiée par sa microstructure (par ex. couche prismatique).**[14]**

I.4.5. Valorisation de déchets de coquillages

L'arrivée de l'archéomalacologie en tant que discipline nouvelle de l'archéologie ne cesse de mettre en évidence des utilisations parfois oubliées des coquillages le long du littoral atlantique français. Plusieurs activités nécessitent la collecte de l'animal vivant ou coquillage telles la consommation alimentaire ou l'extraction de colorant, d'autres n'utilisent que le test ou la coquille (parure, éléments de construction, décor mural, outil…). Tout au long de la chronologie, un même phénomène semble se répéter.

Les coquilles des coquillages consommés sont rarement recyclées. L'archéologie permet de mettre en lumière cette dichotomie dès leur acquisition. Ainsi, la collecte du coquillage frais semble correspondre à une activité différente de celle qui consiste à ramasser des coquilles dépourvues de la chair de l'animal. [15] Par exemple la société Ovive S.A. a pour activité la collecte et la valorisation des déchets coquilliers issus des élevages ostréicoles et des entreprises de dé coquillage. La majorité des coquilles traitées et transformées (+/- 90%) sont destinées à être intégrées à l'alimentation des poules pondeuses et pigeons sous forme de complément alimentaires.

Les écailles proposées vont leur fournir un apport en calcium organique de qualité pour consolider leur squelette et renforcer la coquille de leurs œufs. Depuis 2010, Ovive propose des écailles grossières de coquilles traitées utilisables en paillage décoratif par les paysagistes et les services espaces-verts des collectivités. Enfin, nous sommes aussi en mesure de traiter certains des matériaux issus du nettoyage mécanique des plages. **[16]**



Figure I.11: : Décoration avec coquillage **[12]**

I..5. Granite et déchet de granite

I.5.1 Origine de granite

Le granite est une roche plutonique à texture grenue, riche en quartz, qui comporte plus de feldspath alcalin que de plagioclase. Il est caractérisé par sa constitution en minéraux :quartz, feldspaths potassiques (orthoses) et plagioclases, micas (biotite ou muscovite). Le granite et ses roches associées forment l'essentiel de la croûte continentale de la planète[1]. C'est un matériau résistant très utilisé en construction, dallage, décoration, sculpture, sous l'appellation granit. **[17]**



Figure I .12 : Le granite **[17]**

I.5.2 Les 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 % de Al2O3 , 9,5 % de (Na2O, K2O), 2 % d'oxydes (Fe, Mn, Mg, Ca).[18]

oxydes et minéraux virtuels	granites alcalins (groupe 2)	granites (stricto sensu)		granodiorites (groupe 4)	diorites quartziques (groupe 5)	granite moyen
		syénogranites (groupe 3a)	monzogranites (groupe 3b)			
SiO_2	73,86	72,08	69,15	66,88	66,15	69,92
TiO_2	0,20	0,37	0,56	0,57	0,62	0,39
Al_2O_3	13,75	13,86	14,63	15,66	15,56	14,78
Fe_2O_3	0,78	0,86	1,22	1,33	1,36	1,62
FeO	1,13	1,67	2,27	2,59	3,42	1,67
MnO	0,05	0,06	0,06	0,07	0,08	0,13
MgO	0,26	0,52	0,99	1,57	1,94	0,97
CaO	0,72	1,33	2,45	3,56	4,65	2,07
Na_2O	3,51	3,08	3,35	3,84	3,90	4,07
K_2O	5,13	5,46	4,58	3,07	1,42	3,28
H_2O+	0,47	0,53	0,54	0,65	0,69	0,78
P_2O_5	0,14	0,18	0,20	0,21	0,21	0,24
Q (·)	32,2	29,2	24,8	21,9	24,1	28,9
Or	30,0	32,2	27,2	18,3	8,3	24,5
Ab	29,3	26,2	28,3	32,5	33,0	27,8
An	2,8	5,6	11,1	16,4	20,8	9,4
Cor	1,4	0,8				1,4
$CaSiO_3$					0,3	
$MgSi_2O$	0,6	1,3	2,5	3,9	4,9	2,4
$FeSiO_3$	1,1	1,7	2,2	2,9	4,1	1,3
Ma	1,2	1,4	1,9	1,9	2,1	2,3
Lim	0,5	0,8	1,1	1,1	1,2	0,8
Ap	0,3	0,4	0,5	1,5	0,5	0,3

(·) Q = quartz SiO_2 ; Or = orthose $K_2O . Al_2O_3 . 6SiO_2$; Ab = albite $Na_2O . Al_2O_3 . 6SiO_2$; An = anorthite $CaO + Al_2O_3 . 2SiO_2$; Cor = corindon Al_2O_3 ; Ma = magnétite $Fe_2O_3 . FeO$; Il m = ilménite $FeO . TiO_2$; Ap = apatite $P_2O_5 . 3CaO$.

Figure I.13 : Composition chimique du granite .**[18]**

I.5.3 Diversité des granites

En termes de couleur, on dénombre une grande diversité de granite, relative à la multitude couleurs que peut prendre ses feldspaths (granite rose, gris, noir…). **[18]**

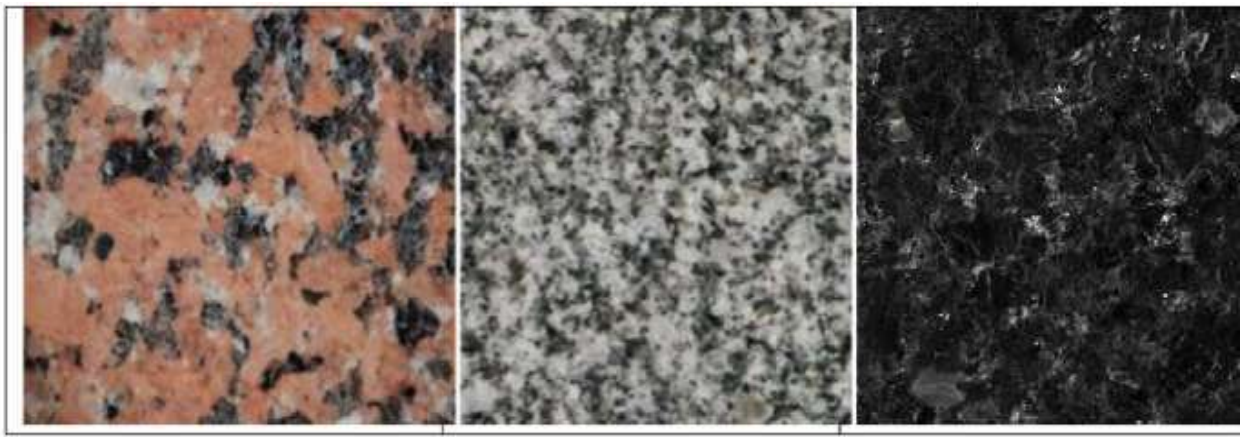


Figure I.14 : La diversité des couleurs de granite**.[18]**

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 et notamment 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).

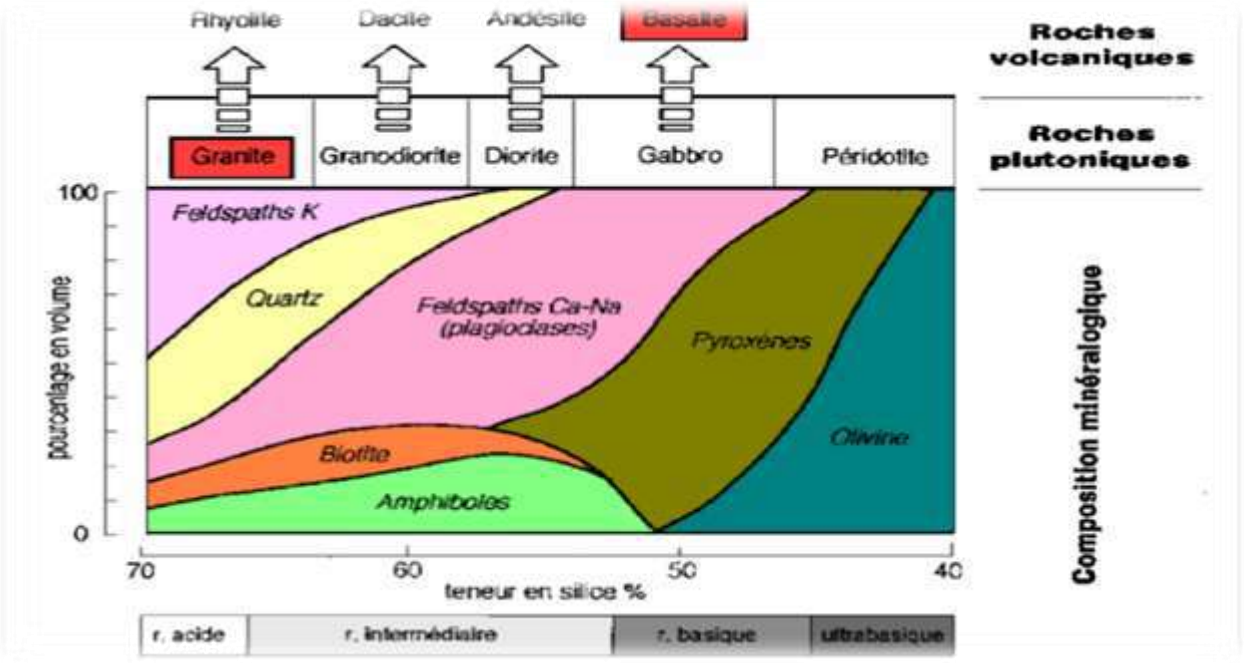


Figure I.15 : Composition minéralogique du granite.**[18]**

I.5.4 Utilisation des Granites

L'utilisation des granites est très variée :

- La construction : C'est l'utilisation la plus connue, en pays granitique, les maisons sont construites à l'aide de blocs de granite. le granite fournit également des granulats de bonne qualité
- La voirie : Le granite est très souvent utilisé comme pavés, bordure de trottoirs, ballast, dalles, etc.
- La décoration : C'est une utilisation importante car après polissage le granite donne des dalles très résistantes utilisées comme carrelage, plan de travail, etc. Le granite est aussi très utilisé dans les monuments funéraires.
- .La métrologie : Le granite est également utilisé pour réaliser des support d'appareils de mesure de précision. **[19]**

I.6 Le béton de sable

I.6.1 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 aux 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..6.2 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 Egypte (hauteur : 52m) et du pont de New-York .Les 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 (500Km de Moscou) .A la fin du second conflit mondial, le professeur académicien Rebinder a permit l'utilisation de ce matériau dans plusieurs domaines : (les chaussés, les pistes d'aviation, élément de remplissage, murs architecturaux, planchers, dalles, réhabilitation, etc.).**[20]**



Figure I.16 : Les phares d'Égypte : laboratoire et conservatoire de l'ingénierie européenne du xixe siècle **[28].**

I.6.3 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 .**[20]**

I.6.4 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.**[22]**

I.6.5 Béton de sable projeté

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

- La réhabilitation de 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.17 : Le béton de sable en projection **[29].**

I.6.6 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 doit

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

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

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

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

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

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

Le BS fluidifié présente un surcoût allant de 10 à 25 % par rapport à un béton traditionnel. Par exemple, les BS nécessitent des dosages plus élevés en 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 béton traditionnel .**[24]**

I.6.7 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 besoin de certains usage, d'autres ajouts spécifiques peuvent être envisagés : gravillons, fibres, adjuvants .**[20]**

A/ Les Sables

Par sable on entend tous granulats 0/D conformes aux définitions des normes NF P 18- 540 et NF P 18-101 il peut s'agir soit d'un sable naturel alluvionnaire ou de ballastière, soit d'un sable de carrière issu du concassage d'une roche massive ou détritique. Aucun critère granulométrique n'est a priori exigible pour réaliser un béton de sable : on peut aussi bien utiliser un sable fin (même homométrique, type sable de dune) qu'un sable alluvionnaire moyen ou grossier, ou un O/D de concassage. La seule restriction d'emploi des sables réside dans leur propreté. **[20]**

B/ Les fines d'ajout (filler)

Le terme filler fait référence à tout produit obtenu par broyage ou par pulvérisation de certaines roches (calcaire, basalte, laitiers, bentonite, cendres volantes...) naturelles ou non.

Ce mot filler provient de l'anglais « to fil » signifiant remplir, dont le plus gros grain de ces matériaux ne dépasse pas 0.2mm. L'ajout de fillers permet souvent d'améliorer certaines propriétés du béton à l'état frais (accroissement de la maniabilité, réduction du ressuage, . . .) et du béton durci (diminution de la perméabilité et de la capillarité, réduction des risques de fissuration, . .) L'effet du filler sur la maniabilité dépend surtout de sa finesse. Si le filler est finement broyé, il y aura réduction de la quantité d'eau pour une maniabilité fixe. **[20]**

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. **[20]**

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.

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 d e sable privilégie toutefois l'usage du plastifiants ou

superplastifiant : 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 on été utilisés dans cette étude. Les adjuvants employés devront par ailleurs être conformes à la norme NF P 18-103. **[20]**

I.6.8 Formulation du béton de sable

I.6.8.1 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 [25] a pu établir à partir des données expérimentales une relation mathématique reliant le volume des vides d'un mélange granulaire présentant une compacité maximale et son étendue granulaire (d/Dmax). Pour ce mélange optimisé la relation de Caquot s'écrit comme suit :

$$V = Vo\ (d / D\ max)\ 1/5 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

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 ;

Dmax: 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 le

ciment, les fines d'ajout et la fraction du sable inférieure à 80 μm.

2) Toute l'étendue du sable comprise entre 80 μm et le diamètre maximal du sable Dmax, ainsi que l'éventuelle fraction des éléments supérieurs à 80 μm, provenant des fines d'ajout. En faisant cette distinction entre les fines incluant les éléments inférieurs à 80 μm et l'étendue du sable comprise entre 80 μm et le diamètre maximal du sable, la porosité du sable peut être calculée selon la formule précédente de Caquot :

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

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

Dmax : Diamètre maximal du plus gros grain du mélange.

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

En apportant quelques simplifications, Caquot s'est rendu compte que le volume de l'ensemble des particules fines (< 80 μm) et le volume de vide associé à l'empilement de ces fines sont égaux, autrement dit le volume des vides restant dans le mélange est égal au volume de l'ensemble des fines d'ajout. [Fines]= [Vides]. Il suffit de combiner les deux résultats précédents de Caquot pour en déduire que le dosage volumique optimal en fines d'ajout est la moitié de la porosité du sable et que l'autre moitié correspond à la porosité minimale résiduelle.

$$[Fines] = 0.38\ (0.08/Dmax)1/5 \quad \text{……. (3)}$$

Cette dernière formule montre que le dosage en fines dépend surtout de la dimension du plus gros grain, il apparaît très clair que plus le diamètre maximum diminue plus le dosage en fines augmente Figure (1.16).

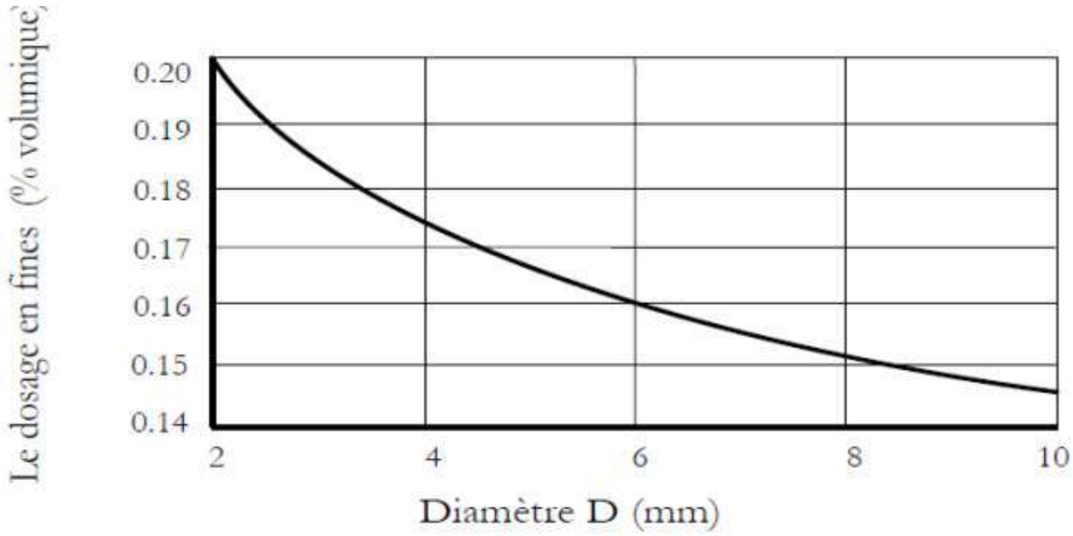


Figure I.18: Influence du diamètre D du sable sur le dosage en fines **[26].**

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.

(e+v) min = 0.8 (d/ Dmax) 1/5 ……………………………. (4)

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

d = (60 / (f)) mm ρ ×…………………………….. (5)

Avec:

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

ρ: densité du constituant exprimée en g/cm3.

