REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA

Faculté de **T**echnologie

Mémoire de fin d'études de Master

Filière : Génie Civil

Spécialité : Matériaux en Génie Civil

EFFET SYNERGIQUE DES DÉCHETS SOLIDES SUR LES PERFORMANCES DES MATÉRIAUX BIOSOURCÉ

Présenté par :

M^elle. YAGOUB Hafidha

M^elle . MAAMERI Ines

Proposé et Dirigé par :

Dr .GUENDOUZ Mohamed

Mr. HADJADJ Moussa

Promotion Juin 2023

Remerciements

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

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

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

Un grand merci à madame ***BOUKHALKHAL Djamila,*** *pour son aide pratique et sonsoutien moral et ses encouragements.*

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

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

Dédicace

Une chance m'a été offert aujourd'hui pour vous parler des personnes qui
Me sont chers et a qui je leurs doit tout.
Avec cette dédicace, j'espère pouvoir leurs exprimer toutes mes remerciements
Et ma profonde gratitude.
Tout d'abords, je commence par ma tré cher Mère et mon cher Père qui
M'a toujours toute donne que dieu la protège et la garde en bonne sante.
Je dédie aussi a :
Mes très chers frères
Mes très chères sœurs
Et en dernier je dirais qe j'ai beaucoup de chance d'avoir des personnes qui m'aiment et qui sont toujours présentes pour moi.

Merci.

Hafida

Dédicace

Une chance m'a été offert aujourd'hui pour vous parler des personnes qui
Me sont chers et a qui je leurs doit tout.
Avec cette dédicace, j'espère pouvoir leurs exprimer toutes mes remerciements
Et ma profonde gratitude.
Tout d'abords, je commence par ma tré cher Mère et mon cher Père qui
M'a toujours toute donne que dieu la protège et la garde en bonne sante.
Je dédie aussi a :
Mes très chers frères
Mes très chères sœurs
Et en dernier je dirais qi j'ai beaucoup de chance d'avoir des personnes qui m'aiment et qui sont toujours présentes pour moi.

Merci.

Ines

ملخص

الهدف الرئيسي من هذا المشروع هو المساهمة في تثمين و رسكلة النفايات الصناعية –الغرانيت, الزجاج و السيراميك – ونفايات الصدفات ودمجها بشكل حجمي في كتلة الخرسانة الرملية المائعة بنسب مختلفة , مع دراسة خصائصها في الحالة الرطبة و في الحالة الصلبة ومقارنتها مع خرسانة رملية مائعة عادية .

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

الكلمات المفتاحية :

الخرسانة الرملية المائعة

نفايات الصدفات

نفايات الزجاج

نفايات الغرانيت

نفايات السيراميك

الرمل , الاسمنت و المحسنات

Résumé

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

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

Les mots clés :

Béton de sable fluide
Déchets de coquillage
Déchets de verre
Déchets de granite
Déchets céramique
Le sable, le ciment et les adjuvants

Abstract

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

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

SOMMAIRE

1
Remerciements
dédicace
Résumés
Sommaire
Liste des Tableaux
Liste des Figures
Notation et Abréviation
Introduction générale **01**
CHAPITRE I : RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE **03**
I .1 Valorisation des déchets et activité de recyclage en construction **04**
I .1.1. Introduction **04**
1.1.2. Déchets et type déchets **04**
I.1.2.1. Déchets **04**
I.1.2.2. Récupération **05**
I.1.2.3. Recyclage **05**
I.1.2.4. Compostage **05**
I.1.2.5. Incinération **05**
I.1.2.6. Valorisation **05**
I.1.3. Types de déchets **06**
I.1.3.1. Les déchets biodégradables **06**
I.1.3.2. Les déchets inertes **07**
I.1.3.3. Les déchets recyclables **08**
I.1.3.4. Les déchets ultimes **09**
I.1.3.5. Les déchets dangereux **09**
I.1.4. Technique de recyclage **09**
I.1.4.1. Définition de recyclage **09**
I.1.4.2. Procédés du recyclage **10**
I.1.4.3. La chaine du recyclage **10**
I.1.5. Valorisation des déchets **11**
I.1.6. Les différents types de valorisation **11**
I.1.6.1. Le recyclage **11**
I.1.6.2. La régénération **12**
I.1.6.3. Le réemploi **12**
I.1.6.4. La valorisation énergétique **12**
I.2. Coquillage **13**
I.2.1. Introduction **13**
I.2.2. Définition **13**
I.2.3. Les différents types de coquillages **14**
I.2.4. Composition du coquillage **16**
I.2.5. Valorisation de déchets de coquillage **16**
I.3. Granite **17**
I.3.1. Introduction **17**

SOMMAIRE

I.3.2. Définition **18**
I.3.3. Les types de granite **18**
I.3.4. Domaine d'utilisation de granite **19**
I.3.5. Origine, composition et densité du granit **19**
I.3.6. Les propriétés du granit **20**
I.4.Verre **22**
I.4.1. Introduction **22**
I.4.2. Définition **22**
I.4.3. Les compositions du verre **22**
I.4.4. Types de verres industriels **23**
I.4.5. Domaine d'Utilisation de verre **25**
I.4.6. Domaines d'application de verre **26**
I.5 Céramique **27**
I.5.1. Introduction **27**
I.5.2. Définition **27**
I.5.3. Type de céramique **28**
I.5.4. Technologie de fabrication d'une céramique **32**
I.5.5. Propriétés des céramique **33**
I.5.6. L'utilisation de déchet de céramique **35**
I.6. Le béton de sable **35**
I.6.1. Introduction **35**
I.6.2. Origines de béton de sable **36**
I.6.3. Définition **37**
I.6.4 Spécificité du béton de sable **37**
1.6.5 Techniques particulières **37**
I.6.5.1. Béton de sable projeté **37**
I.6.5.2. Bétons de sable fluide **38**
I.6.6. Les composants du béton de sable **39**
I.6.7. Propriétés essentielles du béton de sable **39**
I.6.7.1 Propriétés générales **39**
I.6.8. Utilisation des bétons de sable **40**
I.6.9. Méthode de formulation de béton de sable **44**
I.6.9.1. Approche théorique d'une formulation d'un béton de sable **44**
I.6.9.2. Méthode expérimentale de formulation des bétons de sable **50**
1.6.10. Conclusion **51**
CHAPITRE II : MATERIAUX ET ESSAIS **53**
II.1 Introduction **54**
II.2 Caractérisation des matériaux utilisés **54**
II.2.1 Ciment **54**
II.2.2 Granulats **54**
II.2.2.1 Le Sable **54**
II.2.2.2 Déchets de coquillage **56**
II.2.2.3 Déchets de granite **57**
II.2.2.4 Déchets de verre **58**
II.2.2.5 Déchets de céramique **60**

SOMMAIRE

II.2.3 Eau de gâchage **61**
II.2.4 Adjuvant **61**
II.2.5 filler **62**
II.3 Formulation du béton de sable fluide **63**
II.4 Séquence de malaxage du béton **64**
II.5. Essais réalisé sur le BSF **66**
II.5.1. Etat frais **66**
II.5.2.Etat durci… **68**
II.5.3. Durabilité **71**
II.6 Conclusion **74**
CHAPITRE III : RÉSULTATS ET INTERPRÉTATION **75**
III.1 Introduction **76**
III.2.1 Influence de combinaison de déchets solides **76**
1. Etat frais **76**
1.1 Étalement **77**
1.2. La densité **78**
2. État durci **80**
2.1. Résistances mécaniques **80**
2.2. Densité à l'état durci **82**
2.3. La conductivité thermique **83**
2.4. essai ultrasonique **84**
3. Durabilité **85**
3.1. Absorption d'eau **85**
3.2. La porosité accessible à l'eau **86**
Conclusion générale et recommandation **87**
Conclusions générales **88**
REFERENCES **89**
ANNEXES **95**
Annexe-A **96**
Annexe-B **98**

Liste des Tableaux

Liste des Tableaux

Tableau II.1 L'analyse chimique du ciment et composition du clinker **71**

Tableau II.2 : Propriétés physiques d'identification de sable utilisés **72**

Tableau II.3 : Propriétés physiques de SQ **73**

Tableau II.4 : Propriétés Physiques de SG **75**

Tableau II.5 : Propriétés Physiques de déchet de verre **76**

Tableau II.6 : Propriétés physiques de SC **77**

Tableau II.7 : Propriétés physiques de super-plastifiant **79**

Tableau II.8 : Propriétés physiques de Filer **80**

Tableau II.9 : les composantes des bétons formulés à base des déchets de coquillage, granite, verre et céramique **81**

Liste des Figures

Liste des Figures

Figure I.1 : Stratégies de traitement des déchets. **05**

Figure I.2: Valorisation des déchets **06**

Figure I.3 : Les déchets biodégradables et la durée de biodégradabilité **07**

Figure I.4 : déchets inertes **07**

Figure I.5: Les déchets recyclables **08**

Figure. I.6: Les déchets ultimes **09**

Figure I.7 : Les déchets dangereux **09**

Figure I.8: recyclages du verre **11**

Figure I.9 : Coquillages **13**

Figure I.10 : Les gastéropodes **14**

Figure I.11 : Les bivalves **15**

Figure I.12 : Les multivalves **15**

Figure I.13 : Valorisation de déchets de coquillages **17**

Figure I.14 : Le granite **18**

Figure I.15 : Décher de verres de Pare-brises **22**

FigureI.16 : La composition du verre **23**

Figure I.17 : Verre plat **24**

Figure I.18: Verre moulé **24**

Figure I.19: verre étiré **24**

Figure I.20: verre trempé **24**

Figure I.21: Verre feuilleté **25**

Figure I.22 : Verre antireflet **25**

Figure I.23v: Verre hydrophobe **25**

Figure I.24: systèmes d'éclairage **27**

LISTE DES FIGURES

Figure 1.25. Électroniques **27**

Figure 1.26. Équipements industriels **27**

Figure 1.27. Le transport **27**

Figure .1.28. Optiques **27**

Figure I.29 : Planchers de céramique froids **28**

Figure I.30 : Les tuiles **29**

Figure I.31 : Les faïences **30**

Figure I.32 : Brique **30**

Figure I.33: Dalle de sol **30**

Figure I.34 : La porcelaine **31**

Figure 1.35. Vase blanc en terre cuite **32**

Figure 1.36. Technologie de fabrication d'une céramique **32**

Figure 1.37. Température en fonction de conductivité thermique **33**

Figure 1.38. Structure de bande d'un métallique **36**

Figure I.39: Les phares d'Égypte : laboratoire et conservatoire de l'ingénierie européenne du xix^{e} siècle. **37**

Figure I.40: : Le béton de sable en projection **38**

Figure I.41: **.** Influence du module de finesse du sable sur la maniabilité d'un BS **42**

Figure I.42 : Influence de la nature du sable sur la maniabilité (avec fines addition calcaire) **42**

Figure I.43 : **.** Effet de fillers calcaire sur la densité des sables DS, RS et RDS **43**

Figure I.44 : Effet du dosage et de la finesse de l'addition sur la résistance **45**

Figure I.45 : Influence de la nature de addition sur le niveau de resistance **46**

Figure I.46 : Effet de la granularité sur la résistance **47**

Figure II.1: : Le ciment utilisé (Annexe A) **54**

Figure II.2: Sable moyenne d'Oued souf **55**

LISTE DES FIGURES

Figure II.3 : Analyse granulométrique des sables utilisées **56**

Figure II.4 : les étapes de préparation de coquillage **56**

Figure II.5 : Déchets de granite **58**

Figure II.6: Déchet de verre utilisé **59**

Figure II.7 : Déchets de céramique utilisée **61**

Figure II.8: super-plastifiant utilisé **61**

Figure II.9 : poudre de marbre **62**

Figure II.10: Séquence de malaxage du béton de sable fluide **66**

Figure II.11 : Protocole de malaxage **67**

Figure II.12 : Mesure de l'étalement du béton de sable fluide **68**

Figure II.13 : Fabrication des éprouvettes **69**

Figure II.14 : Mesure de la densité du béton **70**

Figure II.15 : Conservation des éprouvettes **70**

Figure II.16 : Dispositif de mesure de la résistance à la compression. **71**

Figure II.17: Dispositif pour l'essai de la conductivité thermique **71**

Figure II.18 : Etalonnage et mesure du temps de parcours des ondes ultrasonores. **72**

Figure II.19 : densité apparente à l'état durci **73**

Figure II.20 : Absorption d'eau par succion capillaire de BSF **76**

Figure II.21 : Essai de Porosité accessible à l'eau **77**

Figure II.22 : : Variables étudiées **78**

Figure III.1 : Dosage des super-plastifiant en de défirent type du béton. **79**

Figure III.2 : Densité de BSF à base de déchets solides. **79**

Figure III.3 La résistance à la compression de BSF à base de déchets solides (S1) **80**

Figure III.4 : La résistance à la compression de BSF à base de déchets solides (S2) **81**

Figure III.5 : La résistance à la compression de BSF à base de déchets solides (S3) **81**

Figure III.6 : densité à l'état durci **82**

Figure III.7 Conductivité thermique des Bétons de sable à base des déchets solides **82**

Figure III.8 essai de vitesse ultrasonique **82**

LISTE DES FIGURES

Figure III.9 : Absorption d'eau des BSF à base de déchets solides (S1) **83**

Figure III.10 : Absorption d'eau des BSF à base de déchets solides (S2) **83**

Figure III.11 : Absorption d'eau des BSF à base de déchets solides (S3) **84**

Figure III.12 : Essai de la porosité accessible à l'eau. **85**

NOTATIONS ET ABREVIATIONS

NOTATIONS ET ABREVIATIONS

BSF Béton de sable fluide

BSFT Béton de sable fluide témoin

BAP1,2,….18 Béton de sable fluide à base de déchets de coquillage, granite, verre et céramique.

CPA Ciment Portland Artificiel

CPJ Ciment Portland Composée

E/C Rapport eau sur ciment

R Résistance

R_C Résistance à la compression

SR Sable recyclé

SP Superplastifiant

NA Norme Algérienne

NE Norme Européenne

Mf Module de finesse

ES Equivalent de sable à piston

ESV Equivalent de sable à vue

E Quantité d'eau

M Moment de flexion

I Moment d'inertie

L Liante

F Filaire

INTRODUCTION GÉNÉRAL

INTRODUCTION GÉNÉRAL

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

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

C'est dans ce contexte que s'ouvre la réflexion sur la formulation de nouveaux bétons qui utiliseraient des ressources abondantes, peu ou pas exploitées, et présenteraient soit des caractéristiques comparables à celles des bétons usuels, soit des caractéristiques répondant à certaines exigences mal assurées par ces derniers. La valorisation des matériaux locaux ainsi que la réutilisation des déchets de différentes nature actuellement l'objet de différentes recherches. Ce travail consiste donc à récupérer les déchets rejetés, après avoir été collectés, sont incorporés dans le béton de sable fluide par substitution volumétrique du sable et par ajout. Le composite ainsi réalisé est appelé "béton de sable fluide à base de déchets de fonderie". A part le ciment, chaque matériau de base constituant ce béton entre soit dans le cadre de la valorisation des matériaux locaux, soit dans le cadre de la réutilisation des déchets industriels

Pour le but de contribuer à la valorisation et au recyclage des déchets industriel (granite, verre et céramique) et déchetde coquillage, nous avons étudier l'effet de la combinaison de ces déchets sur les caractéristique de béton de sable fluide à l'état frais (étalement, densité) et à l'état durci (R_C , densité, essai ultrasonique, conductivité thermique, la porosité accessible à l'eau et l'absorption capillaire).

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

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

Le dernier chapitre est consacré à la présentation des résultats et leurs interprétations. Les différentes résultats sont analysés indépendamment les uns des autres. Finalement, on terminera ce travail par une conclusion générale et des recommandations pour le futur afin de bien contourner et compléter cette modeste étude, par l'initiation à la recherche.

CHAPITRE I

RECHERCHES

BIBLIOGRAPHIQUES

I.1 Valorisation des déchets et activité de recyclage en construction

I.1.1 Introduction

L'évolution des mentalités et de la technique, avec les exigences en termes de protection de l'environnement de plus en plus contraignantes ainsi que la révision des repères économiques inspirés du développement durable font que le recyclage et la valorisation de sous-produits industriels constituent désormais un souci qui s'impose de plus en plus à l'homme.

La valorisation des déchets dans le génie civil est un secteur important dans la mesure où les produits que l'on souhaite obtenir ne sont pas soumis à des critères de qualité trop rigoureux. La récupération et recyclage des déchets touchent deux impacts très importants, l'impact environnemental qui est résout par l'évacuation de ces déchets et l'impact économique qui est l'utilisation de ces derniers dans l'industrie ou dans le domaine de la construction, ces déchets ont l'avantage d'être disponibles en grande quantité et avec de faible valeur marchande **[1].**

I.1.2. Déchets et type déchets

I.1.2.1. Déchets

Selon la loi du 15 juillet 1975, est considéré comme constituant un déchet : « Tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau, produit, ou plus généralement tout bien meuble abandonné ou que le détenteur destine à l'abandon » (article L.541-1-1 du Code de l'environnement).

La définition de déchet est complétée par la **notion de déchet ultime** (loi du 13 juillet 1992) : « un déchet résultant ou non d'un traitement d'un déchet, qui n'est plus susceptible d'être traité dans des conditions techniques et économiques du moment, notamment par extraction de la part valorisable ou par réduction de son caractère polluant ou dangereux », et précisée par la circulaire d'avril 1998 « les déchets ultimes sont les déchets dont on a extrait la part récupérable ainsi que les divers éléments polluants comme les piles et accumulateurs ».**[2]**

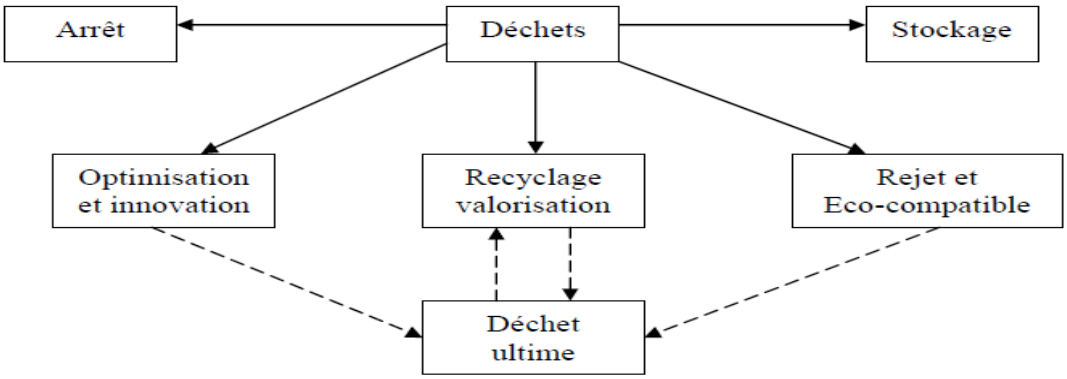


Fig1.1. Stratégies de traitement des déchets. (Boutemeur et al, 2002)

I.1.2.2. Récupération

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

I.1.2.3. Recyclage

Le recyclage est un procédé de traitement des déchets et de réintroduction des matériaux qui en sont issus dans le cycle de production d'autres produits équivalents ou différents. Le recyclage permet de réduire les volumes de déchets, et donc leur pollution, et de préserver les ressources naturelles en réutilisant des matières premières déjà extraites. **[3]**

I.1.2.4. Compostage

Procédé biologique qui permet, sous l'action de bactéries aérobies (en présence d'oxygène), la dégradation accélérée de déchets organiques pour produire du compost **[3].**

I.1.2.5. Incinération

Méthode de traitement thermique des déchets qui consiste en une combustion (technologie et température variant selon la nature du déchet) et un traitement des fumées. De cette technique résultent trois catégories de résidus : mâchefers, cendres et résidus d'épuration des fumées. La chaleur générée par l'incinération fait l'objet de valorisation énergétique (production d'électricité et de chaleur) dans la plupart des unités. **[3]**

I.1.2.6. Valorisation

La valorisation est définie comme "L'élimination des déchets comporte les opérations de collecte, transport, stockage, tri et traitement nécessaires à la récupération des éléments et

matériaux réutilisables ou de l'énergie, ainsi qu'au dépôt ou au rejet dans le milieu naturel de tous autres produits dans des conditions propres à éviter les nuisances. Avant de valoriser un déchet, il faut connaitre son origine, l'analyser, caractériser son état actuel et son comportement dans le temps et évaluer sa traficabilité. Il s'agit donc de ≪mesurer pour connaître et connaître pour agir ».

L'approche globale du déchet permettra d'en définir son devenir, à savoir quel type de Valorisation choisir. **[4]**.

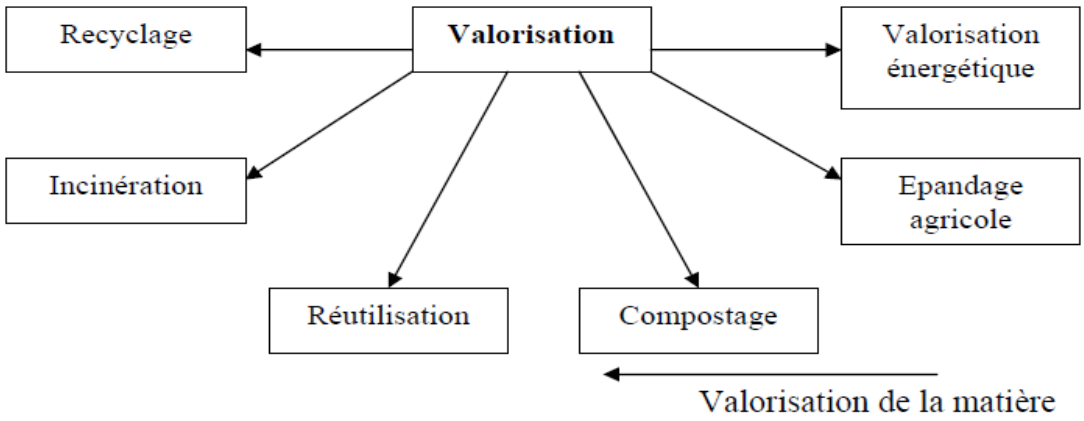


Fig1.2.

Valorisation des déchets (Clastres, 2004).

I.1.3. Types de déchets :

Il existe plusieurs types de déchets, classés selon leur origine (agricoles, municipaux, industriels, des activités de soins) ou selon leur typologie comme ci-dessous (compostables ou biodégradables, inertes, recyclables, ultimes ou dangereux **[5]**

I.1.3.1. Les déchets biodégradables :

Ils correspondent aux :

Déchets de jardin qui sont produits par les collectivités, les sociétés privées d'entretien des espaces verts et les particuliers.

- Déchets alimentaires ou « eaux grasses » qui sont issus essentiellement des métiers de la restauration et de l'industrie agro-alimentaire.
- Déchets de maison qui sont produits par les particuliers**.[5]**

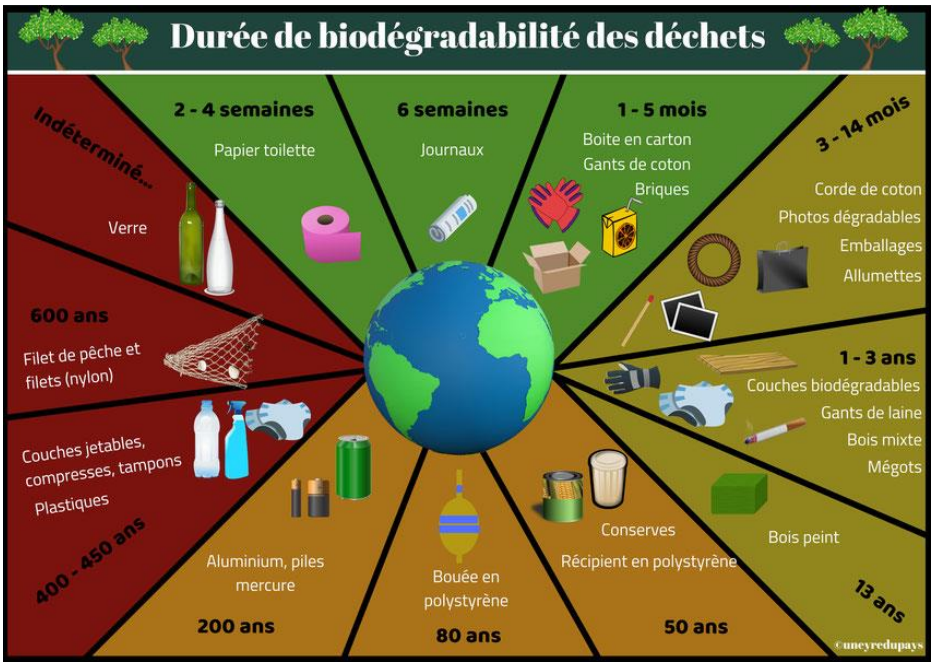


Fig.1.3. Les déchets biodégradables et la durée de biodégradabilité **[3]**

I.1.3.2. Les déchets inertes :

Les déchets inertes sont des déchets qui ne se décomposent pas, ne brûlent pas et ne produisent aucune autre réaction physique, chimique ou biologique de nature à nuire à l'environnement. Ils ne sont pas biodégradables et ne se détériorent pas au contact d'autres matières. Ils proviennent principalement des filières du bâtiment et des travaux publics.**[5]**



Fig1.4 déchets inertes **[4]**

Dans le secteur du bâtiment, on distingue les déchets issus des activités de construction, de rénovation, de démolition (béton, briques, tuiles, céramiques, carrelage…) ainsi que des activités liées à la réalisation et à l'entretien d'ouvrages publics (routes, ponts, réseaux…). Dans le secteur des travaux publics, les déchets inertes correspondent principalement à des déchets minéraux issus de la démolition d'ouvrages d'art et de génie civil mais également à des cailloux et de la terre.

