

وزارة والتعليم العالي و البحث العلمي

BADJI MOKHTAR-ANNABA UNIVERSITY
UNIVERSITE BADJI MOKHTAR-ANNABA



جامعة باجي مختار – عنابة -

Année 2019

Faculté des sciences de l'ingénieur
Département de Génie Civil
Laboratoire Matériaux, Géomatériaux et Environnement

MÉMOIRE

Présentée en vue de l'obtention du diplôme de Master

Intitulé du mémoire

ÉLABORATION DES BÉTONS DE SABLE CHARGÉ À BASE DES GRANULATS RECYCLÉS

Domaine : Sciences techniques
Filière : Génie civil
Spécialité : Matériaux en Génie Civil

Par :Gueraiichi Ahlem

DEVANT LE JURY

Président	Noureddine arabi	Pr	Université Badji Mokhtar Annaba
Examineur	Achoura djamel	Pr	Université Badji Mokhtar Annaba
Directrice	Fatma Zohra Melais	D ^R	Université Badji Mokhtar Annaba

Table des matières

Liste des titres	page
Remercîment	1
<i>Résumé</i>	2
<i>Abstract</i>	3
• • • •	4
Liste des tableaux	5
Liste des figures	7
Introduction	9
Chapitre I	
ÉTUDE BIBLIOGRAPHIQUE	
I.1- Etat de connaissance sur les bétons de sable	10
I.1.1- Historique	10
I.1.2- Généralité sur les bétons de sable	11
I.1.3- Constituants du béton de sable	11
I.1.3.1- <i>Sables</i>	11
I.1.3.2- Ciments	12
I.1.3.3- Additions minérales	12
I.1.3.4- Eau de gâchage	13
I.1.3.5- Adjuvants	13
I.1.3.6- Autres ajouts	14
I.1.4- Domaine d'utilisation des bétons de sable	14
I.1.5- Propriétés des bétons de sable	14
I.1.5.1 - Maniabilité	14
I.1.5.2 - Résistance mécanique	16
I.1.6- Durabilité des bétons de sable	17
I.1.7- Inconvénients des bétons de sable	19
I.1.8- Amélioration des propriétés des bétons de sable	19
I.2. Etat de connaissance sur les déchets et la valorisation des déchets	20
I.2.1- La valorisation des déchets	21
I.2.2- Définition et classifications des déchets	21

I.2.2.1-Déchets inertes	21
I.2.2.2-Déchets ménagers et assimilés	22
I.2.2.3-Déchets industriels banals	22
I.2.2.4-Déchets dangereux	23
I.2.2.5-Déchets plastiques	23
I.2.3. Déchets de brique	24
I.2.3.1.Définition de brique	24
I.2.3.2. Valorisation des déchets de brique	25
I.2.3.3. Propriétés des bétons des déchets de brique	25
I.2.3. Verre recyclé	26
I.2.3.1.Définition	26
I.2.3.2.Propriétés du verre	26
I.2.3.2.Valorisation des déchets de verre dans le domaine de matériaux de construction	27
I.3. Conclusion	28

Chapitre II CARACTERISATION DES MATERIAUX

II.1. Introduction	29
II.2.Matériaux utilisés	29
II.2.1.Granulats	29
II.2.2. Ciment	31
II.2.3. Fillers ou additions minérales	31
II.2.4. Adjuvant	32
II.2.5. Eau	32
II.3. Essais de caractérisation	32
II.3.1.analyse granulométrique	32

II.3.2- Module de finesse	32
II.3.3-Mesure de la propreté (l'essai d'équivalent de sable)	32
II.3. 4- Masse volumique apparente	33
II.3.5. Masse volumique absolue	33
II.3.6.Porosité intergranulaire	34
II.3.7. Absorption d'eau des granulats	34
II.3.8- Résistance du ciment	35
II.4.Résultats	35
II.5.conclusion	42

Chapitre III FORMULATION ET PROPRIETES DES BETONS A L'ETAT FRAIS

Introduction

II.3.1-Approche théorique de formulation de SABLOCRETE	43
II.3.1.1-Etapes de calcul	43
II.3.1.1.1-Estimation du dosage en fines d'un béton de sable	43
II.3.1.1.2- Porosité et dosage en eau dans le béton sable	43
II.3.1.1.3- Estimation du dosage en sable	44
II.3.1.1.4-Estimation de la résistance en compression	44
II.2.3-Composition des bétons de sable	45
III.2.3.1-Composition des bétons de sable avec sables recyclés	45
III.2.3.2-Composition des bétons de sable chargé avec granulats recyclés	46
III. 3. Caractérisation des bétons à l'état frais	47

III.3.1. Maniabilité	47
III.3.2. Masse volumique	47
III.4. Résultats et interprétation	48
III.4.1. Maniabilité	48
III.4.1.1. Effet du taux de la nature des sables recyclés sur la maniabilité des bétons	48
III.4.1. 2. Masse volumique	51
II.5.conclusion	55
Chapitre VI	
FORMULATION ET PROPRIETES DES BETONS A L'ETAT DURCI	
IV.1. Introduction	56
IV.2. Confection des éprouvettes	56
IV.2.1. Choix des éprouvettes	56
IV.2.2. Préparation du béton	56
IV.2.3. Conservation des éprouvettes	57
IV.3. Essais mécaniques	57
IV.3. 1. Essai de compression	57
IV.3.2. Essai de traction par flexion	58
IV.4. Propriétés de transfert	59
IV.4 .1- Porosité accessible à l'eau	59
IV.4.2- Absorption d'eau par capillarité	60
IV.4.3- Absorption d'eau par immersion totale	61
IV.4. Résultats et discussion	63

IV.4.1. <i>Effet de la nature des sables recyclés sur les propriétés mécaniques des bétons</i>	63
IV.4.1.1. Résistance en traction par flexion	63
IV.4.1.2. Résistance en compression	63
IV.4.2. Effet de la nature des granulats recyclés sur les propriétés de transfères des bétons	71
IV.4.2.2. Absorption d'eau par capillarité	74
IV.4.2.2. Absorption d'eau par immersion	76
Conclusion	78
Conclusion général	79
Références	
Annexes	

Remerciement

Tout d'abord, nous tenons à remercier Allah, le clément et le miséricordieux de nous avoir donné la force et le courage de mener à bien ce modeste travail.

*Nous souhaitons remercier **D^r Fatma Zohra MELAIS** qui a encadrée ce travail .*

Elle nous a soutenues tout au long de ce travail, leur disponibilité et toutes nos discussions ont été fructueuses pour l'avancée de cette thèse et mener à bien ce travail.

Nous le remercies également pour les nombreuses heures passées à la lecture et aux corrections du manuscrit.

Nous remercies tous les membres du jury d'avoir accepté d'être les rapporteurs de notre thèse.

Nos remerciements vont aussi à tous les membres du laboratoire, qui ont participé indirectement ou directement au bon déroulement de ces travaux de recherche et à leur finalité.

Nous remercions aussi tous nos amis pour leurs aides, leurs patiences, leurs compréhensions et leurs encouragements.

Nous exprimons toutes nos profondes reconnaissances à tous ceux et celles qui de près ou de loin nous ont apporté aide et encouragement. Qu'ils trouvent ici l'expression de notre profonde gratitude.

Résumé

Le constat actuel montre que l'Algérie possède un retard considérable par rapport aux autres pays en matière de valorisation des déchets du bâtiment et des travaux publics. Ainsi que la possession par l'Algérie d'une zone désertique estimée 80% de la superficie totale à partir de ces données, nous avons été inspirés de présenter cette étude.

Ce travail décrit l'influence de la valorisation des déchets de brique et de verre comme granulats sur les propriétés physico-mécaniques des bétons de sable chargé. Dans le cadre de la valorisation de déchets de briques rejets (briques cassées ou non conformes aux normes) et du verre plat issu de déconstruction des bâtiments.

L'étude expérimentale a porté sur l'utilisation de ces déchets comme sable 0/5 (remplacement de sable naturel de carrière par le sable de brique et de verre) et comme gravier fraction 3/8 (chargement des bétons de sable). Quatre rapports de G/S sont choisis (0,2- 0,4- 0,6 et 0,7).

Les résultats obtenus montrent que les propriétés des bétons à l'état frais (maniabilité et masse volumique), les caractéristiques mécaniques (résistance en compression et en traction par flexion) ainsi que les propriétés de transfères sont très affectées par l'utilisation des granulats recyclés. Une augmentation de la résistance mécanique et des bétons de sable chargé brique a été enregistrée avec l'augmentation du rapport G/S ainsi que l'absorption d'eau, cette absorption est liée à une forte porosité de ce matériau.

Mots clés

Valorisation, Béton de sable, Granulats recyclés, Déchets de brique, Déchets de verre, maniabilité, Résistance mécanique, propriétés de transfère

Abstrat

The current observation shows that Algeria has a considerable delay compared to other countries in terms of valuation of construction and public works. As well as the possession by Algeria of a desert area estimated 80% of the total area from these data, we were inspired to present this study.

This work describes the influence of the valorization of brick and glass waste as aggregates on the physico-mechanical properties of sand concretes. As part of the recycling of waste bricks rejected (bricks broken or non-compliant with standards) and flat glass from deconstruction of buildings.

The experimental study focused on the use of this waste as 0/5 sand (replacement of natural quarry sand by brick and glass sand) and as a 3/8 fraction gravel (sand concrete loading). Four G / S ratios are selected (0.2-0.4-0.6 and 0.7).

The results obtained show that the properties of fresh concretes (handling and density), the mechanical characteristics (compressive and flexural tensile strength) as well as the transfer properties are very affected by the use of recycled aggregates. . An increase in the mechanical strength and concretes of sand loaded brick has been recorded with the increase of the ratio G / S as well as the absorption of water, this absorption is linked to a high porosity of this material.

Keywords

Valorization, Sand concrete, Recycled aggregates, Brick waste, Glass waste, Handling, Mechanical resistance, transfer properties

ملخص

نبيت التقارير الحالية أن الجزائر لديها تأخر كبير مقارنة للدول الأخرى من حيث تقييم رسكلة و تدوير بقايا مواد البناء والشغال العمومية. بالإضافة إلى امتالك الجزائر لمنطقة صحراوية تقدر بـ 80% من إجمالي المساحة فمن حال هذه البيانات ، استلهمنا تقديم هذه الدراسة. يصف هذا العمل تأثير الحصى ذات أقطار مختلفة (5/0 و 8/3) من الجور (الطوب الأحمر) وبقايا الزجاج على الخواص الفيزيوية- ميكانيكية للخرسانة الرملية. وشملت الدراسة التجريبية تعويض الرمل (5/0) استبدال بالمواد المرسكلة من الجور و الزجاج بأقطار 5/0، كذلك الحصى 8/3 و هذا وفق أربعة نسب مختارة (S) 0.2-0.4-0.6 و 0.7).

النتائج التي تم الحصول عليها تظهر أن خصائص الخرسانة الطازجة (القدرة على المناورة والكتلة الحجمية)، الخواص الميكانيكية (قوة الضغط والشد والحناء) تتأثر إلى حد كبير باستخدام الركام تدويره . سجلت زيادة في قوة والطوب تحميل الرمال ملموسة الميكانيكية مع زيادة نسبة G / S وامتصاص الماء، وهذا المتصاص يرتبط بالمسامية العالية لهذه المواد.

الكلمات المفتاحية

تقييم ، الخرسانة الرمل ،الركام المعاد تدويره، بقايا الطوب الأحمر ،بقايا الزجاج، وقابلية المناورة ، والقوة الميكانيكية والممتلكات نقل



Liste des tableaux

N°	Tableau	Page
II.1	Composition chimique du ciment et du clinker	32
II.2	Composition chimique du filler de calcaire	31
II.3	caractéristiques physiques et mécanique du ciment	36
II.4	Caractéristiques physiques des fillers	36
II.5	Caractéristiques physiques des graviers recyclés	36
II.6	Caractéristiques physiques des sables	37
II.7	Analyse granulométrique du sable siliceux	37
II.8	Analyse granulométrique du sable de carrière	38
II.9	Analyse granulométrique du sable corrigé	38
II.10	Analyse granulométrique du sable du verre	39
II.11	Analyse granulométrique du sable de brique	39
II.12	Analyse granulométrique du gravier de verre (3/8)	40
II.13	Analyse granulométrique du gravier de brique (3/8)	40
III.1	Composition des bétons de sable avec sables recyclés	45
III.2	Composition des bétons de sable chargé	46
III.3	Maniabilité des bétons avec sable de brique et de verres recyclés à l'état sec	48
III.4	Maniabilité des bétons avec sable de brique et de verre recyclé pré mouille	49
III.5	Maniabilité des bétons selon le taux de substitution en granulats rechargés en grave de brique 3/8.	50
III.6	Maniabilité des bétons selon le taux de substitution en granulats rechargés en grave de verre 3/8.	50
III.7	Masse volumique des bétons à l'état frais sable pré mouille	52
III.8	Masse volumique des bétons à l'état frais sable sec	52
III.9.	Variation de la masse volumique des bétons frais en fonction du taux de substitution en granulats de brique GB3/8	54
III.10	Variation de la masse volumique des bétons frais en fonction du taux de substitution en granulats de verre GV3/8	54
IV.1	Séquence et durée de malaxage des bétons	56
VI.1	Effet de la nature des sables recyclés sur la résistance en traction par flexion des bétons de sable	63

VI.2	Effet de taux de chargement des bétons en granulats de brique sur la résistance en traction par flexion	64
VI.3	Effet de taux de chargement des bétons en granulats de verre sur la résistance en traction par flexion	64
VI.4	Effet de la nature des sables recyclés sur la résistance en compression des bétons de sable	67
VI.5	Effet de taux de chargement des bétons en granulats de brique sur la résistance en compression	67
VI.6	Effet de taux de chargement des bétons en granulats de brique sur la résistance en compression	68
VI.7	Porosité accessible à l'eau des bétons de sable	71
VI.8	Porosité accessible à l'eau des bétons de sable chargé	71
VI.9	Coefficient d'absorption d'eau par capillarité des bétons	74
VI.10	Coefficient d'absorption d'eau par immersion totale des bétons de sable	77
VI.11	Coefficient d'absorption d'eau par immersion totale des bétons de sable chargé	77

Liste des figures

N°	Figure	Page
I.1	Le phare de Port-Saïd aux environs de 1869	10
I.2	Maniabilité en fonction de module de finesse [Sablocrete, 1994]	15
I.3	Influence de la nature et du dosage en addition sur la maniabilité	15
I.4	Influence de la finesse de l'addition sur la résistance [Sablocrete, 1994]	16
I.5	Influence de la nature de l'addition sur la résistance [Sablocrete, 1994]	17
I.6	Effets de la granularité sur la résistance [Sablocrete, 1994]	17
I.7	Distribution de la porosité en fonction du rayon des pores	18
I.8	pénétration des ions de chlore après cinq ans d'exposition en milieu marin	19
I.9	Quelques types des déchets inertes	21
I.10	Quelques types des déchets industriels banals	22
I.11	Quelques types des déchets plastiques	23
I.12	Déchets de brique	24
I.13	Granulats de brique Figure I. poudre de brique	25
I.14	Déchets de verre	28
II.1	Sables utilisés	29
II.2	Graviers utilisés	30
II.3	Concassage primaire	30
II.4	Concasseur à mâchoire	30
II.5	Criblage	31
II.6	Adjuvant	32
II.7	Equivalent de sable	33
II.8	Masse volumique apparente	33
II.9	Masse volumique absolue	34
II.10	Absorption d'eau des graviers	36
II.11	Analyse granulométrique des granulats	41
II.12	Courbe de l'absorption d'eau des graviers	42
III.1	Coefficient d'activité du filler calcaire	44
III.2	Essai d'affaissement cône d'Abrams	47
III.3	Maniabilité des bétons avec sable de brique et de verre recyclés à l'état sec	48
III.4	Maniabilité des bétons avec sable de brique et de verre recyclé à l'état pré mouille	49
III.5	Variation de la maniabilité des bétons en fonction du taux de substitution en granulats de brique	50

III.6	Variation de la maniabilité des bétons en fonction du taux de substitution en granulats de verre	51
III.7	Variation de la masse volumique a l'état frais des bétons sable pré mouille	52
III.8	Variation de la masse volumique a l'état frais des bétons sable sec	53
III.9.	Variation de la masse volumique a l'état frais des bétons en fonction d'humidité des granulats 0/5.	53
III.10	Variation de la masse volumique frais en fonction du taux de substitution en granulats de brique GB3/8	54
III.11	Variation de la masse volumique fraîche en fonction du taux de substitution en granulats de verre GV3/8	55
IV.1	Malaxeur pour béton	57
IV.2	Description d'essai de compression	58
IV.3	Essai de traction par flexion	58
IV.4	Mesure de la porosité accessible à l'eau / Pesée hydrostatique	60
IV.5	Essai d'absorption capillaire	61
IV.6	Schéma du dispositif de la mesure de l'absorption d'eau par immersion totale	63
VI.7	Effet de la nature des sables recyclés sur la résistance en traction par flexion des bétons de sable	65
IV.8	Effet de taux de chargement des bétons en granulats de verre sur la résistance en traction par flexion	65
IV.9	Effet de taux de chargement des bétons en granulats de brique sur la résistance en traction par flexion	66
IV. 10	Effet de taux de chargement des bétons en granulats de verre sur la résistance en compression	68
IV.11	Effet de taux de chargement des bétons en granulats de brique sur la résistance en compression	69
IV.12	Effet de taux de chargement des bétons en granulats de verre sur la résistance en compression	69
IV. 13	Observation visuelle des bétons de sable chargé avec les granulats de brique et de verre	71
IV.14	Effet de la nature des sables recyclés sur la porosité accessible à l'eau des bétons de sable	72
IV.15	Effet de la nature et le taux des granulats de verre recyclés sur la porosité accessible à l'eau des bétons de sable chargé	72
IV.16	Effet de la nature et le taux des granulats de brique recyclés sur la porosité accessible à l'eau des bétons de sable chargé	73

Introduction générale

L'Algérie est parmi les pays qui disposent d'énormes gisements en matériaux naturels et de plusieurs déchets et sous-produits industriels. La production de ces déchets ne cesse d'augmenter suite à l'augmentation de la population et à la croissance économique. Ces quantités pourraient dépasser les 30 Millions de tonnes en 2025. C'est pourquoi la valorisation des déchets est aujourd'hui considérée comme une solution d'avenir. Ceci impose aux concepteurs et aux constructeurs du génie civil de s'intéresser à la valorisation des matériaux et des déchets.

La récupération des déchets touche deux impacts très importants, l'impact environnemental qui est résout par l'évacuation de ces déchets et l'impact économique qui est l'utilisation de ces derniers dans l'industrie ou dans le domaine de la construction.

Les bétons de sable sont 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 qui peuvent présenter une bonne alternative pour remplacer les bétons classiques dans la confection de certains éléments de construction.