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

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

La dimension des flocs relevant des considérations physico-chimiques très complexes. Un ordre de grandeur peut être avancé de l'ordre de 20 à 25 μm pour le diamètre ; ainsi l'élargissement de l'étendue est la seule solution pour la réduction de la porosité théorique minimale. (Fig. 1.17)

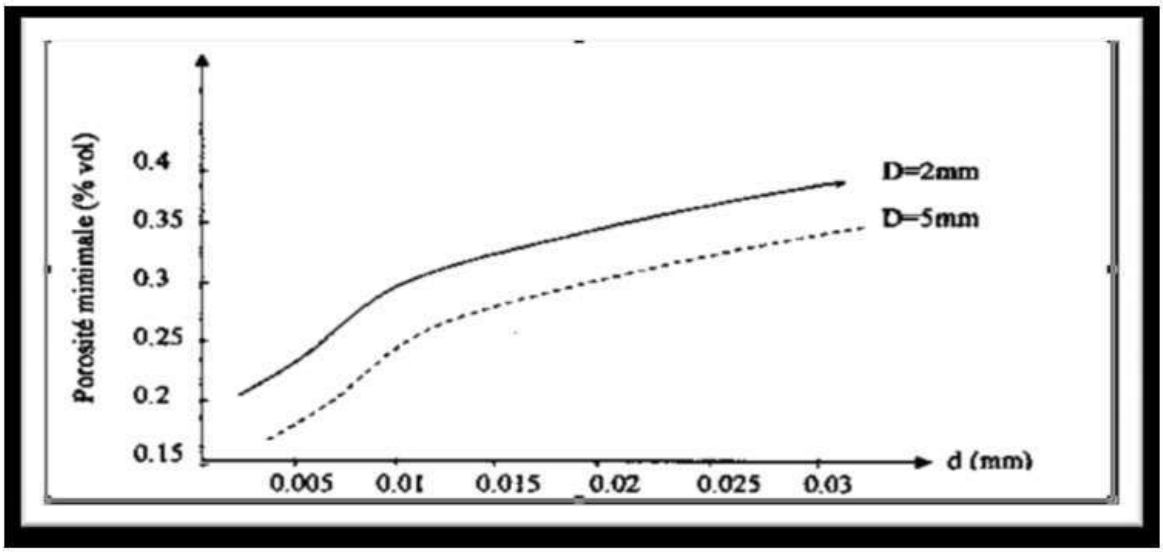


Figure I.19: Influence de la dimension d sur la porosité minimale du béton pour deux tailles D du sable **[26].**

L'expérience montre que pour des quantités d'eau inférieures à la quantité d'eau permettant d'obtenir l'ouvrabilité optimale, le mélange piégera une forte quantité d'air quelques soient les moyens de serrage utilisés, et par suite une porosité (e+v) supérieure à (e+v) min, alors pour des quantités d'eau supérieures à celles qui donnent l'ouvrabilité optimale, la quantité d'air piégée reste stable et l'ouvrabilité augmente de façon linéaire. (fig.1.18)

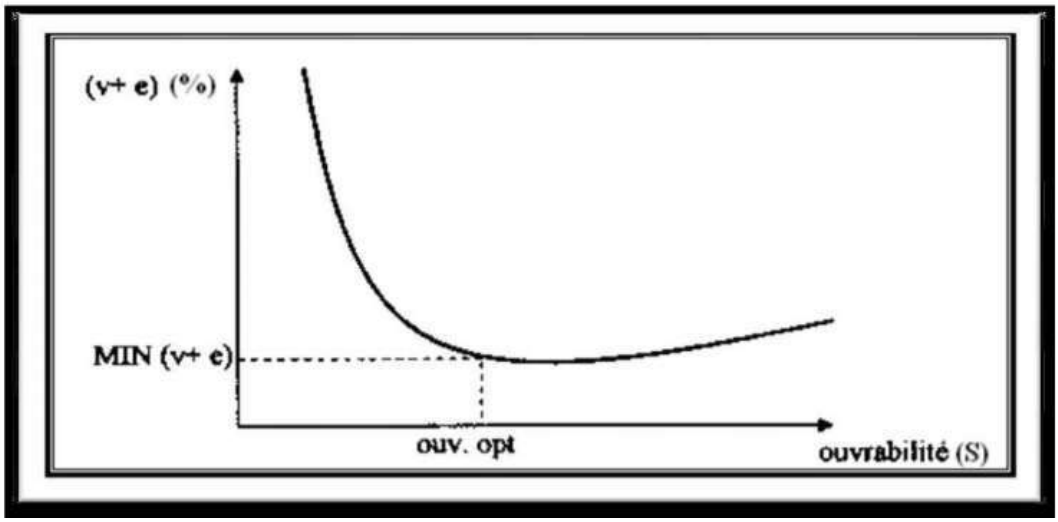


Figure I.20 : Relation entre l'ouvrabilité et le dosage (e + v) d'une matrice pour une mise en œuvre donnée **[26]**

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

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

$$[\text{Vide}] = K\,[\text{eau}] \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (6)$$

Avec :

K : constante comprise entre 0.2 et 0.25.

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 :

$$[\text{Sable}]=1000-[\text{fine}]-[\text{eau}]-[\text{vide}]\ (\text{l/m3})$$

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

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

Dans le cas de bétons formulés avec des fines potentiellement réactives, une généralisation de la formule de FERET **[27]** a été proposée récemment.

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

Kf : coefficient granulaire compris entre 4.5 et 5 ;

Rc : classe vraie du ciment (MPa) ;

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

V : air piégée (l/m3) ;

C : dosage en ciment (kg/m3) ;

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 non pris en compte dans la formule précédente.

Ainsi d'autres paramètres pourraient également jouer un rôle sur l'activité liante des fillers tels que la répartition granulaire, la forme des grains, et leur porosité. L'activité de filler calcaire présente un optimum au-de là duquel la contribution de l'activité de filler ne participe plus aux développements de performances mécaniques. (figI.19)

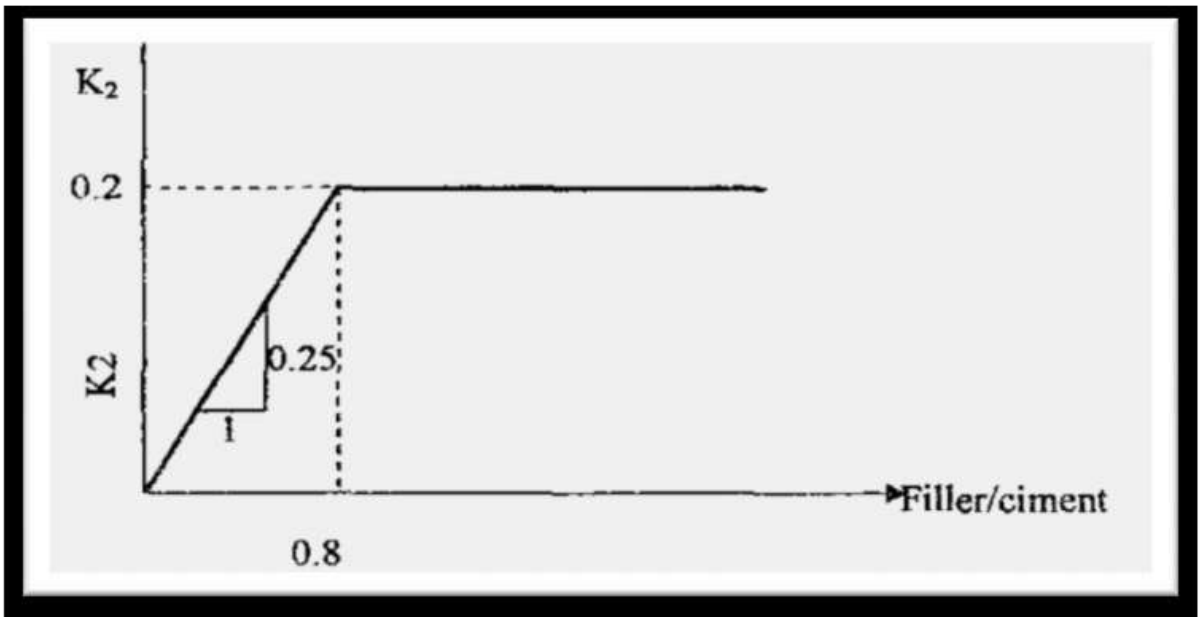


Figure I.21 : Coefficient d'activité du filler calcaire (modèle) **[26].**

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

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

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

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

On peut résumer toutes les étapes de la formulation théorique sous forme d'organigramme comme indique la Figure (I.20).

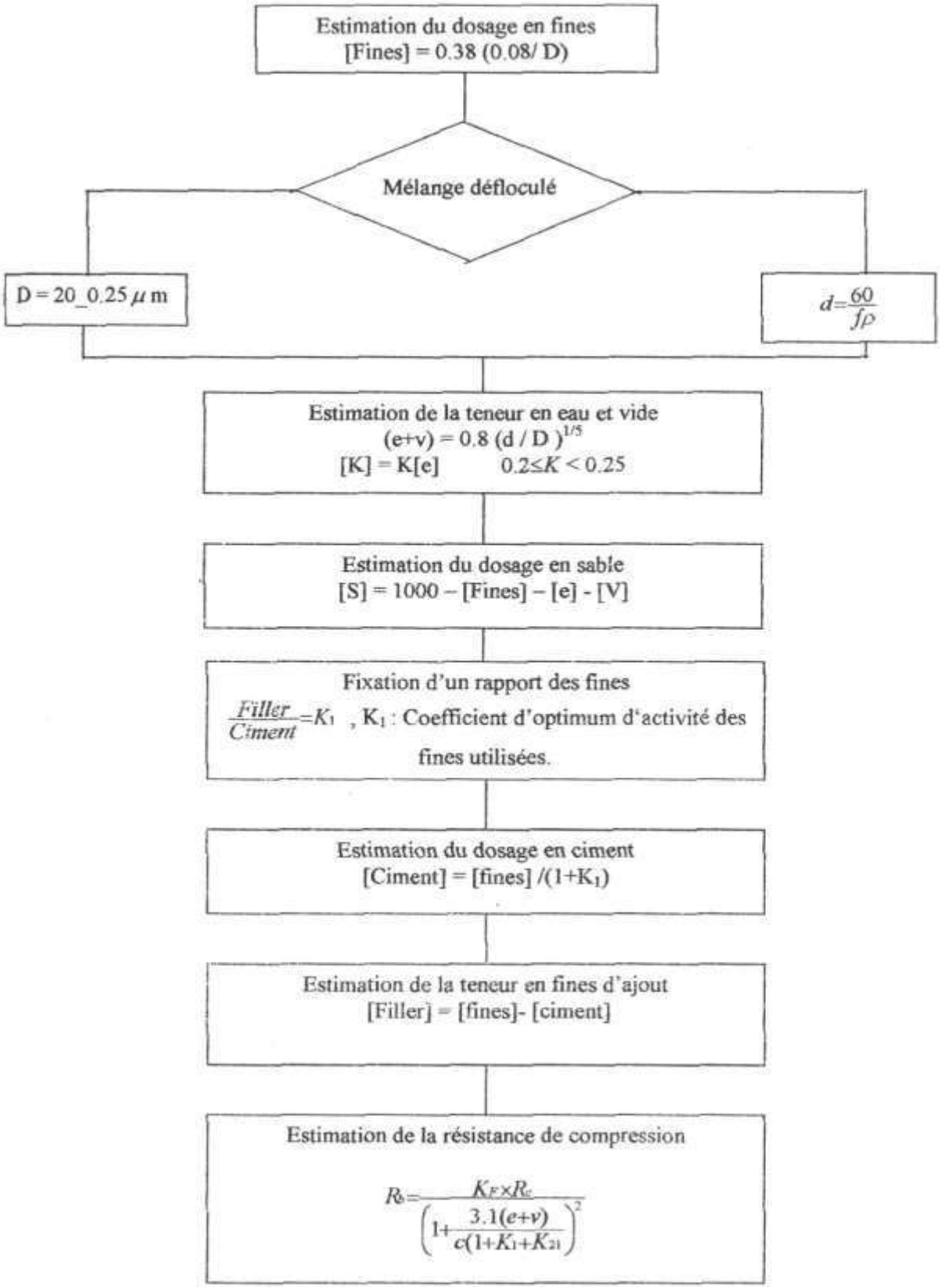


Figure I.22: Organigramme de la méthode théorique **[26]**

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 au maniabilimètre LCPL ; ce béton est composé seulement de ciment, d'eau et de sable.

✓Le dosage en ciment

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

✓Dosage en eau

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

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

α: compris entre 0.1 et 0.15 ;

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

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

✓Détermination du dosage en sable

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

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

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

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

$$Msable = MVA * Vsable \quad (9)$$

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).

$$MVAT = mciment + meau + madj + msable \quad (10)$$

✓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).

$$Si = Si\text{-}1(MVATi\text{-}1 - MVARi\text{-}1) + V * MVAsable. \quad (11)$$

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

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

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.

$$Si = Si\text{-}1\text{-}(MVATi\text{-}1 - MVARi\text{-}1) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (12)$$

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

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

- **Fine d'addition N° 1** : Son utilisation conduit à une maniabilité optimale entre 150 et 180 Kg/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

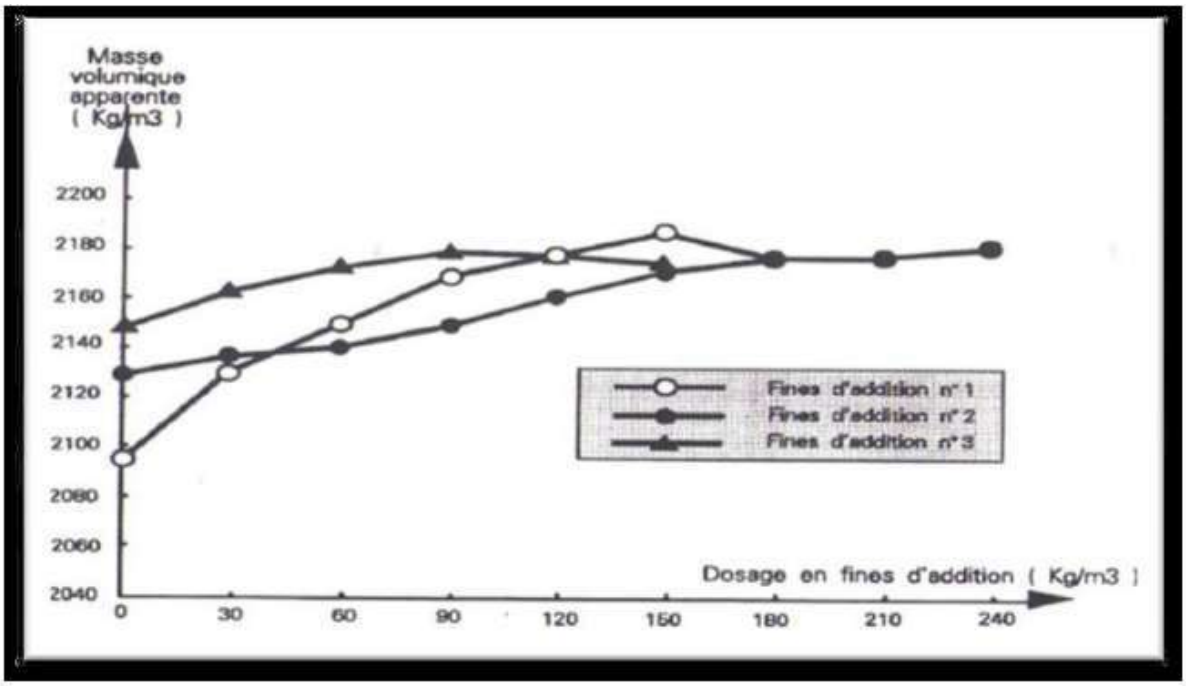


Figure I.23 : masse volumique apparente en fonction du dosage en fines d'addition **[26]**.

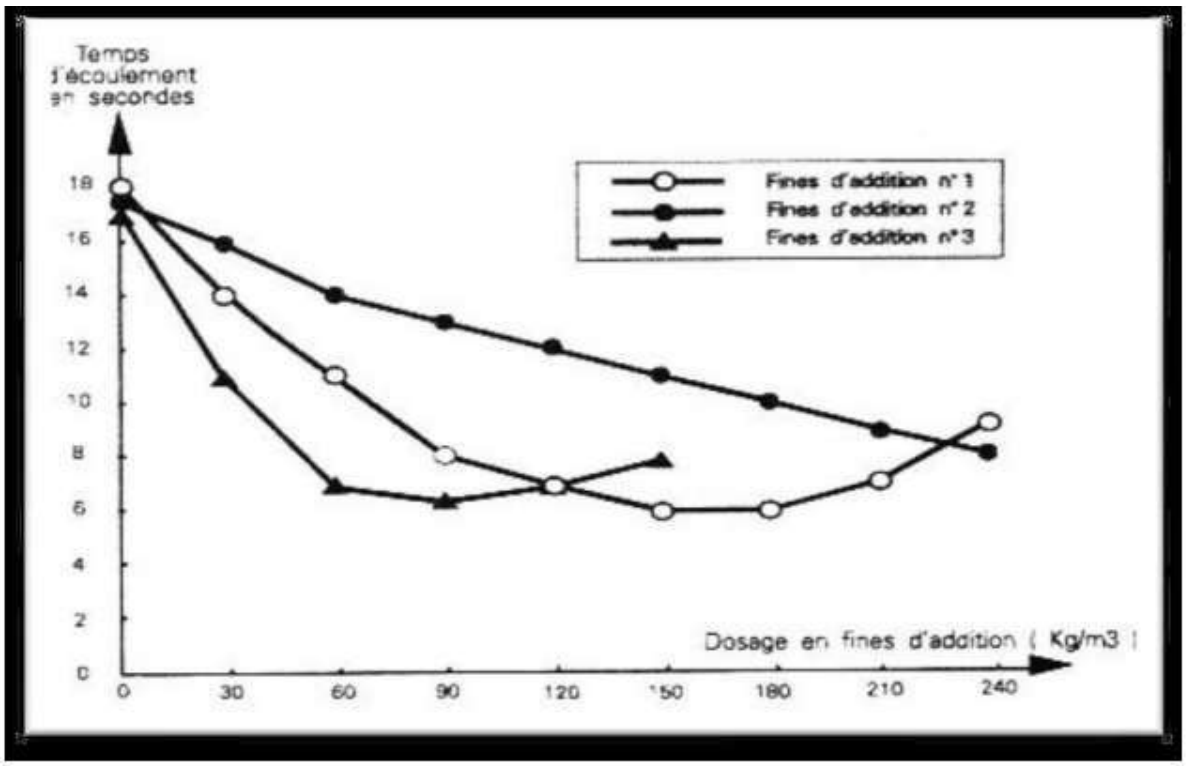


Figure I.24 : Evolution de la maniabilité en fonction du dosage en fines d'addition **[26].**

I.7 Influence de poudre de coquillage sur les propriétés des matériaux cimentaires

Plusieurs études ont été faites sur l'étude de l'effet de l'incorporation des déchets de coquillage sur le comportement des matériaux cimentaire à l'état frais et durci

I.7.1 Etats frais

- **La maniabilité**

Safi et al [30] ont constaté que le remplacement de (0% à100%) du sable naturel par le déchet de coquillage (concassé) influe négativement sur la fluidité du mortier auto plaçant (Fig.20).