On peut aussi ajouter les déchets liés aux activités routières (enrobés goudronnés, bitumineux, aimantés, avec ou sans métaux lourds…) et aux travaux de voirie (déblais de tranchées, de bordures de trottoirs, de pavés…).**[5]**

I.1.3.3. Les déchets recyclables

Un déchet recyclable est un matériau que l'on peut techniquement recycler. Pour qu'un déchet soit recyclé, il faut qu'il soit récupéré dans le cadre d'une collecte de tri sélectif. Un objet recyclable n'est donc pas forcément recyclé.

Il existe plusieurs catégories d'objets recyclables pouvant servir à fabriquer de nouveaux produits :

Les déchets ménagers et assimilés sont surtout produits par les ménages, les commerçants, les artisans, les entreprises, les industries, etc… Il s'agit de produits non dangereux ni polluants tels que : le verre, les métaux, les papiers, les plastiques ou encore les matières organiques… Ces déchets sont récoltés et triés par les particuliers dans des conteneurs spécifiques à chaque type de déchet (conteneurs bleu, jaune, vert et gris).

Les DIB (Déchets Industriels Banals) correspondent quant à eux aux déchets des entreprises du BTP non dangereux. Ils sont aussi appelés « déchets assimilés aux déchets ménagers »

Les DBEC (Déchets Banals des Entreprises du Commerce) sont également assimilables aux déchets ménagers par leur caractère non toxique. Ils proviennent des filières industrielles, commerciales, artisanales ou de services et dont les producteurs ne sont pas les ménages. Ils comprennent des produits et déchets connexes à la filière bois, des déchets communs aux entreprises (emballages, déchets de bureaux, papiers, cartons, etc…) et de déchets spécifiques à une activité (chutes, déchets de fabrication, etc…) **[5]**.



Fig.1.5. Les déchets recyclables [5]

I.1.3.4. Les déchets ultimes :

Un déchet ultime est défini comme n'étant plus susceptible d'être traité dans les conditions techniques et économiques appartenant au processus de valorisation du déchet ou de réduction de son caractère polluant ou dangereux. La notion de déchet ultime n'est pas fonction de ses caractéristiques physico-chimiques mais plutôt du système de collecte et de traitement auquel il appartient.**[5]**



Fig.1.6. Les déchets ultimes **[6]**

I.1.3.5. Les déchets dangereux :

Un déchet dangereux présente une ou plusieurs des caractéristiques suivantes : explosif, comburant, inflammable, irritant, nocif, toxique, cancérogène, infectieux, corrosif, mutagène **[5]**.



Fig.1.7. Les déchets dangereux [7]

I.1.4. Technique de recyclage

I.1.4.1. Définition de recyclage

Le recyclage est un procédé de traitement des déchets industriels et des déchets ménagers qui permet de réintroduire, dans le cycle de production d'un produit, des matériaux qui le composent. L'un des exemples qui illustre ce procédé est celui de la fabrication de bouteilles neuves avec le verre de bouteilles jetées puis récupérées.**[6]**

I.1.4.2. Procédés du recyclage

Il existe trois grandes familles de techniques de recyclage : chimique, mécanique et organique. Le recyclage dit " chimique " utilise une réaction chimique pour traiter les déchets, par exemple pour séparer certains composants**.** Le recyclage dit " mécanique " est la transformation des déchets à l'aide d'une machine, par exemple pour broyer les déchets. Le recyclage dit " organique " consiste, après compostage ou fermentation, à produire des engrais et du carburant tel que le biogaz.**[6]**

I.1.4.3. La chaine du recyclage

- **Étape 1 : Collecte de déchets**

Les opérations de recyclage des déchets commencent par la collecte des déchets. Les déchets non recyclables sont incinérés ou enfouis en centres d'enfouissement technique. Les déchets collectés pour le recyclage ne sont pas destinés ni à

l'enfouissement ni à l'incinération mais à la transformation. La collecte s'organise en conséquence. La collecte sélective, dite aussi séparative et souvent appelée à tort tri sélectif est la forme la plus répandue pour les déchets à recycler. Le principe de la collecte sélective est le suivant : celui qui crée le déchet le trie lui-même. À la suite de la collecte, les déchets, triés ou non, sont envoyés dans un centre de tri où différentes opérations permettent de les trier de manière à optimiser les opérations de transformation. Le tri manuel est une de ces opérations.[6]

- Étape 2 : Transformation

Une fois triés, les déchets sont pris en charge par les usines de transformation. Ils sont intégrés dans la chaîne de transformation qui leur est spécifique. Ils entrent dans la chaîne sous forme de déchets et en sortent sous forme de matière prête à l'emploi.[6]

- Étape 3 : Commercialisation et consommation

Une fois transformé, les produits finis issues du recyclage sont utilisés pour la fabrication de produits neufs qui seront à leur tour proposés aux consommateurs et consommés. Pour être en fin de vie, à nouveau jetés, récupérés et recyclés.[6]



Fig1.8 recyclages du verre **[8]**

I.1.5. Valorisation des déchets

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. La valorisation est généralement considérée comme une solution préférable à l'élimination.[**7]**

I.1.6. Les différents types de valorisation

I.1.6.1. 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 pré-traitement. 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**.[7]**

I.1.6.2. 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**.[7]**

I.1.6.3. 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.**[7]**

I.1.6.4. 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. **[7]**

I.2. Coquillages

I.2.1. Introduction

Pour certaines personnes, parler de coquillages donne à la bouche car cela leur fait immédiatement penser aux fruits de mer. Pour d'autres, "coquillage" rime plutôt avec "plage". Et qui n'a jamais eu le regard attiré par de belles coquilles posées sur le sable ?

La notion de coquillage renvoie souvent à des univers sans vie. Or, les coquillages constituent avant tout un monde animal riche de diversité. Notre article vous guide dans cet univers étonnant**.[8]**

I.2.2. 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.

On parle de coquillage principalement dans deux domaines :

Dans l'alimentation, les coquillages sont un des principaux types de fruit de mer : ce sont les fruits de mers à coquille, et la plupart d'entre eux appartiennent au groupe des bivalves. Dans la vie courante, les coquillages sont les coquilles vides d'animaux marins, que l'on peut trouver,

notamment, sur la plage. Certains les collectionnent, ou en font des bijoux, etc. Ce genre de coquillage appartient principalement au groupe des gastéropodes. **[9]**



Fig.1.9. Coquillages **[9]**

I.2.3. Les différents types de coquillages

Il existe trois grandes catégories de coquillages selon le nombre de parties composant la coquille (une partie de coquille est appelée “valve”) :

- Les univalves (la coquille est en une seule partie),
- Les bivalves (la coquille est en deux parties),
- Et les multivalves (la coquille est composée de plusieurs parties).

Parmi les univalves, citons les scaphopodes qui se caractérisent bien par une coquille en forme de tube, légèrement arquée et conique, ouverte aux deux extrémités. Les plus connus sont les dentales. L’avant du mollusque correspond à la plus grande ouverture. C’est là que se trouve le pied fouisseur et les tentacules. L’avant est à demi enfoui dans le sédiment et c’est l’arrière du tube qui dépasse. Ce sont généralement de petits animaux mais certains atteignent les 15 cm de longueur. Ils ne sont pas consommés par les humains**.[8]**

- Les gastéropodes font également partie des univalves. Ils se caractérisent par une coquille généralement enroulée, mais, chez certaines espèces, elle peut avoir disparu. Les gastéropodes que l'on appelle “coquillages” ont une coquille bien visible et vivent surtout

dans la mer, rarement en eau douce. Le bulot et le bigorneau font partie de cette catégorie de coquillages et sont consommés par les humains. D'autres sont davantage recherchés pour les qualités esthétiques de leur coquille comme les cônes, les murex et les peignes.[8]



Fig1.10. Les gastéropodes.**[10]**

- **Les bivalves** se caractérisent par un corps complètement enfermé dans une coquille qui s'ouvre en deux parties. De nombreux coquillages présents dans nos assiettes font partie de cette catégorie : huîtres, moules, coquilles Saint-Jacques, pétoncles, coques, praires, tellines, palourdes.**[8**]



FigI.11. Les bivalves. **[11]**

- **Les multivalves** ne sont pas nombreux. Ce sont essentiellement des chitons dont les différentes parties de coquille s'articulent sur leur dos. Les évolutions des connaissances scientifiques ont modifié le classement et de nombreuses espèces autrefois considérées comme multivalves se sont avérées être des crustacés (anatifes et balanes notamment).[8]



FigI.12. Les multivalves**.[12]**

Certains céphalopodes sont qualifiés de coquillages parce que leur coquille est bien visible. Mais cela ne correspond pas à un classement scientifique. Notons que le nautile est le seul céphalopode possédant une vraie coquille**.[8]**

I.2.4. Composition du coquillage

Généralement, la coquille d'un coquillage se compose de trois couches différentes :

- La couche externe est constituée principalement de polysaccharides et de protéines et présente des formes variées,
- La couche médiane est constituée d'aragonite, dont le carbonate de calcium est le composant majoritaire. Elle croit perpendiculairement à la surface de la coquille et pénètre dans la couche externe,
- La couche interne est celle de la nacre. Elle est aussi composée d'aragonite mais la direction des cristaux est parallèle à la surface, ce qui crée un dépôt en lamelles. C'est cette organisation des cristaux qui produit l'aspect irisé.

Les coquillages sont d'abord des œufs. Puis ils sortent de l'œuf déjà munis de leur coquille. Celle-ci va grossir au fur et à mesure que l'animal vieillit par ajout de matière à la coquille

existante**.[8]**

I.2.5. Valorisation de déchets de coquillages

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

L'archéologie permet de mettre en lumière cette dichotomie dès leur acquisition. Ainsi, la collecte du coquillage frais semble correspondre à une activité différente de celle qui consiste à ramasser des coquilles dépourvues de la chair de l'animal. **[10].** Par exemple la société Ovive S.A. a pour activité la collecte et la valorisation des déchets coquilliers issus des élevages ostréicoles et des entreprises de décoquillage. La majorité des coquilles traitées et transformées (+/- 90%) sont destinées à être intégrées à l'alimentation des poules pondeuses et pigeons sous forme de complément alimentaires. Les écailles proposées vont leur fournir un apport en calcium organique de qualité pour consolider leur squelette et renforcer la coquille de leurs œufs. Depuis 2010, Ovive propose des écailles grossières de coquilles traitées utilisables en paillage décoratif par les paysagistes et les services espacesverts des collectivités. Enfin, nous sommes aussi en mesure de traiter certains des matériaux issus du nettoyage mécanique des plages. **[11]**



Fig.I.13. Valorisation de déchets de coquillages **[13]**

I.3. Granite

I.3.1. Introduction

Le granite est une roche magmatique plutonique à texture grenue, c'est-à-dire entièrement cristallisée et composée de minéraux bien développés et visibles à l'œil nu. Celle-ci est le résultat du refroidissement lent, en profondeur, de grandes masses de magma qui formeront des plutons, ces derniers étant actuellement en surface grâce au jeu de l'érosion qui a décapé les roches sus-jacentes. Ces magmas, acides (c'est-à-dire relativement riches en silice) sont essentiellement le résultat de la fusion partielle de la croûte terrestre continentale. Certains granites (plagiogranites) rencontrés en petits plutons dans la croûte océanique sont, quant à eux le résultat de la différentiation ultime de magmas basiques. [12]

Les granites sont formés de minéraux en grains (cristaux), tous visibles à l'œil nu ; cette apparence leur vaut leur nom dérivé du latin *granum*, grain. Ces minéraux sont principalement du quartz, des micas (biotite et/ou muscovite), des feldspaths potassiques (orthoses) et des plagioclases. Ils peuvent contenir également de la hornblende, de la magnétite, du grenat, du zircon et de l'apatite.. En tout, on dénombre aujourd'hui plus de 500 couleurs de granites différentes. Les roches volcaniques correspondantes sont les rhyolites. La composition chimique moyenne du granite est : SiO_2 : 72.5 %, Al_2O_3 : 14 %, (Na_2O, K_2O) : 9.5 %, oxydes (Fe, Mn, Mg, Ca) : 2 %.Le granite est une roche acide, dense (densité moyenne : 2,7).

Le granite et ses roches associées forment l'essentiel de la croûte continentale de la planète. Les plus gros monolithes granitiques du monde se trouvent dans le parc du Yosemite, en Californie**.[12]**

I.3.2. Définition

Le granit est une pierre naturelle et plus précisément une roche magmatique présente au cœur de l'écorce terrestre. Elle se décline en différentes couleurs, à savoir le blanc, le noir, le rose, le gris, le bleu ou encore le rouge et profite d'une grande solidité. Ses veines, tâches, inclusions et micro fissures sont uniques pour chaque morceau taillé puisque chaque roche est unique ! Le granit se compose de feldspath alcalin et de quartz, il est présent partout dans le monde. Il est plus accessible que le marbre et ses rainures sont parfois semblables à celles du marbre. Cette pierre naturelle n'est pas poreuse et cela lui permet d'être naturellement antidérapante. Ainsi, elle se destine à un usage intérieur et

extérieur.[13]

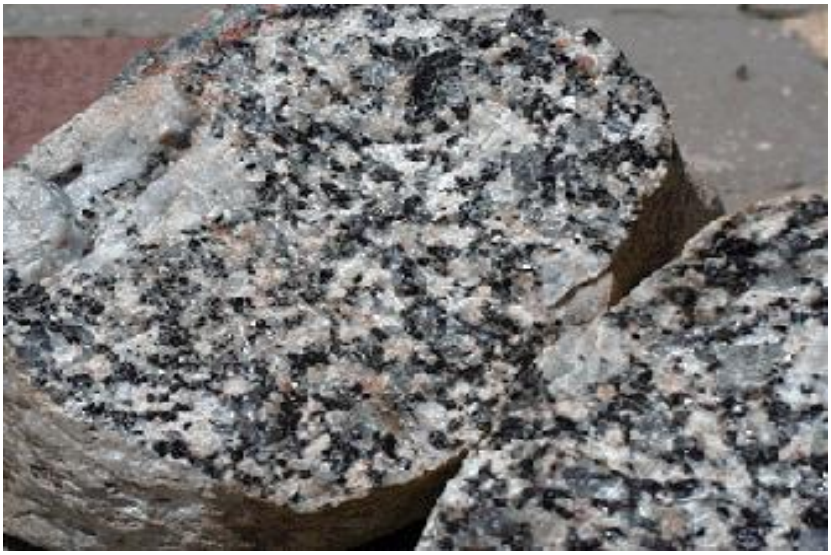


Fig.I.14. Le granite **[14]**

I.3.3. Les types de granite

Le granit se décline en différent modèle grâce à son large panel de couleurs, mais il garde la même composition. Par conséquent, les critères de choix qui différencient les différents granits, son l'utilisation, la couleur et les motifs naturellement présent sur la pierre.

Du côté des couleurs, le granit peut être rouge, orange, jaune, bleu, gris, noir, blanc, rose, vert et violet. Généralement, il mélange plusieurs couleurs, ce qui lui permet d'obtenir des designs uniques ! En effet, les granits arborent des motifs particuliers formés naturellement, ils sont uniques pour chaque morceau de roche. Vous retrouvez :

- Les veines
- Les microfissures
- Les tâches
- Et les inclusions

Ensuite, le granit se décline en différents matériaux. Vous retrouvez par exemple des dalles en granit**,** du carrelage en granit, des plans de travail en granit ou encore pour la réalisation de décorations intérieures comme les figurines ou les statuettes. Évidemment, chaque utilisation diffère, par conséquent, il faut choisir un granit adapté pour cela**.[14]**

I.3.4. Domaine d'utilisation de granite

Le granit s'utilise dedans, dehors, comme revêtement mural ou revêtement de sol. Voici

quelques exemples d'utilisations du granit. **[14]**

a) Le granit dans la cuisine

Dans la maison, le granit prend place dans la cuisine et devient un plan de travail résistant à la préparation des repas. Son design naturel permet de réchauffer l'ambiance de la cuisine et il convient de le choisir en fonction de la décoration pour encore plus de cachet.

Toutefois, faites attention à son poids. En effet, si le granit est résistant, c'est avant tout parce qu'il est vraiment très lourd : en moyenne 50 kg au m2. Par conséquent, la mise en place et la découpe d'un plan de travail en granit passe obligatoirement par un professionnel aguerri. **[14]**

b) Le granit dans la salle de bain

Le granit s'utilise dans la **salle de bain**, en carrelage, en mosaïque ou encore en dalles sur le sol et les murs. Sa haute résistance, vous permet de réaliser une salle de bains durable et élégante. [14]

c) Le granit sur la terrasse et dans le jardin

Le granit est une roche capable de résister aux intempéries et aux variations de température. Voilà pourquoi, il peut facilement prendre place sur la terrasse ou être utilisé dans les allées du jardin. En plus, il est naturellement antidérapant. **[14]**

I.3.5. Origine, composition et densité du granit

La dureté du granit en fait l'une des pierres naturelles les plus utilisées aujourd'hui, pour les applications intérieures et extérieures. Le granit est une roche plutonique éclatante qui se forme lorsque le magma (aluminium fondu) se refroidit lentement à de grandes profondeurs dans la croûte terrestre,

ce qui le rend très dur. Ce refroidissement continu permet la formation de gros cristaux, ce qui lui offre la texture cristalline distinctive du granit. Les principaux minéraux du granit sont le quartz (jusqu'à 60 %), le feldspath et le mica et, esthétiquement, c'est une pierre qui a généralement un aspect grainé et une texture épaisse. La dureté et la couleur du granit dépendent de sa composition chimique spécifique – plus le granit est foncé, plus la proportion de quartz est faible, et donc moins elle est dure**.[15]**

I.3.7. Les propriétés du granit

- **Les propriétés physiques du granit**

Le granit est une roche magmatique qui possède des propriétés physiques remarquables, ce qui en fait un matériau de choix pour l'industrie de la construction et de l'aménagement**.[16]**

- **Résistance et dureté**

Le granit est une roche très résistante et durable. Il est dur et peut résister à l'usure, aux rayures et aux taches. Cette propriété en fait un choix populaire pour les comptoirs de cuisine, les planchers et les façades de bâtiments.**[16]**

- **Densité**

Le granit est une roche dense, ce qui lui donne une sensation de solidité et de robustesse. Cette propriété le rend résistant à l'usure, aux impacts et aux pressions. [**16]**

- **Variété de couleurs**

Le granit est disponible dans une large gamme de couleurs, allant du blanc au noir, en passant par le rose, le gris et le jaune. Cette variété de couleurs permet aux architectes et aux designers de choisir le granit qui convient le mieux à leur projet**.[16]**

- **Les propriétés chimiques du granit :**

Le granit est une roche magmatique qui possède une composition chimique complexe et variée. Sa composition chimique varie en fonction de sa formation géologique. Cette composition en minéraux confère au granit sa résistance à l'acidité et sa durabilité. Voici quelques-unes de ses propriétés chimiques les plus importantes **:[16]**

- **Composition en minéraux**

Le granit est principalement composé de trois minéraux : le feldspath, le quartz et le mica. Les proportions de ces minéraux peuvent varier en fonction de la formation géologique de la roche. Les différents types de granit sont ainsi classés en fonction de leur composition minérale.[**16]**

- **Réaction à l'acidité**

Le granit est résistant à l'acide en raison de sa composition en minéraux. Il peut résister à des produits de nettoyage acides tels que le vinaigre et le jus de citron. Cependant, il est important de noter que certaines pierres de granit peuvent contenir des minéraux qui sont

plus sensibles à l'acidité. Il est donc important de tester la résistance du granit avant de l'utiliser dans des projets qui pourraient être exposés à des produits acides.**[16]**

- **Les propriétés thermiques du granit**

Le granit est une roche qui possède de nombreuses propriétés thermiques, voici quelques-unes des plus importantes **:[16]**

- **Conductivité thermique** :

Le granit est un matériau qui conduit très bien la chaleur. Sa conductivité thermique est élevée, ce qui le rend très utile dans les projets de construction nécessitant une régulation thermique. Le granit peut ainsi être utilisé dans la construction de cheminées, de plans de travail de cuisine, ou encore de dalles de sol pour une régulation thermique efficace.[**16]**

- **Résistance à la chaleur** :

Le granit est également très résistant à la chaleur. Il peut supporter des températures élevées sans se déformer, ni se fissurer. Cette propriété en fait un matériau de choix pour les projets de construction nécessitant une résistance à la chaleur, tels que les revêtements de cheminées ou les plans de travail de cuisine.[**16]**

- **Dilatation thermique** :

Le granit a une faible dilatation thermique, ce qui signifie qu'il ne se dilate pas beaucoup lorsqu'il est exposé à des températures élevées. Cette propriété est importante dans les projets de construction où des matériaux de différents types sont utilisés ensemble. Le granit peut ainsi être utilisé pour des joints de dilatation afin d'éviter les fissures causées par la dilatation thermique.[**16]**

I.4. Verre

I.4.1. 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 SiO_2) 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**.[17]**

I.4.2. Définition

Le verre est un matériau solide transparent, homogène et cassant. Il résiste bien au feu et au contact de pratiquement tous les liquides et solides connus.

Que ce matériau a une structure particulière (aspect structural) : le verre est un solide non cristallin (amorphe). Il ne présente pas comme pour les structures cristallines d'ordre à longue distance (ordonnancement des atomes et existence d'une maille cristalline). C'est un état particulier de la matière: d'état vitreous. **[18]**



Fig.1.15. Décher de verres de Pare-brises

I.4.3. La composition du verre [19]

En raison de sa structure amorphe, le verre est soumis à très peu de contraintes stœchiométriques. De ce fait, un verre peut inclure en son sein une très grande variété d'éléments et présenter des compositions très complexes.

Dans un verre d'oxydes, ces différents éléments sont sous une forme cationique, afin de former des oxydes avec l'anion oxygène O^{2-} .