Le but visé dans ce travail est l'étude des caractéristiques physico-mécanique des bétons de sable chargé par des granulats recyclés (déchets de brique rate et dèche de verre plat). L'utilisation du sable de siliceux comme constituant dans la fabrication du béton de sable à nécessiter la correction granulométrique de ce dernier. Plusieurs compositions de béton ont été mise au point afin de mieux comprendre le comportement de ce dernier vis-à-vis l'effet de la saturation d'eau des granulats sur les caractéristiques physiques et mécaniques. Les granulats sont connus pour leur comportement positif plus particulièrement pour s'opposent à la propagation des microfissures provoquées dans la pâte par le retrait. Ils améliorent ainsi la résistance de la matrice.

Ce mémoire comporte de quatre chapitres :

Dans le premier chapitre, une analyse bibliographique qui 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 déchets , leurs définitions , leurs classifications notamment les déchets de brique et de verre.

Le deuxième chapitre est consacré à l'identification des différents matériaux utilisés dans notre étude. Les caractéristiques physiques, chimiques, et mécaniques sont ainsi déterminées.

Dans le troisième chapitre on a présenté les protocoles expérimentaux qui concernent la méthode de formulation des bétons d'études et les résultats des essais expérimentaux qui caractérisent l'influence de la nature des granulats recyclés sur les propriétés bétons de sable à l'état frais.

Dans le dernier chapitre on présente une analyse des résultats de l'influence de la nature des granulats recyclés sur le comportement mécanique (résistance en compression et résistance en traction par flexion) ainsi que sur la détermination des principaux indicateurs de la durabilité par évaluation de la porosité et de l'absorption.

En fin une conclusion générale clôture ce mémoire synthétisant les principaux résultats.



Chapitre I

CHAPITRE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

Introduction

Dans ce premier chapitre nous allons présenter une étude bibliographique sur les bétons de sable et leurs comportements, ce chapitre sera divisé en 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 et leurs valorisations dans le domaine du génie civil en particulier les déchets de brique et de verre recyclé.

I.1- Etat de connaissance sur les bétons de sable

I.1.1- Historique

Depuis l'apparition des premiers bétons, la technique du béton de sable n'en était pas loin. En 1853, le béton de sable trouve ses origines dans « le béton aggloméré », il était confectionné par l'ingénieur 'François Coinget'. Le béton aggloméré s'agissait à l'époque d'un mélange de sable, de cendres, de chaux et d'eau. Les premières applications de cette technique étaient réalisées sur :le mur de soutènement à Passy, la maison Coinget à Saint-Denis et la réalisation de la tour de port Saïd en Egypte de 52 m d'hauteur.

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) ... [27]



Figure I.1.Le phare de Port-Saïd aux environs de 1869

I.1.2- Généralité sur les bétons de sable

La norme NF P 18-500[19] énonce les spécifications relatives aux bétons de sable , selon cette norme Le béton de sable est défini comme un béton fin constitué par mélange de sable(s), de ciment, d'addition(s) et d'eau ; outre ces composants de base, d'autres additions peuvent être incorporées tel que : les adjuvants, les fibres, les colorants et les gravillons.

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 [13].

I.1.3- Constituants du béton de sable

Les composants rentrant dans la composition du béton de sable sont ceux du béton traditionnel à l'exception des fines d'ajout. Il s'agit donc de composants normalisés.

I.1.3.1- Sables

Le terme sable englobe tous les granulats 0/D conformes aux définitions des normes P 18-541[25]. 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 calcaires 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 :

- ✓ **Sables naturels roulés** : Sable de rivière, Sable de mer, Sable de dune, Sable de carrière.
- ✓ **Sables artificiels** : On peut les obtenir Par:
 - Broyage de certains déchets.
 - Transformation industrielle de l'argile
 - Trempe à l'eau et à l'air du laitier de haut fourneau... [12]

I.1.3.2- Ciments

*D'*après la norme NF EN 197-1[16] 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.1.3.3- Additions minérales

Les substances minérales utilisées comme ajouts en cimenterie ou additifs lors de la confection du béton contribuent par leur activité physique, hydraulique et pouzzolaniques à améliorer le comportement des ciments à l'état frais ainsi qu'à l'état durci. Plusieurs types d'ajouts sont bien connus tels que les pouzzolanes naturelles, les cendres volantes, les laitiers des hauts fourneaux ainsi que la fumée de silice. Ces produits deviennent plus actifs dans les solutions alcalines du ciment et donnent naissance à de nouveaux hydrates qui confèrent aux bétons une plus grande résistance mécanique et une meilleure durabilité. Par leur activité de surface et leur distribution granulaire, ils jouent un rôle fondamental dans le comportement rhéologique du béton [2]

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 [3]

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. [5]

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. [3]

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 C3S et C2S pour former des silicates de calcium hydratés C-S-H, mais d'un rapport C/S voisin de 1, donc plus riche en silice [7]

I.1.3.4- Eau de gâchage [15]

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.

I.1.3.5- Adjuvants

Selon la norme NF EN 934-2 [14], les adjuvants sont des produits chimiques incorporés 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 certaines 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... [1]

I.1.3.6-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.1.4- Domaine d'utilisation des bétons de sable

Le béton de sable est un matériau créé pour remplacer le béton classique dans Certains éléments de structure. Les principaux domaines d'utilisation des bétons de sable sont:

- ✚ Travaux avec du béton injecté.
- ✚ Travaux avec un fort cadrage.
- ✚ Pilots de béton armé sur place.
- ✚ Certains travaux de fondations pour les constructions.
- ✚ Travaux pour terrasses.
- ✚ Tuyaux de canalisation en béton simple ou armé.
- ✚ Panneaux préfabriqués pour murs intérieurs et extérieurs portants, ...etc [13].

I.1.5- Propriétés des bétons de sable

I.1.5.1 - 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 [10].

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 moins le béton est ouvrable. Pour un béton normal : plus les granulats 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 granulats sont rugueux moins ils sont maniables mais plus ils sont résistants car ils offrent une meilleure adhérence.

- ✚ La granulométrie (dimension et distribution) et la nature des particules (forme, texture, porosité ...etc.) sont deux caractéristiques essentielles pour le choix d'un granulat à

béton. Le module de finesse est élevé lorsque le sable est riche en éléments gros ce qui implique une amélioration de la maniabilité [13]

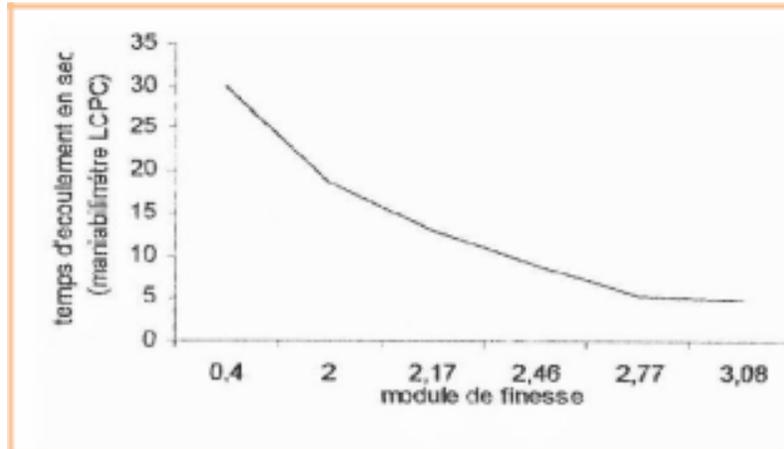


Figure I.2. Maniabilité en fonction de module de finesse [27]

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 [27]

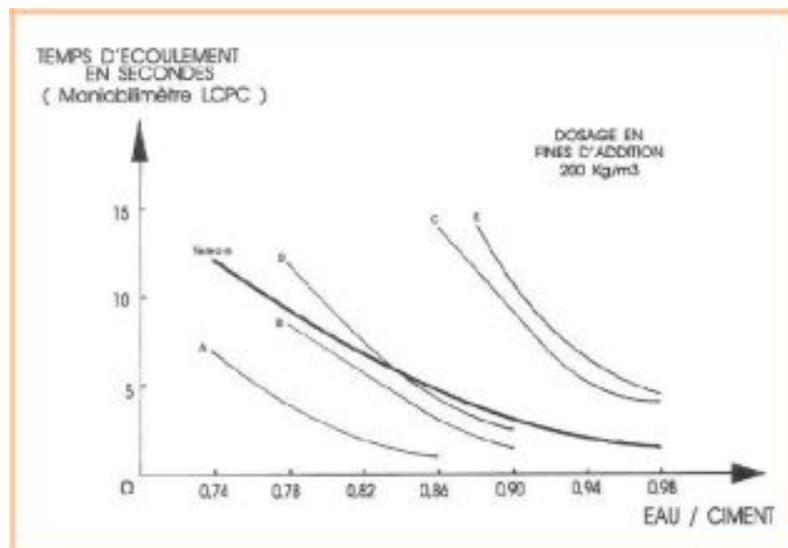


Figure I.3. Influence de la nature et du dosage en addition sur la maniabilité [27]

I.1.5.2 - Résistance mécanique

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 [1].

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

➤ *Finesse de l'addition*

Plus l'addition est fine, plus elle est efficace au niveau du gain de compacité et donc du gain en résistance... [27].

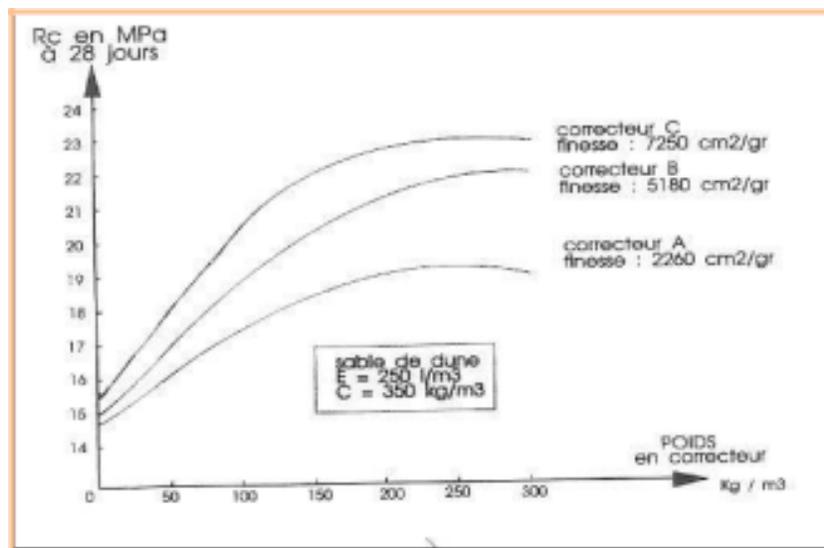


Figure I.4. Influence de la finesse de l'addition sur la résistance [27]

➤ *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.

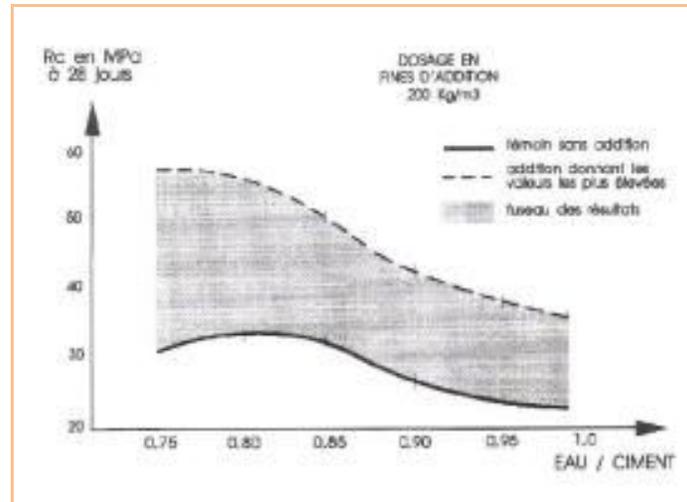


Figure I.5. Influence de la nature de l'addition sur la résistance [27]

➤ **Dimension maximale**

Pour une même valeur du rapport Eau/Ciment, on constate que l'effet du diamètre maximal D_{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... [27]

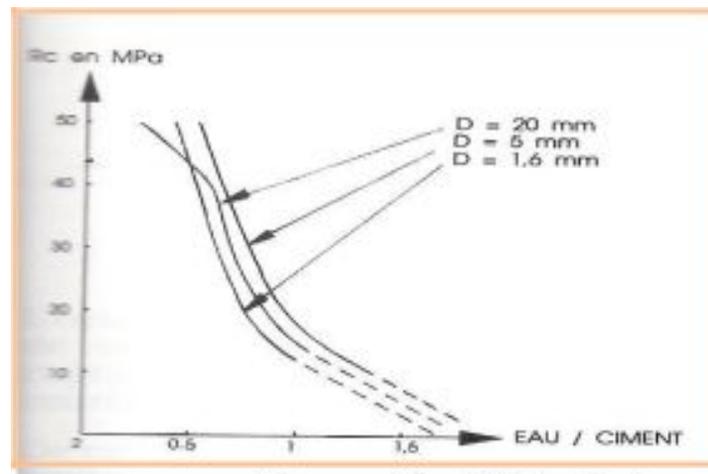


Figure I.6. Effets de la granularité sur la résistance [27]

I.1.6- 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 .

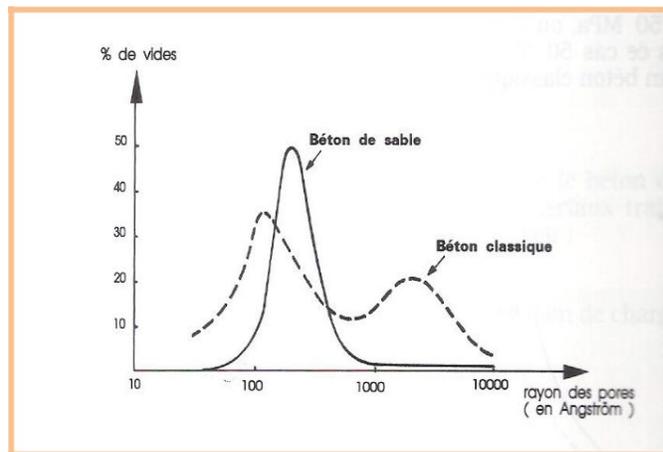


Fig. I.7 : Distribution de la porosité en fonction du rayon des pores [27]

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 chlorure 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 .

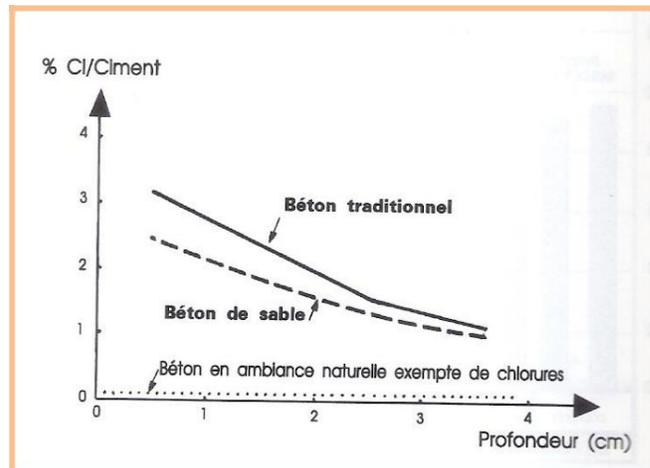


Fig. I.8 . pénétration des ions de chlore après cinq ans d'exposition en milieu marin [27]

I.1.7- Inconvénients des bétons de sable

Les bétons de sable sont très utilisés malgré leurs inconvénients, par exemple :

- ✓ La grande teneur en grains fins donne une grande surface spécifique, cela conduit à la difficulté d'assurer une bonne enveloppe de pâte de ciment pour les grains de sable, donc le dosage en ciment augmente.
- ✓ Les grains très fins du sable peuvent abaisser l'activité du ciment ; donc la résistance mécanique du béton va diminuer.
- ✓ Augmentation de l'absorption capillaire à cause de la grande surface spécifique du ciment ; par conséquent l'imperméabilité du béton durci va diminuer et le retrait va augmenter [4].

I.1.8- Amélioration des propriétés des bétons de sable

Plusieurs recherches ont été réalisées afin de minimiser les inconvénients du béton de sable et lui assurer sa valeur économique, surtout dans les régions riches en sable comme le sud Algérien. Le but principal de ces recherches est d'avoir une maniabilité correcte et d'atteindre une bonne résistance mécanique en visant plusieurs solutions :

- **Correction granulaire** : par le mélange d'un sable gros avec un sable fin ou le mélange de plusieurs types de sable on peut atteindre une performance mécanique acceptable.

- **Ajout de filler** : pour améliorer la compacité et la résistance mécanique des bétons de sable.
- **Ajout des adjuvants** : est généralement utilisé pour augmenter la fluidité des mélanges ,on utilise les plastifiants et les super plastifiants.
- **Compactage** : utilisé pour engendrer des compacités et des résistances mécaniques élevées avec un faible rapport E/C.
- **Ajout des fibres** : pour améliorer la ductilité du matériau, la résistance, et pour la Prévision des contraintes à la rupture des matériaux. ... [13]

I.2. Etat de connaissance sur les déchets et la valorisation des déchets

I.2.1- La valorisation des déchets

La valorisation des déchets est un ensemble de procédés par lesquels on transforme un déchet matériel ou organique dans l'objectif d'un usage spécifique. La valorisation est un terme générique recouvrant le recyclage matière et organique, la valorisation énergétique des déchets, ainsi que le réemploi, la réutilisation et la régénération.

- ✓ **Le recyclage** : est un procédé de traitement des déchets qui permet de réintroduire, dans le cycle de production d'un produit, des matériaux qui composaient un produit similaire arrivé en fin de vie, ou des résidus de fabrication.
- ✓ **Le réemploi** : le produit usagé, après réparation ou remise à l'état neuf, est à nouveau utilisé pour le même usage ou un usage différent.
- ✓ **La réutilisation** : le produit est utilisé plusieurs fois pour le même usage.
- ✓ **La régénération** : le déchet, après transformation, retrouve les mêmes caractéristiques physico-chimiques et peut être utilisé comme une matière vierge[11].

Les enjeux de la valorisation des déchets

Enjeu environnemental : limiter la quantité de déchets produits, limiter la pollution induite par la production de ces déchets, limiter les ponctions de matières premières dans le milieu naturel, limiter les consommations d'énergie liées à l'extraction, le cheminement, la mise en œuvre des matériaux.

Enjeu social : limiter les nuisances olfactives et visuelles.

Enjeu économique : des bénéfices financiers peuvent être générés par la revente de certains matériaux. La réduction des déchets à la source permet de réaliser des gains financiers (consommer au plus juste) [26]

1.2.2-Définition et classifications des déchets

Un déchet correspond à tout matériau, substance ou produit qui a été jeté ou abandonné car il n'a plus d'utilisation précise.

