REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA



Faculté de Technologie

Mémoire de fin d'études de Master

Filière : Génie Civil

Spécialité : Matériaux en génie civil

Elaboration des nouveaux matériaux de construction écologiques a base de déchets recyclés

---

Présenté par :

M^{elle}. YOUSFI Yasmin

Mr. RAHMANI Djamel Eddine

Proposé et Dirigé par :

Dr .GUENDOUZ Mohamed

Mr. HADJADJ Moussa

Promotion Juin 2023

Remerciements

Tout d'abord, Nous tiens à remercier ALLAh 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 oude 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 formulede remerciements est difficile. Nous tiens à remercier :

Nos encadreurs **Dr. GUENDOUZ Mohamed**. D'avoir accepté de nous encadrer, et pour leurs conseils précieux pendant la réalisation de ce travail. Pour leur disponibilité, pour leur écoute, pour l'aide très précieuse et l'intérêt constant qu'ils ont bien voulu montrer pour ce travail.

Un grand merci à **Mr. HADJAD*J* moussa**, pour son aide pratique et son soutien moral et ses encouragements.

Un grand merci est adressé à tous les ingénieurs et les travailleurs du hall technologique surtout (Kawtare, Yousef, Zahra).

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

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

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

Dédicace

Tous les mots ne peuvent exprimer la gratitude, l'amour, le respect, la reconnaissance, c'est tous simplement que : Je dédie cette mémoire de master :

À la plus belle créature que Dieu a créée sur terre,,, À cette source de tendresse, de patience et de générosité A la chandelle qui allume ma vie,,,

À ma mère «**Assia**» !

À mes frères,«**Zine addine**» « **Ishak**»

Mes amis «**Mariem** , **Ferial**»

Et à toute ma famille À mon binôme « **Rahmani Djamel** » Et nous n'oublions certainement pas nos amis surtout « **Rima**, **Iness**, **Ayoube**, **Hakim**, **Islam**, **Abdelmonaime**» ainsi tous ceux qui nous ont aidés dans notre tâche, nous leur dirons merci.

Yasmin

Dédicace

Je dédie ce modeste travail a

Mes chers parents qui nulle dédicace ne puisse exprimer mes sincères sentiments pour leur patience illimitée leur encouragement continu leur aide en témoignage de mon proton de amoure et respect pour leur grande sacrifices

A mon cher frère

A ma tendre sœur

A mon binôme

et a toute ceux qui ont contribué de prés ou de loin pour que ce travail soit possible je vous dis merci.

Djamel

ملخص

الهدف الرئيسي من هذا المشروع هو المساهمة في تثمين و رسكلة النفايات الصناعية (الزجاج, السيراميك ,الرخام,الجرانيت) المواد الحيوية (الصدفات) ودمج هذه النفايات بشكل حجمي في كتلة الخرسانية الرملية المائعة بنسب مختلفة مع دراسة خصائصها في الحالة الرطبة (الجريان و الكثافة) و الحالة الصلبة (مقاومة الضغط, الامتصاص ,المسامية, الكثافة, السرعة بالموجات فوق الصوتية, توصيل حراري) و مقارنتها مع خرسانة رملية مائعة عادية.

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

كلمات مفتاحية : الخرسانة الرملية المائعة, نفايات صناعية, نفايات حيوية .

Résume

L'objectif principal de ce projet est de contribuer à la valorisation et au recyclage des déchets industriels (granite, céramique, verre, marbre) et les déchets biossources (coquillage) dans la formulation de béton de sable fluide avec déférents pourcentages. Les caractéristiques de béton à l'état frais (étalement, densité apparent) et à l'état durci (la résistance a la compression, la densité apparent, la vitesse ultrasonique, la porosité, la conductivité thermique et l'absorption d'eau par capillarité) on étudier et comparé avec des bétons référence.

Les résultats obtenus montrent que les caractéristiques mécaniques de béton sable fluide sont améliorées avec l'augmentation de substitution de déchets industrielle et biosources, donc il est possible d'utiliser ce type de béton dans le domaine de la construction.

Mots clés : béton de sable fluide, déchets industriels, déchets biosources.

Abstract

The main objective of this project is to contribute to the valorisation and recycling of industrial waste (granite, ceramics, glass, marble) and biosource waste (shell) in the formulation of flowable sand concrete with different percentages. The characteristics of concrete in the fresh state (flowablity, apparent density) and in the hardened state (compressive strength, apparent density, ultrasonic velocity, porosity, thermal conductivity and water absorption by capillarity) we study and compare with reference concretes.

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

Keywords: fluid sand concrete, industrial waste, biosource waste.

SOMMAIRE

SOMMAIRE

Remerciements

Dédicace

Résumés

Sommaire

Liste des tableaux

Liste des figures

Notation et abréviation

Introduction général **2**

CHAPITRE I : synthés bibliographiques

I.1.valorisation et recyclage des déchets **4**

I.1.1. Introduction **4**

I.1.2. définition de déches **5**

I.1.3. définition de valorisation **5**

I.1.4.Les différents modes de traitement des déchets **6**

I.1.5.les type des déchets **7**

I.1.6. Différents déchets utilisés en génie civil **8**

I.2.verre et déchets de verre **12**

I.2.1.Introduction **12**

I.2.2.Définition **12**

I.2.3.Composition **12**

I.2.4.Type de verre **13**

I.2.5.Fabrication de verre **13**

I.2.6.Type de sable pour fabrique du verre **14**

I.2.7.Propriétés **14**

I.2.8. les avantages et les inconvénients de verre **15**

1. Les Avantages **15**

2. Les inconvénients **16**

I.2.9.Influence de déchets de verre sur le comportement des matériaux a bas cimentaires **16**

I.3.Coquillage et déchets de coquillage **18**

1.3.1 Introduction **18**

I.3.2.Définition **19**

I.3.3.les types des coquillages **19**

I.3.4.Composition du Coquillages **21**

I.3.5.Recyclage **22**

I.3.6.Les coquillages dans les cultures humaines **22**

I.3.7.Influence de coquillage sur les propriétés des matériaux cimentaires **23**

I.4 Céramique et déchets de céramique **30**

I.4.1. Définition **30**

I.4.2. Historique **31**

I.4.2. Types de céramique **31**

I.4.3. Composition **34**

I.4.4. Classification des produits céramiques **35**

I.4.5. Propriétés de céramique **35**

I.4.6. Fabrication de céramique **36**

I.4.7. Les étapes de fabrication de céramique **36**

I.4.8. Les avantages et les inconvénients de céramique **36**

1. Les Avantages **36**

2. Les Inconvénients **37**

I.4.9.Influence des déchets céramiques rouge sur les propriétés des matériaux cimentaires **37**

I.5.Granite et déchets de granit **42**

I.5.1.Définition **42**

I.5.2.composition de granite **42**

I.5.3.les types de granite **43**

I.5.4.Où le trouve **45**

I.5.5.Production de granit **46**

I.5.6.Influence des déchets granite sur les propriétés des matériaux cimentaires **46**

I.6.Marbre et déchets de marbre **47**

I.6.1.Définition de marbre **47**

I.6.2.Histoire **48**

I.6.3.Composition **49**

I.6.4. type de marbre **49**

I.6.5.Les propriétés **51**

I.6.6. le meilleur marbre du monde **51**

I.6.7.Où vient le marbre **51**

I.6.8.Influence des déchets marbre su les propriétés des matériaux cimentaires **52**

I.7. Le béton de sable **55**

I.7.1. Introduction **55**

I.7.2. Origines de béton de sable **56**

I.7.3. Définition **56**

I.7.4 Techniques particulières **57**

I.7.5. Béton de sable projeté **57**

I.7.6.Bétons de sable fluide **57**

I.7.7. Les composants du béton de sable **59**

I.7.8. Formulation du béton de sable **61**

I.7.8.1 Approche théorique d'une formulation d'un béton de sable **61**

1.7.8.2 Méthode expérimentale de formulation des bétons de sable **69**

I.8 Conclusion **72**

CHAPITRE II : Matériaux et Essais

II.1 Introduction **74**

II .2 Caractérisation des matériaux utilisés **74**

II.2.1 Ciment **74**

II.2.2 Granulats **75**

II.2.2.1 Sable **75**

II.2.2.2 Déchets de granite **77**

II.2.2.3 Déchets de céramique **78**

II.2.2.4 Déchet de coquillages **79**

II.2.2.5 Déchets de verre **80**

II.2.2.6 Déchets de marbre **81**

II.2.3 Eau de gâchage **82**

II.2.4 Adjuvant **82**

II.2.5 Filler **83**

II.3 Formulation du béton **83**

II.4 Séquence de malaxage du béton **86**

II.5 Les essais sur le béton (BSF) **87**

II.5.1 Etat frais **87**

II.5.2 Démoulage et conservation des éprouvettes **88**

II.5.3 Etat durci **89**

II.6 Variable étudié **92**

II.7 Conclusion **94**

CHAPITRE III : Résultats et interprétation

III.1 Introduction **96**

III.2 Influence de combinaison du déchets industriel et déchet de coquillage sur le béton de sable fluide à l'état frais **96**

III.2.1 Étalement **96**

III.2.2 La densité **98**

III.3 Influence de combinaison du déchets industriel et déchet de coquillage sur le béton de sable fluide à l'état durci **99**

III.3.1 Vitesse Ultrasonique **99**

III.3.2 La résistance mécanique **99**

III.3.2.1 la résistance a la compression **100**

III.3.3 Conductivité thermique **102**

III.3.4 Porosité accessible à l'eau **103**

III.3.5 Densité apparent **104**

III.3.6 Absorption d'eau capillarité **105**

III.3 Conclusion **107**

Conclusions générales **109**

Recommandations **110**

Références bibliographique **112**

Annexes **119**

Liste des tableaux

Liste des tableaux

Tableau I.1 : composition de céramique **35**

Tableau II.1 : L'analyse chimique du ciment et composition du clinker **75**

Tableau II.2: Propriétés physiques de coquillage **80**

Tableau II.3: Propriétés physiques de verre **81**

Tableau II.4: Propriétés physiques des sables utilisé **82**

Tableau II.5: Propriétés physiques de poudre de marbre **83**

Tableau II.6 : composition des bétons formulés **84**

Liste des figures

Liste des figures

Figure I.1 : déches industriels **4**

Figure I.2 : les déches **5**

Figure I.3 : déchets industriel dangereux **8**

Figure I.4 : déchets inertes **9**

Figure I.5 : déchets toxiques **9**

Figure I.6 : poudre de : verre, marbre, granite, céramique **10**

Figure I.7 : déchets ménager **11**

Figure I.8 : déchets industriels banals (D.I.B.) **11**

Figure I.9 : déchets de verre **12**

Figure I.10 : composition chimique du verre **12**

Figure I.11 : Les étapes de fabrication du verre **13**

Figure I.12 : La fluidité de mortier de verre **16**

Figure I.13 : la densité fraîche de mortier de verre **17**

Figure I.14 : Fractionnement la résistance à la traction de mortier de verre **18**

Figure I.15 : coquillage **19**

Figure I.16 : les bivalves **20**

Figure I.17 : les gastéropodes **20**

Figure I.18 : les céphalopodes **21**

Figure I.19 : utilisation du coquillage. **23**

Figure I.20 : Influence de déchets de coquillage sur la fluidité du mortier auto plaçant **24**

Liste des figures

Figure I.21 : Influence de substitution de ciment par le coquillage sur la densité de ciment **25**

Figure I.22 : Effet de déchets de coquillers sur la densité de béton **25**

Figure I.23: Influence de la substitution de sable par le coquillage sur la densité de MAP **26**

Figure I.24: Effet de sable de coquillage sur la porosité du béton ordinaire **26**

Figure I.25: Influence de substitution de sable par le coquillage sur la Rc et Rt de MAP **27**

Figure I.26 : Effet de sable de coquillage sur la résistance à la compression du béton Ordinaire **28**

Figure I.27 : Influence de substitution de ciment par le coquillage sur la Rc de ciment **28**

Figure I.28 : Influence de substitution de ciment par le coquillage sur la Rt de ciment **29**

Figure I.29 : Influence de substitution de sable par le coquillage sur le module d'élasticité De MAP **30**

Figure I.30 : déchets de céramique **30**

Figure I.31 : terre cuite **31**

Figure I.32 : terre cuite vernissée **32**

Figure I.33 : terre cuite réfractaire **32**

Figure I.34 :L'effet de déchets céramique rouge sur la fluidité des mortiers **38**

Figure I.35 : L'effet de déchets céramique sur la densité de béton **38**

Figure I.36:L'effet de déchets céramique rouge sur la fluidité des mortiers **39**

Figure I.37 :L'effet de déchets céramique rouge sur la Rc du béton **40**

Figure I.38 :L'effet de déchets céramique rouge sur la Rt du béton **41**

Liste des figures

Figure I.39:L'effet de déchets céramique rouge sur le module d'élasticité du mortier **41**

Figure I.40 : déchets de granit **42**

Figure I.41 : composition chimique de granite **43**

Figure I.42 : déchets de granit gris **44**

Figure I.43 : déchets de granit noir **44**

Figure I.44 : déchets granite rose **45**

Figure I.45 : bloc de granite bleu **45**

Figure I.46 : La maniabilité de béton à base de déchets de granite **46**

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

Figure I.48 : déchets de Marbre **48**

Figure I.49 : Le Grand Trianon en 2009 **48**

Figure I.50 : Les types de marbre **51**

Figure I.51 : l'affaissement au cône d'Abrams en fonction de pourcentage de substitution De La poudre de marbre **52**

Figure I.52 : Variation de la densité en fonction du taux de substitution à poudre de marbre **53**

Figure I.53 : Influence du pourcentage sue la résistance en compression **54**

Figure I.54 : résistances en compression de béton avec ajout de poudre de marbre **54**

Figure I.55 : capacités d'absorption d'eau pour les bétons avec ajout de poudre de marbre **55**

Figure I.56 : Port Saïd **56**

Figure I.57 : Béton projeté **57**

Liste des figures

Figure I.58 : béton de sable fluide **59**

Figure I.59: Influence du diamètre D du sable sur le dosage en fines **63**

Figure I.60: Influence de la dimension d sur la porosité minimale du béton pour deux Tailles D Du sable **64**

Figure I.61: Relation entre l'ouvrabilité et le dosage(e+v) d'une matrice pour une mise en Œuvre donnée **65**

Figure I.62 : Coefficient d'activité du filler calcaire (modèle) **67**

Figure I.63: Organigramme de la méthode théorique **68**

Figure I.64 : masse volumique apparente en fonction du dosage en fines d'addition **71**

Figure I.65 : Evolution de la maniabilité en fonction du dosage en fines d'addition **72**

Figure II.1 : Le ciment utilisé **75**

Figure II.2: Sable moyenne d'Oued sauf **76**

Figure II.3 : Courbe granulométrique des sables utilisées **76**

Figure II.4 : Déchets de granite **77**

Figure II.5 : Protocole de concassage des déchets de granite sous forme sable 0/3 **77**

Figure II.6 : Déchets de céramique **78**

Figure II.7 : Protocole de concassage des déchets de céramique sous forme sable 0/3 **78**

Figure II.8 : Déchets de coquillage **79**

Figure II.9 : Protocole de concassage des déchets de coquillage sous forme poudre **79**

Figure II.10 : Déchets de verre **80**

Figure II.11 : Protocole de concassage des déchets de verre sous forme poudre **80**

Figure II.12 : Déchets de marbre **81**

Figure II.13 : Protocole de concassage des déchets de coquillage sous forme sable **81**

Liste des figures

0/3

Figure II.14 : adjuvant utilisé TOMPO-10 **82**

Figure II.15: poudre de marbre **83**

Figure II.16 : Séquence de malaxage du béton de sable fluide **86**

Figure II.17 : procédure de malaxage au laboratoire **87**

Figure II.18 : Développement de l'essai d'étalement **87**

Figure II.19 : Mesure de la densité du béton **88**

Figure II.20: Conservation des éprouvettes **89**

Figure II.21 : Etalonnage et mesure du temps de parcours des ondes ultrasonores **89**

Figure II.22 : Essai de compression sur éprouvette béton **90**

Figure II.23: Le CT-mètre et ses composants **90**

Figure II.24 : Essai de l'absorption d'eau par capillarité **91**

Figure II.25 : Densité apparent **91**

Figure II.26 : Essai de porosité accessible à l'eau **92**

Figure II.27 : Variable étudier **93**

Figure III.1.a : Influence des déchets sur la fluidité de BSF. **96**

Figure III.1.b : dosage du super plastifiant et étalement des déchets **97**

Figure III.2 : Densité apparent du mélange BSF. **98**

Figure III.3 : ultrasonique des mélanges BSF **99**

Figure III.4 : la résistance a la compression F1 **100**

Figure III.5 : la résistance a la compression F2 **101**

Figure III.6 : la résistance a la compression F3 **101**

Liste des figures

Figure III.7 : conductivité thermique **103**

Figure III.8 : porosité accessible **104**

Figure III.9 : densité apparent des déchets **105**

Figure III.10 : absorption d'eau des déchets F1 **106**

Figure III.11 : absorption d'eau des déchets F2 **106**

Figure III.12 : absorption d'eau des déchets F3 **107**

Figure 1 : la fiche technique de ciment **119**

Figure 2 : la fiche technique de ciment **120**

Figure 3 : la fiche technique de l'adjuvent **121**

Notations et abréviations

Notations et abréviations

BSF Béton de sable fluide

BSFT Béton de sable fluide témoin

BSF1, 2,….18 Béton de sable fluide à base de déchets DG, DC, DM, PV, PQ.

CPA Ciment Portland Artificiel

CPJ Ciment Portland Composée

E/C Rapport eau sur ciment

R Résistance

Rc Résistance à la compression

SR Sable recyclé

SP Super plastifiant

NA Norme Algérienne

NE Norme Européenne

Mf Module de finesse

E Quantité d'eau

M Moment de flexion

L Liante

F Filaire

DG déchets de granite

DC déchets de céramique

DM déchets de marbre

PV poudre de verre

PQ poudre de coquillage

Introduction générale

Introduction générale

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

Ce travaille a pour objectif d'étudier l'effet de valorisation et recyclage des déchets industrielle (granite, céramique, verre, marbre) et des déchets biosources (coquillage) sur le comportement de béton sable fluide a l'états frais (étalement, densité apparent) et a l'états durci (la résistance a la compression, la densité apparent, la vitesse ultrasonique, la porosité, la conductivité thermique et l'absorption d'eau par capillarité).

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

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

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

-état frais (La densité apparent, étalement).

-état durci (La résistance à la compression, la porosité accessible, absorption d'eau par capillarité, la vitesse ultrasonique, la conductivité thermique, la densité apparent).

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

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

Chapitre I

Synthèse bibliographique



I.1.valorisation et recyclage des déchets

I.1.1. Introduction

Depuis le regroupement des sociétés humaines dans des villes et des villages, les activités quotidiennes ont été sources de rejets de déchets. Qu'il s'agisse des excréments produits par tout être humain ou par les animaux d'élevages, de restes d'aliments non consommés, de sous-produits de l'artisanat puis de l'industrie, de biens de consommation généralisés par l'évolution socioéconomique des dernières décennies, la ville a toujours cherché à gérer sa production de déchets solides et liquides.**[1]**

La notion de déchet recouvre aujourd'hui une réalité de plus en plus présente. Toujours plus nombreux en quantité, toujours plus importante et toujours plus difficile à faire disparaître, les déchets s'imposent parmi les réflexions politiques incontournables. La nature ou l'origine des résidus permettent de distinguer les catégories de déchets dont l'élimination sera encadrée par des réglementations distinctes. C'est aussi en fonction de la nature ou de l'origine des déchets que les différentes filières d'élimination devront être empruntées avec, comme priorité, de faciliter le recyclage et la valorisation. **[1]**



Figure I.1 : déches industriels **[3].**

I.1.2. définition de déches

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

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



Figure I.2 : les déches**.**

I.1.3. définition de valorisation

La valorisation des déchets est parfois appelée revalorisation des déchets ou encore recouvert en anglais. La loi du 13 juillet 1992 définit la valorisation comme « le réemploi, le recyclage ou toute autre action visant à obtenir, à partir des déchets, des matériaux réutilisables ou de l'énergie ».

La valorisation donne de la valeur aux déchets et s'oppose en cela à l'élimination. Il existe trois différents types de valorisation : la valorisation matière qui consiste à utiliser la matière

du déchet pour un nouveau processus de production ; la valorisation organique qui repose sur le compostage et la méthanisation ; la valorisation énergétique qui est faite via l'incinération de déchets et permet de créer de la chaleur qui est utilisée pour alimenter les systèmes de chauffage et d'électricité. **[4]**

I.1.4.Les différents modes de traitement des déchets

- **Le recyclage**

Ce procédé peut être défini comme la réutilisation d'un déchet, c'est un moyen de transformer des substances ou des matières en de nouvelles. Le but du recyclage est de limiter la consommation des ressources utilisées lors de la fabrication d'objets neufs. Cette méthode de traitement des déchets permet de réduire les volumes des déchets ainsi que leur pollution, c'est une manière de préserver les ressources naturelles en réutilisant les matières premières déjà existantes.

La réutilisation, une forme de recyclage, est une opération de traitement des déchets qui consiste à utiliser de nouveau des substances ou des matières, les déchets réutilisés peuvent l'être dans une activité différente de celle d'origine. La réutilisation peut être une opération de réparation ou de nettoyage pour valoriser le produit devenu un déchet, ce produit est à nouveau préparé pour pouvoir être utilisé sans autre opération de prétraitement. C'est une intervention simple qui permet la réutilisation de la matière ou de l'objet peu importe la nature de ce dernier et l'usage pour lequel il a été créé à l'origine. **[4]**

- **La régénération**

Ce processus de recyclage a pour but de redonner au déchet une partie de ses propriétés d'origine. Le traitement permet au déchet de retrouver ses performances originelles, le déchet peut à nouveau être utilisé pour des fonctions proches de ses fonctions d'antan. On utilise souvent la régénération pour les plastiques, les huiles, les solvants ou les gaz, des procédés de raffinage extraient la partie indésirable contenue dans le déchet, ce dernier est ensuite prêt à être réutilisé pour des fonctions similaires. **[4]**

- **Le réemploi**

Ce principe est très simple : le déchet est employé à nouveau pour une utilisation similaire pour laquelle il a été créé. Le réemploi permet de réutiliser un déchet pour allonger sa durée de vie, c'est par exemple le cas des bouteilles en verre, consignées. **[4]**

- **La valorisation énergétique**

Lorsqu'un déchet ne peut plus être exploité pour sa matière et qu'il n'est pas recyclable, il existe une autre solution : la valorisation énergétique. Le déchet est transformé en énergie comme la chaleur, l'électricité ou le carburant. Cette solution se substitue aux énergies fossiles

La valorisation dans son ensemble, dont le but est que des déchets soient utilisés en substitution à d'autres matières ou produits, est aussi un type de traitement des déchets. Cependant, le traitement des déchets n'est pas le même suivant leur nature. **[4]**

I.1.5.les type des déchets

Notre société produit une multitude de déchets que l'on peut classer en plusieurs catégories :

- **les déchets municipaux**

Ils regroupent l'ensemble des déchets dont la gestion relève de la compétence de la collectivité (mairie, communauté de communes, etc.).

Cette catégorie de déchets comprend ainsi les ordures ménagères en mélange (ensemble des déchets produits par l'activité quotidienne des ménages), les déchets ménagers collectés séparément (recyclables), les déchets d'activités économiques assimilés aux déchets ménagers, les encombrants des ménages, les déchets collectés en déchetteries et les déchets dangereux des ménages. **[5]**

- **Les déchets industriels**

Déchets de l'activité industrielle ne suivant pas la filière d'élimination des ordures ménagères (art. R541-8 du Code de l'Environnement). On trouve dans cette catégorie des déchets industriels banals (DIB), des déchets industriels dangereux (ancien DIS) et des déchets industriels inertes. **[5]**

- **les déchets du BTP**

Ils regroupent l'ensemble des déchets produits par les activités de travaux du bâtiment. **[5]**

- **les déchets nucléaires**

Ils nécessitent des techniques de précautions particulières vis-à-vis de la protection de l'environnement, ainsi que pour le transport et le stockage. **[5]**

- **les déchets des activités de soins (DASRI)**
- **les déchets hospitaliers**

DASRI et autres déchets dangereux (chimiques et toxiques). **[5]**

- **les déchets agricoles**

Déchets résultant de l'agriculture, de la sylviculture et de l'élevage. **[5]**

- **les déchets ultimes**

Déchets qui ne sont plus valorisables, ni par recyclage, ni par valorisation énergétique, ne pouvant plus être traités dans les conditions techniques et économiques du moment.

Ils sont alors réglementairement les seuls à pouvoir être enfouis (cf. art. L541-1 du Code de l'Environnement).

Il faut traiter tous ces déchets de diverses origines et compositions, en les recyclant, en les incinérant ou les enfouissant, dans le respect de normes en vigueur. **[5]**

I.1.6. Différents déchets utilisés en génie civil

En général les déchets sont classés en cinq catégories comme illustrés ci –dessous ; bien que les déchets utilisables en génie civil soient les déchets inertes, les déchets ménagers et les sous produits industriels dans des conditions spécifiques. **[6]**

- **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

Caractère industriel.



Figure I.3 : déchets industriel dangereux **[8].**

- **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. **[7]**



Figure I.4 : déchets inertes **[9].**

- **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. **[6]**



Figure I.5 : déchets toxiques **[10].**

- **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.) **[6]**



Figure I.6 : poudre de : verre, marbre, granite, céramique **[11].**

- **Déchets ménager et assimilés**

Ce type de déchets regroupe : **[6]**

- 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.



Figure I.7 : déchets ménager **[12].**

- **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. **[6]**



Figure I.8 : déchets industriels banals (D.I.B.) **[13].**

I.2.verre et déchets de verre

I.2.verre

I.2.1.Introduction

Le verre, dans le langage courant, désigne un matériau ou un alliage dur, fragile (cassant) et transparent au rayonnement visible. Le plus souvent, le verre est constitué d'oxyde de silicium (silice SiO2) et de fondants, le constituant principal du sable de manière scientifique, le verre est défini comme un matériau amorphe (c'est-à-dire non cristallin) présentant le phénomène de transition vitreuse. En dessous de cette température de transition qui est très élevée, le verre se présente à l'état vitreux. **[16]**

I.2.2.Définition

Le verre est un matériau solide transparent, homogène et cassent. Il résiste au faut et au contacte bien de pratiquement tout les liquide et solide connu. **[14]**



Figure I.9 : déchets de verre **[29].**

I.2.3.Composition

La composition chimique du verre sont représenté dans la figure suivant : **[15]**



Figure I.10 : composition chimique du verre **[15].**

I.2.4.Type de verre

On distingue plusieurs types de verre tel que : **[16]**

- verre plat
- verre « float »ou verre flotté
- verre à vitre
- verre imprimé et armé
- verre moulé
- verre étiré
- verre trempé
- verre feuilleté.

