

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

BADJI MOKHTAR-ANNABA UNIVERSITY
UNIVERSITE BADJI MOKHTAR-ANNABA



جامعة باجي مختار - عنابة

FACULTE DES SCIENCES DE L'INGENIORAT
DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL

Année 2019

MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de MASTER

Thème :

Effet De La Nature Des Fillers Recycles Sur Les Propriétés Physico-mécaniques Des Béton De Sable

Domaine : Sciences et Technique

Spécialité :

GENIE CIVIL

OPTION

MATERIAUX EN GENIE CIVIL

Par

Hamadi Sonia

Chouf Warda

Ahmed Malek Aicha

DEVANT LE JURY

PRESIDENT : ACHOURA DJAMEL

PR

Université Badji Mokhtar – Annaba

EXAMINATEURS : ARABI NOUR EDDINE

PR

Université Badji Mokhtar - Annaba

DIRECTEUR DU MEMOIRE : MELAIS F. Z MC/B

Université Badji Mokhtar – Annaba

Remerciements

Je remercie tous d'abord ALLAH tout-puissant de nous avoir donné le courage, la force et la patience d'achever ce modeste travail.

*Merci à **Dr Melais Fatma Zohra**, à L'Université Badji Mokhtar-Annaba, d'avoir accepté de me guider et me soutenir tout au long de la réalisation de ce mémoire. Votre disponibilité, vos conseils toujours pertinents et votre soutien m'ont été précieux.*

*Je remercie également les membres du jury : **Pr. Djamel Achoura** président de jury ; **Pr. Arabi Noureddine** examinateur du présent travail. Vous nous faites l'honneur de donner de votre temps afin de juger ce modeste travail. Veuillez recevoir l'expression de nos sincères remerciements et de notre profond respect.*

*Mes vifs remerciements vont également au **Pr Slimani Fayçal**, chef de département de Génie Civil ainsi qu'à l'ensemble de l'équipe pédagogique pour le professionnalisme et le sérieux dont ils ont fait preuve durant notre formation. Merci à toute l'équipe pédagogique de l'université de Annaba. Je tiens à remercier vivement mes amis **Karima, Sihem ,Amira et surtout Sacia** qui m'ont soutenu et encouragé durant mon parcours d'études.*

*Je remercie aussi **tous les fonctionnaires du service laboratoire de l'université** pour le soutien et l'attention dont ils ont fait preuve à mon égard tout au long du déroulement de mes essais. Merci également à tous **mes parents, ma famille, ma petite famille et mes amis** pour leur soutien affectif et moral et pour avoir supporté l'éternelle étudiante tout au long de ces années...*

*Merci à **toutes les personnes** qui ont participé de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.*

Résumé

Le recyclage des déchets est devenu aujourd'hui la bonne solution qui peut offrir de nouvelles ressources renouvelables qui contribuent dans le processus de la construction dans le domaine du génie civil et ainsi pour protéger l'environnement.

Les déchets de briques rouges et les déchets de verres constituent une alternative intéressant dans ce cas vu que ces déchets sont disponibles et sont abandonnés au niveau de chantiers.

Ce travail présente une évaluation de l'effet de la nature et le taux de substitution des fillers recyclés sur les propriétés physico-mécaniques des bétons de sable ainsi que sur Les indicateurs principaux de la durabilité. Six compositions du béton de sable incorporé de deux types de fillers recyclés (filler de brique et de verre) en substitution partielle et totale avec deux pourcentages (50 % et 100%) pour chaque formulation.

Les résultats obtenus montrent que les propriétés rhéologiques des bétons (maniabilité et masse volumique) et les caractéristiques mécaniques (résistance en compression et en traction par flexion) ainsi que les propriétés de transfert (porosité et perméabilité) sont améliorées par l'utilisation des fillers de verre et de brique.

MOTS de sable, Fillers recyclés, Déchets de, Déchets de verre, Caractéristiques physico-mécaniques, Propriétés de transfert.

ملخص

أصبحت إعادة تدوير النفايات الآن هي الحل الصحيح الذي يمكن أن يوفر موارد جديدة قابلة للتجديد تساهم في عملية البناء في مجال الهندسة المدنية وبالتالي لحماية البيئة .
تعتبر نفايات الطوب الأحمر والنفايات الزجاجية بديلاً مثيراً للاهتمام في هذه الحالة حيث تتوفر هذه النفايات وتترك في مواقع البناء .
يقدم هذا العمل تقييماً لتأثير الطبيعة ومعدل إحلال الحشوات المعاد تدويرها على الخواص الفيزيائية الميكانيكية للخرسانة الرملية وكذلك على المؤشرات الرئيسية للاستدامة. ستة تركيبات رمل خرسانية مدمجة من نوعين من مواد الحشو المعاد تدويرها (حشو الطوب والزجاج) كبديل جزئي وكلي مع نسبتي (50 % و 100 %) لكل تركيبة أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن الخواص الريولوجية للخرسانة (المنولة والكثافة) والخصائص الميكانيكية (قوة الشد الانضغاطية والثني) وكذلك خصائص النقل (المسامية والنفاذية) تتحسن من خلال استخدام مواد الحشو. الزجاج والطوب .

الكلمات الرئيسية : رمل خرساني ، حشو معاد تدويره ، طوب نفايات ، نفايات زجاجية ، خصائص فيزيائية ميكانيكية ، خواص نقل.

Abstract

Waste recycling has now become the right solution that can offer new renewable resources that contribute to the construction process in the field of civil engineering and thus to protect the environment.

Red brick waste and glass waste are an interesting alternative in this case as these wastes are available and abandoned at construction sites.

This work presents an evaluation of the effect of the nature and the substitution rate of recycled fillers on the physico-mechanical properties of sand concretes as well as on the main indicators of sustainability. Six sand concrete compositions incorporated from two types of recycled fillers (brick and glass filler) as partial and total substitution with two percentages (50% and 100%) for each formulation.

The results obtained show that the rheological properties of concretes (handling and density) and the mechanical characteristics (compressive and flexural tensile strength) as well as the transfer properties (porosity and permeability) are improved by the use of fillers. glass and brick.

KEY WORDS: Sand concrete, Recycled filler, Brick waste, Glass waste, Physico-mechanical characteristics, Transfer properties

Sommaire

Remerciements.....	
Dédicace.....	
Résumé.....	1
Abstract.....	2
ملخص.....	3
Sommaire.....	4
Liste des tableaux	10
Liste des figures.....	11
Introduction Générale.....	13

CHAPITRE I : ÉTUDE BIBLIOGRAPHIQUE SUR LES BETONS DE SABLE

I.1-Introduction.....	15
I.2- Généralités sur les bétons de sable.....	15
I.2.1-Historique.....	15
I.2.2- Définition.....	16
I.2.3- Constituants du béton de sable.....	16
I.2.3.1-Sable.....	17
▪ Classification des sables selon leurs provenances	17
I.2.3.2-Ciments.....	18
I.2.3.3- Les fines d'ajout (filler)	18
▪ Effets des additions minérales.....	18
A/ Effet fillers ou effet de remplissage.....	18
B/ Effet physique ou de surface.....	18
C/ Effet chimique ou pouzzolanique.....	19

1.2.3.4 Eau de gâchage.....	19
1.2.3.5- Adjuvants.....	19
1.2.3.6-Autres ajouts.....	20
1.2.4- Utilisation des bétons de sable.....	20
1.2.5.Propriétés des bétons de sable.....	21
1.2.5.1- Maniabilité.....	21
1.2.5.2- Résistance mécanique.....	23
❖ <i>Finesse de l'addition</i>	23
❖ <i>Nature de l'addition</i>	24
❖ <i>Dimension maximale</i>	25
1.2.6- Durabilité des bétons de sable	25
1.3- Généralités sur les déchets.....	27
1.3.1-Définition des déchets.....	27
1.3.2-classification des déchets	28
1.3.2.1-Selon l'origine	28
1.3.2.2-Selon leur mode de traitement	28
1.3.2.3-Selon leurs effets sur l'environnement	28
1.3.3- Quelques types des déchets	29
1.3.3.1- Déchets ménagers et assimilés	29
1.3.3.2-Déchets spéciaux	29
1.3.3.2.1Déchets spéciaux dangereux	29
1.3.3.2.2Déchets inertes	30
1.3.3.2.3Déchets industriels banals.....	31
1.4. brique recyclé	32
1.4.1.Définition	32
1.4.2. Valorisation des déchets de brique	33

I.4.3. Propriétés des bétons des déchets de brique.....	33
I.5. Verre recyclé	34
I. 5.1.Définition	34
I.5.2.Propriétés du verre.....	34
A/ Propriétés physiques.....	34
B/ Propriétés chimiques	35
C/ Propriétés thermiques.....	35
I.5.3.Valorisation des déchets de verre dans le domaine de matériaux de construction.....	35
I.6. Conclusion	37

CHAPITRE II : CARACTERISATION DES MATERIAUX

II.1. Introduction	38
II.2. Matériaux utilisés.....	38
II.2.1.Sable.....	38
II.2.2. Ciment.....	38
II.2.3. Fillers ou fines d'ajouts.....	39
II.2.4. Adjuvant.....	40
II.2.5. Eau de gâchage.....	41
II.3. Essais de caractérisation.....	41
II.3.1.Analyse granulométrique.....	41
II.3.2. Module de finesse	41
II.3.3. Mesure de la propreté (l'essai d'équivalent de sable)	41
II.3.4. Masse volumique apparente	42
II.3.5.Masse volumique absolue	42
II.3.6 .Finesse de mouture du ciment et des fillers	42
II.3.7. Délais de prise.....	43
II.3.8. Consistance normale.....	43
II.4.Résultats.....	43
II.5.Conclusion.....	47

**CHAPITRE III : FORMULATION ET PROPRIETES DES BETONS A
L'ETATS FRAIS**

III.1-Introduction	48
III.2-Approche théorique de formulation de SABLOCRETE.....	48
III.2. 1-Etapes de calcul.....	48
III.2.1.1-Estimation du dosage en fines d'un béton de sable.....	48
III.2.1.2- Porosité et dosage en eau dans le béton sable.....	48
III.2.1.3- Estimation du dosage en sable.....	49
III.2.1.4-Estimation de la résistance en compression.....	49
III.3-Composition des bétons de sable.....	50
III.4. Caractérisation du béton à l'état frais.....	50
III.4.1.Maniabilité.....	50
III.4.2. Masse volumique.....	51
III.5. Résultats et interprétation.....	52
III.5.1.Effet de la nature des fillers recyclés sur la maniabilité des bétons de sable.....	52
III.5.2.Effet de la nature des fillers recyclés sur la masse volumique des bétons d'étude.....	54
III.4-Conclusion.....	56

CHAPITRE IV : PROPRIETES DES BETONS A L'ETAT FRAIS

IV.1. Introduction	57
IV.2. Confection des éprouvettes.....	57
IV.2.1. Préparation du béton.....	57
IV.2. 2. Mise en place du béton.....	57
IV.2.3.Conservation des éprouvettes	58
IV.3.Essais mécaniques.....	59
IV.3.1.Essai de compression.....	59
IV.3.2.Essai de traction par flexion.....	59
IV.4.Propriétés de transfert	60
IV.4 .1- Porosité accessible à l'eau.....	60
IV.4.2- Absorption d'eau par capillarité	61
IV.4.3- Absorption d'eau par immersion totale	63
IV.5. Résultats et discussion	64
IV.5.1. Effet de la nature et de taux de substitution en fillers recyclés sur les propriétés mécaniques des bétons.....	64
IV.5.1.1. Résistance en traction par flexion.....	64
IV.5.1.2. Résistance en compression	67
IV.5.2. Effet de la nature et de taux de substitution en fillers recyclés sur les propriétés de transfères des bétons.....	69
IV.5.2.1. Porosité accessible à l'eau.....	69
IV.5.2.2. Absorption d'eau par capillarité	70
IV.5.2.3. Absorption d'eau par immersion	72
IV.6.Conclusion.....	74

Liste des tableaux

Tableau	Titre	Page
II.1	Composition chimique du ciment et du clinker	39
II.2	Composition chimique des fillers.....	40
II.3	Propriétés physico-chimiques du plastifiant.....	40
II.4	caractéristiques physiques et mécanique du ciment.....	43
II.5	Caractéristiques physiques des fillers.....	44
II.6	Caractéristiques physiques des sables	44
II.7	Analyse granulométrique du sable siliceux	45
II.8	Analyse granulométrique du sable de carrière.....	45
II.9	Analyse granulométrique du sable corrigé.....	46
III.1	Composition des bétons	50
III.2	Maniabilité des bétons d'étude selon la nature des fillers recyclés.....	52
III.3	Effet de la nature des fillers recyclés sur la masse volumique des bétons testés.....	54
IV.1	Résistance en traction par flexion des bétons de sable d'étude.....	64
IV.2	Résistance en compression des bétons de sable d'étude.....	67
IV.3	Effet de la nature des fillers taux sur la porosité accessible à l'eau des bétons de sable.....	69
IV.4	Effet de la nature des fillers taux sur l'absorption d'eau par capillarité des bétons de sable.....	71
IV.5	Effet de la nature des fillers taux sur l'absorption d'eau par immersion des bétons de sable.....	72

Liste des figures

Figure	Titre	Page
I.1	Phare de Port-Said vers 1880.....	16
I.2	Maison Coinget à Saint-Denis.....	16
I.3	Quelque figure des ouvrages en béton de sable.....	21
I.4	Maniabilité en fonction de module de finesse [Sablocrete, 1994].....	22
I.5	Influence de la nature et du dosage en addition sur la maniabilité.....	23
I.6	Influence de la finesse de l'addition sur la résistance [Sablocrete, 1994].	24
I.7	Influence de la nature de l'addition sur la résistance [Sablocrete, 1994].	24
I.8	Effets de la granularité sur la résistance [Sablocrete, 1994].....	25
I.9	Distribution de la porosité en fonction du rayon des pores.....	26
I.10	Pénétration des ions de chlore après cinq ans d'exposition en milie.....	27
I.11	Déchets ménagers et assimilés.....	29
I.12	Déchets spéciaux dangereux.....	30
I.13	Déchets inertes.....	31
I.14	Déchets industriels banals.....	31
I.15	Les types de briques.....	32
I.16	Poudre de brique.....	33
I.17	Granulats de verre.....	36
I.18	Poudre de verre.....	36
II.1	Sable Siliceux.....	38
II.2	Sable de carrière.....	38
II.3	Clinker	39
II.4	Ciment CPA.....	39
II.5	Filler de calcaire.....	39
II.6	Brique broyée.....	39
II.7	Verre broyé.....	39
II.8	Adjuvant.....	40
II.9	Série des tamis.....	41
II.10	Appareillage de la masse volumique apparente.....	42
II.11	Masse volumique absolue.....	42
II.12	Courbe granulométrique des sables.....	46

III.1	Coefficient d'activité du filler calcaire [Sablocrete, 1994].....	49
III.2	Essai d'affaissement cône d'Abrams.....	51
III.3	Mesure de la masse volumique.....	51
III.4	Effet des fillers de brique recyclés sur la maniabilité des bétons de sable.....	52
III.5	Effet des fillers de verre recyclés sur la maniabilité des bétons de sable	53
III.6	Effet des fillers de brique et verre recyclés sur la maniabilité des bétons de sable.....	53
III.7	Effet des fillers recyclés sur la variation de la masse volumique des bétons de sable.....	55
IV.1	Malaxeur pour béton.....	57
IV.2	Vibration du béton.....	58
IV.3	Conservation des éprouvettes.....	58
IV.4	Description d'essai de compression.....	59
IV.5	Essai de traction par flexion.....	60
IV.6	Mesure de la porosité accessible à l'eau / Pesée hydrostatique.....	61
IV.7	Essai d'absorption capillaire.....	62
IV.8	Schéma du dispositif de la mesure de l'absorption d'eau par immersion totale	64
IV.9	Résistance en traction par flexion des bétons à base de filler de brique	65
IV.10	Résistance en traction par flexion des bétons à base de filler de verre	65
IV.11	Effet de la nature des fillers recyclés sur la résistance en traction par flexion des bétons	66
IV.12	Résistance en compression des bétons à base de filler de brique.....	67
IV.13	Résistance en compression des bétons à base de filler de verre.....	68
IV.14	Effet de la nature des fillers recyclés sur la résistance en compression des bétons.....	68
IV.15	Effet de la nature des fillers taux sur la porosité accessible à l'eau des bétons de sable.....	70
IV.16	Effet de la nature des fillers taux sur l'absorption d'eau par capillarité des bétons de sable.....	71
IV.17	Effet de la nature des fillers taux sur l'absorption d'eau par immersion des bétons de sable	73

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

La diversification et l'amélioration des performances et de la durabilité des matériaux de construction et leurs adaptations au climat et à l'environnement de chaque région ainsi que la réduction au maximum des coûts de réalisation des ouvrages sont les objectifs les plus recherchés dans le secteur du bâtiment et travaux publics.

L'Algérie est parmi les pays qui disposent d'énormes gisements en matériaux tels que le sable de dunes de Sahara et de plusieurs déchets et sous-produits industriels.

La récupération des déchets touche d'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.

Les bétons de sable peuvent présenter une bonne alternative pour remplacer les bétons classiques dans la confection de certains éléments de construction. Ces bétons, définis par la norme NF P18- 500[2], Comme une nouvelle gamme de matériaux de Construction confectionnés essentiellement à partir d'un ou plusieurs sables, de ciment, d'eau et des fines d'ajouts minérales naturelles ou industrielles.

L'objectif attendu de cette recherche est d'effectuer une étude de caractérisation et du comportement physico-mécanique des bétons de sable avec déchets de brique et de verre.

Dans le cadre de la valorisation de ce déchet et afin d'améliorer certaines propriétés .Ce mémoire s'articule autour de quatre chapitres.

Dans le premier chapitre, la première partie basée sur la présentation d'une analyse bibliographique qui synthétise les travaux de recherches effectuées sur les bétons de sable et il comporte des généralités sur les bétons de sable, leurs caractéristiques, les principales applications, leur inconvénient et l'amélioration de leurs propriétés aussi une présentation des différents types de fillers utilisées pour renforcer les matériaux cimentaires, leurs caractéristiques et leur application..., en particulier fillers de brique et de verre .et la deuxième partie de ce chapitre est consacrée à la

présentation des différents déchets de brique et de verre, leurs caractéristiques et leurs valorisations dans le domaine de génie civil.

Le deuxième chapitre porte sur la caractérisation des matériaux utilisés dans notre travail. Une détermination des caractéristiques physiques des matières premières (sables, ciment, fillers de brique et de verre, adjuvant) .

Dans le troisième chapitre on donne une exposition de la méthode de formulation de béton de sable et les résultats des essais expérimentaux qui caractérisent l'influence de la poudre de brique et de verre sur les propriétés de béton de sable à l'état frais.