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).

1.2.2.1-Déchets inertes

Déchet qui ne subit aucune modification physique, chimique ou biologique importante ; ne se décompose pas, ne brûle pas, et ne produit aucune réaction physique ou chimique d'une manière susceptible d'entraîner une pollution de l'environnement ou de nuire à la santé humaine.

Ces déchets sont admissibles dans les installations de stockage et proviennent essentiellement des chantiers de bâtiment et de de travaux publics ou d'industries de fabrication de matériaux de construction.



sont notamment les déchets suivants : Les bétons, les tuiles et les céramiques, les briques, les déchets de verre, les enrobés bitumeux.... [9]



Bétons



Tuiles



Verre



Enrobés bitumeux

Figure I.9. Quelques types des déchets inertes

I.2.2.2-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.

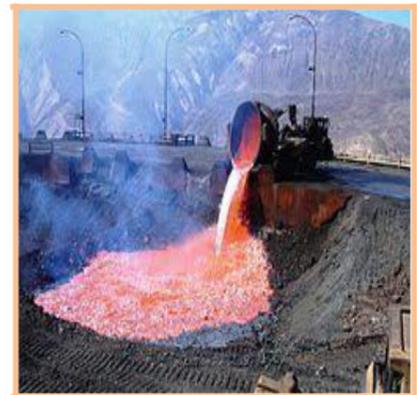
I.2.2.3-Déchets industriels banals



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....[9]



Déchets d'emballage



Laitier (sous produit de l'industrie sidérurgique)

Figure I. 10. Quelques types des déchets industriels banals

I.2.2.4-Déchets dangereux

Tel que les déchets industriels spéciaux, ces déchets figurent en raison de leurs propriétés dangereuses, exemple : déchets contenant du plomb ; constitués de boues de peinture, d'hydrocarbures ; provenant de pétrolière, etc....

I.2.2.5-Déchets plastiques

Les déchets plastiques ont différentes origines:

- Déchets plastiques contenus dans les ordures ménagères tels que les bouteilles, les flacons, les gobelets et les sachets....
- Déchets de chantiers du bâtiment et des travaux publics (tuyaux, fenêtres,...)[6]



Bouteilles et flacons



Sachets



Tuyaux et fenêtres en PVC



Figure I.11 : Quelques types des déchets plastiques

I.2.3. Déchets de brique

L'objectif de ce paragraphe est de donner quelques renseignements sur les déchets de brique qu'on appelle « briquillons », « chamotte » ou « brique concassée ». Vu leur emploi occasionnel, il y a peu des données sur ces matériaux et leur utilisation comme granulats du béton, malgré la consommation universel de leur matière première « brique » en grande masse, en conséquence, leur génération en quantités énormes [8] .

On appelle « *briquillons* » : des briques morcelées provenant généralement de la démolition ou d'une mauvaise cuisson de briques (briques trop cuites).

On appelle « *chamotte* » : brique cuite broyée ou concassée.



Figure I.12. Déchets de brique

I.2.3.1. Définition de brique

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.

I.2.3.2. Valorisation des déchets de brique

Les déchets de brique constituent une grande partie des déchets de démolition et de décombres. D'une part, techniquement, les déchets de briques sont pratiquement recyclés comme composant d'un matériau type maçonnerie. D'autre part, l'absence quasi -totale des textes réglementaires qui régissent la fabrication et l'utilisation des déchets de briques. La valorisation de la matière est un mode d'exploitation des déchets qui vise à leur mise en valeur afin de les réintroduire dans le circuit économique.

A/ Réutilisation :Lors de travaux de démolition, les briques récupérées peuvent être nettoyées et réutilisées sur le même chantier ou ailleurs. Par ailleurs, certaines briques anciennes ont une grande valeur architecturale et sont recherchées pour les rénovations historiques.

B/ Recyclage :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. Il se distingue de la réutilisation par la nécessité de nouveau traitement que la matière subisse. La brique, peut être concassés et utilisés comme granulats dans le béton et dans la couche de fondation routière, comme matériaux de remblai.



Figure I. 13 .Granulats de brique Figure I. poudre de brique

I.2.3.3. 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.2.3. Verre recyclé

I.2.3.1. 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.2.3.2. 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.2.3.2. 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..[8]

Soit par réemploi directe (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 légère.

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



Granulats de verre

poudre de verre

Figure I. 14. Déchets de verre

I.3. Conclusion chapitre I

Ce chapitre présente une étude bibliographique sur les bétons de sable, ils sont des bétons fins caractérisés par l'absence des gros granulats, ils sont créés pour le remplacement des bétons classiques (de gros granulats) dans certains éléments de structures de bâtiment.

La première partie de cette recherche a été basée sur l'identification des bétons de sable, leurs applications, les principaux avantages, inconvénients de ce béton et les principaux travaux qui ont été effectués pour réduire au maximum ces inconvénients et améliorer les propriétés des bétons de sable.

La deuxième partie a été consacrée à la présentation des différents déchets, leur classification et leur valorisation dans le domaine du génie civil en particulier les déchets de brique et de verre recyclés.



Chapitre II

CHAPITRE II : CARACTERISATION DES MATERIAUX**II.1. Introduction**

Ce chapitre est consacré à la présentation des différents types de matériaux utilisés dans notre étude, ainsi que le protocole de caractérisation physique et mécanique pour la préparation des bétons de sable recyclés. Nous avons présenté par la suite la méthode de formulation de ces bétons.

II.2. Matériaux utilisés**II.2.1. Granulats**

Quatre types de sable sont utilisés dans cette étude dont deux sables naturels (sable siliceux, sable de calcaire concassé) et deux sables artificiels (sable de brique et sable de verre). Un sable siliceux fin de la région de Annaba avec un module de finesse égal à 2,05, le sable de carrière est 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 sables artificiels sont des sables de brique et de verre recyclé issu de briques non conformes où cassées et du verre plat issu de déconstruction des bâtiments



Sable Siliceux

Sable de carrière

sable de brique

Sable de verre

Figure II.1. Sables utilisés

Les granulats de brique provenant de la briqueterie El-Rym Berrahal – Annaba , sont déchets de briques rejets (briques non conformes où cassées) et les granulats du verre plat issu du bâtiment (fenêtres, cloisons, façades ...).

Ces granulats sont concassés et criblés en deux fractions : sable 0/5 et gravier 3/8 au niveau de laboratoire de génie civil de l'université Badji Mokhtar- Annaba.



Gravier de Brique



Gravier de Verre

Figure II.2. Grapiers utilisés***Elaboration des granulats recyclés***

A/ Concassage primaire : pour réduire la taille des blocs des briques et des plaques de verres à l'aide d'un marteau.

**Figure II.3.** Concassage primaire

B/ Concassage secondaire : Un concassage dans un concasseur à mâchoire de laboratoire de génie civil de l'université Badji Mokhtar- Annaba, pour obtenir les dimensions des grains voulues.

**Figure II.4.** Concasseur à mâchoire

C/ **Criblage** : pour éliminer les impuretés et pour obtenir les fractions granulaires : sable (0/5) et gravier (3/8).



Verre



Brique

Figure II.5. Criblage

II.2.2. Ciment

Le ciment utilisé pour la confection des éprouvettes de notre étude est un ciment CPA, résultant d'un broyage simultané de 95 % clinker et de 5 % gypse au niveau de laboratoire de génie civil de l'université Badji Mokhtar- Annaba, sachant que la matière première (clinker et gypse) provenant de la cimenterie de Hdjar Essoud.

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	PAF
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

II.2.3. Fillers ou additions minérales

Le filler utilisé dans notre travail est un filler de calcaire obtenu par broyage des roches calcaire au niveau de laboratoire. La composition chimique du filler de laitier est donnée dans le tableau II.2.

Tableau II.2 : Composition chimique du filler de calcaire

	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

II.2.4. Adjuvant

L'adjuvant utilisé est un super plastifiant hautement réducteur d'eau commercialisé par la société sous l'appellation 'POIYFLOW LSR 7200', un super plastifiant polyvalent de Nouvelle génération non chlore à base de poly carboxylates, qui permettent de réaliser des bétons très fluides avec des rapports E/C très réduits. Le dosage varie entre 0,2 % à 3% du poids de liant (Ciment + Fillers). Ces propriétés données par fabricant.

Etat physique :.....	Liquide
Couleur :.....	Brun
Densité (g/cm ³ , à 20 °C) :.....	1,06 (± 0,01)
PH (20 °C) :.....	4.5 a 6.5
Extrait sec :.....	33 % a 1 %
Teneur en NA ₂ O:.....	≤ 1 %
Teneur en chlorures :.....	≤ 0,1



Figure II.6. Adjuvant

II.2.5. Eau

L'eau de gâchage utilisée est une eau potable qui répond aux conditions imposées par la norme [NF EN 1008 2003] [15]. Cette eau est propre et sans matières en suspension.

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. et pour les graviers (Brique/Verre), on utilisera en général les tamis de modules 5.0 - 6.3 - 8 - 10 - 12 - 16 - 20. L'essai selon la norme NF P 18-560[17].

II.3.2- Module de finesse

La norme XP P 18-540[21] définit le module de finesse d'un sable, qui caractérise sa granularité, comme le 100¹ de la somme des refus, exprimés en pourcentage, sur les différents tamis de la série suivante : 0,16 - 0,315 - 0,63 - 1,25 - 2,5 - 5,0 mm.

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

Cet essai a pour but de mesurer la propreté des sables entrant dans la composition des bétons. L'essai consiste à séparer les floccules fins contenues dans le sable. Une procédure normalisée

permet de déterminer un coefficient d'équivalent de sable qui quantifie la propreté de celui-ci selon la norme P 18-597[24].



Figure II.7. Equivalent de sable

II.3. 4- Masse volumique apparente

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. Cet essai est réalisé selon la norme NF EN 1097-3[17]

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 :



Sable de carrière



Verre

Figure II.8. Masse volumique apparente

II.3.5. Masse volumique absolue

La masse volumique apparente est la masse d'un corps par unité de volume sans vides entre les grains. Cet essai est réalisé selon la norme NF EN 1097-3[17].

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, si la matière est hydraulique, sinon, dans de l'eau.



Sable de carrière

Sable Siliceux

Ciment

Figure II.9. Masse volumique absolue

II.3.6. Porosité intergranulaire

La porosité est le rapport de volume des vides par unité de volume apparent (c'est le degré de remplissage par les vides et les pores) .le pourcentage de porosité inter-granulaire se calcule a partir la masse volumique et apparente et de la masse volumique absolue.

$$P = \left(\frac{M_a}{M_a} - \frac{M_a}{M_a} \right) \times 100 \%$$

P : Porosité inter- granulaire.

M_a : Masse volumique apparente.

M_a : Masse volumique absolue.

II.3.7. Absorption d'eau des granulats

Le coefficient de l'absorption d'eau est défini comme le rapport de l'augmentation de masse de l'échantillon entraînée par une imbibition partielle en eau, à la masse sèche de l'échantillon.

M_0 : masse de l'échantillon sèche en g

M_1 : masse de l'échantillon imbibé en g



A/ Immersion des granulats dans
Un bac



B/ Elimination de l'eau superficielle
Sur les granulats



C/ Peser des granulats



Figure II.10.Absorption d'eau des graviers

II.3.8- Résistance du ciment

Résistance à la traction par flexion

L'essai de traction par flexion est effectué sur éprouvettes prismatiques 4 x 4 x 16cm de mortier Normalisé à 28 jours

Résistance à la compression

L'essai de compression simple est effectué sur les demies éprouvette obtenues après l'essai de Traction.

II.4.Résultats

Les caractéristiques physiques du ciment et des fillers utilisés sont regroupés dans les tableaux II.3 et II.4

Tableau II.3 : 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.4: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 ³ /g	5329	7510	4760

Les caractéristiques physiques des graviers recyclés utilisés sont regroupées dans les tableaux II.5

Tableau II.5:Caractéristiques physiques des graviers recyclés

Caractéristiques	Unité	Gravier de verre	gravier de briques
Masse volumique apparente	g/cm ³	1.43	1.14
Masse volumique absolue	g/cm ³	2.50	2.44
Porosité inter granulaire	%	42.80	53.28
Coefficient d'absorption d'eau	%	0.64	10.58

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	Sable de verre	Sable de briques
Masse volumique apparente	g/cm ³	1.64	1.39	1.52	1.18
Masse volumique absolue	g/cm ³	2.63	2.62	2.50	2.44
Module de finesse	-	2.05	3.26	3.12	2.00
Équivalent de sable	%	90,23	89,51	88.70	87.60
Porosité inter granulaire	%	37.64	43.95	39.20	51.64

Les résultats de l'analyse granulométrique des sables et des graviers recyclés (Brique et verre) sont présentés aux tableaux II.7, II.8, II.9, II.10, II.11, II.12, II.13 illustrés par la figure II.13

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

Tableau II.10. Analyse granulométrique du sable du verre

Tamis	Mi(g)	ai (%)	Ai	Transat (%)
5	0,4	0,40	0,04	99,96
4	1,1	1,50	0,15	99,85
3,15	9,6	11,10	1,11	98,89
2,5	94	105,10	10,54	89,46
2	250	355,10	35,60	64,40
1,25	1,5	356,60	35,75	64,25
1	150,3	506,90	50,81	49,19
0,63	81,9	588,80	59,02	40,98
0,5	76	664,80	66,64	33,36
0,315	170	834,80	83,68	16,32
0,2	65	899,80	90,20	9,80
0,16	87	986,80	98,92	1,08
0,08	10,8	997,60	100,00	0,00
Fond	0,4	0,40	0,04	0,00

Tableau II.11. Analyse granulométrique du sable de brique

Tamis	Mi(g)	ai (%)	Ai	Transat (%)
5	12	12,00	1,20	98,80
4	2,5	14,50	1,45	98,55
3,15	17,5	32,00	3,21	96,79
2,5	10,8	42,80	4,29	95,71
2	17,4	60,20	6,03	93,97
1,25	399,4	459,60	46,07	53,93
1	193,4	653,00	65,46	34,54
0,63	60,9	713,90	71,56	28,44
0,5	66,3	780,20	78,21	21,79
0,315	50,3	830,50	83,25	16,75
0,2	65	895,50	89,77	10,23
0,16	42,1	937,60	93,99	6,01
0,08	60	997,60	100,00	0,00
Fond	12	12,00	1,20	0,00

Tableau II.12. Analyse granulométrique du gravier de verre (3/8)

Tamis	Mi(g)	ai (%)	Ai	Tamisat (%)
10	77,5	4,84	4,84	95,16
8	640,9	40,06	44,91	55,09
6,3	317,4	19,84	64,75	35,25
5	275	17,19	81,94	18,06
Fond	135	8,44	90,37	9,63

Tableau II.13. Analyse granulométrique du gravier de brique (3/8)

Tamis	Mi(g)	ai (%)	Ai	Tamisât (%)
10	76,4	5,83	5,83	94,17
8	513	39,17	45,00	55,00
6,3	230,9	17,63	62,63	37,37
5	245,8	18,77	81,39	18,61
Fond	213,4	16,29	97,69	2,31