I.2.5.Fabrication de verre

La fabrication du verre est l'un des sous secteurs des miroirs. C'est un procédé qui consiste à mélanger de la silice avec des fondants comme la chaux ou la soude. Le but est de baisser la température. Après avoir ajouté de l'eau et de moucheron, le mélange est porté à une température de 1550 degré. **[14]**

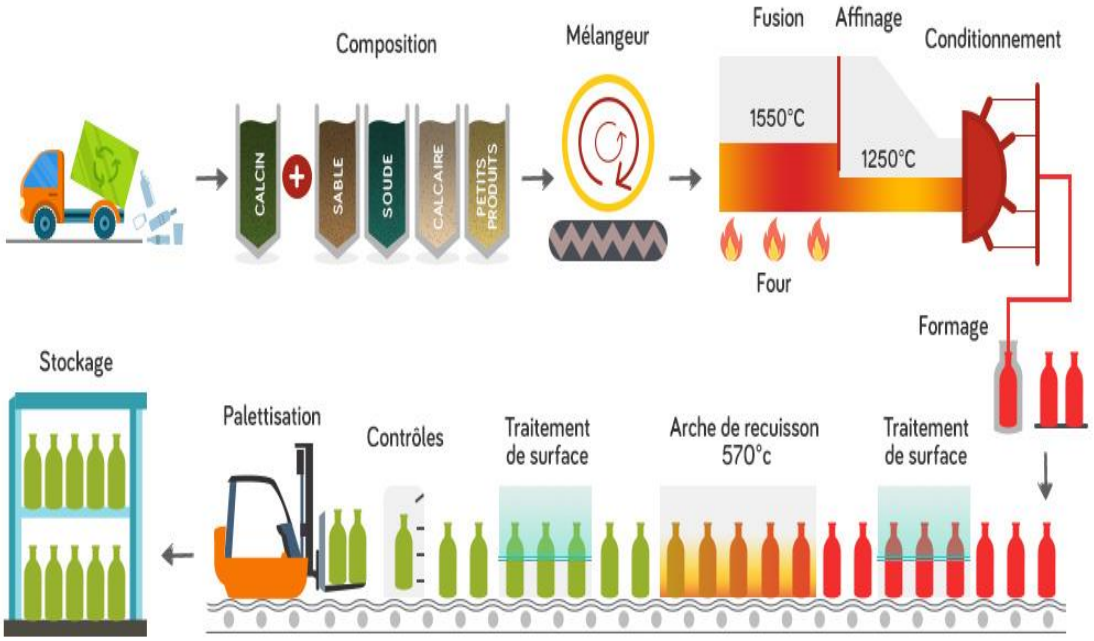


Figure I.11 : Les étapes de fabrication du verre **[30].**

I.2.6.Type de sable pour fabrique du verre

Apportez du sable de silice. Aussi appelé sable de quartz, le sable de silice est l'ingrédient de base de la fabrication du verre. Le verre, qui ne contient pas d'impuretés de fer, est utilisé pour fabrique des objets en verre transparent. En effet, les particules de fer donnent au verre une teinte verdâtre**. [16]**

I.2.7.Propriétés

Les différentes propriétés de verre sont : **[17]**

a) Propriétés physiques

- La transparence : mais il peut être opaque ou opalescent.
- La dureté : seuls les diamants et le carbure de tungstène le rayent. Le verre le plus dur est le verre de Bohème et le cristal est le plus tendre.
- La densité : elle dépend des composants ; elle est d'environ 2,5. Cela signifie qu'un mètre cube pèse environ deux tonnes et demie ou qu'une feuille d'un mètre carré et d'un millimètre d'épaisseur pèse 2,5 kg.
- La résistance et l'élasticité : la cassure du verre est liée à sa flexion et à sa résistance au choc. Il casse là où le métal se tord. Contrairement, sa résistance à la compression est importante : il faut une pression de 10 tonnes pour briser un centimètre cube de verre.
- L'imputrescibilité : il ne se putréfie pas.
- L'imperméabilité : elle est extrêmement grande mais le verre reste poreux pour certains liquides comme le kérosène ; on dit « qu'il sue ».

b) Propriétés thermiques

- La dilatation : c'est un très mauvais conducteur de chaleur. Il se brise s'il subit un brusque changement de température car les différentes parties du verre ne se réchauffent pas en même temps. Son coefficient de dilatation est faible, ce qui lui confère de nombreuses applications : il sert d'isolant thermique (laine de verre). On retrouve presque les mêmes coefficients que certains métaux d'où l'exécution de soudures verre-métal. Ce coefficient varie selon la composition.

- La conductivité : il est mauvais conducteur (environ 500 fois moins que le cuivre); on l'utilise comme isolant électrique. C'est aussi un bon isolant acoustique suivant l'épaisseur de la feuille. Ceci n'est pas le cas à chaud car il devient conducteur à partir de 250°C.

- Il est ininflammable et incombustible.

c) Propriétés chimiques

- L'action de l'eau : l'eau agit sur les silicates qui, en se décomposant, forment un dépôt en surface qui devient peu à peu opaque ; le verre perd de sa transparence.

- L'action de l'air : les silicates alcalins se combinent avec l'acide carbonique contenu dans l'air ce que donne un dépôt blanchâtre à la surface du verre.

- L'action de la lumière : exposés aux ultraviolets, certains verres se colorent ou se décolorent.

- L'action des acides : ils décomposent la silice, le plus rapide est l'acide fluorhydrique qui permet de graver en profondeur le verre plaqué. Le verre peut donc être dissout.

I.2.8. les avantages et les inconvénients de verre

1. Les Avantages

- Le verre qui absorbe ou transmet la lumière peut être transparent, ce qui ajoute une beauté extraordinaire au bâtiment.
- Le verre à une surface lisse et brillante, il est donc résistant à la poussière et se nettoie facilement.
- Ce type de porte ne gonfle pas de l'exposition à l'humidité
- C'est un excellent isolant contre l'électricité. Il est impossible de conduire un courant électrique sous l'influence d'un champ électrique.
- Disponibles en plusieurs couleurs et lorsque nous combinons la feuille de verre en unités laminées ou isolées, leur couleur et leur apparence changent.
- Les portes intérieures à panneaux de verre ajoutent lumière, richesse, charme et beauté à toutes les portes de votre maison

- Le verre a la capacité de rendre la structure plus attrayante, sophistiquée et ajoute de la beauté au bâtiment. Il est utilisé pour réaliser la vue architecturale pour la décoration externe. **[18]**

2. Les inconvénients

- La fabrication du verre est un processus qui consomme beaucoup d'énergie en raison de la température élevée requise pour traiter les matières premières. Il s'agit d'un matériau coûteux qui augmente en fin de compte le coût d'un bâtiment
- En cas de choc violent, les portes intérieures en verre sont facilement cassées, pensez au double vitrage
- Le verre absorbe la chaleur et agit donc comme une serre et ne convient donc pas dans les climats chauds, Cela augmentera la charge en courant alternatif et une plus grande considération énergétique pour la climatisation.
- Le verre est médiocre en termes de conservation de la chaleur, ce qui entraîne des coûts plus élevés pour le fonctionnement des climatiseurs. **[18]**

I.2.9.Influence de déchets de verre sur le comportement des matériaux a bas cimentaires

Maniabilité

Hongjian Du et al.ont montré que la fluidité de mortier est diminue en fonction de substitution de 25%,50% 75% et 100% du sable normale par le déchet de verre recyclé. **[67]**

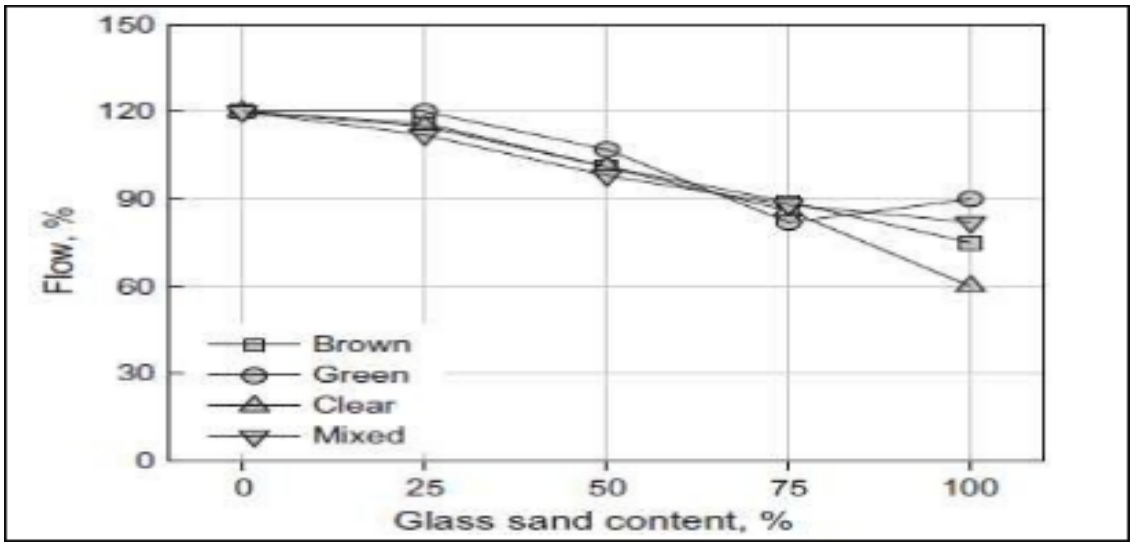


Figure I.12 : La fluidité de mortier de verre **[67].**

- **la densité**

Kiang Hwee Tan et al. Ont trouvées aussi que la densité du mortier est diminue en fonction de substitution de 25%,50% 75% et 100% du sable normale par le de verre recyclé. La dégression est estimé à 97%, 96%, 95% et 97% pour des 25%,50%75% et 100%. Ils ont expliqués cette chute par le poids spécifique du verre incorporés qu'est plus faible que celle du sable substitué. **[68]**

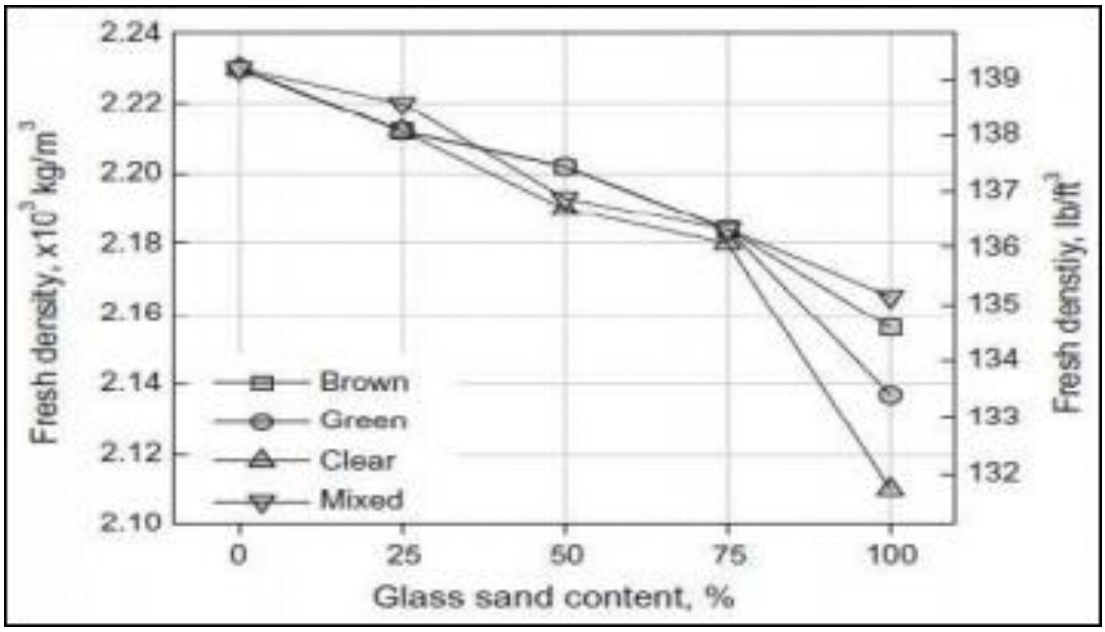


Figure I.13 : la densité fraîche de mortier de verre **[68].**

- **La résistance a la compression**

SHAYAN et al.ont trouvées que la substitution de 30% de sable par du verre fin a donnait de meilleures résistances que des mélanges témoins sans verre ou avec 10% ou 20 et 30% de substitution de ciment par la fumée de silice et le verre respectivement. **[69]**

Batayneh et al. Ont constatés que la résistance à la compression est diminue en fonction de substitution du sable par le déchet de verre recyclé**. [70]**

- **La résistance a la traction**

Kiang Hwee Tan et al. Ont trouvés que la résistance à la traction est diminuée en fonction d'augmentation du pourcentage de déchets de verre **[68]**

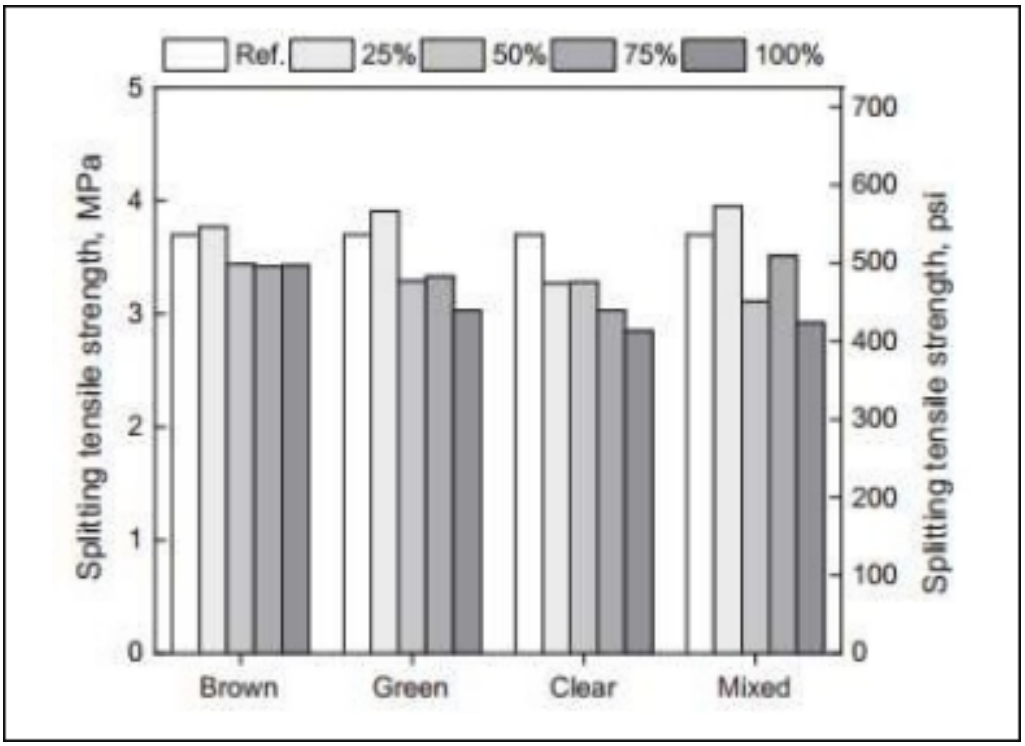


Figure I.14 : Fractionnement la résistance à la traction de mortier de verre **[69].**

Park et all, ont conclue qu'il y a une légère diminution de la résistance à la traction par fendage de mortier en fonction d'augmentation du pourcentage de déchet de verre. **[71]**

I.3.Coquillage et déchets de coquillage

I.3.Coquillage

1.3.1 Introduction

Une coquille est le squelette externe d'un mollusque. La majorité des mollusques à coquille se trouve dans la classe des gastéropodes comme les escargots, et dans celle des bivalves comme les huîtres. Trois autres classes de mollusques sécrètent systématiquement une coquille : les scaphopodes (dentales), les polyplacophores (chitons) et les monoplacophores. C'est aussi le cas pour la quasi-totalité des céphalopodes, même si elle est parfois réduite et recouverte par le manteau (« os » des seiches ou « plume » des calmars). Elle n'est absente chez l'adulte que dans un assez petit nombre de cas : certaines limaces, la plupart des opisthobranches, certaines pieuvres1, ainsi que deux groupes de mollusques atypiques, les solénogastres et les caudofovéates, autrefois regroupés pour cette raison dans la

classe des aplacophores.Une subdivision de la malacologie, l'étude des mollusques, la conchyliologie, est consacrée à l'étude des mollusques à coquille. **[19]**

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.

I.3.2.Définition

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.



Figure I.15 : coquillage **[24].**

On parle de coquillage principalement dans deux domaines :

- dans l'alimentation, les coquillages sont un des principaux types de fruit de mer : ce sont des coquillages, et la plupart d'entre eux appartiennent au groupe des bivalves
- dans la vie de tous les jours, 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 **[20]**

I.3.3.les types des coquillages

On distingue plusieurs types de coquillage tel que : **[21]**

- **Les bivalves**

Composés en deux coquilles s'articulant autour d'une charnière et reliées par un ligament.

Il existe plusieurs familles, dont :

- a)Coques
- b) Coquilles Saint-Jacques & pétoncles
- c) Huîtres
- d) Moules
- e) Amandes de mer
- f) Couteaux
- g) Palourdes, clams, praires, vernis, telline



Figure I.16 : les bivalves **[25].**

- **Les gastéropodes**

Ont une coquille d'une seule pièce, souvent enroulée en spirale. On y trouve notamment les familles suivantes : **[21]**

- a)Ormeaux
- b) Bigorneaux
- c) Bulots



Figure I.17 : les gastéropodes **[26].**

- **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. **[21]**



Figure I.18 : les céphalopodes **[27].**

I.3.4.Composition du Coquillages

Le coquillage est constituée d'un assemblage intime et complexe de carbonate de calcium ($CaCO_3$; 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 ($CaCO_3$ et matrice organique) seront traités dans deux paragraphes distincts.

- **A) Constituant "calcaire"**

&é 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 $CaCO_3$, 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. **[22]**

- **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). **[22]**

I.3.5.Recyclage

Dans la démarche de valoriser ces déchets coquillés : huîtres, bulots, palourdes, moules, quelques étapes de tri sont à respecter avant le broyage des coquillages.

Dans un premier temps, il faut trier. Les coquillages que l'on retrouve dans les entreprises de valorisation sont accompagnés de cordelettes, sacs plastiques, morceaux de citron ou encore de rince-doigts.

Ensuite, les coquilles sont séchées dans un four afin d'éliminer les problèmes microbiologiques avant d'être concassées de plusieurs tailles. **[23]**

I.3.6.Les coquillages dans les cultures humaines

La fascination des hommes pour les reflets irisés des coquillages et leurs formes variées, n'est pas nouvelle. Depuis très longtemps, les coquillages sont aussi utilisés pour réaliser des bijoux, des objets décoratifs, des outils, de la monnaie… et cela, un peu partout dans le monde. Car les coquillages sont généralement résistants tout en étant faciles à tailler. Certains possédaient même naturellement des formes adaptées au quotidien des humains, pouvant servir tels quels de bol, de baignoire ou de fonts baptismaux. Les coquillages qui présentent des bords coupants étaient utilisés comme couteaux ou scies. Les Mayas pouvaient aussi utiliser la nacre dans des implants dentaires.

Du fait de leur forte teneur en carbonate de calcium, les coquillages étaient utilisés pour régénérer les os, stimuler la reconstruction de la peau, améliorer la digestion et le

fonctionnement rénal, combattre l'arthrite, les rhumatismes, renforcer l'état des femmes enceintes et contribuer à une bonne conception du bébé.

Pour celles et ceux qui souhaitent collectionner les coquillages, sachez que leurs couleurs sont sensibles à la lumière du soleil. Voilà pourquoi les teintes de ceux que l'on trouve sur les plages sont généralement passées et bien moins chatoyantes que celles des coquillages vivant au fond des mers. Sachez aussi que l'on ne peut pas cueillir n'importe quel coquillage librement : une législation précise protège ces animaux. **[24]**



Figure I.19 : utilisation du coquillage.

I.3.7.Influence 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.

- **Etats frais**

- **La maniabilité**

Safi et al. 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. **[72]**

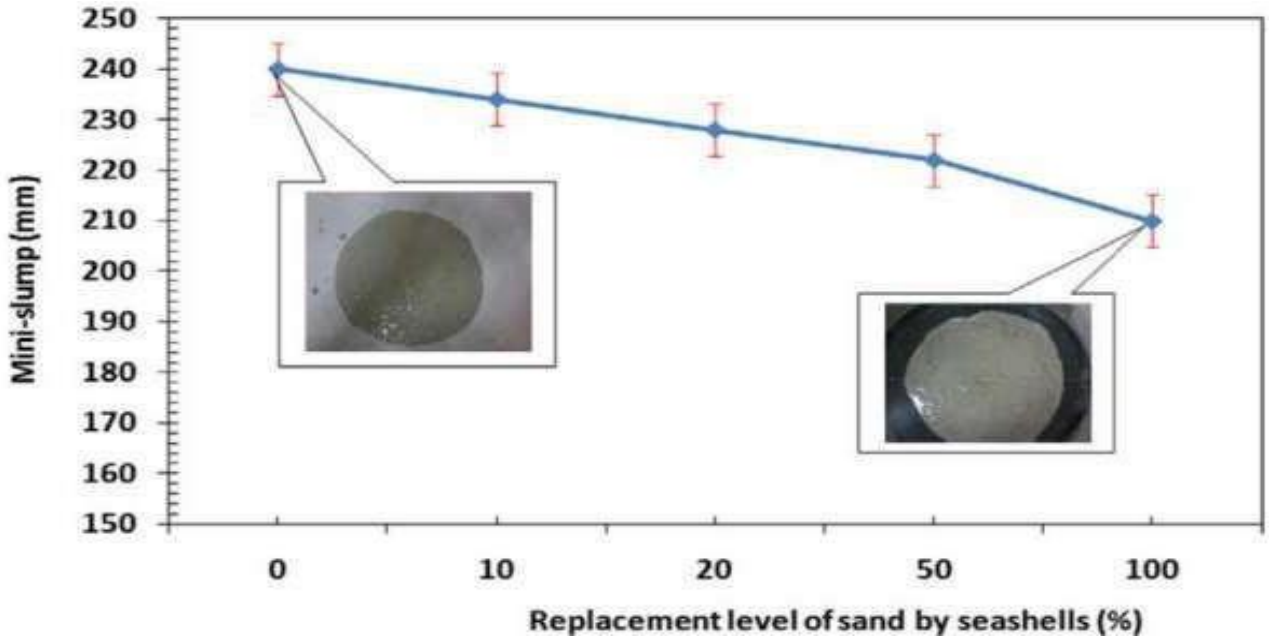


Figure I.20 : Influence de déchets de coquillage sur la fluidité du mortier auto plaçant **[72].**

- **La densité**

Soltanzadehet al. Ont étudié l'influence de substituions de clinker par le déchet de coquillage sur la densité du ciment. Ils ont trouvé que plus le pourcentage de coquillage augmente plus la densité diminue **[73]** .Ce résultat confirme les résultats de Nguyen et al**. [74]**

Safi et al. Ont constaté que la densité de mortier auto plaçant 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. **[72]**

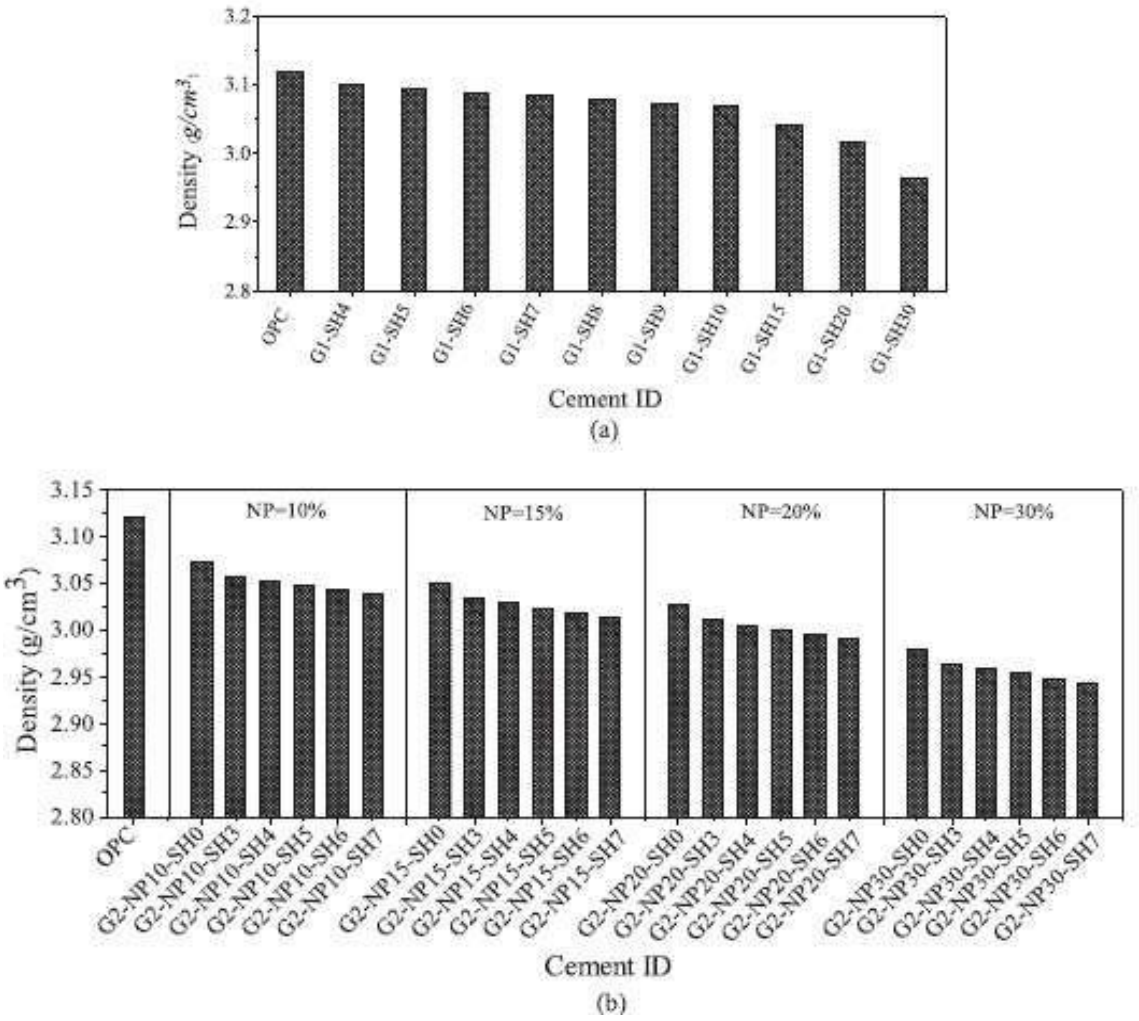


Figure I.21 : Influence de substitution de ciment par le coquillage sur la densité de ciment **[73].**