Le dernier chapitre présente les caractéristiques physico-mécaniques des bétons de sable d'études à l'état durci (résistances en compression et en traction par flexion). En fin une conclusion générale qui comporte une synthèse des résultats de cette recherche.

CHAPITRE 1: ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE 1 : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

I.1-Introduction

L'objectif de ce premier chapitre est de présenter une synthèse bibliographique sur les bétons de sable et leurs comportements, ce chapitre s'articule autour deux grandes parties. La première partie comporte des généralités sur les bétons de sable, leurs caractéristiques physico-mécaniques, leurs applications ainsi que leurs durabilités.

La deuxième partie est consacrée à la présentation des différents déchets, leurs classifications et leurs valorisations dans le domaine du génie civil en particulier la valorisation des déchets de brique et verre recyclé comme fillers ou fines d'ajouts.

I.2- Généralités sur les bétons de sable

I.2.1-Historique

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 à Passy et 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 restent l'apanage de F.Coignet qui, pour les besoins de réalisation de certaines parties de l'aqueduc de Vanne construit entre 1869 et 1872,mélangea un sable fin traditionnel à un sable non utilisé à l'époque car jugé impropre à la construction. Cette technique a été mise au point depuis des décennies, en URSS, en témoignent les réalisations du port Kaliringrad en Prusse- Orientale en béton de sable au début du siècle et aussi du pont de Chernavskif coulé sur place à Voronej (500Km de Moscou) .A la fin du second conflit mondial, le professeur académicien Rebinder a permis l'utilisation de ce matériau dans plusieurs domaines : (les chaussés, les pistes d'aviation, élément de remplissage, murs architecturaux, planchers, dalles, réhabilitation, etc.).

En 1918 une expérience très originale fut faite par Nicolas Rochefort, à Saint-Pétersbourg. Elle consistait à broyer ensemble du sable et du clinker à parts égales puis à mélanger ce produit à du sable dans un rapport de 1 produit broyé à 3 sable. Les réalisations à base de ce type de matériau sont nombreuses : Les pistes d'aérodromes militaires de Pevec et Arkangelsk, Route et autoroutes (ex : Serpoukhov – total), bâtiments (toitures à plis, éléments divers préfabriqués) et tunnels et métros (ombrelles d'étanchéité) ... [1]



Figure I.1. Phare de Port-Said vers 1880



Figure I.2. Maison Coinget à Saint-Denis

I.2.2- Définition

D'après la norme NF P18-500 [2] le béton de sable est un béton fin constitué par mélange de sable(s), de ciment, d'addition(s) et d'eau ; D'autres additions peuvent être incorporées adjuvants, fibres, gravillons.

Le béton de sable comme son nom l'indique est un béton où le gros granulat est les sables

($D_{max} = 5\text{mm}$), il ne consomme que (250 à 400) Kg/m^3 de ciment, dosage habituel des bétons classiques, la compacité optimale étant atteinte par un ajout complémentaire de fines (Fillers) et de plastifiant, tandis que le mortier utilise un fort dosage en ciment de (400 à 600) Kg/m^3 .

L'incorporation de gravillons est possible tant que le rapport massique gravillons/sable reste inférieur à 0,7. La norme précise qu'on parle alors de béton de sable chargé.

On peut également admettre l'emploi d'un granulat de granulométrie continue de 0 mm à 8 mm maximum tant que le rapport massique entre les éléments supérieurs à 4 mm et les éléments inférieurs à 4 mm reste inférieur à 0,7 mm. [2]

I.2.3- Constituants 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 sont ceux du béton traditionnel à l'expression des fines d'ajouts. Il s'agit donc de composants normalisés.

I.2.3.1-Sable

Le terme sable en globe tous les granulats 0/D conformes aux définitions des normes P 18-541 [3].

Le sable influe selon ses qualités sur les propriétés des bétons ; il participe à la résistance, il donne la cohésion du mélange et il doit être dense provenant de roches chimiquement inertes tels que : les calcaire durs, les granits et les quartzites. Suivant leurs grosseurs les sables sont classés en :

- Sable fin de 0.03 à 0.315mm
- Sable moyen de 0.315 à 2mm
- Sable gros de 2 à 5mm

Ils peuvent aussi être distingués selon leur origine : [4]

Classification des sables selon leurs provenances :

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

Sable naturels

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

I.2.3.2-Ciments

D'après la norme NF EN 197-1[5]le ciment est un liant hydraulique, c'est-à-dire un matériau minéral finement moulu qui, gâché avec de l'eau, forme une pâte qui fait prise et durcit par suite de réactions et de processus d'hydratation et qui, après durcissement, conserve sa résistance et sa stabilité même sous l'eau.

Dans les bétons de sable, les ciments utilisés doivent être conformes aux normes. Ils peuvent avoir deux rôles essentiels : assurer la résistance du béton et combler les vides entre les grains de sable[1].

I.2.3.3- Les fines d'ajout (filler)

Le terme filler fait référence à tout produit obtenu par broyage ou par pulvérisation de certaines roches (calcaire, laitier, cendre volantes.....) naturelles ou non. Ce mot filler provient de l'anglais « to fill » signifiant remplir, dont les plus gros grains de ces matériaux ne dépassent pas 0.2mm.

On distinguera deux types de fines (filler) : Les fines actives (laitier moulu, cendre volantes, fumé de silice, pouzzolanes broyées...) et les fines inertes (fines calcaire, ou de broyage de roches massives.....) [6].

- **Effets des additions minérales**

A/ Effet fillers ou effet de remplissage

L'incorporation de l'addition minérale permet le remplissage d'une partie du volume des vides du squelette granulaire par les particules fines, et donc libérer l'eau contenue dans les Pores. Si la quantité d'eau est réduite, et la maniabilité est conservée, la résistance mécanique va s'améliorer. La réduction progressive du dosage en eau pour une même consistance en incorporant les additions.

B/ Effet physique ou de surface

Il concerne les modifications induites par la présence des particules d'additions minérales sur le processus d'hydratation du ciment et sur la structuration des produits hydratés. La présence des additions minérales provoque une accélération des réactions d'hydratation du ciment ceci est d'autant plus que les particules sont fines. Il agit essentiellement sur l'évolution des résistances mécaniques aux jeunes âges.

C/ Effet chimique ou pouzzolanique

Il concerne la capacité des additions, caractérisé par des propriétés pouzzolanique et/ou hydraulique, à réagir avec l'eau et les constituants anhydres ou hydratés du ciment pour former de nouvelles phases minérales qui contribuent à la résistance mécanique au même titre que les produits hydratés du ciment. [7]

La réaction pouzzolanique concerne principalement la fumée de silice, la poudre de verre, la cendre volante siliceuse, etc. La silice amorphe contenue dans ces matériaux réagit en présence d'eau avec la portlandite formée pendant l'hydratation des C_3S et C_2S pour former des silicates de calcium hydratés C-S-H, mais d'un rapport C/S voisin de 1, donc plus riche en silice. [8]

1.2.3.4 Eau de gâchage

La quantité d'eau de gâchage est la quantité totale ajoutée au mélange sec du béton, ou bien du mortier, pour le mouillage et l'hydratation, et cette quantité est déterminée en fonction de la composition et les moyens de mise en œuvre et conforme à la norme NF EN 1008 [9], [7]

I.1.2.3.5- Adjuvants

Selon la norme NF EN 934-2 [10], les adjuvants sont des produits chimique sincorporés à faible dose (moins de 5% de la masse du ciment) dans le béton ou le mortier, afin de modifier certaines de ses propriétés. L'incorporation se fait soit avant, pendant le mélange, ou bien au cours d'une opération supplémentaire de malaxage. Ils sont classés suivant leur fonction principale et on peut distinguer trois grandes catégories d'adjuvants :

- Ceux qui modifient l'ouvrabilité du béton : plastifiants, réducteurs d'eau, super plastifiants.
- Ceux qui modifient la prise et le durcissement: accélérateurs de prise, accélérateurs de durcissement, retardateurs de prise.
- Ceux qui modifient certains propriétés particulières: entraîneurs d'air, générateurs de gaz.
- Les bétons de sable utilisent les mêmes adjuvants que les bétons traditionnels, souvent les plastifiants ou super plastifiants... [11]

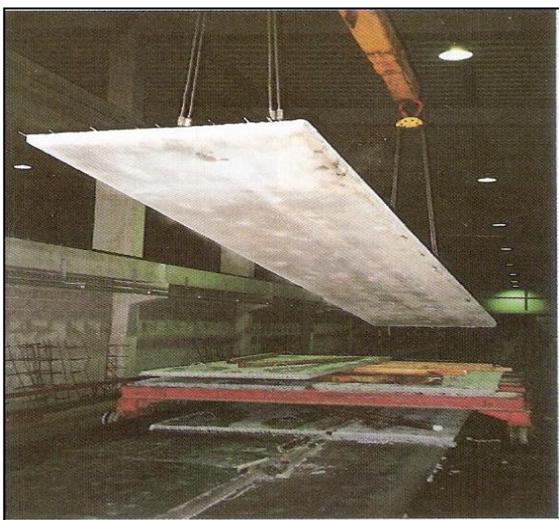
I.2.3.6-Autres ajouts

Comme les autres bétons, on peut utiliser d'autres ajouts au béton de sable pour améliorer certaines propriétés, les plus utilisés sont les fibres métalliques (en acier ou en fonte) ou les fibres de polypropylène, les gravillons et les colorants....

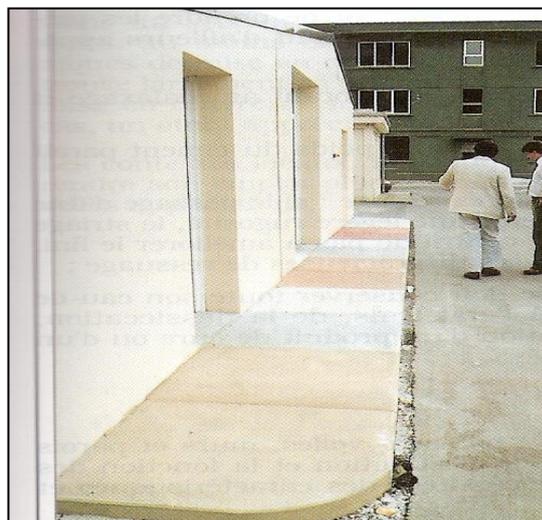
I.2.4- Utilisation des bétons de sable

Les bétons de sable sont employés à grand échelle dans plusieurs domaines tels que le domaine de préfabrication : bordures et toitures, tuyaux, mobilier urbain, voûtes en voiles minces, caissons de plafond, cloisons et autres éléments constructifs d'immeubles, etc. Et aussi dans le bâtiment, ou le béton de sable consiste à remplacer le béton traditionnel (avec gros granulats) dans des structures en béton armé coulé et vibré, ou hypercompacté : (éléments horizontaux et verticaux, dalles, fondations ...etc).

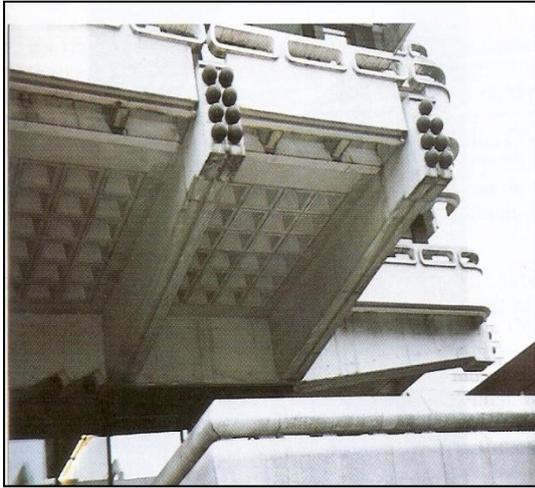
On trouve également des réalisations en béton de sable dans le domaine des chaussées routières et aéroportuaires ainsi que dans des travaux de calage de bourrage ou d'injection.



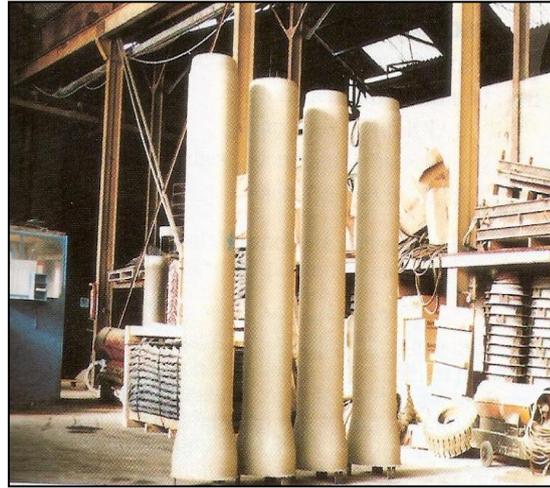
A/Prédalle en béton de sable



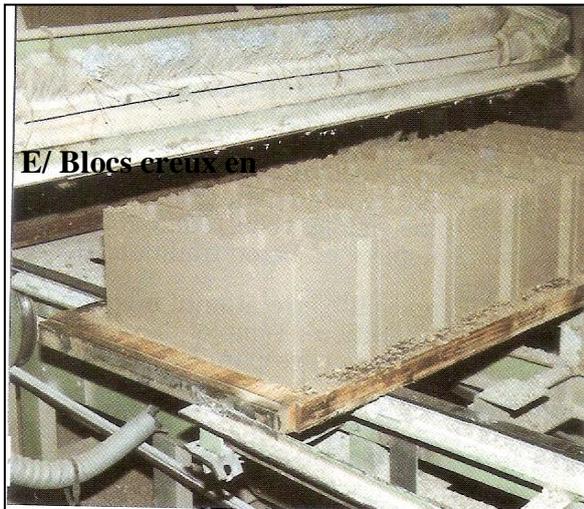
B/Dallage en béton de sable



C/Poutre précontrainte en béton de sable

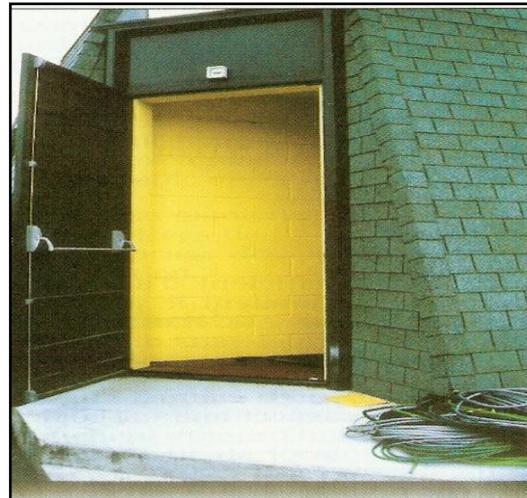


D/Conduite en béton desable



E/ Blocs creux en

Béton de sable



F/ Bloc coloré en béton de sable

Figure I.3. Quelque figure des ouvrages en béton de sable

I.2.5. Propriétés des bétons de sable

I.2.5.1- Maniabilité

Le béton de sable se traduit par des valeurs E/C (eau /ciment) supérieures à 0.5, ce rapport généralement varie entre 0.6 et 0.7. Cette valeur élevée est due à une surface spécifique plus importante du mélange. La maniabilité des bétons de sable dépend aussi du module de la finesse de sable ; la nature, le dosage en fine et le taux de gravillon dans le béton de sable

Le module de finesse de sable influence les propriétés du béton à l'état frais et le comportement mécanique du durci. La dimension des particules d'un sable à béton peut être évaluée d'après l'analyse granulométrique et son module de finesse (MF). Plus MF est élevé plus le sable est grossier et plus le béton est ouvrable. Pour un béton normal : plus les granulates sont fins, plus il y aura des vides dans le mélange. Or ces vides doivent être remplis par la pâte de ciment. Par conséquent, le mélange sera moins économique pour un rapport E/C constant. Plus les granulates sont rugueux moins ils sont maniabiles mais plus ils sont résistants car ils offrent une meilleure adhérence.[7]

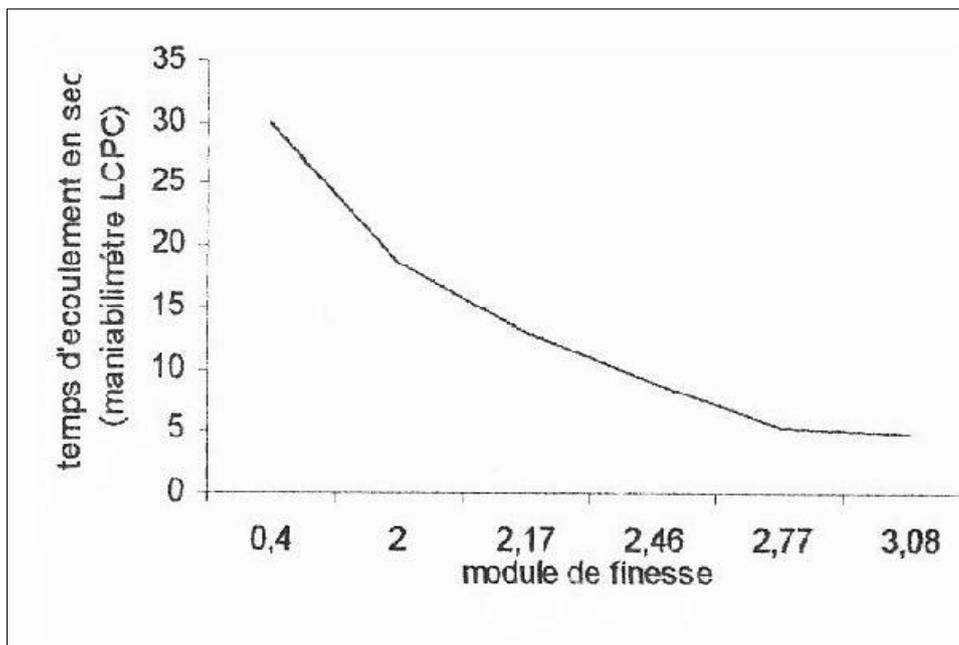


Figure I.4.Maniabilité en fonction de module de finesse [1]

La nature et le dosage en fines (additions minérales) influencent de façon significative la maniabilité des bétons de sable. La maniabilité est améliorée lorsque le rapport E/C est augmenté et pour un rapport E/C fixe, la maniabilité dépend du dosage en additions fines. [1]