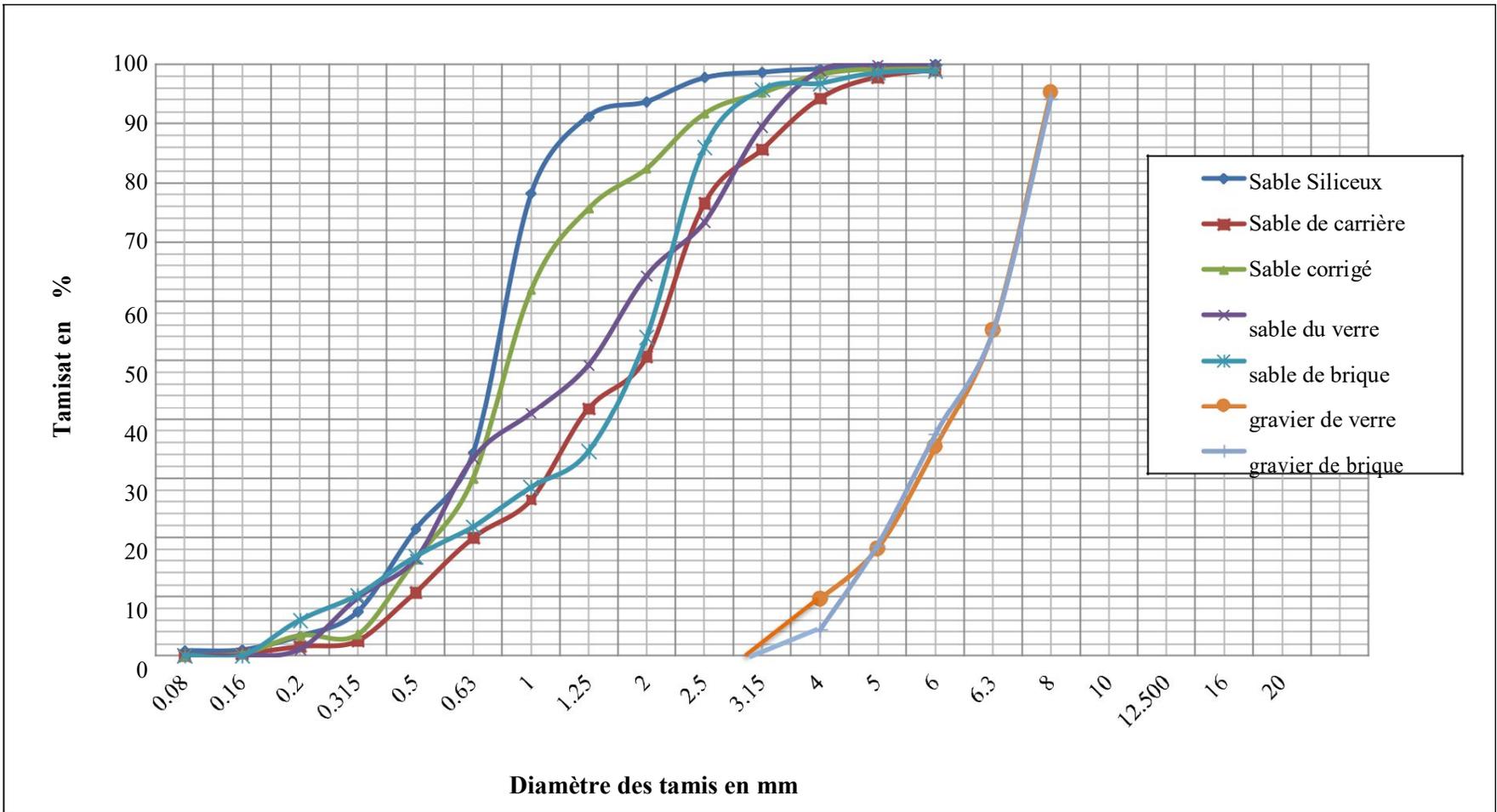


Figure II.11. Analyse granulométrique des granulats

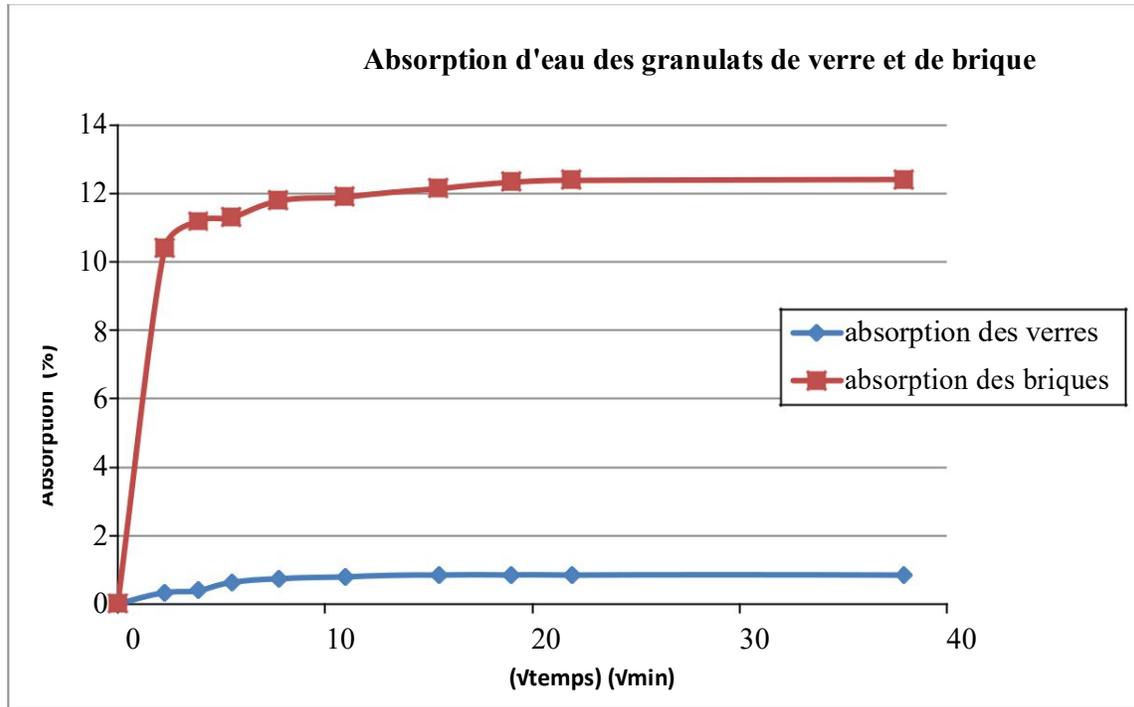


Figure II.12. Courbe de l'absorption d'eau des graviers

II.5.conclusion Conclusion chapitre II

Le travail présenté dans ce chapitre traite les caractéristiques des matériaux utilisés dans la formulation de notre mélange, les conclusions qu'on peut tirer de cette caractérisation sont :

- Le sable siliceux est caractérisé par une granulométrie serrée situé hors du fuseau recommandé de sable ce qui nécessite une correction granulaire avec un sable gros (sable de carrière) afin d'obtenir l'optimum de compacité du mélange.
- Tous les sables utilisés sont des sables propres.
- Les sables recyclés utilisés (sable de brique et sable de verre), donne un module de finesse relativement acceptable.
- Les masses volumiques des gravillons de brique sont légères par rapport au verre.
- Les gravillons de briques présentent une absorption d'eau très levée.



Chapitre III

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

Introduction

Les bétons de sable font partie de nouveaux bétons aux propriétés spécifiques intéressantes (finesse granulométrique, ouvrabilité ...), pour lesquels la démarche de formulation demeure très empirique

La méthode de formulation utilisée pour déterminer les compositions des bétons d'étude est la méthode **SABLOCRETE**, cette méthode de formulation a été utilisée dans le projet de **SABLOCRETE** origine de l'amendement de la norme révisée P 18-500 « béton de sable » exposé dans l'ouvrage intitulé « bétons de sable : caractérisations et pratique d'utilisation »

II.3.1-Approche théorique de formulation de SABLOCRETE

II.3.1.1-Etapes de calcul

II.3.1.1.1-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 $\frac{P_s}{100} = \frac{V_s}{V} \cdot (\rho_s / \rho_w)$ (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 :

$[Fines] = \frac{V_s}{V} \cdot (\rho_s / \rho_w)$ (En % volumique). II.3.1.1.2- Porosité et dosage en eau dans le béton sable

- "d" calculé de la formule suivante : $d = \frac{60}{\rho_s} \cdot \frac{V_s}{V} \cdot (\rho_s / \rho_w)$

- f : surface spécifique en cm²/g

- ρ : densité en g/cm³.

$$[\text{vide}] = K [\text{eau}] \text{ (l/m}^3\text{)} ; \quad K \text{ compris entre 0.2 et 0.25}$$

II.3.1.1.3- Estimation du dosage en sable

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

II.3.1.1.4-Estimation de la résistance en compression

$$= \frac{(\dots)}{[\dots]} \text{MPa}$$

: Coefficient granulière (varie de 4.5 à 5)

: 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).

$$K_1 := \dots - + \dots -$$

$$0.2 < \dots < 0.4 \quad 2 < \dots < 3.3 \quad \text{et} \quad K_1 \leq 0.5$$

$$K_f = K_{fil} \dots 0 < \dots < 0.5 \quad \text{et} \quad K_2 \leq 0.2$$

K₁ : Coefficient pouzzolanique.

K₂ : Coefficient d'activité du filler calcaire.

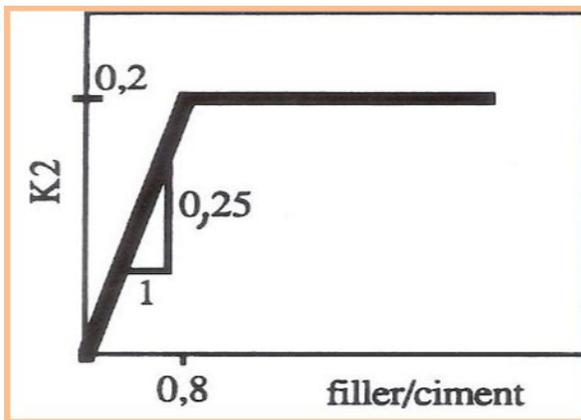


Figure III.1. Coefficient d'activité du filler calcaire [27]

; et : 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/m³).

II.2.3-Composition des bétons de sable

L'approche théorique de SABLOCRETE ajustée expérimentalement est utilisée pour la formulation des bétons de sable de ce travail. La composition des mélanges est récapitulée aux tableaux III.1 et III.2, cette composition basée sur l'utilisation des granulats recyclés de briques et de verre comme sable et comme gravier de fraction 3/8. Selon le plan de travail visé, cette composition divise en deux parties.

III.2.3.1-Composition des bétons de sable avec sables recyclés

Dans le but de l'étude de l'effet de la nature des sable recyclés de briques et de verre sur les propriétés des bétons de sable on fixant le rapport E/C et le dosage de SP, cette étude basé sur le remplacement du sable concassée de calcaire par les sable recyclés dont les formulations sont données au tableau III.1.

Tableau.III.1. Composition des bétons de sable avec sables recyclés

Dénomination des bétons	Dosages des constituants pour 1L (kg/m ³)							
	Ciment	Eau	Filler De Calcaire	Sable siliceux	Sable carrière	Sable verre	Sable brique	SP
BST	311,25	181,40	163,1	1048,79	618,74	/	/	4,77
BSSV	311,25	181,40	163,1	1048,79	/	618,74	/	4,77
BSSB	311,25	181,40	163,1	1048,79	/	/	618,74	4,77
BSSV_{sa}	311,25	181,40	163,1	1048,79	/	618,74	/	4,77
BSSB_{sa}	311,25	181,40	163,1	1048,79	/	/	618,74	4,77

BST Béton de sable témoin

BSSV Béton de sable avec sable de verre

BSSB Béton de sable avec sable de brique

BSSV_{sa} Béton de sable avec sable de verre saturé d'eau

BSSB_{sa} Béton de sable avec sable de brique saturé d'eau

III.2.3.2-Composition des bétons de sable chargé avec granulats recyclés

Les déchets de briques et de verre sont utilisés comme granulats de fraction 3/8 pour charger le béton de sable, pour étudier l'effet de ces déchets comme grains sur le comportement physico-mécanique de ces bétons, quatre rapports de G/S sont choisis pour cette étude dont les formulations sont données au tableau II.

Tableau.III.2. Composition des bétons de sable chargé

bétons des ation Dénommin	Dosages des constituants pour 1L (kg/m ³)							
	Ciment	Eau	Filler de calcaire	Sable siliceux	Sable carrière	Gravier verre	Gravier brique	SP
BST	311,25	181,40	163,1	1048,79	618,74	-	-	4,77
BSSV0.2	311,25	181,40	163,1	872.81	516.80	277.92	/	4,77
BSSV0.4	311,25	181,40	163,1	748.12	442.97	476.44	/	4,77
BSSV0.6	311,25	181,40	163,1	654.61	387.60	625.32	/	4,77
BSSV0.7	311,25	181,40	163,1	616.61	364.80	686.63	/	4,77
BSSB0.2	311,25	181,40	163,1	872.81	516.80	/	277.92	4,77
BSSB0.4	311,25	181,40	163,1	748.12	442.97	/	476.44	4,77
BSSB0.6	311,25	181,40	163,1	654.61	387.60	/	625.32	4,77
BSSB0.7	311,25	181,40	163,1	616.61	364.80	/	686.63	4,77

BST Béton de sable témoin

BSSV0.2 Béton de sable chargé avec les granulats de verre recyclé G/S = 0.2

BSSV0.4 Béton de sable chargé avec les granulats de verre recyclé G/S = 0.4

BSSV0.6 Béton de sable chargé avec les granulats de verre recyclé G/S = 0.6

BSSV0.7 Béton de sable chargé avec les granulats de verre recyclé G/S = 0.7

BSSB0.2 Béton de sable chargé avec les granulats de briques recyclé G/S = 0.2

BSSB0.4 Béton de sable chargé avec les granulats de briques recyclé G/S = 0.4

BSSB0.6 Béton de sable chargé avec les granulats de briques recyclé G/S = 0.6

BSSB0.7 Béton de sable chargé avec les granulats de briques recyclé G/S = 0.7

III. 3. Caractérisation des bétons à l'état frais

III.3.1. Maniabilité

La maniabilité est caractérisée par l'essai d'affaissement au cône d'Abrams qui est réalisé selon la norme NF EN 12350-2 [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.

Le cône utilisé est de dimensions (diamètre de la base de 200 mm, diamètre de la partie supérieure de 100 mm et de hauteur de 300 mm). Le cône doit être posé sur un plateau métallique horizontal légèrement humidifié au préalable comme le montre la Figure III.I. Le remplissage du cône se fait en trois couches de même hauteur, chaque couche étant piquée par 25 coups à l'aide d'une tige de piquage normalisée. Une fois rempli, le moule doit être retiré verticalement régulière effectuée en 5s à 10s. L'affaissement h est mesuré après stabilisation de l'affaissement par l'intermédiaire d'une règle.



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

III.3.2. Masse volumique

Elle est estimée à partir de la détermination de la masse volumique des mélanges de béton frais selon la norme NF EN 12350-6 [18]. Cette dernière caractérisée par la masse d'une quantité de béton frais rapporté à son volume après vibration, comme il est indiqué dans la formule suivante :

$$= \frac{\text{---}}{\text{---}} (\text{g/cm}^3)$$

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

III.4. Résultats et interprétation

III.4.1. Maniabilité

III.4.1.1. Effet du taux de la nature des sables recyclés sur la maniabilité des bétons

Les résultats de la maniabilité des bétons de sable à base des sables de brique et de verre recyclés à l'état sec et a l'état mouillé est caractérisée par l'essai de l'affaissement au cône d'Abrams sont illustrés à les figure III.2

Tableau III.3. Maniabilité des bétons avec sable de brique
et de verres recyclés à l'état sec

Types du béton	BST	BSSB	BSSV
Aff (cm)	9	0	5

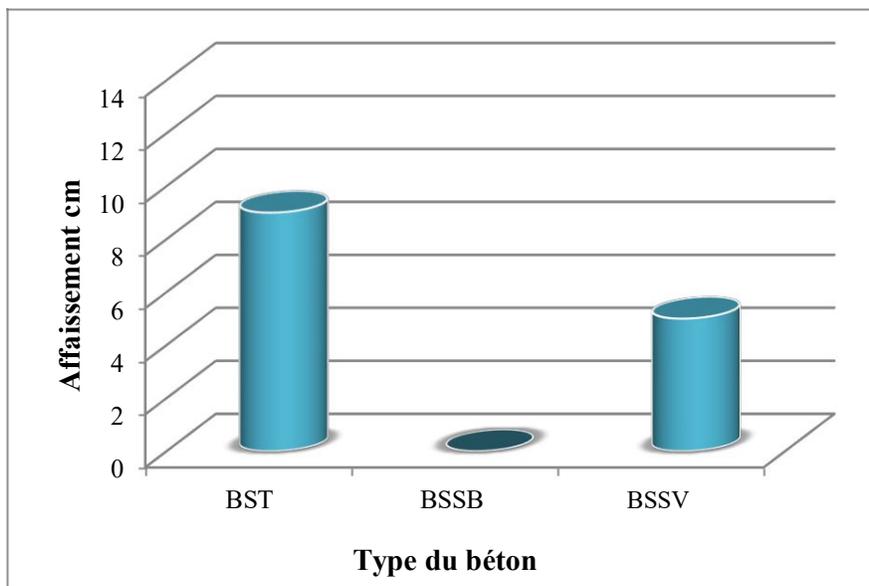


Figure III.3. Maniabilité des bétons avec sable de brique et de verre recyclés à l'état sec

Tableau III.4. Maniabilité des bétons avec sable de brique et de verre recyclé pré mouille

Types du béton	BST	BSSBsa	BSSVsa
Aff (cm)	9	7	5

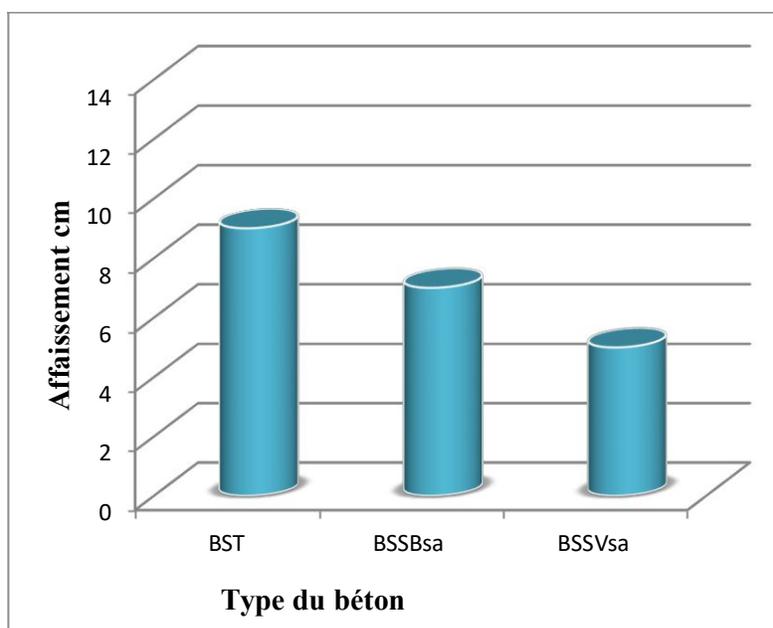


Figure III.4. Maniabilité des bétons avec sable de brique et de verre recyclé à l'état pré mouille

Le tableau III.3 et la figure III.3 montrent clairement que la maniabilité caractérisée par l'affaissement au cône d'Abrams est affectée considérablement par la nature des sables. Pour un rapport E/C fixe, la maniabilité des bétons de sable diminue avec l'utilisation des sables de verre et de brique recyclé par rapport au béton témoin avec sable de carrière, surtout le sable de brique qui donne un béton très ferme avec un affaissement au cône d'Abrams égale à 0cm. Ceci est dû à la porosité élevée et au caractère absorbant de ce type de sable ce qui nécessite une correction sur le dosage pour avoir la maniabilité souhaitée ou des bétons avec une maniabilité plastique.

Dans le but d'avoir une maniabilité plastique et proche à celle de béton témoin on a saturé les sables avant leurs utilisations. La figure III.4 montre que l'utilisation des sables recyclés et surtout le sable de brique saturé d'eau augmente et améliore la maniabilité des bétons.

Tableau III.5. Maniabilité des bétons selon le taux de substitution en granulats rechargés en grave de brique 3/8.

Rapport G/S	BST	0.2	0.4	0.6	0.7
Affaissement (cm)	9	8	11	13	17

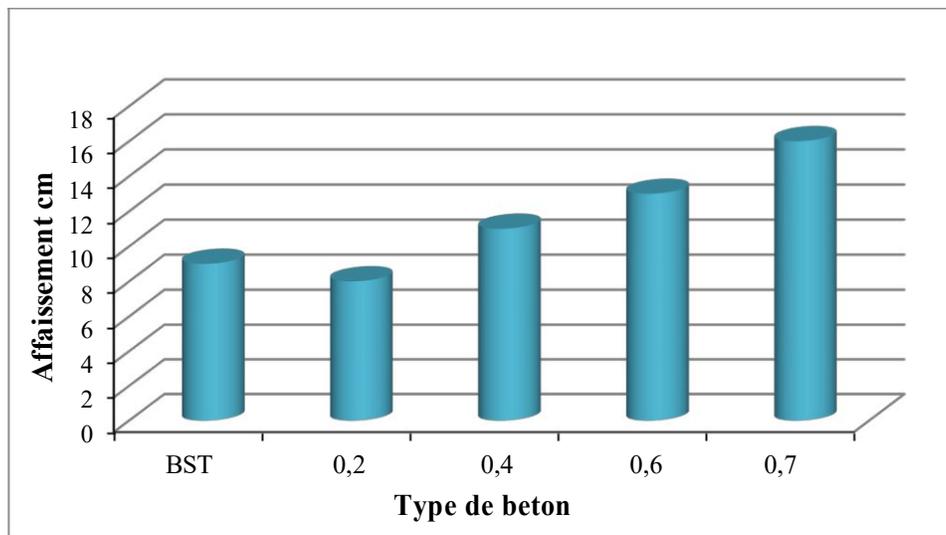


Figure III.5. Variation de la maniabilité des bétons en fonction du taux de substitution en granulats de brique

Tableau III.6. Maniabilité des bétons selon le taux de substitution en granulats rechargés en grave de verre 3/8.