Les cations intervenant dans la composition de verres peuvent être classés en trois catégories selon le rôle structural qu'ils jouent lors de la vitrification (formation du verre) :

- **Des oxydes formateurs** s'ils forment des tétraèdres ou des triangles reliés les uns aux autres par des oxygènes
- **Des oxydes modificateurs** s'ils restent sous forme d'ions libres liés aux oxygènes par des liaisons ayant un certain caractère ionique et non dirigées dans l'espace.
- **Des oxydes intermédiaires** s'ils jouent l'un ou l'autre des deux rôles **[19]**

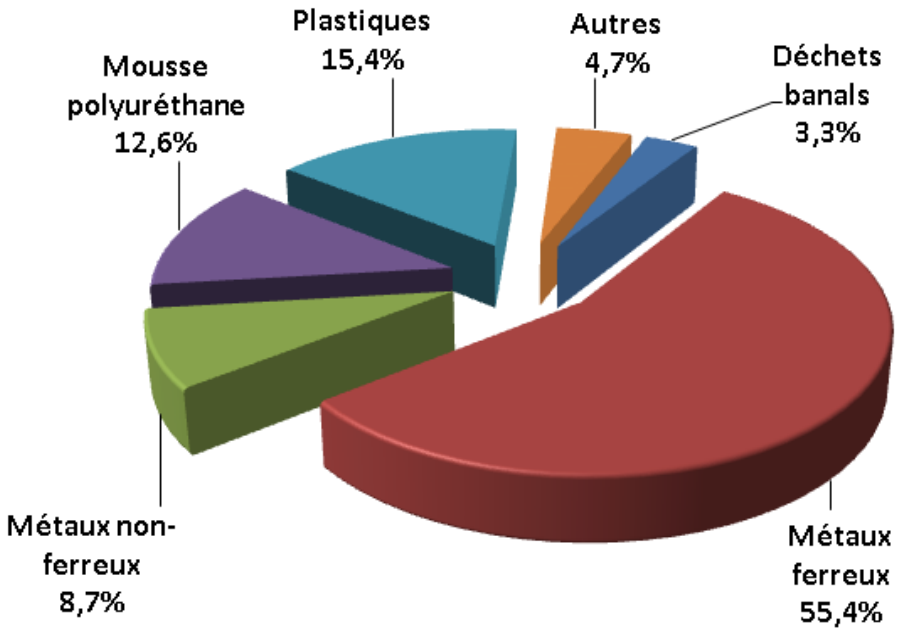


Fig.1.16. La composition du verre. **[15]**

I.4.4. Types de verres industriels [17]

- **Verres plat:**
  - ✓ Verre « float » ou verre flotté
  - ✓ Verre à vitre
  - ✓ Verre imprimé et armé
  - ✓ Verre spécial pour des applications particulières.
- **Verre moulé :** Utilisé surtout pour fabriquer des bouteilles.
- **Verre étiré :** Produit semi-fini permettant de réaliser des ampoules, des flacons ou de la verrerie de laboratoire**.[17]**
- **Verres trempé:**
  - ✓ Trempe thermique : Des traitements thermiques permettent d'améliorer la résistance des pièces : les vitres latérales et arrières des automobiles comme certaines pièces d'ameublement sont trempées par un refroidissement rapide et contrôlé, le plus souvent par de l'air.
  - ✓ Trempe chimique : Ce type de trempe a lieu en remplaçant par diffusion une partie des ions sodium du verre par des ions potassium (plus gros).
- **Verre feuilleté** : Composé de couches verre-plastique-verre ou plus. Les pare-brise des automobiles et les vitres blindées sont en verre feuilleté. Ainsi, lors d'un choc, le pare-brise se casse, mais reste en place. Les passagers risquent moins d'être blessés par des

bris. Le verre blindé ayant 8 couches de plastique peut résister à 70 coups de hache avant d'être traversé.

- ✓ Verre antireflet : Verres de lunettes de vue
- ✓ Verre hydrophobe : Pare-brises et miroirs.

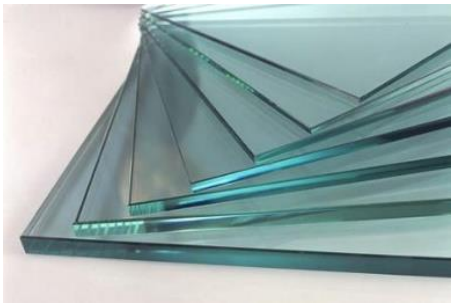


Fig1.17. Verre plat **[16]**



fig1.18. Verre moulé [17]

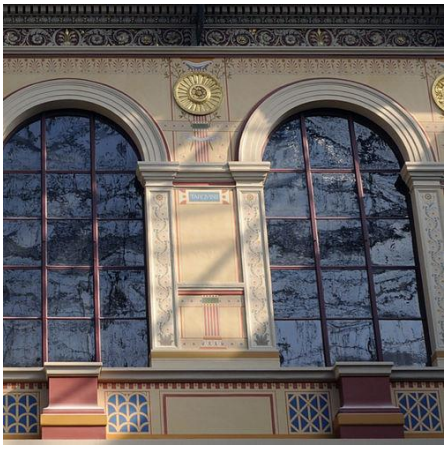


Fig1.19. Verre étiré **[18]**



fig.1.20. Verre trempé **[19]**

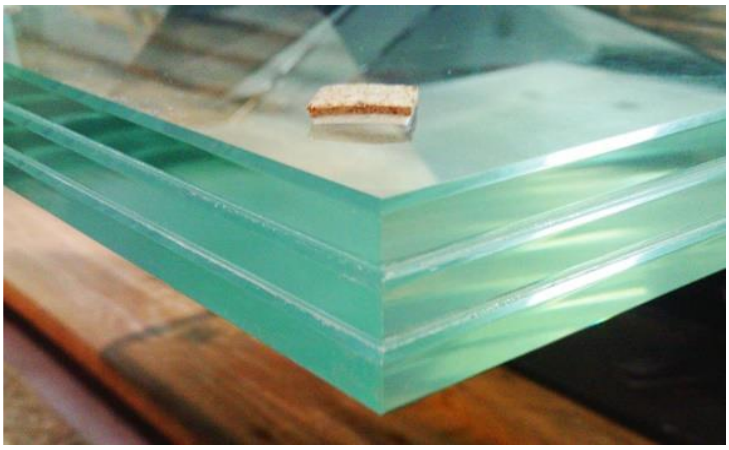


Fig.1.21 Verre feuilleté **[20]**



fig.1.22. Verre antireflet **[21]**



Fig.1.23. Verre hydrophobe **[22]**

I.4.5. Domaine d'Utilisation de verre

Le verre est utilisé essentiellement en optique pour ses propriétés réfringentes (lentilles, verres de lunettes). Il est également utilisé en chimie et dans l'industrie agroalimentaire : il réagit très peu avec la plupart des composés utilisés dans ces domaines, c'est donc un matériau idéal pour les contenants (bouteilles, pots de yaourt, béchers, erlenmeyers, colonne de distillation, éprouvettes, tubes à essai, etc.). Un des seuls liquides ayant le pouvoir de dissoudre le verre est l'acide fluorhydrique (HF).

Le verre est le matériau dans lequel sont confinés les déchets radioactifs de haute activité (HAVL) par le procédé de vitrification. En effet sa structure désordonnée permet

d'absorber une partie des radiations.

Le verre est aussi un matériau de construction très important dans l'architecture moderne et dans l'industrie automobile. Il est notamment présent sous forme de laine de verre, isolant léger, imputrescible et ininflammable et la brique de verre est utilisée pour réaliser des parois translucides.

Les utilisations artistiques du verre sont innombrables depuis les origines. Elles ont accompagné de nombreuses innovations techniques (pâte de verre, fusing, thermoformage, etc.). Dans de nombreuses applications, le verre est actuellement remplacé par des matières plastiques, plus légères et souvent plus résistantes au choc.

On peut le rencontrer sous forme de microbilles, de fibres (coupées ou non), de mats (fibres disposées « en vrac ») ou de tissus (mode de tissage « taffetas », par exemple). Incorporées dans la matrice polymère ou déposées en surface, ces présentations sont utilisées notamment comme renfort (fibreux ou non) de résines thermoplastiques (polyamides...) ou thermodurcissables (polyesters, époxydes...) dans les plastiques, ainsi que dans les matériaux composites**. [17]**

I.4.6. Domaines d'application de verre

- Verres pour systèmes d'éclairage
- Verres pour applications électroniques
- Verres pour équipements industriels
- Verres pour le transport
- Application de construction
- Composants optiques. **[20]**



Fig.1.24 systèmes d'éclairage **[23]**



fig1.25. Électroniques **[23]**



Fig1.26. Équipements industriels **[23]**



fig1.27. Le transport **[23]**

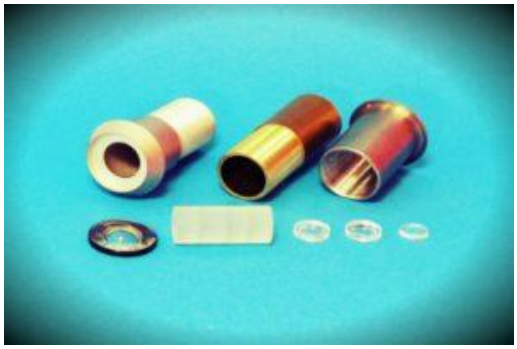


Fig.1.28. Optiques **[23]**

I.5.Céramique

I.5.1. Introduction

Issue d'un mot d'origine grec - *keramos* - qui signifie argile, la céramique revêt plusieurs significations. Par définition, la céramique est l'art du potier, celui qui fabrique des poteries ou des objets en terre cuite : faïence, grès, porcelaine. Dans le langage courant, elle désigne aussi la matière de ces objets. Pour la petite histoire, la céramique est le premier "art du feu", apparu avant le travail du verre et du métal, à la fin de la préhistoire. Et c'est aussi le matériau le plus abondant que l'Homme ait créé. **[21]**

I.5.2. Définition

Dans le langage courant, le terme céramique désigne un objet fabriqué en terre et qui a été cuit à une température plus ou moins élevée. Dans l'histoire de l'Homme, l'art de travailler la céramique arrive avant celui de travailler le verre ou le métal, dès le Néolithique. Et il s'avère

que les céramiques présentent des propriétés différentes selon la nature de leurs composants et leur température de cuisson. On distingue par exemple les poteries, les faïences, les porcelaines, etc. Une définition plus large des céramiques précise qu'il s'agit là de matériaux non métalliques et non organiques obtenus par l'action de fortes températures. Ce sont ces fortes températures qui induisent, au cœur de la matière première, une transformation irréversible qui confère à la céramique produite, des propriétés nouvelles : solidité et résistance à l'usure, résistance à la chaleur, propriétés isolantes, etc.**[22]**



Fig.1.29. Planchers de céramique froids **[24]**

I.5.3. Type de céramique

- **Céramique rouge**
  - ✓ **Les tuiles**

Sont utilisées depuis l'Antiquité pour recouvrir les toits des habitations. Aujourd'hui encore ce type de toiture est l'une des plus courantes en France. Normal, quand on connaît ses qualités de résistance aux intempéries notamment et ses pouvoirs isolants. Une toiture en tuiles est aussi écologique car constituée de matériaux naturels. Sans oublier son esthétisme, très apprécié**[23].**



Fig.1.30. Les tuiles **[25]**

- ✓ **Les faïences**

La faïence est le terme générique qui désigne les carreaux poreux émaillés fabriqués par pressage. Les carreaux de faïence sont constitués d'un support en pâte généralement blanche, dite biscuit, dont les composants de base sont l'argile, le kaolin, des produits siliceux et des fondants **[24].**



Fig 1.31. Les faïences **[26]**

- ✓ **Brique**

Une brique est un élément de construction généralement en forme De parallélépipède rectangle constitué de terre argileuse crue, séchée au soleil Brique crue — ou cuite au four, employée principalement dans la construction de murs. On distingue Les divers types de briques:

- ❖ La brique rouge. La brique, également appelée brique pleine, est très utilisée pour la construction de maison.
- ❖ La brique Creuse.

- La brique de parement.
- La brique réfractaire.
- La brique de verre**.**



Fig.1.32. Brique [27]

- ✓ **Dalle de sol**

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

- ❖ **Alpinisme**

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

- ❖ **Bâtiment**

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

- ❖ **Géologie**

Plaque de roche limitée en épaisseur par deux surfaces parallèles provenant d'un débit naturel ou d'un sciage**. [25]**

.



Fig.I.33. Dalle de sol **[28]**

- **Céramique blanc.**
  - ✓ **La porcelaine**

C'est un matériau naturel traditionnel pour la fabrication des W.-C., élaboré à partir d'argile et de substances minérales On le trouve dans de nombreuses couleurs, même si le blanc est toujours prédominant. Facile à nettoyer car très lisse, la porcelaine possède une bonne résistance à l'usage des produits ménagers, y compris à l'eau de Javel et aux produits anticalcaires.

Les W.-C. en porcelaine ont pour principal défaut leur fragilité, ce qui ne présente pas d'inconvénient majeur pour un usage familial, mais les rend inadaptés à une utilisation dans une collectivité **[26]**



Fig.1.34. La porcelaine **[29]**

- ✓ **Vase blanc en terre cuite**

- Grand vase blanc a été été fabriqué en terre cuite à la force des bras, sur un tour à pied.
- Ensuite il a été séché à l'air libre puis entreposé dans des fours pour la cuisson.
- Slim le peint enfin à la peinture mate dans différents coloris. Ici, le blanc mat illuminera votre décoration.
- L'argile est extraite à la pelle et à la pioche, puis elle est plongée dans un bassin plein d'eau. Ensuite elle est pétrie sous les pieds nus des artisans. Une fois ferme, elle passe au pétrissage manuel pour préparer la motte destinée à la fabrication des poteries. L'objectif de la manœuvre est de supprimer toute bulle d'air, qui serait fatidique à la cuisson du grand vase] blanc…. **[27]**



Fig.1.35. Vase blanc en terre cuite [30]

I.5.4. Technologie de fabrication d'une céramique

Le terme céramique ne recouvre pas un type de composition chimique, mais un matériau généralement poly cristallin et très bien densifié obtenu suivant un mode de mise en œuvre particulier, il est souvent synonyme dans le public d'objets usuels : carrelages, sanitaires, vaisselle... Dans le cas des céramiques techniques notamment pour l'électronique, la maîtrisée l'élaboration permet d'obtenir des propriétés performantes et utiles pour des applications très diverses (tenue mécanique, propriétés électriques, diélectriques, magnétiques). Les différentes étapes d'élaborations des céramiques sont résumées dans l'organigramme suivant **: [28]**

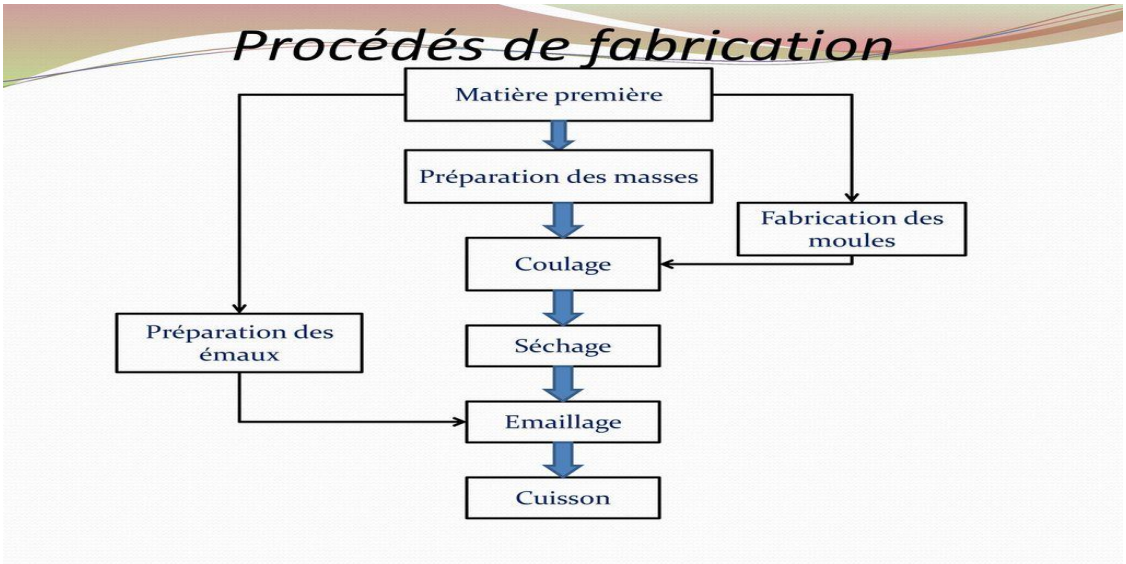


Fig.1.36. Technologie de fabrication d'une céramique. **[31]**

I.5.6. Propriétés des céramiques

a. Propriétés mécaniques

La dureté des céramiques est très élevée ; la limite élastique est très faible leur module de Young à la température ambiante est compris entre 300 et 400 GPa et la résistance à la compression entre 2.103 et 30.10³ Pa, La figure I.5 montre que le module de Young diminue avec la température. **[28]**

b. Propriétés thermiques

Les céramiques sont caractérisées par leur capacité à résister à haute température. La température de fusion des céramiques est très élevée 2050 C°. La chaleur spécifique ; la conductivité thermique et le coefficient de dilatation thermique augmentent avec la température. La figure I.11 illustre l'évolution de la conductibilité thermique des matériaux en Fonction de la température. **[28]**

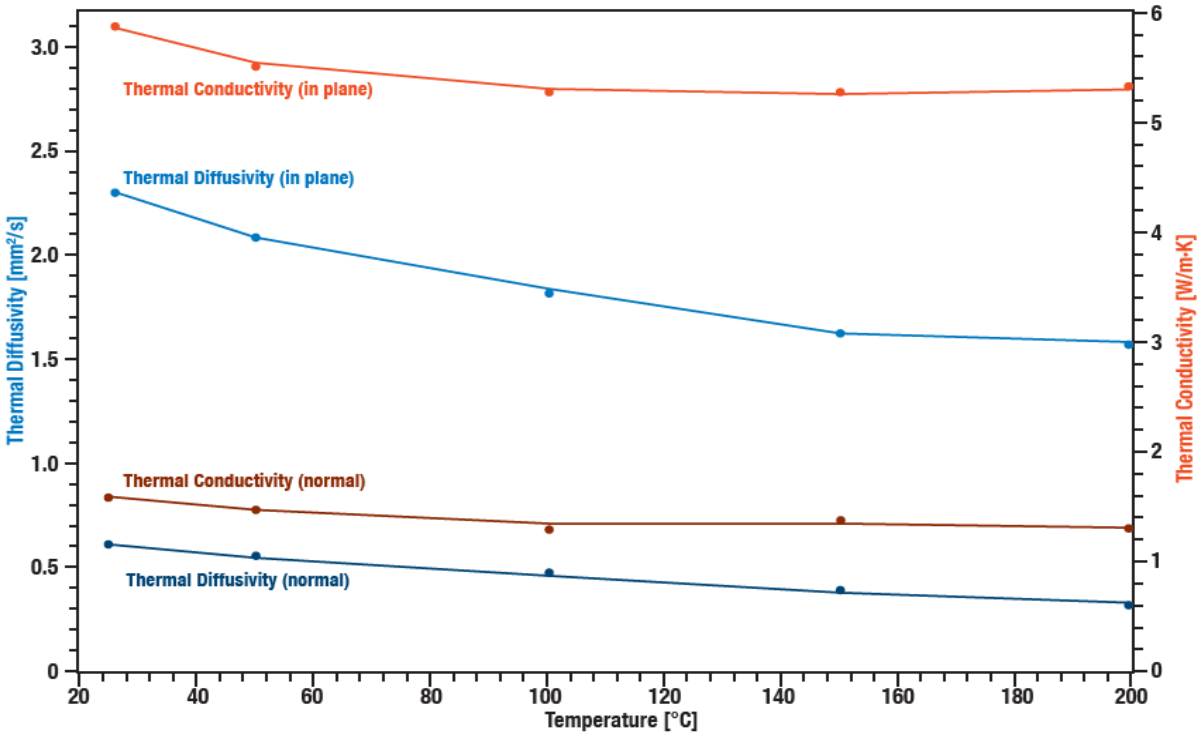


Fig.1.37. Température en fonction de conductivité thermique **[32]**

C. Propriétés électriques

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

pas liés à un atome en particulier. Ils sont de bons conducteurs électriques. Le graphite, habituellement inclus dans les matériaux céramiques, ainsi que quelques carbures, se comportent, du point de vue électronique, comme des métaux. Les matériaux semi-conducteurs caractérisés par l'existence d'un domaine d'énergies interdites entre les Bandes de valence et de conduction. L'énergie minimale nécessaire à un électron excité pour passer de la bande de valence à la bande de conduction s'appelle l'énergie de « gap » Eg, ou largeur de bande interdite. Pour les semi-conducteurs, celle-ci est inférieure à 3 eV. À température nulle (0 K), la bande de valence est complètement remplie et la bande de conduction vide. A une température plus élevée, le gain d'énergie d'origine, thermique permet aux électrons d'atteindre la bande de conduction.

Le matériau devient alors conducteur. La présence d'impuretés dans le matériau perturbe le réseau cristallin et peut introduire des niveaux d'énergie intermédiaires dans la bande interdite.

Un matériau isolant électrique peut être considéré comme un semi-conducteur ayant une largeur de bande interdite d'au moins 3 eV. L'alumine est un matériau isolant : son énergie de gap est égale à 9,6 eV. Les charges présentes dans le matériau sont alors des trous dans la bande de valence et des électrons dans la bande de conduction. **[29]**

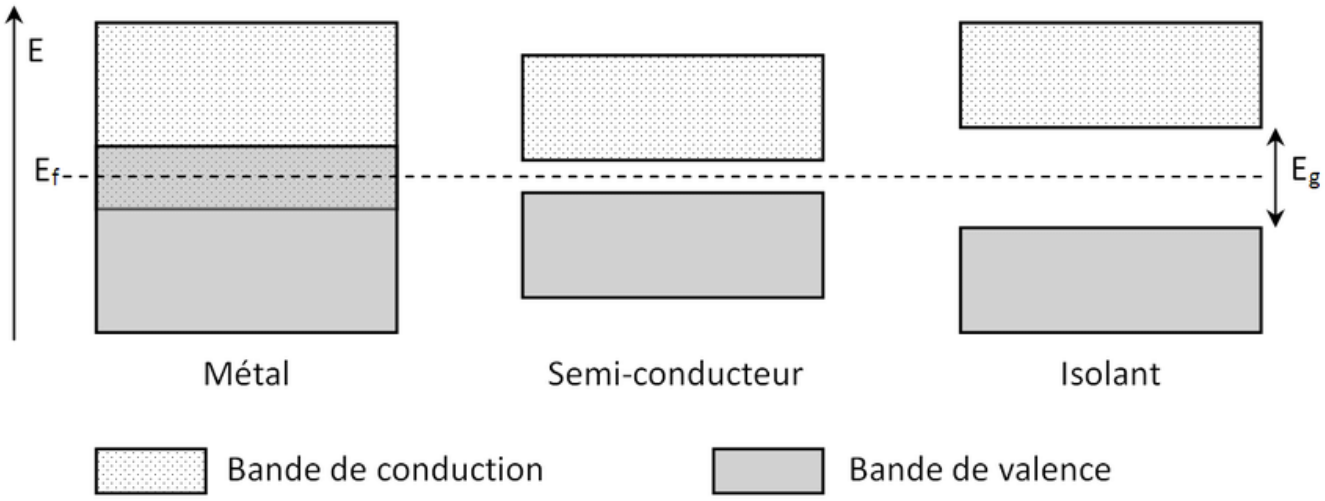


Fig.1.38. Structure de bande d'un métallique. **[33]**

I.5.7. L'utilisation de déchet de céramique

- **Le remblai**

Il représente la principale façon de réutiliser les céramiques. Il peut être réemployé directement in situ selon le type de chantier ou alors être vendu à des particuliers ou des professionnels pour renforcer et terrasser certains sols.

- **Les routes** :

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

- **Le béton :**

Si le granulat de céramique est d'excellente qualité et conforme à un cahier des charges précis (dureté, propreté, granulométrie…), il peut être utilisé dans la composition du béton**.[30]**

I.6. Le béton de sable

I.6.1. Introduction

Le béton de sable est un matériau ancien utilisé antérieurement au béton traditionnel. Il est tombé en désuétude, avec l'abondance des granulats du plus gros calibre permettant d'obtenir facilement des nouveaux élevés de résistances. Il retrouve cependant de nos jours un intérêt certain du fait des propriétés spécifiques de ce matériau, par rapport au béton traditionnel : excellente maniabilité et cohésion, bonne adaptation aux milieu fortement ferraillés, qualités esthétiques, etc. Par ailleurs, dans certaines régions riches en sable, il peut procurer des économies par rapport au béton traditionnel. Dans ce chapitre on présentera un aperçu général sur les BS, ou on va exposer d'abord l'historique et l'origine des bétons de sable ainsi que leur définition et la différence entre les BS et les mortiers. Ensuite, on donnera une description des constituants entrant dans la fabrication, on décrit les propriétés mécaniques et hygrométriques, puis on explique le caractère non fissurant du BS. Finalement, on met en relief les innovations et les avantages apportés par les BS et on donnera quelques exemples de réparation structurale réalisés par ce matériau **[31]**

I.6.2. Origines de béton de sable

Le béton de sable trouve ses origines en France dans le béton aggloméré confectionné par F. coignet dans le 3ème quart de XIX siècle. Il était constitué de sable, de ciment, de chaux et d'eau. Le mur de soutènement a Passy, la maison Coignet à Saint-Denis, constituent les premières applications de cette technique que l'on retrouve aussi dans la réalisation de la tour de Port Said en Egypt (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 réalisation du port Kaliringrad en Prusse- Orientale en béton de sable au début du siècle et aussi du pont de Chernavskif coulé sur place à Voronej (500Km de Moscou) .A la fin du second conflit mondial, le professeur académicien Rebinder a permit l'utilisation de ce matériau dans plusieurs domaines : (les chaussés, les pistes d'aviation, élément de remplissage, murs architecturaux, planchers, dalles, réhabilitation, etc)**.[32]**



Fig.1.39. Les phares d'Égypte : laboratoire et conservatoire de l'ingénierie européenne du xix^{e} siècle.**[34]**

I.6.3. Définition

Le béton de sable est un matériau constitue principalement de ciment, de sable d'eau et de filler naturel ou industriel. Ce qui distingue le béton de sable du béton ordinaire réside essentiellement dans l'emploi de granulats, le béton traditionnel est généralement constitué d'un granulat 0/16 à 0/22.5, par contre le béton de sable est constitué de granulat de faible diamètre Ø. **[33]**

I.6.4 Spécificité du béton de sable

Le béton de sable se distingue d'un béton traditionnel par un fort dosage en sable(s), l'absence ou le faible dosage de gravillons et l'incorporation d'addition(s) .