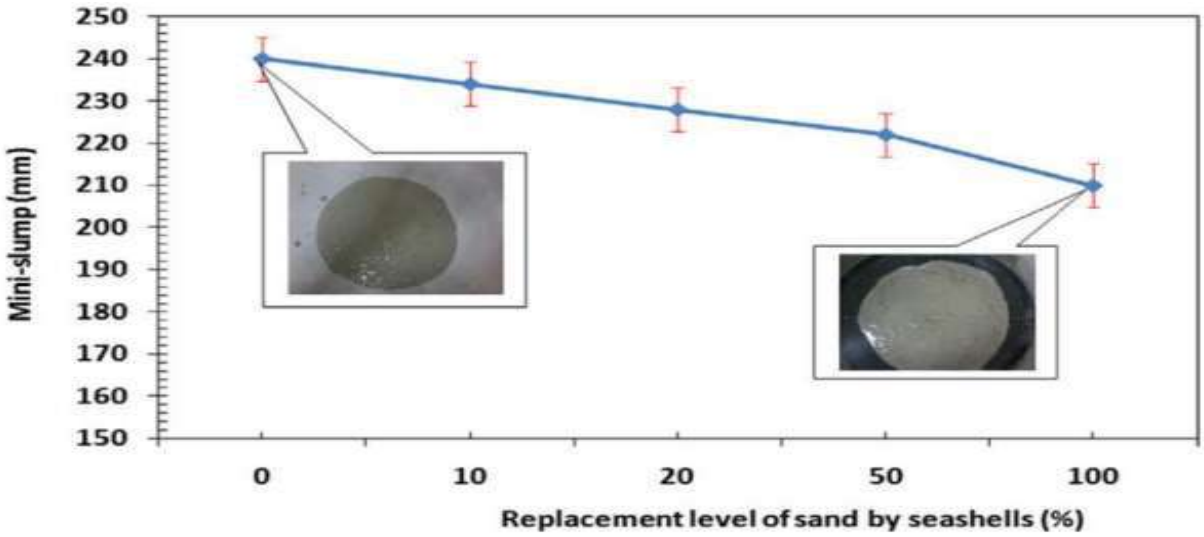


Figure I.25 : Influence de déchets de coquillage sur la fluidité du mortier autoplaçant**[30]**.

- **La densité**

Soltanzadehet al. **[31]** ont étudié l'influence de substituions declinker par le déchet de coquillage sur la densité du ciment. Ils ont trouvé que plus le pourcentage de coquillage augmente plus la densité diminue (**Fig.I.26/a Fig.I.26/b**) .Ce résultat confirme les résultats de Nguyen et al **[32] .**

Safi et al **[30]** ont constaté que la densité demortier autoplaçant est augmenté linéairement en fonction d'augmentation du pourcentage de coquillers .Ils ont expliqué cette augmentation par la densité du coquillage qui 'est plus grande que celle de sable substitute (**Fig I.28) .**

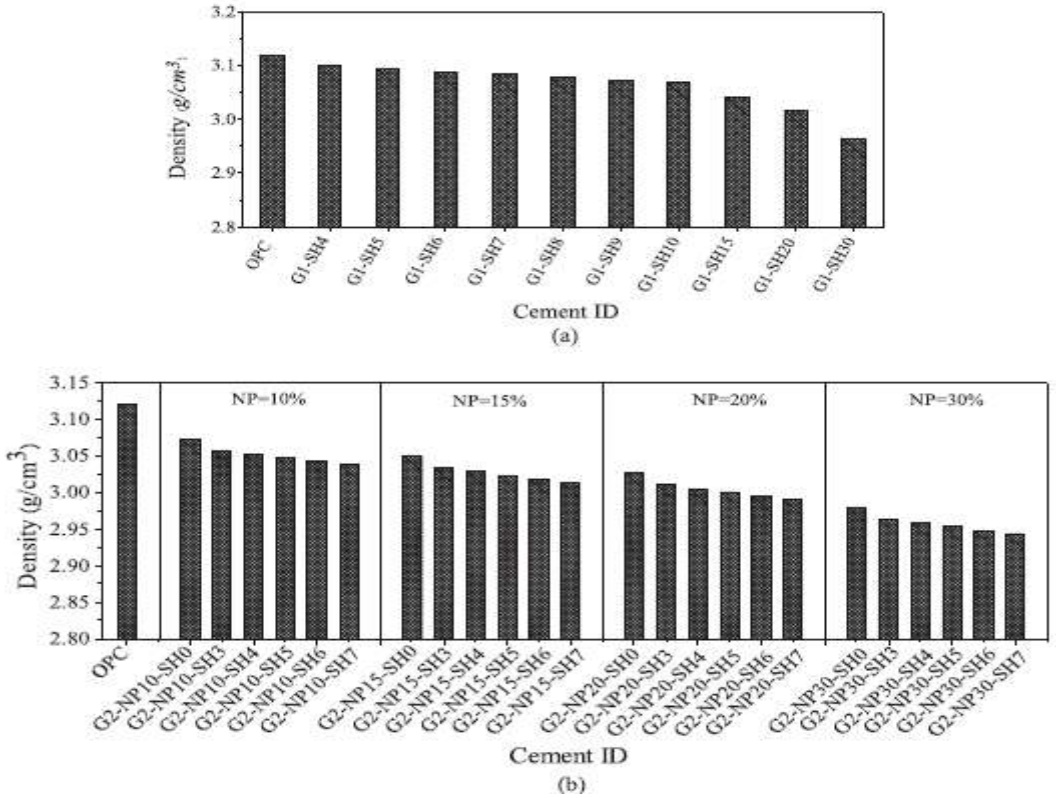


Figure I.26 : Influence de substitution de ciment par le coquillage sur la densité de ciment **[31]**

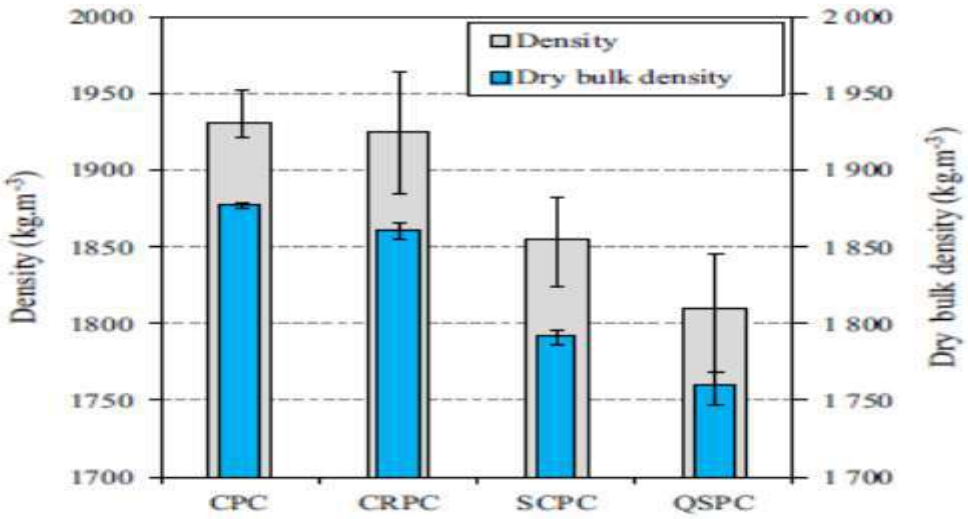


Figure I.27 : Effet de déchets de coquillers sur la densité de béton **[32].**

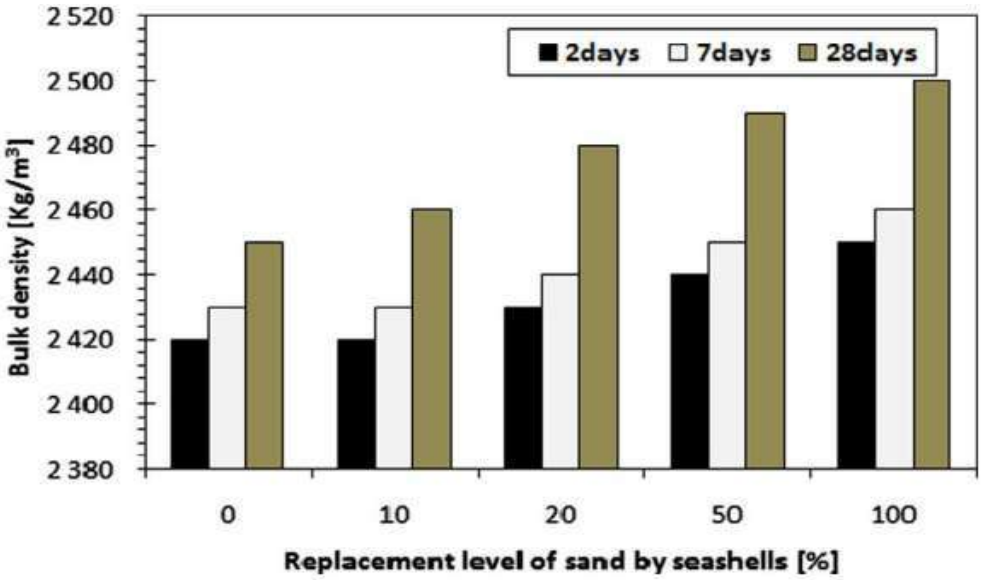


Figure I.28: Influence de substitution de sable par le coquillage sur la densité de MAP **[30]**

I.7.2 Etat durci

➢ La porosité

Nguyen et al **[32]** ont constaté que la porosité du béton ordinaire est augmentée en fonction de substitution de granulat naturel par le déchet de coquillage **(Fig.I.29)**

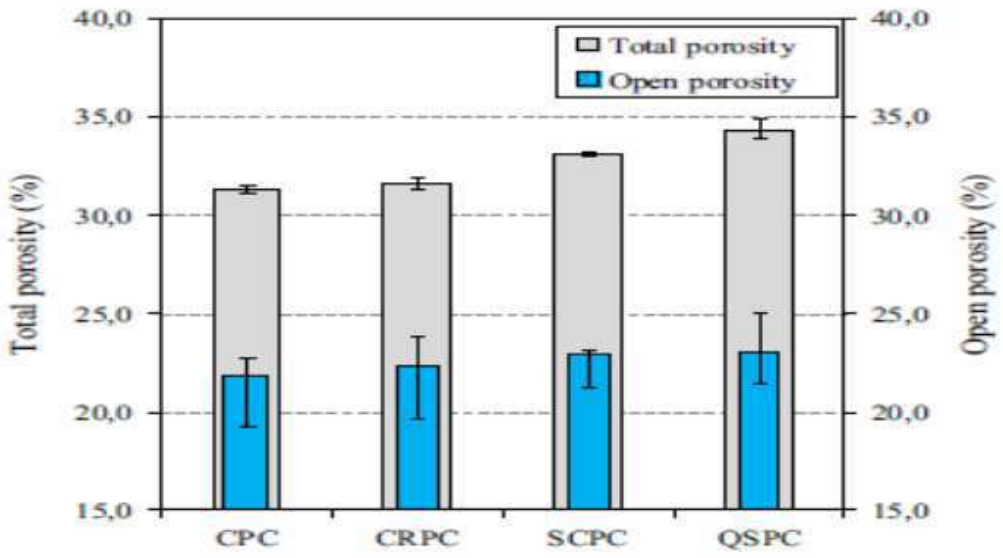


Figure I.29: Effet de sable de coquillage sur la porosité du béton ordinaire **[32]**.

➢ La résistance à la compression et la flexion

Safi et al **[30]** ont trouvé que la résistance à la compression et à a flexion demortier autoplaçant est diminuée légèrement en fonction d'augmentation du pourcentage de coquiller (**FigI.30**)

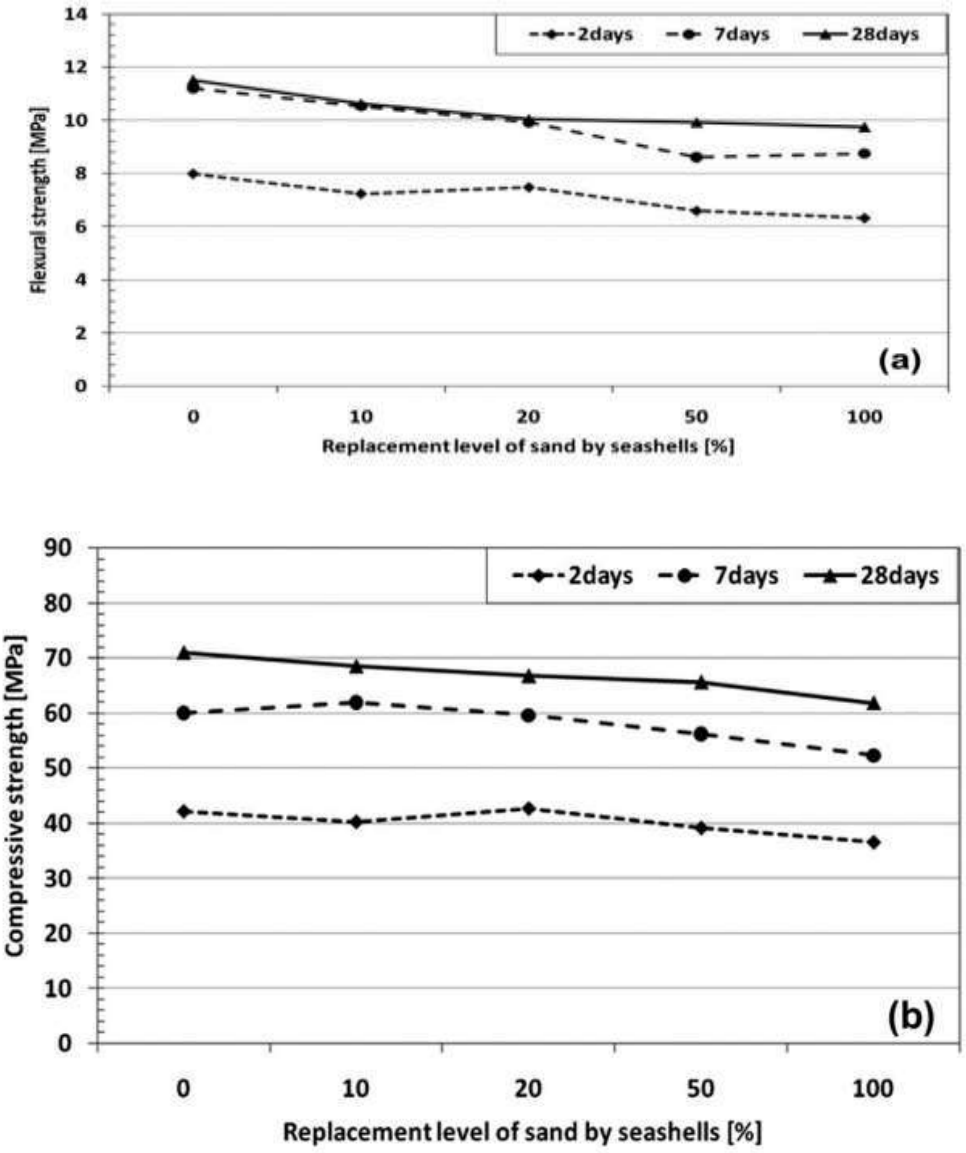


Figure I.30: Influence de substitution de sable par le coquillage sur la Rc et Rt de MAP **[30].**

Nguyen et al **[32]** ont observé que la résistance à la compression du béton ordinaire est diminuée en fonction de substitution de granulat naturel par les déchets de coquillage (**FigI.31**).