Rapport G/Sen GV 3/8	BST	0.2	0.4	0.6	0.7
Affaissement (cm)	9	8.5	10	12	15

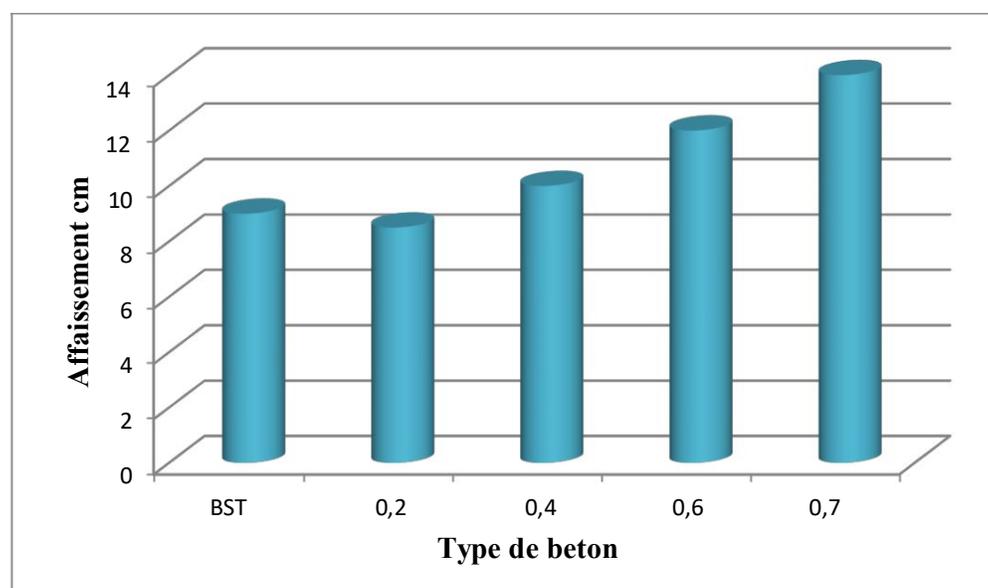


Figure III.6. Variation de la maniabilité des bétons en fonction du taux de substitution en granulats de verre

Les figures III.5 et III.6 présentent la variation de la maniabilité des bétons de sable chargé avec des graviers de brique et de verre recyclé, on peut nettement constater que le chargement et l'augmentation de rapport G/S (Gravier/sable) influencent la maniabilité des bétons d'étude.

La maniabilité des bétons de sable chargé avec les granulats de brique et de verre augmente avec l'augmentation du rapport G/S, cette augmentation est de l'ordre de 22%, 44% et 89% respectivement avec les rapports de G/S de 0,4, 0,6 et 0,7% pour les granulats de brique. Pour les bétons de sable chargé avec les granulats de verre l'augmentation est de l'ordre de 11%, 33% et 67% respectivement avec les rapports de G/S de 0,4, 0,6 et 0,7%.

Ces résultats s'expliquent par la différence entre la granulométrie des sables et les graviers recyclés, le chargement des bétons de sable et l'introduction des graviers se font par substitution d'un volume de sable par les graviers recyclés. Cette substitution diminue la surface spécifique de l'étendue granulaire par l'augmentation du diamètre maximum du mélange de sable et de gravier ($D_{max} = 8\text{mm}$) par rapport au diamètre maximum de mélange témoin qui ne dépasse pas le 5mm

L'état des granulats recyclés aussi peut jouer un rôle dans l'augmentation de la maniabilité surtout pour les graviers de brique, ces graviers qui sont des graviers saturés d'eau à surface

sec. Pendant le malaxage du béton l'eau à l'intérieur des granulats recyclés saturés peut se déplacer vers la matrice cimentaire qui provoque une augmentation de la quantité d'eau dans cette matrice et par conséquent l'augmentation de la maniabilité.

III.4.1. 2. Masse volumique

Les résultats obtenus de la masse volumique des bétons à l'état frais et a l'état durci sont regroupés dans le tableau III.7 , III.8 , III.9 III.10 , et illustrés par les figures III.7, III.8, III.9, III.14, III.10.

Tableau III.7. Masse volumique des bétons à l'état frais sable pré mouille

Types du béton	BST	BSSB	BSSV
Aff (cm)	2,30	2,27	2,25

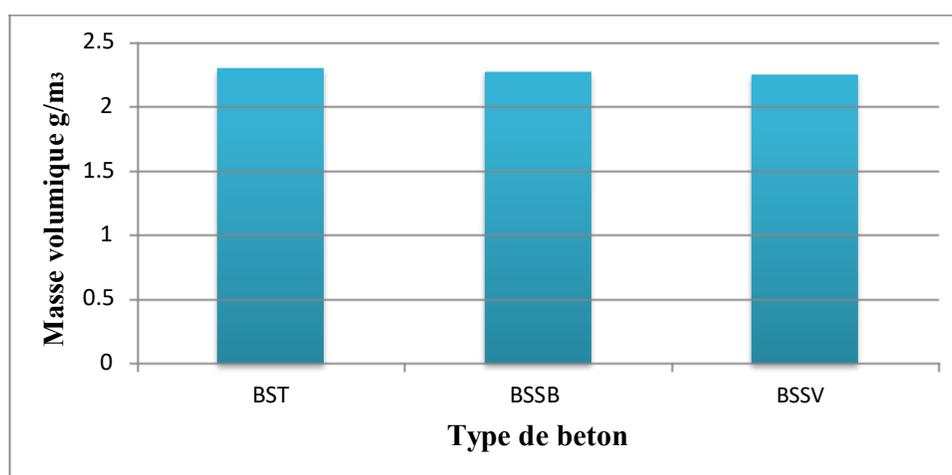


Figure III.7. Variation de la masse volumique a l'état frais des bétons sable pré mouille

Tableau III.8. Masse volumique des bétons à l'état frais sable sec

Types du béton	BST	BSSB	BSSV
Aff (cm)	2,30	2,16	2,22

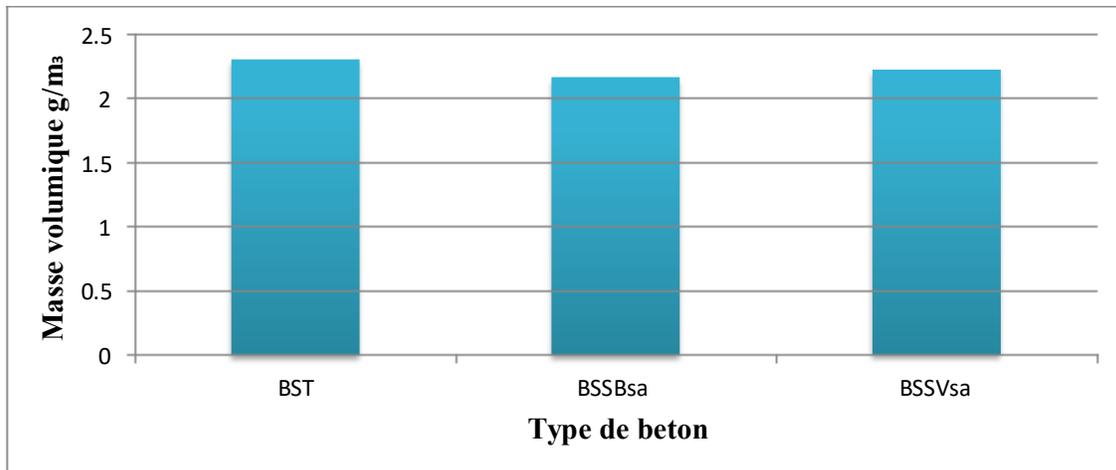


Figure III.8. Variation de la masse volumique a l'état frais des bétons sable sec .

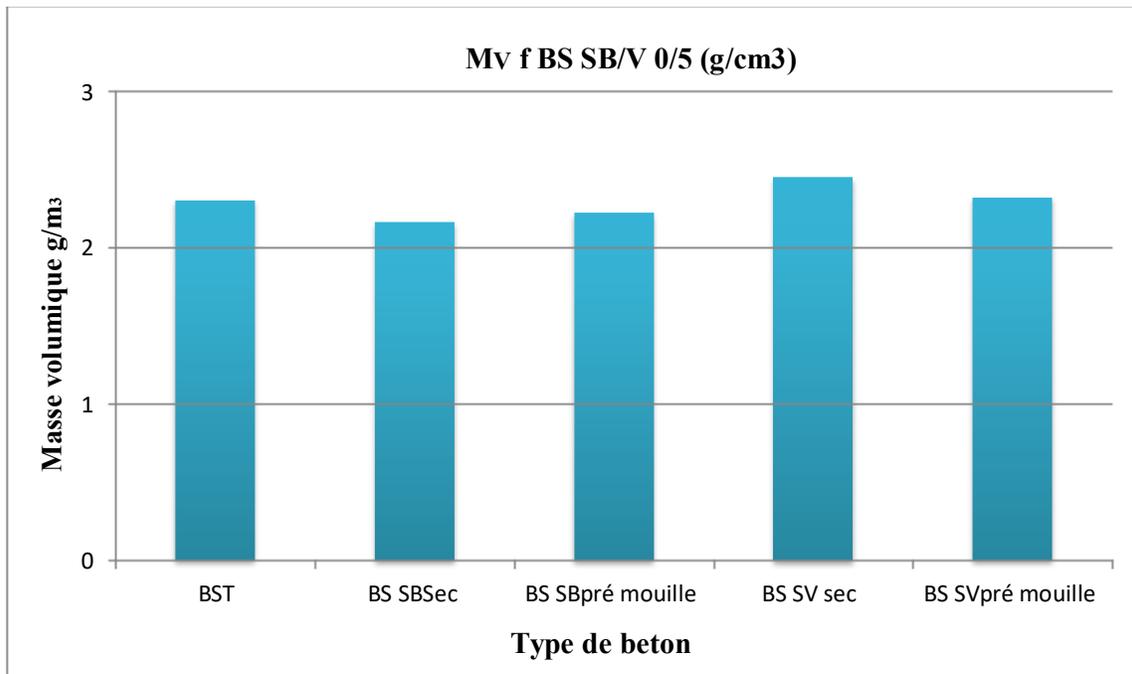


Figure III.9. Variation de la masse volumique a l'état frais des bétons en fonction d'humidité des granulats 0/5.

La figures III.09 montre l'effet de la nature des sables recyclés sur la masse volumique des bétons de sable à l'état frais, cette dernière est légèrement influencée par la nature des sables recyclés utilisés. On observe que les masses volumiques des bétons à base des sables de verre et de brique sont légèrement inférieure à celle de béton témoin mais restent proches, cela peut s'expliquer par les masses volumiques intrinsèques des deux sables recyclés.

Tableau III.9. Variation de la masse volumique des bétons frais en fonction du taux de substitution en granulats de brique GB3/8

Rapport G/Sen GB 3/8	BST	0.2	0.4	0.6	0.7
Mv (g/cm ³)	2,32	2,31	2,26	2.22	2.15

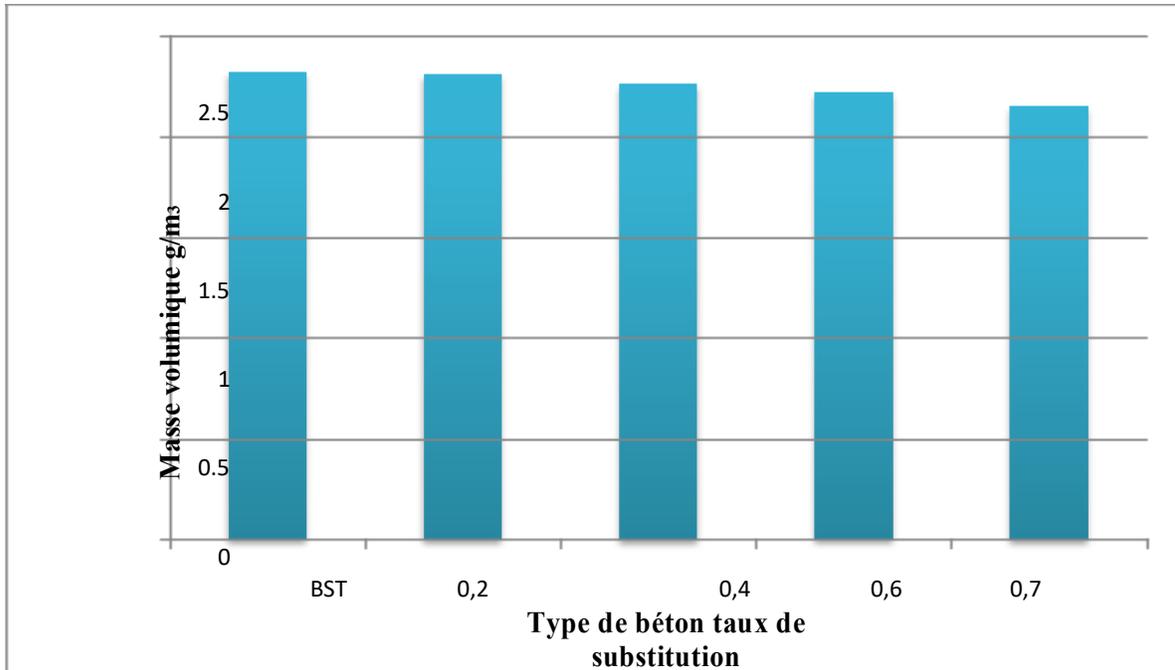


Figure III.10. Variation de la masse volumique frais en fonction du taux de substitution en granulats de brique GB3/8

Tableau III.10. Variation de la masse volumique des bétons frais en fonction du taux de substitution en granulats de verre GV3/8

Rapport G/Sen GV 3/8	BST	0.2	0.4	0.6	0.7
Mv (g/cm ³)	2,32	2.30	2.20	2.19	2.10

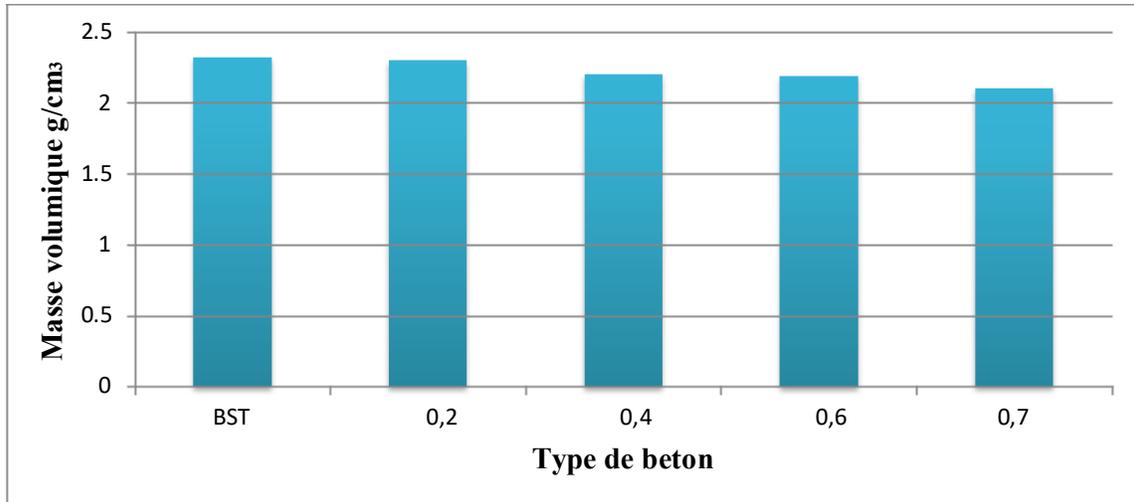


Figure III.11. Variation de la masse volumique fraîche en fonction du taux de substitution en granulats de verre GV3/8

Les figures III.10 et III.11 présentent l'influence de chargement et l'augmentation de rapport G/S (Gravier/sable) sur la variation de la masse volumique des bétons à l'état frais, d'après ces figures on constate que la masse volumique des bétons avec les granulats de briques et de verre recyclés diminue avec l'augmentation de rapport G/S, cette diminution qui ne dépasse pas les 10% pour un rapport de G/S=0,7 pour les deux types graviers.

Ces résultats s'expliquent par les masses volumiques intrinsèques des granulats de verre et de briques recyclés qui sont inférieurs à celle de sable de carrière.

III.4. Conclusion chapitre III

Dans ce chapitre on a présenté la méthode de formulation utilisée pour déterminer les compositions des bétons d'étude 'la méthode SABLOCRETE', ainsi que les essais utilisés pour caractériser ces bétons à l'état frais et l'effet de la nature des granulats de verre et de brique recyclé sur les propriétés des bétons de sable chargé à l'état frais (maniabilité et masse volumique). Par l'analyse des résultats obtenus nous pouvons énoncer :

- Les sables recyclés de verre et de brique diminuent la maniabilité de sable.
- La maniabilité des bétons de sable chargé augmente avec l'augmentation de rapport G/S (Gravier/sable)
- L'augmentation du taux de substitution en granulats recyclés n'a aucun effet sur la variation de la masse volumique des bétons à l'état frais.



Chapitre VI

CHAPITRE IV : PROPRIETES DES BETONS A L'ETAT DURCI

IV.1. Introduction

Ce dernier chapitre est consacré pour présenter les résultats de l'influence de la nature des granulats 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. Choix des éprouvettes

La caractérisation mécanique des bétons de sable d'étude est obtenue en exploitant les mesures de la résistance en traction par flexion et en compression sur des éprouvettes $(4 \times 4 \times 16) \text{ cm}^3$, $(7 \times 7 \times 28) \text{ cm}^3$ et $(10 \times 10 \times 10) \text{ cm}^3$ conformes à la norme NF EN12390-1 [28] et NF EN12390-3 [29].

IV.2.2. Préparation du béton

La préparation des éprouvettes est réalisée selon la norme NF P 18-400 [30]. Le malaxage du béton est réalisé à l'aide d'un malaxeur à béton d'une capacité de 20L. La durée totale de malaxage 5 (1 minute de malaxage à sec et 4 minutes de malaxage humide). La séquence de malaxage du béton est décrite dans le tableau IV.1.

Tableau IV.1 : Séquence et durée de malaxage des bétons

Durée	Etape
t 1min	Introduction des différentes fractions du squelette granulaire dans la bétonnière suivi de l'ajout des fines (ciment et fillers) et un malaxage de 1 sec.
t 2min	Introduction de 75% d'eau
t 2min	Introduction de 25% d'eau restante, dont laquelle la totalité du volume du super plastifiant est diluée.



Figure IV.1.Malaxeur pour béton

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.

IV.2.3.Conservation des éprouvettes

Les moules ont été conservés 24 heures à une température ambiante après leur coulage. Une fois le démoulage effectué, les éprouvettes sont conservées sous l'eau jusqu'aux échéances des différents essais.