Le béton de sable se distingue d'un mortier par sa composition, le mortier est en général fortement dosé en ciment et ne comporte pas systématiquement d'addition, et surtout par la destination : les bétons de sable sont essentiellement destinés aux usages traditionnels du béton **[34].**

I.6.5. 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. **[35]**

I.6.5.1. 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**.[35]**



Fig.1.40. : Le béton de sable en projection **[35]**

I.6.5.2. 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. **[36]**

Les bétons de sable fluides sont intéressants pour certaines applications en génie civil comme les pieux forés, les injections et les reprises en sous œuvre. Les bétons de sable fluides sont économiquement mieux adaptés aux dallages du bâtiment. S'agissant d'éléments

horizontaux, la fluidité convient et l'auto-nivellement est un atout considérable. L'intérêt réside dans les avantages suivants : Rapidité et simplicité d'exécution ; Limitation des moyens en personnel et en matériels ; Nuisances réduites (absence de vibration). Dans le cas des aménagements de voirie peu dénivelés (comme les aires de stationnement et les voies piétons), où les performances demandées ne seront pas élevées, elles se prêtent parfaitement à la technique de fluidification de BS. Les bétons de sable fluides présentent des performances comparables aux bétons fluides classiques, dont l'utilisation semble se développer actuellement. Indépendamment de l'aspect environnemental lié à l'utilisation des BS, il pourra être mieux adapté aux cas suivants : - Risques de ségrégation préjudiciables ; - Forte densité de ferraillages ; - Recherche d'un produit fini ; Le BS fluidifié présente un surcoût allant de 10 à 25 % par rapport à un béton traditionnel. Par exemple, les BS nécessitent des dosages plus élevés en 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 **[36]**

I.6.6. Les composants du béton de sable

Un béton de sable est composé de sable, de fines d'ajouts, de ciment et d'eau. Par rapport à cette composition de base et pour répondre aux besoins de certains usage, d'autres ajouts spécifiques peuvent être envisagés : gravillons, fibres, adjuvants **[37]**

- **Les Sables**

Par sable on entend tous granulats 0/D conformes aux définitions des normes NF P 18- 540 et NF P 18-101 il peut s'agir soit d'un sable naturel alluvionnaire ou de ballastière, soit d'un sable de carrière issu du concassage d'une roche massive ou détritique. Aucun critère granulométrique n'est a priori exigible pour réaliser un béton de sable : on peut aussi bien utiliser un sable fin (même homométrique, type sable de dune) qu'un sable alluvionnaire moyen ou grossier, ou un O/D de concassage. La seule restriction d'emploi des sables réside dans leur propreté. **[37]**

- **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. **[37]**

- **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**. [37]**

- **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 **[37]**

- **Les adjuvants :**

Les adjuvants sont des agents chimiques qui sont ajoutés en petites quantités pour modifier certaines propriétés du béton comme la rhéologie, la durabilité et les propriétés mécaniques. Il existe beaucoup de types d'adjuvant, on les définit d'après leur action principale, même s'ils ont plusieurs actions secondaires. On utilise dans les bétons de sable les mêmes adjuvants que dans les bétons traditionnels, et pour en exploiter les mêmes propriétés. La spécificité du béton de sable privilégie toutefois l'usage du plastifiants ou superplastifiant : ils améliorent la maniabilité, le plus souvent avec augmentation de résistance par suite d'une diminution de la teneur en eau et de la défloculation des éléments fins. On se contentera à expliquer ceux qui ont été utilisés dans cette étude. Les adjuvants employés devront par ailleurs être conformes à la norme NF P 18-103. **[37]**

- **Autres ajouts**

  - **Les fibres**

Elles sont surtout utilisées dans le but de réduire le retrait au premier âge : dosage et nature sont des paramètres très importants pour assurer l'efficacité de cet ajout. On utilise dans la plupart des cas des fibres organiques (polypropylène) pour contrecarrer les effets du retrait de prise et éviter la fissuration qui en résulte. Si l'on veut améliorer la ductilité, on pourra utiliser des fibres d'acier ou des fibres de fonte amorphe **[38].**

  - **Les gravillons**

On considère qu'un béton de sable peut contenir un certain pourcentage de gravillons et conserver sa domination de béton de sable d'une façon pratique, on pourra considérer qu'on a affaire à un béton de sable tant que le rapport massique G/S (gravillons sur sable) reste inférieur à 0,70 (**G/S< 0,70*)* [38]**.

❖ **Les colorants**

Les colorants habituellement utilisés dans les bétons traditionnels peuvent également être employés pour certains usages de bétons de sable : ils nécessitent toutefois un soin particulier dans l'homogénéisation et une formulation appropriée du béton de sable pour conserver une stabilité de la teinte au cours du temps **[38].**

I.6.8. Utilisation des bétons de sable

Les bétons de sable peuvent utilisés dans tous les domaines du génie civil ; leur composition dépend suivant leur usage et l'exigence du cahier de charge. Les grands domaines d'utilisation des bétons de sable ont été abordés dans le présent chapitre sont : **[39]**

- Fondations ;
- Bâtiment ;
- Voirie et construction routière ;
- Ouvrages d'art ;
- Accessoires de VRD

1) Fondation

Cette partie aborde l'utilisation du béton de sable dans le domaine des fondations d'ouvrages (bâtiment, ouvrages d'art, ouvrages maritimes…) Les fondations profondes d'une part, les réparations et reprises en sous acier d'autre part, sont plus particulièrement développées. Ces réalisations relèvent en effet de « béton spéciaux » mis en œuvre avec des matériels et selon des procédés spécifiques, couvrant dans leur ensemble toute une technologie pour laquelle le béton de sable offre des propriétés parfaitement adaptées**.[39]**

- Fondations superficielles
- Fondations profondes

2) Le béton de sable en bâtiment

On peut utiliser le béton de sable dans le domaine du bâtiment ; mais leurs compositions varient suivants la destination d'utilisation.

Eléments peu ou non porteurs **[39]**

- Éléments de structures porteurs
- Eléments horizontaux
- Éléments verticaux

3) Le béton de sable en voirie

- **Chaussées en béton**

Pour la réalisation de structures de chaussées, le béton de ciment classique peut être utilisé comme couche de fondation — bétons maigres ou bétons poreux — ou comme couche de roulement — bétons traditionnels. Dans ce deuxième cas, le béton peut être recouvert d'une couche de surface venant améliorer la résistance à l'usure de la chaussée, ainsi que le confort et la sécurité des usagers. Dans les chaussées réalisées en béton de ciment, le coût du matériau béton représente plus de 50 % du coût de la structure, hors emprise, terrassement, et ouvrages d'art éventuels. L'emploi de béton de sable, en remplacement des bétons de ciment classiques ou des bétons maigres, peut constituer une variante de structure rigide intéressante sur le plan économique, en raison du coût de fabrication moindre de ce matériau. Ce sera notamment le cas dans une situation de pénurie en gravillons. **[39]**

- **Dallages industriels**

Les bétons employés dans les dallages s'apparentent à ceux utilisés pour les chaussées, mais, selon leur destination, les performances mécaniques demandées peuvent être moins élevées. De plus, les dallages étant le plus souvent horizontaux ou à très faible pente, des bétons fluidifiés peuvent être utilisés**.[39**]

- **Équipements de voirie extrudés**

4) Applications chaussées en béton –dimensionnement

Il s'agit généralement des caniveaux, bordures, murets, séparateurs, glissières de sécurité réalisée en béton à l'aide de machines à coffrages glissants.

L'emploi du béton de sable comme couche de revêtement n'est pas retenu pour les chaussées à fort trafic. Par contre, le béton de sable peut être utilisé comme couche de fondation :

Les bétons de sable correspondant aux classes de résistance 1, 2 et 3 peuvent alors être envisagés. En pratique, le choix de ce niveau de performances du béton de sable, dépendra de la stratégie de construction du maître d'œuvre. Il relèvera donc de sa propre responsabilité. Il convient de signaler ici, à titre de référence, que seuls les bétons correspondant aux classes de résistance 2 et 3 sont retenus pour la conception et le dimensionnement des structures de chaussées du Catalogue des structures neuves de la Direction des Routes, dans ce contexte d'utilisation (trafics TO et T1 en couche de base). Pour assurer le bon comportement à long terme de la chaussée, les performances du béton de sable vis-à-vis du phénomène d'érodabilité doivent être l'objet d'une attention particulière. Ainsi, dans le cas ou la couche de roulement sera du type dalles californiennes (dalles courtes discontinues en béton non armé non goujonné, avec joints transversaux sciés ou moulés, sur couche de fondation traitée) un débit d'érosion du béton de sable utilisé, inférieur à 25 g/min, mesurés à l'essai d'érodabilité à la brosse métallique , est à vérifier Pour les autres structures , assurant en général de meilleurs conditions de transfert de

charge aux joints, des performances moindres peuvent être envisagés selon le cas. Pour obtenir les performances de résistance et de non érodabilité requises ici, il ne sera pas nécessaire dans la plupart des cas d'incorporer, dans ces bétons de sable, des additions (les sables utilisés étant le plus souvent « fillerisés »), ni des adjuvants ou autres ajouts. Il faudra préférer un dosage élevé d'un liant peu performant à la recherche d'un dosage faible avec un liant, performant. Par exemple, on préférera un ciment classe 35 à un ciment de classe 45, ou on utilisera un liant « routier » ayant reçu un agrément technique et compatible avec les adjuvants habituellement utilisés (entraîneur d'air).**[39]**

- Chaussées à fort trafic : TO et Tl
- Chaussées à trafic moyen : T3+ et T2
- Chaussées à faible trafic : T6, T5, T4, T3 et pistes cyclables
- Dimensionnement des chaussées en béton de sable

5) Application dallages industriels

Les dallages industriels seront réalisés conformément aux documents réglementaires et normatifs en vigueur. On pourra notamment se référer aux règles professionnelles « Travaux de Dallage » Les résistances caractéristiques minimales à 28 jours (20 MPa en compression et 1,9 MPa en traction-flexion) peuvent être atteintes avec des bétons de sable classes de résistances 3,4,5 et 6 selon la norme NFP 981 70. Les bétons de sable préparés avec des superplastifiants ne pourront être utilisés qu'avec des pentes faibles. Les valeurs de retrait du béton de sable sont généralement plus importantes que celles du béton de Ciment classique.**[39]**

6) Application équipements de voirie extrudés

De types d'équipement sont ici à envisager : o les structures horizontales dont la hauteur est inférieure ou égale à 0,25 m o les structures verticales dont la hauteur est supérieure à 0,25 m.

• Structures horizontales : Bordures de trottoir, caniveaux en V évasé. On utilisera des bétons de sable de classes 4 ou 5, dosés entre 300 et 350 kg de ciment par m3. L'apport complémentaire d'éléments fins est utile pour améliorer la rhéologie et la compacité. L'utilisation d'un plastifiant réducteur d'eau est également recommandée. Des joints de retrait seront réalisés tous les 2 à 3m.

• Structures verticales : Murets, séparateurs, caniveaux en U. Dans l'état actuel des connaissances, tous les bétons de sable ne peuvent pas convenir à la réalisation de ces structures. En particulier un évitera pour ces structures verticales les bétons de sable obtenus à partir de sables roulés.

Des études spécifiques sont à faire pour obtenir des bétons de sable de classe 4-5 dosés entre 300 et 350 kg/m3, permettant d'assurer la stabilité en sortie de coffrage. Ceci pourra être

obtenu par exemple par des ajouts (sable concassé, fibres) et/ou par un choix et une utilisation judicieuse d'adjuvants.**[39]**

7) Bétons de sable compactés pour chaussées

Les structures de chaussée en béton compactes sont peu utilisées et limitées aux trafics inferieurs à la classe T1**.**Il est possible d'envisager l'emploi de béton de sable mis en œuvre par compactage. L'étude de composition sera réalisée selon la méthode pratiquée pour les graves traitées aux liants hydrauliques. Le dosage en liant, qui pourra être soit du ciment avec des cendres volantes, soit un liant routier, sera compris entre 250 et 330 kg/m^3. Lors de la fabrication, la teneur en eau devra être parfaitement maitrisé sinon la mise en œuvre deviendra très délicate voire impossible. Les bétons de sable compactés recevront en surface selon l'importance du trafic soit un BB (Béton Bitumineux), soit un BBTM (béton bitumineux très mince), soit un enduit. Dans le cas d'un BB, un système anti-remontée de fissures devra être appliqué **[39]**

I.6.9. Méthode de formulation de béton de sable

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

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

Deux types d'approches de formulation sont présentées : une approche théorique, basée essentiellement sur l'optimisation de la compacité du BS en partant de la relation de Caquot et une méthode expérimentale, basée sur la réalisation de gâchées.**[40]**

I.6.9.1. 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 [19] a pu établir à partir des données expérimentales une relation mathématique reliant le volume des vides d'un mélange granulaire présentant une compacité maximale et son étendue granulaire (d/Dmax). Pour ce mélange optimisé la relation de Caquot s'écrit comme suit :

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

V : Volume des vides du mélange granulaire ;

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

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

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

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

- **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 :

- ✓ Les éléments fins qui regroupent tous les grains de taille inférieure à 80 µm et qui sont le ciment, les fines d'ajout et la fraction du sable inférieure à 80 µm.
- Toute l'étendue du sable comprise entre 80 µm et le diamètre maximal du sable Dmax, ainsi que l'éventuelle fraction des éléments supérieurs à 80 µm, provenant des fines d'ajout. En faisant cette distinction entre les fines incluant les éléments inférieurs à 80 µm et l'étendue du sable comprise entre 80 µm et le diamètre maximal du sable, la porosité du sable peut être calculée selon la formule précédente de Caquot :

$$Ps = V= 0.75\ (0.08/D)1/5\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(2)$$

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

Dmax : Diamètre maximal du plus gros grain du mélange.

La constante expérimentale (Vo) est prise comme étant la moyenne des valeurs extrêmes (0.7, 0.8). Un dosage optimal en fines d'ajout sert à compléter l'étendue granulaire bornée inférieurement par la coupure 80 µm, et à combler la porosité du sable ainsi calculée. En effet,

Il est impossible de prendre en compte la distribution de la taille des particules pour les fines d'ajout car l'assemblage géométrique relève surtout des forces électriques inter-granulaires. En

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

[Fines]= [Vides].

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

[Fines] = 0.38 (0.08/Dmax)1/5 ……. (3)

Cette dernière formule montre que le dosage en fines dépend surtout de la dimension du plus gros grain, il apparaît très clair que plus le diamètre maximum diminue plus le dosage en fines augmente Figure (1.48)

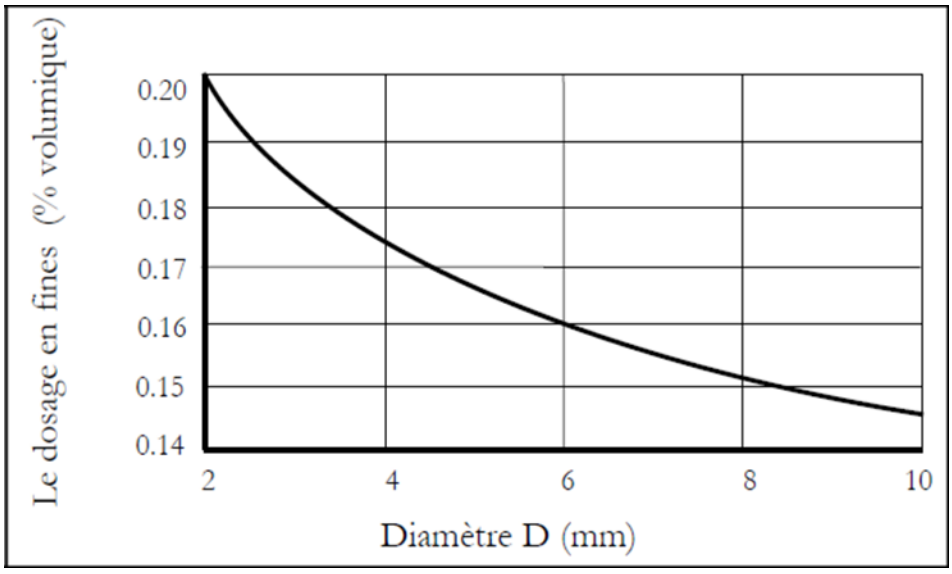


Fig.1.41. Influence du diamètre D du sable sur le dosage en fines **[36]**

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

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

$$(e + v)_{min} = 0.8\ (d/D_{max})^{1/5} \quad \text{……..……..(4)}$$

Cette formule exige la connaissance de la plus petite dimension de l'étendue granulaire du

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

$$d = (60 / (f))\ mm \times \rho \quad \text{.....(5)}$$

Avec :

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

ρ : Densité du constituant exprimée en g/cm3.

C'est la moyenne harmonique de la dimension des grains les plus fins du constituant assimilés Des sphères. Cette définition de (d) ne peut pas être retenue pour les mélanges floculés : la dimension des flocs relevant des considérations physico-chimiques très complexes. Un ordre de grandeur peut être avancé de l'ordre de 20 à 25 mm pour le diamètre ; ainsi l'élargissement de l'étendue est la seule solution pour la réduction de la porosité théorique minimale comme la Figure 1.42 le montre

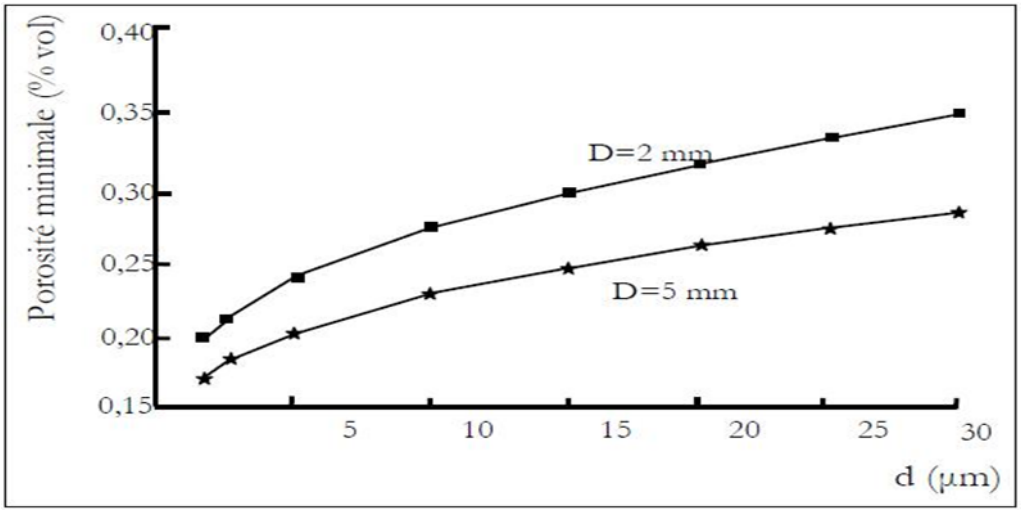


Fig.1.42. Influence de la dimension d sur la porosité minimale du béton pour deux tailles du sable **[36]**

On remarque que la porosité minimale d'un mélange granulaire varie considérablement avec son étendue granulaire, mais cette porosité est décomposée en un volume d'eau (e) et un volume de vides (v). En pratique, confectionner un béton avec les strictes quantités d'eau conduit à une mauvaise Ouvrabilité ; la Figure 1. Nous montrons la relation entre l'ouvrabilité et le dosage en eau.

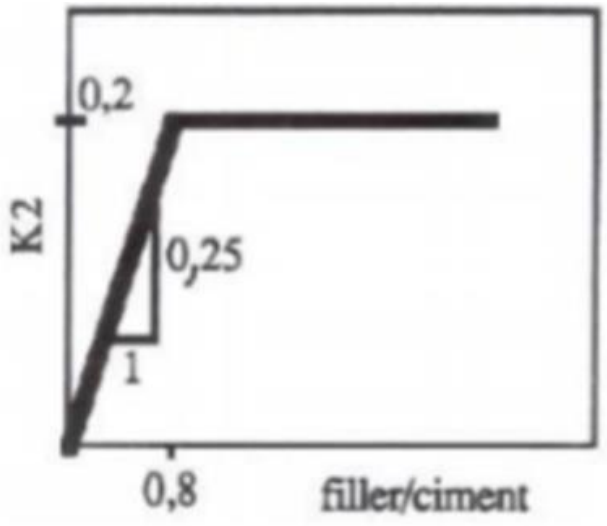


Fig.1.43. Relation entre l'ouvrabilité et le dosage (e + v) d'une matrice pour une mise en œuvre donnée **[36]**

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

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

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

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

Avec :

K : constante comprise entre 0.2 et 0.25.

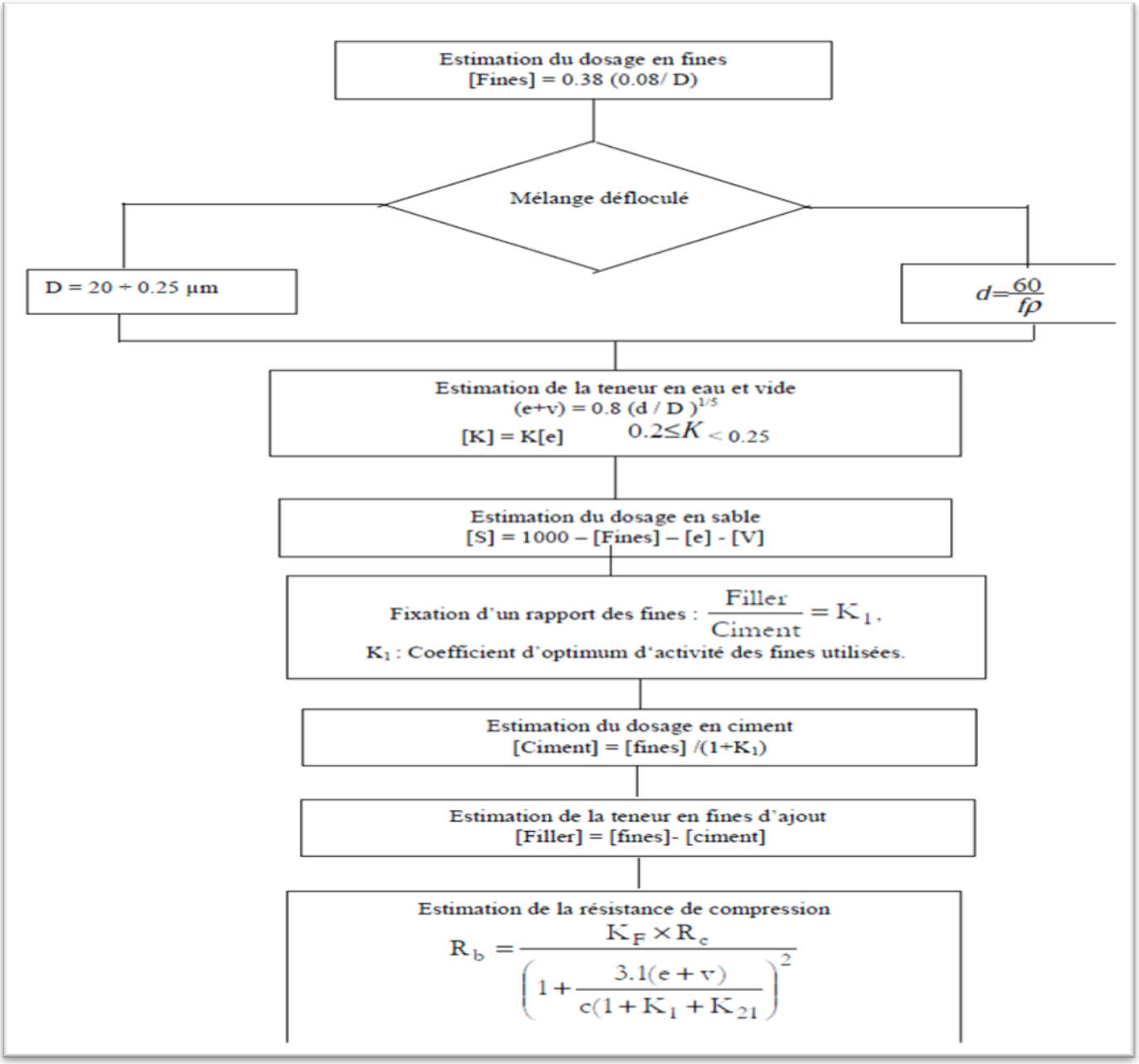


Fig.1.44. Organigramme de la méthode théorique **[37]**

I.6.9.2. Méthode expérimentale de formulation des bétons de sable

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

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

- **Le dosage en ciment**

Les prescriptions contractuelles ou normatives imposent très souvent un dosage minimum en ciment par mètre cube de béton, en fonction du type d'ouvrage ou bien de l'agressivité du

milieu. On choisit donc de travailler avec un dosage en ciment fixé qui ne variera pas tout au long de l'étude, on le note C (Kg/m^3).