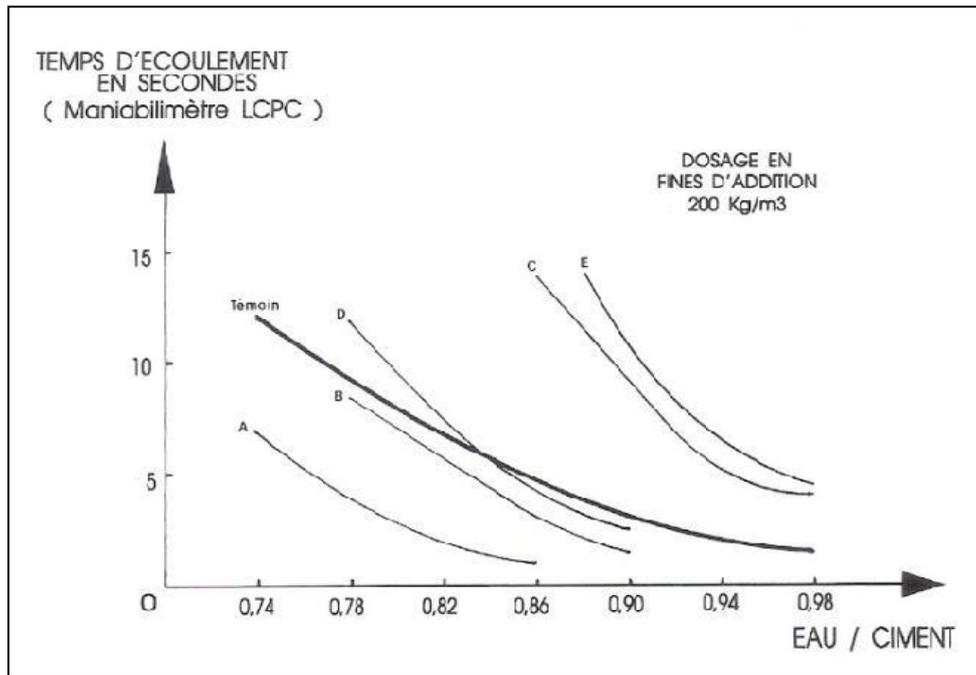


Figure I.5.Influence de la nature et du dosage en addition sur la maniabilité

I.2.5.2- Résistance mécanique

Les performances mécaniques restent parmi les critères les plus utilisés pour le jugement de la qualité des bétons et pour leurs classifications. Généralement, les résistances mécaniques des bétons de sable sont inférieures à celles des bétons classiques. Cependant, cela n'empêche en aucun cas d'obtenir des bétons de sable à hautes performances mécaniques, c'est dans ce sens que plusieurs comparaisons ont été faites dans l'objectif de voir dans quelles mesures les bétons de sable pourraient remplacer les bétons classiques

La résistance est aussi dépendante d'un certain nombre de paramètres, en plus de la qualité et du dosage en ciment et du rapport (eau/ciment), on cite en particulier : la finesse de l'addition, la nature de l'addition et la dimension maximale. [7]

❖ *Finesse de l'addition*

Toute addition minérale, même chimiquement inerte, favorise l'hydratation du ciment pourvu qu'elle soit suffisamment fine. Cet accroissement d'hydratation est attribué à la germination hétérogène des hydrates. Cette accélération est fonction de la finesse de l'addition et de sa quantité. Plus l'addition est fine, plus elle est efficace au niveau du gain de compacité et donc du gain en résistance... [1]

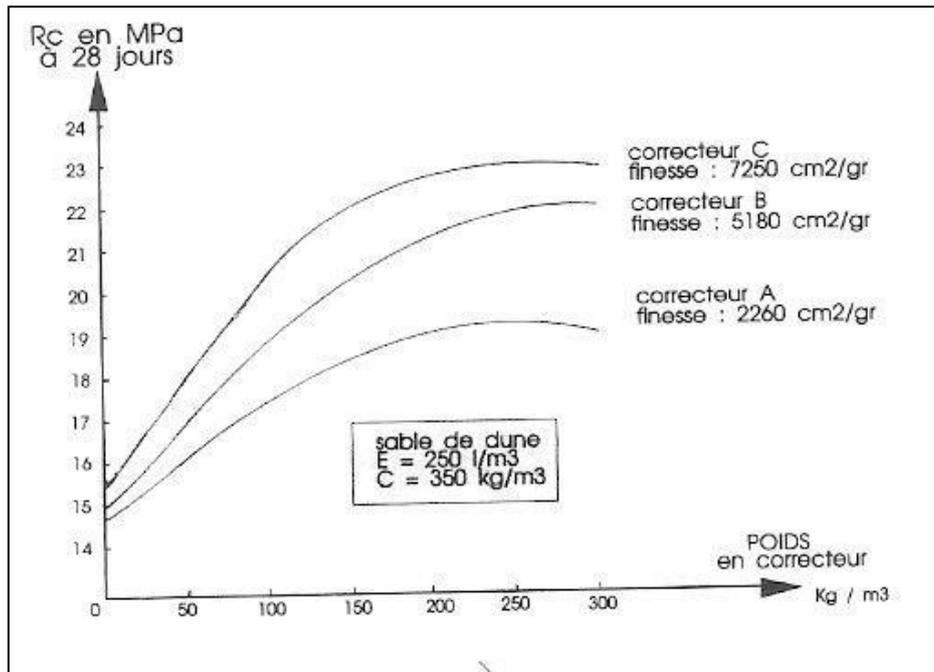


Figure I.6. Influence de la finesse de l'addition sur la résistance [1]

❖ Nature de l'addition

Pour le même dosage en fine d'addition et pour le même rapport E/C, on constate que les résistances mécaniques sont très variables, ce qui explique que la nature des additions minérales influe aussi sur la résistance.

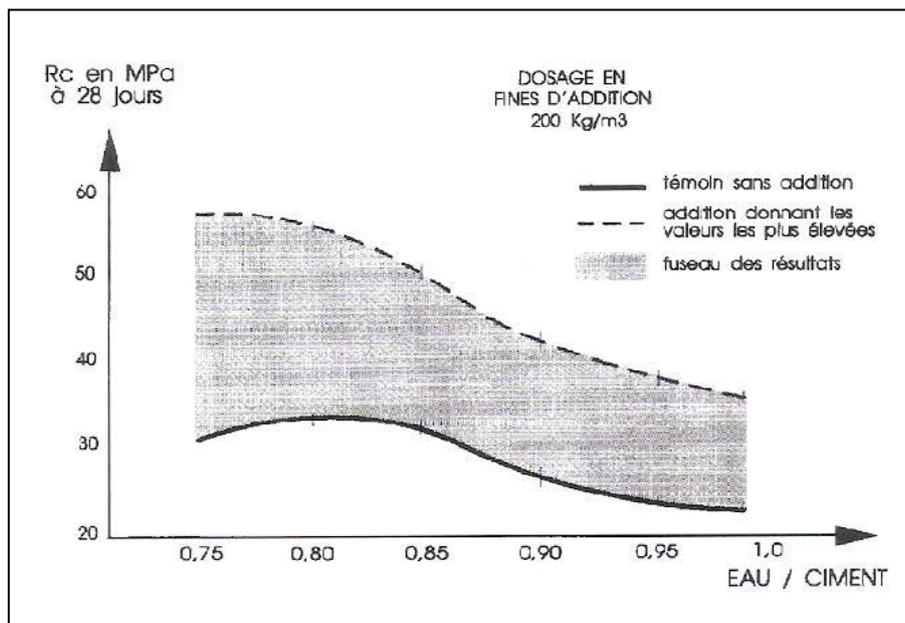


Figure I.7. Influence de la nature de l'addition sur la résistance [1]

❖ Dimension maximale

Pour une même valeur du rapport Eau/Ciment, on constate que l'effet du diamètre maximal max des plus gros granulats est peu important en tout état de cause, le béton est très maniable dans le cas d'un 0/20... [1]

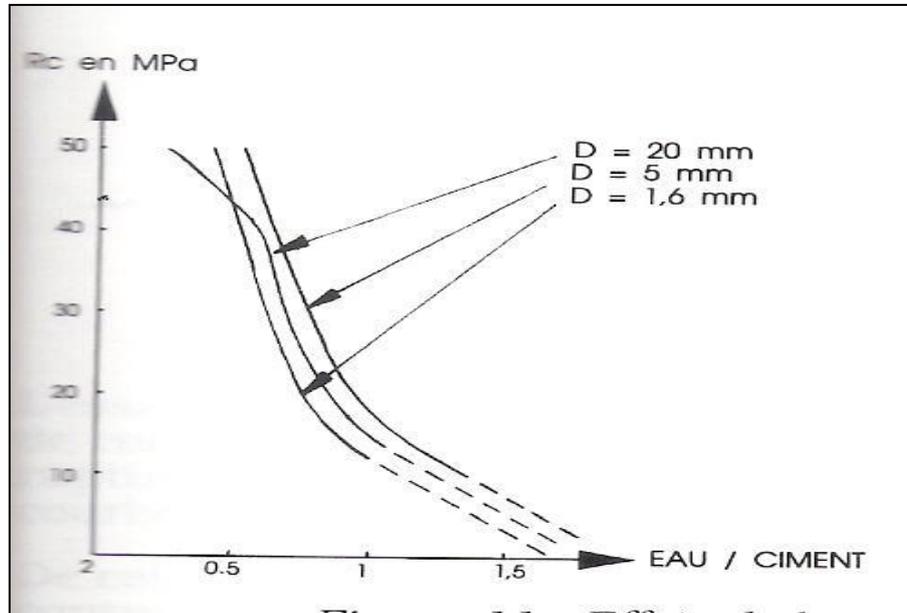


Figure I.8.Effets de la granularité sur la résistance [1]

I.2.6- Durabilité des bétons de sable

La porosité, l'organisation géométrique des pores, et la perméabilité sont des paramètres de 1^{er} ordre de la durabilité.

La durabilité peut se définir par la tenue d'un béton vis-à-vis des phénomènes d'échanges avec le milieu extérieur (l'environnement). L'estimation de la durabilité s'effectue généralement par un ou plusieurs essais suivants :

- Phénomène gel-dégel
- Carbonatation
- Perméabilité à l'eau et à l'air
- Pénétration des ions chlorure.

Les bétons de sable sont plus poreux que les bétons classiques, donc les bétons de sable ont l'avantage de vides, la taille et le nombre de ses vides se distinguent de ceux du béton traditionnel ; ils sont plus nombreux, plus petits et davantage monodimensionnels. Leur

nombre plus élevé entraîne une probabilité de colmatage plus fréquente et plus aisée compte tenu de leur faible taille.

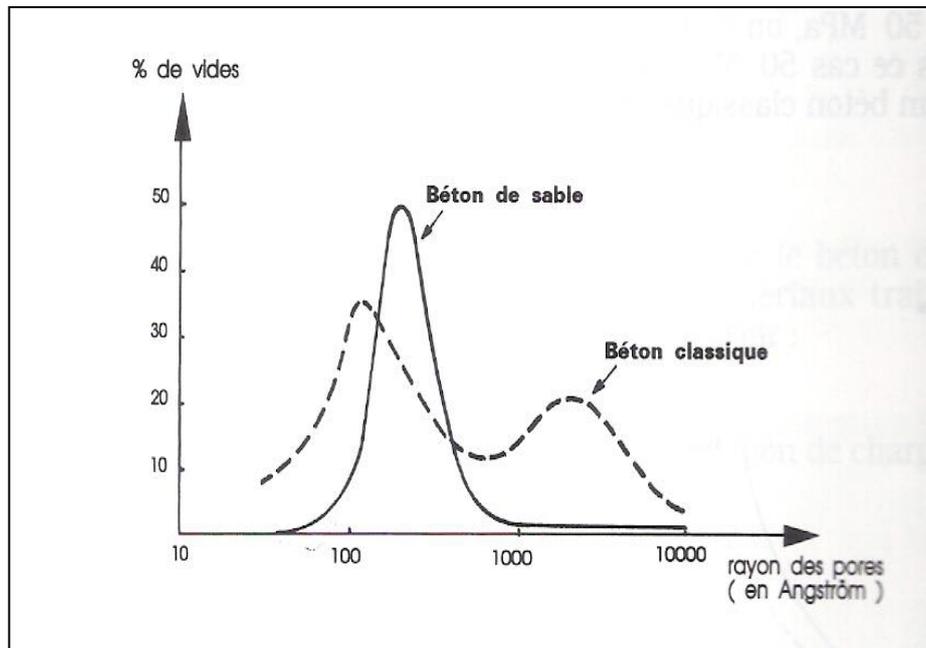


Figure. I.9 : distribution de la porosité en fonction du rayon des pores

La perméabilité à l'eau est de même ordre de grandeur que celle du béton traditionnel. Quant à la perméabilité à l'air elle conduit à des résultats globalement inférieurs ou comparables à ces mêmes bétons classiques.

La profondeur de carbonatation en ambiance naturelle pourrait être importante de fait des faibles dimensions des pores ($< 10 \mu\text{m}$) et de l'importance de l'absorption initiale.

La tenue au gel des bétons de sable formulés correctement est excellente. Une étude de comparaison menée dans ce sens montre qu'à performances équivalentes, les bétons de sable résistent mieux au gel que les bétons traditionnels. Cela s'explique par la microstructure particulière des bétons de sable en générale caractérisée par une bonne répartition de micropores.

Le comportement à la pénétration des ions chlore que se soit en milieu marin ou par le biais d'essais accélérés d'immersion – séchage est comparable à celui des bétons traditionnels.

Des expériences à long terme montrent qu'après cinq ans d'exposition en milieu marin, les teneurs en ions de chlore du béton de sable sont moins importantes que celle du béton traditionnel exposé au même environnement comme montre la figure suivante :

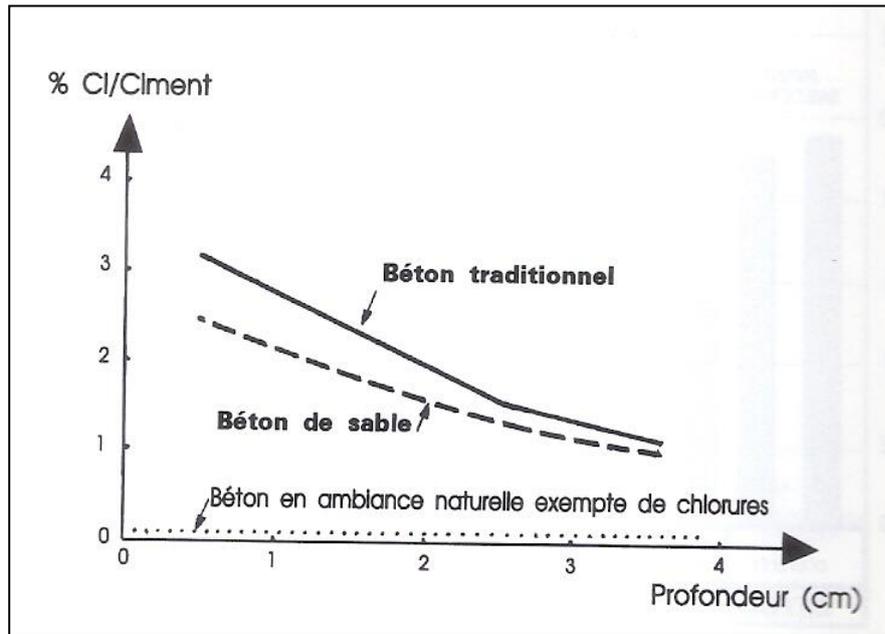


Figure. I.10: pénétration des ions de chlore après cinq ans d'exposition en milieu marin

I.3- Généralités sur les déchets

Les considérations économiques et environnementales affectent de plus en plus l'approvisionnement des déchets. Il y a des grands défis à la réalisation et au sens opposé des grandes objections à l'ouverture de nouveaux bancs de carrières. En même temps, on se heurte, des difficultés pour déposer à la décharge et de sous-produits inertes de l'industrie et, à l'existence des décharges sauvages qui affectent l'environnement.

Ces types de résidus peuvent être transformés en vue de leur utilisation dans la fabrication des nouveaux matériaux de construction.

I.3.1-Définition des déchets

Les déchets peuvent être abordés de manière différente en fonction de leurs propriétés. Leur classification peut notamment se faire en fonction de leur état physique (solide, liquide, gazeux), de leur provenance (déchets ménagers, déchets industriels, déchets agricoles), de leur traitement (primaires, secondaires, ultimes) ou encore de leur dangerosité (déchets inertes, déchets banals, déchets spéciaux).

La variété de ces propriétés et des points de vue que l'on peut adopter lorsque l'on s'intéresse aux déchets amène la plupart des auteurs à dire qu'il n'existe pas de définition satisfaisante du déchet. Cette définition est différente en fonction du point de vue réglementaire, environnemental, économique ou encore fonctionnel.

La définition du déchet est établie par la loi française de 1975[12]. Le déchet est défini comme 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 son détenteur destine à l'abandon.

I.3.2-classification des déchets

Les déchets peuvent être classés de différentes manières selon les objectifs recherchés et selon l'intérêt des informations qui peuvent en être tirées.

I.3.2.1-Selon l'origine

- Déchets industriels
- Déchets urbains.

I.3.2.2-Selon leur mode de traitement

Les chercheurs s'accordent à regrouper les déchets solides en quatre grandes familles, selon :

- Déchets inertes
- Déchets banales
- Déchets spéciaux
- Déchets dangereux.

I.3.2.3-Selon leurs effets sur l'environnement

A ce titre on distingue :

- Déchets inertes
- Déchets fermentescibles
- Déchets toxiques.

I.3.3- Quelques types des déchets

I.3.3.1- Déchets ménagers et assimilés

Déchets issus de l'activité domestique des ménages ou déchets non dangereux provenant des entreprises industrielles, des artisans, commerçants, écoles, services publics, hôpitaux, services tertiaires et collectés dans les mêmes conditions que les déchets des ménages.



Figure I.11. Déchets ménagers et assimilés

I.3.3.2. Déchets spéciaux

Toutes déchets issus des activités industrielles, agricoles, de soins, de services et toutes autres activités qui, en raison de leur nature et de la composition des matières qu'ils contiennent, ne peuvent être collectés, transportés et traités dans les mêmes conditions que les déchets ménagers et assimilés et les déchets inertes.

I.3.3.2.1. Déchets spéciaux dangereux

Toutes déchets spéciaux qui, par leurs constituants ou par les caractéristiques des matières nocives qu'ils contiennent, sont susceptibles de nuire à la santé publique et/ou à l'environnement



Figure I.12. Déchets spéciaux dangereux

I.3.3.2.2. Déchets inertes

Tous les déchets provenant de l'exploitation des carrières, des mines, des travaux de démolition, de construction ou de rénovation et qui ne sont pas constitués ou contaminés par des substances dangereuses ou autres éléments générateurs de nuisances. Ces déchets ne se décomposent pas, ne brûlent pas et ne produisent aucune réaction physique ou chimique. Ils ne sont pas biodégradables et ne se détériorent pas avec les autres matières avec lesquelles ils entrent en contact d'une manière susceptible d'entraîner la pollution de l'environnement ou de nuire à la santé publique.