IV.3. Essais mécaniques

IV.3. 1. Essai de compression

L'essai de compression est réalisé selon la norme **NF EN 12390-3** [28] sur des éprouvettes cubiques de dimensions $(10 \times 10 \times 10) \text{ cm}^3$ et $(4 \times 4 \times 4) \text{ cm}^3$ les demi éprouvettes obtenues après l'essai de traction par flexion à l'aide d'une presse hydraulique de capacité maximale de 2000 KN aux échéances de 7,14.et 28 jours. Pour chaque échéance d'essai la résistance en compression obtenue est la moyenne issue de trois éprouvettes.

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

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

P : charge de rupture en N

S : Section d'éprouvette en mm^2



Figure IV.2. 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) cm³, (7x7x28) cm³ à l'aide d'un appareillage de traction par flexion de la presse de ZWICK Roel de capacité maximale de 20 KN. La valeur de la résistance et de la charge à la rupture est enregistrée directement au cours de l'essai.

Pour les éprouvettes (7x7x28) cm³ à l'aide d'une machine d'essai est de capacité maximale de 2000 kN à vitesse constante. La résistance à la compression est calculée selon la formule suivante

$$= \frac{P \cdot L}{b \cdot h^2}$$

- P : l'effort de rupture N
- L : la distance ente les appuis mm
- b, h : dimension d'éprouvette mm



Figure IV.3. 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** [31]. Les mesures sont effectuées après 28 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 \pm 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 (M_{air}). 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 .

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

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.4. 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** [30] 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 :

$$C_{at} = \frac{M_t - M_0}{A}$$

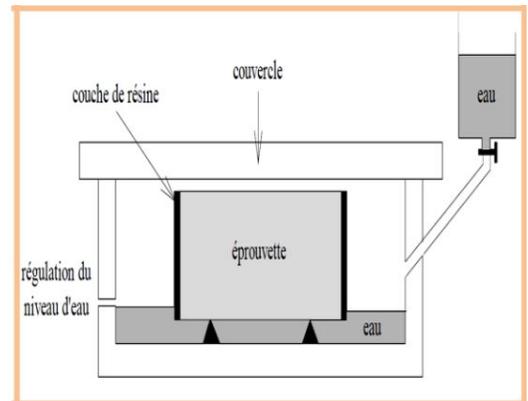
C_{at} : Coefficient d'absorption à l'échéance t (kg/m^2).

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.5. 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 :

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

Avec :

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

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

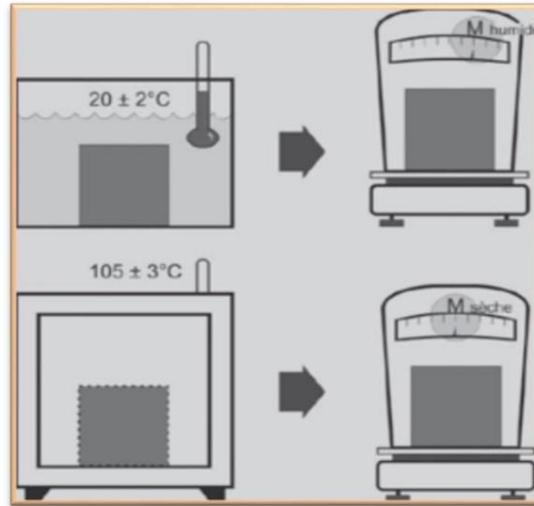


Figure IV.6. Schéma du dispositif de la mesure de l'absorption d'eau par immersion totale

IV.4. Résultats et discussion

IV.4.1. Effet de la nature des sables recyclés sur les propriétés mécaniques des bétons

IV.4.1.1. Résistance en traction par flexion

Les résultats de l'effet de la nature des sables recyclés de verre et de brique (avec le remplacement du sable concassé de calcaire par les sables recyclés) ainsi que l'état des sables (secs ou mouillés) sur la résistance en traction par flexion des bétons de sable sont regroupés dans le tableau VI.1 et illustrés par la figure VI.9.

Les résultats de l'effet de ces déchets comme grains sur la résistance en traction par flexion des bétons de sable chargés avec différents rapports de G/S sont regroupés dans les tableaux VI.2 et VI.3 et illustrés par les figures VI.7,8et VI.9.

Tableau VI.1 : Effet de la nature des sables recyclés sur la résistance en traction par flexion des bétons de sable

Age d'écrasement (jours)	Type du béton				
	BST	BSSB	BSSBse	BSSV	BSSVs
7	4,5	4,41	3,43	3,35	3,43
14	5,86	5,25	4,9	4,1	4,75
28	7,56	7	6,11	5,63	5,9

Tableau VI.2 : Effet de taux de chargement des bétons en granulats de brique sur la résistance en traction par flexion

Age d'écrasement (Jours)	Type du béton				
	BST	BSSB0.2	BSSB0.4	BSSB0.6	BSSB0.7
7	4,5	4,88	6,18	7,07	7,56
14	5,86	6,9	7,12	8,59	8,26
28	7,56	7,21	8,07	8,54	8,92

Tableau VI.3 : Effet de taux de chargement des bétons en granulats de verre sur la résistance en traction par flexion

Age d'écrasement (Jours)	Type du béton				
	BST	BSSV0.2	BSSV0.4	BSSV0.6	BSSV0.7
7	4,5	3	2,75	2,98	3
14	5,86	5,2	4,27	3,81	5,2
28	7,56	5,79	5,42	4,91	5,79

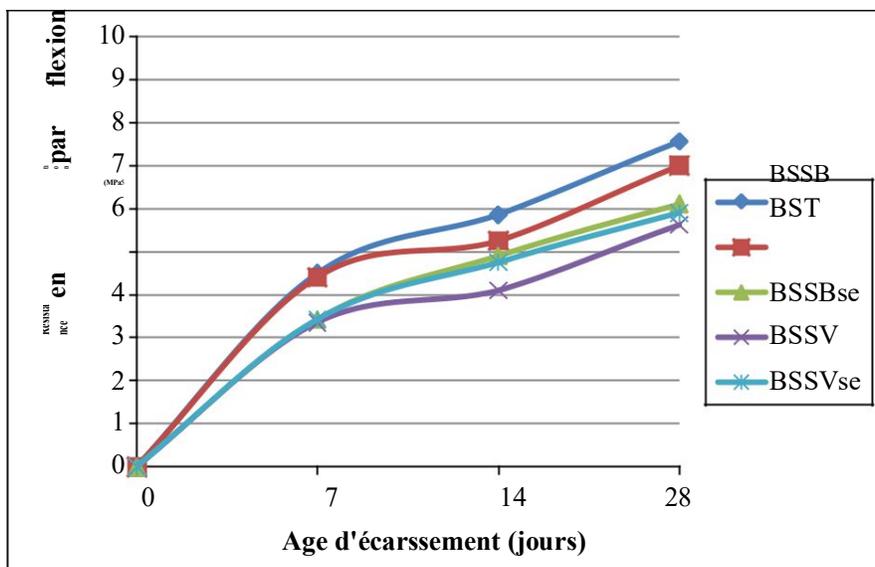


Figure VI.7 : Effet de la nature des sables recyclés sur la résistance en traction par flexion des bétons de sable

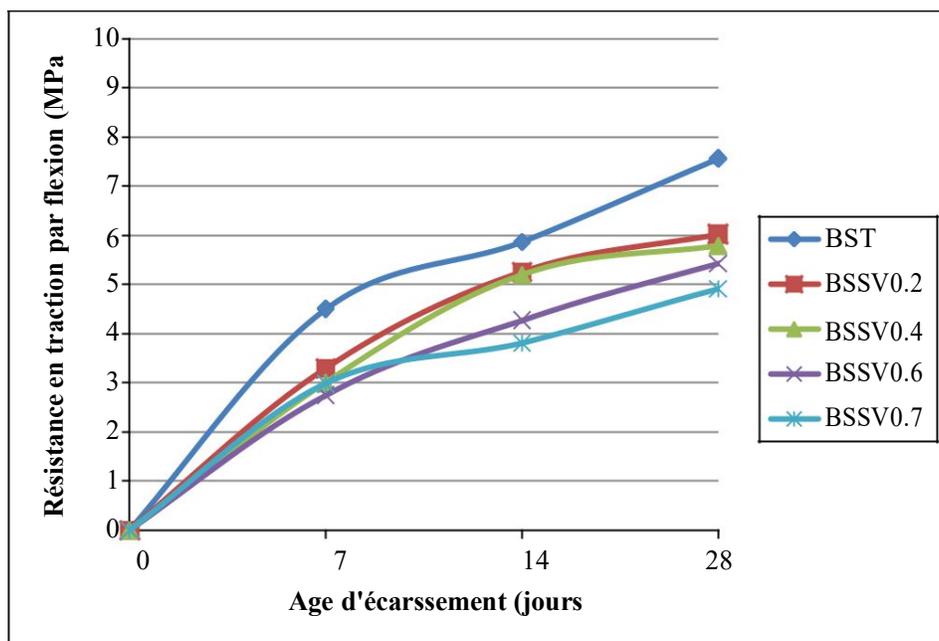


Figure IV.8 : Effet de taux de chargement des bétons en granulats de verre sur la résistance en traction par flexion

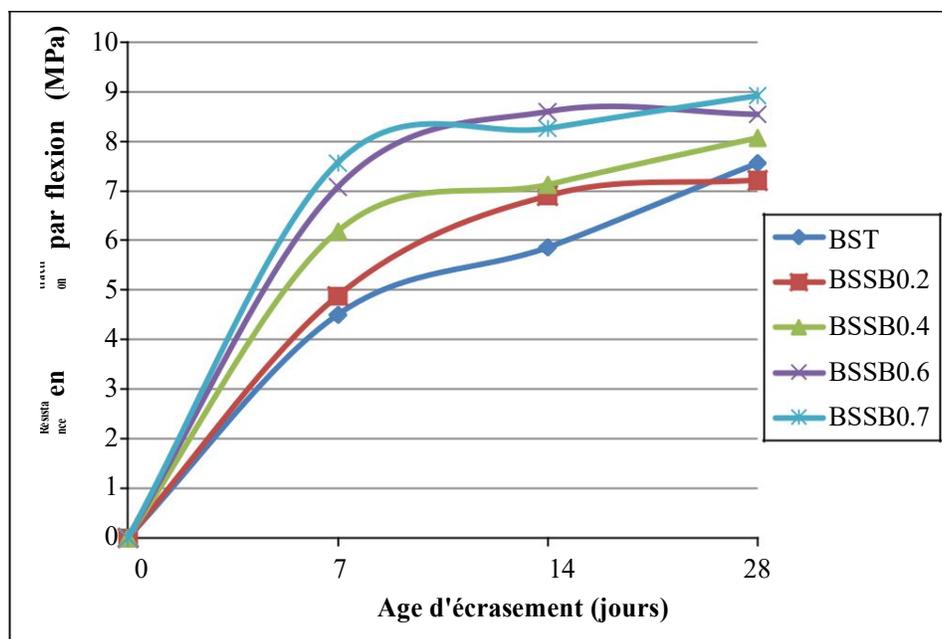


Figure IV.9 : Effet de taux de chargement des bétons en granulats de brique sur la résistance en traction par flexion

Selon les résultats obtenus on peut énoncer que la résistance à la traction par flexion des bétons de sable après une cure de 28 jours dans l'eau est très affectée par la nature des granulats recyclés (sables ou graviers recyclés).

La figure IV.7 montre une diminution de la résistance à la traction par flexion des bétons de sable avec les sables recyclés à l'état naturel sec, cette diminution est de l'ordre de 8% pour le sable de brique et de l'ordre de 25% pour le sable de verre. Même avec l'utilisation des granulats saturés d'eau les résistances restent toujours inférieures à celle du béton témoin, ceci peut s'expliquer par le taux d'argile dans sable de brique et à l'état de surface lisse des graviers de verre qui donnent une mauvaise adhérence entre les grains de ce sable et la matrice cimentaire.

La résistance des bétons de sable chargés avec les granulats du verre diminue avec l'augmentation de rapport de G/S une chute qui peut aller jusqu'au 25% pour un rapport de G/S de 0,7 comme il montre la figure IV.10.

Par contre l'utilisation des granulats de brique pour charger les bétons de sable donne des bonnes résistances, cette amélioration de la résistance en traction par flexion. Cela s'explique par l'état morphologique très poreux et l'état de surface rugueuse des graviers de brique qui donne une bonne adhérence entre les grains de ce sable et la matrice cimentaire.

IV.4.1.2. Résistance en compression

Les résultats de l'effet de la nature des sables recyclés de verre et de brique sur la résistance en compression des bétons de sable sont regroupés dans le tableau VI.4 et illustrés par la figure VI.12.

Les résultats de l'effet de ces déchets comme grains sur la résistance en compression des bétons de sable chargés avec différents rapports de G/S sont regroupés dans les tableaux VI.5 et VI.6 et illustrés par les figures VI.10 ,11 et VI.12.

Tableau VI.4 : Effet de la nature des sables recyclés sur la résistance en compression des bétons de sable

Age d'écrasement (Jours)	Type du béton				
	BST	BSSB	BSSBse	BSSV	BSSVs
7	17,05	20,5	17,31	16,25	14,25
14	25,25	28,18	26,55	20,55	18,1
28	35,22	30,77	30,77	25,12	26,17

Tableau VI.5 : Effet de taux de chargement des bétons en granulats de brique sur la résistance en compression

Age d'écrasement (Jours)	Type du béton				
	BST	BSSB0.2	BSSB0.4	BSSB0.6	BSSB0.7
7	17,05	15,66	19,71	22,75	24,83
14	25,25	26,66	30,43	31,89	37,14
28	35,22	35,67	39,28	42,16	43,05

Tableau VI.6 : Effet de taux de chargement des bétons en granulats de brique sur la résistance en compression

Age d'écrasement (Jours)	Type du béton				
	BST	BSSV0.2	BSSV0.4	BSSV0.6	BSSV0.7
0	0	0	0	0	0
7	17,05	9,95	8,56	6,24	11,31
14	25,25	18,99	12,78	10,47	22,55
28	35,22	23,09	18,93	12,64	28,53

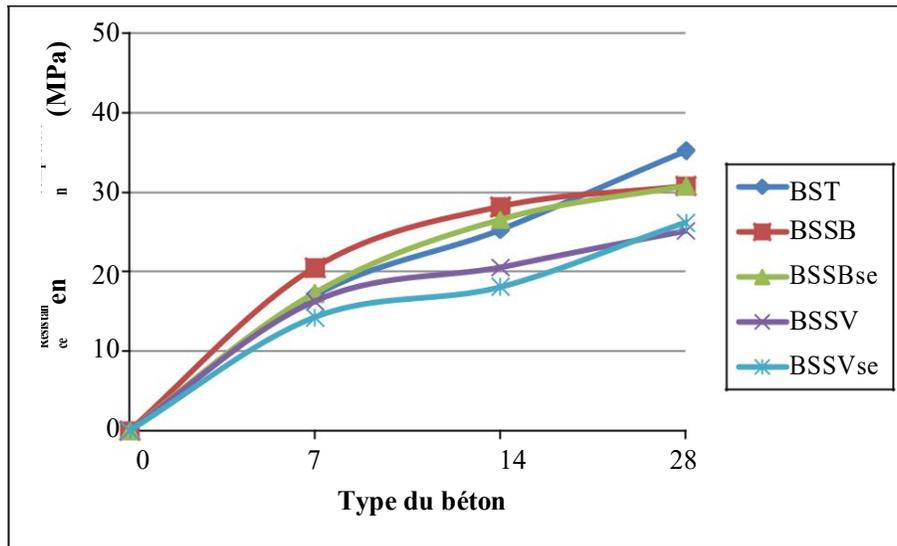


Figure IV. 10: Effet de taux de chargement des bétons en granulats de verre sur la résistance en compression

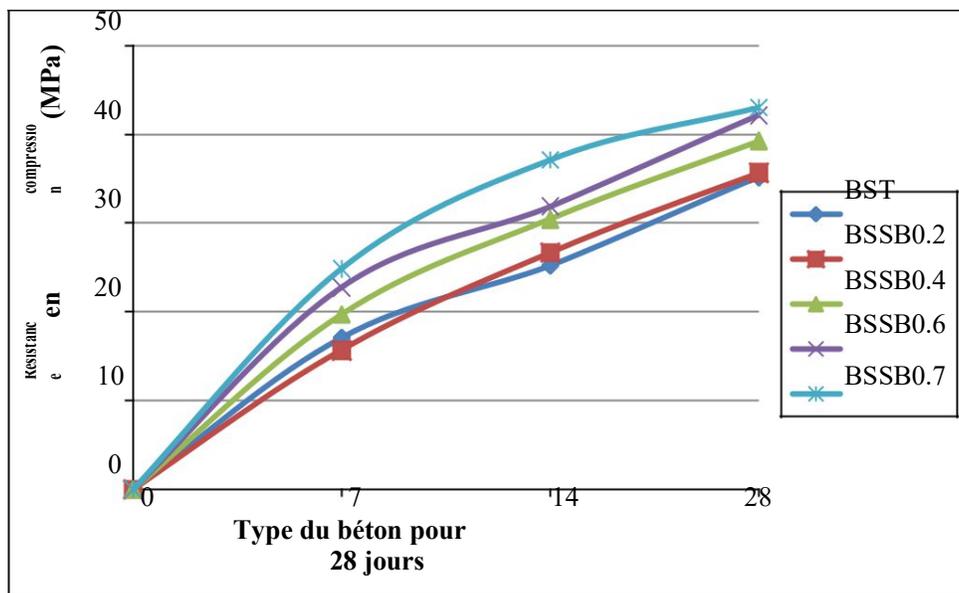


Figure IV.11 : Effet de taux de chargement des bétons en granulats de brique sur la résistance en compression