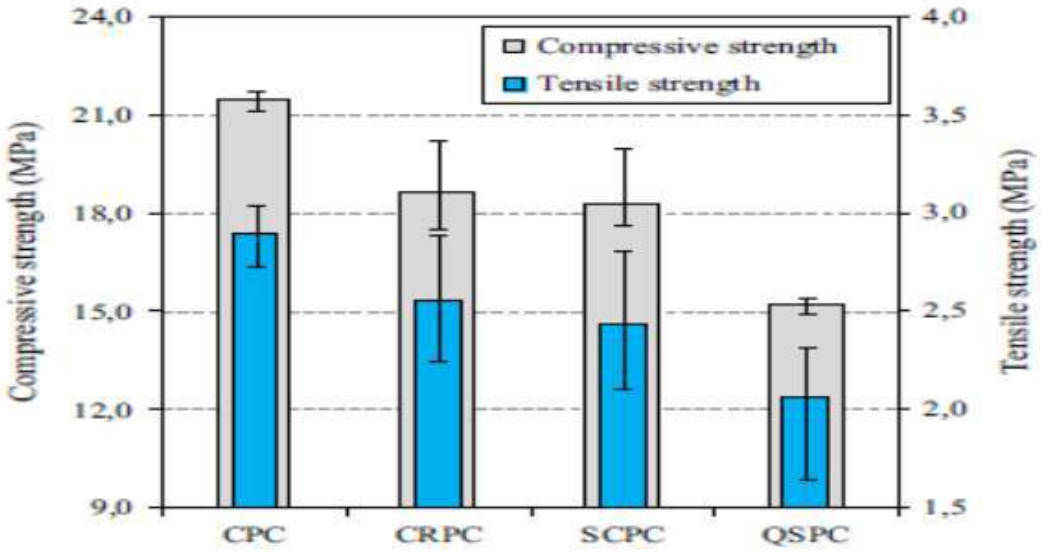


Figure I.31 : Effet de sable de coquillage sur la résistance à la compression du béton ordinaire **[32]**

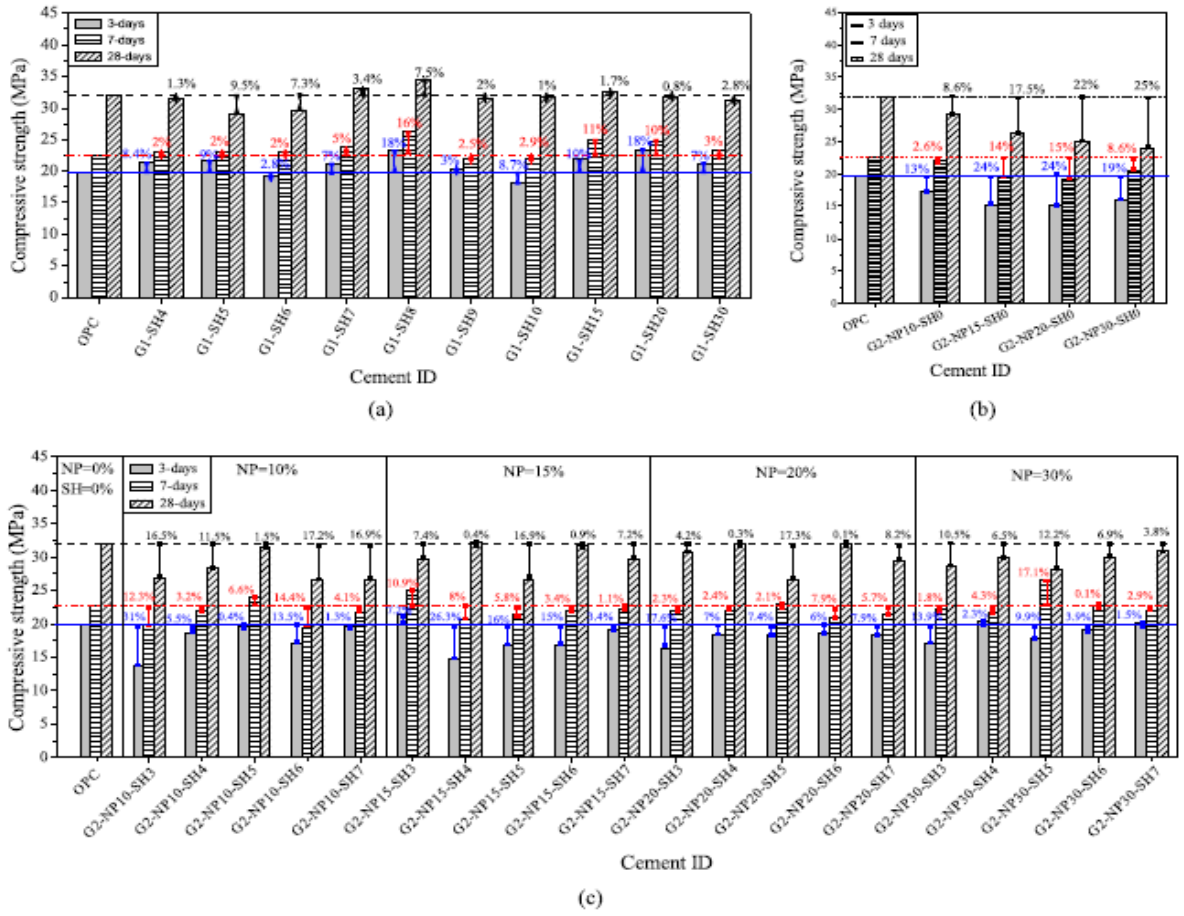


Figure I.32 : Influence de substitution de ciment par le coquillage sur la Rc de ciment **[31]**.

Soltanzadehet al. **[31]** ont étudié l'influence de substituions declinker par le déchet de coquillage sur la résistance mécanique du ciment. Ils ont trouvé une amélioration de larésistance mécanique en fonction d'augmentation de déchets de coquillers (**Fig.I.32/a FigI.32/b**)

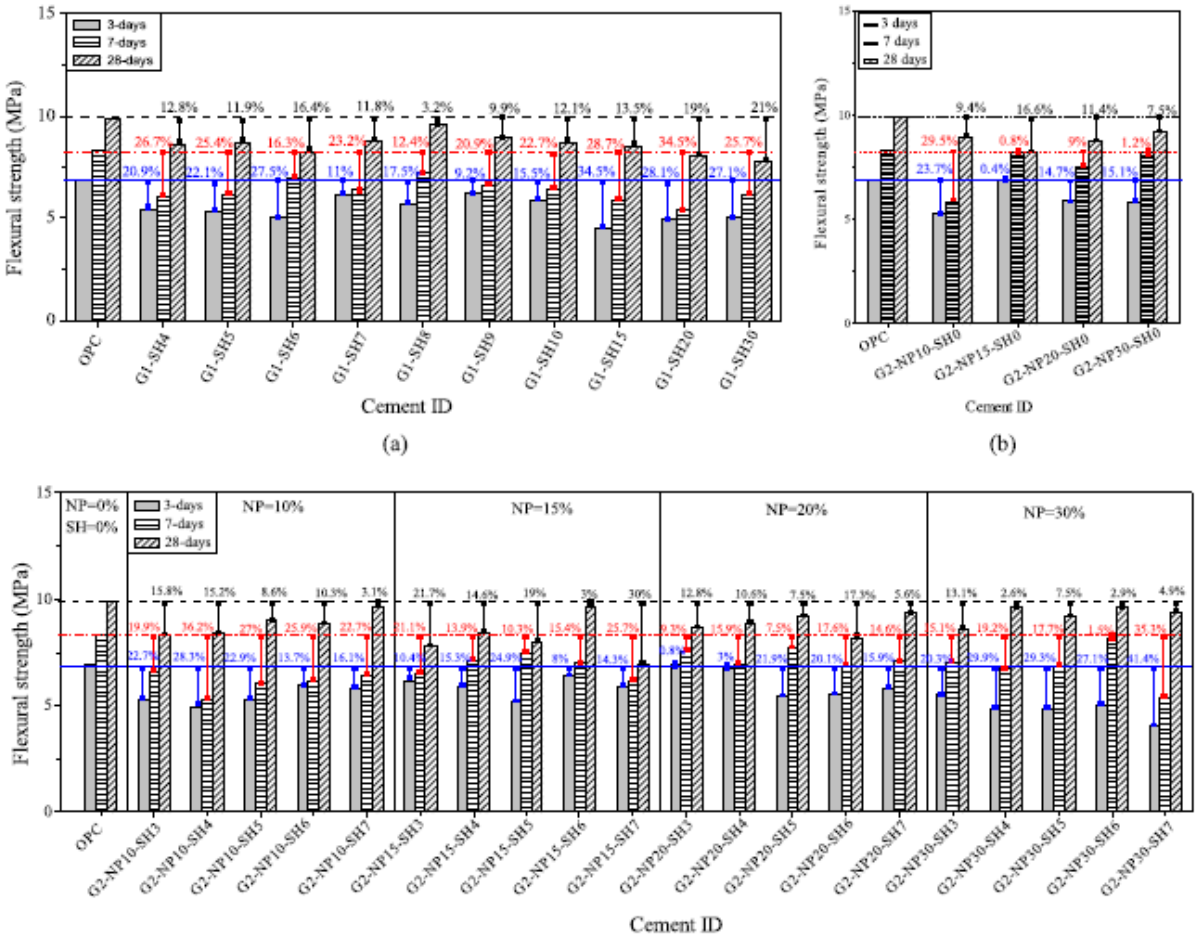


Figure I.33 : Influence de substitution de ciment par le coquillage sur la Rt de ciment **[31]**

➢ Le module d'élasticité

Comme les résistances mécanique Safi et al **[20]** ont constaté que le module d'élasticité de mortier autoplaçant est diminuélégèrement en fonction d'augmentation du pourcentage de coquillers (**Fig I.34**)

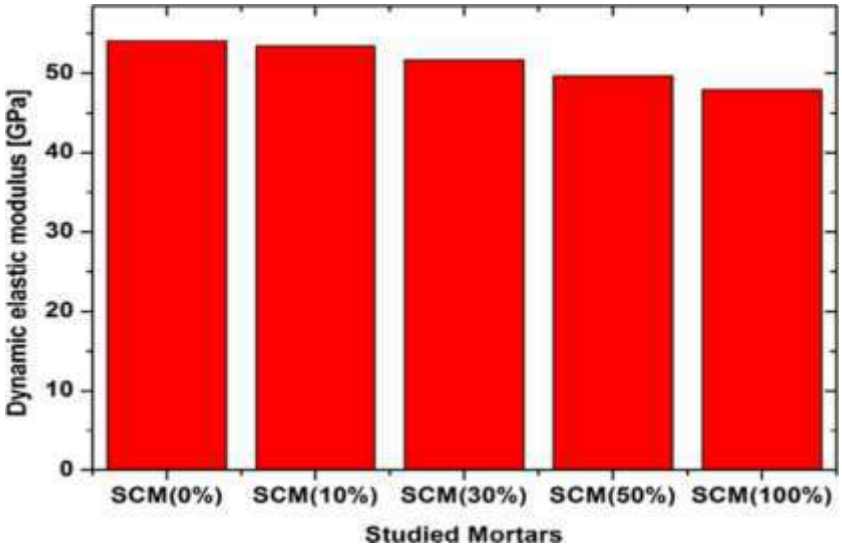


Figure I.34 : Influence de substitution de sable par le coquillage sur le module d'élasticité de MAP **[30].**

I.8 Influence des déchets céramiques rouge sur les propriétés des matériaux cimentaires

Plusieurs études ont été faites sur l'étude de l'effet de l'incorporation des déchets céramique (dalle de sol, faïence, brique……) sur le comportement des matériaux cimentaire à l'état frais et durci **[33]**

I.8.1. Etats frais

- **La maniabilité**

Abadou et al **[34]** ont constaté que le remplacement de (0%, 10%, 20%, 30%, 40% et 50%)du sable naturel par les déchets de céramique rouge (Faïence et dalle de sol) influe négativement sur la maniabilité du mortier de ciment (Fig.20).Ce résultat confirme les résultat de plusieurs autres chercheurs **[33–35,36] .**

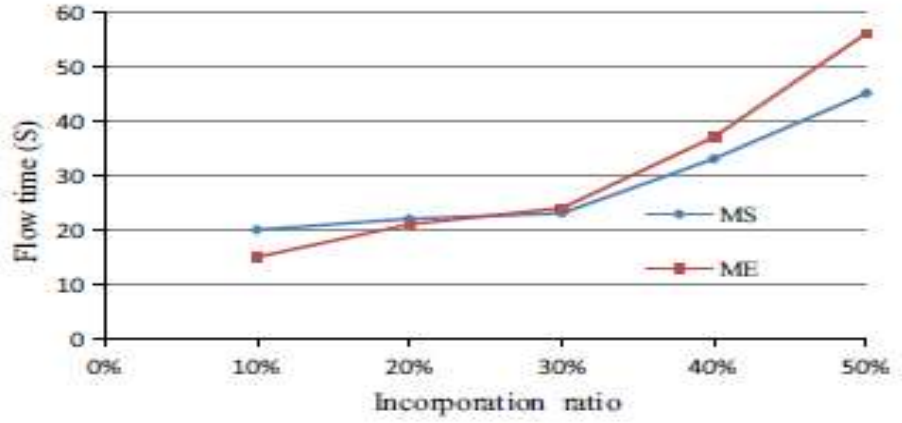


Figure I.35 :L'effet de déchets céramique rouge sur la fluidité des mortiers **[34]**

➢La densité

Alves et al. **[36]** ont étudié l'influence de substituions de (0%, 20%, 40% ,60%,80 et 100%) du sable par le déchet de céramique (Brique et sanitaire). Ils ont trouvé que plus le pourcentage de déchets de céramique augmente plus la densité diminue.

Plusieurs auteurs **[38,37,39]** ont aussi constaté que la densité du béton est diminue linéairement en fonction d'augmentation du pourcentage de déchets céramique .Ils ont expliqué cette diminution par la densité du céramique qui 'st plus faible que celle du sable substitue .

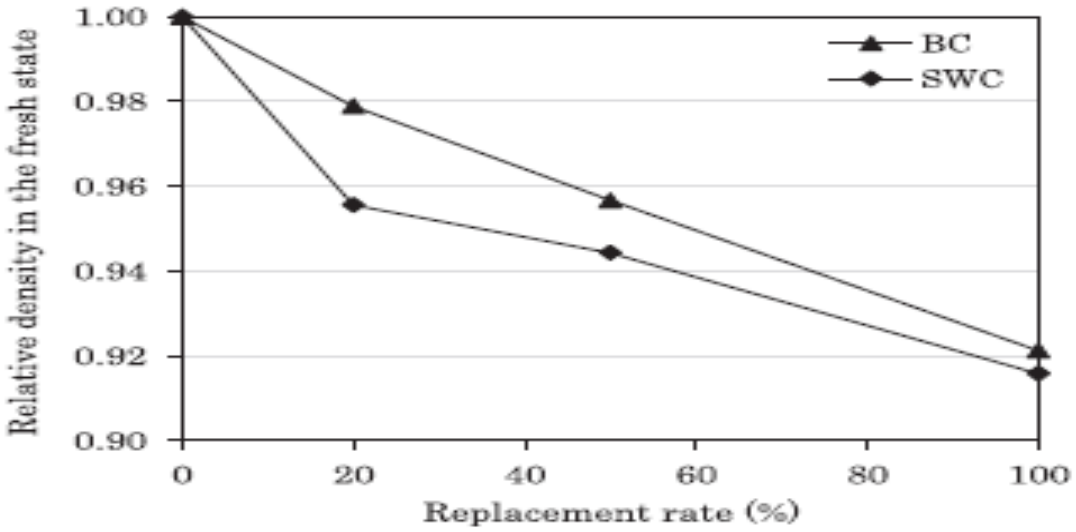


Figure I.36 : L'effet de déchets céramique sur la densité de béton **[36]**

I.8.2 Etats durci

➢La résistance à la Compression

Abadou et al **[34]** ont étudié l'effet de remplacement de (0%, 10%, 20%, 30%, 40% et 50%) du sable naturel par les déchets de céramique rouge (Faïence et dalle de sol) sur la résistance à la compression du mortier du ciment .Ils ont trouvés que tous les mortiers à base de déchets céramique ont une résistance mécanique plus importante que celle du mortier de référence. Ce résultat confirme les résultats de plusieurs autres chercheurs [33–35,36] ,Pitarch et al **[44]** ont trouvé que la résistance à la compression du béton est augmentée d'environ 19% en fonction de substitution du 20% granulats naturel par des déchets céramique (Dale de sol)

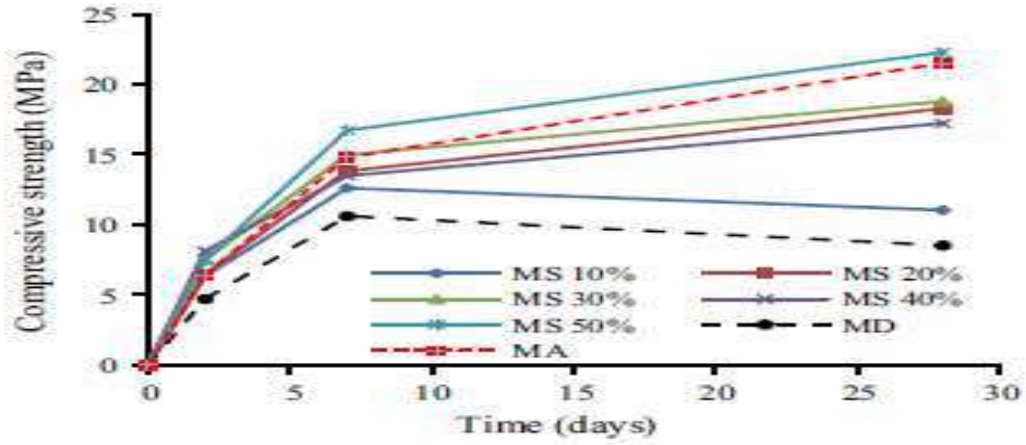


Figure I.37:L'effet de déchets céramique rouge sur la fluidité des mortiers **[34]**

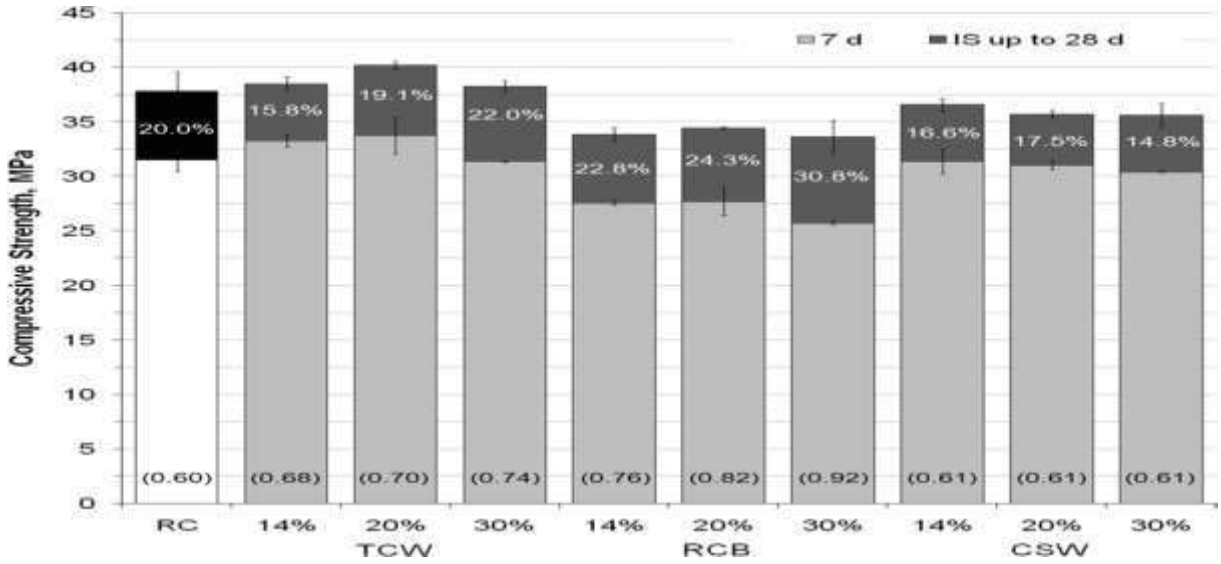


Figure I.38 :L'effet de déchets céramique rouge sur la Rc du béton **[40]**

➢La résistance à la flexion

Bommisetty et al.**[41]** ont constaté que la résistance à la flexion est augmenté en fonction de substitution de 5%,10%,15% ,20% et25% du granulats naturel par des déchets de céramique et passe par un optimum de 20% .