Dosage en eau

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

❖ **Détermination du dosage en sable**

Dans cette formule, il faut introduire un fluidifiant réducteur d'eau, au dosage préconisé par le fabricant (N% du poids des éléments inférieurs à 80 ȝm en extrait sec), qui permettra de dé floculer les fines. D'autre part, un béton contient toujours un volume d'air, Vair, la teneur en air des bétons de sable est toujours supérieure à celle des bétons ordinaires et se situe entre 5 et 7 % de volume du béton. Les quantités de ciment, d'eau, d'adjuvant et d'air sont connues, nous devons donc compléter la formule par du sable de manière à obtenir un mètre cube de béton ; on aboutit à la relation suivante :

$$V_{air} + V_C + V_E + V_{adj} + V_{sable} = 1000 \text{ (En litres)}. \ldots\ldots (7)$$

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

$$M_{sable} = MVA * V_{sable} \ldots\ldots (8)$$

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

MVA sable : masse volumique absolue du sable. V sable : volume du sable. Après détermination des différentes proportions des constituants, cette formulation permet de calculer la masse volumique apparente théorique (MVAT) en sommant l'ensemble des masses ainsi calculées pour le volume unitaire ($1\ m^{3)}$

$$MVAT = m_{ciment} + m_{eau} + m_{adj} + m_{sable} \ldots\ldots (9)$$

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

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

- La masse volumique apparente réelle doit être égale à la masse volumique apparente théorique calculée par la formule (1)
- La maniabilité du mélange sera comprise entre 7 et 10 s selon le maniabilimètre LCPC.

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

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

$$Si = Si_{-1}(MVATi_{-1} - MVARi_{-1}) + V * MVA\ sable \ldots\ldots (10)$$

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° 2).

Il sera retranché si 1'écoulement au maniabilimètre est inférieur à 7s (+V dans la formule n°2) Après chaque correction la masse volumique théorique sera comparée à la masse volumique réelle. En ajustant le dosage en eau et en sable conformément à ce principe, le dosage en eau devient définitif et le temps d'écoulement est alors compris entre 7 et 10 s, et la formule fait le mètre cube du béton de sable

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

Il faut maintenant introduire dans le béton les fines d'addition et en définir le dosage optimal. Rapport E/C constant. Pour cela, il est nécessaire de réaliser des gâchées de béton de sable avec 5 à 6 dosages en fines dans la plage d'emploi usuelle de ces fines. L'incorporation des fines doit permettre d'augmenter la compacité du béton, en remplissant les vides. Notre objectif, est d'obtenir une formule d'un mètre cube dans laquelle la masse volumique apparente théorique tend vers la masse volumique apparente réelle, et un temps d'écoulement adéquat. Pour chaque gâchée, on détermine la maniabilité ainsi que la masse volumique apparente réelle (MVAR) que l'on compare à la masse volumique apparente théorique (MVAT) de la formule. Si besoin, la correction sur le sable s'effectue à l'aide de la formule suivante :

$$Si = Si\text{-}1\text{-}(MVATi\text{-}1 - MVARi\text{-}1) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (11)$$

Comme exemple pratique sur cette méthode de formulation, une étude de formulation de

béton de sable effectuée au LRPC de Bordeaux. Dans cette étude, trois différentes fines d'addition ont été utilisées :

- Fine d'addition N° 1 : Son utilisation conduit à une maniabilité optimale entre 150 et 180Kg/m3 de fines. Figures 1.49 et 1.50.
- Fine d'addition N° 2 : Dans sa plage de dosage (0 à 240 Kg/m3) il n'y pas d'optimum de maniabilité et masse volumique, l'optimum doit exister pour des dosages supérieurs.
- Fine d'addition N° 3 : Son optimum de maniabilité et de masse volumique est compris entre 60 et 90 Kg/m3de fines.

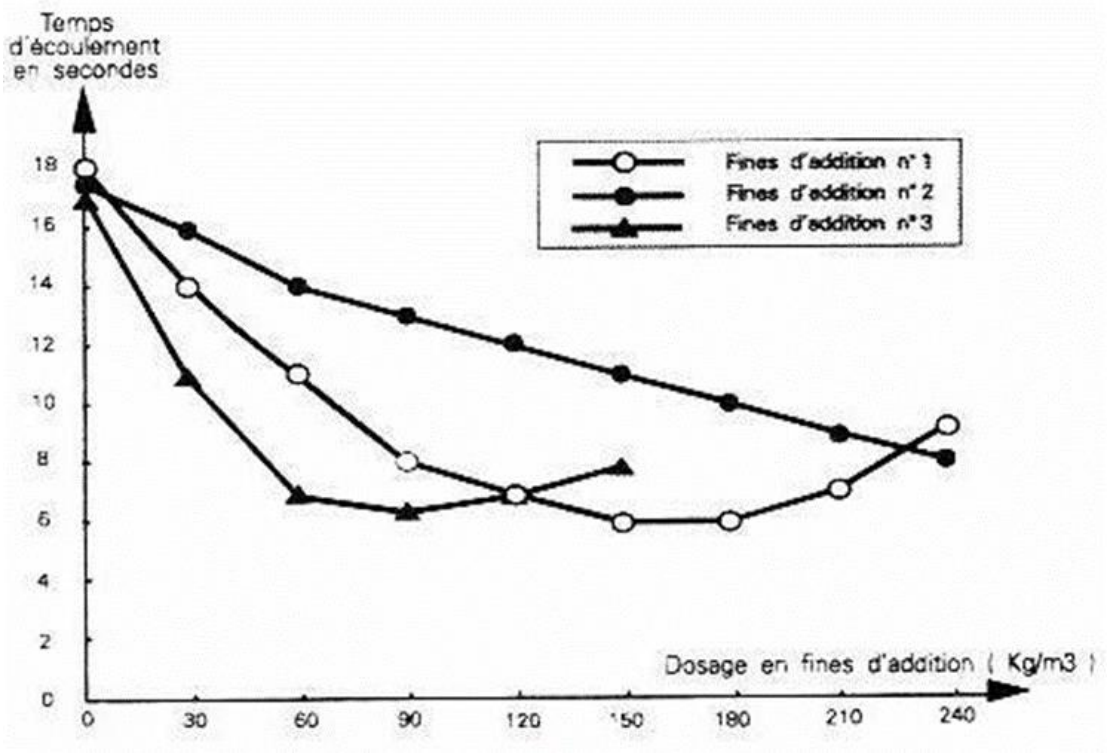


Fig.1.45. Evolution de la maniabilité en fonction du dosage en fines d'addition **[36]**

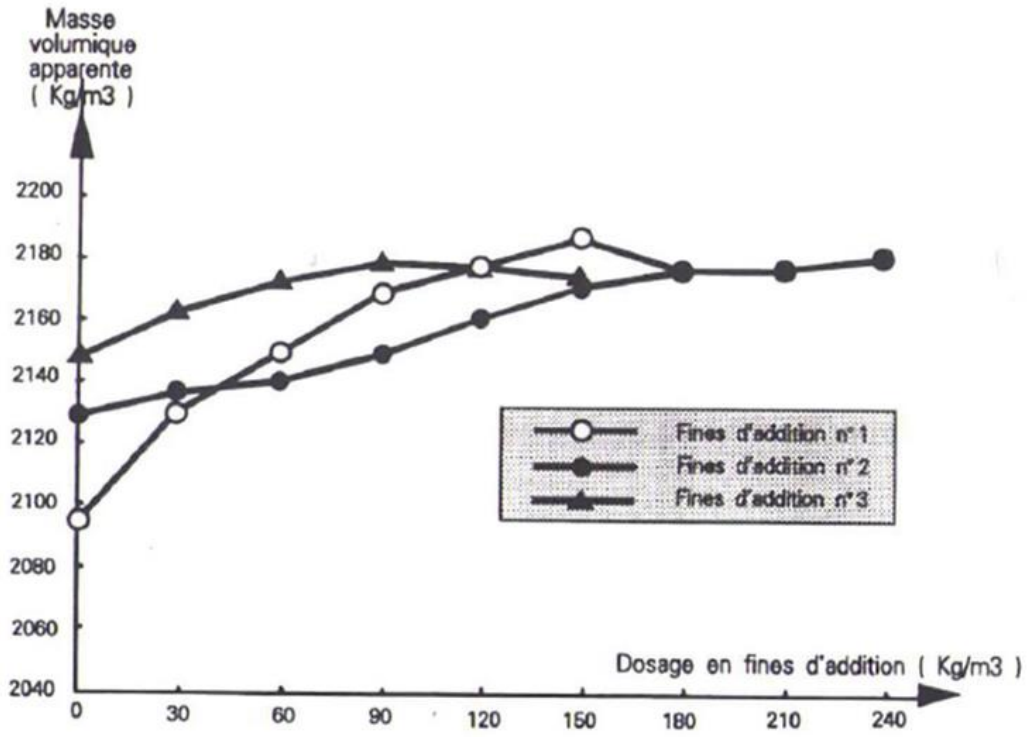


Fig.1.46. Masse volumique apparente en fonction du dosage en fines d'addition **[38]**

I.6 Conclusion:

Dans ce chapitre, nous avons présenté une synthèse bibliographique sur les déchets du coquillage, céramique, verre et granite (définition, composition, propriétés, domaine d'application) puis on a donné un aperçu général sur le béton de sable fluide (définition, composition et formulation), et finalement on a terminé par l'effet de valorisation des déchets coquillage, céramique, verre et granite de façons combinai sur les caractéristiques de béton de sable fluide à l'état frais et durci.

Chapitre II

Matériaux et Essais

II.1 Introduction

Ce chapitre présente à la fois les matériaux que nous utiliserons, et les méthodes qui Seront mises en œuvre dans la suite de ce travail, après on exposera les caractéristique Bien connues à savoir

- La granularité ou le fuseau granulaire du squelette.
- Les dosages en sable, ciment, d'addition, d'eau et d'adjuvant.
- La caractérisation des bétons de sable fluide à base de ciment, à l'état frais et à l'état durci, nécessite de définir les corps d'épreuve sur lesquels seront mesurées les grandeurs spécifiques du matériau et les techniques d'essai. Les différents essais faits au cours de ce travail sont

Sur béton frais

- Etalement
- Densité

Sur béton durci

- La résistance à la compression demi-prisme d'éprouvettes prismatiques de dimensions 4×4×16cm
- Densité
- Essai ultrasonique
- Conductivité thermique

II.2 Caractérisation des matériaux utilisés

Pour la confection du béton, des matériaux locaux de la wilaya ont été 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**][36].** Le tableau II.2 résume l'Analyse chimique du ciment et composition hypothétique du clinker, selon la fiche technique < annexe A> du ciment.

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

Analyse chimique Du ciment	Perte au feu (%) (NA 5042) 7.00-9.50	7.00-9.50
	Résidus insolubles (%) (NA 5042)	1.50-3.00
	Teneur en sulfates SO3 (%) (NA 5042)	2.00-2.50
	Teneur en oxyde de magnésium MgO (%)	1.90-2.30
	Teneur en chlorures (%) (NA 5042)	0.01-0.03
Composition Du Clinker	Silicates tricalciques C3S (%)	58.00-64.00
	Aluminates tricalciques C3A (%)	6.00-8.00



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

II.2.2 Granulats

II.2.2.1 Le Sable

Dans cette étude nous avons utilisé un sable de (Oued souf) du module de finesse environ 2,07 dont leurs caractéristiques sont représentées dans le tableau II.3. Et la figure II.2 représente la courbe granulométrique des granulats utilisés.



Figure II.2: Sable moyenne d'Oued souf.

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

Caractéristiques	**Sable**	**Normes**
Provenance	Oued sauf	
Classe granulaire	0/3	NF EN 933-1 **[37]**
Module de finesse	2.07	
Masse volumique absolue (g/cm^3)	2.63	NF EN 1097-6**[38]**
Masse volumique apparent (g/cm^3)	1.48	NF EN 459-2**[39]**
Equivalent de sable (%)	81.16	NF EN 933-8**[40]**
Taux d'absorption d'eau (%)	0.86	NF EN 1097-6**[37]**

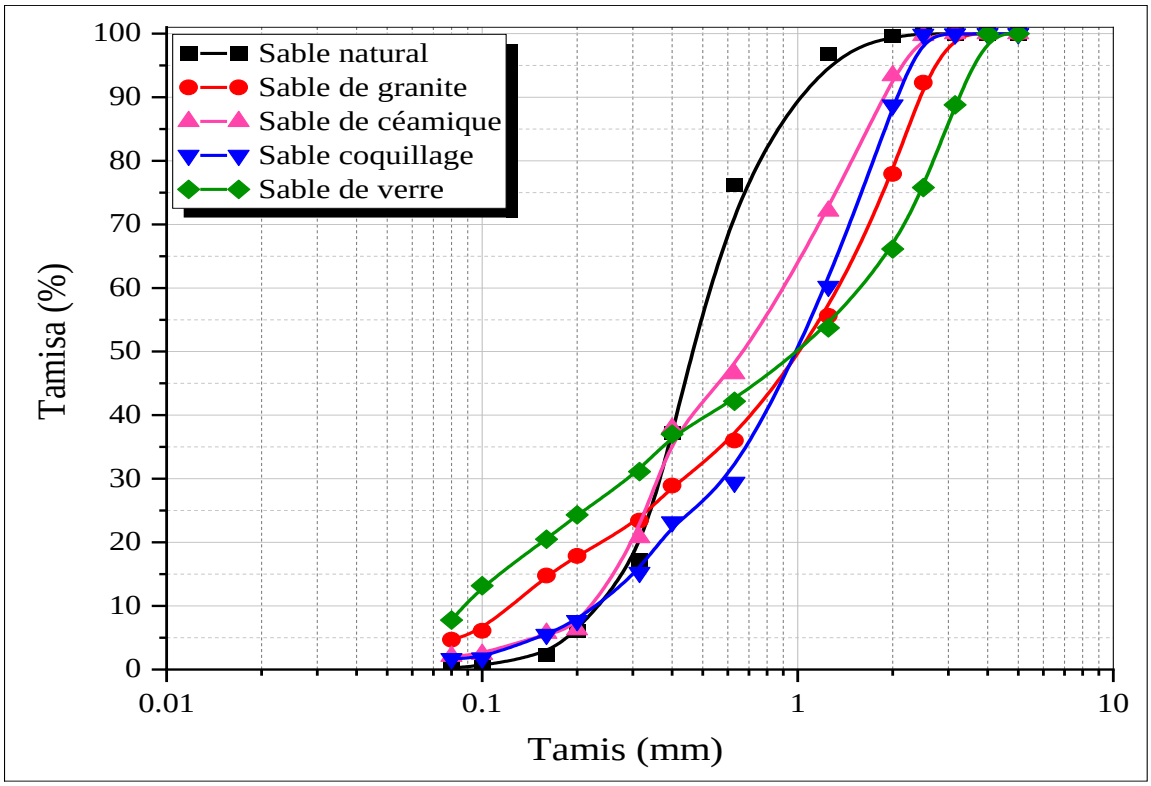


Figure II.3 : Analyse granulométrique des sables utilisées

II.2.2.2 Déchets de coquillage

Solvant considère comme des déchets, les projectiles on utilisés dans le cadre de notre projet à d'autres fins. Tout d'abord, il son tété collectés dans leur source naturelle. Nous les avons ramenés au laboratoire VNU / Médéa dans le but de les soumettre à des à purifier et éliminer tout essortes d'impuretés. Ensuite, nous l'avons mis dans un four à 200 ° C pendant 24 heures. À la suite de ce dernier procédé, il a été broyé et tamisé avec un tamis à trous de 3,15 mm, afin d'obtenir les déchets de coquillage de la même forme que le sable utilisé. Il le remplacera en différentes proportions afin d'étudier et d'évaluer le succès de ce procédé.



Fig.II.4 Les étapes de préparation de coquillage.

Tableau II.3 : Propriétés physiques de SQ

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

II.2.2.3 Déchets de granite

Les déchets de granite (GRANITE) utilisée dans cet ravailde recherche sous formes :

Un sable de granite recyclé SG.



FigureII.5: Déchets de granite.

Nous avons incorporé ces déchets dans le béton de sable par substitution volumétrique du sable avec des pourcentages (0%,5%,10%, 15%,20%,25%).

- **Caractérisation de déchet de granite**

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

Tableau II.4: Propriétés Physiques de SG

Caractéristique	
Classe granulaire	0/3
Module de finesse	2.78
Masse volumique absolue (g/cm^3)	2.51
Masse volumique apparent (g/cm3)	1.18
Equivalent de sable (%)	94
Taux d'absorption d'eau (%)	0.86
Compacité %	47.01
Porosité %	52.99

II.2.2.4 Déchets de verre

Les déchets utilisé dans notre étude provient de la récupération de déchets de verre rejeté dans la nature après savoir récupérer, concasser , broyer et tamiser , Ce granulat de verre est incorporé dans le

béton de sable fluide par substitution par rapport à la masse du sable selon les pourcentages suivants :5% ,10%,15%,20%et 25%.

Le tableau II.6 résumé les différentes caractéristiques physiques de déchets de verre utilisés.

Tableau II.5: Propriétés Physiques de déchet de verre

Caractéristiques	Valeurs
La masse volumique apparente (Kg/m^3)	1.39
La masse volumique absolue (Kg/m^3)	2.47
Module de finesse	2.5
Couleur	Blanc grisâtre(transparent)
La compacité (%)	45
La porosité (%)	55



Fig II.6 Déchet de verre utilisé.

II.2.2.5 Déchets de céramique

Les déchets céramiques utilisés au court de ce travail sont les déchets de dalle de sol qui sont obtenus par le recyclage mécanique (Figure.II.7). Après avoir étaient récupérée triée séché, puis concassé et broyé et in comparé dans la masse des BSF avec pourcentage (10%,20%,30%,40% et 50%) les caractéristiques de déchet céramique utilisé sont présentées dans (tableau. II.7).

1. **Sable de céramique recyclé (SC)**

Les déchets une fois réceptionnés, ils ont fait l'objet d'un concassage par un concasseur à mâchoires de laboratoire (figure II.7) qui nous a permet d'obtenir un matériau dont les grains sont de dimensions 0-3 mm La figure II.7 montre les étapes précédentes :



Figure II.7: déchets de céramique utilisée

2. Caractéristiques de sable de céramique

Le sable de céramique est caractérisé suivant les normes en vigueurs, voire les procédures des essais qu'on a réalisées sur ce sable, les résultats sont représentés dans le tableau II.7 et la figure II.3.

Tableau II.6 : Propriétés physiques de SC

Caractéristiques	SC	Normes
Classe Granulométrie	0/3	NF EN 933-1 **[41]**
Module de finesse	2.55	
Masse volumique Absolue (g/cm^3)	2.5	NF EN 1097-6**[42]**
Masse volumique Apparente (g/cm3)	1.35	NF EN 459-2 **[43]**
Equivalent de sable (%)	84.96	NF EN 933-8**[44]**
Taux d'absorption d'eau	13	NF EN 1097-6**[41]**

II.2.3 Eau de gâchage

L'eau de gâchage utilisée pour la confection des bétons est celle du robinet considéré Comme potable, exempte de toute impureté nuisible au béton et conforme à la norme NF EN 1008 **[34].** Sa température est comprise entre 18 et 20°C.

II.2.4 Adjuvant

Pour assurer une ouvrabilité satisfaisante, on a employé un Superplastifiant – Haut réducteur d'eau à base de poly-carboxylate d'éther formulé à base de polymère de synthèse combinée commercialisé par la société SikaCem, sous le nom « tempo 10 ». Voir la fiche technique en < annexe B> pour avoir plus de détaille sur ce adjuvant.



Figure II.8 : super-plastifiant utilisé

Tableau II.7 : Propriétés physiques de super-plastifiant

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

II.2.5 Filler

Les fillers utilises dans notre cas sont de nature marbre. Ils sont obtenus par broyage des déchets de concassage de déchets de marbre. Rappelons que la poudre de marbre sont les plus adaptés au béton et donnent de meilleures performances. Leur caractéristique physique est mentionnée dans le Tableau.2.7.

Tableau. II.8 Caractéristiques physiques des fins de marbre utilisées.

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



Figure II.9 : poudre de marbre.

II.3 Formulation du béton de sable fluide

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

Notre étude est focalisée sur l'influence de l'ajout des déchets de coquillage, granite, verre et céramique et de issues de quatre différentes formes (SQ, SG, SV et SC) sur les caractéristiques à l'état frais et durci d'un béton de sable fluide.

Afin de déterminer les quantités des matériaux : sable, ciment, filer, eau et adjuvant, nous nous sommes basés sur le rapport E/C+F= 0.38 et un dosage de superplastifiant Sp/L=1.7% pour assurer une ouvrabilité constante, les différentes compositions sont présentées dans le tableau II.9 **:**

Tableau II.9 : les composantes des bétons formulés à base des déchets de coquillage, granite, verre et céramique

Mélange	Ciment (kg/m^3)	Filler (kg/m^3)	Eau (l/m^3)	Sable (kg/m^3)	SQ (kg/m^3)	SG (kg/m^3)	SV (kg/m^3)	SC (kg/m^3)	SP (%)
BSF T	400	200	265	1400	0	0	0	0	0.8
BSF 1	400	200	265	1324.95	75.04	0	0	0	0.8
BSF 2	400	200	265	1087.99	75.04	126.42	56.26	54.29	0.85
BSF 3	400	200	265	879.06	75.04	252.89	100.68	92.33	0.9
BSF 4	400	200	265	696.58	75.04	379.34	133.21	115.83	0.95
BSF 5	400	200	265	538.82	75.04	505.8	153.96	124.48	1
BSF 6	400	200	265	404.11	75.04	632.25	162.64	125.36	1.2
BSF 7	400	200	265	1174.83	225.17	0	0	0	0.8
BSF 8	400	200	265	964.69	225.17	112.2	49.89	48.13	0.85
BSF 9	400	200	265	779.45	225.17	224.24	89.27	81.87	0.9
BSF 10	400	200	265	656.23	225.17	336.35	118.11	109.13	0.95
BSF 11	400	200	265	474.76	225.17	448.46	136.43	112.15	1
BSF 12	400	200	265	358.32	225.17	560.61	144.21	111.69	1.2
BSF 13	400	200	265	1024.72	375.28	0	0	0	0.8
BSF 14	400	200	265	791.5	375.28	97.79	43.52	41.98	0.85
BSF 15	400	200	265	679.86	375.28	195.59	77.86	71.41	0.9
BSF 16	400	200	265	538.86	375.28	293.45	103.05	89.60	0.95
BSF 17	400	200	265	416.15	375.28	391.18	119.04	97.85	1
BSF 18	400	200	265	312.54	375.28	488.98	125.78	97.42	1.2

Avec :

BSFT : Béton de sable fluide témoin.

BSF_n : Béton à base de déchet de coquillage, granite, verre et de céramique.

SQ : sable de coquillage.

SG : sable de granite.

SV : sable de verre.

SC : sable de céramique

BSFT:Béton de sable fluide témoin.

BSF1:Béton de sable fluide de 5% de SQ.

BSF2:Béton de sable fluide 5% de SQ, 10% de SG, 5% de SV et5% de SC.

BSF3:Béton de sable fluide 5% de SQ, 20% de SG, 10% de SV et 10% de SC

BSF4:Béton de sable fluide 5% de SQ, 30% de SG, 15% de SV et 15% de SC.

BSF5:Béton de sable fluide 5% de SQ,40 % de SG, 20% de SV et 20% de SC.

BSF6:Béton de sable fluide 5% de SQ, 50% de SG, 25% de SV et 25% de SC.

BSF7:Béton de sable fluide de 15 de SQ.

BSF8:Béton de sable fluide de 15% de SQ, 10% de SG, 5% de SV et 5% de SC.

BSF9:Béton de sable fluide de 15% de SQ, 20% de SG, 10% de SV et10% de SC.

BSF10:Béton de sable fluide de 15% de SQ, 30% de SG, 15% de SV et15% de SC.

BSF11:Béton de sable fluide de 15% de SQ, 40% de SG, 20% de SV et 20% de SC.

BSF12:Béton de sable fluide de 15% de SQ, 50% de SG, 25% de SV et 25% de SC.