Sont considérés comme déchets inertes les déchets de matériaux de construction suivants :

- ✓ Béton, briques, tuiles et céramiques
- ✓ Verre
- ✓ Déchets de construction et de démolition en mélange ne contenant pas de substances dangereuses et ne contenant que des déchets minéraux.
- ✓ Matériaux de construction à base de gypse (ne contenant pas de substances dangereuses) : carreaux de plâtre, plaques de plâtre, enduit plâtre.



Figure I.13. Déchets inertes

I.3.3.2.3. Déchets industriels banals

Ils regroupent l'ensemble des déchets non dangereux produits par les industriels et par les entreprises du commerce, de l'artisanat, des services et de l'administration, de la métallurgie, peinture, la chimie et la pétrochimie. Ce sont des déchets d'emballage, des déchets d'entretien et les matériels en fin de vie



Figure I.14. Déchets industriels banals

I.4. Brique recyclé

I.4.1. Définition

La brique est un parallélépipède rectangle, de terre argileuse crue et séchée au soleil ou cuite au four, utilisé comme matériau de construction. L'argile est souvent mêlée de sable.

On distingue différents types de briques :

- la brique de terre crue, qui peut aussi contenir des fibres (pailles, lin, crin..),
- la brique de terre compressée,
- la brique cuite pleine, matériau traditionnel très ancien, avec une variante appelée brique pleine perforée (les perforations sont perpendiculaires au plan de pose),
- la brique cuite creuse, inventée au XIXe siècle, plus légère et isolante, la plus utilisée, dont les perforations sont parallèles au plan de pose,
- la brique de chanvre, ayant de très bonnes propriétés d'isolation thermique,
- la brique non gélive,
- la brique réfractaire, pour la construction des fours, chaudières, foyers, cheminées, etc.[22]



Figure I.15. les types de briques

I.4.2. Valorisation des déchets de brique

La valorisation des déchets est un ensemble de procédés par lesquels on transforme un déchet dans l'objectif d'un usage spécifique. La valorisation des déchets de briques dans la construction soit par réutilisation ou par recyclage.

La réutilisation des briques : après la démolition, les briques récupérées peuvent être nettoyées et réutilisées sur le même chantier ou ailleurs.

Le recyclage des briques : le recyclage est un procédé qui consiste à réintroduire le déchet dans le cycle de production en remplacement total ou partiel d'une matière première naturelle. La brique, peut être concassés ou broyés et utilisés comme granulats ou fillers dans les matériaux cimentaires.

Plusieurs travaux qui ont été réalisés pour montrer la valorisation des déchets de brique, ces derniers se trouvent en grande quantité au niveau national à cause du nombre élevé de briqueteries et des taux de rejets, surtout comme fillers dans les matériaux cimentaires. Ces travaux ont montré un caractère pouzzolanique de ces déchets [24]



Figure I.16.poudre de brique

I.4.3. Propriétés des bétons des déchets de brique

Les briques sont utilisées pour la fabrication du béton et la performance de tel béton a été assez satisfaisante. Parmi les différentes propriétés du béton de déchet de brique, on peut citer:

- L'absorption des déchets de brique est estimée entre 5 et 15 % par rapport au poids de la matière dans son état sec. C'était nécessaire, par conséquent, il faut saturer les déchets de brique avant tout mélange.
- La masse volumique apparente du béton de brique varie de 2000 à 2080 kg/cm³
- L'ouvrabilité peut être appréciée à partir des mesures de consistance par affaissement au cône d'Abrams. Il est nécessaire de procéder au maintien prolongé à l'état humide de tous les bétons de briques, pour empêcher le dessèchement des liants et la ségrégation de surface du béton.
- L'utilisation du déchet de brique peut produire un béton de structure de haute résistance avec une économie de poids allant jusqu'à 15 %.
- Le béton contenant de l'argile cuite comporte une résistance au feu beaucoup plus élevée.
- Le béton contenant des déchets de brique est plus perméable que le béton normal.

I.5. Verre recyclé

I.5.1. Définition

Le verre est un matériau fragile (cassant) et transparent à la lumière visible, à base de silice SiO₂. Il y a deux méthodes pour valoriser le verre usagé, soit par réemploi direct (le produit usagé, après réparation est à nouveau utilisé pour le même usage ou un usage différent). Soit par recyclage (exemple, la valorisation du verre de bouteilles dans les matériaux cimentaire)

I.5.2. Propriétés du verre

Le verre est la seule matière minérale solide que l'on puisse produire à des dimensions et sous des formes quelconques tout en conservant sa transparence. Ses propriétés physiques, chimiques, thermiques sont les suivantes :

A/ Propriétés physiques

- **La transparence** : mais il peut être opaque ou opalescent.
- **La dureté** : seuls les diamants et le carbure de tungstène le rayent. Le verre le plus dur est le verre de Bohême et le cristal est le plus tendre.
- **La densité** : elle dépend des composants ; elle est d'environ 2,5.
- **La résistance et l'élasticité** : la cassure du verre est liée à sa flexion et à sa résistance au choc. Il casse là où le métal se tord. Contrairement, sa résistance à la compression est importante.

- **L'imperméabilité** : elle est extrêmement grande mais le verre reste poreux.

B/ Propriétés chimiques

- **L'action de l'eau** : l'eau agit sur les silicates qui, en se décomposant, forment un dépôt en surface qui devient peu à peu opaque ; le verre perd de sa transparence.
- L'action de l'air : les silicates alcalins se combinent avec l'acide carbonique contenu dans l'air ce qui donne un dépôt blanchâtre à la surface du verre.
- L'action de la lumière : exposés aux ultraviolets, certains verres se colorent ou se décolorent.

C/ Propriétés thermiques

- **La dilatation** : c'est un très mauvais conducteur de chaleur. Il se brise s'il subit un brusque changement de température car les différentes parties du verre ne se réchauffent pas en même temps. Son coefficient de dilatation est faible, ce qui lui confère de nombreuses applications : il sert d'isolant thermique (laine de verre). On retrouve presque les mêmes coefficients que certains métaux d'où l'exécution de soudures verre-métal. Ce coefficient varie selon la composition.
- La conductivité : il est mauvais conducteur (environ 500 fois moins que le cuivre); on l'utilise comme isolant électrique. C'est aussi un bon isolant acoustique suivant l'épaisseur de la feuille. Ceci n'est pas le cas à chaud car il devient conducteur à partir de 250°C.
- Il est ininflammable et incombustible.

I.5.3. Valorisation des déchets de verre dans le domaine de matériaux de construction

Le verre est un matériau fragile, à base de silice SiO_2 . Le recyclage du verre possède de nombreux avantages, et celui notamment d'être utilisé à l'infini. Le verre après concassage et broyage peut être réutilisé sous plusieurs formes dans plusieurs secteurs d'activité notamment dans le secteur de génie civil.[13]

Soit par réemploi direct (le verre usagé, après réparation est à nouveau utilisé pour le même usage ou un usage différent). Soit par recyclage (exemple, la valorisation du verre de bouteilles dans les matériaux cimentaire)

Les déchets de verre sont utilisés comme matières premières pour la production d'abrasifs au jet de sable, comme substitut d'agrégat dans le béton, les chaussées et les parkings. Le verre remplace les gravillons qu'on peut trouver dans les parpaings, et possède des qualités d'acoustique et de légèreté.

Quant à la poudre de verre, elle peut être utilisée comme lubrifiant, additifs de la base dans la fabrication des matériaux cimentaires.



Figure I.17.Granulats de verre



Figure I.18.poudre de verre

I.6. Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre une recherche bibliographique sur les béton de sables et la valorisation des déchets ,la première partie de cette recherche à été basée sur l'identification des bétons de sable ,leurs applications ,les principales propriétés,avantages et inconvénients de ce béton .

La deuxième partie est consacrée à la présentation des différents types de déchets notamment les déchets de brique et de verre et leur valorisation dans le domaine de génie civil .

Les propriétés physico-mécaniques des bétons de sable sont influencées par le type ,la granulométrie et la dimension maximale du sable utilisé et aussi la nature et la finesse de l'addition ou de fines d'ajouts.

La valorisation des déchets permet de protéger les ressources, de réduire les déchets, de protéger la nature et d'économiser les matières premières .

CHAPITRE II : CARACTERISATION DES MATERIAUX

CHAPITRE II : CARACTERISATION DES MATERIAUX

II.1. Introduction

On va présenter dans ce chapitre les différents types de matériaux utilisés dans notre étude, ainsi que le Protocole de caractérisation physique et mécanique pour la préparation des bétons de sable avec déchet de brique et déchet de verre.

II.2. Matériaux utilisés

II.2.1.Sable

Deux types de sable sont utilisés dans notre étude, un sable siliceux de la région de Annaba et un sable de carrière obtenu par réduction de gravillon ou plus simplement le déchet d'abatage et de concassage des roches pour l'obtention du gravier. Dans cette étude on a utilisé un sable de calcaire concassé inerte de fraction 0/5 mm.

Les deux types de sables ont été caractérisés par les essais physiques suivants :

- Une analyse granulométrique.
- Détermination de la masse volumique apparente.
- Détermination de la masse volumique absolue.
- Détermination de l'équivalent du sable.



Figure II.1. Sable Siliceux



Figure II.2. Sable de carrière

II.2.2. Ciment

Le ciment utilisé dans notre étude est un CPA-CEM I résultant d'un broyage simultané de clinker (95 %) et de gypse (5 %), obtenu par le broyage des deux composants dans un broyeur à boulets au niveau de laboratoire de génie civil de l'université Badji Mokhtar- Annaba .La composition chimique du ciment et du clinker est donnée dans le tableau **II.1**.

Tableau II.1 : Composition chimique du ciment et du clinker

	CaO	SiO ₂	MgO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	MnO	PF
Ciment CPA	64.16	22.29	0.70	3.76	5.18	-	1,36
Clinker	67.75	21.91	0.91	3.75	4.86	-	0.47

**Figure II.3.** Clinker**Figure II.4.** Ciment CPA

II.2.3. Fillers ou fines d'ajouts

Trois fillers sont utilisés dans notre travail un filler naturel de calcaire composée essentiellement de calcite CaCO_3 , et deux fillers recyclés obtenus par broyage au laboratoire de la roche de calcaire et de déchets de briques et verre.

Les déchets de brique provenant de la briqueterie El-Rym Berrahal - Annaba. sont déchets de briques rejets (briques non conformes ou cassées) et les déchets du verre plat issus du bâtiment (fenêtres, cloisons, façades). La composition chimique des fillers est donnée dans le tableau II.2.

**Figure II.5.** Filler de calcaire**Figure II.6.** Brique broyée**Figure II.7.** verre broyé

Tableau II.2 : Composition chimique des fillers

	CaO	SiO ₂	MgO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	PF
Fillers calcaire	54.20	0.84	0.21	0.17	0.67	-	-	42.66
Poudre de brique	2,50	72,44	-	21,01	1,33	1,34	1,37	-
Poudre de verre	8,89	68,75	2,92	2,30	1,45	0,42	14,90	0,11

II.2.4. Adjuvant

L'adjuvant employé POIYFLOW LSR 7200 est un super plastifiant –réducteur d'eau polyvalent de nouvelle génération non chloré à base de poly carboxylates, qui permettent de réaliser des bétons très fluides avec des rapports E/C très réduits. Le dosage varie entre 0,6 à 10 % du poids des Fines (Ciment + Fillers de calcaire). Ces propriétés données par fabricant et sont représentées au tableau II.3.

Tableau II.3 : Propriétés physico-chimiques du plastifiant

Caractéristiques	valeurs
Masse volumique (kg/m³)	1.06 (+-0.01)
pH	4.5-6.5
Teneur en ions chlore (%)	≤ 0,1
Teneur en Na₂O Eq (%)	≤ 1 %
Extrait sec(%)	33 % a 1 %
Etat physique	Liquide
Couleur	Marron
Plage d'utilisation (%)	0,6 à 10 %



Figure II.8. Adjuvant

II.2.5. Eau de gâchage

L'eau de gâchage utilisée pour la préparation des différents mélanges est une eau potable de robinet conforme à la norme NF EN 1008.[14]

II.3. Essais de caractérisation

II.3.1. Analyse granulométrique

L'analyse granulométrique permet de déterminer la grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs. Pour les sables, on utilisera en général les tamis de modules 0.08 - 0.16 - 0.315 - 0.63 - 1.25 - 2.5 - 5.0..L'essai selon la norme **NF P 18-560**. [15]



Figure II.9. Série des tamis

II.3.2. Module de finesse

Le module de finesse d'un sable, qui caractérise sa granularité comme le 1/100 de la somme des refus, exprimés en pourcentage, sur les différents tamis de la série suivante M : 0.16 - 0.315 - 0.63 - 1.25 - 2.5 - 5.0 mm. Cela est identifié selon la norme **XP P 18-540**[23].

II.3.3. Mesure de la propreté (l'essai d'équivalent de sable)

Cet essai a pour le but de mesure la propreté des sables entrant dans la composition des bétons. L'essai consiste à séparer les flocules fins contenues dans le sable. Une procédure normalisée permet de déterminer un coefficient d'équivalent de sable qui quantifie la propreté celui-ci selon la norme **P 18-597**[26]

II.3.4. Masse volumique apparente

Selon la **NF EN 1097-3**[16] la masse volumique apparente est la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat, y compris les vides et des pores entre des grains. L'essai consiste à remplir un récipient vide de volume connu de matériau sec sans le tasser et à peser ensuite cette quantité de matériau. On calcule la valeur de la masse volumique par le rapport :

$$\rho = \frac{M}{V} \text{ g/cm}^3$$



Figure II.10. Appareillage de la masse volumique apparente

II.3.5. Masse volumique absolue

La masse volumique absolue est la masse d'un corps par unité de volume sans vides entre les grains. Il s'agit de mesurer la masse, par unité de volume de matière pleine sans aucun vide entre les grains en versant une quantité connue de la poudre dans un liquide inerte par rapport au matériau. Cet essai est réalisé selon la norme **NF EN 1097-3**. [16]



Figure II.11. Masse volumique absolue

II.3.6. Finesse de mouture du ciment et des fillers

La finesse de mouture d'un ciment est caractérisée par sa surface spécifique ou surface développée totale de graines contenues dans une masse donnée.

II.3.7. Délais de prise

Le but est de déterminer le temps de début de prise, qui correspond au moment où l'on observe une augmentation de la viscosité, ou raidissement de pâte, et la fin de prise qui est le moment où la pâte cesse d'être déformable et se transforme en un matériau rigide selon la norme **NF EN 196-3**[17] à l'aide de l'appareil de Vicat équipé d'une aiguille.

II.3.8. Consistance normale

Le but est de déterminer la quantité d'eau nécessaire pour le ciment à l'aide de l'appareil de Vicat équipé d'une sonde de 10mm de diamètre. Cet essai est réalisé selon la norme **NF EN 196-3**[17].

II.4. Résultats

Les caractéristiques physiques du ciment et des fillers utilisés sont regroupés dans les tableaux **II.4** et **II.5**

Tableau II.4 : caractéristiques physiques et mécanique du ciment

Caractéristique	Unité	Ciment CPA
Masse volumique apparente	g/cm ³	1.02
Masse volumique absolue	g/cm ³	3.00
Consistance normale	%	25
Début de prise	h/min	3 /45
Refus au tamis 80µm	%	1,06
Surface Spécifique de Blaine SSB	Cm ² /g	3865
Résistance en flexion à 28jours	MPa	8,20
Résistance en compression à 28jours	MPa	43,5

Tableau II.5:Caractéristiques physiques des fillers

Caractéristiques	Unité	Poudre de verre	Poudre de brique	Calcaire
Masse volumique apparente	g/cm ³	1.43	1,14	0,91
Masse volumique absolue	g/cm ³	2.50	2.44	2,62
Surface spécifique de Blaine SSB	Cm ² /g	5329	7510	4760

Les caractéristiques physiques des sables utilisés sont regroupées dans les tableaux **II.6**

Tableau II.6:Caractéristiques physiques des sables

Caractéristiques	Unité	Sable siliceux	Sable de carrière
Masse volumique apparente	g/cm ³	1.64	1.39
Masse volumique absolue	g/cm ³	2.63	2.62
Module de finesse	-	2.05	3.26
Équivalent de sable	%	90,23	89,51
Porosité inter granulaire	%	38	47

Les résultats de l'analyse granulométrique des sables et des graviers recyclés (Brique et verre) sont présentés aux tableaux **II.5, II.6, II.7, II.8, II.9, II.10, II.11** illustrés par la figure **II.7**

Tableau II.7. Analyse granulométrique du sable siliceux

Tamis	Mi(g)	ai (%)	Ai	Transat (%)
5	0	0,00	0,00	100,00
4	4,3	0,44	0,44	99,56
3,15	3,9	0,40	0,83	99,17
2,5	5,4	0,55	1,38	98,62
2	8,6	0,87	2,25	97,75
1,25	40,3	4,08	6,33	93,67
1	24,6	2,49	8,82	91,18
0,63	128	12,96	21,79	78,21
0,5	434,2	43,98	65,77	34,23
0,315	126,6	12,82	78,59	21,41
0,2	167,6	16,98	95,56	4,44
0,16	11,3	1,14	96,71	3,29
0,08	22,6	2,29	99,00	1,00
Fond	1,5	0,15	99,15	0,85

Tableau II.8. Analyse granulométrique du sable de carrière

Tamis	Mi(g)	ai (%)	Ai	Transat (%)
5	9,7	0,97	0,97	99,03
4	12,45	1,25	2,22	97,78
3,15	35,46	3,55	5,77	94,23
2,5	86,03	8,62	14,38	85,62
2	89,96	9,01	23,39	76,61
1,25	259,64	26,00	49,40	50,60
1	88,02	8,81	58,21	41,79
0,63	153,76	15,40	73,61	26,39
0,5	64,73	6,48	80,09	19,91
0,315	91,68	9,18	89,27	10,73
0,2	81,8	8,19	97,46	2,54
0,16	9,81	0,98	98,45	1,55
0,08	11,8	1,18	99,63	0,37
Fond	3,72	0,37	100,00	0,00

Tableau II.9. Analyse granulométrique du sable corrigé

Tamis	Mi(g)	ai (%)	Ai	Transat (%)
5	3,18	3,18	0,32	99,68
4	4,37	7,55	0,76	99,24
3,15	9,56	17,11	1,72	98,28
2,5	30,75	47,86	4,82	95,18
2	35,15	83,01	8,36	91,64
1,25	91,68	174,69	17,59	82,41
1	27,22	201,91	20,33	79,67
0,63	156,3	358,21	36,07	63,93
0,5	337,39	695,60	70,04	29,96
0,315	136,27	831,87	83,76	16,24
0,2	125,25	957,12	96,38	3,62
0,16	1,91	959,03	96,57	3,43
0,08	30,5	989,53	99,64	0,36
Fond	3,58	993,11	100,00	0,00