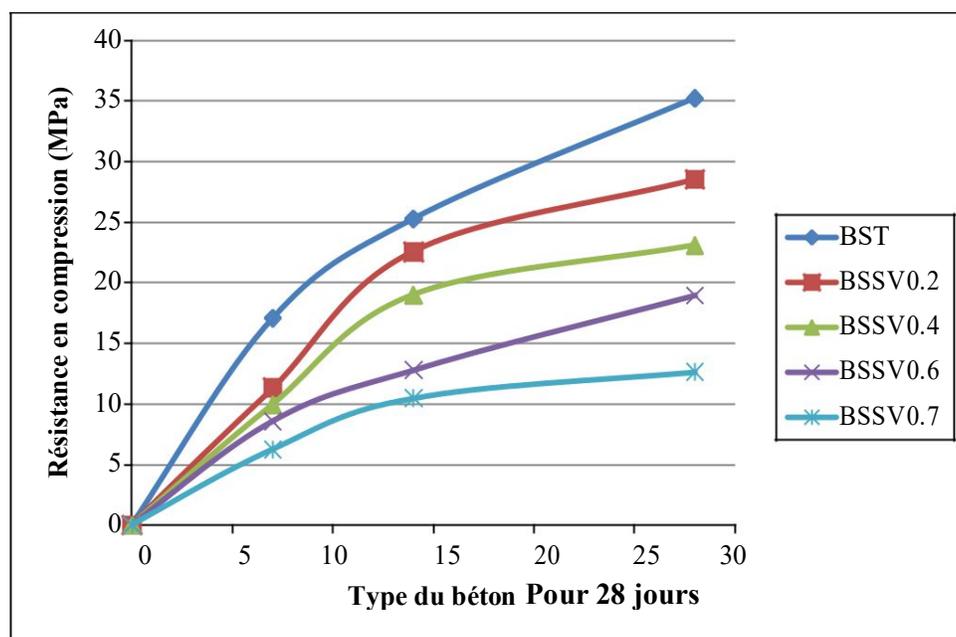
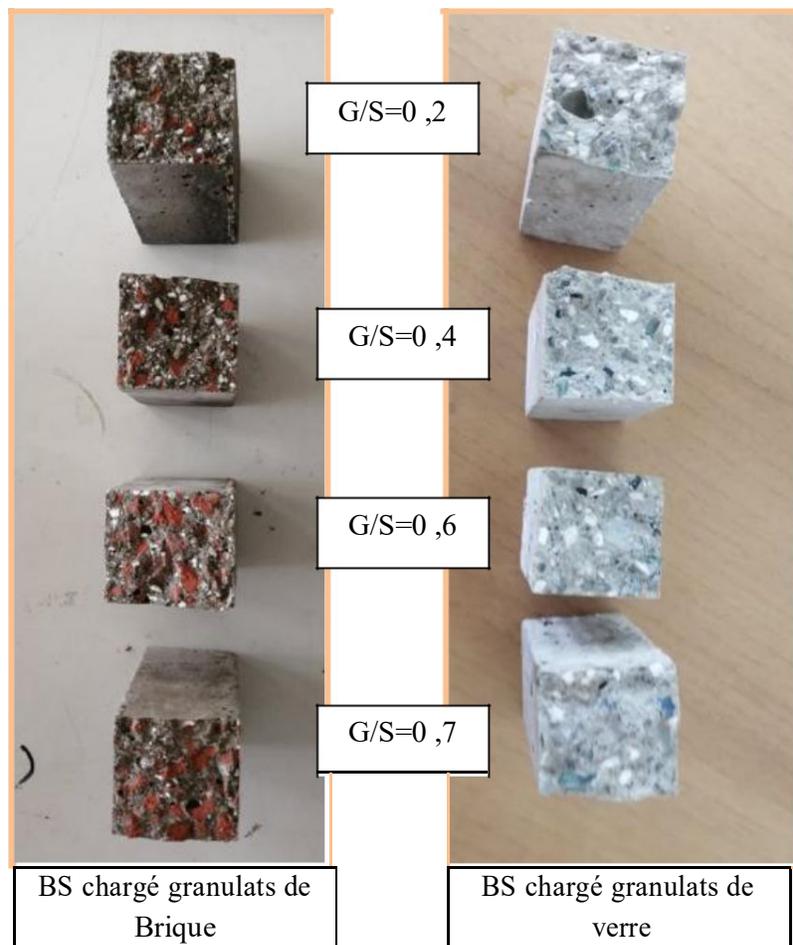


Figure IV.12 : Effet de taux de chargement des bétons en granulats de verre sur la résistance en compression

La résistance en compression comme la résistance en traction par flexion est très affectée par la nature des granulats recyclés (sables ou graviers recyclés).

On montre d'après la figure 10 chute de la résistance en compression des bétons de sable avec les sables recyclés quel que soit l'état des granulats (secs ou mouillés), cette diminution peut s'expliquer par le taux d'argile dans sable de brique et à l'état de surface lisse des graviers de verre qui donne une mauvaise adhérence entre les grains de ce sable et la matrice cimentaire.

La résistance en compression des bétons de sable chargés avec les granulats du verre diminue avec l'augmentation de rapport de G/S une chute qui peut aller jusqu'au 18% pour un rapport de G/S de 0,7 comme il montre la figure IV.11. Par contre une amélioration de la résistance a été enregistrée avec l'utilisation des granulats de brique pour charger les bétons .Cela s'explique par l'état morphologique très poreux et l'état de surface rugueuse des graviers de brique qui donne une bonne adhérence entre les grains de ce sable et la matrice cimentaire.



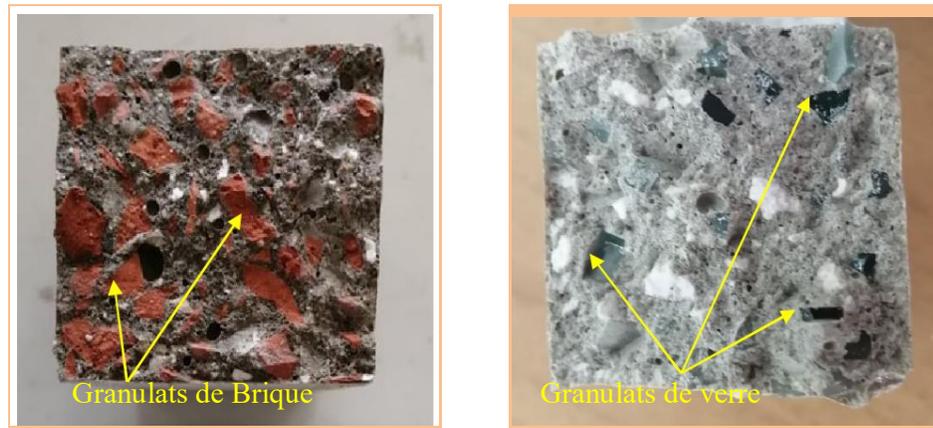


Figure IV. 13. Observation visuelle des bétons de sable chargé avec les granulats de brique et de verre

IV.4.2. Effet de la nature des granulats recyclés sur les propriétés de transfères des bétons

IV.4.2.1. Porosité accessible à l'eau

Les résultats de la porosité accessible à l'eau des bétons de sable avec granulats recyclés (sable et gravier) sont récapitulés aux tableaux IV.7 et IV.8 et présentés par les figures IV.14, IV.15 et IV.16.

Tableau VI.7 : Porosité accessible à l'eau des bétons de sable

BST	BSSSEC	BSSV	BSSBm	BSSVm
18,86	22,56	19,8	20,4	13,56

Tableau VI.8 : Porosité accessible à l'eau des bétons de sable chargé

BST	BSSV0,2	BSSV0,4	BSSV0,6	BSSV0,7	BSSB0,2	BSSB0,4	BSSB0,6	BSSB0,7
18,87	19,63	18,87	19,81	19,81	18,78	20,6	20,81	21,6

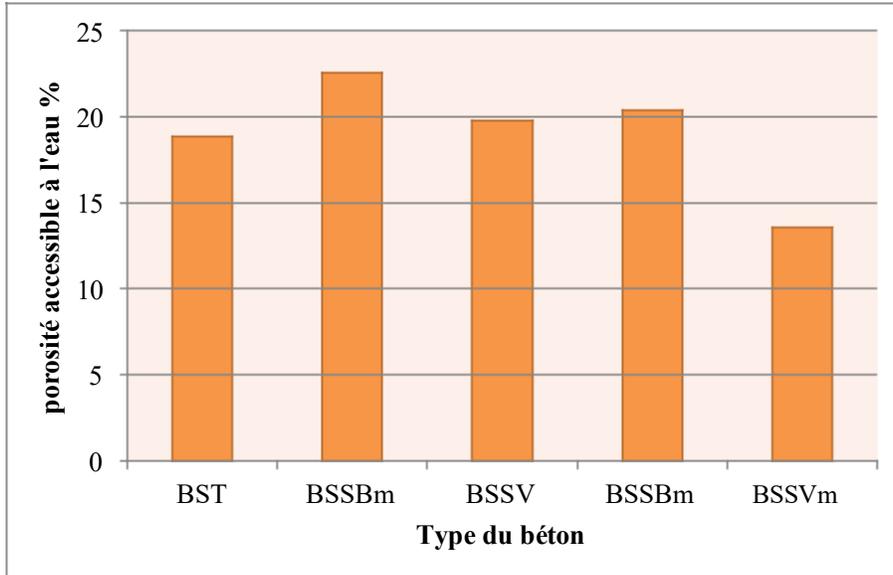


Figure IV.14. Effet de la nature des sables recyclés sur la porosité accessible à l'eau des bétons de sable

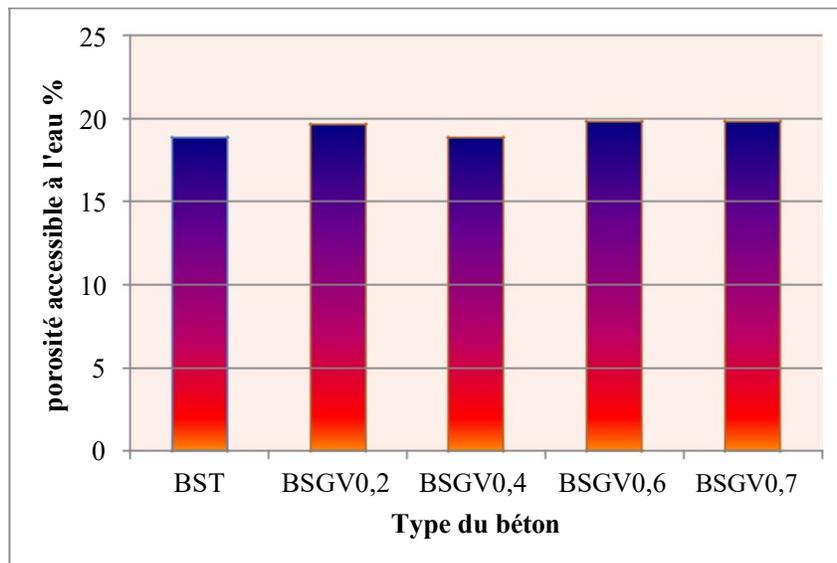


Figure IV.15. Effet de la nature et le taux des granulats de verre recyclés sur la porosité accessible à l'eau des bétons de sable chargé

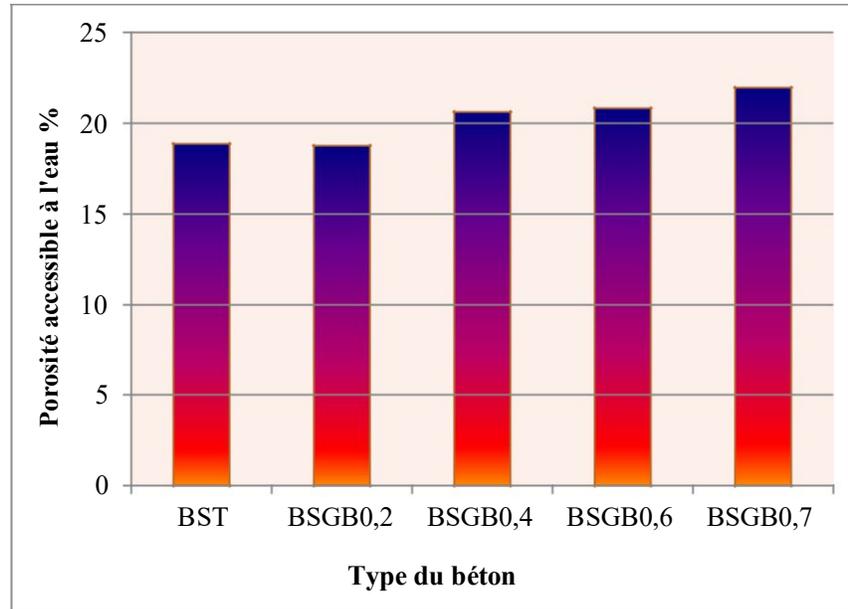


Figure IV.16. Effet de la nature et le taux des granulats de brique recyclés sur la porosité accessible à l'eau des bétons de sable chargé

Les figures IV.14, IV.15 et IV.16 illustrent les résultats de l'effet de la nature des granulats de verre et de brique sur la porosité accessible à l'eau des bétons de sable, il est nettement visible que cette dernière est influencée par la nature et le taux de chargement en granulats recyclés.

La figure IV.15 montre une augmentation de porosité des bétons si on remplace le sable de carrière par les sables de verre et de brique, cette augmentation peut justifier par la granulométrie, la forme et la porosité intrinsèque des granulats recyclés, notamment le sable de brique.

L'incorporation des granulats de verre et de brique dans les bétons de sable influence aussi la porosité de ces derniers, d'après les figures IV.14 et IV.16 on remarque que la porosité des bétons de sable chargé augmente avec l'augmentation de rapport G/S.

cette augmentation est importante dans le cas de gravier de brique qui peut aller jusqu'à 15% pour un rapport de G/S de 0,7. Ces résultats peuvent s'expliquer par la diminution de la surface spécifique de l'étendue granulaire par l'augmentation du diamètre maximum du mélange de sable et de gravier ($D_{max} = 8\text{mm}$) par rapport diamètre maximum de mélange témoin qui ne dépasse pas le 5mm qui augmente la maniabilité des mélanges et la porosité. La forme et la porosité intrinsèque des granulats de brique aussi jouent un rôle dans l'augmentation de la porosité des bétons de sable chargé.

IV.4.2.2. Absorption d'eau par capillarité

Les résultats de l'effet de la nature et du taux des granulats recyclés sur la variation de coefficient d'absorption d'eau par capillarité des bétons de sable chargé sont regroupés dans le tableau IV. 9 et présentés au niveau des figures IV.17, IV.18 et IV.19.

Tableau VI.9. Coefficient d'absorption d'eau par capillarité des bétons de sable d'étude

Types du Béton	Coefficient d'absorption d'eau par capillarité Cat (Kg/m ²)							
	Racine carré du temps \sqrt{t} $\sqrt{\text{min}}$							
	0	0,39	0,71	1	1,41	2	2,83	4,9
BST	0	0,140	0,170	0,207	0,314	0,427	0,562	0,764
BSGB 0,2	0	0,281	0,319	0,370	0,425	0,563	0,768	1,100
BSGB 0,4	0	0,225	0,262	0,319	0,45	0,631	0,838	1,219
BSGB 0,6	0	0,256	0,313	0,369	0,500	0,694	0,950	1,305
BSGB 0,7	0	0,311	0,407	0,442	0,625	0,754	0,899	1,345
BSGV 0,2	0	0,157	0,213	0,325	0,431	0,556	0,625	0,819
BSGV 0,4	0	0,260	0,303	0,438	0,533	0,680	0,775	0,973
BSGV 0,6	0	0,162	0,250	0,419	0,494	0,616	0,718	0,875
BSGV 0,7	0	0,212	0,250	0,288	0,381	0,487	0,644	0,893
BSSV	0	0,200	0,212	0,255	0,370	0,443	0,578	0,819
BSSB	0	0,156	0,275	0,306	0,400	0,519	0,681	0,811
BSSVm	0	0,250	0,288	0,356	0,516	0,706	0,956	1,040
BSSBm	0	0,238	0,381	0,435	0,606	0,817	1,011	1,256

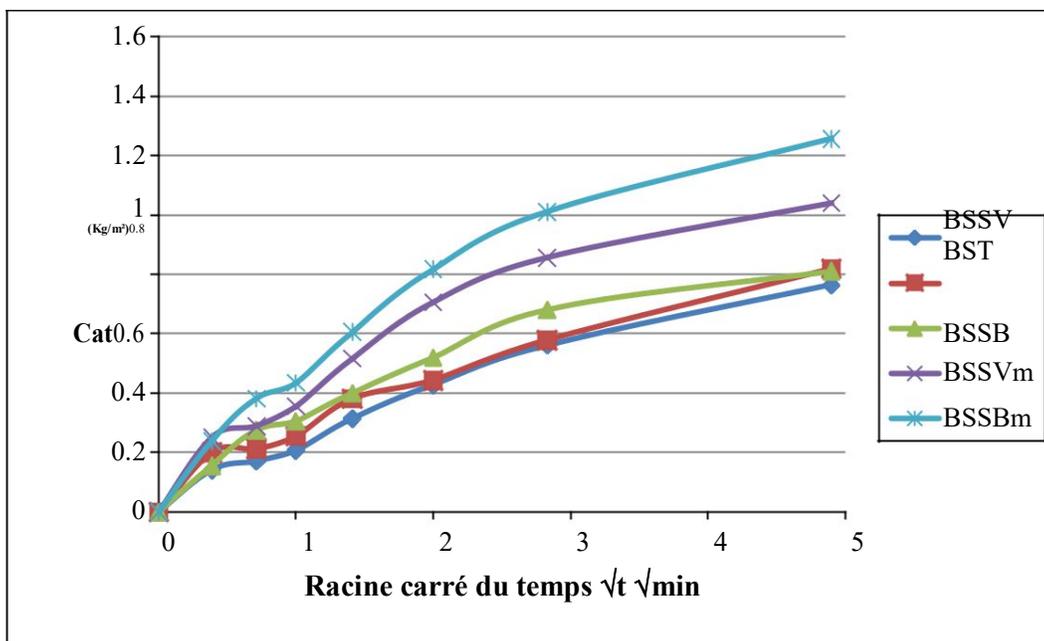


Figure IV.17. Effet de la nature des sables recyclés l'absorption d'eau par capillarité des bétons de sable

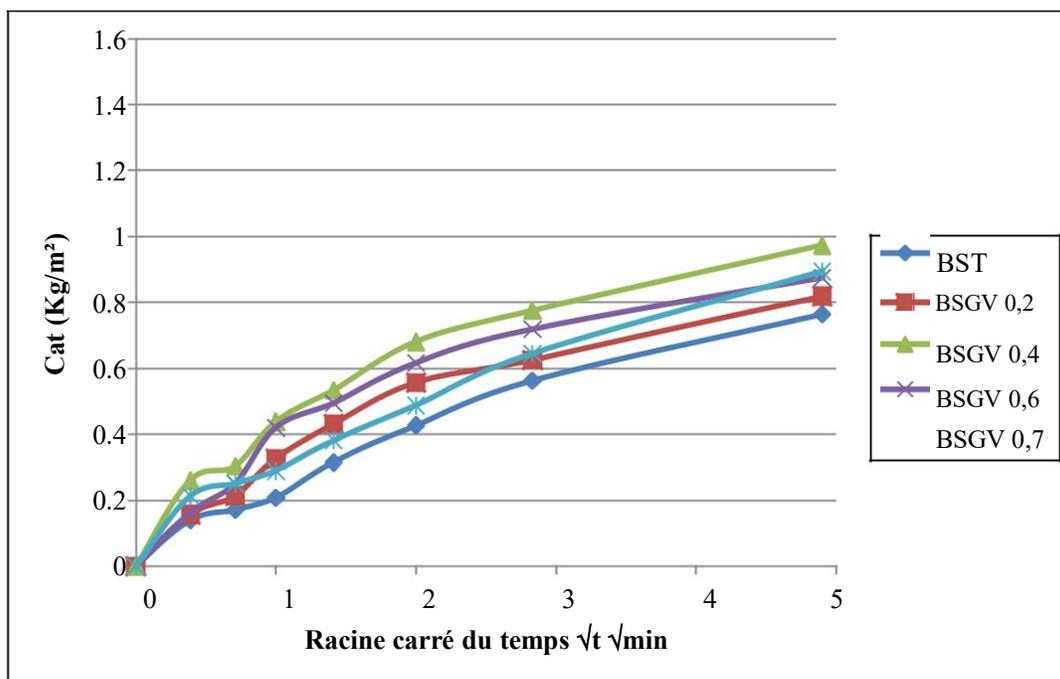


Figure IV.18. Effet de la nature et du taux des granulats de verre recyclés sur la porosité accessible à l'eau des bétons de sable chargé