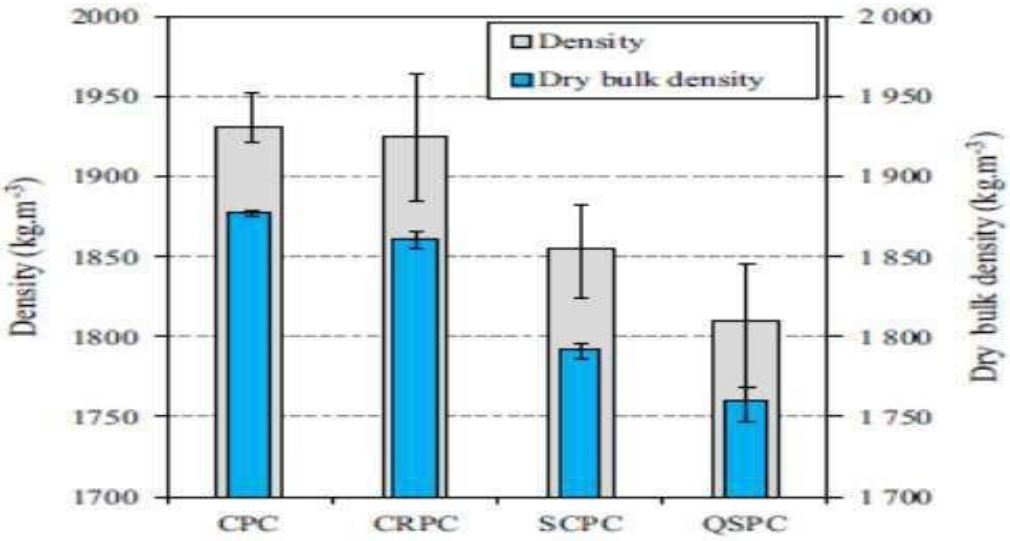


Figure I.22 : Effet de déchets de coquillers sur la densité de béton **[74].**

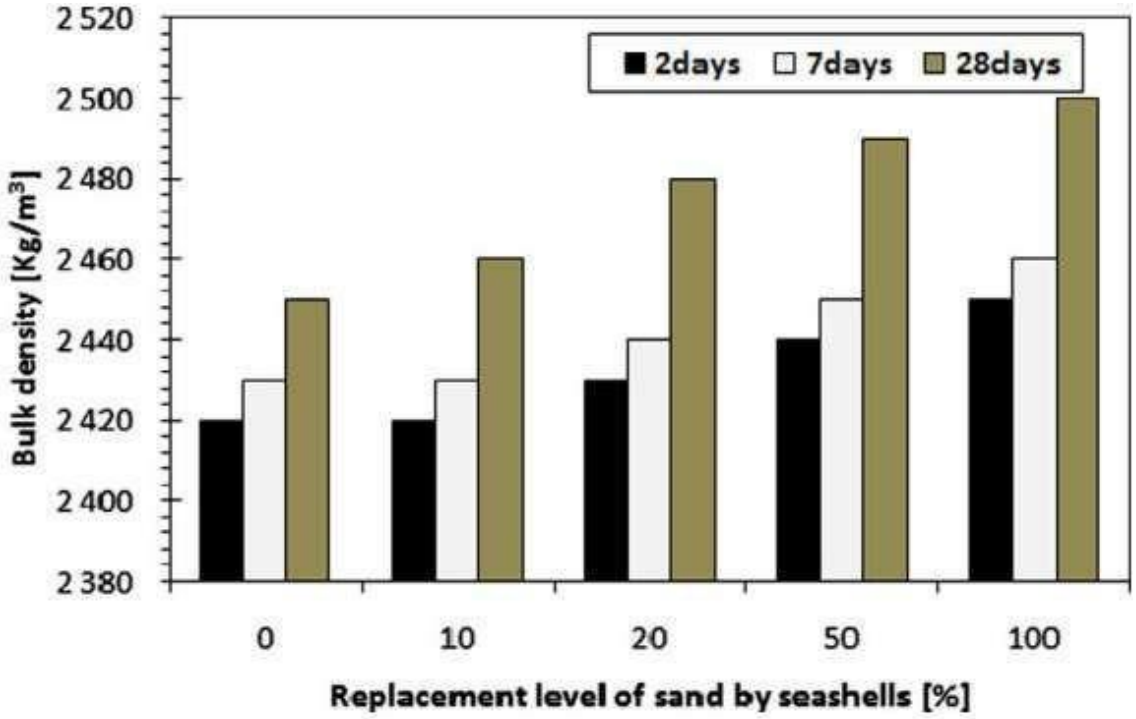


Figure I.23: Influence de la substitution de sable par le coquillage sur la densité de MAP **[72].**

❖ **Etat durci**

La porosité

Nguyen et al ont constaté que la porosité du béton ordinaire est augmentée en fonction de substitution de granulat naturel par le déchet de coquillage. **[74]**

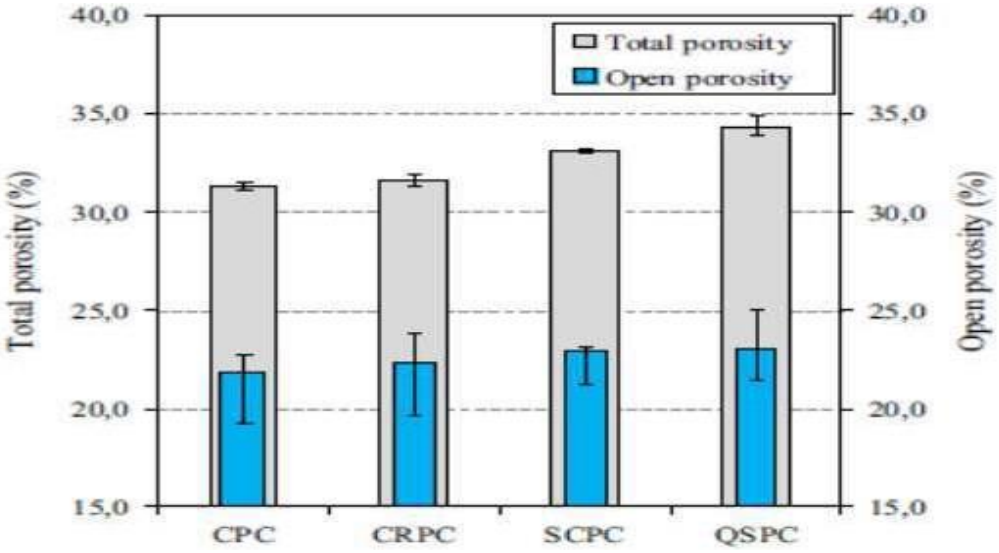


Figure I.24: Effet de sable de coquillage sur la porosité du béton ordinaire **[74].**

- **La résistance à la compression et la flexion**

Safi et al. Ont trouvé que la résistance à la compression et à a flexion de mortier auto plaçant est diminuée légèrement en fonction d'augmentation du pourcentage de coquiller. **[72]**

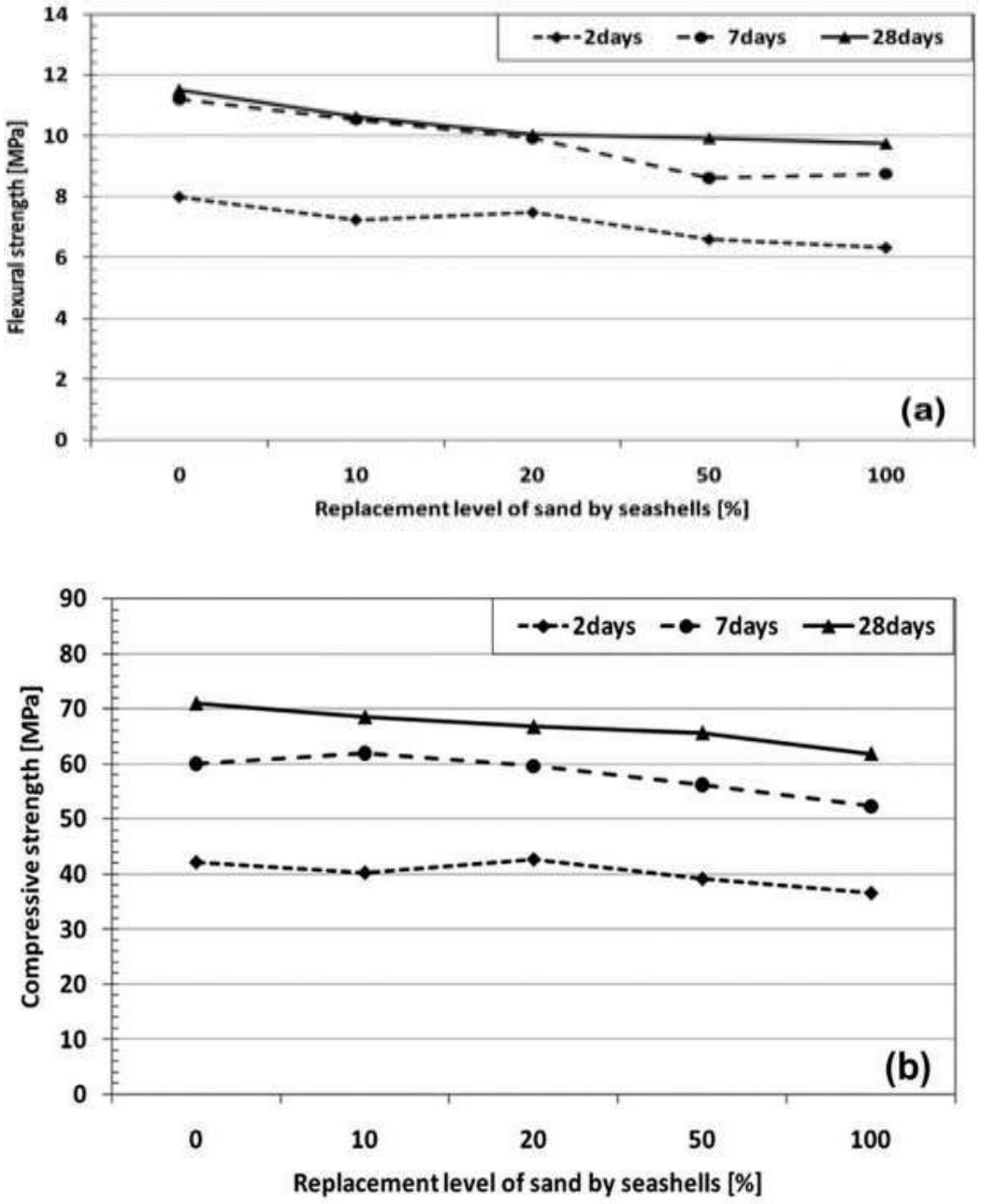


Figure I.25: Influence de substitution de sable par le coquillage sur la Rc et Rt de MAP **[72].**

Nguyen et al .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. **[74]**

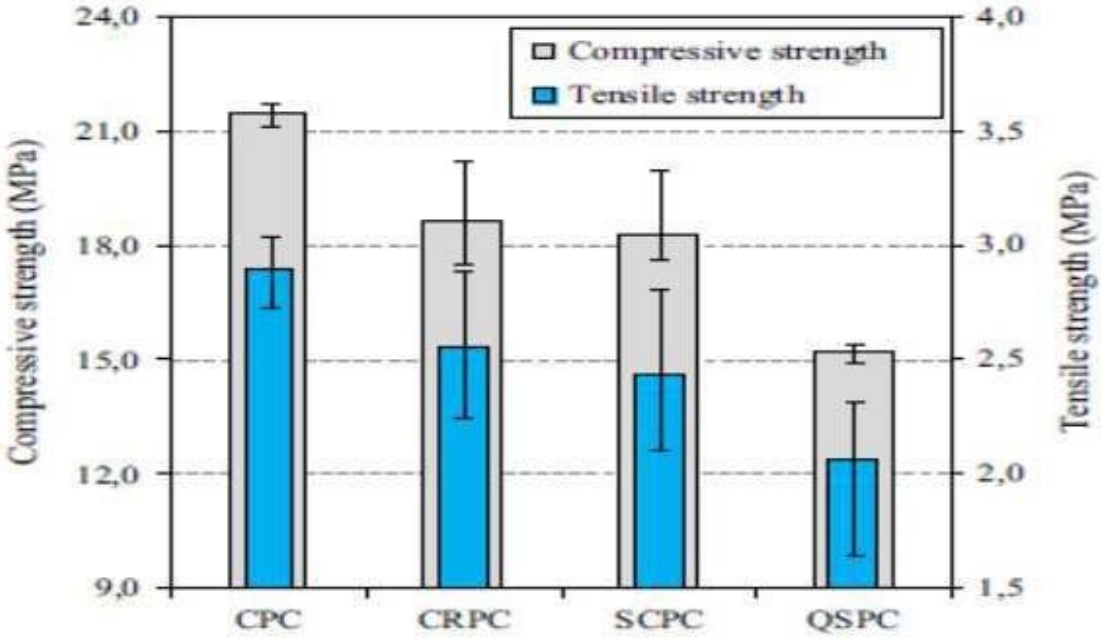


Figure I.26 : Effet de sable de coquillage sur la résistance à la compression du béton ordinaire **[74].**

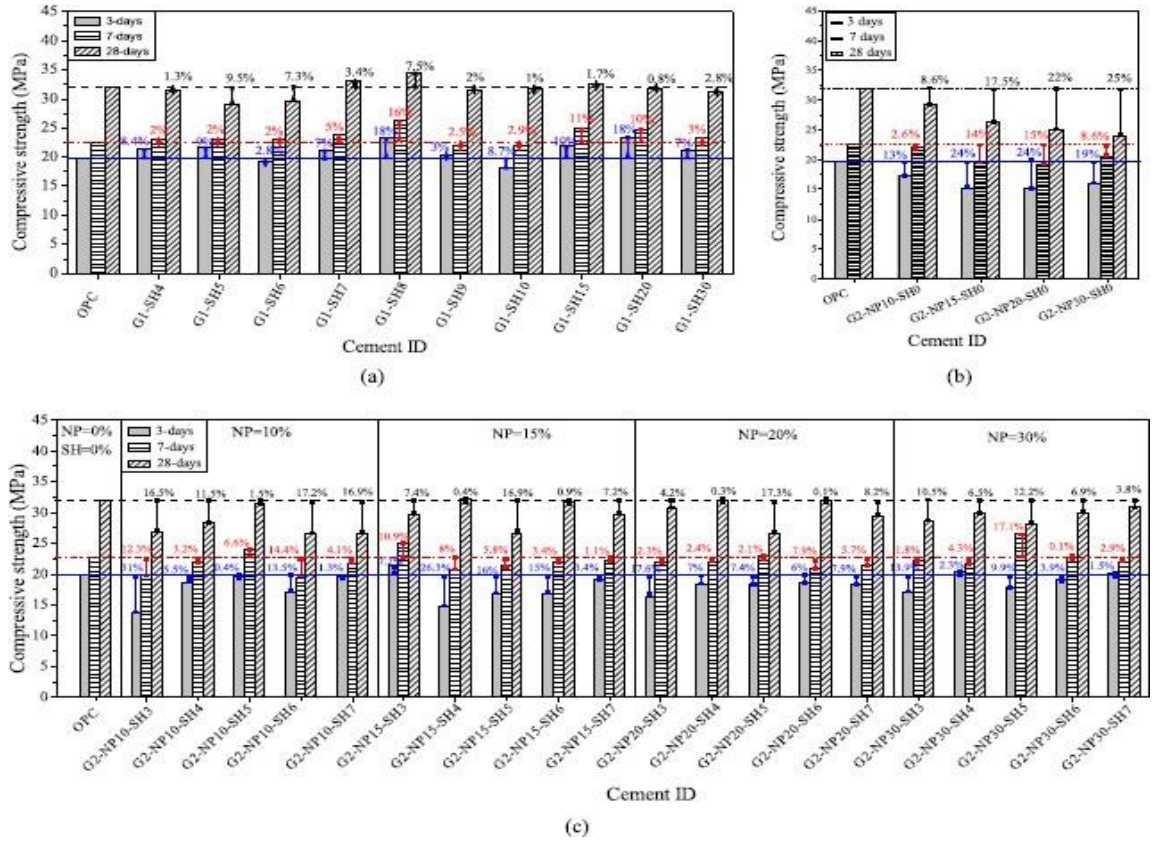


Figure I.27 : Influence de substitution de ciment par le coquillage sur la Rc de ciment **[73].**

Soltanzadehet al. Ont étudié l'influence de substituions de clinker par le déchet de coquillage sur la résistance mécanique du ciment. Ils ont trouvé une amélioration de la résistance mécanique en fonction d'augmentation de déchets de coquillage.

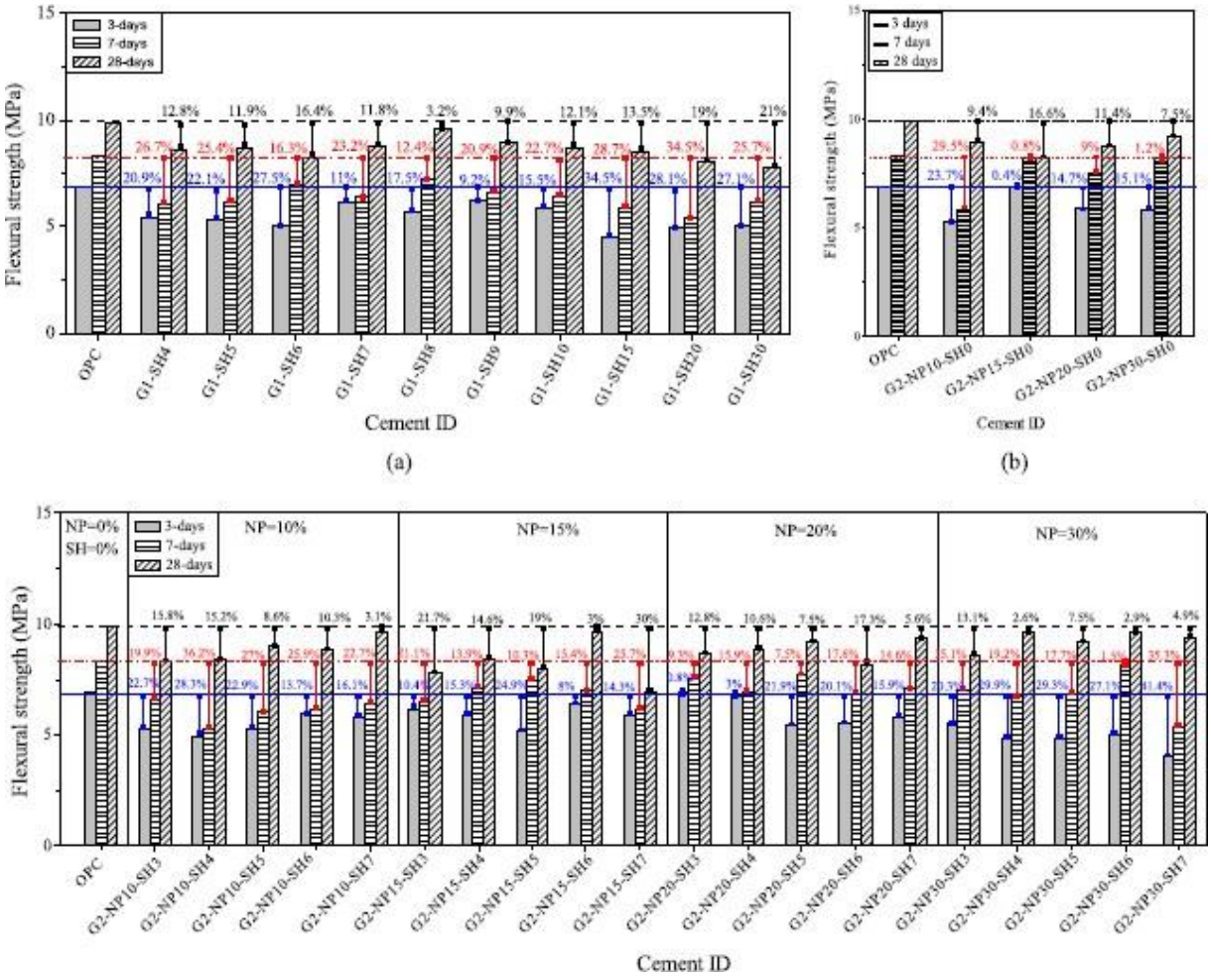


Figure I.28 : Influence de substitution de ciment par le coquillage sur la Rt de ciment **[73].**

- **Le module d'élasticité**

Comme les résistances mécaniques Safi et al. Ont constaté que le module d'élasticité de mortier auto plaçant est diminué légèrement en fonction d'augmentation du pourcentage de coquillers**. [75]**

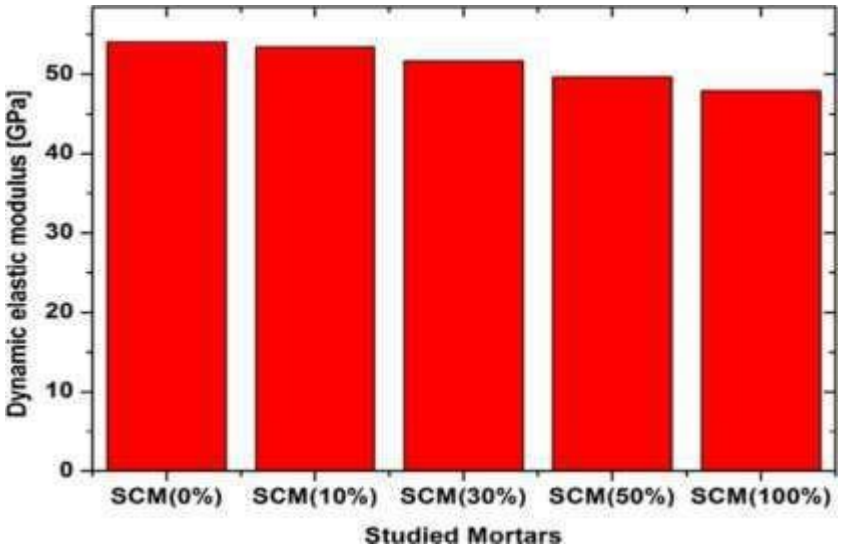


Figure I.29 : Influence de substitution de sable par le coquillage sur le module d'élasticité de MAP **[71].**

I.4 Céramique et déchets de céramique

I.4. Céramique

I.4.1. Définition

On peut définir les céramiques comme étant 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 de verre. **[31]**



Figure I.30 : déchets de céramique **[28].**

I.4.2. Historique

L'art de fabriquer des poteries en modelant et en cuisant l'argile a été pratiquée par les civilisations les plus anciennes, et d'ailleurs l'examen des objets en terre cuite relevés au cours des fouilles est l'un des meilleurs outils dont disposent les archéologues. La poterie remonte à au moins 15.000 ans avant notre ère ; elle est devenue une industrie en Égypte depuis -5.000 ans et l'usage du kaolin est avéré en Chine depuis -4.000 ans au moins.

Le domaine des céramiques est traditionnellement lié à ceux des verres et des ciments. De façon semblable, la fabrication de verres à base de silicates est également très ancienne. Les verres naturels tels que l'obsidienne ont été utilisés depuis l'âge de pierre et les premières vitres ont été fabriqués vers -12.000 ans. Au contraire, l'industrie du ciment est bien plus récente. Les Égyptiens avaient utilisé le calcaire calciné, autrement dit la chaux, pour fabriquer des mortiers ; plus tard, les Romains combinèrent la chaux avec les cendres volcaniques pour obtenir un véritable ciment hydraulique. L'industrie des ciments, telle que nous la connaissons, ne date guère qu'un siècle. [**32]**

I.4.2. Types de céramique

On distingue plusieurs types de céramique tels que :

- **a)Terre cuite**

Argile façonnée, cuite à basse température et n'ayant reçu aucune glaçure ; l'objet lui-même obtenu de cette façon.

La terre cuite est l'élément de base de la poterie, apparue au néolithique. Dès l'Antiquité, elle joue un rôle important : décors architectoniques, statuettes (Tanagra), statuaire étrusque, vases. Au Moyen Âge puis à partir de la Renaissance c'est un matériau privilégié du sculpteur et du portraitiste (G. Pilon, Coyzevox, Clodison, Houdon, Carpeaux, etc.).**[89]**



Figure I.31 : terre cuite **[44].**

- **a.1) Les terres cuites vernissées**

Ce sont des terres cuites de même composition que les précédentes, mais dont la surface est recouverte d'un vernis ou d'un léger émaillage qui les protège contre l'humidité. Les carreaux de terre cuite vernissée sont ainsi d'entretien plus facile, mais leur teinte naturelle est parfois modifiée par le vernissage. **[33]**



Figure I.32 : terre cuite vernissée **[45].**

- **a.2) Les terres cuites réfractaires**

Par une addition de quartz au mélange de base, on obtient un produit résistant aux agents chimiques et aux températures élevées. Les terres cuites réfractaires servent à la fabrication de briques spéciales destinées aux revêtements intérieurs des foyers de cuisinières, fours ou barbecues. **[34]**



Figure I.33 : terre cuite réfractaire **[46].**

- **b) La brique**

Pierre artificielle ayan la forme d'un parallélépipède rectangle, fabriqué à partir d'une pate d'argile pétrie, moulée, séchée puis cuite au four (brique cuite). **[35]**

c.)Les faïences

Les faïences sont des terres cuites recouvertes en surface d'un émail qui les rend imperméables aux liquides. La fabrication s'effectue en deux stades : d'abord établissement et cuisson de l'objet, appelé alors "biscuit de faïence", puis émaillage et nouvelle cuisson pour durcir le décor. Suivant la composition de la pâte et la nature de l'émaillage, on obtient des faïences différentes. Elles servent à l'exécution de poteries culinaires, de vaisselle plus ou moins décorée, d'appareils sanitaires ou de carreaux de revêtement. Si par émaillage la faïence est rendue imperméable, elle reste toutefois fragile et sensible aux brusques changements de température. C'est pourquoi les carreaux de faïence, qui offrent un choix de couleurs et de motifs variés, ne sont utilisés qu'en revêtement mural. Faciles à entretenir, ils ne sont pas attaqués par les acides et ne se rayent que difficilement. Ils sont couramment employés pour protéger les murs des locaux humides (salles de bains, cuisines, etc.) ou pour créer une note décorative sur une table ou sur un plan de travail. En principe, ils résistent à la chaleur, veillez cependant à ne pas les exposer à une température trop élevée qui ferait fissurer l'émail et enlèverait au carreau ses qualités d'étanchéité**. [36]**

d) Les grès

Ils sont composés d'une pâte argileuse, additionnée de minéraux riches en feldspath. Ce mélange est cuit à une température voisine de 1300 °C, température à laquelle les fondants, ainsi que le feldspath, provoquent la vitrification de la pâte. C'est ce phénomène qui assure au grès son imperméabilité, sa bonne résistance aux chocs et aux agents chimiques et sa très grande dureté (il raye le verre).

Ces qualités permettent de l'employer dans l'équipement ménager (plats de cuisson, vases, etc.), mais aussi dans l'équipement des habitations : tuyaux d'écoulement d'appareils sanitaires ou revêtements de sols et de murs. Les grès se présentent sous différentes formes. **[37]**

- **d.1) Carreaux de grès ordinaire ou grès cérame**

Étant donné sa dureté, un carrelage de grès cérame est pratiquement inusable. Sa non porosité le rend insensible aux taches, et, comme il n'absorbe pas l'eau, il ne craint pas le gel. Il peut donc être utilisé à l'extérieur pour recouvrir une loggia, une terrasse ou même une piscine.