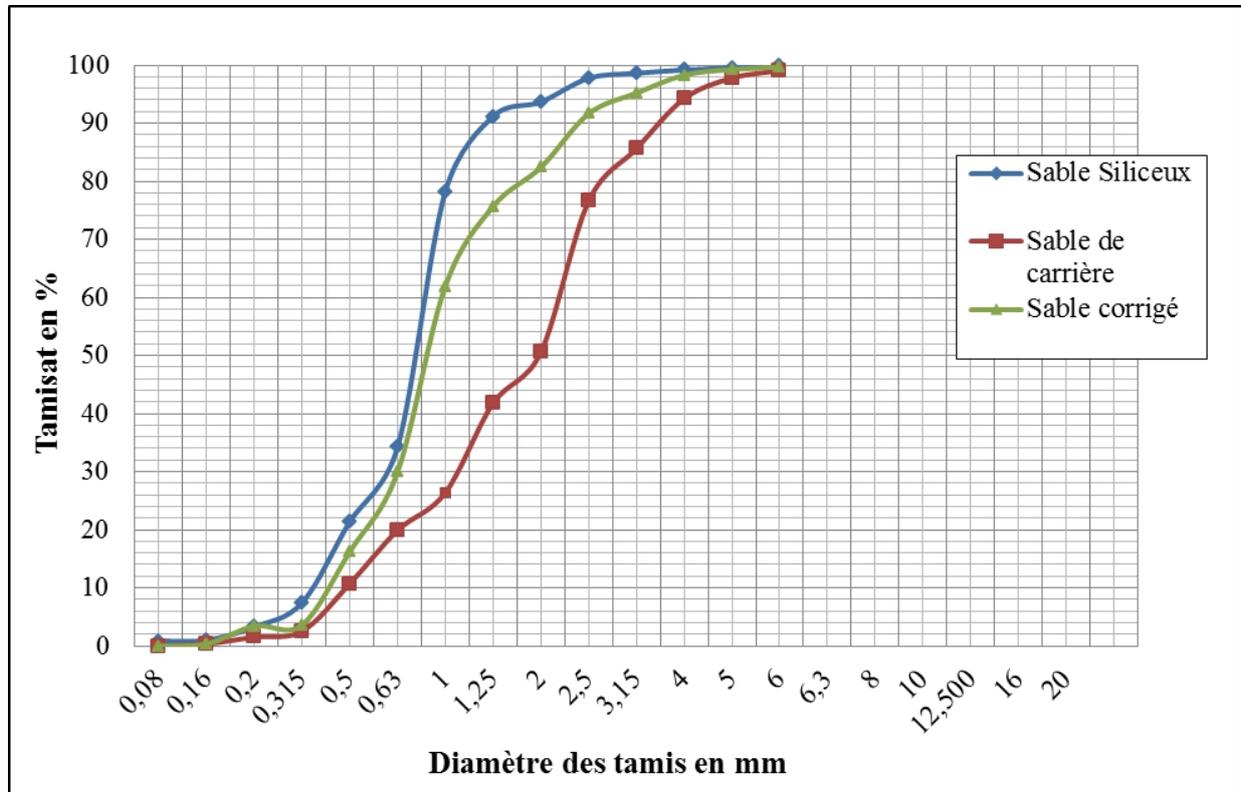


Figure II.12 .Courbe granulométrique des sables

II.5.Conclusion

Dans ce chapitre on a identifié et caractérisé les différents matériaux utilisés dans notre travail, d'après les résultats obtenus nous pouvons constater que :

- Le sable siliceux est un sable moyen avec module de finesse de 2.05 par contre le sable de carrière avec un module de finesse de 3.26 présente le sable grossier.
- Les deux sables utilisés dans notre travail sont des sables très propres avec des valeurs d'équivalent de sable supérieur à 80.
- Le fillers de brique avec leur caractère poreux présente une grande capacité d'absorption d'eau par apport au verre avec un taux d'absorption égale 12.4% .

CHAPITRE III : FORMULATION ET PROPRIETES DES BETONS A L'ETATS FRAIS

CHAPITRE III : FORMULATION ET PROPRIETES DES BETONS A L'ETATS FRAIS

III.1-Introduction

Nous avons présenté dans ce chapitre la méthode de formulation de béton de sable et les résultats de l'influence de la poudre de brique et de verre sur les propriétés des bétons de sable à l'état frais (la masse volumique et la maniabilité).

La formulation ou l'étude de la composition d'un béton consiste à définir le mélange optimal des différents composants (Ciment, granulats, eau, adjuvants,), afin de trouver un équilibre entre la maniabilité et la résistance mécanique. La méthode de formulation utilisée pour déterminer les compositions des bétons d'étude est la méthode **SABLOCRETE** exposé dans l'ouvrage intitulé « bétons de sable : caractérisations et pratique d'utilisation »

III.2-Approche théorique de formulation de SABLOCRETE

III.2.1-Etapes de calcul

III.2.1.1-Estimation du dosage en fines d'un béton de sable

On considère que les constituants solides sont séparés en deux fractions :

Les fines regroupant l'ensemble de grains de taille inférieure à 80µm.

Le sable de dimension 80µm jusqu'à D (D : diamètre maximal du sable)

Les fines sont constituées du ciment, de fine d'addition et de la fraction du sable inférieure à 80µm.

Considérons que $p_s = 0.75 \left(\frac{0.08}{D}\right)^{1/5}$ (En % volumique).

P_s = la porosité de l'étendue granulaire du sable.

D'après l'hypothèse de Caquot [**fines**] = [V], le dosage volumique optimal des fines s'écrit :

[Fines] = $0.38 \left(\frac{0.08}{D}\right)^{1/5}$ (En % volumique).

III.2.1.2- Porosité et dosage en eau dans le béton sable

$$(E + V)_{min} = 0.8 \left(\frac{d}{D}\right)^{0.2}$$

- "d" calculé de la formule suivante : $d = \frac{60}{f * \rho}$

-f : surface spécifique en cm²/g

- ρ : densité en g/cm^3 .

[vide] = K [eau] (l/m^3) ; K compris entre 0.2 et 0.25

III.2.1.3- Estimation du dosage en sable

$$[Sable] = 1000 - [fines] - [eau] - [eau] - [vides] \text{ en } (l/m^3)$$

III.2.1.4- Estimation de la résistance en compression

$$R_b = \frac{(K_f * R_c)}{\left[1 + \frac{3.1(e+v)}{C(1+K_1+K_2)}\right]^2} \text{MPa}$$

K_f : Coefficient granulaire (varie de 4.5 à 5)

R_c : Classe de résistance du ciment (Mpa).

($e+v$) : volume d'eau + vide en litres

C : dosage en ciment.

R_b : résistance en compression de béton à 28 jours (MPa).

$$K_1 : k_1 = k_{cv} \frac{cv}{c} + k_{fs} \frac{fs}{c}$$

$$0.2 < k_{cv} < 0.4 \quad 2 < k_{fs} < 3.3 \quad \text{et} \quad K_1 \leq 0.5$$

$$K_f = K_{fil} \frac{fil}{c} < k_{fil} < 0.5 \quad \text{et} \quad K_2 \leq 0.2$$

K_1 : Coefficient pouzzolanique.

K_2 : Coefficient d'activité du filler calcaire.

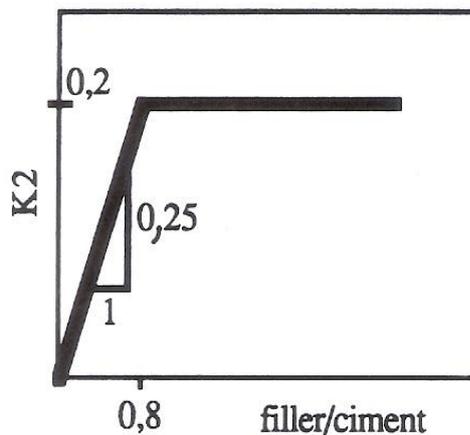


Figure III.1. Coefficient d'activité du filler calcaire [1]

k_{cv} ; k_{fs} et k_{fil} : Coefficient d'équivalence en ciment des différentes additions en fines.

CV ; FS et FIL : Dosage en cendre volante, fumée de silice et de fillers (Kg/m^3).

III.3-Composition des bétons de sable

L'approche théorique de SABLOCRETE est utilisée pour la formulation des bétons de sable de ce travail. La composition des mélanges est récapitulée au tableau III.1, cette composition basée sur l'utilisation des fillers recyclés de briques et de verre en substitution partielle et totale au fillers calcaire.

Béton	Dosages en constituants (Kg/cm^3)							
	Ciment	Fillers			Sable siliceux	Sable de carrière	Eau	SP
		Calcaire	brique	verre				
BST	311,25	163,1	-	-	1048,79	618,74	181,40	4,77
BSFB	311,25	-	166,21	-	1080,35	637,24	171,19	4,77
BSFCB	311,25	81,55	83,10	-	1080,35	637,24	171,19	4,77
BSFV	311,25	-	-	155,63	1050,00	620,68	179,56	4,77
BSFCV	311,25	81,55	-	77,81	1050,00	620,68	179,56	4,77
BSFBV	311,25	83,10	-	77,81	1080,35	637,24	171,19	4,77

Tableau III.1. Composition des bétons

BST : béton témoin avec filler de calcaire 100%

BSFB : béton avec filler de brique recyclé 100%

BSFCB : béton avec filler de brique recyclé 50% et filler de calcaire 50%

BSFV : béton avec filler de verre recyclé 100%

BSFCV : béton avec filler de verre recyclé 50% et filler de calcaire 50%

BSFBV : béton avec filler de verre recyclé 50% et filler de brique 50%

III.4. Caractérisation du béton à l'état frais

III.4.1. Maniabilité

L'ouvrabilité des bétons est déterminé à l'aide de l'essai d'affaissement d'Abrams de dimensions ($D=20$; $d=10$; $h=30$ cm) selon la norme [18]. Il permet de déterminer la consistance d'un béton frais en mesurant l'affaissement qui n'est autre que la différence entre la hauteur du moule conique utilisé et le point le plus haut du corps d'épreuve affaissé.

L'essai consiste à remplir une masse de béton frais dans un cône tronconique en trois couches tassées avec une tige d'acier, dont chacune subit un nombre déterminé de coups de piquage, puis démoulé verticalement et mesuré l'affaissement.

La figure illustre un essai de l'affaissement du cône d'Abrams d'un mélange de béton de sable testé.



Figure III.2. Essai d'affaissement cône d'Abrams

III.4.2. Masse volumique

La masse volumique des mélanges du béton de sable à l'état frais est caractérisé par la masse d'une quantité de béton frais rapporté à son volume après vibration selon la norme NF EN 12350-6[25]

$$\rho = \frac{m_{\text{rempli}} - m_{\text{vide}}}{V} \text{ (g/cm}^3\text{)}$$

m_{vide} : la masse du récipient vide en g

m_{rempli} : la masse du récipient rempli de matériau en g

V : volume du récipient en cm^3



Figure III.3. Mesure de la masse volumique

III.5. Résultats et interprétation

III.5.1. Effet de la nature des fillers recyclés sur la maniabilité des bétons de sable.

Les résultats de la maniabilité des bétons de sable à base de différents types et nature des fillers recyclés (fillers de brique et de verre) caractérisées par l'essai de l'affaissement au cône d'Abrams sont illustrés dans le tableau III.2 et présentés aux figures III.4, III.5 et III.6

Tableau III. 2. Maniabilité des bétons d'étude selon la nature des fillers recyclés

Type de béton	BST	BSFCB	BSFB	BSFCV	BSFV	BSFBV
Aff (cm)	9	7	6	7	10	5

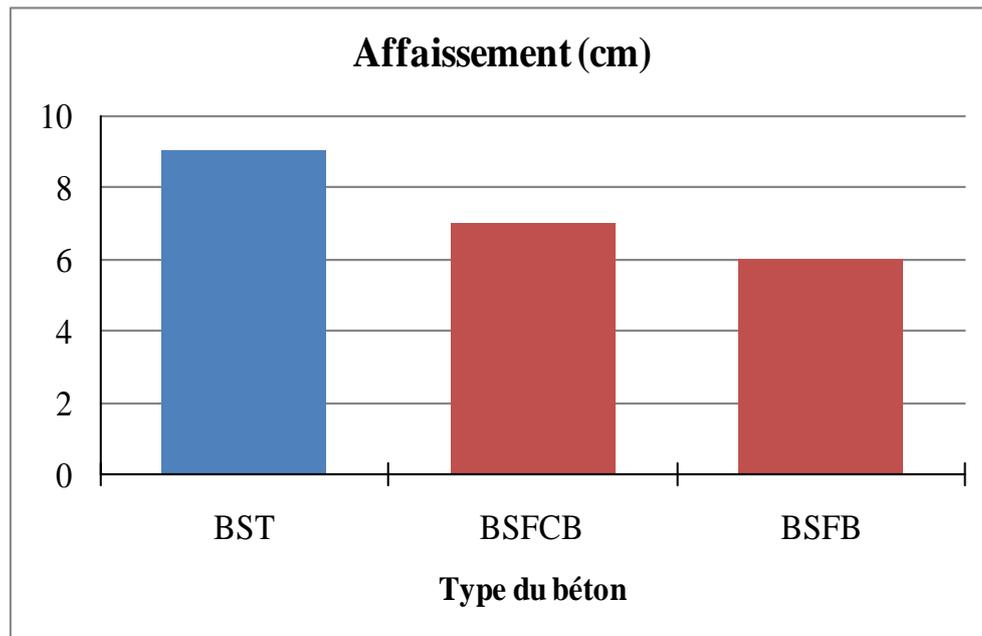


Figure III.4. Effet des fillers de brique recyclés sur la maniabilité des bétons de sable

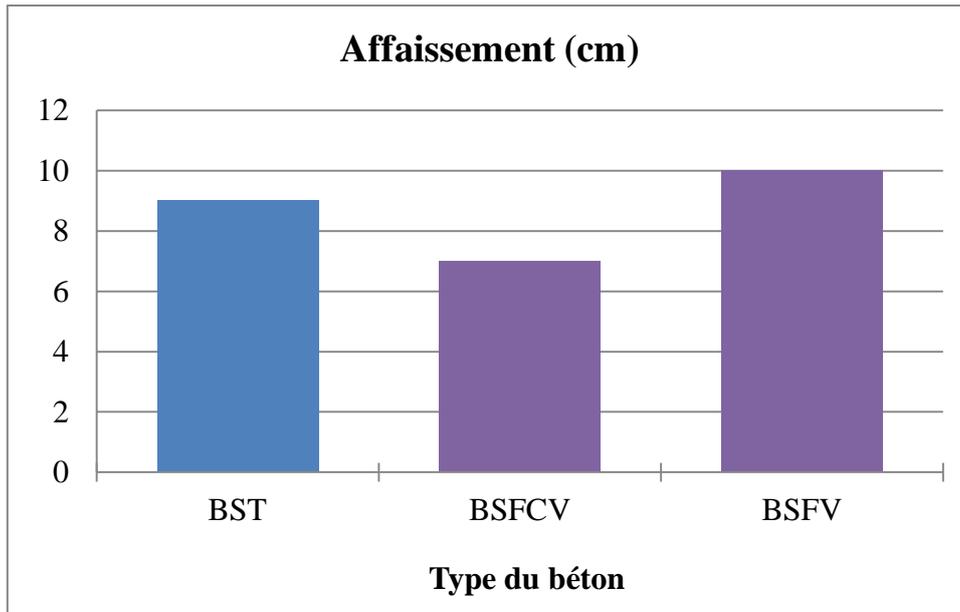


Figure III.5. Effet des fillers de verre recyclés sur la maniabilité des bétons de sable

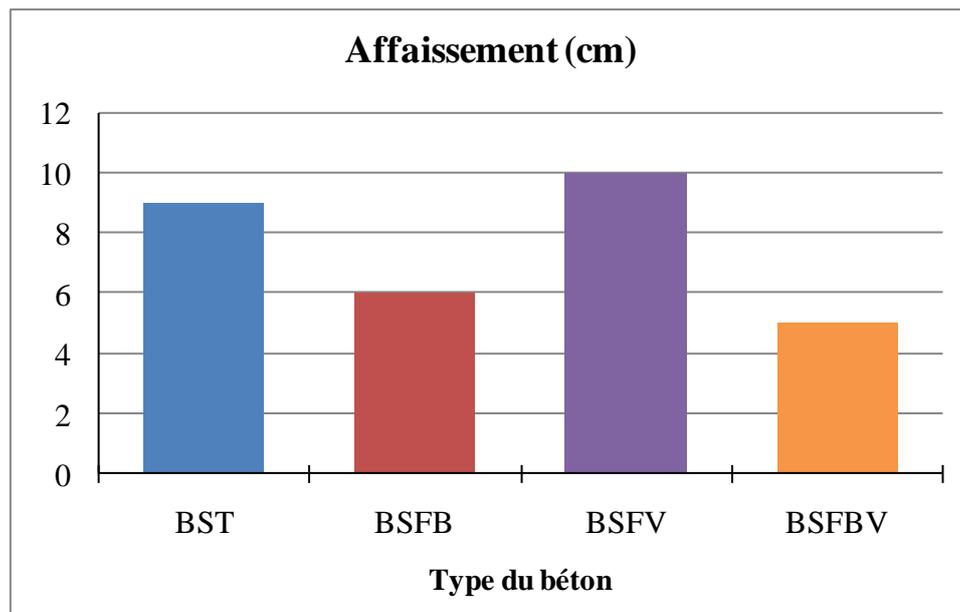


Figure III.6. Effet des fillers de brique et verre recyclés sur la maniabilité des bétons de sable

D'après les résultats présentés aux figures III.4, III.5 et III.6 on peut nettement constater que la nature des fillers recyclés affecte la maniabilité des bétons de sable caractérisé par l'affaissement au cône d'Abrams.

Selon les résultats illustrés à la figure III.4 on observe que la maniabilité diminue avec le dosage en filler de brique substituée au filler de calcaire. Ceci est expliqué par l'augmentation

de la cohésion de filler de brique dans le contact avec de l'eau, même avec une surface spécifique élevée les bétons le moins maniables sont ceux avec filler de brique avec taux de diminution de 33%.

Les fillers de brique et les briques d'une façon générale sont composés essentiellement d'argile et il est bien connu que les argiles contrairement aux autres minéraux présentent une cohésion élevée.