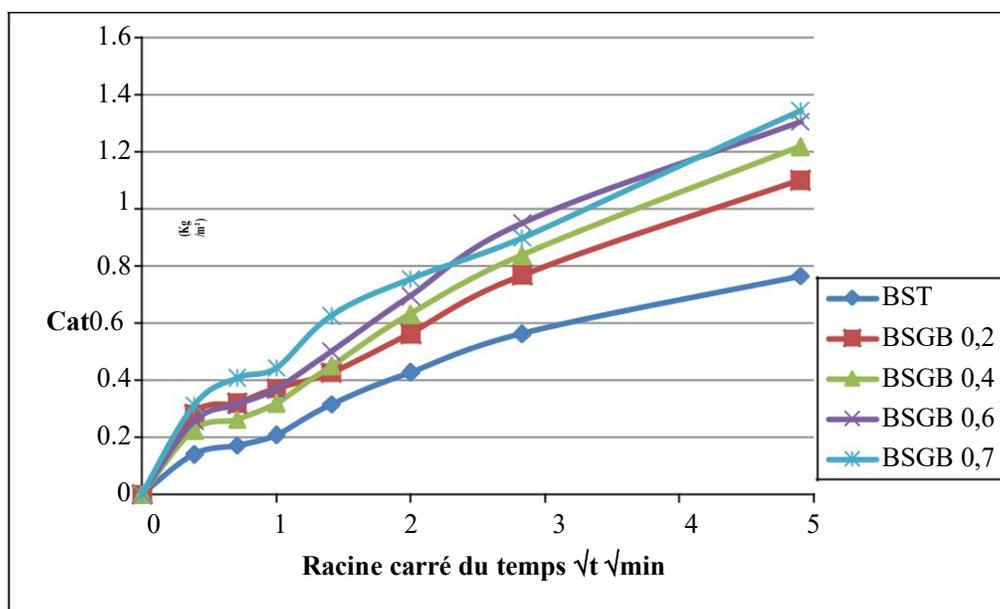


Figure IV.19. Effet de la nature et du taux des granulats de brique recyclés sur la porosité accessible à l'eau des bétons de sable chargé

Le réseau poreux, la forme, la géométrie et la taille des pores influencent la cinétique d'absorption d'eau. Bessa [5] a montré que plus le réseau poreux n'est fin, plus la cinétique d'absorption n'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.

Les figures IV.17, IV.18 et IV.19 montrent que la pente de la droite de la courbe d'absorption des bétons de sable est importante dans le cas d'utilisation de sable et gravier de brique, pour les bétons de sable chargé cette pente est plus importante si augmente le rapport G/S. Ceci est dû à l'augmentation de la porosité des bétons avec granulats recyclé et avec l'augmentation de rapport G/S.

IV.4.2.2. Absorption d'eau par immersion

Les résultats Les résultats de l'effet de la nature et du taux des granulats recyclés sur la variation du coefficient d'absorption d'eau par immersion totale des bétons de sable avec sont regroupés dans les tableaux IV.10 et IV.11 et présentés au niveau des figures IV. 20 et IV.21

Tableau VI.10. Coefficient d'absorption d'eau par immersion totale des bétons de sable

	BST	BSSB	BSSV	BSSBm	BSSVm
Abs(%)	2,12	21,22	20,88	5,2	2,73

Tableau VI.11. Coefficient d'absorption d'eau par immersion totale des bétons de sable chargé

	BST	BSGV	BSGV	BSGV	BSGV	BSGB	BSGB	BSGB	BSGB
		0,2	0,4	0,6	0,7	0,2	0,4	0,6	0,7
Abs(%)	6,75	7,5	6,61	7,07	7,04	7,76	8,79	9,39	9,48

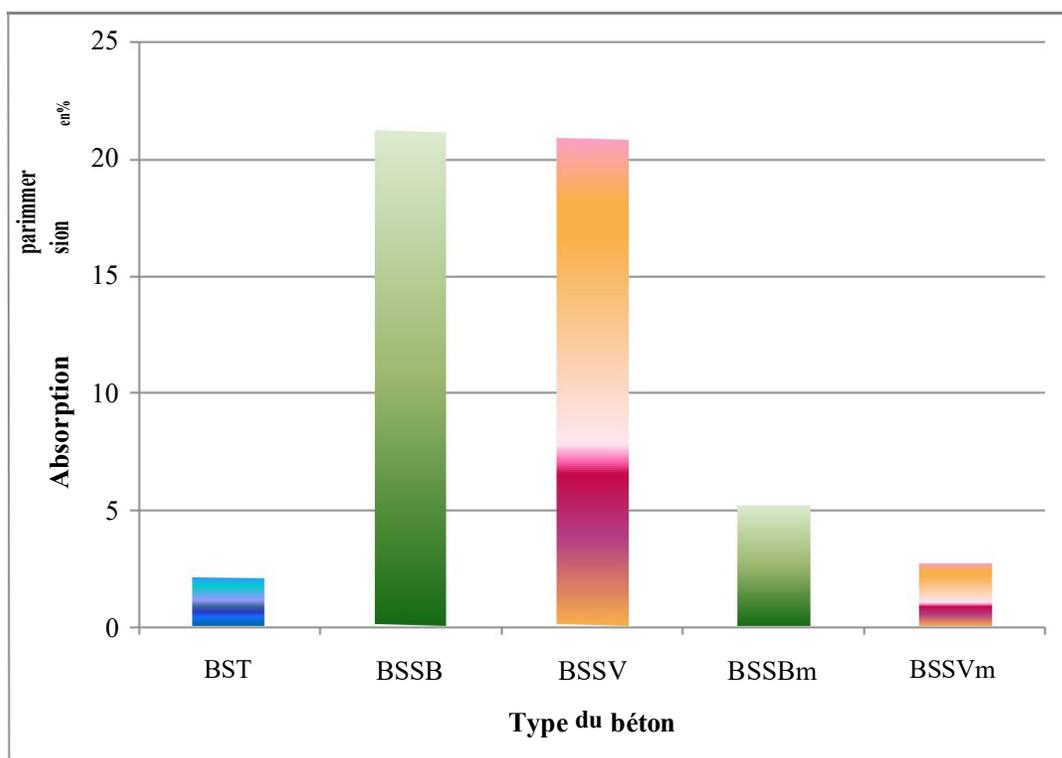


Figure IV.20. Absorption d'eau par immersion des bétons de sable

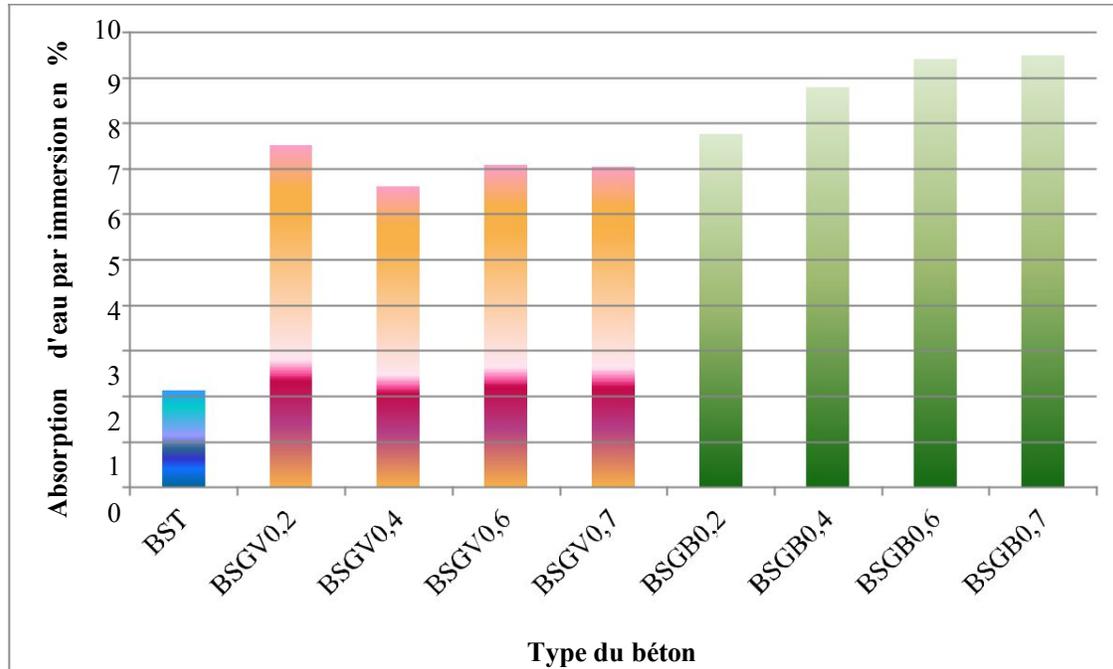


Figure IV.21. Absorption d'eau par immersion des bétons de sable

Les résultats de la d'absorption d'eau par immersion totale des bétons de sable à base des granulats de verre et de brique recyclé sont présentés sur les figures IV.21 et IV.22.

Une augmentation de l'absorption d'eau des bétons avec granulats recyclés, sable et gravier de brique et de verre, cette augmentation est due à l'augmentation de la porosité des bétons de d'étude et surtout les bétons de sable chargé avec les granulats de brique , ces granulats qui sont caractérisés par une porosité intrinsèque et absorption d'eau élevée .

Conclusion

Ce dernier chapitre est consacré à la présentation des résultats de l'effet de la nature des granulats de verre et de brique recyclé sur les propriétés des bétons de sable chargé à l'état durci sur les résistances mécaniques et propriétés de transfère. D'après les résultats obtenus on peut tirer :

- L'augmentation taux de substitution en granulats recyclés influence considérablement les propriétés mécaniques des bétons d'études. Pour un même dosage et une même composition, les résistances à la compression et à la traction par flexion des bétons de sable avec sable recyclé sont toujours inférieures à celle du béton témoin.

- La résistance mécanique des bétons de sable chargé avec les granulats de verre diminue avec l'augmentation du rapport G/S.
- La résistance mécanique des bétons de sable chargé avec les granulats de brique augmente avec l'augmentation du rapport G/S.
- L'absorption d'eau des bétons de sable avec granulats de brique est supérieure à celle des bétons de sable avec granulats de verre.

Conclusion générale

Cette étude s'inscrit dans le cadre de la valorisation des déchets. Cette étude consiste à la valorisation de déchets de brique et de verre dans l'élaboration des bétons de sable, et l'effet de l'utilisation de ces déchets comme granulats sur les caractéristiques des bétons à l'état frais et à l'état durci. L'analyse des résultats obtenus dans le cadre de ce programme expérimental ont permis de tirer les conclusions suivantes:

- Le sable siliceux est caractérisé par une granulométrie serrée situé hors du fuseau recommandé de sable ce qui nécessite une correction granulaire avec un sable gros (sable de carrière) afin d'obtenir l'optimum de compacité du mélange. Les sables recyclés utilisés (sable de brique et sable de verre), donne un module de finesse relativement acceptable
- Tous les sables utilisés sont des sables propres.
- Les granulats de brique recyclés sont caractérisés par une forte capacité d'absorption par rapport aux granulats de verre recyclés, cette absorption est liée une forte porosité de ce matériau.
- L'augmentation taux de substitution en granulats recyclés (l'augmentation de rapport G/S) influence considérablement les propriétés mécaniques des bétons d'études à l'état frais et à l'état durci
- La maniabilité des bétons de sable chargé augmente avec l'augmentation de rapport G/S (Gravier/sable)
- L'augmentation du taux de substitution en granulats recyclés n'a aucun effet sur la variation de la masse volumique des bétons à l'état frais.
- La résistance mécanique des bétons de sable chargé avec les granulats de verre diminue avec l'augmentation du rapport G/S.
- La résistance mécanique des bétons de sable chargé avec les granulats de brique augmente avec l'augmentation du rapport G/S. L'absorption d'eau des bétons de sable avec granulats de brique est supérieure à celle des bétons de sable avec granulats de verre.

Références bibliographiques

- | N° | Références |
|------|--|
| [1] | Achoura. D, Redjel. B., Jauberthie. R -2009- , «Durabilité des bétons de sable a base de laitier de haut fourneaux dans les milieux sulfatique»,1st International Conférence on Sustainable Built Environment Infrastructures in Developing Countries ENSET Oran (Algeria). |
| [2] | ADJOU DJ M’hamed -2005- «thèse Alger». |
| [3] | Benachour, 2009 Y. , « Analyse de l’influence de l’ajout de taux élevée de fillers calcaires sur les propriétés physiques, mécaniques, microstructurales, de transfert et de durabilité des mortiers», thèse de doctorat, université Mentouri, Constantine, Algérie, (2009). |
| [4] | Ben Amara, 2002.D. , « Formulation et comportement d’un béton de sable de la région de Biskra renforce de fibre métallique », mémoire de magister, Université de Annaba, Algérie. |
| [5] | Bessa-Baderddine, 2004. A. , «Etude de la contribution des additions minérales aux propriétés physiques, mécaniques et de durabilité des mortiers», thèse de doctorat, Université de Cergy-Pontoise, France. |
| [6] | Bounab Aymen mémoire master «effet de l’activation mécanique de l’argile cuite (déchets de briques) sur le comportement mécanique du mortier] » mémoire master Université de Annaba, Algérie. |
| [7] | Boucetta Ali, 2014. T. , « Contribution du laitier granulé et de la poudre de verre sur les propriétés d’écoulement et de durabilité des bétons auto plaçants et de hautes performances» . Thèse de doctorat, Université d’Annaba, Algérie. |
| [8] | BOUREMA MOUFIDA «Etude des caractéristiques d’un BHP à base de déchet de brique rouge à l’état frais et durci »Juin 2015 Mémoire Présenté A L’Université 20 Aout 1955 Skikda Pour obtenir le titre de Master Spécialité Génie Civil Option Matériaux de construction. |
| [9] | Classification des déchets-2011- Document réalisé le 17 novembre 2011 par : Assemblée des Chambres Françaises de Commerce et d’Industrie Direction Environnement et Développement Durable - 46, avenue de la Grande Armée – CS 50071 – 75858 PARIS Cedex 17 Tél. 01 40 69 38 46 – dd@acfc.cci.fr livre v préventions des pollutions, des risques et des nuisances titre iv déchets. |
| [10] | Denis et al- 2002- Denis. A., Attar. A., Breysse. D., «effect of coarse aggregate on the workability of sandcrete», cement and concrete research. |
| [11] | GESTION DES DECHETS -2002- Guide pour les établissements publics d’enseignement supérieur ou de recherche Michel AUGRIS -Ministère de l’éducation nationale, Laurent ROY -Université de Rouen. |
| [12] | Lacroix et al, 1982 Lacroix. R., fuentes. A., Thonier. H., « Traité de béton armé ». Livre édition Eyrolles. |
| [13] | Melais Fatma Zohra-2016 -T. , «Durabilité des bétons de sable fibres dans les différents milieux agressifs- effets de la nature des fines d’ajouts et fibres- ». |
| [14] | [NF EN 934-2, 2002] , NF EN 934-2 « Adjuvants pour béton, mortier et coulis Partie 2 : Adjuvants ». |

- [15] **NF EN 1008, 2003** « Eau de gâchage pour bétons », 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.
- [16] **[NF EN 197-1/A1, 2004]** NF EN 197-1/A1 « Ciment Partie 1 : Composition, spécifications et critères de conformité des ciments courants ».
- [17] **NF EN 1097-3** « La masse volumique apparente est la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat ».
- [18] **NF EN 12350-2** « La maniabilité est caractérisée par l'essai d'affaissement au cône d'Abrams ».
- [19] **[NF P18- 500, 2005]** NF P18- 500, « Béton : Béton de sable ».
- [20] **NF P 18-560** « Analyse granulométrie ».
- [21] **XP P 18-540** « module de finesse d'un sable ».
- [24] **P 18-597** « Mesure de la propreté (l'essai d'équivalent de sable) ».
- [25] **P 18-541, 2007** « les spécifications relatives aux bétons de sable ».
- [26] **Qualité Environnementale** ob10_act001_ft003_gestion_dechets_chantier_v6 2010 05 27 objectif 10 : garantir des chantiers respectueux de l'environnement et du voisinage gestion des déchets de chantier]
- [27] **Sablocrete, 1994** « Sablocrete, béton de sable : caractéristiques et pratiques d'utilisation », presses de l'école nationale des ponts et chaussées, France.
- [28] **[NF EN12390-3, 2000]** NF EN12390-3, « *Essai pour béton durci, partie3: résistance à la compression sur éprouvette* », Aout (2000).
- [29] **[NF EN12390-1, 2001]** NF EN12390-1, « *Essai pour béton durci, partie1: Forme, dimensions et autres exigences relatives aux éprouvettes et aux moules* », Octobre (2001).
- [30] **[NF P 18-400]** Bétons - Moules pour éprouvettes cylindriques et prismatiques La présente norme a pour objet de fixer les caractéristiques des moules pour éprouvettes cylindriques et prismatiques destinées à la détermination des caractéristiques mécaniques des bétons.
- [31] **[AFPC-AFREM 1997]** AFPC-AFREM., Méthodes recommandées pour la mesure des grandeurs associées à la durabilité, Compte-rendu des journées techniques AFPC-AFREM « *Durabilité des bétons* », Toulouse, (1997).



ANNEXES



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 an en emballage intact
1/2

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



ENTREPRISE DE CONTROLE & D'ASSISTANCE TECHNIQUE

Annaba le 16 / 06 / 2016

SARL BRIQUETERIE EL RYM
-ANNABA-

CERTIFICAT DE CONFORMITE N° 61 / 2016

Nous AMCC avons procédé au contrôle dimensionnel et aux essais mécaniques d'un échantillon de la brique du type 08 trous provenance des matériaux de base du gisement de TREAT de caractéristiques techniques :

- Longueur : 300 mm
- Largeur : 200 mm
- Hauteur : 100 mm
- Epaisseur : 5 mm

- ✓ Un écart de 1% sur le dimensionnel a été contrôlé : Conforme
- ✓ Tolérance des fissures horizontale et verticale de 3 mm : Conforme
- ✓ Composition pondérale : Argile 100%
- ✓ Essai de compression 70Kg /cm² : Conforme.

Conclusion :

Nous déclarons que le produit est conforme aux spécifications techniques et réglementaires.