BSF12:Béton de sable fluide de 15% de SQ, 50% de SG, 25% de SV et 25% de SC.

BSF13: Béton de sable fluide de 25% de SQ.

BSF14: Béton de sable fluide de 25% de SQ, 10% de SG, 5% de SV et 5% de SC.

BSF15: Béton de sable fluide de 25% de SQ, 20% de SG, 10% de SV et 10% de SC.

BSF16:Béton de sable fluide de 25% de SQ, 30% de SG, 15% de SV et 15% de SC.

BSF17:Béton de sable fluide de 25% de SQ, 40% de SG, 20% de SV et 20% de SC.

BSF18:Béton de sable fluide de 25% de SQ, 50% de SG, 25% de SV et 25% de SC.

II.4 Séquence de malaxage du béton

- Malaxer à sec le ciment, sable, filler marbre et déchet afin d'homogénéiser le mélange pendant 30 secondes (on a utilisé un malaxeur de capacité de 5 litres).
- Ajouter pendant 1 minute la première quantité d'eau (w1 = 60% Eau).
- Ajouter pendant 1 minute le restant de l'eau de gâchage (w2 = 40% Eau) mélangé avec le super-plastifiant
- Malaxer le mélange pendant 3 minutes.
- En laisse le mélange reposé 3 minutes.
- Malaxer le mélange pendant 1 :30 minutes

La séquence de malaxage est la même pour tous les mélanges du béton de sable fluide. Pour assurer une meilleure incorporation, et d'après la séquence de malaxage de ce produit cité en fiche technique, l'ajout de déchet de marbre et déchet de verre qui est doit être mélangé avec les agrégats (ciment, sable) cette quantité a été prise d'un pourcentage massique du sable et ajouté d'un seul coup.

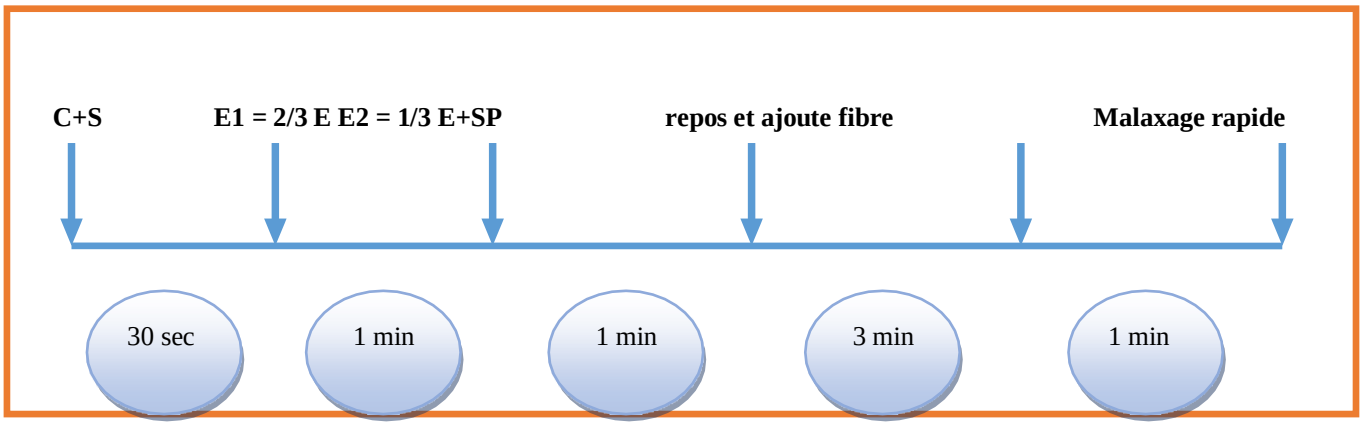


Figure II.10 : Séquence de malaxage du béton de sable fluide



Figure II.11 : Protocole de malaxage

II.5. Essais réalisés sur le BSF

II.5.1. Etat frais

a) L'étalement au mini-cône

L'essai d'étalement consiste à remplir un moule tronconique place sur une surface horizontale lisse, une fois le moule soulève, le diamètre d'étalement du mortier est mesure suivant deux directions perpendiculaire, la moyenne est retenu. La figure .II.12 montre les étapes de l'essai d'étalement mini cône selon la recommandation NF EN 12350-8**[42]**.



Figure.II.12 Mesure de l'étalement du béton de sable fluide

b) Préparation et conservation des éprouvettes

Les different types de bétons de sable fluide sont tous fabriqués dans l'environnement de laboratoire. Le béton de sable fluide a été coulé dans des moules métalliques de forme prismatiques 4x4x16cm destinées aux essais de compression et de variation dimensionnelles ,ainsi que des éprouvettes 4×10×10cm destinées pour les essais thermiques conformément à la norme NFEN12390-2**.[41]**



Figure II.13 : Fabrication des éprouvettes

c) Densité

La densité des mélanges a été calculée en fonction de l'échantillon introduit dans le moule de volume (V= 1 L) est déterminée suivant la norme NF EN 12350-6 **[43]**. La figure II.14 montre les étapes de l'essai.



Figure II.14 : Mesure de la densité du béton

d) Démoulage et conservation des éprouvettes

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



Figure II.15 : Conservation des éprouvettes

II.5.2. Etat durci

1) Essais de compression

La résistance à la compression a été mesurée selon la norme [NF EN 196-1] **[44]** par compression axiale pour demi-prisme d'éprouvettes prismatiques de dimensions 4×4×16 cm, à 7, 28 jours, à l'aide d'une presse hydraulique de capacité maximale de 2000 kN conforme à la norme [NF P 18-412] **[45]** (**Fig.II.16**)

Les demi-prismes de l'éprouvette obtenus après rupture à la traction seront rompus à la compression comme indiquée sur la Fig. II.16.

La contrainte de rupture est calculée comme suit :

$R_c = F_c / b^2$

R_c : Résistance à la compression en (MPa).F : Charge de rupture en (N).

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



a- L'éprouvette avant l'écrasement. b- L'éprouvette après l'écrasement.

Fig II. 16 Dispositif de mesure de la résistance à la compression.

2) Conductivité thermique

De nombreuses méthodes sont utilisées pour mesurer la conductivité thermique des matériaux. Ces méthodes consistent à soumettre l'échantillon à un flux thermique et mesurer par la suite soit un profil de température soit un flux de chaleur. Dans notre cas Les Propriétés thermiques des déférents mélanges ont été mesurés à l'aide d'un CT Mètre conformément la norme ISO 8497-1 **[46].**

Le CT METRE Norme de référence NF EN 993-15 [47]

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.

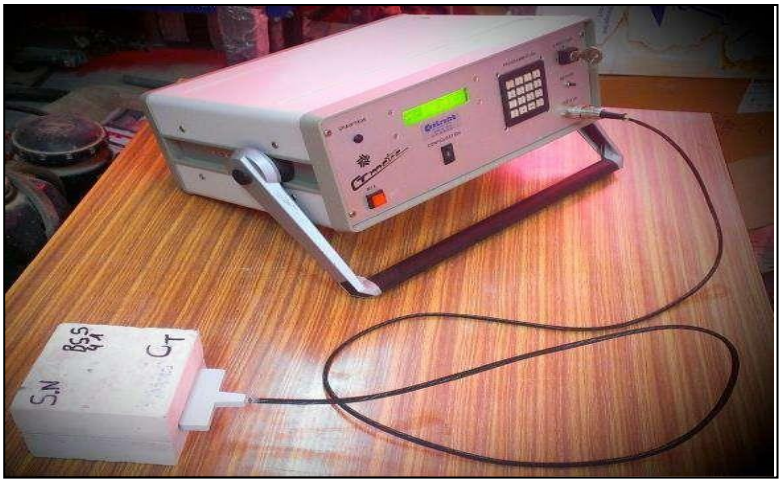


Figure II.17 : Dispositif pour l'essai de la conductivité thermique

3) 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. NF EN 12504-4**[48]**



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

4) La densité apparente à l'état durci

La densité est elle a mis l'éprouvette de béton à l'état durci dans un balance et peser la masse est déterminée suivant la norme NF EN 206/CN **[49]** . La figure II. Montre les étapes de l'essai.

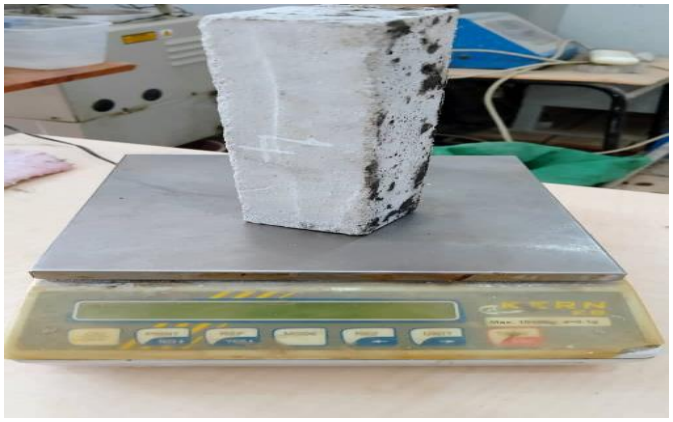


Figure II.19 : densité apparente à l'état durci.

II.5.3. Durabilité

A. Absorption d'eau par capillarité

Dans cet essai de mesure, on prend un morceau d'éprouvette de béton déjà sécher et on le pesé (m0), après on introduire le dans un bac remplir de 5 mm d'eau (**Fig II.20**), pendant chaque intervalle de temps (6 mn,12mn,30mn,1h, 2h,4h,24h,2j,3j,4j,5j,7j) on remesure les morceaux

(mi), la déférence de poids c'est le poids de l'eau absorbé(mi-m0) [NE 13057] **[50].**

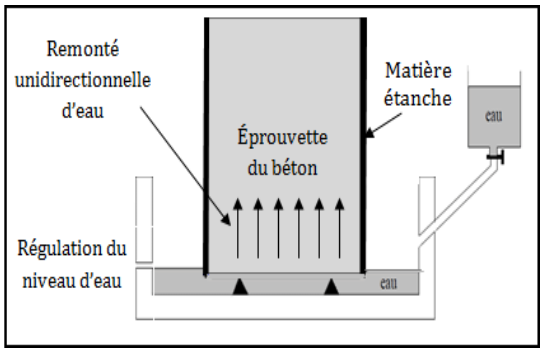




Fig II.20 Absorption d'eau par succion capillaire de BSF.

B. La porosité accessible à l'eau

La porosité accessible à l'eau du matériau peut être déterminée par pesé hydrostatique. Les essais de porosité accessible à l'eau sont effectués selon le mode opératoire AFPC-AFREM [AFPC,1997] sur des éprouvettes de béton, et placées dans un dessiccateur sous vide pendant 4 heures, elles sont ensuite saturées dans l'eau sous vide pendant une durée de 24 h, les échantillons sont soumis à une pesé hydrostatique qui permettra d'évaluer leur masse (Meau) et à une pesée dans l'air qui est assimilée à la masse saturée en eau (Mair)après avoir essuyé leur surface, les échantillons sont placés dans une étuve, la masse finale obtenue (Msec)correspond à un état sec du matériau. NF P18-459**[51].**

La porosité accessible à l'eau calculée par l'équation :

$$\varepsilon\% = (Mair - Msec) / (Mair - Meau)$$

Avec :

ε : La porosité accessible à l'eau en %

Mair : la masse de l'éprouvette saturée d'eau pesée dans l'air (en g)

Meau : la masse de l'éprouvette saturée d'eau pesée dans l'eau (en g)

Msec : la masse de l'éprouvette sèche pesée dans l'air (en g)

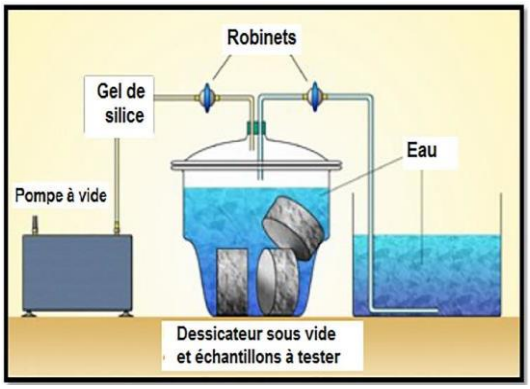




Fig. II.21 : Essai de Porosité accessible à l'eau.

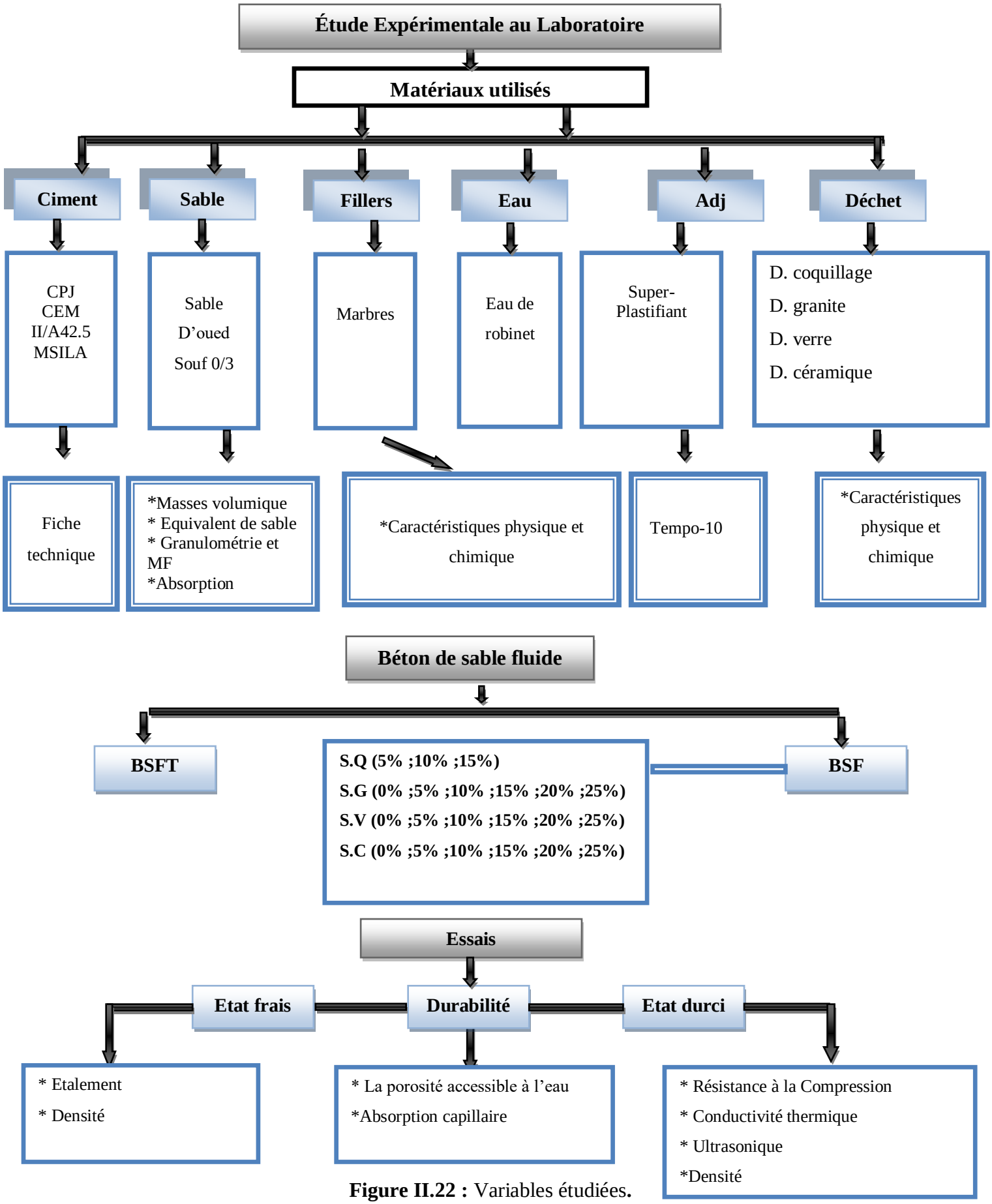


Figure II.22 : Variables étudiées.

II.6 Conclusion

Dans notre recherche, nous avons utilisé des matériaux et des déches locaux, disponibles sur le marché Algérien tels que le ciment, les granulats, les super-plastifiants). On a réalisé des essais importants pour déterminer les caractéristiques Rhéologiques et physico-mécaniques du BSF. Tout dans le but de connaitre l'effet de déchets de coquillage, granite, verre et de céramique sur le comportement du béton de sable fluide.

Chapitre III

RESULTATS ET INTERPRETATIONS

III.1 Introduction

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

III.2 Influence de combinaison de déchets solides

.1. Etat frais

.1.1. 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.

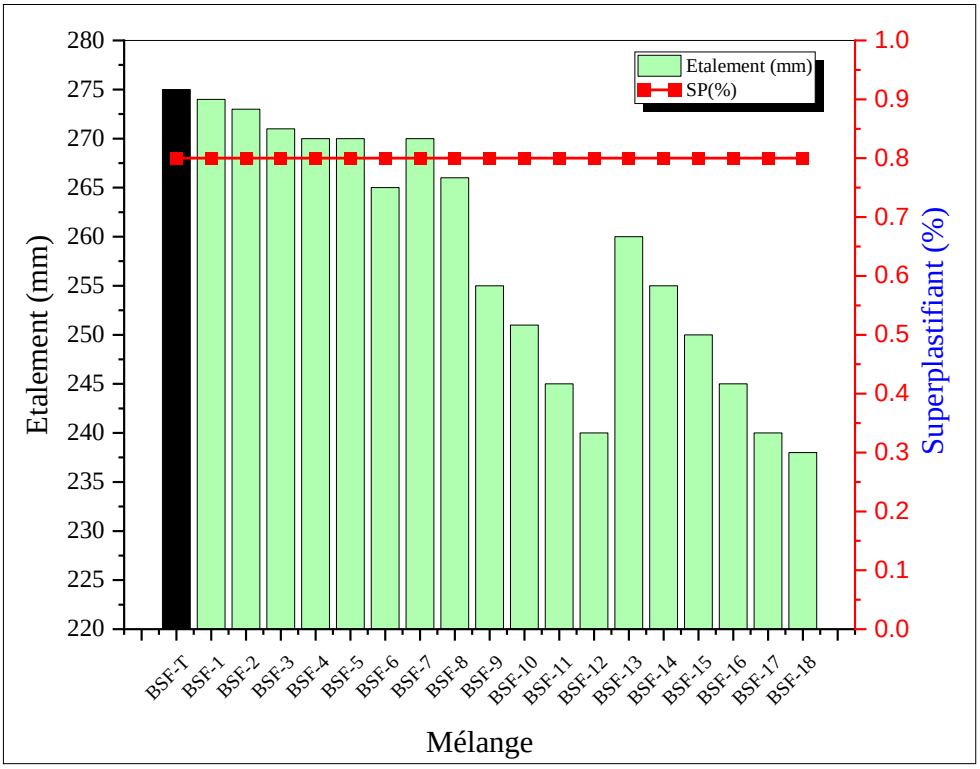


Figure III.1.a : Influence des déchets sur la fluidité de BSF avec un dosage en SP de 0.8%.

Les résultats obtenus montrent que l'étalement de bétons de sable fluide varie en fonction du pourcentage de substitution du sable par le déchet de coquillage et les déchets de granite, céramique et de marbre . Pour ce la , nous avons fixé le dosage en superpastifiant 0.8% et étudié l'influence des déches sur la fluidité .D'âpre les résultat obtenue ,on constate que plus le pourcentage de déchets augmente, plus l'étalement est diminué .Cela est due peut l'absorption de déchets qui est plus fort par rapport à l'absorption du sable substitué, ainsi que la forme angulaire des particule . **Safi et al [42]**

Pour notre travail on à respecté un diamètre d'étalement (diamètre constante) situé entre (260 à 290 mm) pour toutes les familles de béton de sable fluide, ca pour faciliter la comparaison entre la famille de La figure III.1 représente la variation de dosage en super-plastifiant pour avoir un étalement constant.

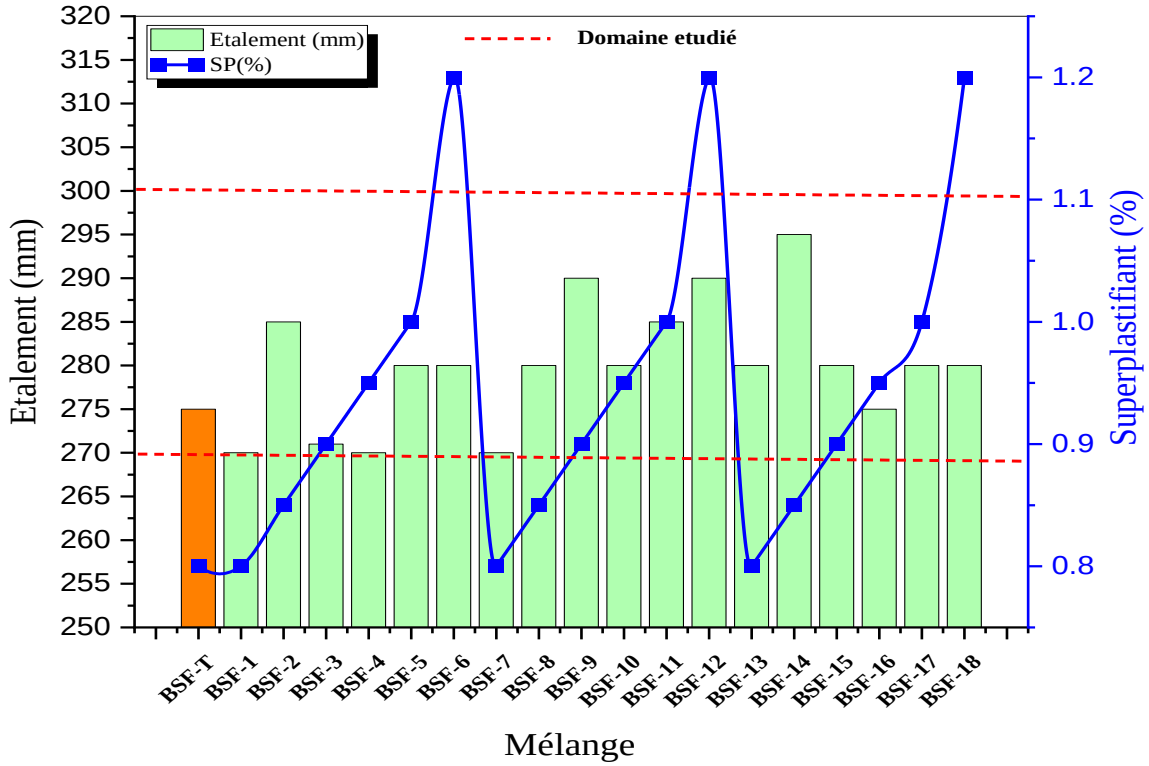


Figure III.1.b : Dosage de super-plastifiant en de déférent type du béton.

Les résultats obtenus montrent que l'étalement de bétons de sable fluide varie en fonction du pourcentage de substitution du sable par le déchet de coquillage, granite, verre et céramique . A travers les résultats illustrés dans la figure III.1 précédente, on remarque clairement que la fluidité de béton de sable et varié selon plusieurs caractéristiques de déchet combiné incorporé dans le béton (la forme et l'absorption), alors qu'à travers la figure ci-dessus , on constate que la substitution du sable par le déchet de coquillage est augmente , plus que l'étalement de béton est diminue ; quant au le granite ,plus que le pourcentage est élevé plus que l'étalement diminue ; le même effet est arrivé à céramique ; le verre a l'effet inverse par rapport aux autres déchets, du fait qu'il n'absorbe pas l'eau ce qui favorise son étalement .

On a explique que les les résultats de la diminution de l'étalement que les déchets coquillage, granite et le céramique se caractérisent par la propriété d'absorption et la forme angulaire, ce qui empêche le mouvement des particules et aide le compactage. Ces résultat est confirmé par **Guendouz et al. Et Bamigboye et al**.

1.2. 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 coquillage, verre, granite et céramique.