Ce résultat est enregistré pour le béton avec le mélange de deux fillers (filler de brique et de verre) bien présenté dans la figure III.6, ce mélange a engendré une diminution de la maniabilité de l'ordre de 45%

La figure III.5 montre que la substitution partielle de filler de calcaire par la poudre de verre diminue la maniabilité des bétons d'étude par contre avec la substitution totale ou remplacement de filler de calcaire par la poudre de verre améliore la et augmente la maniabilité. Cette augmentation de la maniabilité peut s'expliquer par la finesse ou surface spécifique des fillers de verre qui est supérieur à celle de filler de calcaire plus que la surface spécifique de l'addition est importante plus que la maniabilité augmente.

III.5.2.Effet de la nature des fillers recyclés sur la masse volumique des bétons d'étude

Les résultats de l'effet de la nature des fillers recyclés sur la masse volumique des bétons testés sont regroupés dans le tableau III.3 et illustrés dans la figure III.7.

Tableau III.3. Effet de la nature des fillers recyclés sur la masse volumique des bétons testés

Type de béton	BST	BSFCB	BSFB	BSFCV	BSFV	BSFBV
Masse volumique(g/cm ³)	2,30	2.28	2,30	2,31	2,27	2,33

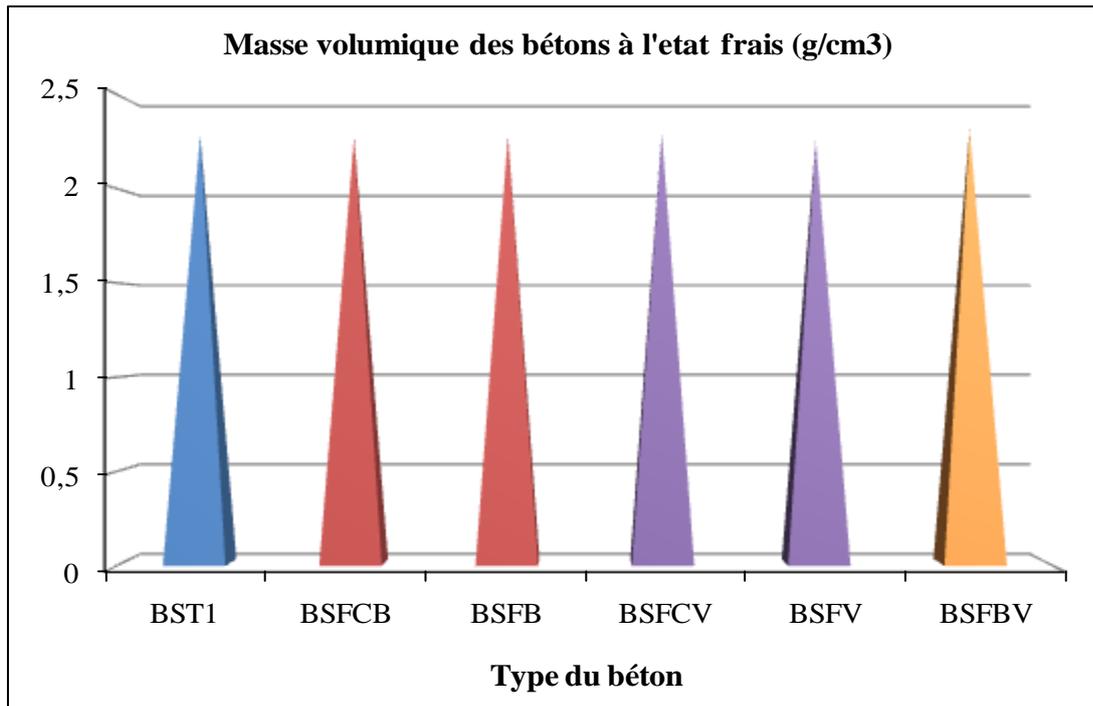


Figure III.7. Effet des fillers recyclés sur la variation de la masse volumique des bétons de sable

Les résultats obtenus et présentés sur la figure **III.7** montrent que la nature des fillers recyclés ne modifie pas de façon significative la masse volumique des bétons de sable à l'état frais. Les valeurs de la masse volumique des six compositions sont proches, cela peut s'expliquer par la quantité des fillers dans le béton de sable et les masses volumiques intrinsèques des fillers qui sont aussi proches.

III.6-Conclusion.

Dans ce chapitre on a présenté l'approche de formulation utilisée pour formuler les bétons d'études, la méthode choisie est la méthode "SABLECRETE», elle est très pratique et simple. Ainsi que les essais utilisés pour caractériser ces bétons à l'état frais (l'influence de la nature des fillers recyclés sur la maniabilité et la masse volumique des bétons de sable).

Par l'analyse des résultats obtenus nous pouvons énoncer que :

- La nature des fillers influence considérablement la maniabilité des bétons mais ces bétons tous présentent une plasticité acceptable avec des affaissements supérieur à 5cm.
- Les fillers de brique recyclé diminuent la maniabilité des bétons contrairement les fillers de verre.
- L'effet de la nature des fillers recyclés sur la masse volumique des bétons de sable frais est négligeable.

CHAPITRE IV: PROPRIETES DES BETONS A L'ETAT DURCI ET DURABILITE

CHAPITRE IV : PROPRIETES DES BETONS A L'ETAT DURCI ET DURABILITE**IV.1. Introduction**

Ce dernier chapitre est consacré pour présenter les résultats de l'influence de la nature des fillers recyclés sur les propriétés mécaniques des bétons ainsi que sur des indicateurs principaux de la durabilité (porosité, absorption d'eau par capillarité et par immersion totale).

IV.2. Confection des éprouvettes**IV.2.1. Préparation du béton**

La préparation des éprouvettes est réalisée selon la norme NF P 18-400 [27]. Le malaxage du béton est réalisé à l'aide d'un malaxeur à béton. La durée totale de malaxage 5 (1 minute de malaxage à sec et 4 minutes de malaxage humide).

La vibration est le moyen le plus courant pour donner au béton sa compacité maximale et pour éliminer les vides d'air, elle est réalisée sur une table vibrante à amplitude de vibration réglable. La durée totale de vibration est de l'ordre d'une minute.



Figure IV.1. Malaxeur pour béton

IV.2. 2. Mise en place du béton

La vibration est le moyen le plus courant pour donner au béton sa compacité maximale et pour éliminer les vides d'air.

Le choix du mode de mise en place dépend de la consistance du béton mesurée par l'essai d'affaissement. Notre affaissement est presque égale 10 ± 1 cm, nous avons procédé à la mise

en place du béton dans les moules prismatiques (4x4x16) cm, en deux couches. Elle est réalisée sur une table vibrante à amplitude de vibration réglable. La durée totale de vibration est de l'ordre 30 secondes conformément à la norme NF P 18-422.



Figure IV.2. Vibration du béton

IV.2.3. Conservation des éprouvettes

Les éprouvettes après démoulage ont été totalement immergées dans l'eau à une température ambiante de $20\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ jusqu'aux échéances des différents essais.



Figure IV.3. Conservation des éprouvettes

IV.3.Essais mécaniques

IV.3.1.Essai de compression

L'essai de compression est réalisé selon la norme **NF EN 12390-3 [19]** sur les demi éprouvettes obtenu après l'essai de traction par flexion sur des éprouvettes prismatique de dimensions (4x4x16) cm à l'aide d'une presse hydraulique de capacité maximale de 2000 KN aux échéances de 7,14,28 et 60 jours.

La résistance à la compression est calculée selon la formule suivante :

$$\sigma = \frac{P}{S} \text{ [MPa]}$$

P : charge de rupture en N

S : Section d'éprouvette en mm²



Figure IV.4.Description d'essai de compression

IV.3.2.Essai de traction par flexion

Les éprouvettes utilisées pour l'essai de traction par flexion sont des éprouvettes prismatiques (4x4x16) cm. La machine d'essai est de capacité maximale de 2000 kN à vitesse constante.

La résistance à la compression est calculée selon la formule suivante

$$R_{tf} = \frac{3PL}{2bh^2}$$

P : l'effort de rupture N

L : la distance ente les appuis mm

b, h : dimension d'éprouvette mm



Figure IV.5. Essai de traction par flexion

IV.4. Propriétés de transfert

IV.4.1- Porosité accessible à l'eau

La porosité accessible à l'eau est définie par le rapport du volume total des pores ouverts dans un corps poreux à son volume apparent. Elle s'exprime en pourcentage du volume apparent. Cette porosité est déterminée selon le mode opératoire des recommandations de l'**AFPC-AFREM** [AFPC-AFREM, 1997]. [20] Les mesures sont effectuées après 60 jours de maturation sur trois échantillons prismatiques (4x4x16) cm de béton de sable avec fillers recyclés. Le principe de cette méthode consiste en réalité de peser les échantillons sous différents états (hydrostatique, saturé et sec).

Les échantillons sont placés dans un dessiccateur à vide, sous une dépression de 25 mbar pendant 4 heures, puis sont immergés dans l'eau, toujours sous vide, pendant 20 heures ± 1 heure pour s'assurer que les échantillons sont saturés en eau.

Ensuite, les éprouvettes subissent une pesée hydrostatique mentionnée sur la figure (IV.6) qui donne la masse du corps d'épreuve immergée M_{eau} .

Les éprouvettes sont ensuite pesées à l'air on obtient alors la masse du corps d'épreuve imbibé pesé dans l'air (Mair). La troisième pesée nécessite un passage dans une étuve de

séchage à $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, jusqu'à stabilisation de la masse de l'échantillon. La dernière pesée nous fournit la masse sèche du corps d'épreuve (M_{sec})

A partir de ces trois masses on détermine la porosité accessible à l'eau ε en % et la masse volumique apparente sèche ρ en g/cm^3 .

$$\varepsilon = \frac{M_{\text{air}} - M_{\text{sec}}}{M_{\text{air}} - M_{\text{eau}}} \times 100$$

M_{eau} : Masse du corps d'épreuve immergé dans l'eau (en gr)

M_{air} : Masse du corps d'épreuve imbibé pesé dans l'air (en gr)

M_{sec} : Masse du corps d'épreuve sec (en gr)



Figure IV.6. Mesure de la porosité accessible à l'eau / Pesée hydrostatique

IV.4.2- Absorption d'eau par capillarité

L'essai d'absorption d'eau par capillarité est un essai qui nous donne une information sur la capacité d'absorption d'eau dans un béton par remontée capillaire. Il consiste à mesurer la masse d'eau absorbée par une éprouvette de béton préalablement conditionnée par un étuvage à 80°C .

L'essai a été réalisé suivant la recommandation de l'**AFPC-AFREM** [20] sur des échantillons de béton de sable de forme prismatique et de dimensions (4x4x16) cm. La procédure de pré-conditionnement des échantillons est la suivante :

- Un séchage de l'échantillon à 80°C jusqu'à l'obtention d'une masse constante (l'état sec est obtenu lorsque deux pesées espacées de 24 heures, ne diffèrent pas plus, de 0,1%).
- L'étanchéité latérale est assurée à l'aide d'un papier d'aluminium adhésif.

- Les échantillons sont immergés dans l'eau du récipient sur une hauteur maximale de 3 millimètres à l'aide de cales (voir la figure IV.5). Par ailleurs, le récipient est muni d'un couvercle évitant l'évaporation de l'eau.
- L'essai consiste à suivre par pesées successives la quantité d'eau absorbée par un échantillon de béton ou de mortier préalablement séché à des échéances de 0, 15min, 30min, 1h, 2h, 4h, 8h et 24h. Ce qui permet une caractérisation indirecte de la porosité capillaire.

À partir des mesures des masses et pour chaque échéance t, on peut déterminer le coefficient d'absorption capillaire par l'équation suivante :

$$Ca_t = \frac{M_t - M_0}{A}$$

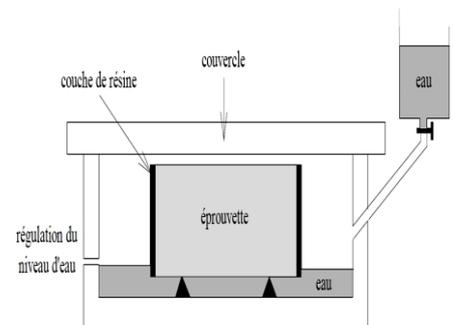
Ca_t : Coefficient d'absorption à l'échéance t (kg/m^2).

M_t : Masse de l'éprouvette à une échéance donnée (kg).

M_0 : Masse initiale de l'éprouvette (kg).

A : la section de l'éprouvette au contact de l'eau (m^2).

Finalement, le coefficient d'absorption capillaire est présenté schématiquement en fonction de la racine carrée du temps.



A/ Dispositif expérimental pour l'essai d'absorption capillaire

B/ Schéma du dispositif de la mesure de l'absorption d'eau par capillarité

[AFPC-AFREM 1997].

Figure IV.7. Essai d'absorption capillaire

IV.4.3- Absorption d'eau par immersion totale :

Le béton est un matériau poreux. En d'autres termes, il comporte des pores ou vides. Ces pores sont déterminants pour la résistance et la durabilité du béton. En effet, une faible porosité constitue le meilleur moyen de défense des bétons contre tous les agents agressifs.

L'absorption d'eau par immersion est donc le résultat des mouvements capillaires dans les pores du béton qui sont ouverts sur le milieu ambiant. Elle est déterminée par immersion d'une éprouvette de béton dans l'eau jusqu'à masse constante et en mesurant l'augmentation de masse. Elle est exprimée en pourcentage de la masse sèche de l'éprouvette. Etant une image de la porosité, l'absorption d'eau est utilisée comme un indicateur de la qualité du béton.

Les opérations sont effectuées dans l'ordre suivant :

- immersion dans un bac à eau à 20 ± 2 °C durant un minimum de 48 h et jusqu'à masse humide constante ; avant la pesée, l'éprouvette est essuyée avec une peau de chamois humide de manière à la débarrasser de son eau superficielle ;
- dessiccation durant un minimum de 72 h et jusqu'à masse sèche constante dans une étuve ventilée dont la température est maintenue à 105 ± 3 °C.

La masse est considérée constante lorsque deux pesées successives à 24 h d'intervalle ne donnent pas une différence supérieure à 0,1 %.

- L'absorption d'eau par immersion Abs est exprimée en pour-cent de la masse sèche et est calculée par la relation suivante :

$$Abs = \frac{M_{humide} - M_{sèche}}{M_{sèche}} \times 100\%$$

Avec :

M_{humide} , la masse humide constante de l'éprouvette après immersion (g)

- $M_{sèche}$, la masse sèche constante de l'éprouvette après séchage à l'étuve(g)

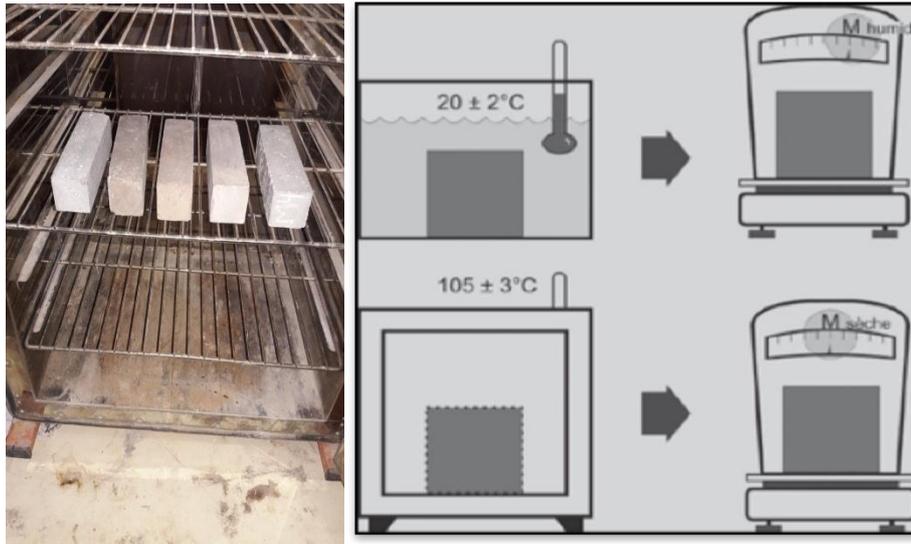


Figure IV.8. Schéma du dispositif de la mesure de l'absorption d'eau par immersion totale

IV.5. Résultats et discussion

IV.5.1. Effet de la nature et de taux de substitution en fillers recyclés sur les propriétés mécaniques des bétons

IV.5.1.1. Résistance en traction par flexion

Les résultats de l'effet de la nature et le taux de substitution en fillers de brique et de verre recyclés sur la résistance en traction par flexion des bétons de sable sont regroupés dans le tableau VI.1 et illustrés par les figures VI.9, VI.10 et VI.11. Les essais ont été effectués aux différents âges du béton : 2, 14, 28 et 60 jours.