Employé surtout pour les sols, il peut revêtir les murs avec la même endurance ; son entretien est pratiquement nul**. [38]**

- **d.2) Carreaux de grès émaillé**

De même composition que le grès cérame, les carreaux de grès émaillé présentent une surface émaillée comme s'il s'agissait d'un carreau de faïence. L'apport d'oxydes métalliques permet d'obtenir des nuances variées qui n'existent pas dans le grès cérame naturel. La surface émaillée est parfois trop lisse et trop brillante pour un emploi en revêtement de sol. On préfère, dans ce cas, une utilisation murale, d'autant plus qu'il existe une très grande variété de couleurs et de motifs sur le marché. [**39]**

- **d.3) Carreaux de demi-grès**

La conception de base est la même que pour le grès cérame, mais la cuisson s'effectue à une température plus basse (1100 °C), ce qui n'assure qu'une vitrification partielle de la pâte.

Le produit obtenu est légèrement moins dur qu'un grès cérame et il est parfois légèrement poreux, c'est la raison pour laquelle il est préférable de ne pas l'utiliser comme revêtement extérieur. Les dimensions des carreaux de grès sont très variables. Suivant le type de revêtement à exécuter (sol ou mur), on peut disposer de petits éléments de 1 à 2 cm de côté, de carreaux ayant sensiblement les cotes d'un carreau de faïence, ou de dalles carrées ou rectangulaires d'une surface plus imposante. **[40]**

- **e) Les mosaïques**

Le terme "mosaïque" définit non pas un produit, mais un assemblage d'éléments de petites dimensions formant une fresque ou reproduisant un dessin. Par extension, on désigne par ce terme les carrelages réalisés à l'aide de petits éléments de 1 à 5 cm de côté. Suivant la forme de ces éléments, l'assemblage peut être. **[41]**

I.4.3. Composition

La composition de céramique résume dans le tableau suivant :

Tableau I.1 : composition de céramique **[42].**

Composition	Argile (%)	Kaolin (%)	Feldspath (%)	Craie (%)	Talc (%)	Quartz (%)
Grès	**80**	-	-	-	-	**20**
Faïence	**50**		**20**	**20**	**20**	**30**
Porcelaine dure	**3**	**42**	**25**	**5**	-	**25**
Vitreuse	**50**	-	**25**	-	-	**25**

I.4.4. Classification des produits céramiques

On peut classer les céramiques selon leur application, selon leur mode d'élaboration et la forme finale et selon leur composition chimique :

-Selon leur application.

-Selon leur mode d'élaboration et la forme finale.

-Selon leur composition chimique. **[42]**

I.4.5. Propriétés de céramique

Le choix d'un matériau céramique face aux métaux ou aux plastiques s'impose lors de conditions d'utilisation extrêmes : température, pression, corrosion, et ce d'autant plus si ces conditions sont simultanées ou prolongées dans le temps. Céramie se positionne sur le segment des céramiques techniques et structurelles à base d'oxydes, principalement l'alumine et la zircone. Les propriétés typiques d'un matériau céramique présentent les avantages suivants :

Haute résistance à l'usure, à la chaleur, à la pression et aux attaques chimiques (gaz et liquides), dureté élevée, très bon isolant électrique et matériau relativement léger. Le choix de la matière première s'effectue, au cas par cas, en fonction des performances attendues, tout en optimisant les coûts de fabrication. Les économies sont d'autant plus sensibles que la fabrication est répétitive, même pour un nombre élevé de pièces à produire. La mise en forme

se fait par compaction de poudre, permettant ainsi d'obtenir des pièces proches des dimensions finales, sans usinage. Céramie diminue par conséquent le nombre d'opérations secondaires onéreuses.

La densification se réalise dans des fours à haute température (>1'500°) au cours de l'étape de frittage. Des tolérances dimensionnelles ou géométriques extrêmes (de l'ordre du micron) peuvent naturellement être obtenues par un usinage complémentaire, respectivement un enlèvement de matière par abrasion à base de diamant. **[43]**

I.4.6. Fabrication de céramique

La fabrication des produits céramiques s'effectue dans différents types de fours, à partir d'un vaste éventail de matières premières et dans des formes, dimensions et couleurs extrêmement nombreuses. Le procédé global de fabrication d'un produit céramique est toutefois relativement uniforme, en dehors du fait que la fabrication des carreaux pour sols et murs, de la vaisselle et des objets décoratifs (céramiques domestiques), des appareils sanitaires et des céramiques techniques passe fréquemment par un procédé de cuisson en plusieurs étapes. **[43]**

I.4.7. Les étapes de fabrication de céramique

- Stockage et transport des matières premières
- Préparation des matières premières
- Façonnage/formage des produits
- Séchage des produits céramiques
- Traitement de surface et décoration des produits céramiques Cuisson
- Traitements ultérieurs (finition des produits)
- Ajout de matériaux auxiliaires
- Triage, conditionnement et stockage. **[43]**

I.4.8. Les avantages et les inconvénients de céramique

Les céramiques présentent plusieurs avantages tels que :

1. Les Avantages

- Résistance a la corrosion.
- résistance a l'usure.

- Résistance a l'endommagement.
- Résistance a la dégradation thermique.
- Résistance chimique.
- Résistance en compression.
- Isolation thermique & électrique. **[43]**

2. Les Inconvénients

Les céramiques présentent plusieurs inconvénients tels que :

- Tolérances dimensionnelles difficiles à contrôler pendant le traitement.
- Faible tension.
- Faible résistance aux chocs.
- Peut se fissurer quand il est touché avec des objets lourds. **[43]**

I.4.9.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. **[76]**

❖ **Etats frais**

La maniabilité

Abadou et al 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 .Ce résultat confirme les résultat de plusieurs autres chercheurs .**[76.78.79]**

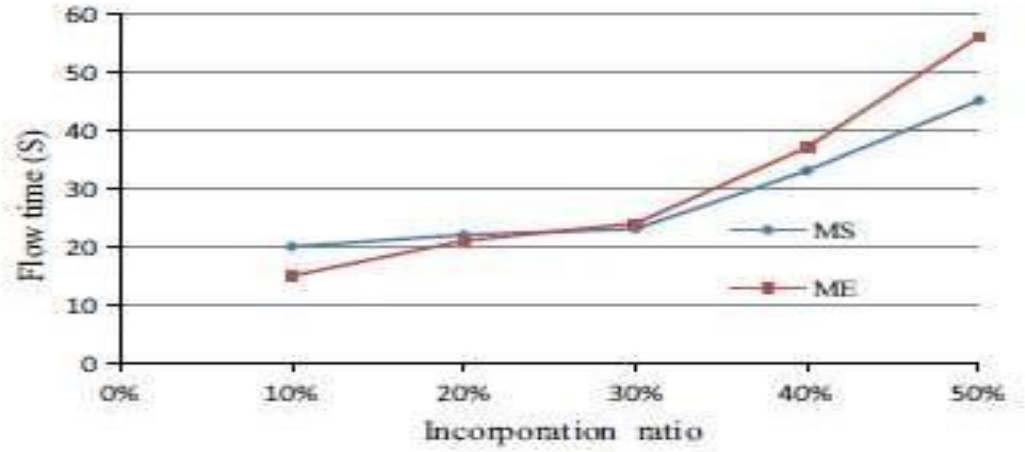


Figure I.34 :L'effet de déchets céramique rouge sur la fluidité des mortiers **[77].**

- **La densité**

Alves et al. 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. **[79]**

Plusieurs auteurs [**80.81.82]**. 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.

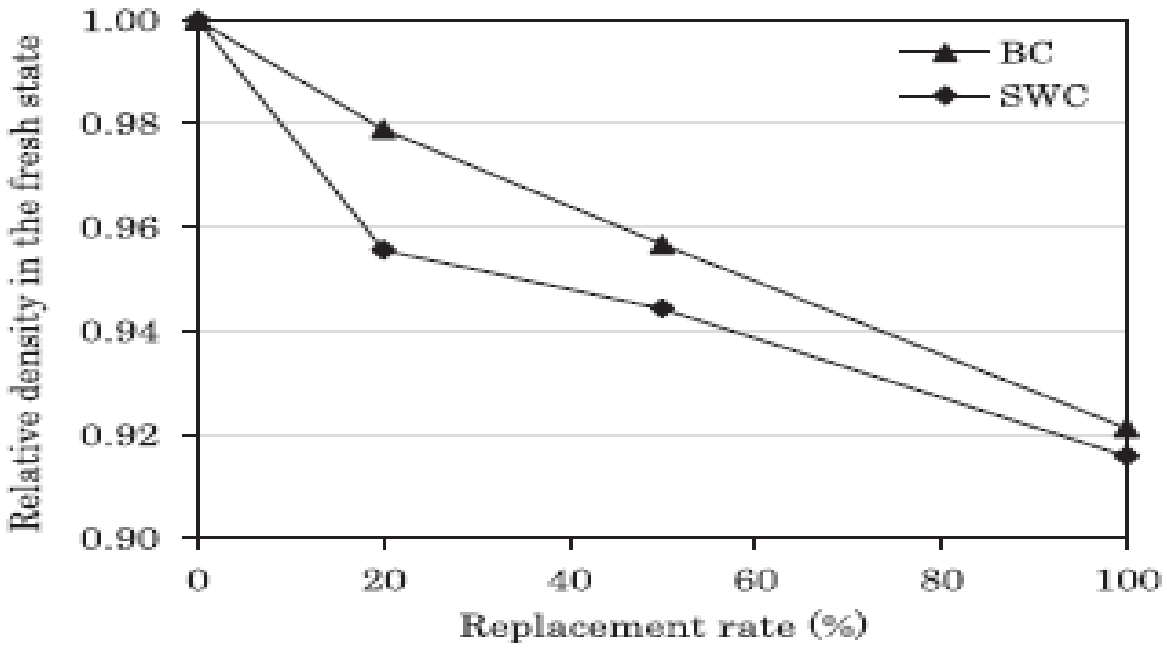


Figure I.35 : L'effet de déchets céramique sur la densité de béton **[79].**

❖ **Etats durci**

La résistance à la Compression

Abadou et al. 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.**[77]**

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 **[76.78.79],** Pitarch et al [**83**] 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).

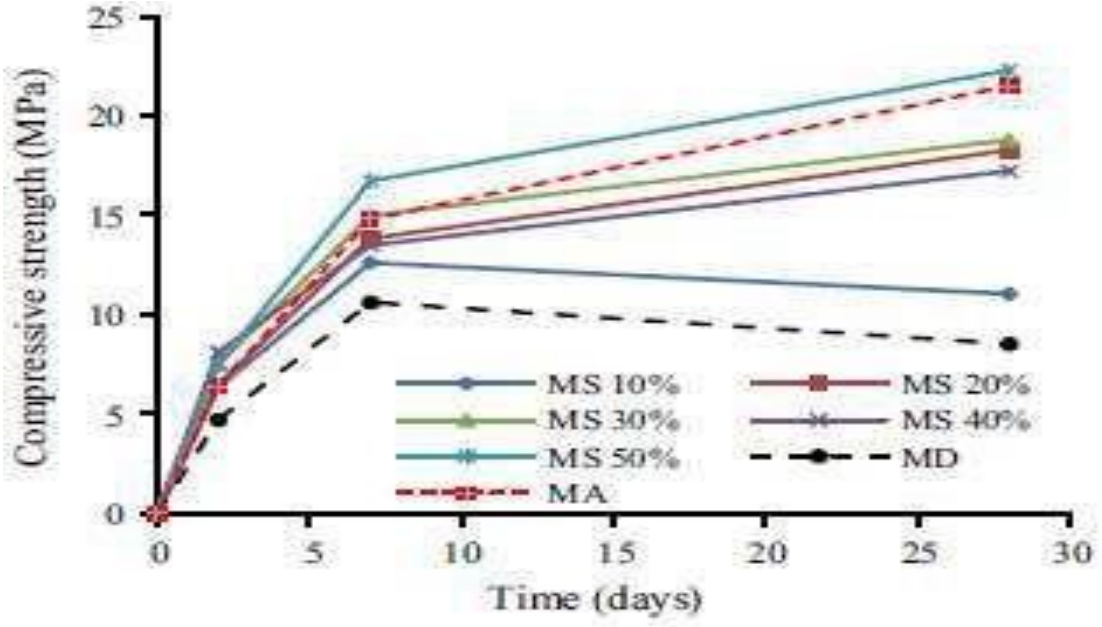


Figure I.36:L'effet de déchets céramique rouge sur la fluidité des mortiers **[77].**

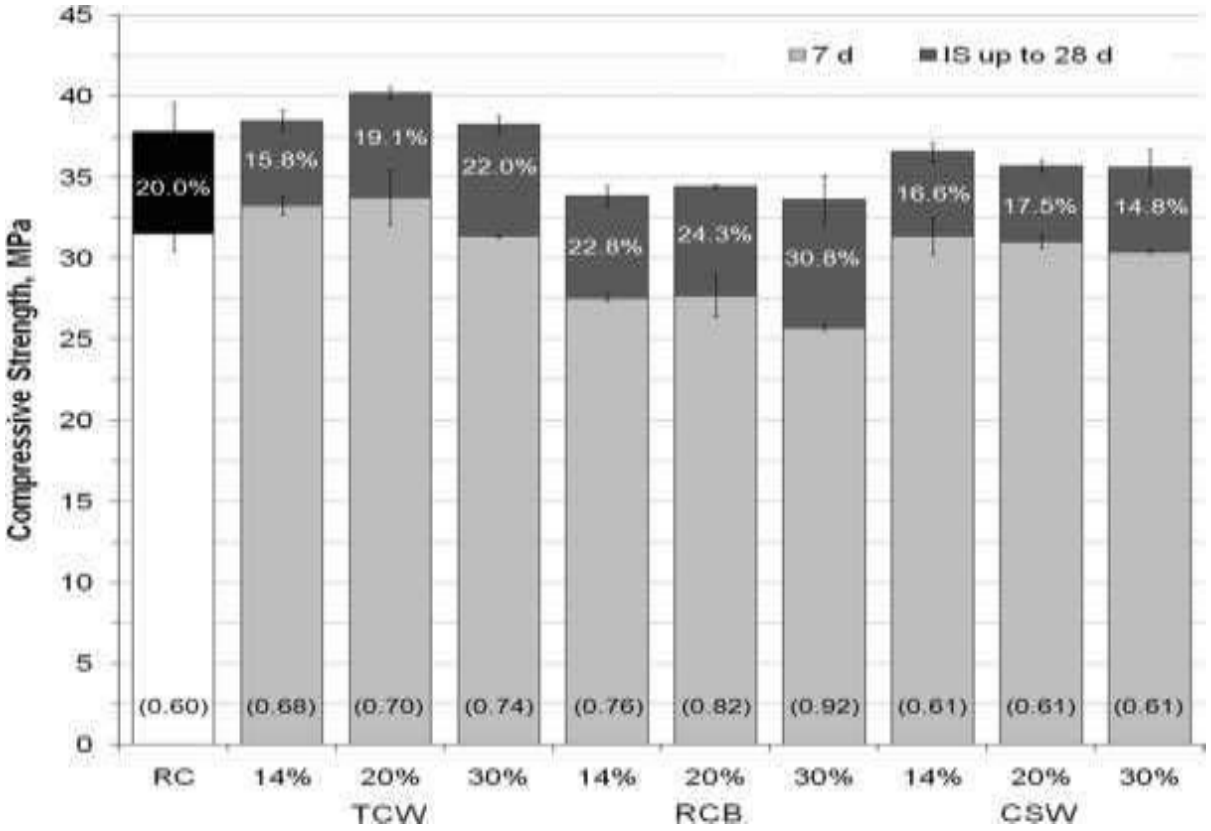


Figure I.37 :L'effet de déchets céramique rouge sur la Rc du béton **[82].**

- **La résistance à la flexion**

Bommisetty et al. Ont constaté que la résistance à la flexion est augmentée en fonction de substitution de 5%,10%,15% ,20% et25% du granulat naturel par des déchets de céramique et passe par un optimum de 20%.**[83]**

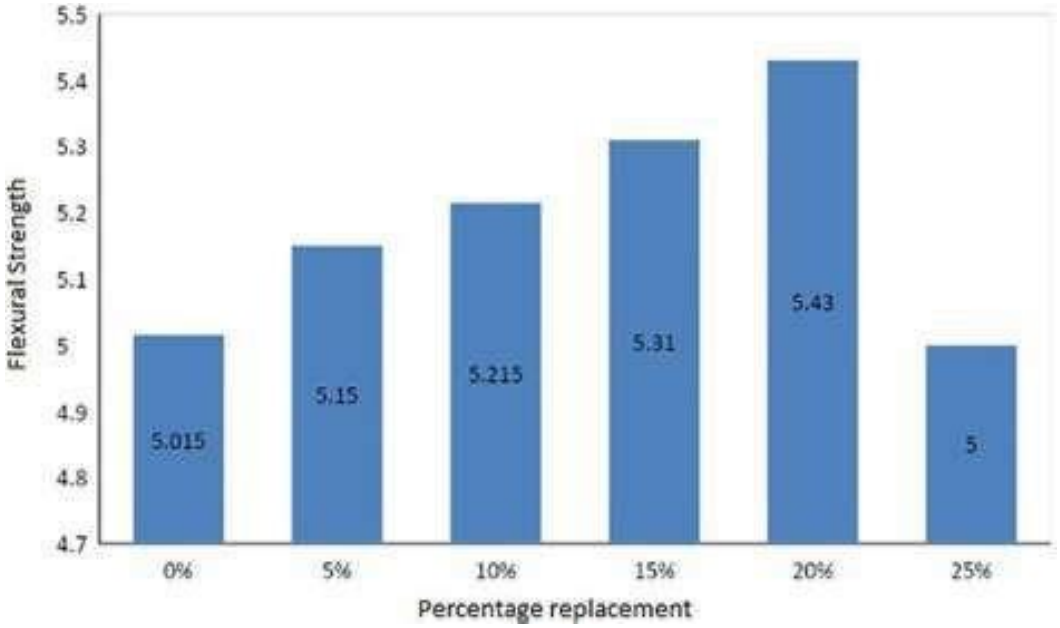


Figure I.38 :L'effet de déchets céramique rouge sur la Rt du béton **[84].**

- **Module d'élasticité**

Abadou et **[77]** al. 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. **[83.84]**

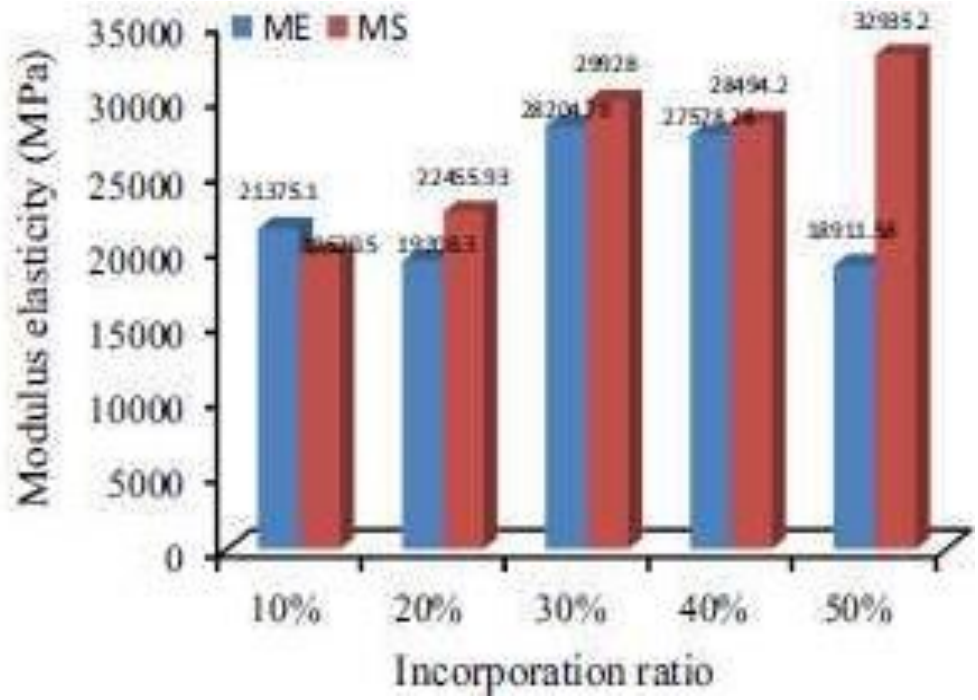


Figure I.39:L'effet de déchets céramique rouge sur le module d'élasticité du mortier **[76].**

I.5.Granite et déchets de granit

I.5.Granite

I.5.1.Définition

Le granit est la roche intrusive la plus courante de la croûte continentale terrestre. Il est connu comme une pierre ornementale marbrée de rose, de blanc, de gris et de noir. Il est de grain grossier à moyen. Ses trois principaux minéraux sont le feldspath, le quartz et le mica, qui se présentent sous forme de muscovite argentée ou de biotite foncée ou les deux. Parmi ces minéraux, le feldspath prédomine et le quartz représente généralement plus de 10 %. Les feldspaths alcalins sont souvent roses, ce qui donne le granit rose souvent utilisé comme pierre décorative. Le granit cristallise à partir de magmas riches en silice situés à des kilomètres de profondeur dans la croûte terrestre. De nombreux gisements minéraux se forment à proximité de corps granitiques cristallisants à partir des solutions hydrothermales que ces corps libèrent. **[47]**



Figure I.40 : déchets de granit **[49].**

I.5.2.composition de granite

Composition chimique des granites

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

Figure I.41 : composition chimique des granites **[50].**

I.5.3.les types de granite

La couleur du granit dépendant de la nature du sol, elle se décline en une large palette de teintes : **[48]**

- **les granits gris qui proviennent en majorité du Tarn, et pour certains de Bretagne**



Figure I.42 : déchets de granit gris **[51].**

- **les granits noirs, extraits en Bretagne ou importés d'Afrique, d'Inde ou de Chine**



Figure I.43 : déchets de granit noir **[52].**

- **les granits roses et veinés que l'on trouve en Bretagne, en Espagne, au Brésil, en Inde, en Chine et en Russie**



Figure I.44 : déchets granite rose **[53].**

- **les granits bleus, issus majoritairement de Scandinavie, d'Inde ou de Russie.**



Figure I.45 : bloc de granite bleu **[54].**

I.5.4.Où le trouve

Jusqu'à présent, on sait qu'on ne le trouve sur Terre qu'aussi abondant sur tous les continents que dans la croûte continentale. Cette roche se trouve en petites masses souches de moins de 100 km² ou dans des batholites faisant partie de massifs montagneux orogéniques. Avec l'autre continent et les roches sédimentaires, forment généralement la pente souterraine de base. On le trouve également dans les laccolites, les tranchées et les seuils. Comme dans la composition granitique, les autres variations rocheuses sont les alpidés et les pegmatites. Adhésifs avec une granulométrie plus fine que celle rencontrée aux limites des attaques granitiques. Les pegmatites plus granulaires que le granite partagent généralement des gisements de granite. **[47]**

I.5.5.Production de granit

Il est extrait dans le monde entier, mais la plupart des couleurs exotiques proviennent de gisements de granit au Brésil, en Inde, en Chine, en Finlande, en Afrique du Sud et en Amérique du Nord. L'extraction de cette roche est un processus à forte intensité de capital et de main-d'œuvre. Les morceaux de granit sont retirés des gisements par des opérations de découpe ou de projection. Des trancheuses spéciales sont utilisées pour couper les morceaux extraits du granit en assiettes portables, qui sont ensuite emballées et transportées par chemin

de fer ou par des services maritimes. La Chine, le Brésil et l'Inde sont les principaux fabricants de granit au monde. **[47]**

I.5.6.Influence des déchets granite sur les propriétés des matériaux cimentaires

- **Etat frais**

  - **Maniabilité**

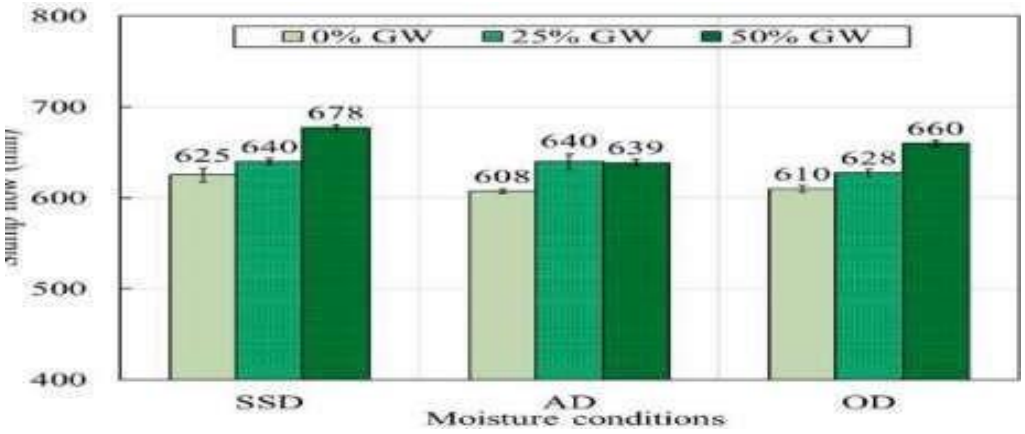


Figure I.46 : La maniabilité de béton à base de déchets de granite **[85].**

Peem Nuaklong et al **.**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. **[85]**

- **Etat durci**

  - **La résistance à la compression**

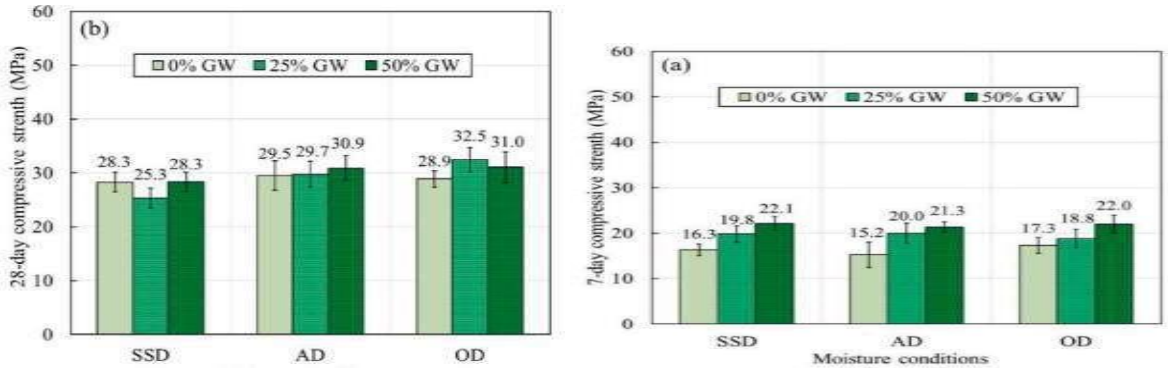


Figure I.47 : La résistance à la compression de béton à base de déchets de granite avec (a) 7 jours, (b) 28 jours **[85].**

La figure I.46 présente les résultats des tests de résistance à la compression pour divers mélanges de béton géo polymère. La résistance à la compression sur 7 jours variait entre 15,2 et 22,1 MPa. Les résultats présentés que la force du jeune âge augmentait avec l'augmentation de la teneur en déchets de granit. Le béton géo polymère 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 la pâte de géo polymère et les particules de granit de forme angulaire.