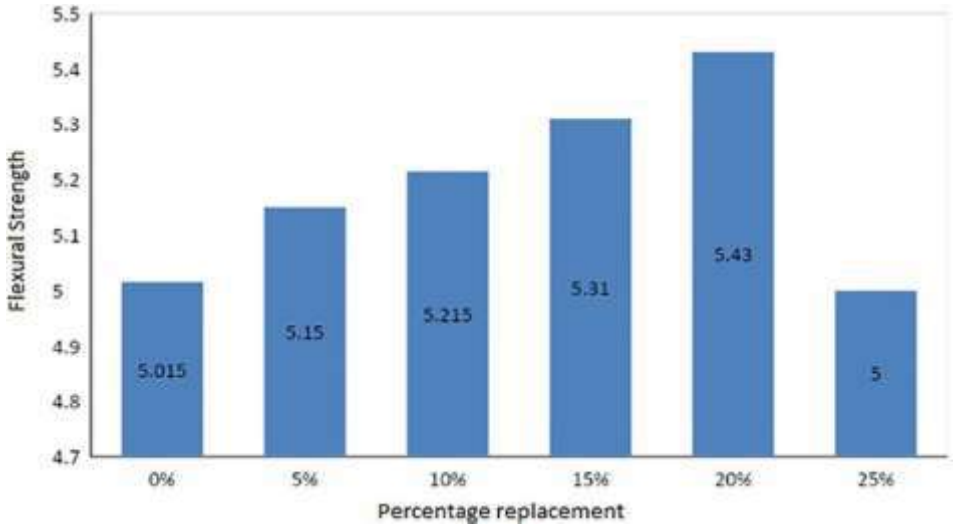


Figure I.39 :L'effet de déchets céramique rouge sur la Rt du béton **[42]**

➢Module d'élasticité

Abadou et al **[34]** ont trouvé que le module d'élasticité des mortiers de ciment fabriqué à partir des déchets céramique ont plus important que le module d'élasticité du mortier ordinaire. Ce résultat confirme les résultats de plusieurs autres chercheurs **[41,43]**

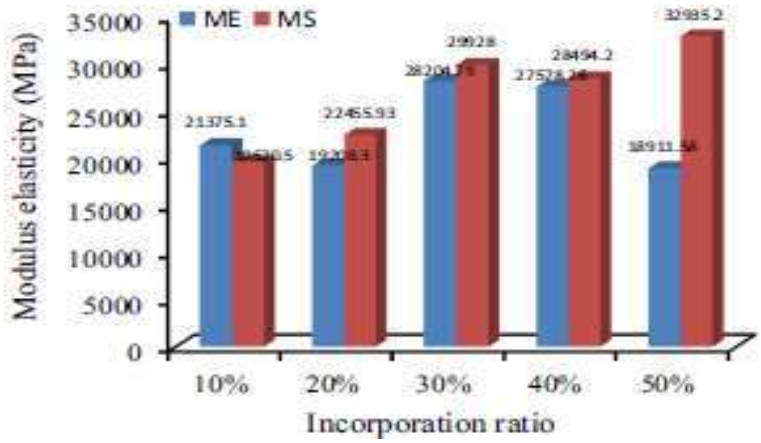
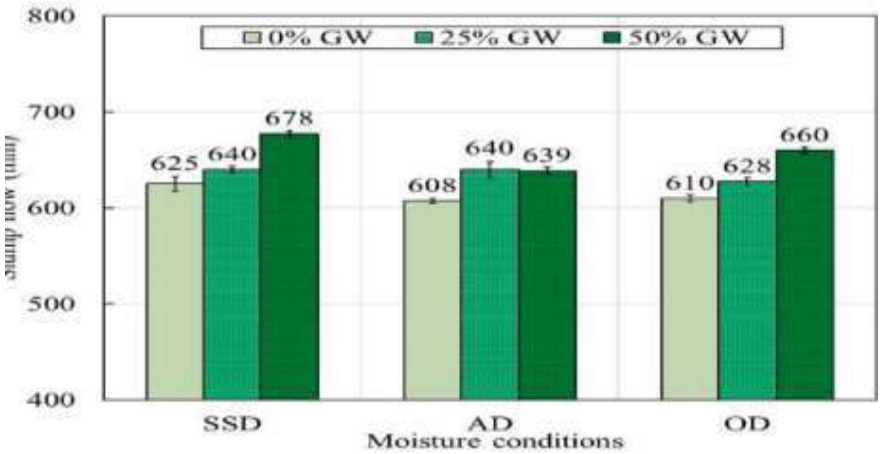


Figure I. 40:L'effet de déchets céramique rouge sur le module d'élasticité du mortier **[33]**

I.9 Influence des déchets granite sur les propriétés des matériaux cimentaires

I.9.1. Etat frais

- **Maniabilité**



FigureI.41 : La maniabilité de béton à base de déchets de granite **[45]**

Peem Nuaklong et al **[45]** Ont étudier l'effet de déchet de granite sur la maniabilité de béton , Ils ont constaté que plus le pourcentage de déchets de granite augmente plus la maniabilité est augmente (**Figure I.41**).

I.9.2. Etat durci

- **La résistance à la compression**

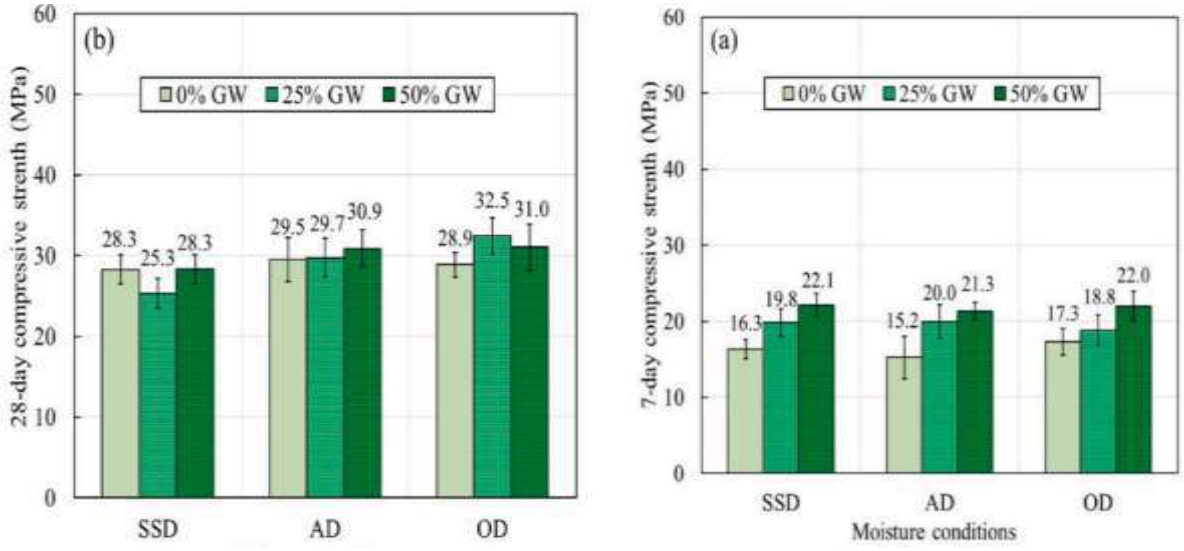


Figure I.42 : La résistance à la compression de béton à base de déchets de granite avec (a) 7 jours, (b) 28 jours **[45]**

La figure **I.42** présente les résultats des tests de résistance à la compression pour divers mélanges de béton géopolymère. La résistance à la compression sur 7 jours variait entre 15,2 et 22,1 MPa. Les résultats présentés à la figure **I.42** ont indiqué que la force du jeune âge augmentait avec l'augmentation de la teneur en déchets de granit. Le béton géopolymère avec les déchets de granit dans une proportion de 50% des granulats fins avaient la compression de 7 jours résistance d'environ 27 à 40 % supérieure à celle du béton de sable naturel. Cela peut être attribué à l'amélioration du lien physique entre les pâte de géopolymère et les particules de granit de forme angulaire.

I.10 Conclusion

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

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

Chapitre II

Matériaux et Essais



II.1 Introduction

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

- **Sur béton frais**

- Etalement - Temps d'écoulement - Densité

- **Sur béton durci**

- La résistance a la compression - La résistance a la traction

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 jours est de 42,5 MPa, produit par la cimenterie de LAFARGE dont l'ajout est le calcaire qui est conforme à la norme [NA442**][30].**Le tableau II.1 résume l'Analyse chimique du ciment et composition hypothétique du clinker, selon la fiche technique < annexe A>du ciment .

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



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

II.2.2 Granulats

II.2.2.1 Sable

Nous avons utilisé un sable de (Oued sauf) et leurs caractéristiques sont représentées dans le tableau II.2 .et la figure II.3 représente la courbe granulométrique de sable utilisés.



Figure II.2: Sable moyenne d'Oued sauf

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

Caractéristiques	Sable
Provenance	Oued sauf
Classe granulaire	0/3
Module de finesse	1.9
Masse volumique absolue (g/cm^3)	2.63
Masse volumique apparent (g/cm3)	1.18
Equivalent de sable (%)	94
Taux d'absorption d'eau (%)	0.86
Compacité (%)	50
Porosité (%)	50

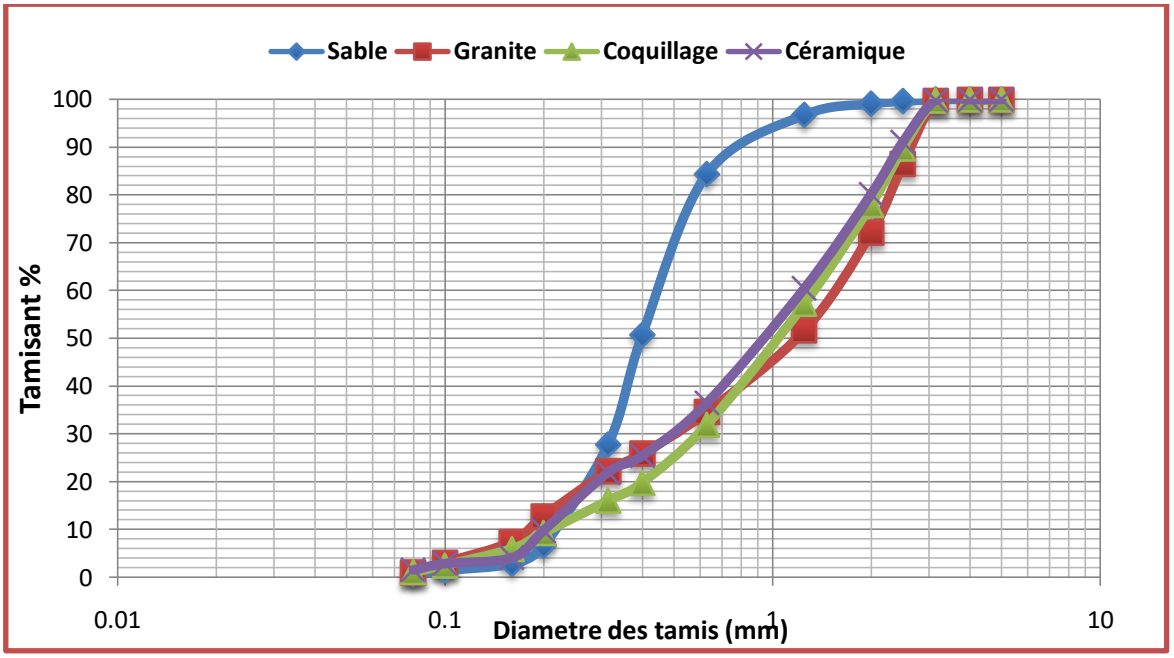


Figure II.3 : Courbe granulométrique des sables utilisées

II.2.2.2 Déchets de granite

Les déchets de granite utilisée au cour 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.3** et le tableau **II.4** .

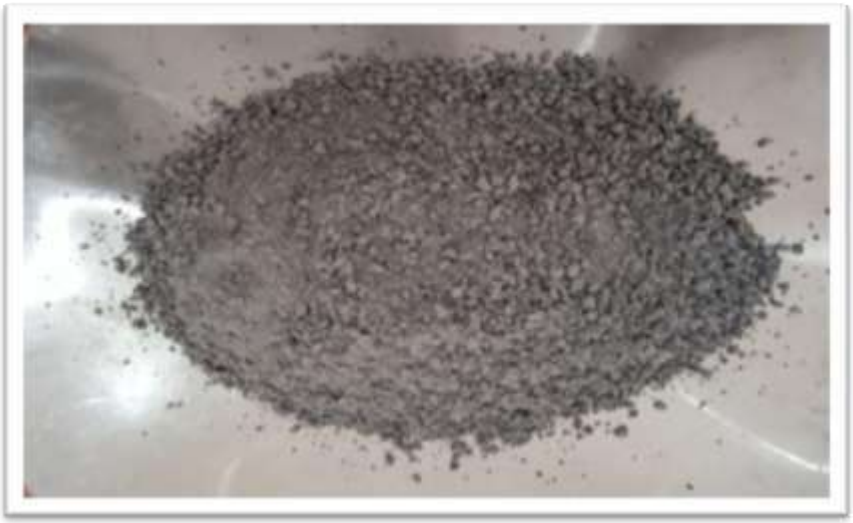


Figure II.4 : Déchets de granite

II.2.2.2.a caractérisation des déchets de granite

Le SGR sont caractérisé suivant les normes en vigueurs, voire les procédures des essais qu'on a réalisées sur ce sable, les résultats sont représentés dans le tableau II.3 .

Tableau II.3: Propriétés physiques de SGR

Caractéristique	
Classe granulaire	0/3
Module de finesse	2.9
Masse volumique absolue (g/cm^3)	2.51
Masse volumique apparent (g/cm3)	1.18
Equivalent de sable (%)	94
Taux d'absorption d'eau (%)	0.86
Compacité (%)	47.01
Porosité (%)	52.99

II.2.2.3 Déchets de céramique

Les déchets de céramique utilisée au cour de ce travail est provient de l'usine de l'industrie de céramique , après avoir récupérée les déchets de céramique 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 céramique utilisé dans ce travail sont représente dans la figure **II.3** et le tableau **II.4 .**



Figure II.5 : Déchets de céramique sous forme sable 0/3

II.2.2.3 .a Recyclage des déchets de céramique (SCR)

Notre travail consiste deux méthodes pour le recyclage des déchets de céramique qui sont Résumés comme suit :

- Concassage par un concasseur à mâchoires de laboratoire.
- Concassage par la machine de Los Angeles de laboratoire.

II.2.2.3.b Sable de céramique recyclé (SCR)

Les déchets une fois réceptionnés, ils ont fait l'objet d'un concassage par un concasseur à mâchoires de laboratoire (figure II.6) qui nous a permet d'obtenir un matériau dont les grains sont de dimensions 0/3 mm .La figure II.6montre les étapes précédentes :



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

II.2.2.3.c caractéristiques de SCR

Le SCR est caractérisé suivant les normes en vigueurs, voire les procédures des essais qu'on a réalisées sur ce sable, les résultats sont représentés dans le tableau II.4.

Tableau II.4 : Propriétés physiques de SCR

Caractéristique	
Classe granulaire	0/3
Module de finesse	2.8
Masse volumique absolue (g/cm^3)	2.5
Masse volumique apparent (g/cm3)	1.18
Equivalent de sable (%)	94
Taux d'absorption d'eau (%)	0.86
Compacité %	47.20
Porosité %	52.80

II.2.2.4 Déchet de coquillages

Les déchets de coquillages utilisée au cour de ce travail est provient de les plages après avoir récupérée les déchets de coquillages 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 coquillages utilisé dans ce travail sont représente dans la figure **II.3** et le tableau **II.5 .**



Figure II.7 : Déchets de coquillage sous forme sable 0/3

II.2.2.4 .a Recyclage des déchets de coquillages (SCQR)

Nous avons ramenés au laboratoire 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.

Les déchets une fois réceptionnés, ils ont fait l'objet d'un concassage par un concasseur à mâchoires de laboratoire (figure II.8) qui nous a permet d'obtenir un matériau dont les grains sont de dimensions 0/5 mm .La figure II.8montre les étapes précédentes :



Figure II.8: Protocole de concassage des déchets de coquillage sous forme sable 0/3

II.2.2.4.b caractéristiques de SCQR (Sable de coquillages recyclé)

Le SCR est caractérisé suivant les normes en vigueurs, voire les procédures des essais qu'on a réalisées sur ce sable, les résultats sont représentés dans le tableau II.5. Et la figure II.3 représente la courbe granulométrique de sable de céramique utilisée.

Tableau II. 5: Propriétés physiques de SCQR

Caractéristique	
Classe granulaire	0/3
Module de finesse	2.9
Masse volumique absolue (g/cm^3)	2.82
Masse volumique apparent (g/cm3)	1.18
Equivalent de sable (%)	94
Taux d'absorption d'eau (%)	0.86
Compacité (%)	43.23
Porosité (%)	56.77

II.2.3 Eau de gâchage

L'eau de gâchage utilisée pour la confection des bétons est celle du robinet considérée Comme potable, exempte de toute impureté nuisible au béton et conforme à la norme NF EN - 1008 **[31].** Sa température est comprise entre 18 et 20°C.

II.2.4 Super plastifiant

Pour assurer une ouvrabilité satisfaisante, on a employé un Super plastifiant – Haut réducteur d'eau à base de poly carboxylate d'éther formulé à base de polymère de synthèse combinée commercialisé par la société GRANITEXE, sous le nom « MEDAFLOW 30» .Voir la fiche technique en < annexe B> pour avoir plus de détaille sur ce adjuvant.