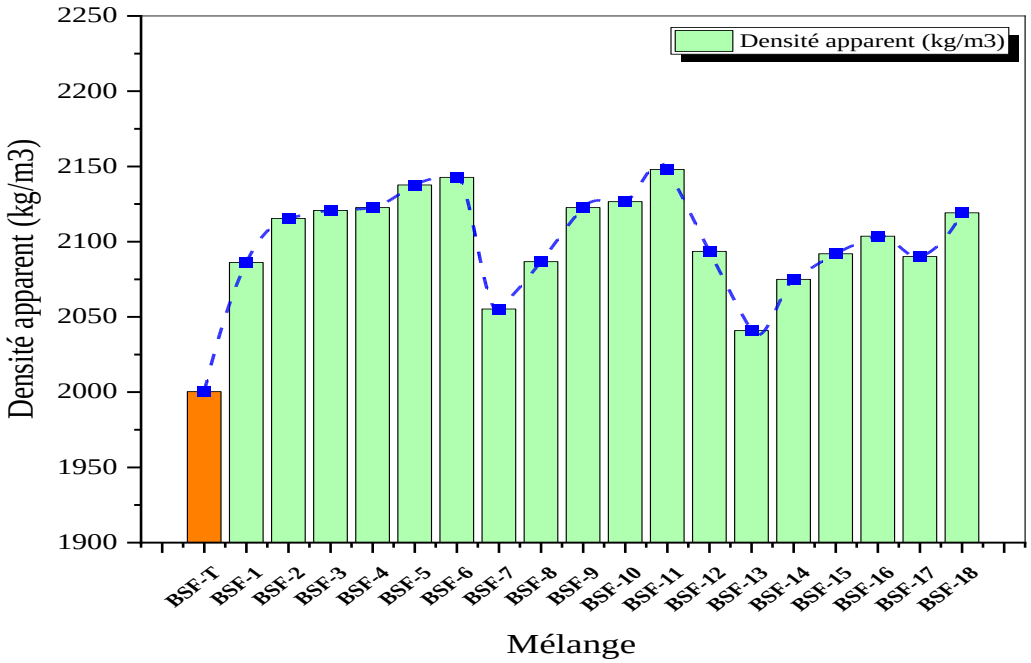


Figure III.2 : Densité de BSF à base de déchets solides.

Les résultats obtenu clairement qui la densité de béton de sable fluide est varié en fonction de la densité de diffèrent type de déchets incorpores dans béton de sable fluide on remarque que tout les BSF ont présenté une densité plus importante par rapport à la densité de BSF-T et nous avons trouvé la valeur la plus élevée dans le (BSF-11) par ce que le pourcentage de déchet de coquillage, granite et céramique est augmente donc l'absorption d'au est augmente ce qui rend les particules plus lourds est la densité augmente . Cette résultat est confirme par **Cuadrado-Rica et al.**

2. État durci

2.1 Résistances mécaniques

Pour les différentes familles du BSF, les mesures ont été réalisées sur trois éprouvettes cubiques de dimensions 40x40x40 mm pour la résistance à la compression, la moyenne des trois valeurs est retenue. Les résultats de l'essai de résistance effectué sur les différents famille de BSF à base de déchet de coquillage, granite, verre et de céramique à l'âge de 7 et 28 jours de durcissement sont présentés dans cette partie.

a. Résistance à la compression

Pour mieux saisir le sens de l'évolution relative de la résistance à la compression des différentes familles de BSF avec l'âge de 7et 28 jours et fonction du taux de substitution de déchet de coquillage, granite, verre et de céramique, et permettre la comparaison avec les BSF-T, les résultats sont présentés dans les figures III. 3, III.4 et III.5:

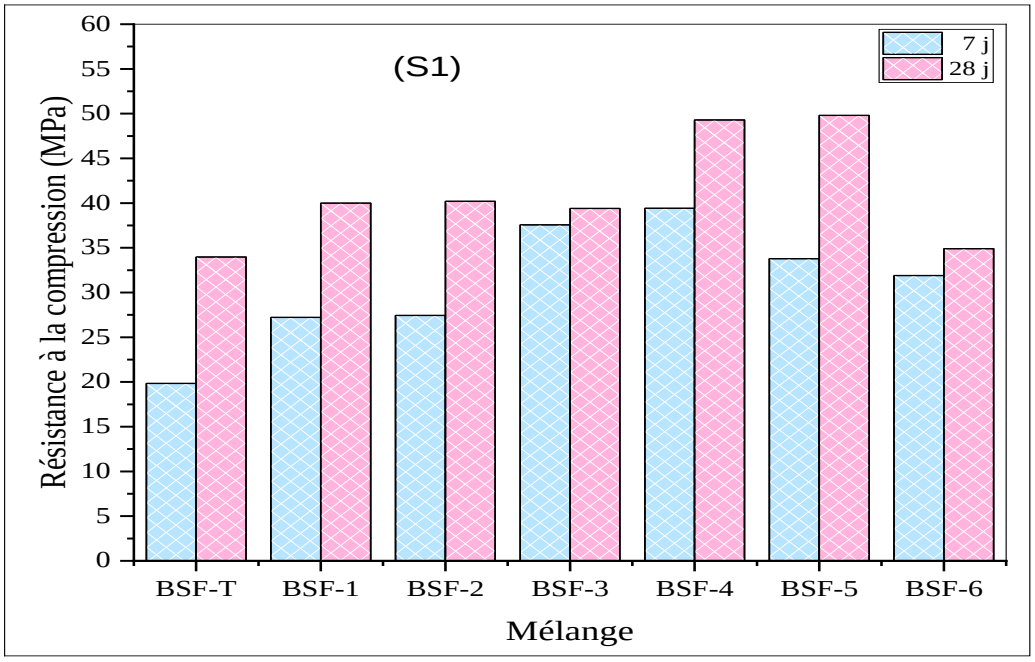


Figure III.3 La résistance à la compression de BSF à base de déchets solides (S1)

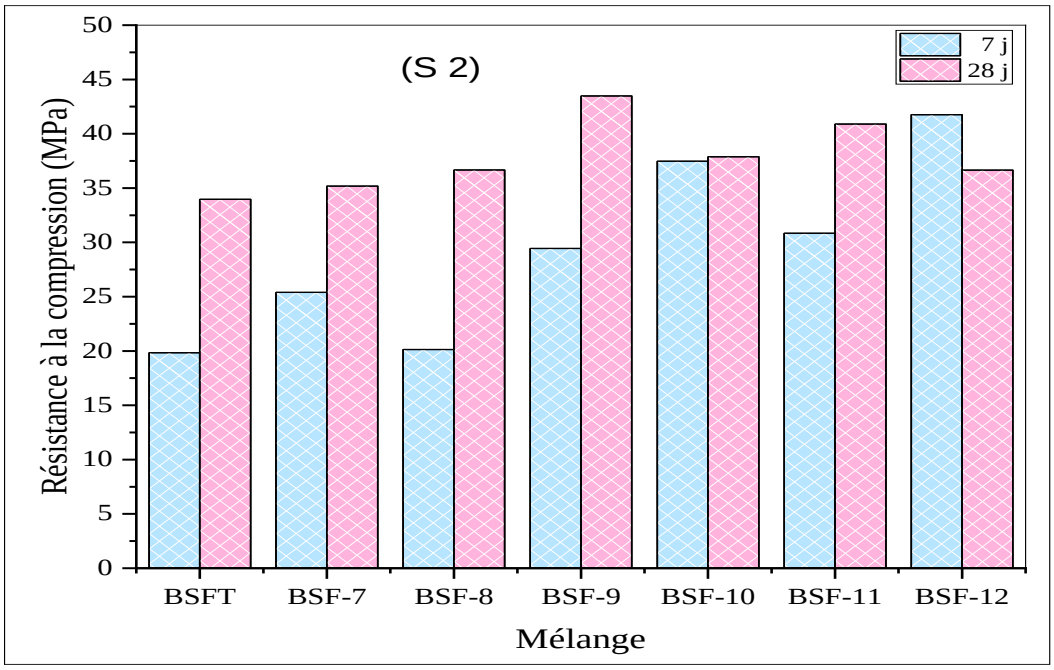


Figure III.4 La résistance à la compression de BSF à base de déchets solides (S2)

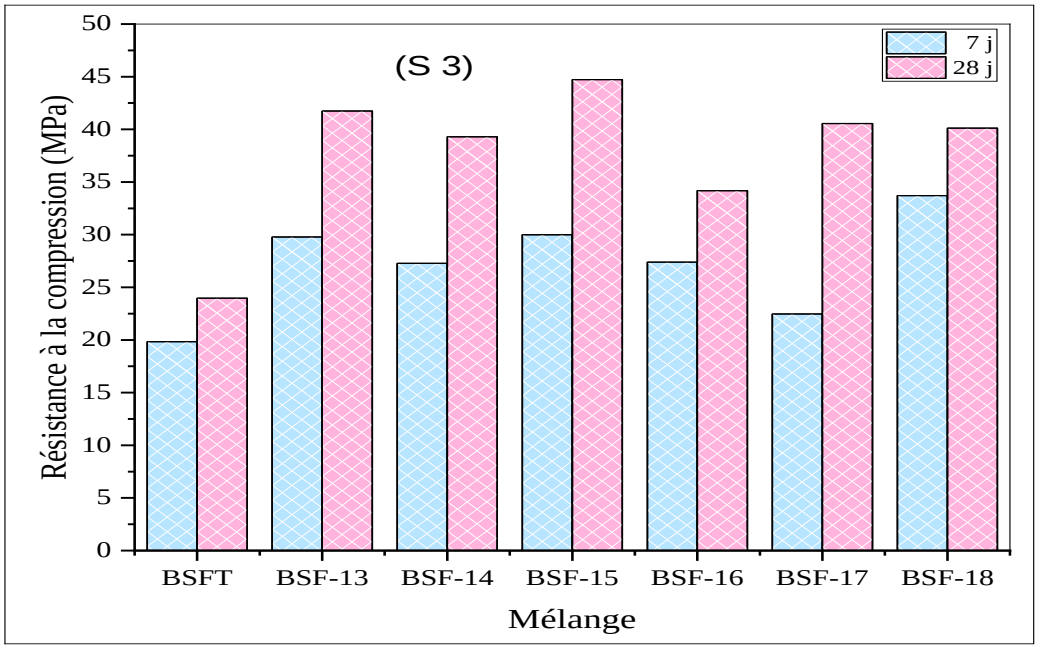


Figure III.5 : La résistance à la compression de BSF à base de déchets solides (S3)

Les résultats alitons qui la résistance à la compression augmenté en fonction d'augmentation de pourcentage de substituions de sable naturel par les déchets solide (coquillage, granite, verre et céramique).

Dans la première série (S1) **Figure III.3,** nous avons obtenue la valeur la plus élevée à 7 jours est BSF4 et à 28 jours est le BSF-5 et cela est dû au pourcentage élevé de granite et de céramique, qui se caractérisent par leur dureté. Pour la deuxième série (S2) **Figure III.4** on a obtenue le BSF-12 est la plus élevée et dans 28 jours c'est le BSF-10**,** dans la dernière série (S3) **Figure III.5**, nous avons obtenue que le BSF-18 la plus augmente par rapport le BSFT et le BSF15 à 28 jours.

.2.2. Densité à l'état durci

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 coquillage, verre, granite et céramique.

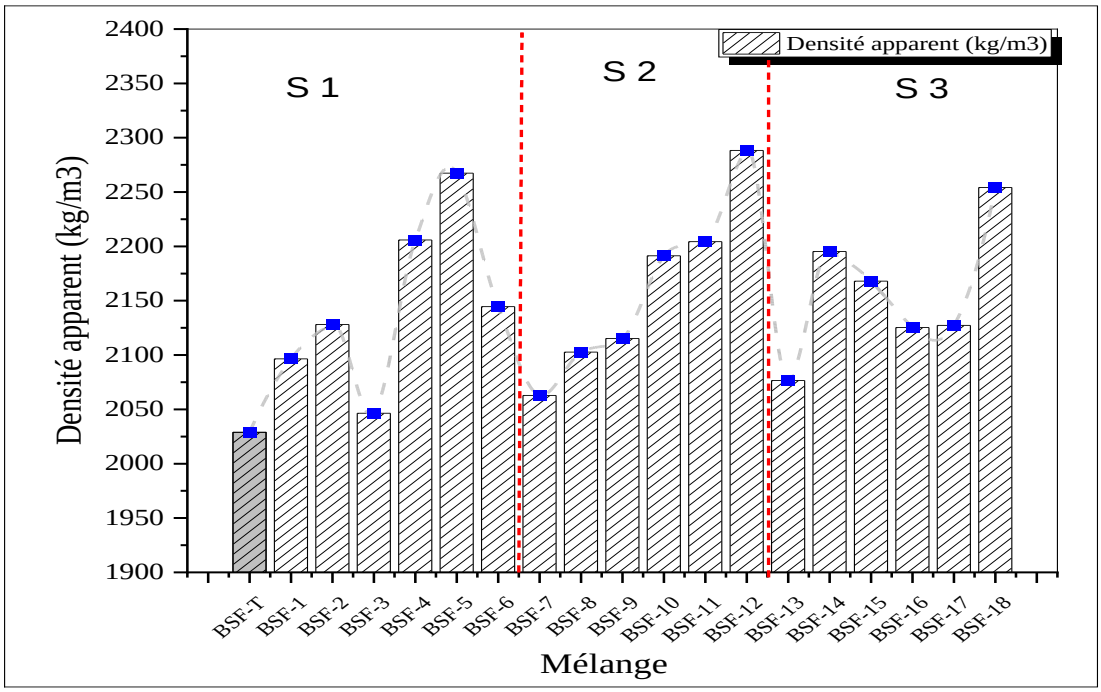


Fig.III.6 : densité à l'état durci

A travers les résultats présentés dans la figure ci-dessus, on remarque que la densité augmente avec l'augmentation du pourcentage de déchets de coquillage, granite , verre et céramique ,par rapport le BSF-T , nous obtenons la valeur la plus élevée dans le BSF-12 , le BSF-5 et le BSF-18, nous expliquons cette augmentation de la proportion de déchets solides ajoutés , sa masse volumique élevée par rapport au sable naturel , et sa forme anguleuse , qui rendait le béton plus compact.

2.3 La conductivité thermique

La conductivité thermique est la quantité de chaleur transférée en une unité de temps au travers d'un matériau d'une unité de surface et d'une unité d'épaisseur, quand les deux faces

opposées diffèrent d'une unité de température. La conduction thermique est le mode de transfert de chaleur correspondant. Les valeurs moyennes de la conductivité thermique obtenue sont représentées dans les figures de ci-dessous.

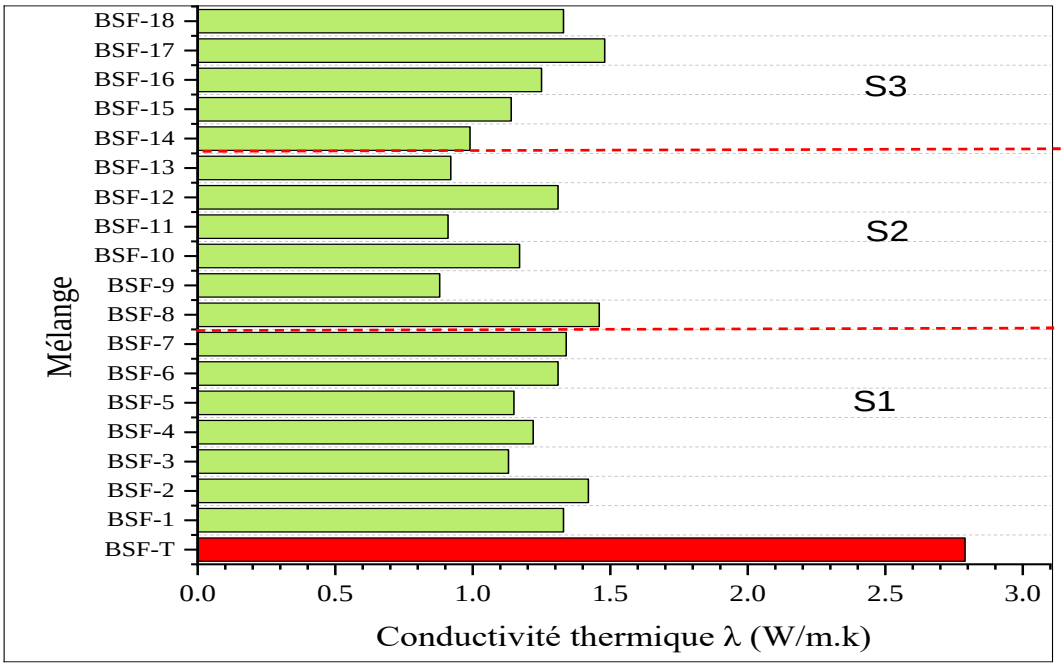


Fig.III.7 Conductivité thermique des Bétons de sable à base des déchets solides

A travers les résultats obtenus dans la figure **Fig.III.7**, on remarque que la conductivité thermique de béton de sable fluide à base de substitution de déchet de coquillage, granite, verre et de céramique BSF a diminué par rapport le BSF-T , ce qui indique que le BSF moins poreux que le BSF-T et cela est dû à la forme angulaire des granulats (sable de coquillage , granite , verre et céramique) qui aide au compactage.

2.4 Vitesse ultrasonique

Les résultats de la vitesse ultrasonique des différents bétons de sable fluide sont illustrés dans les figures III.8 suivantes :

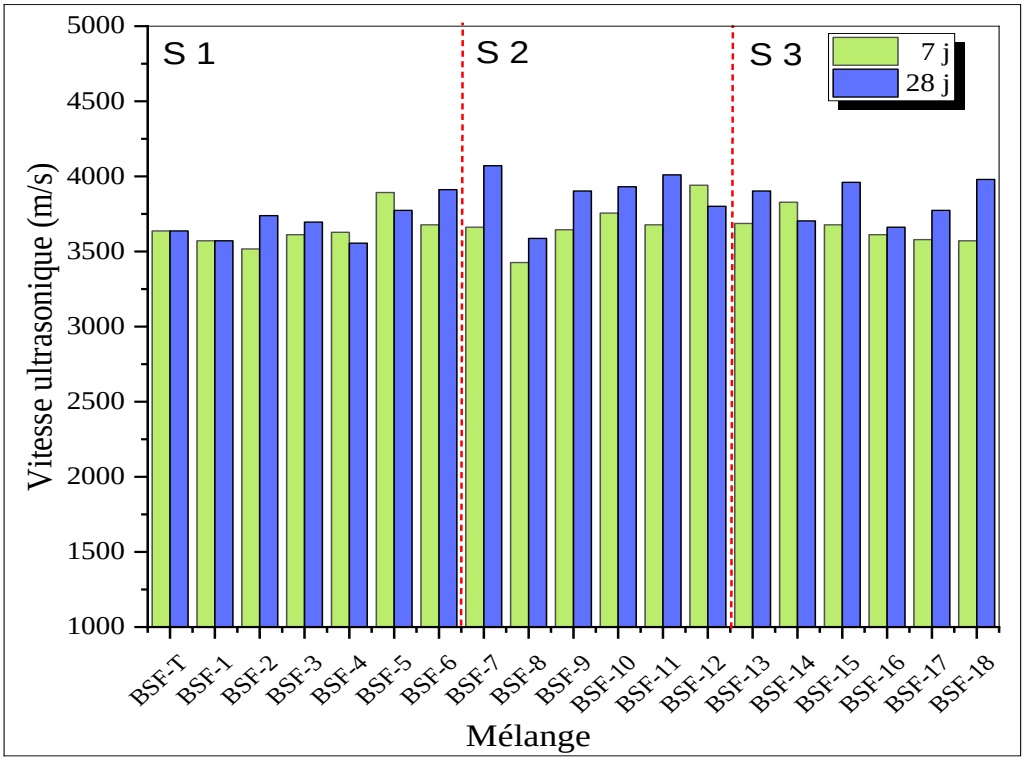


Figure III.8 : essai de vitesse ultrasonique.

A travers les résultats obtenus dans **la figure III.8,** on remarque que la vitesse ultrasonique dans les BSF était d'intensité variable par rapport le BSF-T ,les BSF-5 et BSF-12 atteignant la valeur la plus élevée et la valeur la plus basse étant dans le BSF8 (dans 7 jours).

Le BSF-7 atteignant la valeur la plus élevée et la valeur la plus basse étant dans le BSF-1 et BSF-4 (dans 28 jours). Nous expliquons et écart de valeurs par la substituions de sable naturel par les déchets solide (coquillage, granite, verre et céramique), cela indique de moins de volume des vides et augmentation de la compacité du matériau grâce à la forme angulaire des granulats.

3. Durabilité

3.1. Absorption d'eau

Les résultats d'absorption d'eau par capillarité des différents bétons de sable fluide sont illustrés dans les figures III.9 suivantes :

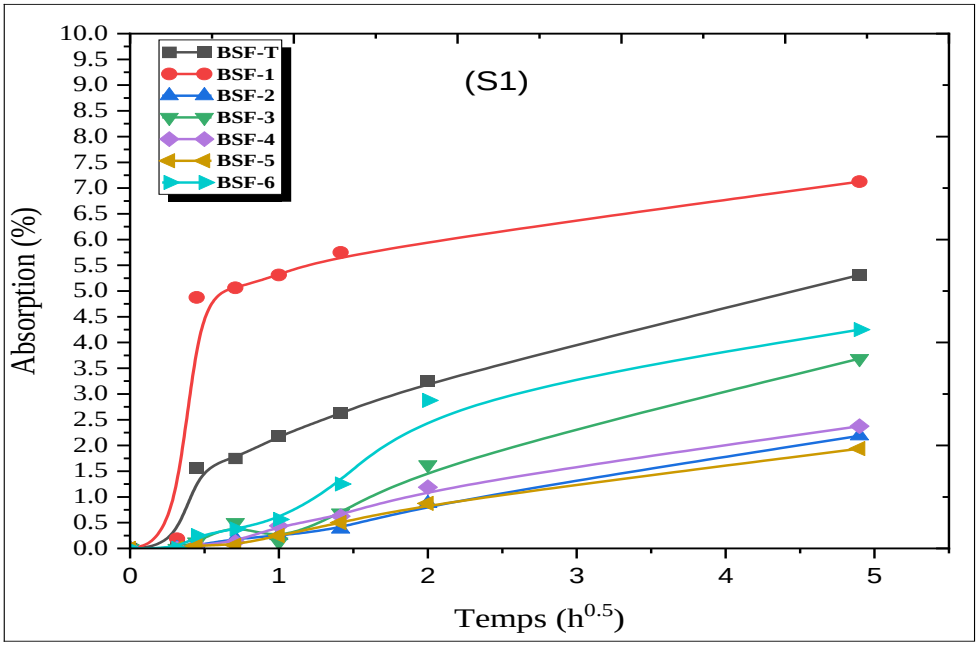


Figure III.9 : Absorption d'eau des BSF à base de déchets solides (S1).

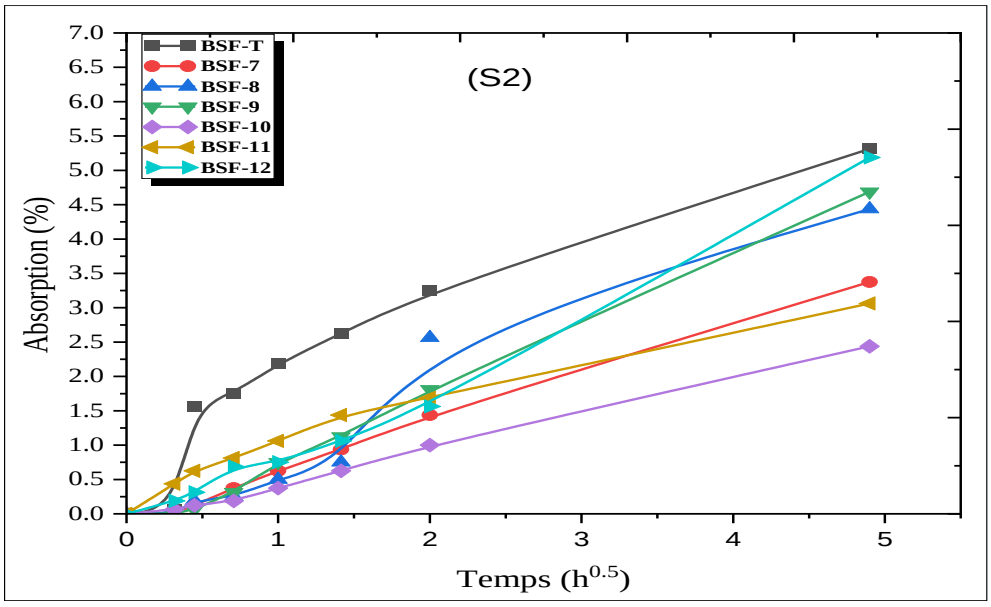


Figure III.10 : Absorption d'eau des BSF à base de déchets solides(S2).