I.6.Marbre et déchets de marbre

I.6.Marbre

I.6.1.Définition de marbre

Le marbre est une roche métamorphique dérivée du calcaire, existant dans une grande diversité de coloris, pouvant présenter des veines, ou marbrures (veines et coloris sont dus à des inclusions d'oxydes métalliques, le plus souvent). Certains types de marbres portent des noms particuliers, par exemple le cipolin ou la griotte. Certains marbres, comme le vert antique, composés de calcaire et de serpentines, sont des ophicalces. Le mot vient du latin marmor. La sensation de froid que l'on a en touchant du marbre, bien qu'étant à la température ambiante, est due à sa forte effusivité thermique. **[55]**



Figure I.48 : déchets de Marbre **[57].**

I.6.2.Histoire

Longtemps, de l'Antiquité (Pline) au XVIII^{e} siècle, il a été cru que le marbre était une matière vivante qui, même, recomblait les excavations des carrières et toutes les roches destinées à la sculpture étaient appelées improprement marbres. **[55]**



Figure I.49 : Le Grand Trianon en 2009 **[60].**

I.6.3.Composition

Le marbre désigne un carbonate de calcium à tissu compact ou cristallin qui se laisse rayer et réagit aux acides plus ou moins siliceux ou argileux, il se présente en épaisseur homogène ou diversement mélangée à d'autres matières, sa densité est élevée en moyenne de 2,7.

Les marbres, au sens géologique, correspondent à des calcaires métamorphisés. - C'est pourquoi ils sont souvent clairs (comme les calcaires). On y observe très souvent des veines un peu plus sombres , qui correspondent à des impuretés, des argiles… - Le chimisme de la roche d'origine étant essentiellement du carbonate de calcium CaCO3, au cours du métamorphisme, si le calcaire est très pur, on ne pourra pas former les minéraux « classiques du métamorphisme » qui nécessitent dans la roche d'origine la présence de silice d'aluminium… Les marbres sont très utilisés pour la sculpture, dans l'architecture. **[56]**.

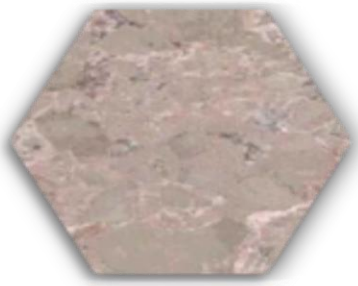
I.6.4. type de marbre

La classification des marbres se fait selon la teinte et le dessin : outre le marbre blanc, il existe des variétés bleues, roses, beiges, grises, jaunes, rouges, vertes, violettes ou noires, etc. On classe aussi les roches marbrières géologiquement**: [56]**

- **BRÈCHE :** roche formée de fragments anguleux, enrobés de ciment naturel. o
- **TRAVERTIN :** calcaire d'origine lacustre présentant des trous.
- **ONYX :** (souvent translucide) marbre constitué de carbonate ou sulfate de chaux s'accumulant par infiltrations à travers les couches du sol.
- **ARDOISE :** schistes argileux ayant subi un léger métamorphisme, ils se fendent naturellement en couches minces.
- **LAVE :** basalte de couleur gris foncé pouvant contenir des petits trous dus à la présence de gaz dans la lave, souvent rebouchés.

FOREST BROWN **EMPERADOR** **BRECHE DORE**





CREME MARFIL **BOTTICINO** **BLANC STRIE**

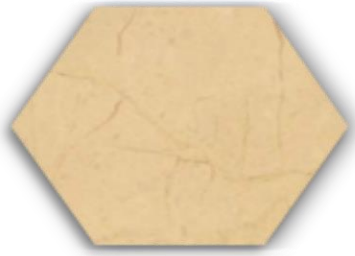






Figure I.50 : Les types de marbre **[58].**

I.6.5.Les propriétés

- **Durable** :

Le marbre est l'une des pierres durable entre toutes les pierres naturelles. Il garantit toujours la longue durée de vie des éléments construire avec du marbre.

- **Résistance à la chaleur :**

Le marbre est l'une des pierres une meilleure résistance à la chaleur parmi les toutes les pierres naturelles. Cela garantit également la température uniforme à l'intérieur de la maison.

- **Résistance au feu :**

Résistance au feu Marbre être le rend idéal pour la maison et la construction de bureaux. En cas d'accident le feu à la maison, le marbre assure moins de dégâts. **[58]**

I.6.6. le meilleur marbre du monde

Le marbre de Carrare est l'un des plus blancs et des plus purs au monde. Extrait de la montagne à Fantiscritti, en Italie, dans les Alpes, c'est un matériau noble qui a plus de valeur que tout autre marbre. Le marbre de Carrare est le plus célèbre et le plus cher des marbres du monde. **[59]**

I.6.7.Où vient le marbre

Le marbre s'est formé à partir d'un calcaire qui s'est déposé sur le fond des mers il y a entre 330 et 380 millions d'années. Ces dépôts, peu à peu, ont alors formé des îles hercyniennes. **[59]**

I.6.8.Influence des déchets granite sur les propriétés des matériaux cimentaires

- **L’ouvrabilité**

Houria Hebhoub et al. **[86]** Ont étudié l’influence de substitution du (25%,50%,75% et 100%) du sable par la poudre de marbre sur l’ouvrabilité du béton. Ils ont constaté que l’affaissement est diminué en fonction d’augmentation du pourcentage de marbre jusqu’à 75%

Naamaoui et al. **[87]** ont trouvé que l’étalement d’un BAP est augmenté en fonction d’augmentation du pourcentage de poudre de marbre.

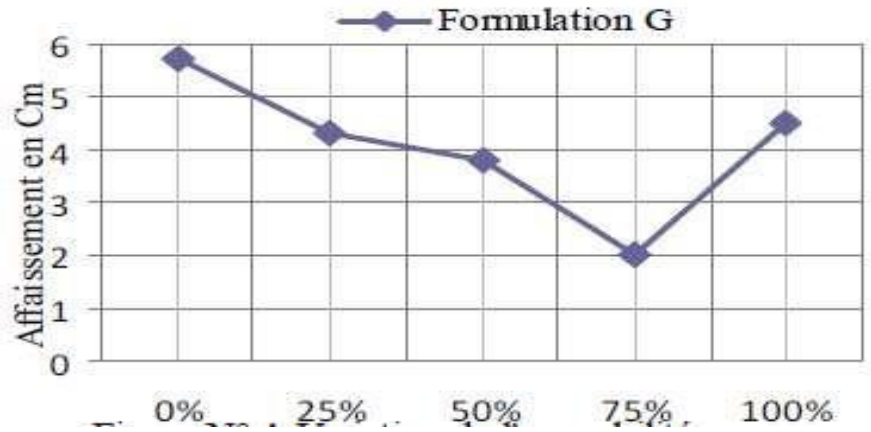


Figure I.51 : l'affaissement au cône d'Abrams en fonction de pourcentage de substitution de la poudre de marbre **[86].**

- **Densité**

Houria Hebhoub et al. **[86]** Ont étudié l'influence de substitution du (25%,50%,75% et 100%) sable par la poudre de marbre sur la densité du béton vibré. Ils ont trouvé que la densité est diminuée en fonction d'augmentation du pourcentage de marbre. C'est mêmes résultats trouvées par Naamaoui et al **[87].**

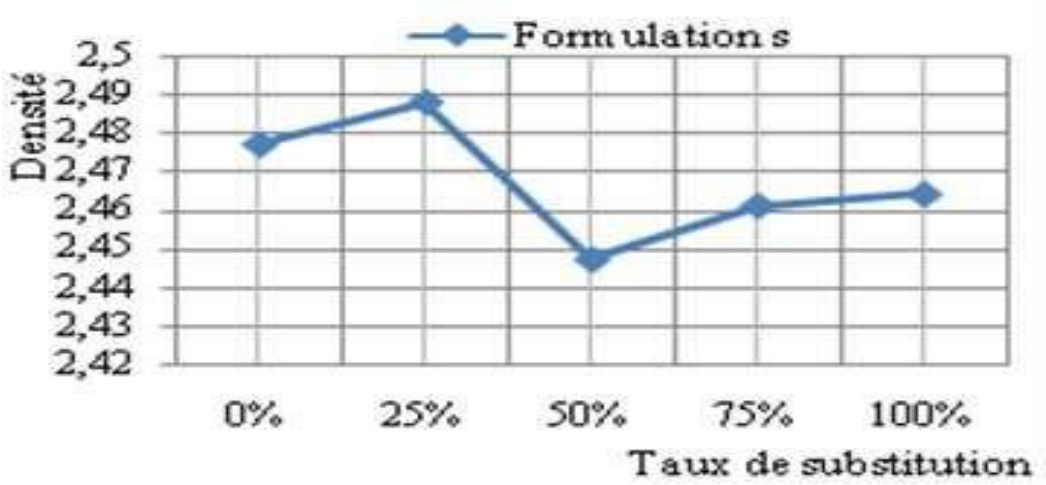


Figure I.52 : Variation de la densité en fonction du taux de substitution à poudre de marbre **[86].**

- **L'air Occlus**

Houria Hebhoub et al. **[86]** Ont montrés d'après leur études que l'air occlue du béton ordinaire est diminué en fonction de substitution du (25%,50%,75% et 100%) du sable par la poudre de marbre.

Naamaoui et al. **[87]** on montrés d'après leur recherches que l'air occlue de béton autoplaçant est diminué aussi avec l'augmentation du % de la poudre de marbre.

- **Résistance a compression**

Houria Hebhoub et al. **[87]** on trouvé que la résistance à la compression est augmenté en fonction de substitution de 50% du sable par la poudre de marbre. La valeur maximale de la résistance à 28 jours est de 34,5 MPa obtenue dans le béton de 50% de taux de substitution et la valeur minimale est de 21,4 MPa obtenue dans le béton de 100% de taux de substitution.

Naamaoui et al. **[87]** on conclue que la résistance à la compression augmente au fur et à mesure que l'âge augmente et elle diminue avec l'augmentation du pourcentage de PM incorporé. Pour un pourcentage de 30% de PM incorporé la résistance à la compression du béton représente près de 81% de la résistance du BAP avec 5% de PM



Figure I.53 : Influence du pourcentage sue la résistance en compression **[87].**

Taylor et al. **[88]** ont montré que les résistances en compression de béton avec ajout de poudre de marbre de granulométrie très serrée sont augmentées en fonction d'augmentation de poudre de marbre.

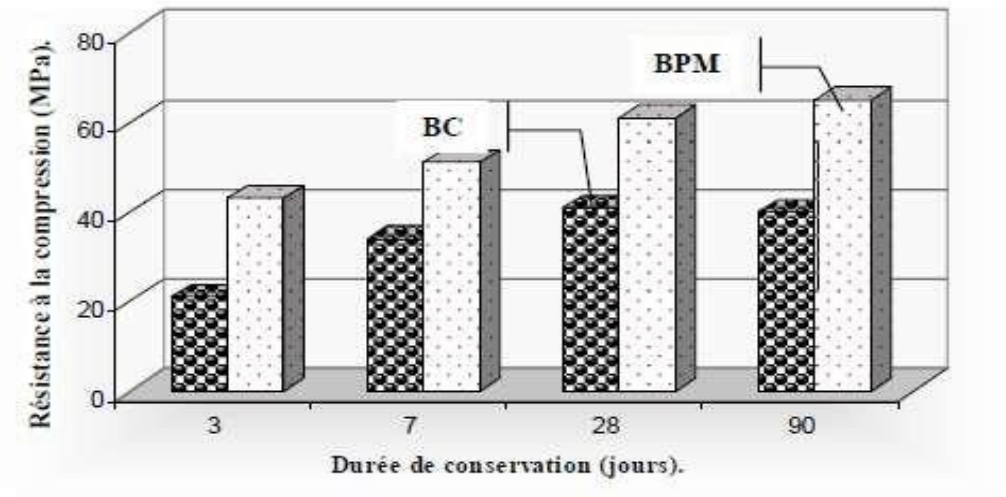


Figure I.54 : résistances en compression de béton avec ajout de poudre de marbre **[88].**

- **Absorption capillaire**

Taylor et al **[88]** ont trouvé une faible capacité d'absorption d'eau pour les bétons avec ajout de poudre de marbre comparée au béton de contrôle. Ceci est un indice d'une compacité accrue de ces bétons

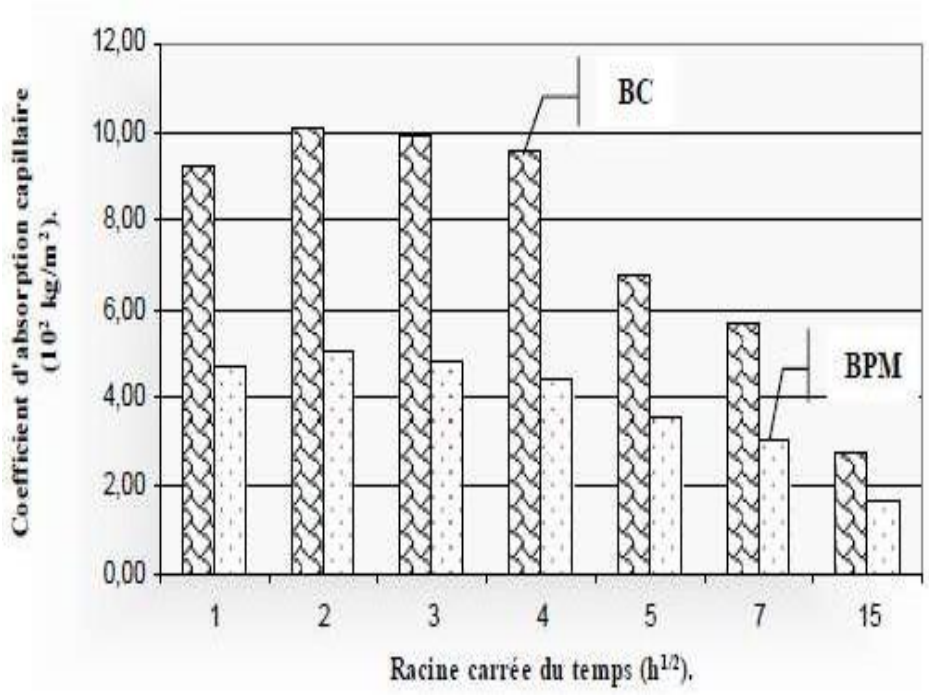


Figure I.55 : capacités d'absorption d'eau pour les bétons avec ajout de poudre de marbre **[88].**

I.7. Le béton de sable

I.7.1. 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 milieux 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. **[61]**

I.7.2. 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 Saïd 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.).**[61]**



Figure I.56 : Port Saïd **[64].**

I.7.3. 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. **[61]**

I.7.4 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. **[62]**

I.7.5. 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. **[62]**



Figure I.57 : Béton projeté **[65].**

I.7.6.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 œuvre. Les bétons de sable fluides sont économiquement mieux adaptés aux dallages du bâtiment. S'agissant d'éléments horizontaux, la fluidité convient et l'auto-nivellement est un atout considérable. L'intérêt réside dans les avantages suivants :

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

Dans le cas des aménagements de voirie peu dénivelés (comme les aires de stationnement et les voies piétons), où les performances demandées ne seront pas élevées, elles se prêtent parfaitement à la technique de fluidification de BS**.** Les bétons de sable fluides présentent des performances comparables aux bétons fluides classiques, dont l'utilisation semble se développer actuellement. Indépendamment de l'aspect environnemental lié à l'utilisation des BS, il pourra être mieux adapté aux cas suivants :

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



Figure I.58 : béton de sable fluide. **[90]**

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 bétons traditionnel. **[63]**

I.7.7. 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 au besoin de certain usage, d'autres ajouts spécifiques peuvent être envisagés : gravillons, fibres, adjuvants. **[61]**

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 homo métrique, 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. **[61]**

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. **[61]**

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. **[61]**

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 plastifiant ou super plastifiant : 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**. [61]**

I.7.8. Formulation du béton de sable

I.7.8.1 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/D_{max}). 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.

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

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

A/ Dosage en fines d'un béton de sable

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

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

2) Toute l'étendue du sable comprise entre 80 μm et le diamètre maximal du sableD_{max}, ainsi que l'éventuelle fraction des éléments supérieurs à 80μm, 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 détendue granulaire comprise entre 80 μm etD_{max}.

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

La constante expérimentale (Vo) est prise comme étant la moyenne des valeurs extrêmes (0.7, 0.8). Un dosage optimal en fines d'ajout sert à compléter l'étendue granulaire bornée

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

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

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

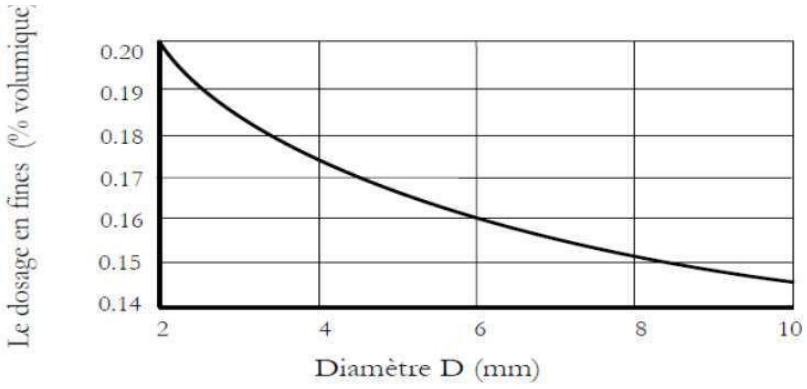


Figure I.59: Influence du diamètre D du sable sur le dosage en fines **[66].**

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/D_{max}) 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 dé floculé (chaque particule élémentaire agit indépendamment) est donnée par la formule suivante :

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

Avec:

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

p: 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.

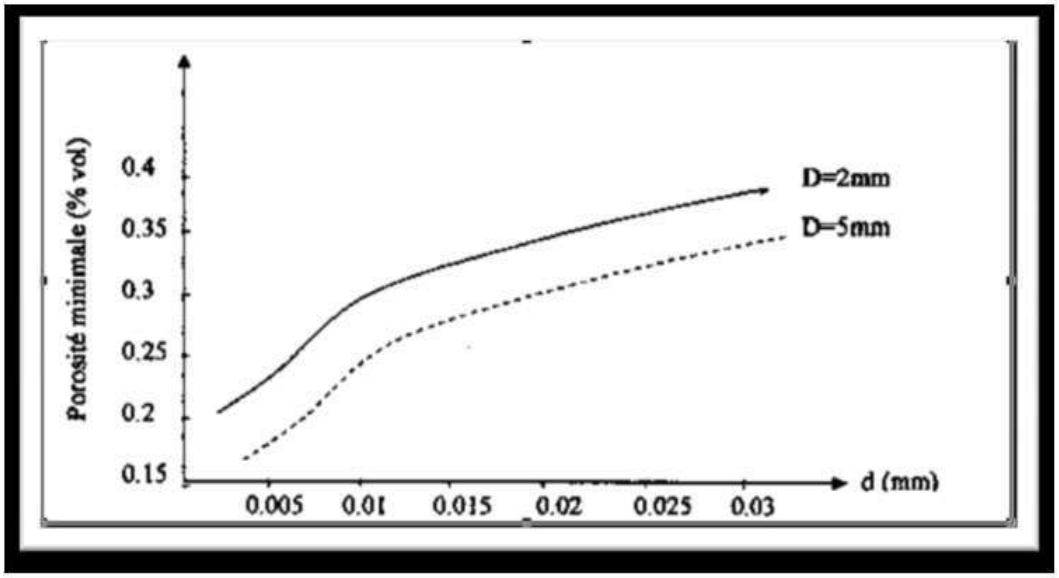


Figure I.60: Influence de la dimension d sur la porosité minimale du béton pour deux tailles D du sable **[66].**

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.

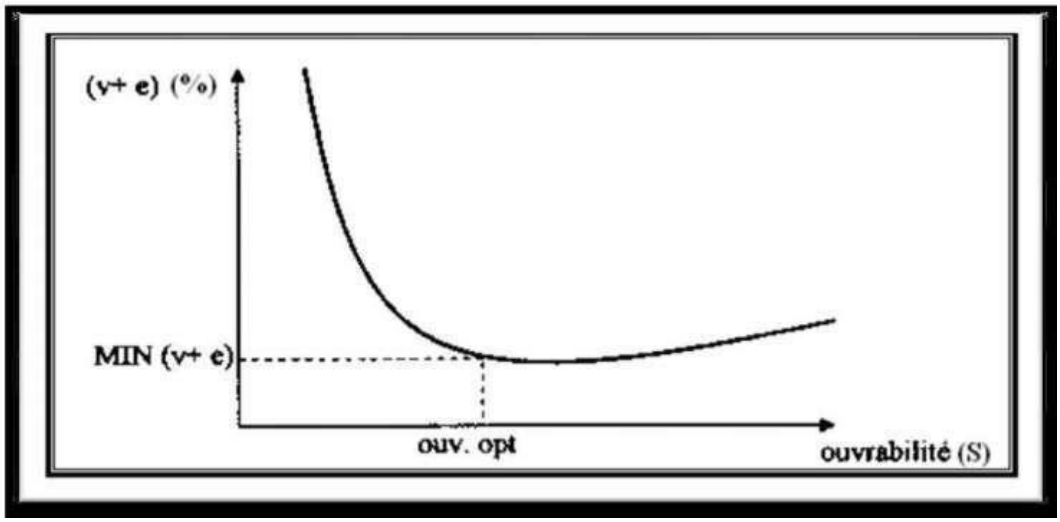


Figure I.61: Relation entre l'ouvrabilité et le dosage(e+v) d'une matrice pour une mise en Œuvre donnée **[66].**

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

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

[Vide] = K[eau]……..(6)

Avec:

K:constante comprise entre 0.2 et 0.25.

C/Dosage ensable

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

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

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

D/Estimation de la résistance en compression

L'estimationdelarésistanceencompressionsefaitparréférenceauxméthodesclassiques adoptées pour les matrices cimentaires qui consistent à partitionner la contribution du squelette granulaire, de la nature du liant et des dosages des constituants de la pâte.

Dans le cas de bétons formulés avec des fines potentiellement réactives, une généralisation de la formule de FERET **[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 R_c : 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 28jours(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 e tKfil). 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 pour raient 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 Aude là duquel la contribution de l'activité de filler ne participe plus aux développements de performances mécaniques.

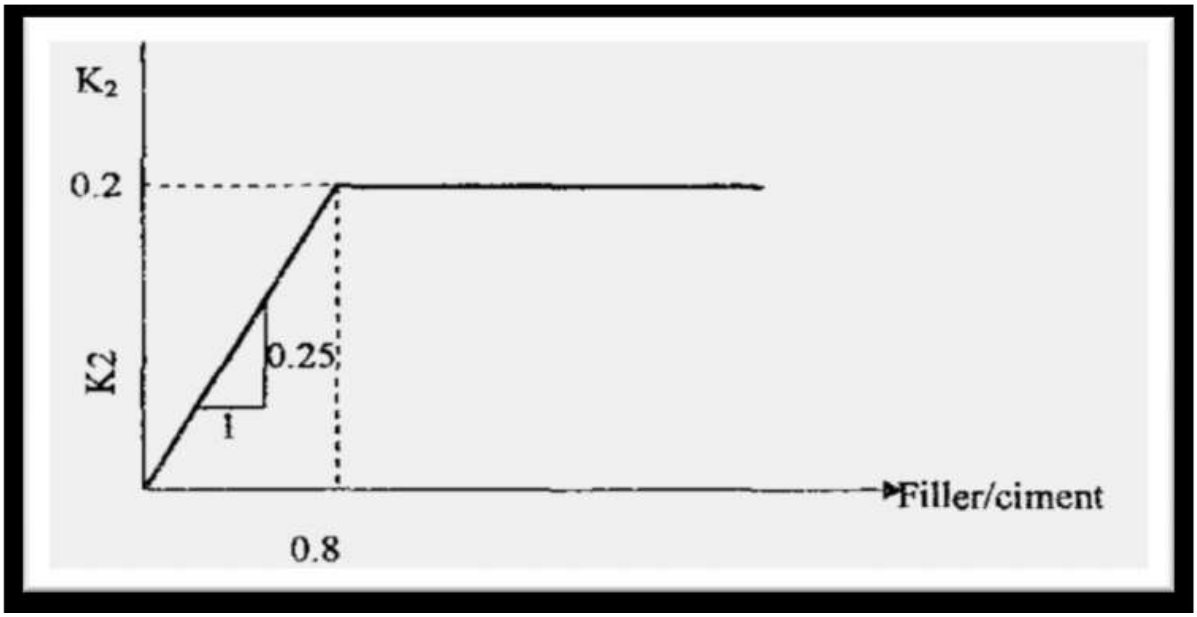


Figure I.62 : Coefficient d'activité du filler calcaire (modèle) **[66].**

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 $80\mu m$, 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 à la formulation de jouer sur certains paramètres en restant à la compacité maximale, elle constitue une bonne base pour la mise au point d'une formulation de béton de sable 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.

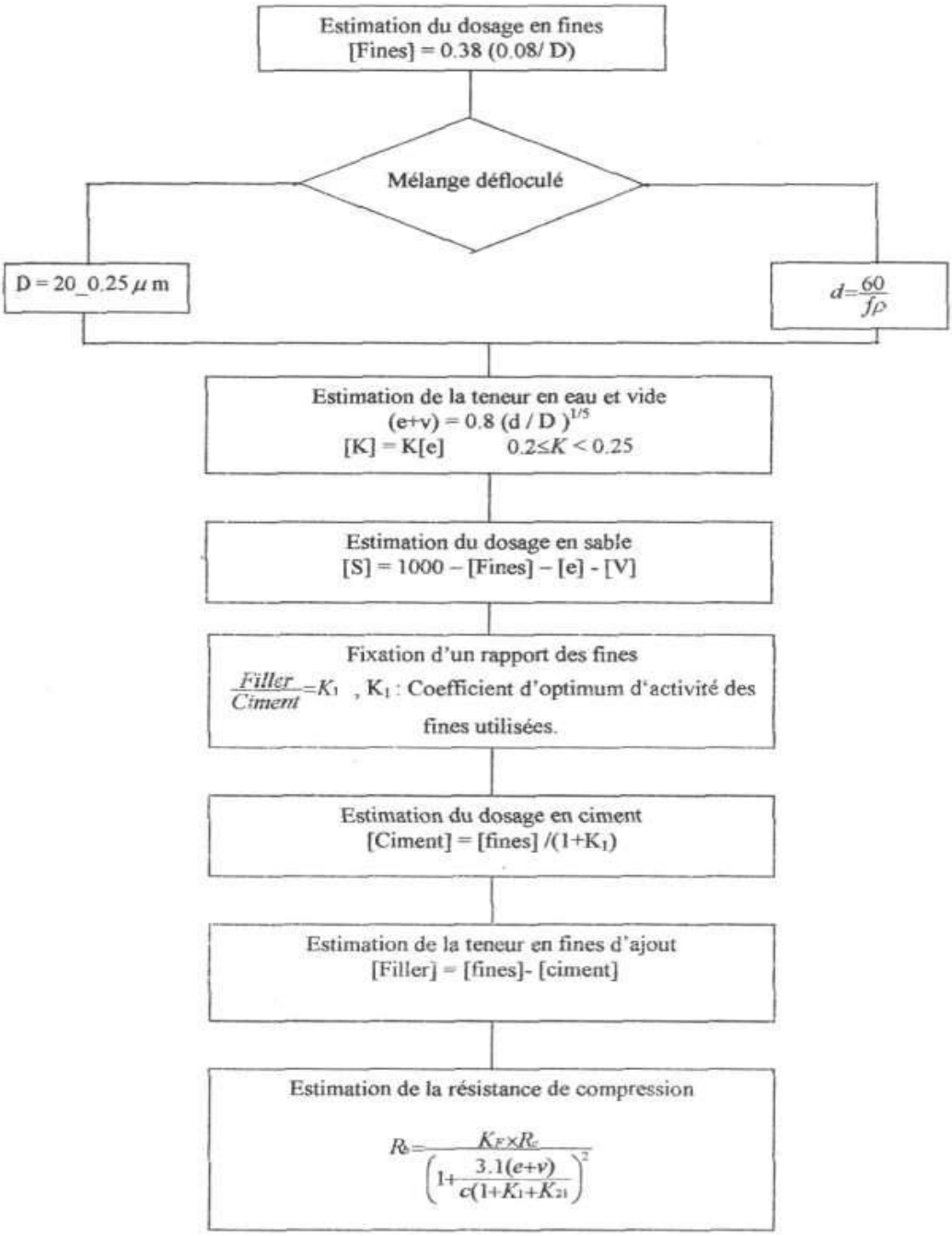


Figure I.63: Organigramme de la méthode théorique **[66].**

1.7.8.2 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 80μm).