Figure II.9 : MEDAFLOW 30

Tableau II.6 : Propriétés physiques de MEDAFLOW 30

Aspect	Liquide
Couleur	Brun clair
PH	6 – 6.5
Densité	1.07 ± 0.01
Teneur en chlore	< 0.1 g/L
Extrait sec	30%

II.2.5 Filler de marbre blanche

Les filler utilisées au cours de ce travail sont obtenues par broyage des déchets de concassage de déchets de marbre. 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.7**



Figure II.10: poudre de marbre

Tableau II.7 : Propriétés physiques de filler de marbre blanche

Caractéristique	
Finesse (g/cm^2)	3200
Masse volumique absolue (g/cm^3)	2.73
Masse volumique apparent (g/cm^3)	1.08
Taux d'absorption d'eau (%)	0.12
Compacité %	39.6
Porosité %	60.4

II.3 Formulation du béton

La formulation du béton de sable fluide pour la confection des éprouvettes est basée sur la méthode théorique SABLOCRETE 1994. **[30]**

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 de l'ajout des déchets de céramique ,granite et de coquillages issues sous formes sable (SR) sur les caractéristiques à l'état frais et durci d'un béton de sable fluide (BSF).

Le tableau II.8 représentées les différentes compositions sable, ciment, filer, eau et adjuvant de la formulation pour un volume de 1 l **.**

Tableau II.8 : composition des bétons formulés

Composition **Nomination**	**Ciment (g)**	**Sable (g)**	**Eau (g)**	**Filler (g)**	**Adj**		**DSCR**		**DSGR**		**DSCQR**	
					%	**(g)**	**%**	**(g)**	**%**	**(g)**	**%**	**(g)**
BSFT	400	1400	265	200	1	6	**0**	0	**0**	0	**0**	0
BSF1	400	1190	265	200	0.7	4.2	**5**	66.5	**5**	66.8	**5**	75.3
BSF2	400	980	265	200	0.8	4.8	**10**	133.1	**10**	133.6	**10**	150.6
BSF3	400	770	265	200	0.37	2.2	**15**	199.6	**15**	200.4	**15**	225.9
BSF4	400	560	265	200	0.7	4.2	**20**	266.2	**20**	267.2	**20**	301.3
BSF5	400	350	265	200	0.6	3.6	**25**	332.7	**25**	334	**25**	376.6
BSF6	400	140	265	200	0.7	4.2	**30**	392.2	**30**	400.8	**30**	451.9
BSF7	400	560	265	200	0.65	3.9	**10**	133.8	**40**	534.5	**10**	150.54
BSF8	400	560	265	200	0.7	4.2	**40**	532.32	**10**	133.62	**10**	150.54
BSF9	400	560	265	200	0.65	3.9	**10**	133.08	**10**	133.62	**40**	602.16
BSF10	400	280	265	200	0.7	4.2	**10**	133.08	**60**	801.67	**10**	150.54
BSF11	400	280	265	200	0.7	4.2	**60**	798.5	**10**	133.62	**10**	150.54
BSF12	400	280	265	200	0.65	3.9	**10**	133.08	**10**	133.62	**60**	903.24
BSF13	400	280	265	200	0.65	3.9	**20**	266.16	**40**	534.5	**20**	301.08
BSF14	400	280	265	200	0.75	4.5	**40**	532.32	**20**	267.23	**20**	301.08
BSF15	400	280	265	200	0.65	3.9	**20**	266.16	**20**	267.23	**40**	602.16
BSF16	400	0	265	200	0.65	3.9	**20**	266.16	**60**	801.63	**20**	301.08
BSF17	400	0	265	200	0.8	4.8	**60**	798.5	**20**	267.23	**20**	301.08
BSF18	400	0	265	200	0.6	3.6	**20**	266.16	**20**	267.23	**60**	903.24

Avec :

DCR : Déchet de céramique recyclé sous forme sable

DGR : Déchet de granite recyclé sous forme sable

DCQR : Déchet coquillage recyclésous forme sable

BSFT : Béton de sable fluide témoin.

BSF_1 : Béton de sable fluide à base de 5%déchet de coquillage + 5% déchet de céramique + 5% déchet de granite .

BSF_2 : Béton de sable fluide à base de 10%déchet de coquillage + 10% déchet de céramique + 10% déchet de granite .

BSF_3 : Béton de sable fluide à base de 15%déchet de coquillage + 15% déchet de céramique +15% déchet de granite .

BSF_4 : Béton de sable fluide à base de 20%déchet de coquillage + 20% déchet de céramique + 20% déchet de granite .

BSF_5: Béton de sable fluide à base de 25%déchet de coquillage + 25% déchet de céramique + 25% déchet de granite .

BSF_6:Béton de sable fluide à base de 30%déchet de coquillage + 30% déchet de céramique + 30% déchet de granite .

BSF_7 : Béton de sable fluide à base de 10%déchet de coquillage + 10% déchet de céramique + 40% déchet de granite .

BSF_8 : Béton de sable fluide à base de 10%déchet de coquillage + 40% déchet de céramique + 10% déchet de granite .

BSF_9 : Béton de sable fluide à base de 40%déchet de coquillage + 10% déchet de céramique + 10% déchet de granite .

BSF_{10} : Béton de sable fluide à base de 10%déchet de coquillage + 10% déchet de céramique + 60% déchet de granite .

BSF_{11} : Béton de sable fluide à base de 10%déchet de coquillage + 60% déchet de céramique + 10% déchet de granite .

BSF_{12} : Béton de sable fluide à base de 60%déchet de coquillage + 10% déchet de céramique +10% déchet de granite .

BSF_{13} :Béton de sable fluide à base de 20%déchet de coquillage + 20% déchet de céramique + 40% déchet de granite .

BSF_{14} : Béton de sable fluide à base de 20%déchet de coquillage + 40% déchet de céramique + 20% déchet de granite .

BSF_{15}: Béton de sable fluide à base de 40%déchet de coquillage + 20% déchet de céramique + 20% déchet de granite .

BSF_{16}: Béton de sable fluide à base de 20%déchet de coquillage + 20% déchet de céramique + 60% déchet de granite .

BSF_{17}:Béton de sable fluide à base de 20 %déchet de coquillage + 60% déchet de céramique + 20% déchet de granite .

BSF_{18}:Béton de sable fluide à base de 60 %déchet de coquillage + 20% déchet de céramique + 20% déchet de granite .

II.4 Séquence 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 performant 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 suivent plusieurs séquences.

Pour notre cas, la séquence suivie est celle décrite dans figure (II.11) ; 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 3 minute.
- Puis lancer vitesse rapide pendant 1 minute et 30 sec.

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

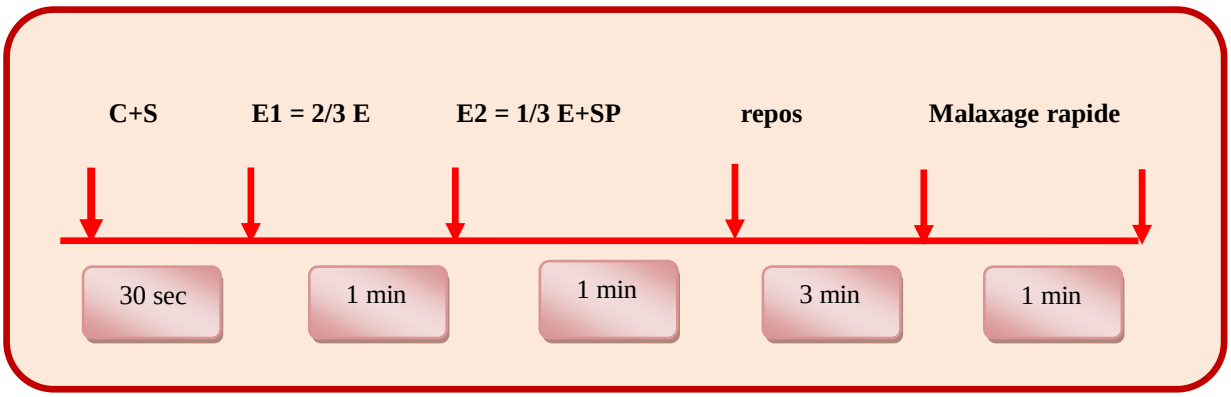


Figure II.11 : Séquence de malaxage du béton de sable fluide



Figure II.12 procédure de malaxage au laboratoire

II.5 Les essais sur le 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 directions perpendiculaire, la moyenne est retenu. La figure II.13 montre les étapes de l'essai d'étalement.



Figure II.13 : Développement de l'essai d'étalement

c. Densité

La densité des mélanges a été calculée en fonction de l'échantillon introduit dans le moule de volume (V= 1 L) est déterminée suivant la norme NF P 18-440. La figure II.14 montre les étapes de l'essai.



Figure II.14 : 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.15: 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]]**[32]** 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.16 montre les étapes de l'essai.

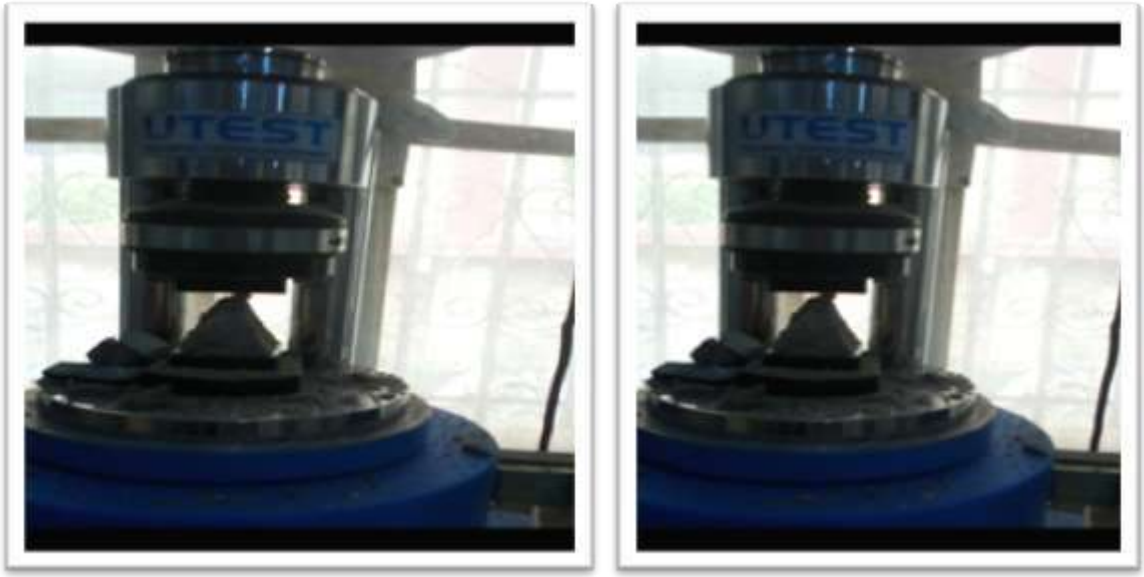


Figure II.16 : Essai de compression sur éprouvette béton

b. Essai de la résistance à la traction par flexion

À l´âge requis, les éprouvettes sont brisées par flexion en deux moitiés selon la norme [EN 196-1] **[32]**. C'est l'essai le plus couramment utilisé. Il consiste à rompre en flexion (Par trois points), une éprouvette prismatique (4x4x16) cm de côté **a** et de longueur **L**. La figure II.17 montre les étapes de l'essai.

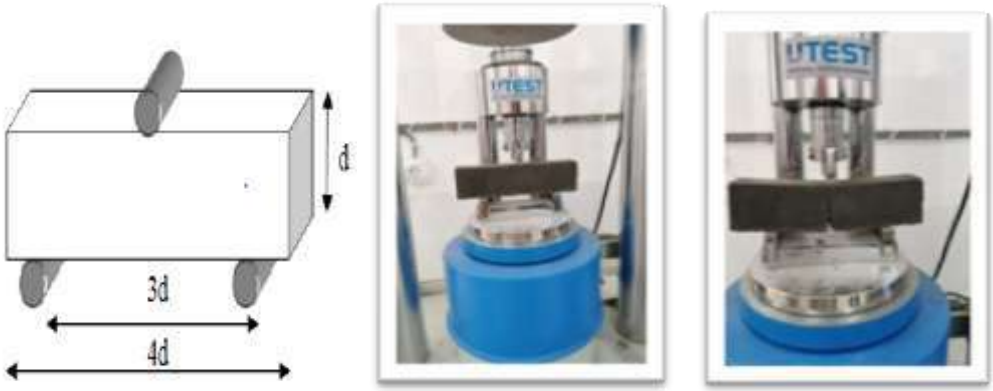


Figure II.17. Essai de traction par flexion sur éprouvette de béton

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

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

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

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

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

La résistance à la traction par flexion est calculée donc par la formule suivante : $\sigma_t = \frac{M15FfL}{d3}$

c. Essai de l'absorption capillaire

Le coefficient d'absorption d'eau par capillarité est mesuré sur des 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.18 : Essai de l'absorption capillaire

II.6 Variable étudier

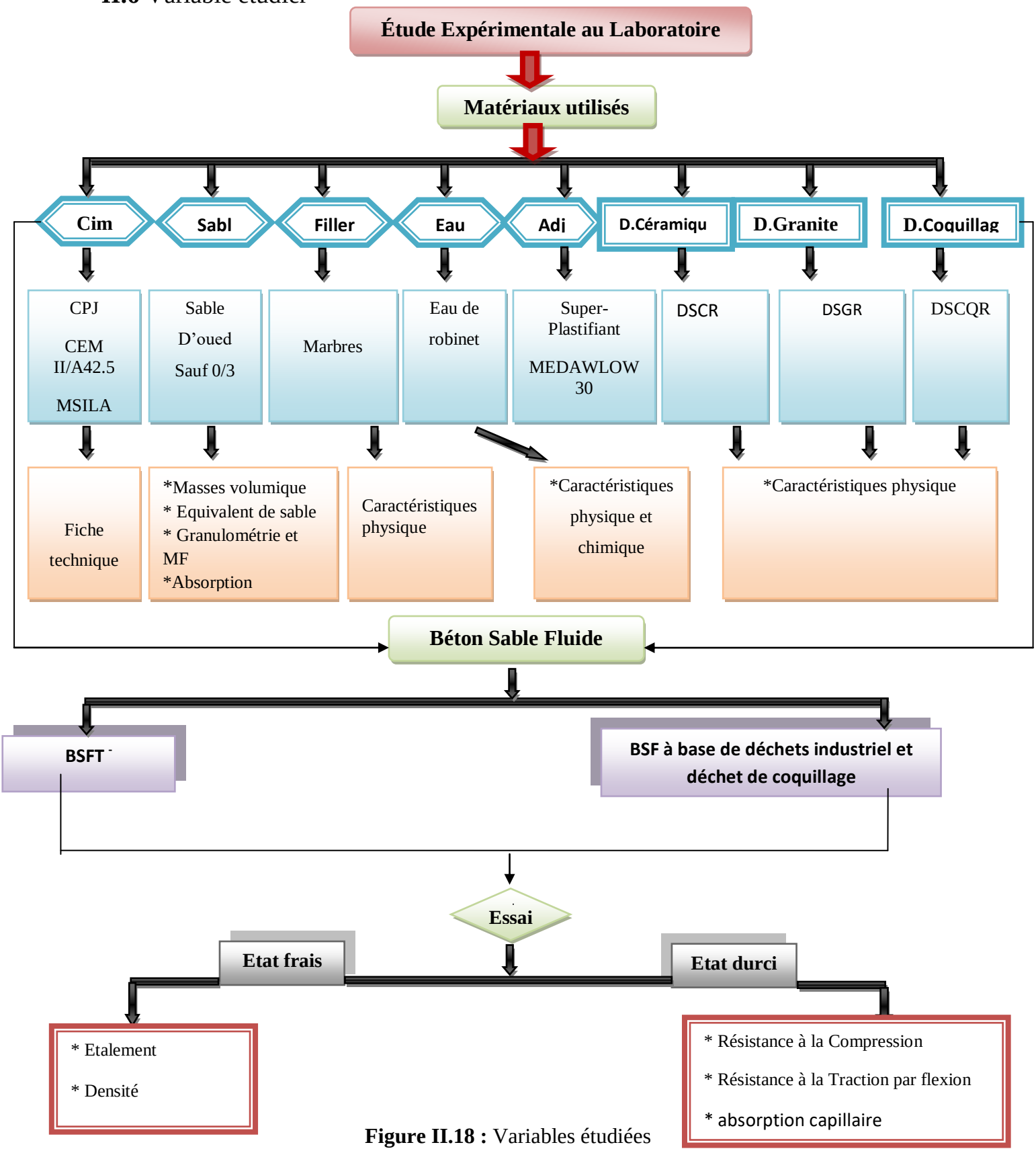


Figure II.18 : Variables étudiées

II .7 Conclusion

Dans notre recherche, nous avons utilisé les matériaux locaux, disponibles sur 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 céramique ; granite et coquillages sur le béton de sable fluide.

Chapitre III

Résultats et interprétation



III.1 Introduction

L'objectif de l'étude expérimental est d'étudier l'effet du combinaison les déchets industriel et les déchets biosourcés (coquillage) sur les caractéristiques mécanique et rhéologique d'un (BSF) à base des matériaux locaux .Les résultats obtenus suites aux essais entrepris, sont regroupés, selon l'âge, le type d'essai et le type de béton afin de permettre la compréhension et l'exploitation de ces derniers de la manière la plus pratique et la plus aisée.

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 respecté un diamètre d'étalement (diamètre constante) situé entre (240 à 280 mm) pour toutes les familles de béton de sable fluide, ca pour faciliter la comparaison entre la famille de (BSFT) et ($BSF_{1,2,...18}$),La figure III.1 représente la variation de dosage en super plastifiant pour avoir un étalement constant.