Tableau VI.1 : Résistance en traction par flexion des bétons de sable d'étude

Age d'écrasement (Jours)	Type du béton					
	BST	BSFCB	BSFB	BSFCV	BSFV	BSFBV
7	4,50	7,44	4,56	4,90	4,42	5,95
14	5,86	8,15	6,84	6,11	7,83	7,65
28	7,56	9,12	8,91	7,94	8,50	8,61
60	8,21	9,45	10,27	9,37	9,62	9,66

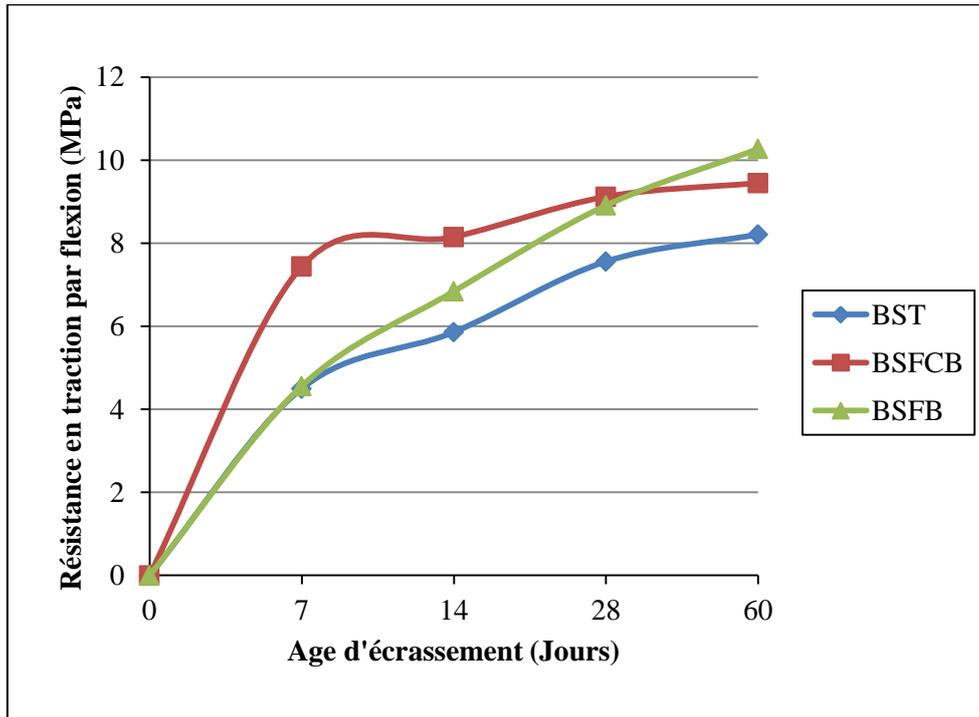


Figure IV.9-Résistance en traction par flexion des bétons à base de filler de brique

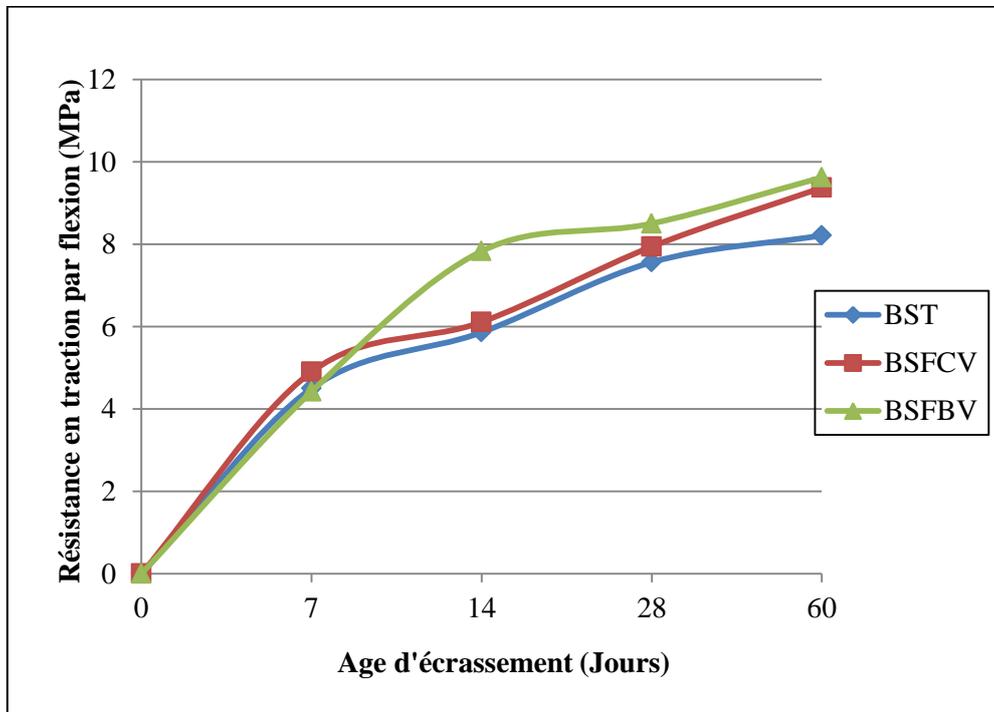


Figure IV.10-Résistance en traction par flexion des bétons à base de filler de verre

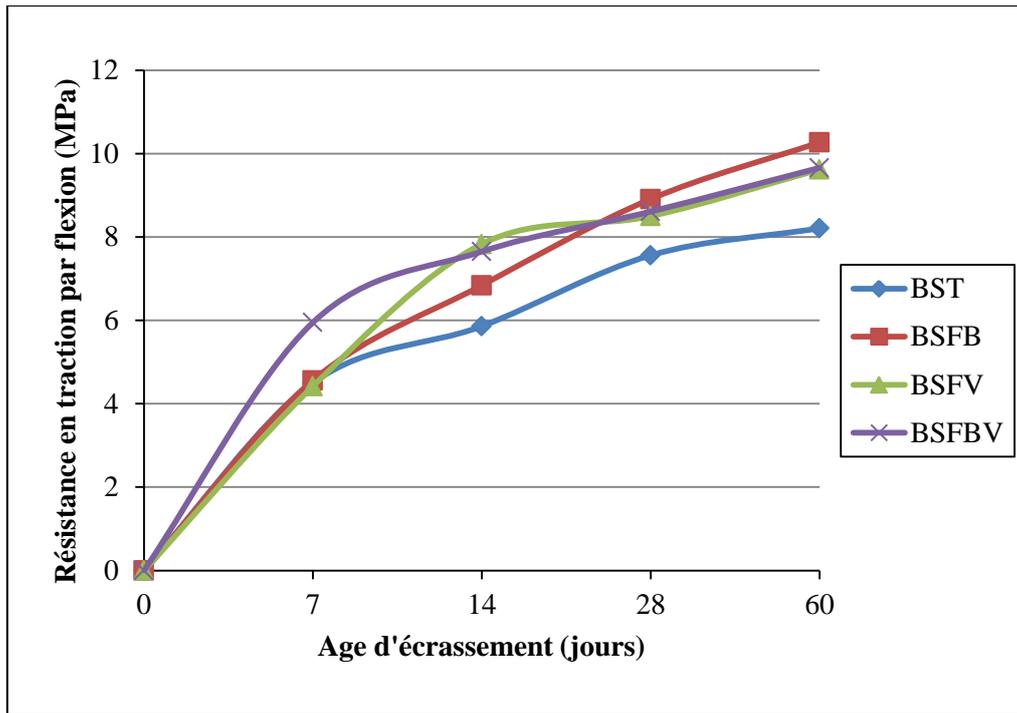


Figure IV.11-Effet de la nature des fillers recyclés sur la résistance en traction par flexion des bétons

Les figures **IV.9**, **IV-10** et **IV-11** montrent que la résistance en traction des bétons de sable est très influencée par la nature et le taux de substitution en fillers de verre et de brique recyclés. On constate une évolution progressive de la résistance dans le temps pour tous les bétons avec fillers de verre et de brique.

après 60 jours la figure **IV.9** montre une augmentation de la résistance avec l'augmentation de taux de substitution en poudre de brique, cette augmentation est de l'ordre de 15% et 25% respectivement avec les taux de 50 et 100% de filler de brique en comparaison avec celle de béton témoin 100% filler calcaire.

Les bétons de sable avec filler de verre également présentent des bonnes résistances d'après la figure **IV.10** les augmentations sont de l'ordre de 7% et 10% respectivement avec les taux de 50 et 100% de filler de verre en comparaison avec celle de béton témoin.

Cette progression dans la résistance des bétons de sable avec fillers de verre et de brique peut s'expliquer par la finesse et l'activité pouzzolanique de ces fillers qui se manifestent surtout à long terme et qui donnent une microstructure plus dense surtout obtenue grâce à l'effet du remplissage et à la formation des CSH secondaire par réaction entre la silice de la poudre de verre et la poudre de brique et la portlandite formée pendant l'hydratation du ciment.

IV.5.1.2. Résistance en compression

Les résultats de l'effet de la nature et le taux de substitution en fillers de brique et de verre recyclés sur la résistance en compression des bétons de sable sont regroupés dans le tableau VI.2 et illustrés par les figures VI.12, VI.13 et VI.14.

Tableau VI.2 : Résistance en compression des bétons de sable d'étude

Age d'écrasement (Jours)	Type du béton					
	BST	BSFCB	BSFB	BSFCV	BSFV	BSFBV
7	17,05	22,00	15,34	17,88	20,71	16,57
14	25,25	29,32	23,88	28,43	29,07	29,32
28	35,22	36,64	36,70	34,75	33,91	36,04
60	36,13	37,92	42,18	38,55	39,55	40,5

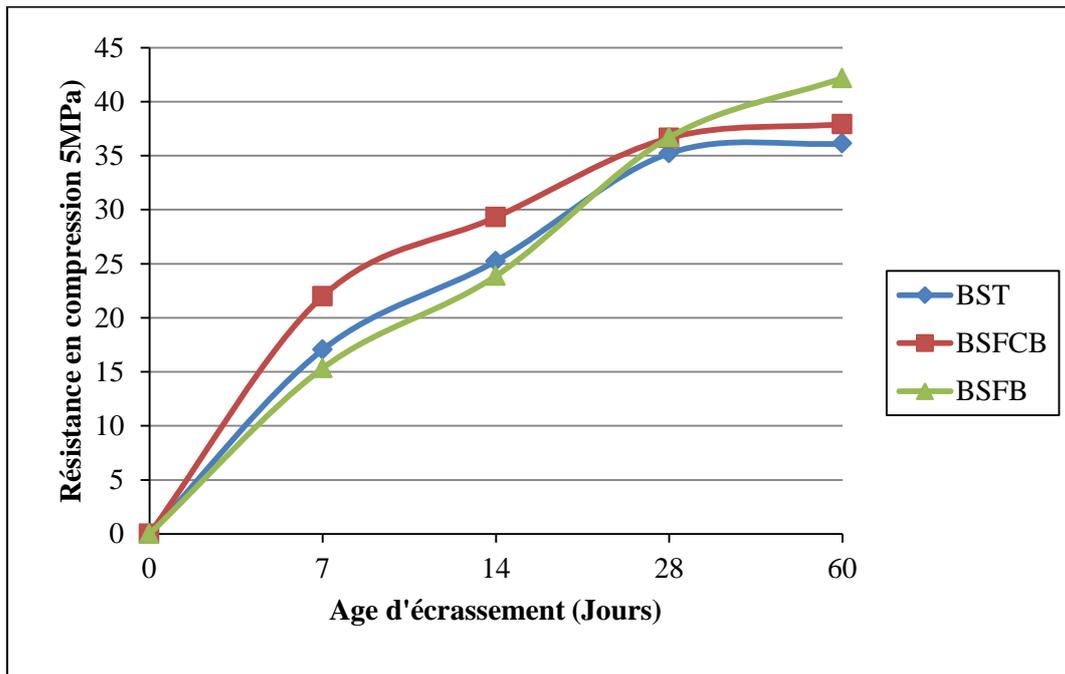


Figure IV.12-Résistance en compression des bétons à base de filler de brique

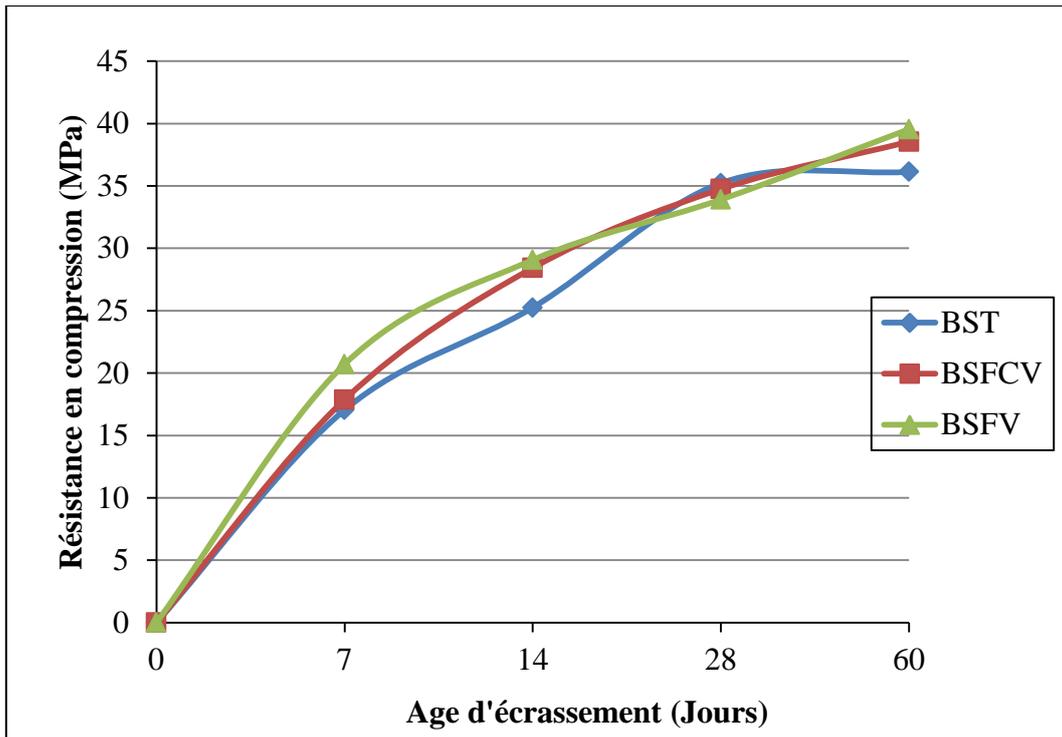


Figure IV.13-Résistance en compression des bétons à base de filler de verre

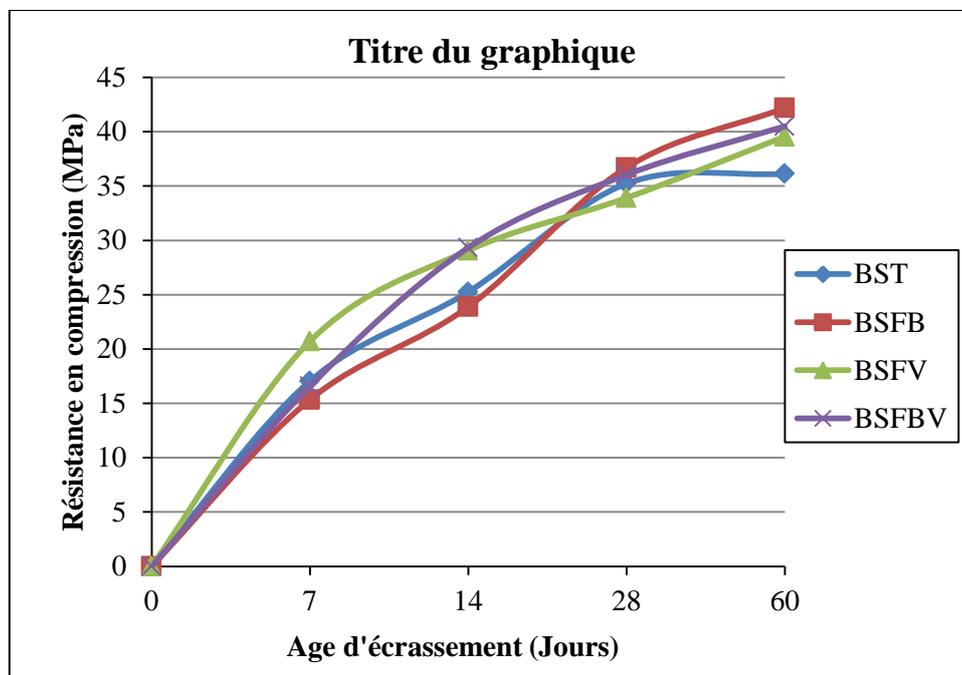


Figure IV.14-Effet de la nature des fillers recyclés sur la résistance en compression des bétons

Le tableau **IV.2** et les figures **IV.11**, **IV.12** et **IV.13** montrent que l'évolution des résistances des bétons de sable en compression comme en traction par flexion conservés est sensiblement affectée par la nature des additions.

L'utilisation des fillers de verre et de brique augmente et améliore la résistance en compression des bétons de sable. Une augmentation après 60 jours de l'ordre de 5% et 17% respectivement avec les taux de 50 et 100% de filler de brique, de l'ordre de 7% et 11% respectivement avec les taux de 50 et 100% de filler de verre et de l'ordre de 12% pour le mélange de deux fillers en comparaison avec celle de béton témoin.

Cette amélioration dans la résistance des bétons de sable avec fillers de verre et de brique peut s'expliquer par la finesse et l'activité pouzzolanique de ces fillers qui donnent une microstructure plus dense surtout obtenue grâce à l'effet du remplissage et à la formation des CSH secondaire par réaction entre la silice de la poudre de verre et la poudre de brique et la portlandite formée pendant l'hydratation du ciment.

IV.5.2. Effet de la nature et de taux de substitution en fillers recyclés sur les propriétés de transferts des bétons

IV.5.2.1. Porosité accessible à l'eau

Les résultats de la porosité accessible à l'eau des bétons de sable avec fillers recyclés sont récapitulés au tableau **IV.3** et présentés par la figure **IV.14**

Tableau IV.3. Effet de la nature des fillers taux sur la porosité accessible à l'eau des bétons de sable

BST	BSFCB	BSFB	BSFCV	BSFV	BSFBV
18,86	16,12	16,06	17,54	16,89	17,32

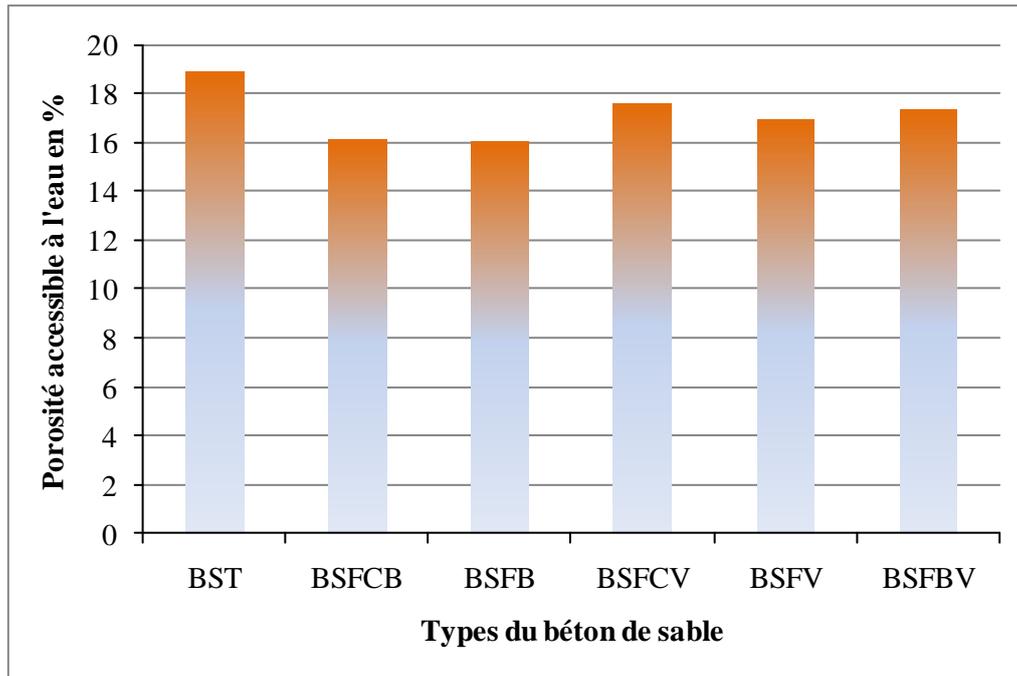


Figure IV.15-Effet de la nature des fillers taux sur la porosité accessible à l'eau des bétons de sable

Les résultats de la porosité accessible à l'eau des bétons de sable avec fillers recyclés de verre et de brique sont présentés sur la figure **IV.14**. On peut nettement remarquer que la porosité des bétons diminue avec l'utilisation des fillers de brique et verre, et que la poudre de brique donne les plus faibles porosités par rapport au calcaire et la poudre de verre avec une diminution de l'ordre de 15%. Cela est attribué à l'effet de remplissage et la formation des CSH secondaires obtenus grâce à la finesse et la réactivité pouzzolanique de ces fillers qui améliorent la compacité.