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

Vsable = 1000 –Vc -Vadj– Vair -Veau ……(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…….. (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……...(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).

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

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

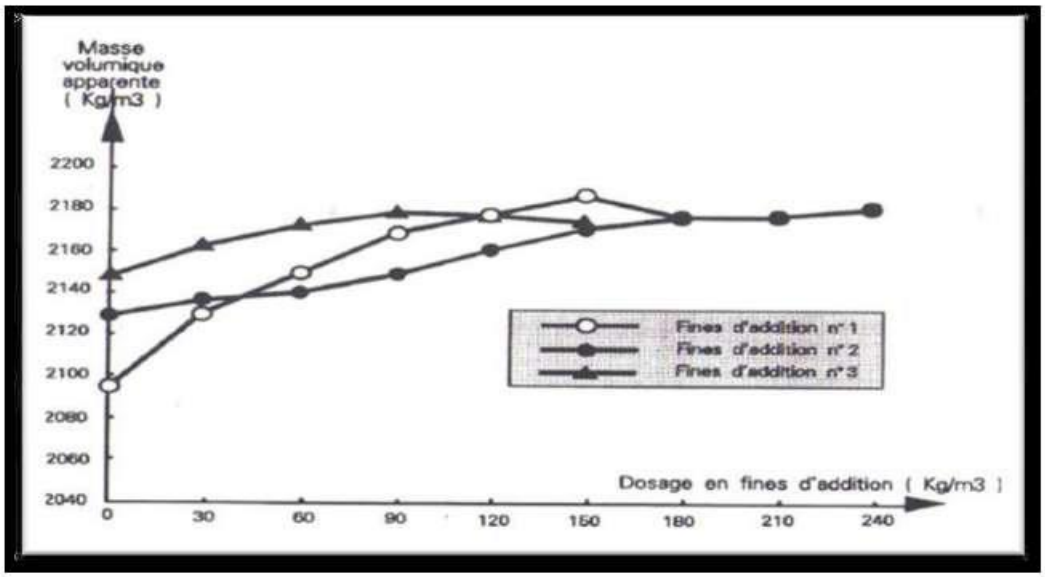


Figure I.64 : masse volumique apparente en fonction du dosage en fines d'addition **[66].**

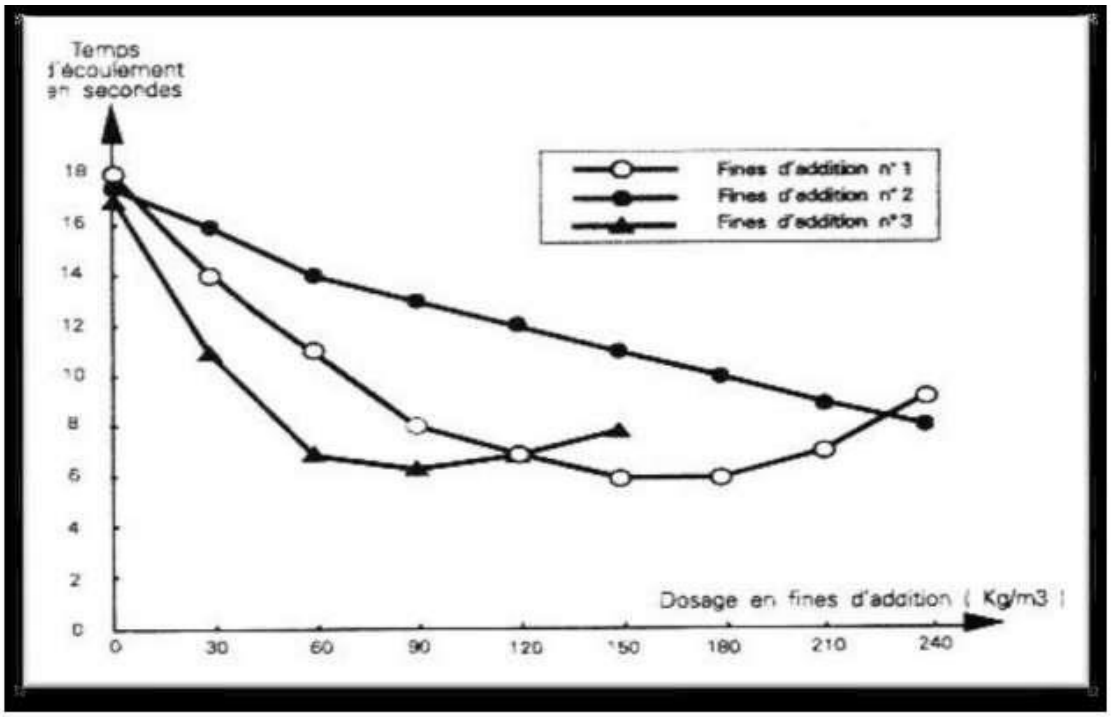


Figure I.65 : Evolution de la maniabilité en fonction du dosage en fines d'addition **[66].**

I.8 Conclusion

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

Dans ce chapitre nous avons passé en revue la problématique des déchets usagés non réutilisables, ainsi que de leurs recyclage et valorisations. Puis on a donné une généralité sur le déférant déchet industrielle (céramique, granite, marbre, verre) et les déchets biosources (coquillage) (définition, composition, propriété), et le béton de sable (définition, composition, utilisation, formulation), ainsi que finalement un aperçu sur l'effet de valorisation et recyclage de déchets 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 **:**

- **Etat frais :**
- Mesure de l'affaissement au mini-cône
- Densité apparent
- **Etat durci :**
- Ultrason
- La résistance a la compression
- Conductivité thermique
- Porosité accessible à l'eau
- Densité apparent
- Absorption d'eau capillarité

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

II.2.2 Granulats

II.2.2.1 Sable

Nous avons utilisé un sable de (Ouedi souf) et leurs propriété sont représentées dans le tableau II.4 .et la figure II.3 représente la courbe granulométrique de sable utilisés.



Figure II.2: Sable moyenne d'Oued sauf

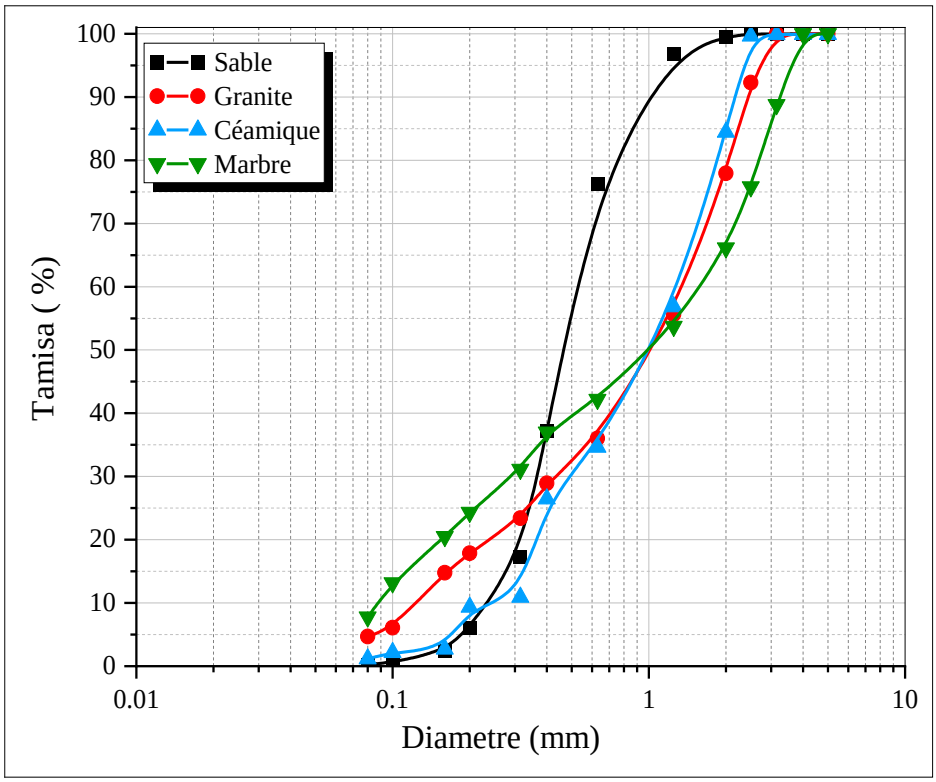


Figure II.3 : Courbe granulométrique des sables utilisées

II.2.2.2 Déchets de granite

Les déchets de granite utilisée à la cours 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 de déchet de granite utilisé dans ce travail sont représente dans la figure II.3 et leurs propriété sont représentées dans le tableau II.4**.**



Figure II.4 : Déchets de granite



Figure II.5 : Protocole de concassage des déchets de granite sous forme sable 0/3

II.2.2.3 Déchets de céramique

Les déchets de céramique utilisée au cours 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 de déchet de céramique utilisé dans ce travail sont représente dans la figure II.3 et leurs propriété sont représentées dans le tableau II.4 .



Figure II.6 : Déchets de céramique



Figure II.7 : Protocole de concassage des déchets de céramique sous forme sable 0/3

II.2.2.4 Déchet de coquillages

Les déchets de coquillages utilisée au cours de ce travail est provient de les plages de foka wilaya de Tipaza après avoir été récupérée les déchets de coquillages ont été broyer et utilisé dans la masse de béton de sable fluide sous forme de poudre, leurs propriété sont représentées dans le tableau II.2.



Figure II.8 : Déchets de coquillage



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

Tableau II.2: Propriétés physiques de coquillage

Caractéristiques	**coquillage**
Classe granulaire	0/3
Surface spécifique (cm^2/g)	6000
Masse volumique absolue (g/cm^3)	2.88

II.2.2.5 Déchets de verre

Les déchets de verre utilisée au cours de ce travail est provient de l'usine de l'industrie de verre, après avoir récupérée les déchets de verre ont été broyer et utilisé dans la masse de béton de sable fluide sous forme de poudre leurs propriété sont représentées dans le tableau II.3.



Figure II.10 : Déchets de verre



Figure II.11 : Protocole de concassage des déchets de verre sous forme poudre

Tableau II.3: Propriétés physiques de verre

Caractéristiques	**verre**
Classe granulaire	0/3
Surface spécifique (cm^2/g)	6000
Masse volumique absolue (g/cm^3)	2.18

II.2.2.6 Déchets de marbre

Les déchets de marbre utilisée au cours de ce travail est provient de l'usine de l'industrie de marbre, après avoir récupérée les déchets de marbre ont été broyer et utilisé dans la masse de béton de sable fluide sous forme sable , la granulométrie de déchet de marbre utilisé dans ce travail sont représente dans la figure II.3 et leurs propriété sont représentées dans le tableau II.4.



Figure II.12 : Déchets de marbre



Figure II.13 : Protocole de concassage des déchets de coquillage sous forme sable 0/3

Tableau II.4: Propriétés physiques des sables utilisé

Caractéristiques	Sable	Granite	Céramique	Marbre
Classe granulaire	0/3	0/3	0/3	0/3
Module de finesse	2.07	2.78	2.95	2.77
Masse volumique absolue (g/cm^3)	2.63	2.51	2.5	2.74
Masse volumique apparent (g/cm^3)	1.48	1.22	1.22	168
Taux d'absorption d'eau (%)	0.2	0.34	3.83	2.1
Equivalent de sable (%)	81.16	-	-	-

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]. Sa température est comprise entre 18 et 20°C.

II.2.4 Adjuvant

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



Figure II.14 : Adjuvant utilisé TOMPO-10

II.2.5 Filler

Les fillers 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 propriété sont représentées dans le tableau est mentionnée dans le Tableau II.5.



Figure II.15: poudre de marbre

Tableau II.5: Propriétés physiques de poudre de marbre

Caractéristiques	**marbre**
Classe granulaire	0/3
Surface spécifique (cm^2/g)	3000
Masse volumique absolue (g/cm^3)	2.70

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).

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 industriel (céramique, marbre, granite) sous formes sable avec des pourcentages céramique, marbre (0%.5%.10%.15%.20%.25%) et granite(0%.10%.20%.30%.40%.50%) et déchets bio sources (verre, coquillage) sous forme poudre avec des pourcentages verre ,coquillage (5%.10%.15%.20%) sur les caractéristiques à l'état frais et durci d'un béton de sable fluide (BSF).

Le tableau II.6 représente les différentes compositions des mélanges obtenus

Tableau II.6 : composition des bétons formulés

Mélange	Ciment (Kg/m^3)	Filler (Kg/m^3)	Eau (l/m^3)	Sable (Kg/m^3)	PV (Kg/m^3)	PQ (Kg/m^3)	SG (Kg/m^3)	SC (Kg/m^3)	SM (Kg/m^3)	SP (%)
BSF T	400	200	265	1400	0	0	0	0	0	0.8
BSF 1	360	200	265	1400	20	20	0	0	0	0.8
BSF 2	360	200	265	1143.4	20	20	133.6	60.2	62.8	0.85
BSF 3	360	200	265	918.3	20	20	267.2	107.6	106.8	0.9
BSF 4	360	200	265	722.8	20	20	400.8	142.5	133.8	0.95
BSF 5	360	200	265	595.2	20	20	534.4	164.6	105.8	1
BSF 6	360	200	265	412.8	20	20	668	173.9	145.3	1.2
BSF 7	320	200	265	1400	40	40	0	0	0	0.8
BSF 8	320	200	265	1143.4	40	40	133.6	60.2	62.8	0.85
BSF 9	320	200	265	918.3	40	40	267.2	107.6	106.8	0.9
BSF 10	320	200	265	722.8	40	40	400.8	142.5	133.8	0.95
BSF 11	320	200	265	595.2	40	40	534.4	164.6	105.8	1
BSF 12	320	200	265	412.8	40	40	668	173.9	145.3	1.2
BSF 13	280	200	265	1400	60	60	0	0	0	0.8
BSF 14	280	200	265	1143.4	60	60	133.6	60.2	62.8	0.85
BSF 15	280	200	265	918.3	60	60	267.2	107.6	106.8	0.9
BSF 16	280	200	265	722.8	60	60	400.8	142.5	133.8	0.95
BSF 17	280	200	265	595.2	60	60	534.4	164.6	105.8	1
BSF 18	280	200	265	412.8	60	60	668	173.9	145.3	1.2
BSF 19	240	200	265	1400	80	80	0	0	0	0.8

Avec :

PV : poudre de verre.

PQ : poudre de coquillage.

SG : sable de granite.

SC : sable de céramique**.**

SM : sable de marbre.

BSF T : Béton de sable fluide témoin.

BSF 1 : Béton de sable fluide à base de 5% (PV+PQ) +0% (SG+SC+SM).

BSF 2 : Béton de sable fluide à base de 5% (PV+PQ) +10% SG+5% (SC+SM).

BSF 3 : Béton de sable fluide à base de 5% (PV+PQ) +20% SG +10% (SC+SM).

BSF 4 : Béton de sable fluide à base de 5% (PV+PQ) +30% SG +15% (SC+SM).

BSF 5 : Béton de sable fluide à base de 5% (PV+PQ) +40% SG +20% (SC+SM).

BSF 6 : Béton de sable fluide à base de 5% (PV+PQ) +50% SG +25% (SC+SM).

BSF 7 : Béton de sable fluide à base de 10% (PV+PQ) +0% (SG+SC+SM).

BSF 8 : Béton de sable fluide à base de 10% (PV+PQ) +10% SG+5% (SC+SM).

BSF 9 : Béton de sable fluide à base de 10% (PV+PQ) +20% SG +10% (SC+SM).

BSF 10 : Béton de sable fluide à base de 10% (PV+PQ) +30% SG +15% (SC+SM).

BSF 11 : Béton de sable fluide à base de 10% (PV+PQ) +40% SG +20% (SC+SM).

BSF 12 : Béton de sable fluide à base de 10% (PV+PQ) +50% SG +25% (SC+SM).

BSF 13 : Béton de sable fluide à base de 15% (PV+PQ) +0% (SG+SC+SM).

BSF 14 : Béton de sable fluide à base de 15% (PV+PQ) +10% SG+5% (SC+SM).

BSF 15 : Béton de sable fluide à base de 15% (PV+PQ) +20% SG +10% (SC+SM).

BSF 16 : Béton de sable fluide à base de 15% (PV+PQ) +30% SG +15% (SC+SM).

BSF 17 : Béton de sable fluide à base de 15% (PV+PQ) +40% SG +20% (SC+SM).

BSF 18 : Béton de sable fluide à base de 15% (PV+PQ) +50% SG +25% (SC+SM).

BSF 19 : Béton de sable fluide à base de 20% (PV+PQ) +0% (SG+SC+SM).

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.16) ; 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.

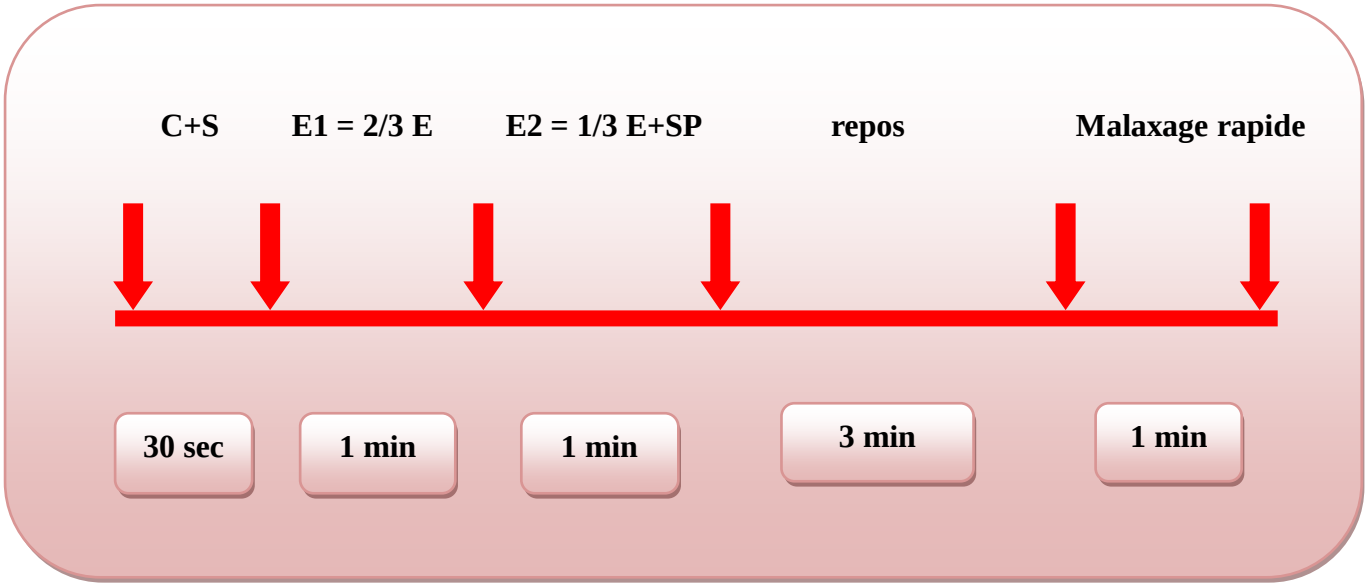


Figure II.16 : Séquence de malaxage du béton de sable fluide



Figure II.17 : procédure de malaxage au laboratoire

II.5 Les essais sur le béton (BSF)

II.5.1 Etat frais

- **Essais d'affaissement 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.18 montre les étapes de l'essai d'étalement.



Figure II.18 : Développement de l'essai d'étalement

- **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]. Représente dans la figure II.19



Figure II.19 : 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.20: Conservation des éprouvettes

II.5.3 Etat durci

- **Essai ultrasonique**

Avant de procéder aux essais à l'ultrason, on a pris le soin de vérifier le bon fonctionnement Par étalonnage de l'appareil en utilisant le barreau de calibrage pour chaque éprouvette. Les essais à l'ultrason ont été effectués en deux sens selon la méthode par transmission directe de telle façon que le sens de mesure du temps de transit soit perpendiculaire au sens de confection. Sur les faces opposées de l'éprouvette on a placé les deux transducteurs en interposant entre eux une couche mince de vaseline, puis l'enregistrement du temps de transit en micro seconde est réalisé. La figure II.21 montre les étapes de l'essai.



Figure II.21 : Etalonnage et mesure du temps de parcours des ondes ultrasonores

❖ **Essai de la résistance à la compression**

La résistance à la compression a été mesurée selon la norme [EN 196-1] par compression axiale pour d'éprouvettes cubique à l'âge de 7 et 28 jours, à l'aide d'une presse de capacité de 2000 KN .La résistance à la compression correspond à la contrainte moyenne d'écrasement de trois (3) d'éprouvettes cubique (4x4x4) cm. La figure II.22 montre les étapes de l'essai.

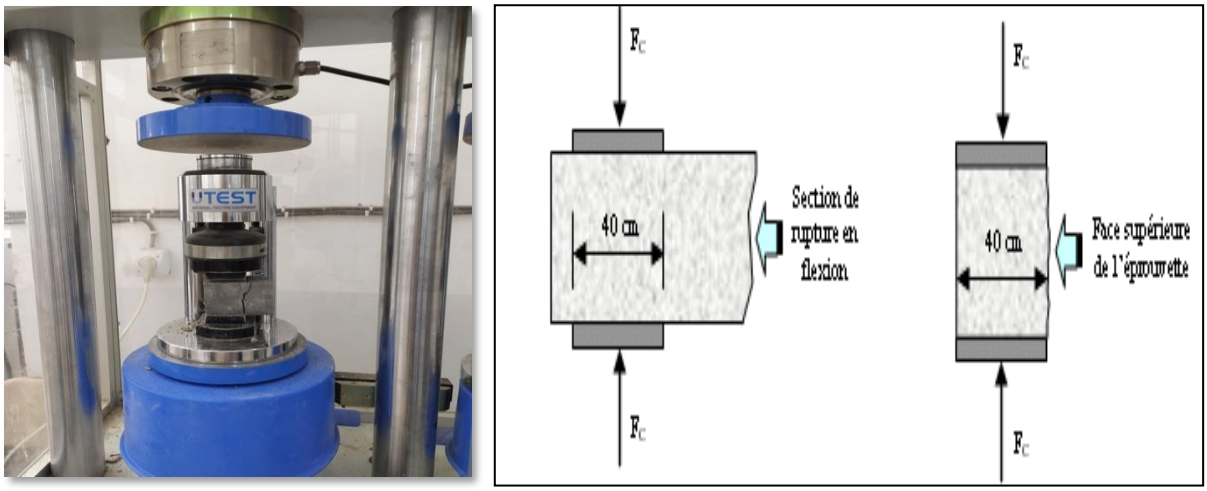


Figure II.22 : Essai de compression sur éprouvette béton

❖ **Conductivité thermique**

Le CT-mètre c'est un appareil aisément transportable, a été élaboré dans le but de permettre d'évaluer avec précision, les caractéristiques de résistance thermique d'un certain nombre de matériaux tels que la brique, les roches, le bitume et le béton.

Le CT-mètre se compose de deux éléments qui sont l'organe de commande, chargé de générer la puissance de chauffe et d'interpréter la courbe d'élévation de température induite dans le matériau à tester ; et la sonde chargée de transmettre la puissance de chauffe et de recueillir la température induite selon la norme [NF EN 993-15].

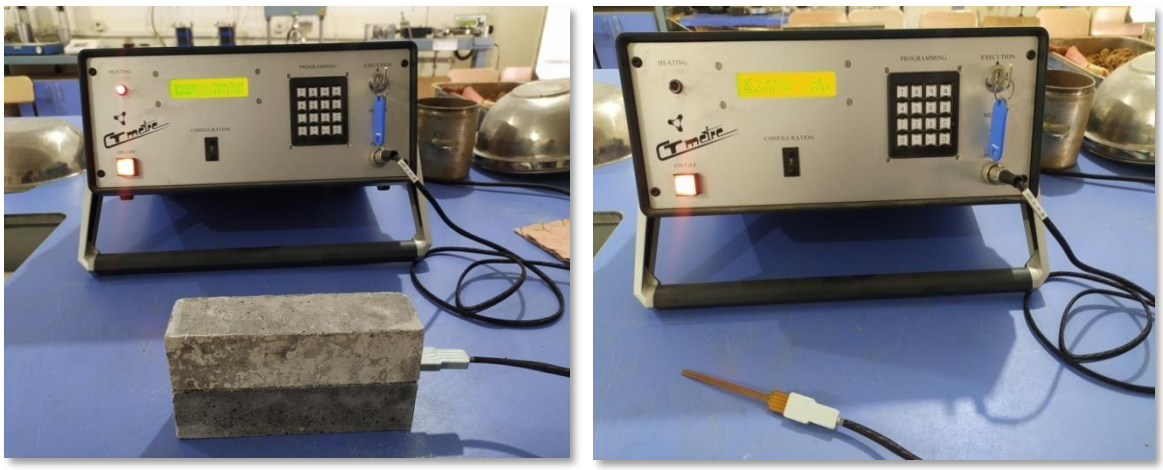


Figure II.23: Le CT-mètre et ses composants

❖ **Absorption d'eau par capillarité**

Dans cet essai, on prend un morceau d'éprouvette de béton de sable déjà utilisé puis sécher. On le pesé (m_0) au début, après on l'introduire dans un bac remplit d'un film d'eau (5mm d'eau) Figure(II.24), et pendant chaque intervalle de temps (0min,6 min,12 min, 30 min ,1 h, 2h ,4h ,24h,48h ,72h ,96h,144h,168h) on remesure les morceaux (m_1), le différent de poids entre m_1 et m_0c'est le poids de l'eau absorbé (m_1- m_0) [NBN NE 13057].