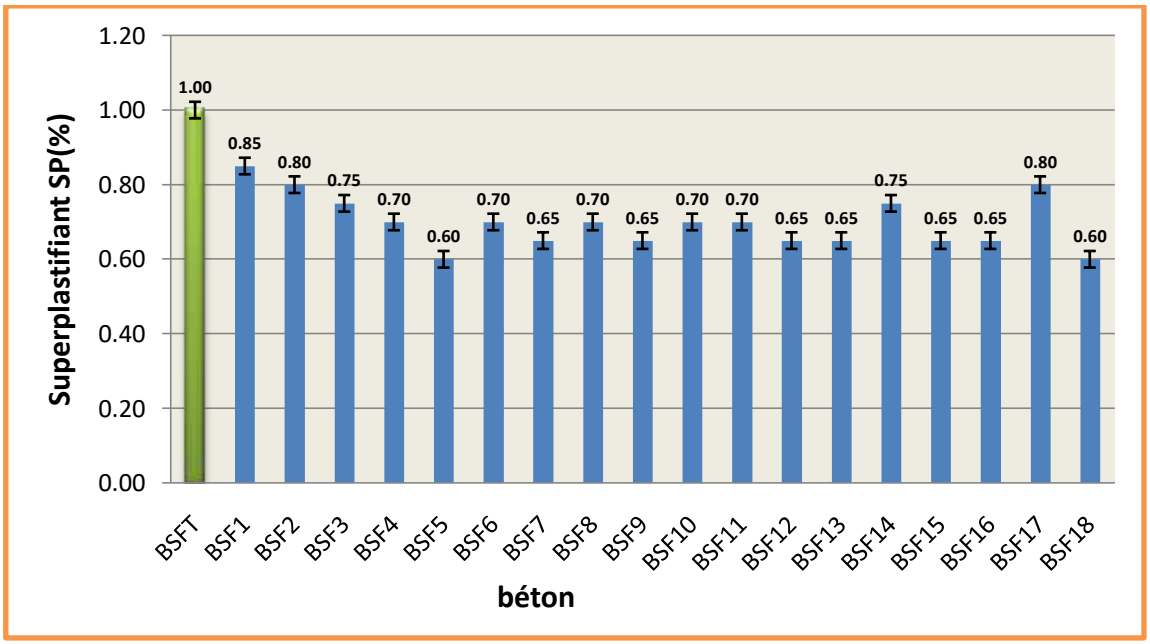


Figure III.1 : Dosage des superplastifiant de défirent type du béton

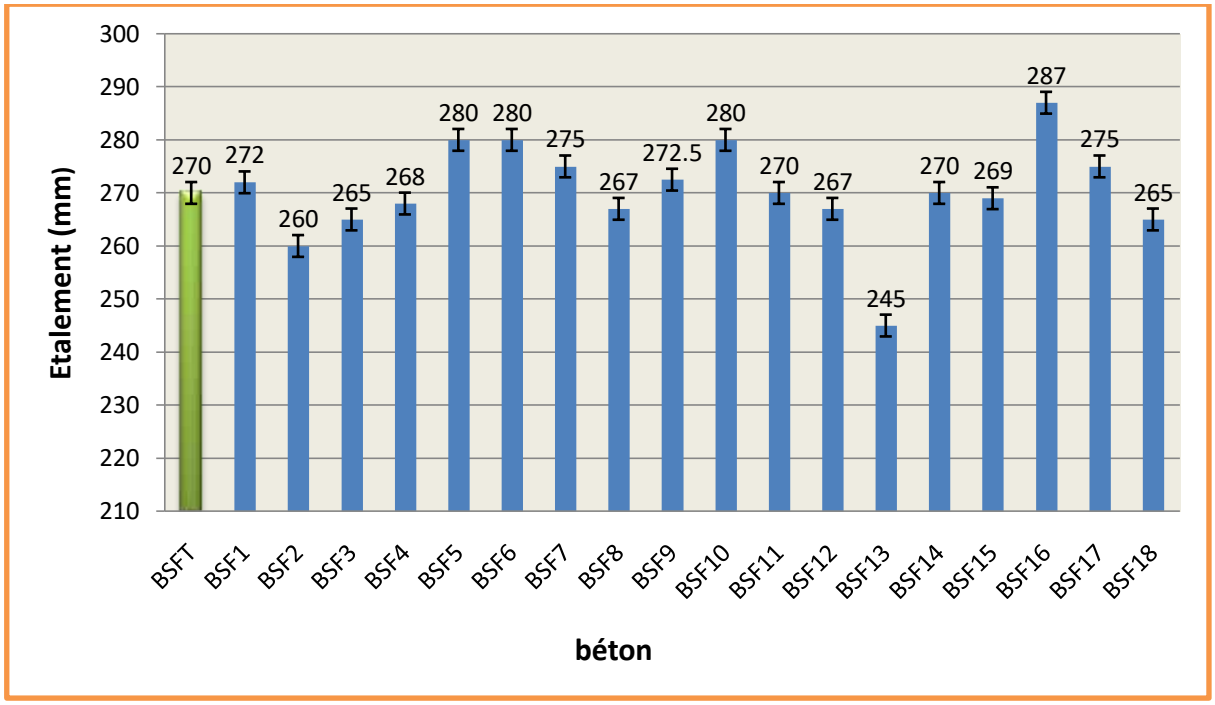


Figure III.2 : L'étalement en fonction de substitution du déchet (%) .

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 céramique : les résultats trouvés sont en concordance avec les résultats trouvé par Abadou et all **[34]** ,plus que le pourcentage de déchet de céramique augmente plus que l'étalement diminue .

comparaison de coquillage: les résultats trouvés sont en contraire avec les résultats trouvé par Safi et all **[30]** , Plus que le pourcentage de déchet de coquillage augmente plus que l'étalement diminue .

comparaison de granite : les résultats trouvés sont en concordance avec les résultats trouvé par Peem Nuaklong et al **[45]** , plus que le pourcentage de déchet de granite augmente plus que l'étalement augmente .

c. La densité

L'essai de la densité a été également réalisé pour évaluer la variation de la masse volumique du BSF, La figure III.3 montre l'effet de substitution de déchet de granite, céramique et de coquillage combinais sur la densité.

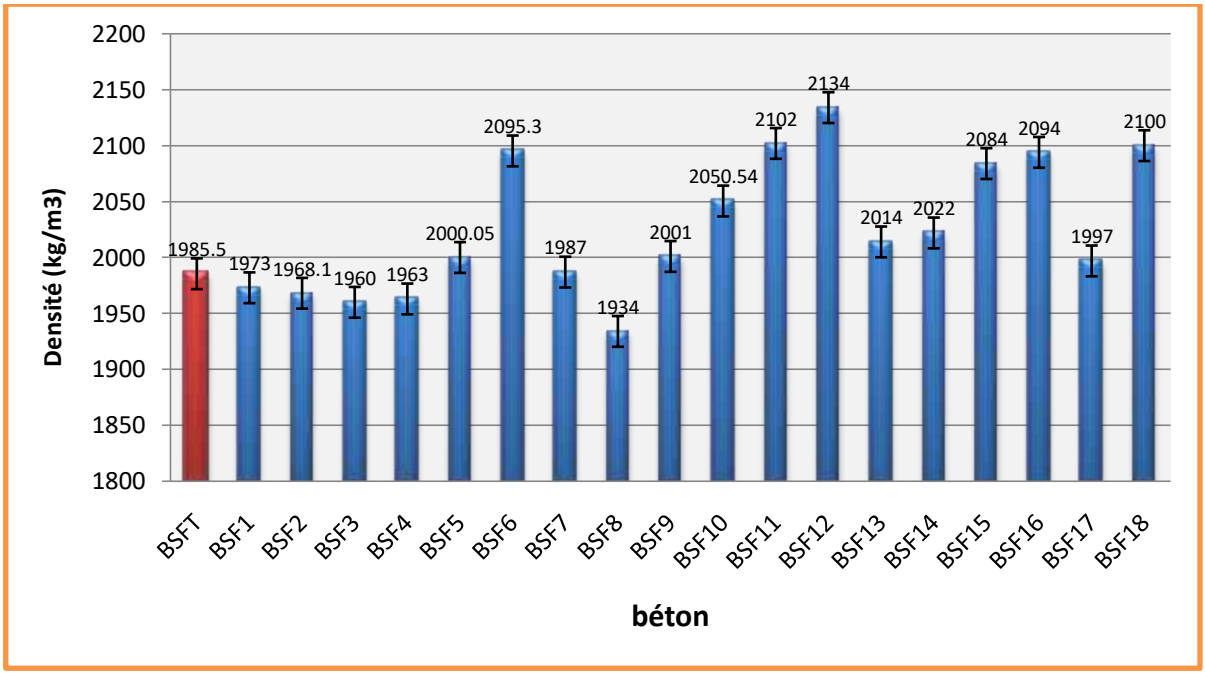


Figure III.3 : Evolution des masses volumiques en fonction de substitution du déchet (%)

Les résultats obtenus montrent que le densité des mélanges obtenus varié en fonction de la densité des différents type de déchets incorporé dans la composition de béton de sable fluide comparaison de céramique : les résultats trouvés sont en contraire avec les résultats trouvé par Alves et al **[36]** , plus le pourcentage de déchet de céramique augmente plus que la densité diminue .

comparaison de coquillage: les résultats trouvés sont en concordance avec les résultats trouvé par Safi et al **[31]** , plus le pourcentage de déchet de coquillage augmente plus que la densité augmente .

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

a. Résistances mécanique

Pour les différentes familles du BSF, les mesures ont été réalisées sur trois éprouvettes prismatiques de dimensions 4x4x16 cm3 pour la résistance à la traction, et trois éprouvettes cubique 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 différents familles de BSF à base de déchet industriel et de coquillage combinais à l'âge de 7 et 28 jours sont présentés dans cette partie.

a.1 Résistance à la compression

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

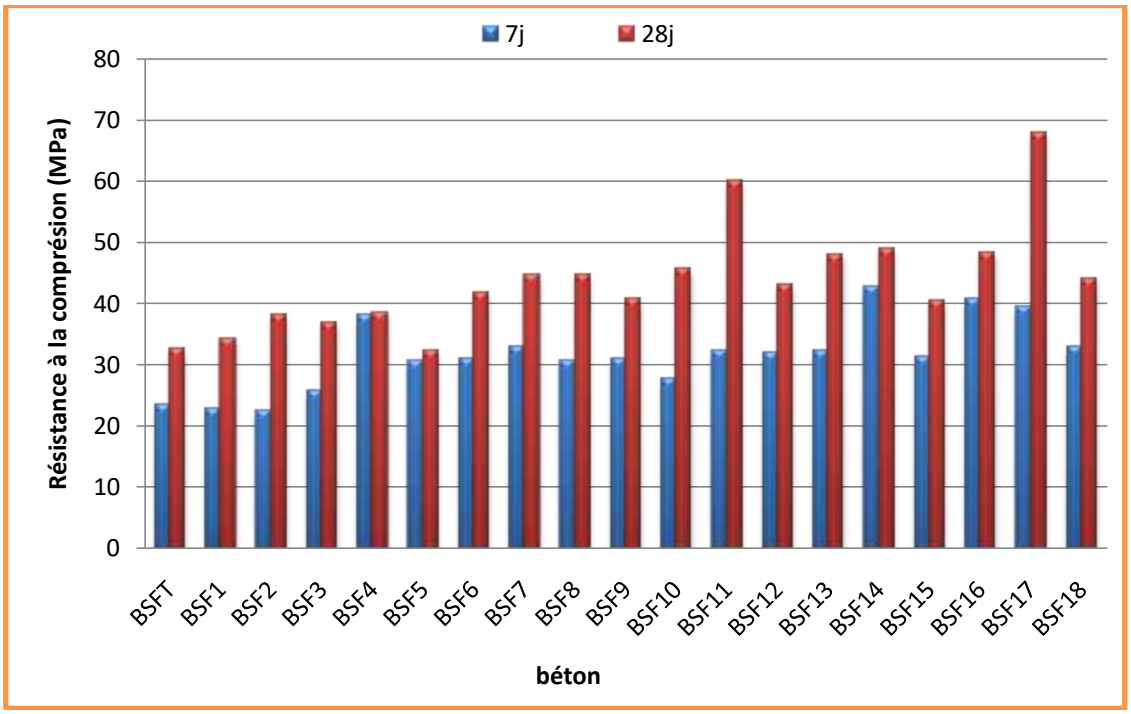


Figure III.4 : La résistance à la compression en fonction de substitution du déchet (%).

A partir de la figure III.4, Nous avons montrent que la résistance à la compression de béton de sable fluide est améliorée en fonction de substitution du sable naturel par les déchets industriel et déchet de coquillage . Le gain est estimé à 51% pour le BSF 17 qui représente l'optimum des BSF. Cette augmentation de la valeur de résistance à la compression est liée essentiellement aux forme des grains de déchets industriel et déchets de coquillage qui sont plus dure que ceux de sable substitué . comparaison de céramique : les résultats trouvés sont en concordance avec les résultats trouvé par Abadou et all **[34].** plus que le pourcentage de déchet de céramique augmente plus que la résistance à la compression augmente .

comparaison de coquillage: les résultats trouvés sont en contraire avec les résultats trouvé par Nguyen et all **[32].** Plus que le pourcentage de déchet de coquillage augmente plus que la résistance à la compression diminue .

comparaison de granite : les résultats trouvés sont en concordance avec les résultats trouvé par Peem Nuaklong et al **[45]** , plus que le pourcentage de déchet de granite augmente plus la résistance à la compression augmente .

a.2 Résistance à la traction par flexion

La mesure de la résistance à la traction par flexion est importante surtout pour identifier l'adhérence Ciment-Granulats. Pour mieux saisir le sens de l'évolution relative de la résistance à la traction par flexion des différents bétons de sable fluide avec l'âge et fonction du taux de substitution de déchet de granite, céramique et de coquillage, et permettre la comparaison avec le BSFT, les résultats sont présentés dans les figures III.5:

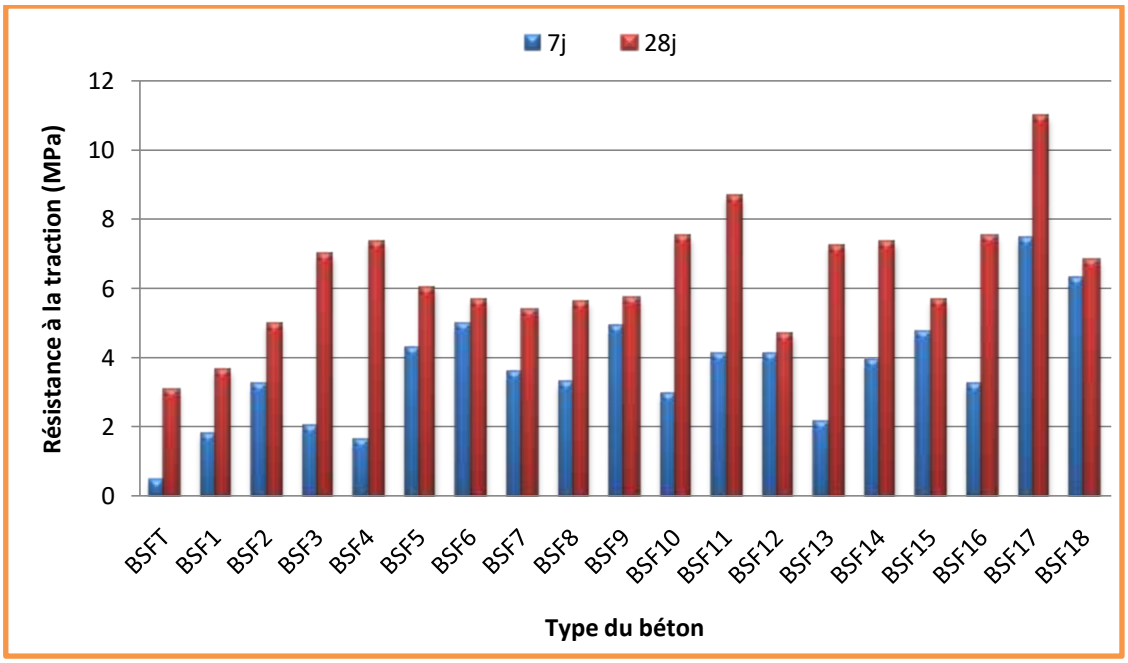


Figure III.5 : La résistance à la traction en fonction de substitution du déchet (%)

La figure III.5. montrent que quelque soit l'âge du béton la résistance à la traction par flexion du béton de sable fluide est améliorée en fonction d'augmentation de pourcentage de substitution du sable naturel par les déchets industriel et déchet de coquillage . Le gain d'augmentation est estimé à 72,72 % Cette augmentation de la résistance est liée à la fois à la dureté des déchets incorporé dans la masse de BSF, la bonne adhérence entre ces grains et la matrice cimentaire fissures. comparaison de céramique : les résultats trouvés sont en concordance avec les résultats trouvé par Abadou et all **[34].** plus que le pourcentage de déchet de céramique augmente plus que la résistance à la compression augmente .

comparaison de coquillage: les résultats trouvés sont en contraire avec les résultats trouvé par Nguyen et all **[32] ,** Plus que le pourcentage de déchet de coquillage augmente plus que la résistance à la compression diminue .

comparaison de granite : les résultats trouvés sont en concordance avec les résultats trouvé par Peem Nuaklong et al **[45]** , plus que le pourcentage de déchet de granite augmente plus la résistance à la compression augmente .