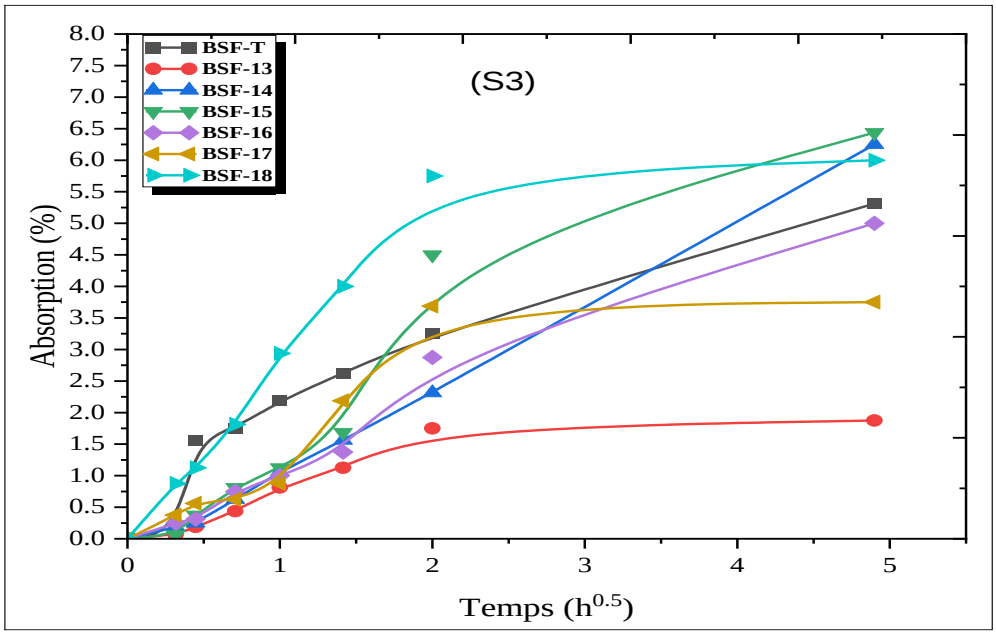


Figure III.11 : Absorption d'eau des BSF à base de déchets solides (S3)

A partir des résultats précédents on constate en premier lieu que l'absorption initiale detous les bétons de sable fluide à base de déchet de déchet de coquillage, granite, verre et de céramique est nettement moins importante. En second lieu, il est nettement visible que l'absorption d'eau finale de tous les bétons est diminué en fonction et devienne moins importante que celle du béton de sable témoin. Cette diminution est liée par l'introduction de déchets solides dans le béton, qui se traduit par une diminution plus ou moins prononcée du volume de vides, associée à une augmentation de la compacité du matériau.

Comparaison :

(S1) **Figure III.9** on constate une diminution du taux d'absorption dans tous les BSF par rapport le BSF-T sauf le BSF-1 qui avait une valeur plus élevée que ce dernier.

(S2) **Figure III.10** on constate une diminution du taux d'absorption dans tous les BSF par rapport le BSF-T **,** cela indique de moins de volume des vides et augmentation de la compacité du matériau.

(S3) **Figure III.11** on constate une diminution du taux d'absorption dans tous les BSF par rapport le BSF-T sauf le BSF-15 et BSF-18.

3.2 La porosité accessible à l'eau

Les résultats de la porosité accessible à l'eau des différents bétons de sable fluide sont illustrés dans la figure III.12 suivantes :

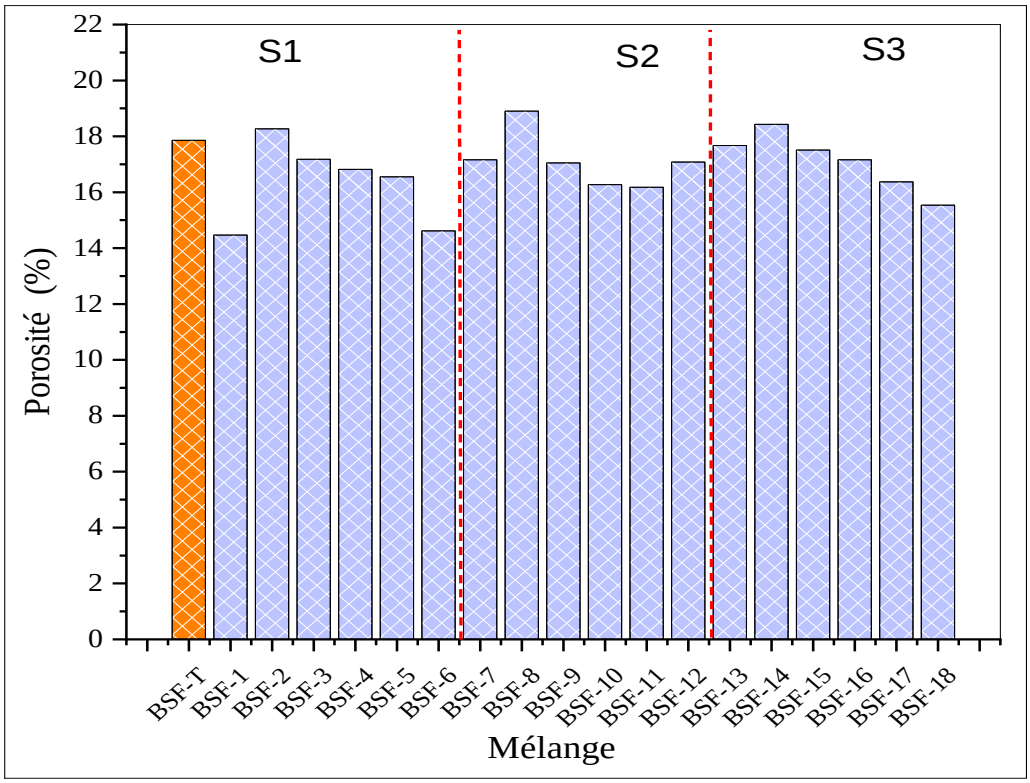


Figure III.12: Essai de la porosité accessible à l'eau.

A travers les résultats présentés dans la figure précédente, nous remarquons que la valeur de la porosité accessible à l'eaude tous les BFF est diminué par rapport le BSFT, et cela est dù à l'ajout des déchets de coquillage, granite, verre et de céramique, qui a conduit au compactage du béton et augmentation de la compacité du matériau et moins des vides grâce à la forme angulaire.

III.3 Conclusion

Sur la base des résultats obtenus on conclut que :

- ✓ L'étalement de BSF est diminué en fonction d'augmentation de déchets de solides (granite, verre, céramique) et déchet biosoursé (coquillage).
- ✓ Quelque soit l'âge des bétons, la résistance à la compression est nettement améliorés en fonction d'augmentation de pourcentage de substitution du sable par les déchets de coquillage, granite, verre et céramique.
- ✓ La densité de BSF est augmenté en fonction d'augmentation de pourcentage de substitution du sable par les déchets de coquillage, granite, verre et céramique.
- ✓ La conductivité thermique des Bétons de sable à base des déchets solides et déchet de coquillage est diminuée en en fonction d'augmentation de déchets de solides (granite, verre, céramique) et déchet biosoursé (coquillage).
- ✓ La vitesse ultrasonique de BSF est diminué en fonction d'augmentation de déchets de solides (granite, verre, céramique) et déchet biosource (coquillage).
- ✓ L'absorption capillaire de BSF est diminuée en fonction d'augmentation de pourcentage de substitution du sable par les déchets de coquillage, granite, verre et céramique.

CONCLUSIONS

GENERALES ET

RECOMMANDATIONS

Conclusions générales

L'objective essentiel de ce travail et voir l'influence combiné de déchets solides de coquillage, granite , verre et de céramique sur les caractéristiques de béton de sable fluide a l'état frais et durci. Les résultats de cette étude ont donné les conclusions suivantes :

- La fluidité de béton de sable fluide est diminuée en fonction de la substitution combinaison de déchets de coquillage, granite, verre et de céramique.
- La densité de béton de sable fluide est variée selon la densité de déchets solides.
- La résistance à la compression de béton de sable fluide est améliorée d'une façonne remarquer la fonction de couplage de déchets solides.
- L'absorption capillaire de béton de sable fluide est diminuée en fonction de diminution de pourcentage de déchet solides.

Finalement, sur la base des résultats obtenus au recommandé l'utilisation de ces matériaux dans le domaine de la construction (poteau, poutre et les éléments structuraux...).

REFERENCES

[1] *Debieb F. Performances et durabilité du béton à base de granulats recyclés contaminés par les chlorures et sulfates. Thèse PhD, Départements génie civil, Université Houari Boumediene Algies ;2007*

[2] *https://expertises.ademe.fr2023/professionnels/entreprises/reduire*

[3] *PIMIENTA. P & REMOND. ‘‘Bétons de déchets : prévenir les risques’’, CSTB magazine, n° 109, novembre 1997, pp. 28-30impacts/reduire-cout-dechets/quest-quun-dechet*

[4] *PIMIENTA. P & REMOND. ‘‘Bétons de déchets : prévenir les risques’’, CSTB magazine, n° 109, novembre 1997, pp. 28-30*

[5] *https://www.economiedenergie.fr/agir-environnement/reduire-ses-dechets/types-de-dechets*

[6] *https://www.techno-science.net/definition/3551.html.*

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

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

[9] *https://fr.vikidia.org/wiki/Coquillage*

[10] *https://journals.openedition.org/tc/6685*

[11]*https://www.ovive-sa.fr/traitement-desdechets/professionnels/?fbclid=IwAR3lvvRwpTOc7R_lytfUxj5h7wtbFO6IXjHZ3CYBcnXm31z6DIwA1jvy78*

[12] *https://www.techno-science.net/glossaire-definition/Granite.html*

[13] *https://rj-renovation.fr/blog/quels-sont-les-differents-types-de-granit*

[14] *https://rj-renovation.fr/blog/quels-sont-les-differents-types-de-granit*

[15] *https://www.cosentino.com/fr-fr/blog/proprietes-et-types-de-granit-un-materiau-qui-prend-d-assaut-les-foyers/*

[16] *https://www.noblema.com/granit/quest-ce-que-le-granit/*

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

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

[19]

spui/bitstream/123456789/8937/1/SYNTHESE%20ET%20CARACTERISATION%20DES%20VERRES%20A%20BASE%20D’OXYDE%20D’ANTIMOINE.pdf

[20] *https://glass.promic.fr/domaines-application-verre-optique-industriel/*

[21] *https://deco.journaldesfemmes.fr/guide-amenagement-et-travaux/2609713-la-ceramique-histoire-definition-et-technique-d-un-art-oublie/*

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

[23]*https://www.google.com/search?q=Les+Fa%C3%AFencesMat%C3%A9riauxalbigeois Elodie&client=firefox-b*

[24] *https://www.google.com/search?q=brique+creux+et+autre+brique+plein&tbm=is c*

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

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

[27] *https://www.google.com/search?q=Fabrication+de+la+c%C3%A9ramique+rouge*

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

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

[30] *https://www.ovive-sa.fr/traitement-desdechets/professionnels/?fbclid=IwAR3lvvRwpTOc7R_lytfUxj5h7wtbFO6IXjHZ3CYBcnXm31z6DIwA1jvy*

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

[32] *http://thesis.univ-biskra.dz/2429/4/Chapitre%2002.pdf [15] https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fjournals.openedition.org%2Fabe%2F704&psig=AOvVaw0i9Iq82w5kWFYLs8f6_ViL&ust=1590589901719000&source=images cd=vfe&ved=2ahUKEwj61--h39HpAhXJwYUKHb1zCv0Qr4kDegUIARDFAQ*

[33] *AFNOR, "Bétons- Bétons de sable"; Projet P 18-500*

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

[35] *https://www.google.com/search?source=hp&ei=O4vRXq-UOc8aauDiaAH&q=Techniques+particuli%C3%A8res+de+beton+de+sable&oq=Techniques+par ticuli%C3%A8res+de+beton+de+sable&gs_lcp=CgZwc3ktYWIQAzIFCCEQoAE6BggAEBYQHjoICCEQFhAdEB46BwghEAoQoAE6BAghEBVQ2xVYsXlg9n1oAnAAeACAAdwJiAHpSJIBDTItNS44LjEuMi4yLjKYAQCgAQKgAQGqAQdnd3Mtd2l6&sclient=psya*

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

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

[38] *http://biblio.univ-antananarivo.mg/pdfs/rakotoniainav_espa_m2_07.pdf*

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

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

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

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

[39] : 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.

[40] : 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.

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

[42] *NF EN 12350-8 a présente norme européenne spécifie Essai pour béton frais - Partie 8 : béton autoplaçant Essai d'étalement au cône d'Abrams*

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

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

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

[46] *NF P 15-404, Normes AFNOR : « Essais pour béton durci - Partie 1 : forme, dimensions et autres exigences relatives aux éprouvettes et aux moules »1989.*

[47] *ISO 8497, 1994 Isolation thermique : Détermination des propriétés relatives au transfert chaleur en régime stationnaire dans les isolants thermiques pour conduites*

[48] *NF EN 993-15 .Méthodes d'essai pour produits réfractaires façonnés denses - Partie 15 : détermination de la conductivité thermique par la méthode du fil chaud (parallèle) Octobre2005.*

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

[51] *NF P18-459 Béton - Essai pour béton durci - Essai de porosité et de masse volumique février 2010*

Référence des photos

[1] *Debieb F. Performances et durabilité du béton à base de granulats recyclés contaminés par les chlorures et sulfates. Thèse PhD, Departement génie civil, Université Houari Boumediene Algies ;2007.*

[2] *Debieb F. Performances et durabilité du béton à base de granulats recyclés contaminés par les chlorures et sulfates. Thèse PhD, Departement génie civil, Université Houari Boumediene Algies ;2007.*

[3] *https://static.leteich-ecotourisme.fr/uploads/2020/02/image-2-1.jpg*

[4] *https://www.cc-serreponconvaldavance.com/fileadmin/user_upload/B._ENVIRONNEMENT/Dechets_specifiques/dechet-chantier-gravats.jpg*

[5] *https://images.laprovence.com/media/hermes/2022-07/2022-07-08/20220708_1_3_2_1_0_obj26477137_1.jpg?twic=v1/crop=1800x992@0x137/cover=1140x641*

[6] *https://www.actu-environnement.com/images/illustrations/news/39103_medium.jpg*

[7] *https://www.euractiv.fr/wp-content/uploads/sites/3/2016/12/d%C3%A9charge.jpg*

[8] *https://www.sytraival.com/_image/cycle-recyclage-verre-x2.png*

[9] *https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/8f/Selection_of_seashells.jpg*

[10] *https://www.researchgate.net/publication/260155446/figure/fig1/AS:669572973752325@1536650045300/Les-gasteropodes-du-Labyrinthe.jpg*

[11] *https://www.researchgate.net/publication/260155446/figure/fig2/AS:669572973744132@1536650045321/Les-bivalves-du-Labyrinthe.jpg*

[12]*https://cdn.futura-sciences.com/cdn-cgi/image/width=1024,quality=60,format=auto/sources/images/dossier/662/06-662.jpg*

[13] *https://i.ytimg.com/vi/Cg1rGElGyhA/sddefault.jpg*

[14] *https://viagallica.com/auvergne/img/granite_007.jpg*

[15] *https://eco3e.eu/assets/uploads/2011/09/15-composition1.png*

[16] *https://qc-ca.infodoorsandwindows.com/wp-content/uploads/formidable/11/11.jpg*

[17] *https://www.moinat.ch/90016-tm_large_default/suspension-en-verre-moule-saumon-fleurs.jpg*

[18] *https://img.archiexpo.fr/images_ae/photo-mg/62271-5798117.jpg*

[19] *https://igpglass.ca/storage/2020/03/broken-tempered-glass.jpg*

[20] *https://blog.mistermenuiserie.com/wp-content/uploads/2017/05/verre-feuillete.jpg*

[21] *https://www.miroiterie.fr/wp-content/uploads/2020/03/cloison-en-verre-feuillete-anti-reflet-1024x853.jpg*

[22] *https://verreindustrie.fr/wp-content/uploads/2019/07/VI176web.jpg*

[23] *https://glass.promic.fr/domaines-application-verre-optique-industriel/*

[24] *https://img.lapresse.ca/924x615/201603/07/1152310-longues-fissures-refletent-manque-rigidite.jpg*

[25] *https://guiderenovation.fr/wp-content/uploads/2019/08/Toiture-en-tuiles.jpg*

[26] *https://www.atous-carreaux.com/upload-articles/img-20180615-135030.jpg*

[27] *https://www.toutsurlebeton.fr/wp-content/uploads/2020/06/diff%C3%A9rents-types-de-briques-300x114.jpg*

[28] *https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcRT7kU1atAqNydMXrU_J9QKUqWatZIA71fVDl3QQW_CN1z5P_7pOGvh4lieXBsZEwnnxQY&usqp=CAU*

[29] *https://i0.wp.com/www.proantic.com/magazine/wp-content/uploads/2018/03/gbf.jpg?fit=1200%2C900&ssl=1*

[30]*https://medias.maisonsdumonde.com/images/f_auto,q_auto,w_732/v1/mkp/M22175484_2/vase-amphore-en-terre-cuite.jpg*

[31]*https://slideplayer.fr/slide/13395702/80/images/19/Proc%C3%A9d%C3%A9s+de+fabrication.jpg*

[32] *https://www.linseis.com/wp-content/uploads/2019/05/Linseis-application-Thermal-Conductivity-Measurement-of-copper-fiber.png*

[33]*https://www.researchgate.net/publication/277986027/figure/fig2/AS:669398029332492@1536608335945/Structure-de-bandes-dun-metal-dun-semi-conducteur-et-dun-isolant-a-T-0-K-Dans-les.ppm*

[34] *https://journals.openedition.org/abe/docannexe/image/704/img-7-small580.jpg*

[35] *https://www.infociments.fr/sites/default/files/styles/image_contenu_article/public/images-contenu-articles/projection-manuelle.jpg?itok=a3-dX6Ep*

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

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

[38] *Bédérina M., Khenfer M. M., Dheilly R. M. and Quéneudec M. "Reuse of local sand: effect of limestone filler proportion on the rheological and mechanical properties of different sand concretes", Cement and Concrete Research, 35 (2005): 1172-1179.*

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

[36] *https://www.ovive-sa.fr/traitement-desdechets/professionnels/?fbclid=IwAR3lvvRwpTOc7R_lytfUxj5h7wtbFO6IXjHZ3CYBcnXm31z6DIwA1jv*

[37] *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.*

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

[39] *http://www.univ-setif.dz/facultes/ft/externe/departements/gc/Chapitre-II-Produits-ceramiques.pdf*

[40] *https://www.google.com/search?q=Fabr*

Annexes

Annexe A Fiche technique du ciment MATINE



ALGÉRIE

متين
Matine

LAFARGE
Construire
des villes meilleures



Ciment portland au Calcaire

NA442 CEM II/B-L 42,5 N

Matine Ciment gris pour bétons de haute-performance destiné à la construction des Ouvrages d'Art, infrastructure et superstructure pour bâtiments

Matine
NA442 CEM II/B-L 42,5 N

Matine est certifié, conforme à la norme Algérienne (NA442 – 2013) et Européenne (EN 197-1)

AVANTAGES PRODUIT

- Une résistance initiale élevée pour vos ouvrages nécessitants un décoffrage rapide
- Favorise la maniabilité du béton et le maintien de sa rhéologie
- Une Classe Vraie qui offre une haute performance au béton.
- Meilleure durabilité du béton.

A member of LafargeHolcim

CONSIGNES DE SÉCURITÉ

1- **PROTÉGEZ VOTRE PEAU :** Portez les équipements adaptés dans vos chantiers: casques, lunettes, gants, genouillères, chaussures et vêtements de sécurité.

2- **MANUTENTION :** levez le sac en pliant les genoux et en gardant le dos droit.



A member of LafargeHolcim

LAFARGE ALGÉRIE
Centre commercial Bab Ezzouar, Tour n°02,
Etages 05 & 06, Bab Ezzouar Alger, Algérie
Tél: + 213 (0) 21 98 54 54
Fax: + 213 (0) 23 92 42 94
www.lafargealgerie.com
dz.satisfaction-clients@lafargeholcim.com
Tél: 021 55 55 98
Conditionnement : sac et vrac

CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES

• Analyses chimiques	Valeur
Perte au feu (%) (NA5042)	10.0±2
Teneur en sulfates (SO3) (%)	2.5±0.5
Teneur en oxyde de magnésium MgO (%)	1.7±0.5
Teneur en Chlorures(NA5042) (%)	0.02-0.05

• Temps de prise à 20° (NA 230)	Valeur
Début de prise (min)	150±30
Fin de prise (min)	230±50

• Composition minéralogique du Clinker (Bogue)	Valeur
C3S (%)	60±3
C3A (%)	7.5±1

• Résistance à la compression	Valeur
2 jours (MPa)	≥ 10.0
28 jours (MPa)	≥ 42.5

• Propriétés physiques	Valeur
Consistance Normale (%)	26.5±2.0
Finesse suivant la méthode de Blaine (cm²/g) (NA231)	3 700 - 5 200
Retrait à 28 jours (µm/m)	< 1 000
Expansion (mm)	≤ 3.0

APPLICATIONS RECOMMANDÉES

- Construction des Ouvrages d'Art, infrastructure et superstructure pour bâtiments
- Préfabrication légère
- Béton de haute performance



FORMULATION CONSEILLÉE

	Ciment 50kg	Sable (sec) 0/5	Gravillons (sec) 8/15mm 15/25mm		Eau (litres)
Dosage pour béton C25/30	X 1 (50kg) +	X7 +	X5 +	X4 +	25 L

Remaque: un bidon = 10 Litres

Annexe B Fiche technique du super-plastifiant (tempo 10)

BUILDING TRUST

NOTICE PRODUIT

Sika® ViscoCrete® TEMPO-10

Superplastifiant/Haut réducteur d'eau de nouvelle génération polyvalent

INFORMATIONS SUR LE PRODUIT

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

DOMAINES D'APPLICATION

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

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

CARACTÉRISTIQUES / AVANTAGES

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

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

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

AGRÉMENTS / NORMES

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

DESCRIPTION DU PRODUIT

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

Notice produit
Sika® ViscoCrete® TEMPO-10
Novembre 2021, Version 01.03
021301011000000108

Valeur pH	4.0 ± 1.0
Teneur Totale en Ions Chlorure	≤ 0.1 %
Équivalent Oxyde de Sodium	≤ 1 %

RENSEIGNEMENTS SUR L'APPLICATION

Dosage	Plage d'utilisation recommandée : 0,2 à 3% du poids de liant selon les performances recherchées. Dosage usuel : 0,4% à 1,5% du poids de liant.
Distribution	Sika® ViscoCrete® TEMPO-10 est ajouté, soit, en même temps que l'eau de gâchage, soit en différé dans le béton préalablement mouillé avec une fraction de l'eau de gâchage.

VALEURS DE BASE

Toutes les valeurs indiquées dans cette Notice Produit sont basées sur des essais effectués en laboratoire. Les valeurs effectives mesurées peuvent varier du fait de circonstances indépendantes de notre contrôle.

ÉCOLOGIE, SANTÉ ET SÉCURITÉ

Pour obtenir des informations et des conseils sur la manipulation, le stockage et l'élimination en toute sécurité des produits chimiques, les utilisateurs doivent consulter la fiche de données de sécurité (FDS) la plus récente contenant les données physiques, écologiques, toxicologiques et autres données relatives à la sécurité.

RESTRICTIONS LOCALES

Veuillez noter que du fait de réglementations locales spécifiques, les données déclarées pour ce produit peuvent varier d'un pays à l'autre. Veuillez consulter la Notice Produit locale pour les données exactes sur le produit.

INFORMATIONS LÉGALES

Les informations, et en particulier les recommandations concernant les modalités d'application et d'utilisation finale des produits Sika sont fournies en toute bonne foi et se fondent sur la connaissance et l'expérience que Sika a acquises à ce jour de ses produits lorsqu'ils ont été convenablement stockés, manipulés et appliqués dans des conditions normales, conformément aux recommandations de Sika. En pratique, les différences entre matériaux, substrats et conditions spécifiques sur site sont telles que ces informations ou recommandations écrites, ou autre conseil donné, n'impliquent aucune garantie de qualité marchande autre que la garantie légale contre les vices cachés, ni aucune garantie de conformité à un usage particulier, ni aucune responsabilité découlant de quelque relation juridique que ce soit. L'utilisateur du produit doit vérifier par un essai sur site l'adaptation du produit à l'application et à l'objectif envisagés. Sika se réserve le droit de modifier les propriétés de ses produits. Notre responsabilité ne saurait d'aucune manière être engagée dans l'hypothèse d'une application non conforme à nos renseignements. Les droits de propriété détenus par des tiers doivent impérativement être respectés. Toutes les commandes sont soumises à nos conditions générales de vente et de livraison en vigueur. Les utilisateurs doivent impérativement consulter la version la plus récente de la Notice Produit correspondant au produit concerné, accessible sur internet ou qui leur sera remise sur demande.

Web Office

Sika El Djazair SPA
08 route de Larbaa
16111 Les Eucalyptus
ALGERIE
Tél.: 0 21 50 16 92 à 95
Fax: 0 21 50 22 08
dza.sika.com