Figure II.24 : Essai de l'absorption d'eau par capillarité

❖ **Densité apparent**

La densité durci utilisé équation suivent :

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



Figure II.25 : Densité apparent

❖ **Porosité accessible à l'eau**

La porosité accessible à l'eau [NF EN 18-459] a été mesurée selon la recommandation de l'AFPC AFREM. Les échantillons ont d'abord été séchés dans une étuve à 100 °C, jusqu'à stabilisation de la masse ($\mathbf{M_{sec}}$), puis l'air présent dans les pores de mortier a été évacué à l'aide d'une pompe à vide. La masse des cubes de mortier entièrement saturés a été mesurée sous l'eau ($\mathbf{M_{eau}}$) et dans l'air ($\mathbf{M_{air}}$). La porosité totale ($\boldsymbol{\varepsilon}$%) a été calculée en utilisant l'équation :

$$\boldsymbol{\varepsilon}(\%) = \frac{\mathbf{M_{air} - M_{sec}}}{\mathbf{M_{air} - M_{eau}}} \times \mathbf{100}$$



Figure II.26 : Essai de porosité accessible à l'eau

II.6 Variable étudié

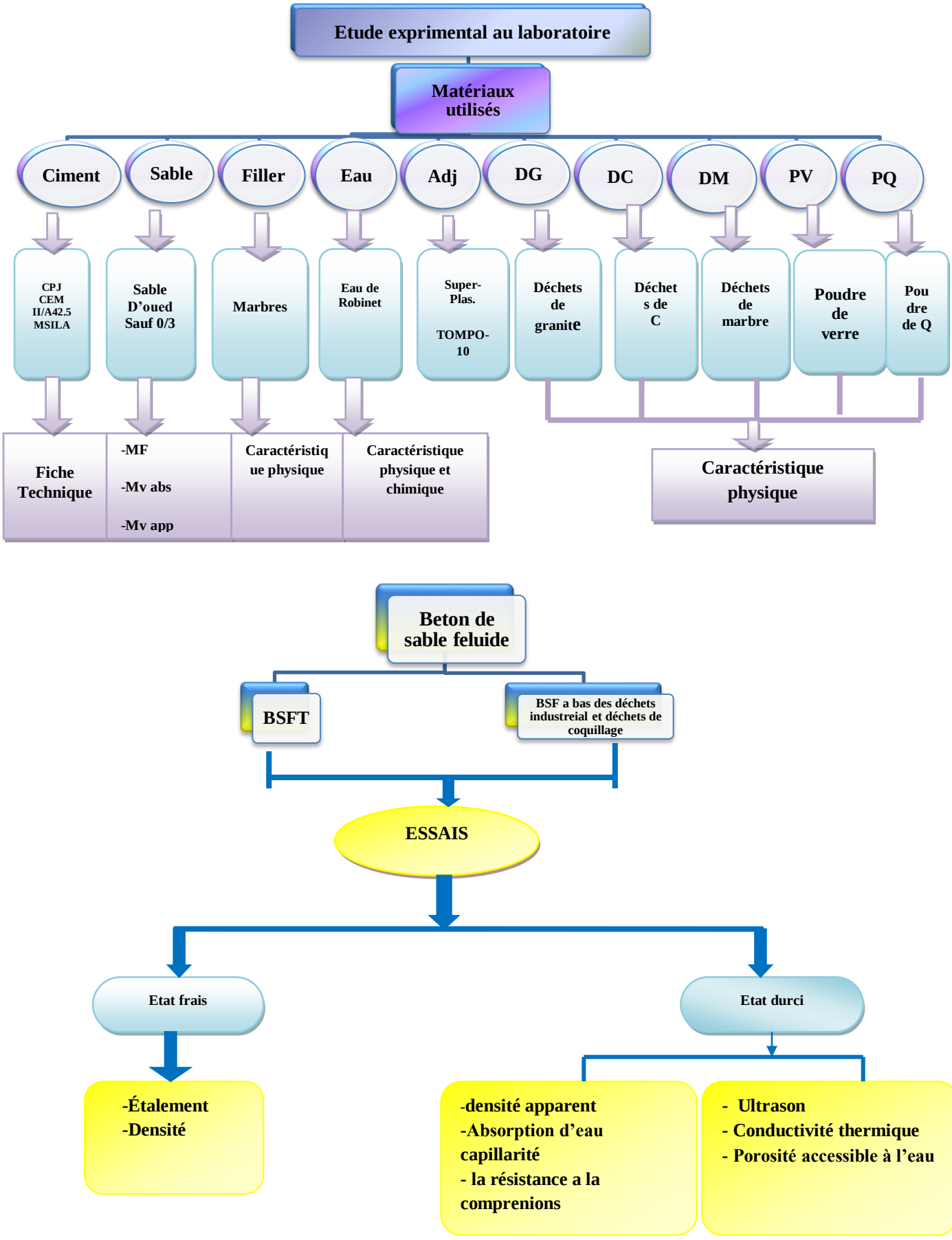


Figure II.27 : Variable étudier

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, marbre, verre 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 des déchets industrielle et les déchets biosources (coquillage) sur les caractéristiques mécanique et rhéologique et mécanique 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. Influence de combinaison du déchets industriel et déchet de coquillage sur le béton de sable fluide à l'état frais

III.2.1 Étalement

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

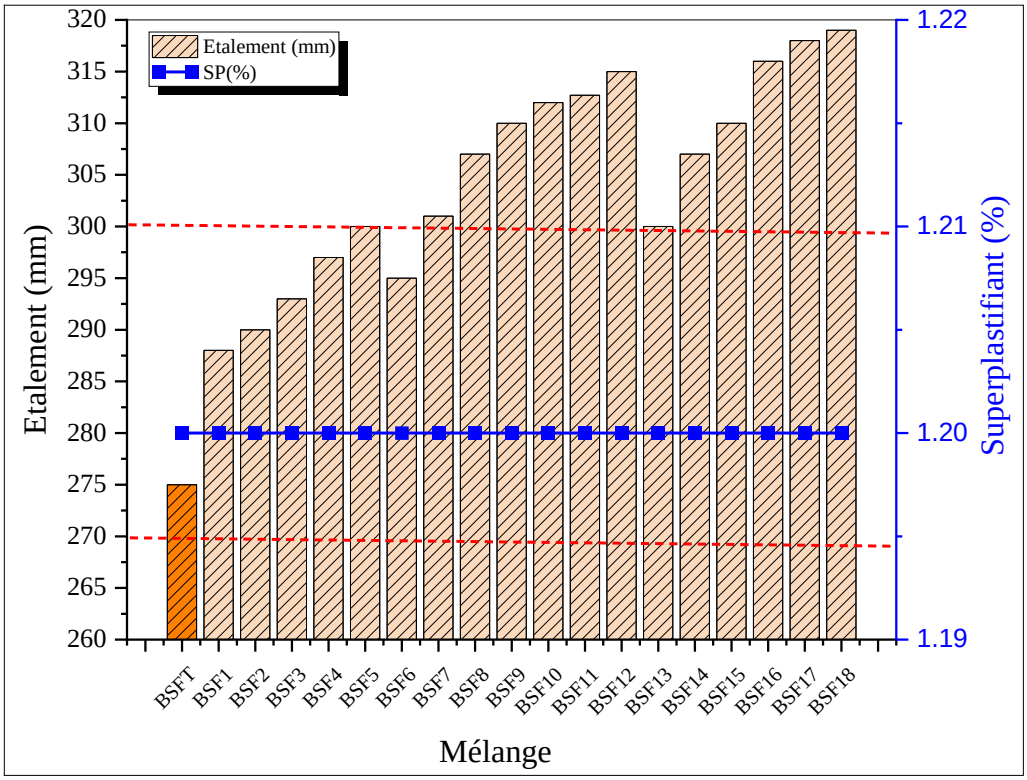


Figure III.1.a : Influence des déchets sur la fluidité de BSF.

Les résultats obtenus montrent que l'étalement de bétons de sable fluide varie en fonction du pourcentage de substitution du sable par les déchets industriel et biosource. Pour ce la, nous avons fixé le dosage en superpastifiant 1.2% et étudié l'influence des déches sur la fluidité .D'âpre les résultats obtenue, on constate que plus le pourcentage de déchets augmente, plus l'étalement est augment .Cela est due peut la hydratation l'ont de la poudre de coquillage et la poudre de verre qui est plus l'ont par rapport le ciment.

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

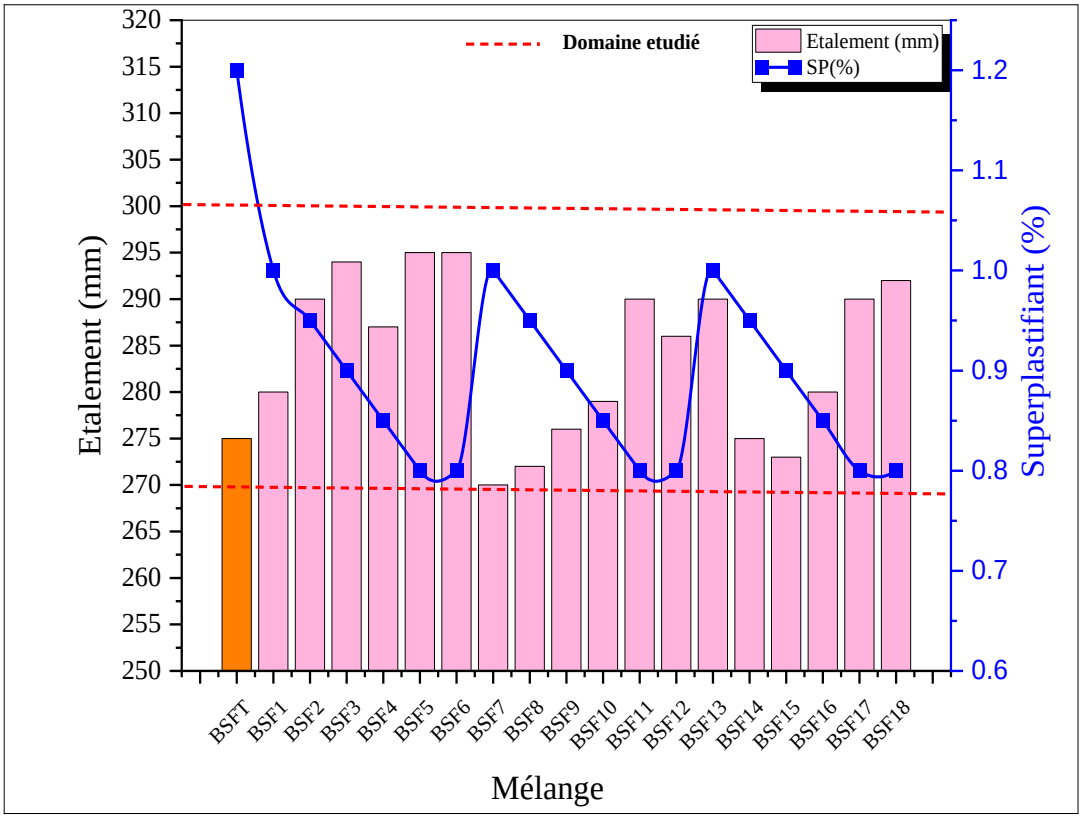


Figure III.1.b : dosage du super plastifiant et étalement des déchets

A travers les résultats illustrés dans la figure III.1.b 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 [77],** 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 [72],** 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 [85],** plus que le pourcentage de déchet de granite augmente plus que l'étalement augmente. Comparaison de verre : les résultats trouvés en contraire avec les résultats trouvé par **Hongjian Du et al [67],** plus que le pourcentage de déchets de verre augmente plus que l'étalement diminue.

III.2.2 La densité

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

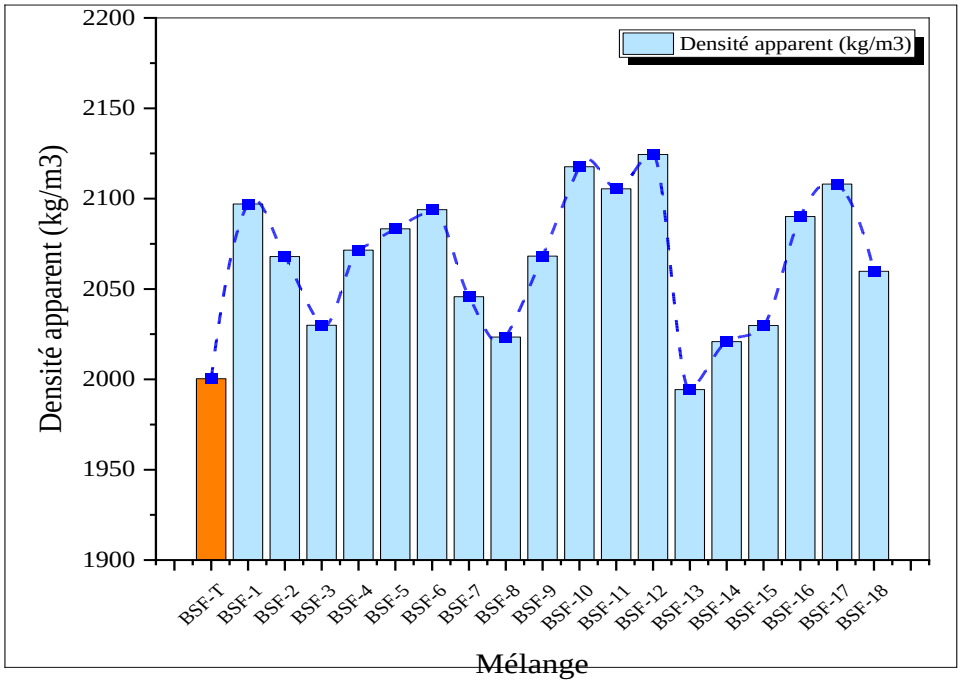


Figure III.2 : Densité apparent du mélange BSF.

Les résultats obtenus montrent que la densité des mélanges obtenus varié en fonction de la densité 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 [79],** 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 **Soltanzadehet et al [73],** plus le pourcentage de déchet de coquillage augmente plus que la densité diminue. Comparaison de verre : les résultats trouvés sont en

concordance avec les résultats trouvés par **Kiang Hwee Tan et al [68]** plus le pourcentage de déchets de verre augmente plus que la densité diminue. Comparaison de marbre : les résultats trouvé sont en contraire avec les résultats trouvé par **Houria Hebhoub et al [86]** plus le pourcentage de déchets de marbre augments plus que la densité diminue.

III.3 Influence de combinaison du déchets industriel et déchet de coquillage sur le béton de sable fluide à l'état durci

III.3.1 Vitesse Ultrasonique

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

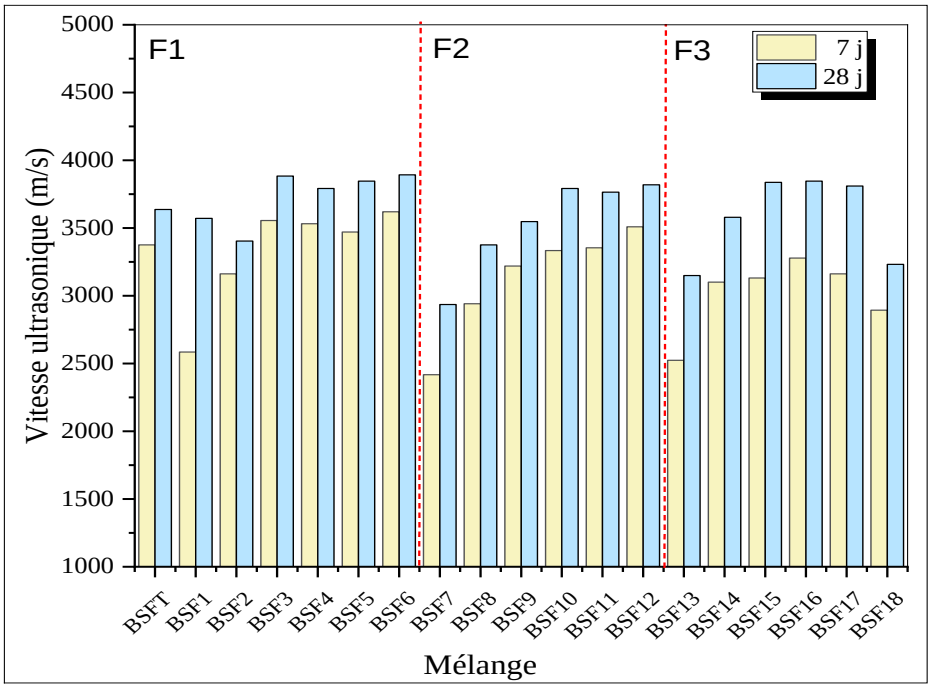


Figure III.3 : ultrasonique des mélanges BSF

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

III.3.2 La résistance mécanique

Pour les différentes familles du BSF, les mesures ont été réalisées 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 différentes familles de BSF à

base de déchet industriel et de coquillage combinaient à l'âge de 7 et 28 jours sont présentés dans cette partie.

III.3.2.1 la résistance a 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 , marbre, verre et de coquillage combinais, et permettre la comparaison avec les BSFT, les résultats sont présentés dans les figures III.4 , III.5 , III.6 :

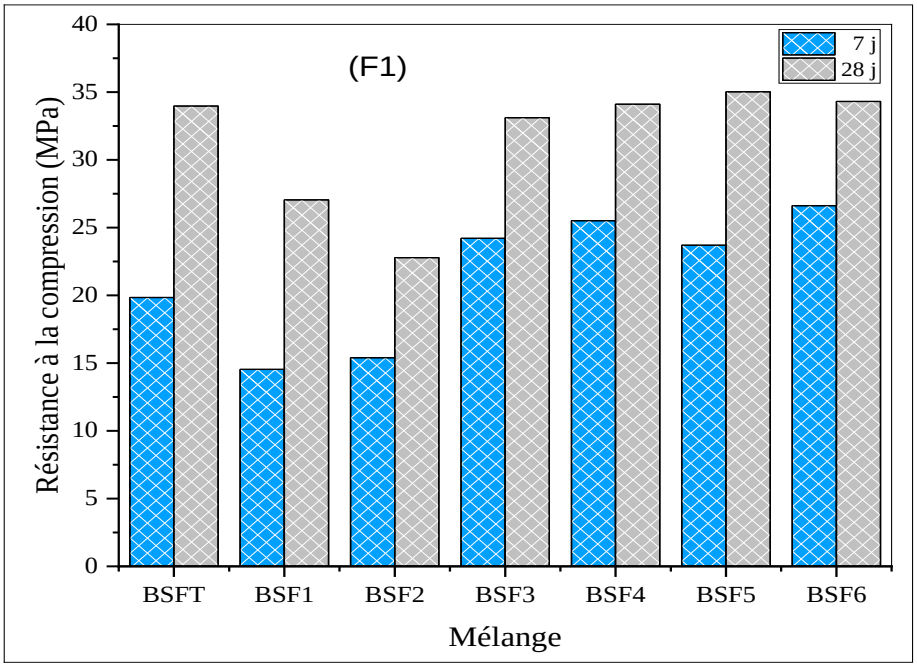


Figure III.4 : la résistance a la compression F1

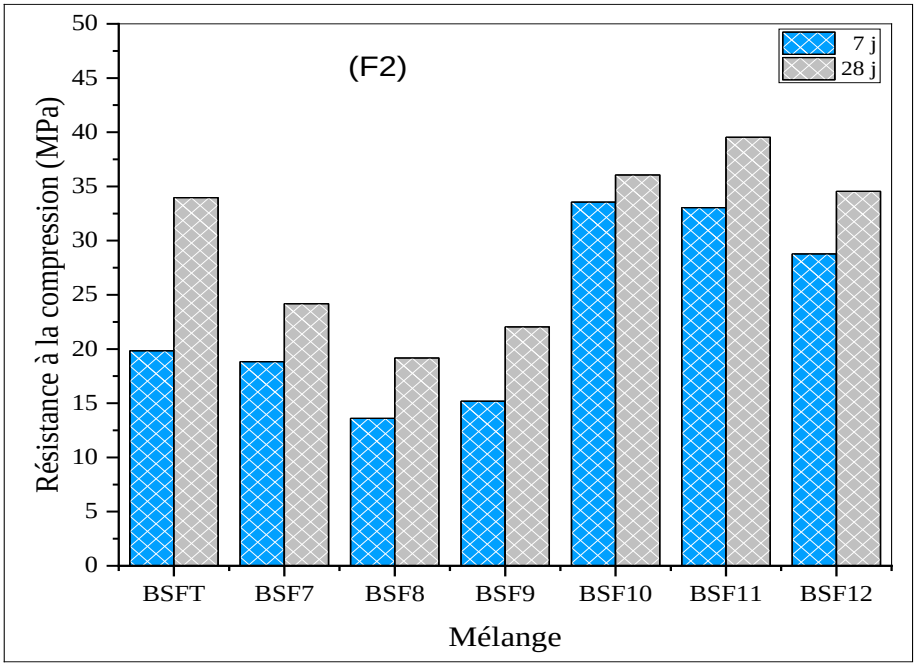


Figure III.5 : la résistance a la compression F2

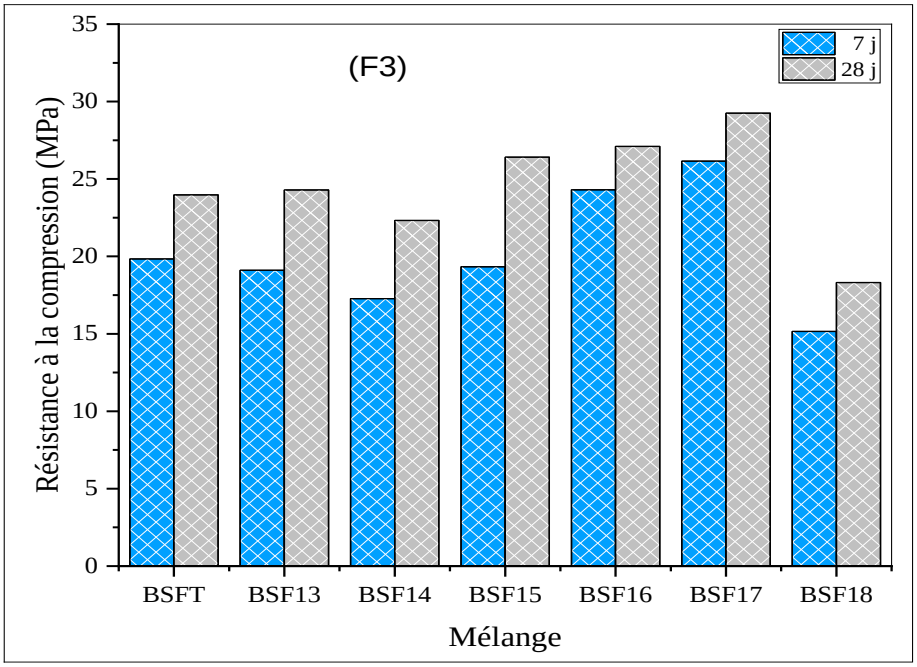


Figure III.6 : la résistance a la compression F3

A partir de la figure III.4, III.5, III.6, 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 37 MPa pour le BSF 11 qui représente l'optimum des BSF. Cette augmentation de la valeur de résistance à la compression est liée essentiellement aux formes des grains de déchets granite, céramique, marbre, verre 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 trouvés par **Abadou et all** [**77**]. 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** [**74**]. Plus que le pourcentage de déchet de coquillage augmente plus que la résistance à la compression diminue. Comparaison de verre : les résultats trouvés sont en concordance avec les résultats trouvés par **SHAYAN et al** [**69**] .plus que le pourcentage de déchets de verre donnait de meilleures résistances .comparaison de marbre : les résultats trouvés sont en concordance avec les résultats trouvés par **Houria Hebhoub et al** [**87**]. Plus que le pourcentage de déchets marbre augmente plus que la résistance a la compression augmente. Comparaison de granite : les résultats trouvés sont en concordance avec les résultats trouvé par **Peem Nuaklong et al [85],** plus que le pourcentage de déchet de granite augmente plus la résistance à la compression augmente.

III.3.3 Conductivité thermique

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

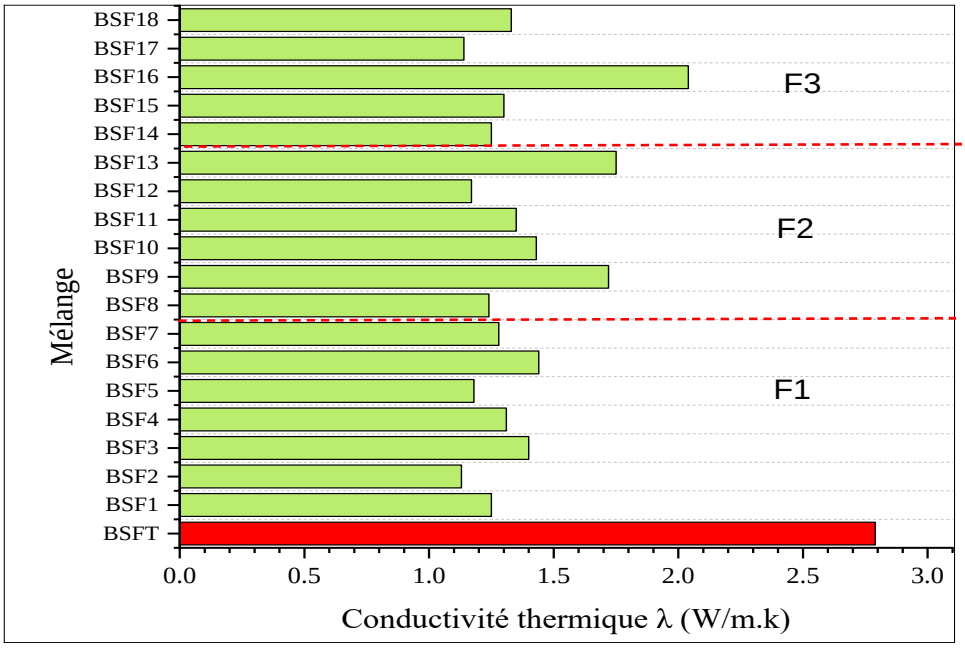


Figure III.7 : conductivité thermique

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

III.3.4 Porosité accessible à l'eau

Les résultats du porosité des différents bétons de sable réalisés sont illustrés dans la figure III.8 suivantes :

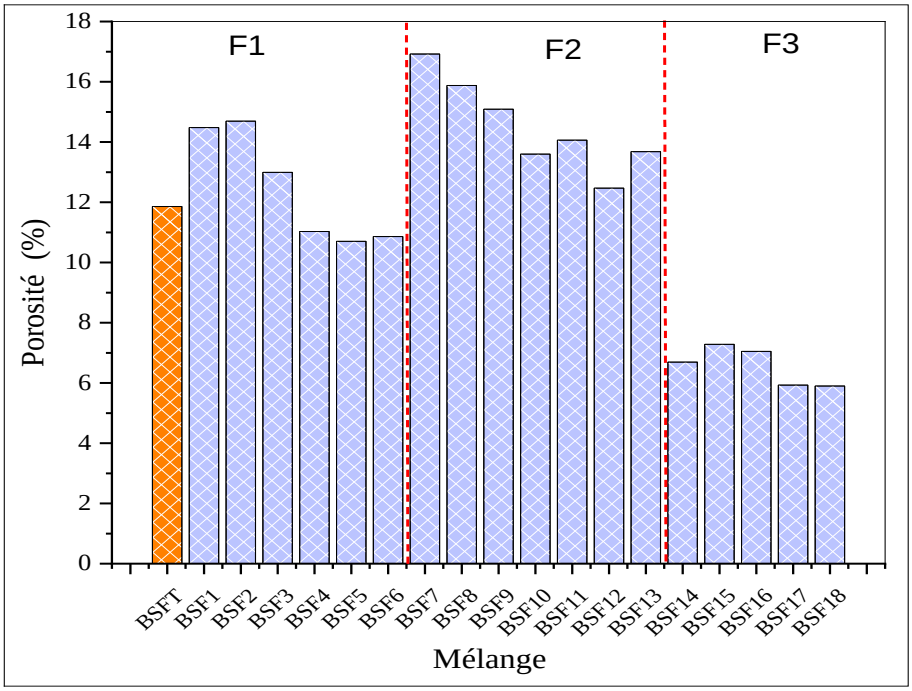


Figure III.8 : porosité accessible

La figure III.8. Présente l'évolution de la porosité accessible à l'eau de différents mélanges de BSF à l'âge de 28 jours. Cette figure montré que la porosité son diminue pour touts les familles F1, F2, F3.