On peut conclure finalement que l'emploi et l'utilisation de ces types des bétons est recommandé dans les éléments de structure (Poteaux, poutre, dalle, planchers ….ect).

a.3 Absorption capillaire

Les résultats d'absorption d'eau par capillarité des différents bétons de sable réalisés sont illustrés dans les figures III.6 suivantes :

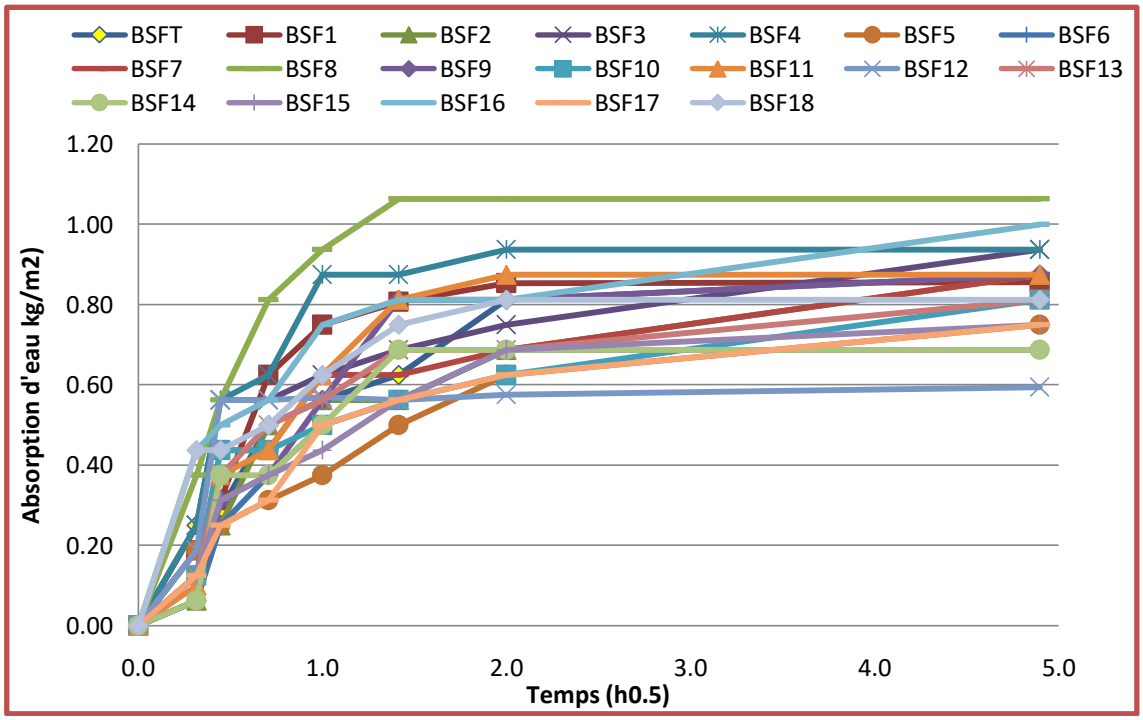


Figure III.6 : Absorption d'eau action en fonction de substitution du déchet (%)

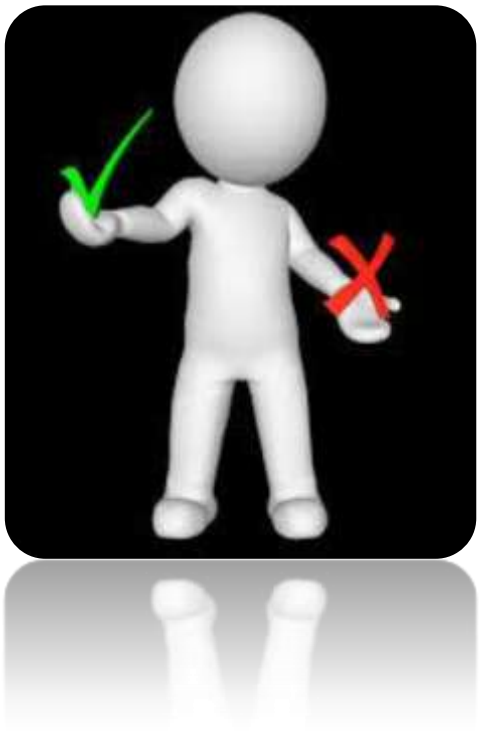
Les résultat étudiée montrent que l'absorption capillaire de $BSF_{1.2.4et8}$ à base de déchets industriel et déchet de coquillage est plus importante par rapport à l'absorption capillaire de BSFT , par contre les autres famille du béton et moins importance ,Cette diminution est liée à l'absorption capillaire de déchets industriel 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 industriel 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 industriel et déchets de coquillage .
- La résistance à la traction par flexion de béton de sable fluide est améliorée en fonction d'augmentation de déchets industriel et déchets de coquillage

Conclusion générale et recommendation



Conclusions générales

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

- La fluidité de béton de sable fluide est augmenté avec l'augmentation de pourcentage de déchet industriel et déchet de coquillage .
- La résistance à la compression amélioré en fonction d'augmentation de pourcentage de déchet industriel et déchet de coquillage ,Le gain est estimé à 51% pour une substitution partielle du sable .
- La résistance à la compression amélioré en fonction d'augmentation de pourcentage de déchet industriel et déchet de coquillage ,Le gain est estimé à 71% pour une substitution partielle du sable .
- L'absorption capillaire de béton de sable fluide est diminuer en fonction de diminution de de pourcentage de déchet industriel et déchet de coquillage .

Vu les résultats obtenus de cette étude, on peut avancer que l'utilisation des déchets industriel 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 industriel et de déchets de coquillage.
- Influence de déchets industriel et de déchets de coquillagesur la performance de béton de sable fluide .
- Influence industriel et de déchets de coquillagesur le comportement de béton de sable fluide.
- Propriété thermiques des bétons de sable fluide à base déchets industriel et de déchets de coquillage.

Références

Bibliographiques



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

[2]. 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.

[3].https://www.insee.fr/fr/statistiques/1281018

[4]. Asokan P., Osmani M., Price A.D.F., Improvement of the mechanical properties of glass fibre reinforced
plastic waste powder filled concrete, *Constr. Build. Mater.*, 24 (4) (2010) 448-460

[5] : Robert LEROY, Leda DIMITRIADI « Recyclage des déchets du chantier », école Normale supérieure d'architecture, Paris-Malaquais

[6] : Paul O. Awoyera , Julius M. Ndambuki, Joseph O. Akinmusuru, David O. Omole « Characterization of ceramic waste aggregate concrete » HBRC Journal, 2006

[7]: Fernando Pacheco-Torgal, Said Jalali « Compressive strength and durability properties of ceramic wastes based concrete», Materials and Structures, Doi 10.1617/s11527-010-9616-6, 21/04/2010.

[8] : Mehdi CHEIKH ROUHOU «Les déchets de chantier et le recyclage des matériaux dans le secteur du bâtiment », Mémoire de fin de formation, 26/01/2007.

[9] : LAMTIGUI Abdelaziz, BENDANI Youssef « Valorisation des laitiers d'aciéries en Génie Civil », Etude Bibliographique, 2014

[10]. https://optigede.ademe.fr/fiche/collecte-des-coquillages

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

[12].https://pixabay.com/fr/photos/coquillages-coquilles-mer-2215408/

[13] .https://restaurantcfavm.jimdofree.com/produits/coquillages/

[14].https://www.futura-sciences.com/planete/dossiers/zoologie-coquille-mollusques-memoire-environnement-662/page/3/

[15]. https://journals.openedition.org/tc/6685

[16].https://www.ovive-sa.fr/traitement-des-dechets/professionnels/?fbclid=IwAR3lvvRwpTOc7R_lytfUxj5h7wtbFO6IXjHZ3CYBcn-Xm31z6DIwA1jvy78

[17]https://fr.wikipedia.org/wiki/Granite

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

[19]http://www.geolales.net/posters/Granite-3.pdf

[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=2ahUKEwj61--h39HpAhXJwYUKHb1zCv0Qr4kDegUIARDFAQ

[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=psy-ab&ved=0ahUKEwjvna2WjtrpAhVPXhoKHatBAnQQ4dUDCAc&uact=5

[23] https://www.google.com/search?q=Le+b%C3%A9ton+de+sable+en+projection&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwiCguLq4tnpAhUQCWMBHfOPDuQQ_AUoAXoECAwQAw&biw=1366&bih=657#imgrc=A3Hn9woWgHlv6M

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

[25] https://www.google.com/search?source=hp&ei=OoLSXpCqCJLyatK5j7gN&q=la+formule+pr%C3%A9c%C3%A9dente+de+Caquot+pour+formulation+d%E2%80%99un+b%C3%A9ton+de+sable&oq=la+formule+pr%C3%A9c%C3%A9dente+de+Caquot+pour+formulation+d%E2%80%99un+b%C3%A9ton+de+sable&gs_lcp=CgZwc3ktYWIQAzoFCCEQoAE6BAghEBVQkBNYtvwBYPe1AmgAcAB4AIAB9gOIAawXkgELMC44LjIuMS4xLjGYAQCgAQKgAQGqAQdnd3Mtd2l6&sclient=psy-ab&ved=0ahUKEwiQr-7c

dvpAhUSuRoKHdLcA9cQ4dUDCAc&uact=5

[26] https://www.ovive-sa.fr/traitement-des

dechets/professionnels/?fbclid=IwAR3lvvRwpTOc7R_lytfUxj5h7wtbFO6IXjHZ3CYBcn

Xm31z6DIwA1jvy78

[27] https://sitetom.syctom-paris.fr/les-dechets/les-categories-de-dechets.html

[28] Fatemeh Soltanzadeh , Mojtaba Emam-Jomeh , Ali Edalat-Behbahani , Zahra Soltan

Zadeh, Development and characterization of blended cements containing seashell powder,

Construction and Building Materials 161 (2018) 292–304

[29] http://dspace.univ

djelfa.dz:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/1117/chapiter%2002.pdf?sequence=3&isA

llowed=y

[30]Brahim Safi , Mohammed Saidi , Abdelhakim Daoui , Ahmed Bellal , Ali Mechekak ,

Kamel Toumi ,The use of seashells as a fine aggregate (by sand substitution)in self-compacting mortar (SCM),Construction and Building Materials 78 (2015) 430–438

[31]Fatemeh Soltanzadeh , Mojtaba Emam-Jomeh , Ali Edalat-Behbahani , Zahra Soltan

Zadeh, Development and characterization of blended cements containing seashell powder,

Construction and Building Materials 161 (2018) 292–304

[32]Dang Hanh Nguyen , Mohamed Boutouil , Nassim Sebaibi , Fabienne Baraud , Lydia

Leleyter, Durability of pervious concrete using crushed seashells, Construction and Building

Materials 135 (2017) 137–150

[33]Jim_enez JR, Ayuso J, L_opez M, et al. Use of fine recycled aggregates from ceramic

waste in masonry mortar manufacturing. Constr Build Mater. 2013;40:679–690

[34]Abadou Y, Mitiche-Kettab R, Ghrieb A. Ceramic waste influence on dune sand mortar

performance. Constr Build Mater. 2016;125:703–713.

[35]Guerra I, Vivar I, Llamas B, et al. Eco-efficient concretes: the effects of using recycled ceramic material from sanitary installations on the mechanical properties of concrete. Waste Manage. 2009;29:643–646

[36]Alves V, Vieira TF, De Brito J, et al. Mechanical properties of structural concrete with fine recycled ceramic aggregates. Constr Build Mater. 2014;64:103–113

[37]de Brito J, Pereira AS, Correia JR. Mechanical behaviour of non-structural concrete made with recycled ceramic aggregates. Cem Concr Compos 2005;27(4):429–33.

[38] Gomes M, de Brito J. Structural concrete with incorporation of coarse recycled concrete and ceramic aggregates: durability performance. Mater Struct 2009;42(5):663–75.

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

[40] Pitarch AM, Reig L, Tom_as AE, et al. Effect of tiles, bricks and ceramic sanitary-ware recycled aggregates on structural concrete properties. Waste Biomass Valor. 2017;10: 1–15.

[41] Tennich M, Kallel A, Ouezdou MB. Incorporation of fillers from marble and tile wastes in the composition of self-compacting concretes. Constr Build Mater. 2015;91:65–70.

[42] Jagadeesh Bommisetty , Tirukovela Sai Keertan , A. Ravitheja , K. Mahendra, Effect of waste ceramic tiles as a partial replacement of aggregates in concrete, Materials Today: Proceedings

[43]Elc¸i H. Utilisation of crushed floor and wall tile wastes as aggregate in concrete production. J Clean Prod. 2016;112:742–752.

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

[45]Sawekchai Tangaramvong , Peem Nuaklong , May Thazin Khine , Pitcha Jongvivatsakul The influences of granite industry waste on concrete properties

with different strength grades ,Case Studies in Construction Materials 15 (2021) e00669

[46]https://www.hubency.com/recyclage-dechets/ceramique .

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

[48] : VENUAT M., "Produits Silico–calcaire "Techniques de l'Ingénieur ; 1994.

[49] : CEN EN 196-1 Nome française CENEN 196-1 Méthode d"essais des ciments, partie

Détermination des résistances mécanique AFRON, Paris, Aout 1995.

[50] : ISO 834-1, Essai de résistance au feu - Éléments de construction - Partie 1: Exigences

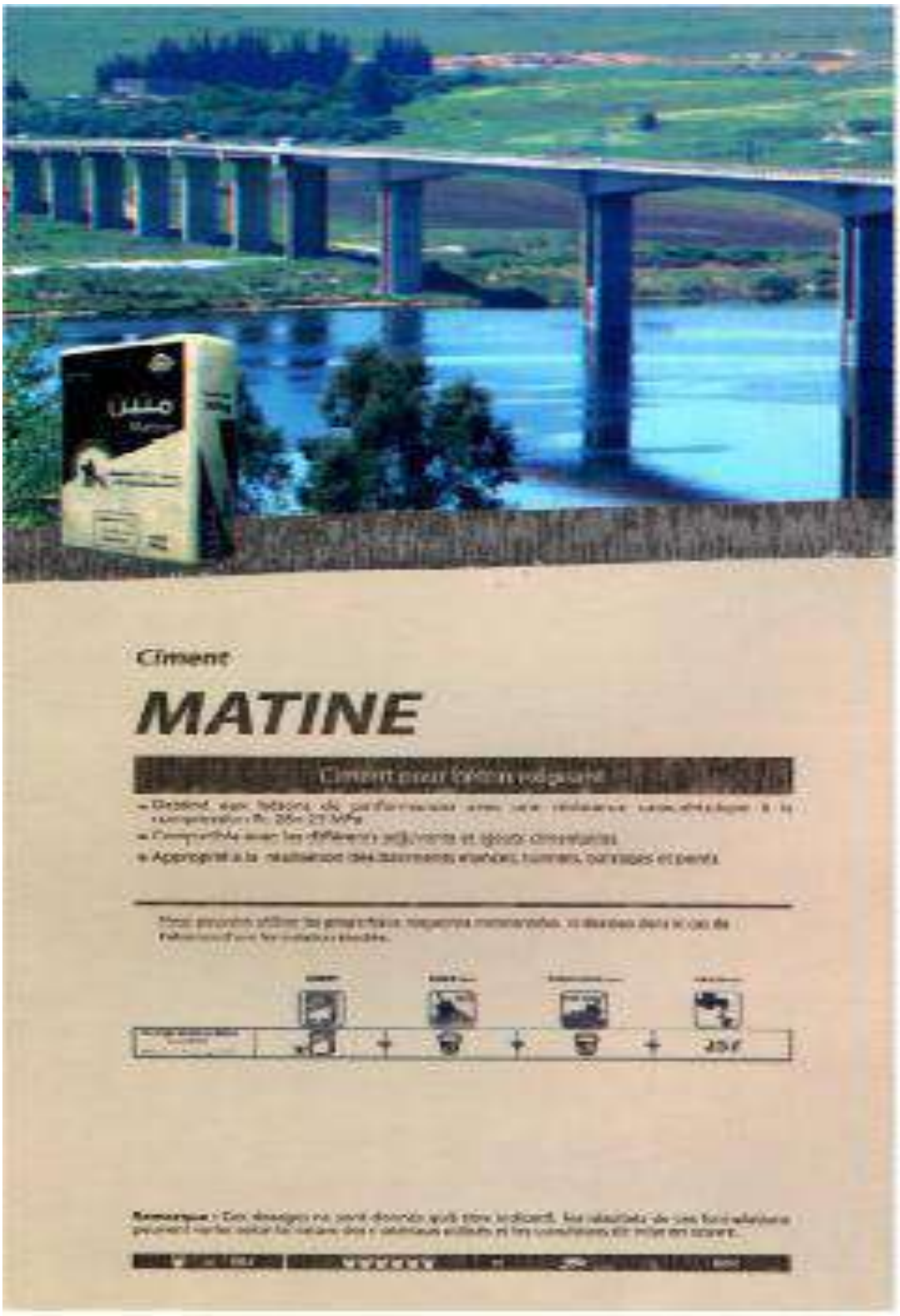
Générales, 1999.

[51] :Kenai S, Debieb F, Azzouz L (2002) Mechanical properties and durability of concrete made with coarse and fine recycled aggregates. In: Sustainable concrete construction. Proceedings of an international conference, Dundee, Sept. 2002. Thomas Telford, London, pp 383–392

Annexes



Fiche technique du ciment MATINE



LAFARGE
لافارج

MATINE

Ciment pour béton exigeant

CIMLIA 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 MEDAFLOW 30

MEDAFLOW 30

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

Super plastifiant

Haut réducteur d'eau

DESCRIPTION

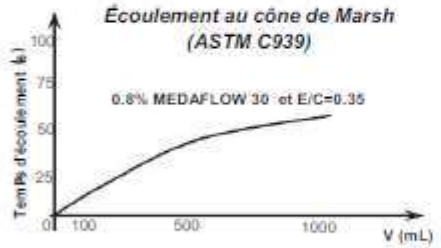
Le **MEDAFLOW 30** est un super plastifiant haut réducteur d'eau de la troisième génération. Il est conçu à base de polycarboxylates d'Ether qui améliorent considérablement les propriétés des bétons.
Le **MEDAFLOW 30** permet d'obtenir des bétons et mortiers de très haute qualité.
En plus de sa fonction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

DOMAINES D'APPLICATION

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

PROPRIÉTÉS

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



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

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

CARACTÉRISTIQUES

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

MODE D'EMPLOI

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

DOSAGE

Plage de dosage recommandée :
0,5 à 2,0 % du poids de ciment soit 0,46 à 1,85 litre pour 100 Kg de ciment.

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

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

Zone industrielle Oued Smar – BP85 Oued Smar – 16270 Alger
Tél : (213) 021 51 66 81 & 82