IV.5.2.2. Absorption d'eau par capillarité

Les résultats du coefficient d'absorption d'eau par capillarité des bétons de sable avec fillers recyclés de verre et de brique en substitution partielle et totale au filler de calcaire sont regroupés dans le tableau **IV. 4** et présentés au niveau des figures **IV.15**

Tableau IV.4. Effet de la nature des fillers taux sur l'absorption d'eau par capillarité des bétons de sable

Types du Béton	Racine carré du temps \sqrt{t} $\sqrt{\text{min}}$							
	0	0,39	0,71	1,00	1,41	2,00	2,83	4,90
BST	0	0,14	0,17	0,207	0,314	0,427	0,562	0,764
BSFCB	0	0,074	0,089	0,103	0,152	0,177	0,249	0,49
BSFB	0	0,059	0,0754	0,105	0,14	0,227	0,262	0,465
BSFCV	0	0,08	0,096	0,146	0,225	0,337	0,41	0,712
BSFV	0	0,068	0,102	0,156	0,202	0,28	0,334	0,549
BSFBV	0	0,052	0,065	0,115	0,175	0,262	0,309	0,531

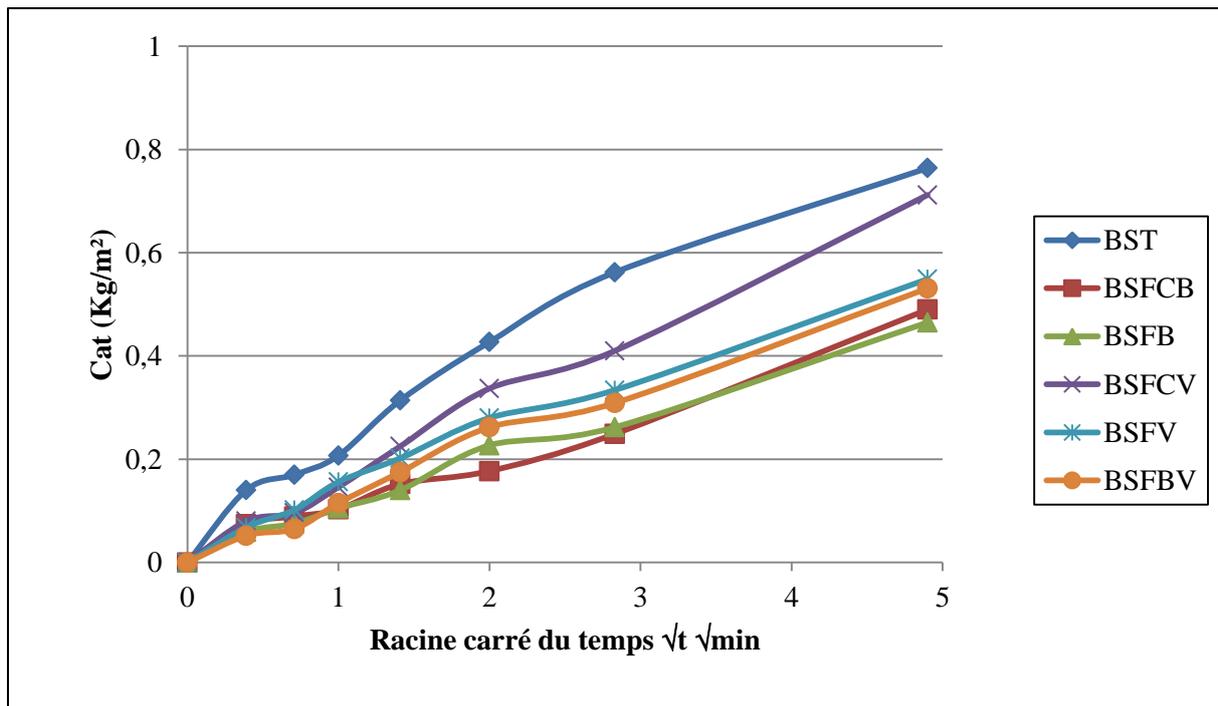


Figure IV.16- Effet de la nature des fillers taux sur l'absorption d'eau par capillarité des bétons de sable

D'après les résultats de tableau **IV.4** illustrés à la figure **IV.15** On peut constater que le coefficient d'absorption d'eau des bétons de sable augmente avec l'augmentation de la racine carrée du temps.

Le réseau poreux, la forme, la géométrie et la taille des pores influencent la cinétique d'absorption d'eau. D'après la littérature plusieurs auteurs donnent une interprétation sur cette relation entre la porosité et cinétiques d'absorption. *Bessa* a montré que plus le réseau poreux est fin, plus la cinétique d'absorption est faible et par conséquent le coefficient d'absorption est faible. Plus la pente de la droite de la courbe d'absorption est élevée, plus les pores sont plus gros et dès que la remontée capillaire est accomplie dans les plus gros pores au bout d'un certain temps, l'absorption se poursuit dans les pores les plus fins et de ce fait, la cinétique d'absorption sera ralentie. [21]

Selon la figure **IV.16** on constate, que la pente de la droite de la courbe d'absorption des bétons avec filler de brique est plus faible par rapport à celle de béton témoin et de béton avec la poudre de verre. Ceci est dû à l'améliore la compacité suite à la réaction de formation des CSH secondaires et la finesse de ce filler.

Les bétons de sable sont caractérisés par un réseau capillaire fine avec des dimensions des pores très petits, dans ce cas la remontée capillaire dans ce réseau justifie le ralentissement de la cinétique d'absorption d'eau de ces bétons.

IV.5.2.3.Absorption d'eau par immersion

Les résultats du coefficient d'absorption d'eau par immersion totale des bétons de sable avec fillers recyclés de verre et de brique en substitution partielle et totale au filler de calcaire sont regroupés dans le tableau **IV. 5** et présentés au niveau des figures **IV. 16**

Tableau IV.5. Effet de la nature des fillers taux sur l'absorption d'eau par immersion des bétons de sable

BST	BSFCB	BSFB	BSFCV	BSFV	BSFBV
2,12	2,17	1,83	1,98	1,89	1,73

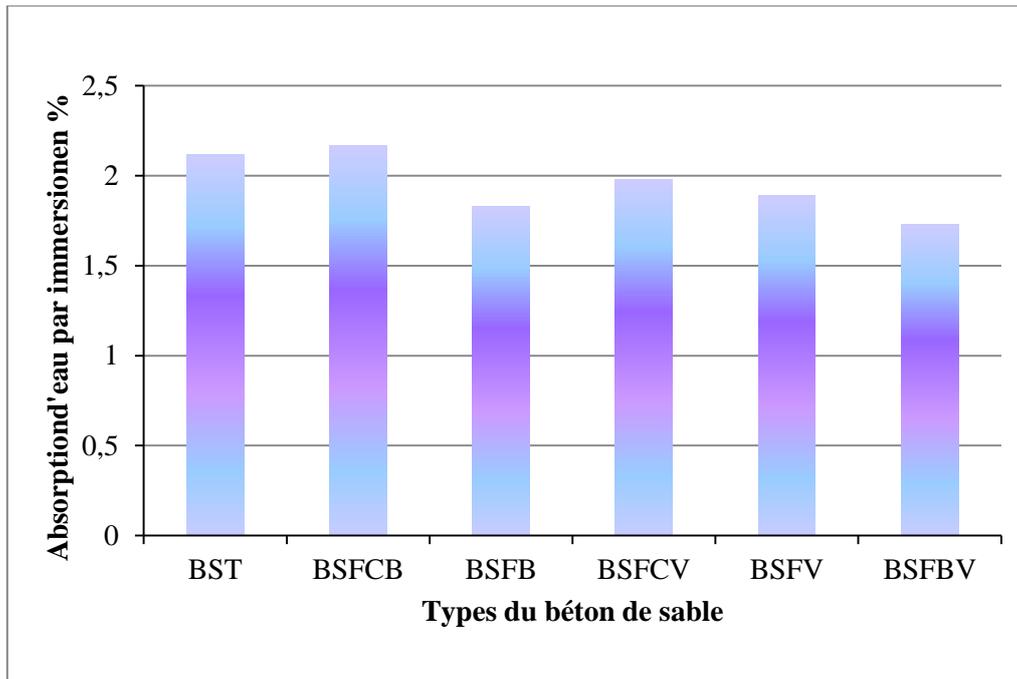


Figure IV.17-Effet de la nature des fillers taux sur l'absorption d'eau par immersion des bétons de sable

Les résultats de la d'absorption d'eau par immersion des bétons de sable avec fillers recyclés de verre et de brique présentés sur la figure **IV.17** peut confirmer que l'utilisation des fillers de brique et verre améliore la compacité des bétons et diminue la porosité.

Les bétons avec la poudre de brique présente les plus faibles d'absorption d'eau et même le mélange de deux fillers de brique et de verre.

Conclusion

Dans ce chapitre on a présentés l'effet des fillers recyclés de verre et de brique sur les caractéristiques mécaniques et de transfert des bétons de sable. D'après les résultats obtenus précédemment on peut dire que:

- L'utilisation des fillers de verre et de brique augmente et améliore les résistances mécaniques des bétons de sable grâce à la finesse et la réactivité puozzolanique de ces fillers.
- Les propriétés de transfère des bétons est affectée par la nature des fillers de brique et de verre recyclé
- Le béton de sable avec filler brique est le moin poreux en suit les bétons avec filler par rapport à ceux avec fillers calcaire
- Le coefficient d'absorption des bétons de sable augmente avec l'augmentation de racine carrée du temps, ce coefficient diminue avec l'ajout de la poudre de brique et de verre.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

Ce mémoire a mis en évidence la valorisation de fillers de brique et de verre dans l'élaboration des bétons de sable ,le but principal de ce travail est :

- La caractérisation de ces béton avec fillers de brique et de verre à l'état frais et à l'état durci.

Par l'analyse des résultats obtenus nous pouvons énoncer :

- ❖ Les propriétés physico-mécaniques des bétons de sable sont influencées par le type ,la granulométrie et la dimension maximale du sable utilisé et aussi la nature et la finesse de l'addition ou de fines d'ajouts.
- ❖ La valorisation des déchets permet de protéger les ressources, de réduire les déchets, de protéger la nature et d'économiser les matières premières.
- La nature des fillers influence considérablement la maniabilité des bétons mais ces bétons tous présentent une plasticité acceptable avec des affaissements supérieur à 5cm.
- Les fillers de brique recyclé diminuent la maniabilité des bétons contrairement les fillers de verre.
- L'effet de la nature des fillers recyclés sur la masse volumique des bétons de sable frais est négligeable.

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographique

[1]	<i>[Sablocrete,1994]</i> « Sablocrete, béton de sable : caractéristiques et pratiques d'utilisation », presses de l'école nationale des ponts et chaussées, France, (1994).
[2]	<i>[NF P18- 500, 2005]</i> NF P18- 500, « Béton : Béton de sable », (2005)
[3]	<i>[NF P18- 541]</i> « Granulats – Définitions –Conformité et Spécifications ». AFNOR, Paris 1997
[4]	<i>[Lacroix et al, 1982]</i> Lacroix. R., Fuentes. A., Thonier. H., « <i>Traité de béton armé</i> ». Livre edition Eyrolles, (1982).
[5]	<i>[NF EN 197-1]</i> - <i>Ciment -Partie 1 : Composition, spécifications et critères de conformité des ciments courants – 2012 – 04 - 01</i>
[6]	Gadri Karima , « contrubition à l'étude d'un béton de sable avec Fibre et résine destine pour la réparation mince des structures »,mémoire de magister, Université mohamed khider Biskra ,2007.
[7]	Fatma Melais , « durabilité des béton de sable fibre donne les différents milieux agressifs « effets de la nature des fines d'ajouts et fibres » » ,thèse de doctorat 3 ème cycle ,2016
[8]	<i>[Ali-Boucetta, 2014]</i> Ali Boucetta. T., « <i>Contribution du laitier granulé et de la poudre de verre sur les propriétés d'écoulement et de durabilité des bétons autoplaçants et de hautes performances</i> ». Thèse de doctorat, Université d'Annaba, Algérie, (2014), 226p.
[9]	<i>[NF EN 1008, 2003]</i> NF EN 1008 « <i>Eau de gâchage pour bétons</i> », Spécifications d'échantillonnage, d'essais et d'évaluation de l'aptitude à l'emploi, y compris les eaux des processus de l'industrie du béton, telle que l'eau de gâchage pour béton, (2003).
[10]	<i>[NF EN 934-2, 2002]</i> NF EN 934-2 « <i>Adjuvants pour béton, mortier et coulis Partie 2 : Adjuvants pour béton -Définitions, exigences, conformité, marquage et étiquetage</i> », (2002)
[11]	<i>[Achoura, 2005]</i> Achoura. D., « <i>contribution à l'étude de la formulation et de la caractérisation des bétons de sable à base de laitiers de hauts fourneaux d'El-Hadjar</i> », thèse de doctorat,

	Université Badji-Mokhtar, Annaba, Algérie, (2005).
[12]	la loi française de 1975 Définitions des déchets
[13]	Bourema Moufida. Mémoire de master 2015 « Etude des caractéristiques d'un BHP à base de déchet de brique rouge à l'état frais et durci »
[14]	[NF EN 1008, 2003] NF EN 1008 « <i>Eau de gâchage pour bétons</i> », Spécifications d'échantillonnage, d'essais et d'évaluation de l'aptitude à l'emploi, y compris les eaux des processus de l'industrie du béton, telle que l'eau de gâchage pour béton, (2003).
	P 18-560 Granulats – Analyse granulométrique par tamisage
[15]	NF EN 1097-3 Méthode pour la détermination de la masse volumique en vrac et de la porosité inter granulaire.
[16]	NF EN 196-3 / IN1 Janvier 2009 . Méthodes d'essais des ciments – partie 3 : détermination du temps de prise et de la stabilité.
[17]	[NF EN 12350-2, 1999] NF EN 12350-2, « <i>Essai pour béton frais. Partie 2: Essai d'affaissement</i> » AFNOR, décembre 1(999).
[18]	NF EN12390-3, 2000] NF EN12390-3, « <i>Essai pour béton durci, partie3: résistance à la compression sur éprouvette</i> », Aout (2000).
[19]	[AFPC-AFREM 1997] AFPC-AFREM., Méthodes recommandées pour la mesure des grandeurs associées à la durabilité, Compte-rendu des journées techniques AFPC-AFREM « <i>Durabilité des bétons</i> », Toulouse, (1997).
[20]	
[21]	[Bessa-Baderddine, 2004] Bessa-Baderddine. A., « <i>Etude de la contribution des additions minérales aux propriétés physiques, mécaniques et de durabilité des mortiers</i> », thèse de doctorat, Université de Cergy-Pontoise, France, (2004), 236p.
[22]	https://wienerberger.fr brique recyclé
[23]	Module de finesse la norme XP P 18 -540 définit : le module de finesse d'un sable qui caractérise sa granularité comme le 1 /100ème .

[24]	Bourema Moufida. Mémoire master 2015 [effet de l'activation mécanique de l'argile cuite (déchets de briques) sur le comportement mécanique du mortier]
[25]	NF EN 12350-6- Avril 2012-Afnor (essais pour béton frais – partie 6 : masse volumique)
[26]	NF P 18-597-Décember 1977 -Afnor (P18-597.ANNULEE le 01/12/1990.Granulats .Détermination de la propreté des sables :équivalent de sable à 10 pour 100 de fines .
[27]	NF P 18-400 Décembre 1981 . Bétons – Moules pour éprouvettes cylindriques et prismatiques. NF P 18 – 400 Décembre 1981



POLYFLOW® LSR 7200

Superplastifiant/Haut Réducteur d'eau polyvalent
pour bétons prêts à l'emploi.

Conforme à la norme NF EN 934.2 tab. 1.3.1 3.2

Présentation

POLYFLOW® LSR 7200 est un superplastifiant/
réducteur d'eau polyvalent de nouvelle génération
non chloré à base de polycarboxylate.

Domaines d'application

POLYFLOW® LSR 7200 permet la fabrication
de bétons plastiques à auto plaçants transportés
sur de longues distances et pompés.

Dans les bétons auto plaçants, POLYFLOW®
LSR 7200 améliore la stabilité, limite la
ségrégation du béton et rend les formules
moins susceptibles aux variations d'eau et des
constituants.

POLYFLOW® LSR 7200 permet de réduire
significativement le rapport E/C ce qui
améliore la durabilité du béton durci
(diminution de la perméabilité, augmentation
des résistances mécaniques, diminution du
retrait).

Caractères généraux

POLYFLOW® LSR 7200 est un superplastifiant
puissant qui confère aux bétons les propriétés
suivantes :

- Longue rhéologie (>3h),
- Robustesse à la ségrégation,
- Qualité de parement.

Caractéristiques Aspect

Liquide brun clair

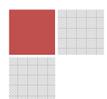
Condit

- Fûts de 220 kg
- Conteneur perdu de 1100 kg
- Vrac

Stockage

Dans un local fermé, à l'abri de l'ensoleillement
direct et du gel, entre 5 et 30 °C.
POLYFLOW® LSR 7200 peut geler, mais, une
fois dégelé lentement et réhomogénéisé, il retrouve
ses qualités d'origine.

Construction





Construction

En cas de gel prolongé et intense, vérifier qu'il n'a pas été déstabilisé.

Conservation

1 1/2 emballage intact

Données techniques

densité

1,06 ± 0,01

pH

4,5 à 6,5

Teneur en ions Cl-

≤ 0,1%

Teneur en Na₂O éq.

≤ 1%

Extrait sec

33% à 1%

Conditions d'application

Dosage

Plage d'utilisation recommandée : 0,2 à 3 % du poids du liant ou du ciment selon la fluidité et les performances recherchées.

Plage d'utilisation usuelle : 0,4 à 1,5 % du poids du ciment ou du liant.

Mise en œuvre

POLYFLOW® LSR 7200 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.

Mentions légales

les propriétés énumérées sont seulement à titre de conseils et ne constituent pas une garantie de performance .L'emploi des produits doit être adapté aux conditions spécifiques à chaque situation. Toutes nos fiches techniques sont mises à jour régulièrement, il est de la responsabilité de l'utilisateur d'obtenir la version la plus récente.

SOLU EST ®

Zone Industrielle Sidi Salem
ANNABA 23000-ALGERIE
Tél/Fax : +213 38 53 94 68
Tél : 0560 91 53 30 /31 -32
E.mail : solu-est@hotmail.fr
www.soluest-DZ.com