Les meilleure résultats sont enregistré pour la famille F3 (c'est-a –dire ; utilisation de 15 % poudre de verre et de coquillage). Cette diminution de la porosité est justifier par le rôle de remplissage des pores par la poudres de coquillage et de verre, ainsi que effet pouzolanique de cette poudre qui améliorée la micro structure de béton [faible micro pore et micro fissure].

III.3.5 Densité apparent

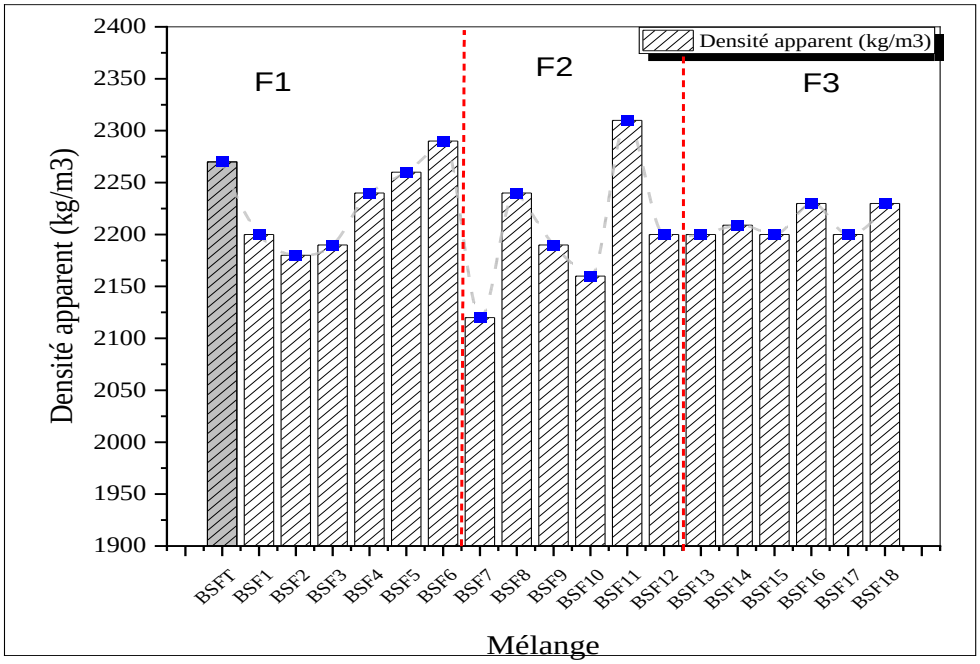


Figure III.9 : densité apparent des déchets

La figure III.9 Présente la variation de la densité apparente de différents mélanges de BSF à l'âge de 28 jours. D'après le résultat obtenu nous avons remarque une léger augmentation de la densité lorsque la substitution des DC, DG, DM, PV et PQ. Cette augmentation peut être liée a la forte gravité des déchets para pore sable naturel, ainsi que la forme angulaire des particules amélioré la compacité par effet de la continuité.

III.3.6 Absorption d'eau capillarité

Les résultats d'absorption d'eau par capillarité des différents bétons de sable réalisés sont illustrés dans les figures III.10, III.11, III.12 suivantes :

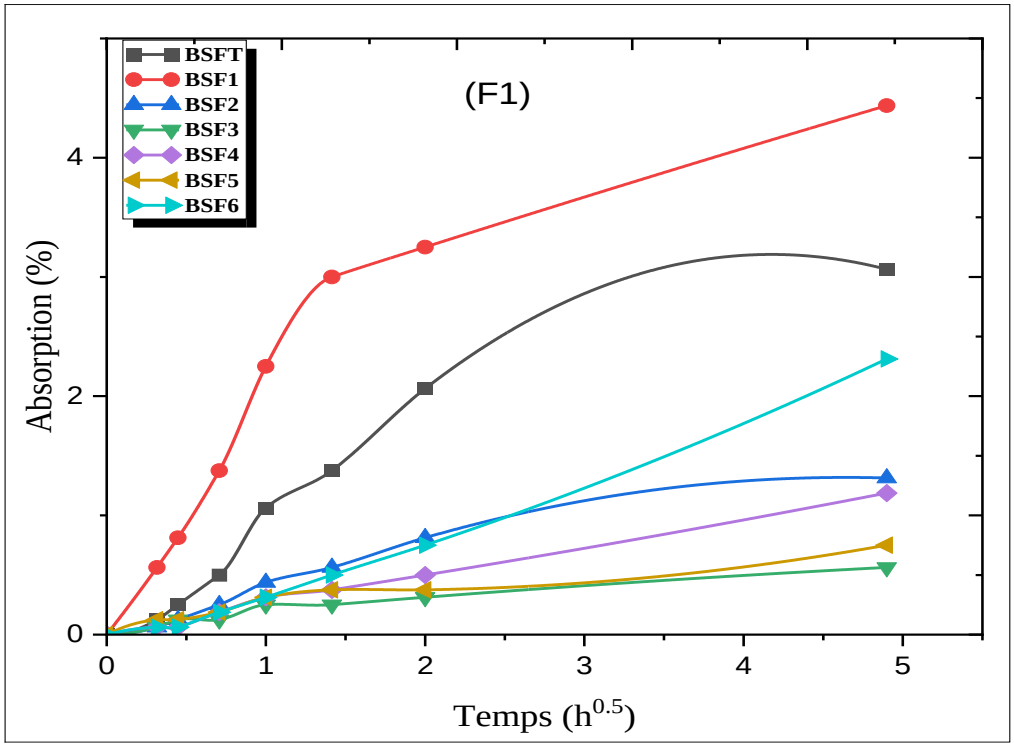


Figure III.10 : absorption d'eau des déchets F1

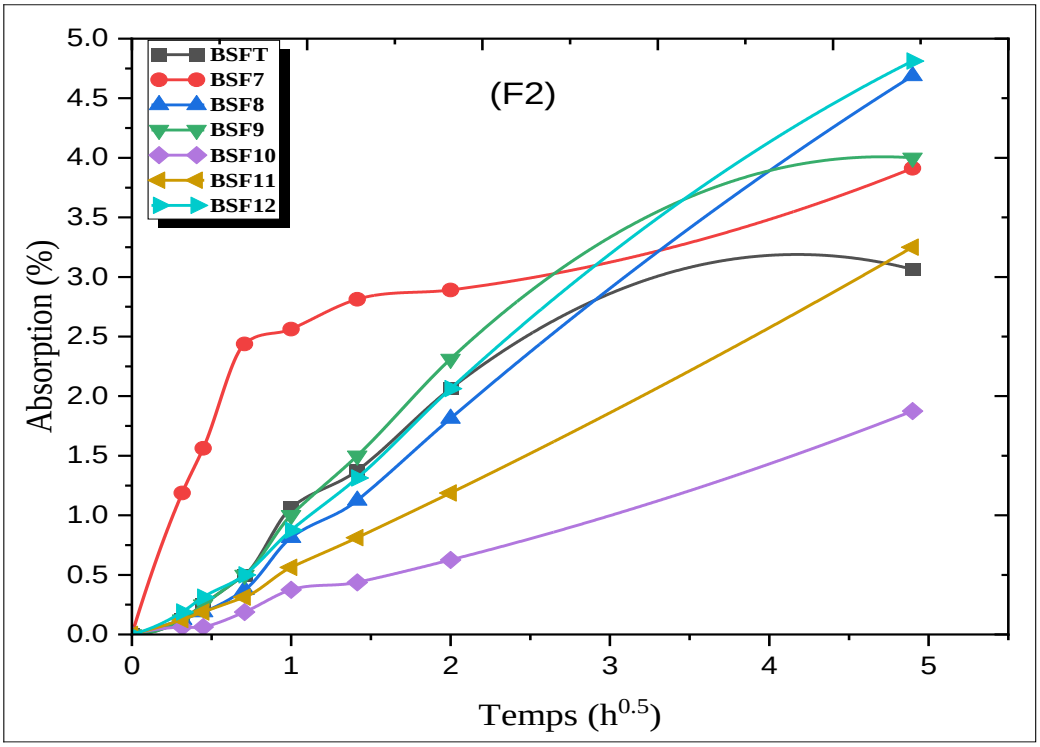


Figure III.11 : absorption d'eau des déchets F2

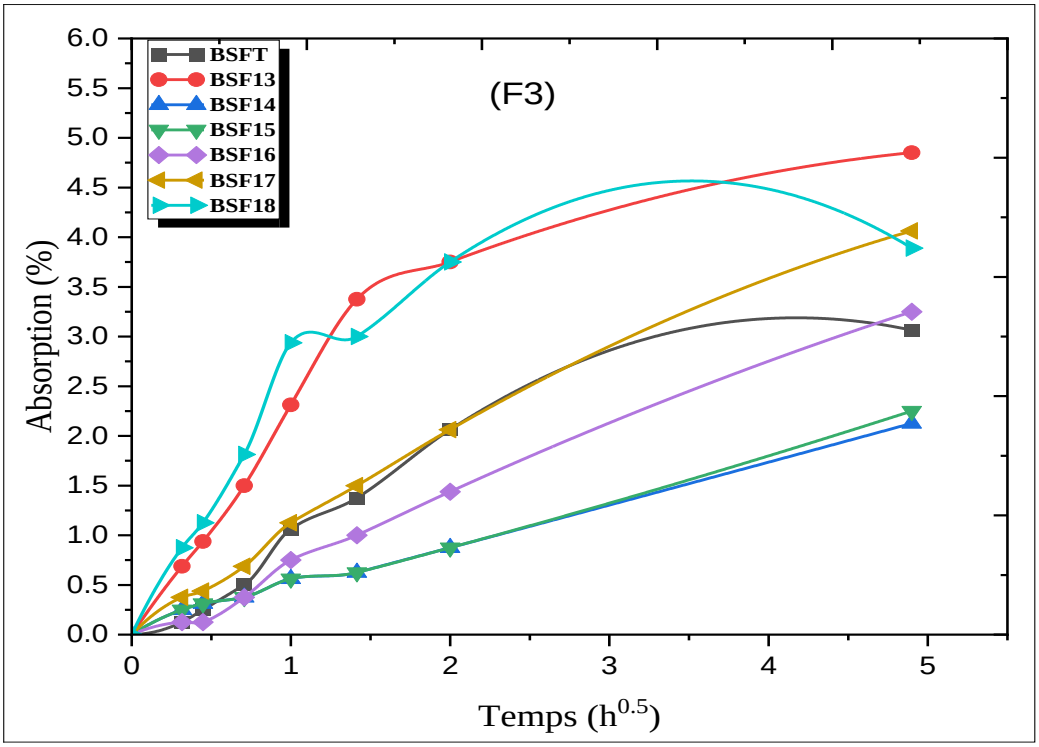


Figure III.12 : absorption d'eau des déchets F3

Les résultats étudiés montrent que l'absorption capillaire de BSF1, 7, 8, 9, 12, 13, 17,19 à base de déchets industriel et déchet de coquillage est plus importante par rapport à l'absorption capillaire de BSFT, par contre les autres familles du béton et moins importance, Cette diminution est liée à l'absorption capillaire de déchets industriel et déchets de coquillage qui sont moins importante que l'absorption capillaire de sable naturel.

III.4 Conclusion

Sur la base des résultats obtenus on conclut que :

- L'étalement de BSF est augmenté en fonction d'augmentation de pourcentage des déchets industrielle (granite, céramique, marbre, verre) et déchets biosources (coquillage)
- La résistance à la compression de BSF à l'âge de 7 et 28 jours argumente d'environ 37 MPa en fonction d'augmentation de déchets (granite, céramique, marbre, verre, coquillage).

Conclusions générales et recommandations

Conclusions générales

L'objectif essentiel de ce travail et de voir l'influence de déchets de granite, céramique, marbre, verre 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 augmentée avec l'augmentation de pourcentage de déchet de granite, céramique, marbre, verre et déchet de coquillage.
- La résistance à la compression améliorée en fonction d'augmentation de pourcentage de déchet industriel et déchet de coquillage
- L'absorption capillaire de béton de sable fluide est diminuée en fonction de diminution de pourcentage de déchet industriel et déchet de coquillage.
- La conductivité thermique de béton sable fluide est diminuée en fonction d'augmentation de déchets céramique et déchets de granite.
- La porosité de béton de sable fluide est diminuée en fonction d'augmentation des fines (poudre de verre et poudre de coquillage) est justifier par le rôle de remplissage.

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

Recommandations

Nous recommandons pour des futurs travaux l'étude :

- Durabilité du béton de sable fluide à base de déchets de granite, céramique, marbre, verre et de déchets de coquillage.
- Influence de déchets de granite, céramique, marbre, verre et de déchets de coquillage sur la performance de béton de sable fluide.
- Influence des déchets de granite, céramique, marbre, verre et de déchets de coquillage sur le comportement de béton de sable fluide.
- Propriété phonique des bétons de sable fluide à base déchets de granite, céramique, marbre verre et de déchets de coquillage.

Références bibliographique

Références bibliographique

[1]. Mathieu Duarand, Yamna Djellouliet et Cyrille Naoarine (dir) « Gestion des déchets » ISBN 978-2-7535-4181-8 Presse université de Rennes ,2015 ; www.pur-edition.fr.
Les déchets et leur élimination. « Les déchets en chiffre : Edition 2015 » ADEME. Fiche 25 à 46

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

[3].https://www.mypaprecsolutions.com/wpcontent/uploads/2019/01/Paprec_IDF_Nord_De%CC%81chets_industriels_Banals_2.jpg

[4]. https://www.valoservices.suez.fr/conseils/blog/valorisation-des-dechets-tout-savoir

[5]. https://www.dunod.com/sites/default/files/atoms/files/9782100743421/Feuilletage.pdf

[6] . 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.

[7]. 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

[8]. https://www.g2d2.com/media/widgetkit/slide-traitement-dechet-dangerux-pateux-phytosanitaire-chimique-boule-refrigerateur-980a76f9b1fc46020a6a2624b3dc1a88.JPG

[9]. https://www.unicem.fr/wp-content/uploads/dechets-inertes-fotolia-32165578-580x250.jpg

[10]. https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/3e/Valleyofdrums.jpg

[11]. https://mineralmilling.com/wp-content/uploads/2020/02/AdobeStock_189571266-smaller-1024x683.jpg

[11]. https://www.couleur-pigment.fr/WebRoot/ce_fr2/Shops/288750/4BBF/4638/DC1B/67E4/9A55/C0A8/8008/C67C/poudre-de-marbre-impalpable.JPG

[11]. https://www.kremer-pigmente.com/elements/products/big/58804_3.jpg

[11]. https://www.final-materials.com/c/424-category_default/poudre-ceramique.jpg

[12]. https://im.qccdn.fr/term/dossier-dechet-menager-275/principal-439.jpg

[13]. https://www.actuenvironnement.com/images/illustrations/breve/35459medium.jpg

[14]. https://lesjoyeuxrecycleurs.com/lexique/le-verre/

[15]. http://www.verreonline.fr/v_plat/images/fabr_comp1a.gif

[16]. https://www.techno-science.net/glossaire-definition/Verre.html

[17]. https://infovitrail.com/contenu.php/fr/d/---les-proprietes-du-verre/eb96853d-c67e-4ec6-b993-479cb5a07cf8

[18]. https://artisanvitrier.paris/blog/la-porte-vitree-avantages-et-inconvenients/

[19]. https://fr.wikipedia.org/wiki/Coquille_(mollusque)

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

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

[22]. https://www.futura-sciences.com/planete/dossiers/zoologie-coquillemollusquesmemoire-environnement-662/page/3/

[23]. https://www.minco.fr/blog/environnement/le-coquillage-un-materiau-biosource-a-utiliser/

[24]. https://lemagdesanimaux.ouest-france.fr/dossier-874-coquillages.html

[25]. https://download.vikidia.org/vikidia/fr/images/e/e9/Bivalvia.jpg

[26].https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcS1-jevqpplP4qqPH64-IZb5Y3SkQ-EDQxcvGQFqkXFUzIhQ8E-nEmT8OtLWFQekEBV1po&usqp=CAU

[27].https://ressources.unisciel.fr/zoologie/Mollusques/images/cephcombo.250a_www.tolweb.org.jpg

[28].https://www.sba63.fr/sites/www.sba63.fr/files/styles/thumb_339_247/public/dechets/poterie.jpg?itok=HbSih_VD

[29].https://www.recyclageunifer.fr/detailstraitement+et+valorisation+verre+proche+gonfreville-l+orcher+en+normandie-158.html

[30]. https://www.sevam.ma/fr/developpement-durable/processus-de-fabrication

[31].https://fr.wikiversity.org/wiki/Introduction_%C3%A0_la_science_des_mat%C3%A9riaux/Les_c%C3%A9ramiques

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

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

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

[35]. https://www.lalanguefrancaise.com/dictionnaire/definition/brique#0

[36]. NF EN 993-15 .Méthodes d'essai pour produits réfractaires façonnés denses – Partie 15 déterminations de la conductivité thermique par la méthode du fil chaud (parallèle) Octobre 2005

[37]. ISO 834-1, Essai de résistance au feu - Éléments de construction - Partie 1: Exigences Générales, 1999

[38]. Collection Mémento Technique, "Tuiles et Briques de Terre Cuite", Edition Moniteur Paris, 1998.

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

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

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

[42]. Nicolescu ,Généralités : Rapport Général Colloque International sur l'Utilisation Des Sous-produits et Déchets dans le Génie Civil', Recueil des communications, Volume III, ENPC, Paris, 1978, p. 15.

[43]. 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.

[44]. https://static.pratique.fr/images/unsized/la/la-terre-cuite-une-tendance-deco-pour-un-effet-naturel-istock-com-petekarici-219-1581609508.jpg

[45]. https://i.ebayimg.com/images/g/A8EAAOSwR0tgntGq/s-l500.jpg

[46].https://www.terrescuitesdaizenay.com/Files/21674/Img/22/Colombage-parement-de-3-vieilli.jpg

[47]. http://geologyscience.com/rocks/granite/

[48]. https://votreguide.france-tombale.fr/les-differents-granits/

[49]. https://thumbs.dreamstime.com/z/d%C3%A9chets-de-la-production-des-produits-de-granit-89240544.jpg

[50]. https://slideplayer.fr/slide/1694110/

[51]. https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcR5RzJF3fz-9RRyYlK457SMNe9zy9a6qQDhEQ&usqp=CAU

[52].https://thumbs.dreamstime.com/b/%

[53].https://www.martialexcavation.com/assets/images-produits/pierres-decoratives-b/pierre-

decorative-granite-rose-10.jpg

[54]. https://www.sable-gravier-galet-decoratif.com/_media/img/small/azul-macauba-2.jpg

[55]. https://www.techno-science.net/glossaire-definition/Marbre.html

[56]. http://dspace.univ-medea.dz/bitstream/123456789/3177/1/M117027.pdf

[57]. https://www.researchgate.net/figure/a-Carriere-de-marbre-b-Dechets-de-marbre-a-letat-poudreux-107_fig31_333244852

[57].https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/8/8d/MarbleUSGOV.jpg/220px-MarbleUSGOV.jpg

[58]. https://legal-marbre-design.fr/26-plan-de-travail-marbre-nuancier

[59]. https://www.synonyme-du-mot.com/les-articles/ou-trouver-du-marbre-dans-le-monde

[60]. https://fr.wikipedia.org/wiki/Grand_Trianon#/media/Fichier:78-Versailles-grand-Trianon-jardins.jpg

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

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

[63].SABLOCRETE,«Bétonsdesable:caractéristiquesetpratiqued'utilisation»,Pressesdel'écolenationaledespontsetchaussées(1994).Paris,France.

[64]. https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/72/Egypt-IMG_0960.jpg

[65]. https://www.infociments.fr/betons/betons-projetes

[66]. https://www.ovive-sa.fr/traitement-des dechets/professionnels/?fbclid=IwAR3lvvRwpTOc7R_lytfUxj5h7wtbFO6IXjHZ3CYBcnXm31z6DIwA1jvy78

[67]. Hongjian Du Use of waste glass as sand in mortar: Part I – Fresh, mechanical and durability properties Cement and Concrete Composites 35(1):109–117 · January 2013.

[68]. Kiang Hwee Tan, Park SB, Lee BC. Studies on mechanical properties of concrete containing waste glass aggregate. Cem Concr Res 2004; 34(12):2181–9.

[69]. SHAYAN studied the use of the waste glass aggregates in concrete 2002 .

[70]. BATAYNEH Use of selected waste materials in concrete mixes waste management 2007,pages 1870-1876.

[71]. Park SB, Lee BC, Kim JH. Studies on mechanical properties of concrete containing waste glass aggregate. Cem Concr Res 2004; 34(12):2181–9.

[72]. 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

[73]. 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

[74]. 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

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

[76]. 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

[77]. Abadou Y, Mitiche-Kettab R, Ghrieb A. Ceramic waste influence on dune sand mortar performance. Constr Build Mater. 2016;125:703–713.

[78]. 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

[79]. 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

[80]. 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.

[81]. 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.

[82]. 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.

[83]. 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.

[84]. 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.

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

[86]. Houria Hebhoub et Mouloud Belachia [03 Décembre 2010 / Nature & Technologie]

[87]. Naamaoui née Haddadou Naima Elaboration et caractérisation de béton autoplaçant fibré avec ajout de poudre de marbre Thèse de Doctorat.

[88]. Taylor et Francis [This article was downloaded by: [University of Boumerdes] On: 20 May 2013, At: 06:40 : European Journal of Environmental and Civil Engineering]

[89]. https://www.larousse.fr/encyclopedie/divers/terre_cuite/186015

[90]. https://www.pavebeton.fr/beton-fluide-s4/

ANNEXES



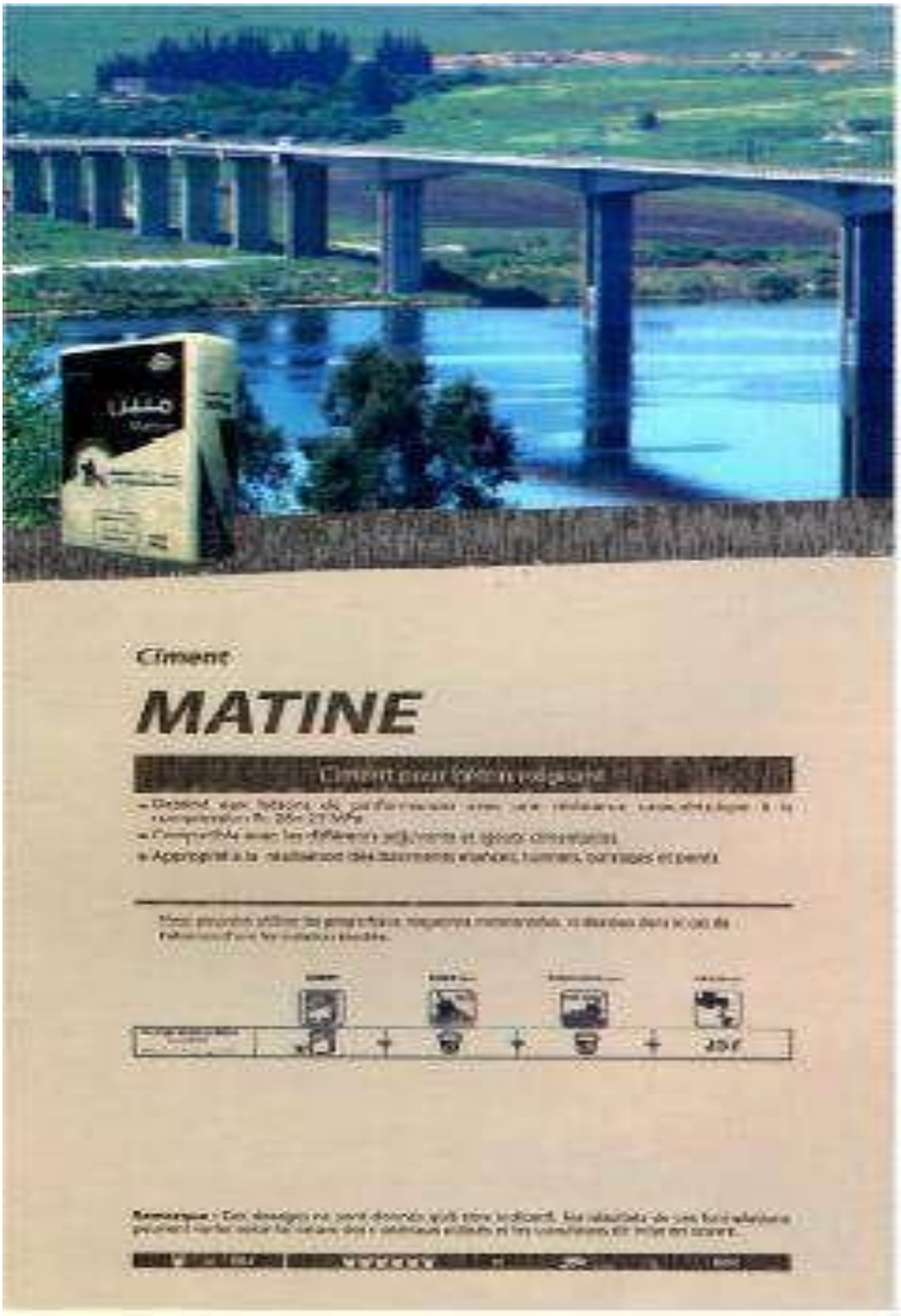


Figure 1 : la fiche technique de ciment

LAFARGE
لافارج

FICHE TECHNIQUE

MATINE

Ciment pour béton exigeant

CEM II/A 42,5 R NA 442

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

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

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

Domaine d'utilisation :

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

Les principales applications de ce ciment sont :

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

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

Figure 2 : la fiche technique de ciment



NOTICE PRODUIT

Sika® ViscoCrete® TEMPO-10

Superplastifiant/Haut réducteur d'eau de nouvelle génération polyvalent

INFORMATIONS SUR LE PRODUIT

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

DOMAINES D'APPLICATION

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

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

CARACTÉRISTIQUES / AVANTAGES

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

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

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

AGRÉMENTS / NORMES

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

DESCRIPTION DU PRODUIT

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

Figure 3 : la fiche technique de l'adjuvent