الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA

FACULTE DE TECHNOLOGIE

Département du Génie Civil

Mémoire de Fin d'Études

Présenté pour l'obtention du Diplôme
De Master en Génie Civil

Option : Matériaux en Génie civil

THEME

Etude de l'influence du type des granulats recyclés sur le comportement du béton de sable

Proposé et encadré par :

Pr. Debieb Farid

Co-encadré par :

Doctorante:HibaNoussaiba

Réalisé et présenté par :

Aliaoui Fatiha

Belkadi Amina

AnnéeUniversitaire 2020-2021

Dédicases

Je tiens à dédier ce mémoire :

A ma très chère ***Mère HANANE*** *et à mon cher* ***Père ZOHIER,*** *en témoignage et en gratitude de leurs dévouement, de leurs soutien permanent durant toutes mes années d'études, leurs sacrific es illimités, leurs réconfort moral, eux qui ont consenti tant d'effort pour mon éducation, mon instruction et pour me voir atteindre ce but, pour tout cela et pour ce qui ne peut être dit, mes affections sans limite.*

A mes soeurs : ***Rania, Maroua***

*A mon fiancé :****Mestapha***

A toute la famille : ***Lazizi, Belkadi***

Je remercie mon amie ***Fatiha*** *qui a contribué à la réalisation de ce modeste travail.*

A mes Amies : ***Manal , Randa ,Nora,Nadjat,Horia***

Atout la promotion de G.C matériaux 2021.

Amina

Dédicases

Je tiens à dédier ce mémoire :

A ma très chère ***Mère ZOHRA*** *et à mon cher* ***Père BEN ALIA rabi yarehmo****, en témoignage et en gratitude de leurs dévouement, de leurs soutien permanent durant toutes mes années d'études, leurs sacrifie et illimités, leurs réconfort moral, eux qui ont consenti tant d'effort pour mon éducation, mon instruction et pour me voir atteindre ce but, pour tout cela et pour ce qui ne peut être dit, mes affections sans limite.*

A mes frères : ***Omar ,Manssor ,Bilal ,Adel, Ben Alia***

Amon Mari: ***Abd Elhak***

A ma petite fille ***Ghofrane***

A toute la famille : ***Aliaoui ,Hacen,bouhamidi***

Je remercie mon amie ***Amina*** *qui a contribué à la réalisation de ce modest e travail.*

A mes Amies : ***Ahlem,Manel, houria, Randa, Nora,***

Atout la promotion de G.C matériaux .2021.

Fatiha

Remerciement

Tous d'abord, nous remercions le bon DIEU
Pour nous avoir guidés vers le bon chemin du savoir
pour nous avoir donné du courage et de volonté
Afinde pouvoir réaliser ce modeste travail.
Nous présentées mes remerciements avec mes profonds
respectsà mon encadreur
Dr.Debieb Farid
Et mon co-encadreur
Hiba Noussaiba
Pourson suivi, sa patience, ses précieux conseils et son
aide tout et la confiance qu'il nous a accordée
Au long de la réalisation ce travail.
Nous remercions vivement vont également à tous les
Enseignants du département génie civil et surtout le
chef de département.
Enfin, je voudrais remercier mes familles qui n'ont
jamais cessé de crois en moi et m'encourager.

ملخص

تتكون هذه الدراسة من دراسة سلوك الخرسانة الرملية بناءً على المواد الموجودة في السوق ونفايات البناء و / أو الهدم. يتم استبدال الرمل الطبيعي بالرمل المعاد تدويره (25 ، 50 ، 75 ، 100٪). تم انتاج عائلتان من الخرسانة من نوعين من الرمل المعاد تدويره (الرمل المعاد تدويره من الخرسانة القديمة والرمل المعاد تدويره من الطوب المحروق) وكل واحدة مقارنة بخرسانة التحكم (تعتمد على رمل طبيعي 100٪). يتم تحليل الخواص الطازجة (قابلية التشغيل والكثافة) والمتصلبة (مقاومة الانضغاط وقوة الشد والمسامية وامتصاص الماء عن طريق الشعيرات الدموية) لمختلف أنواع الخرسانة المنتجة ومقارنتها مع الخرسانة الضابطة. أظهر التحليل التجريبي أن استخدام الرمل المعاد تدويره (الخرسانة أو الطوب) في الخرسانة الرملية قد أعطى نتائج مقبولة من حيث النهج الفيزيائي والميكانيكي والاستدامة.

Résumé

Cette étude consiste à étudier le comportement du béton de sable à base des matériaux existant sur le marché (locaux) et des déchets de construction et/ou de démolition. Le sable naturel est substitué par (25, 50, 75 et 100%) de sable recyclé. Deux familles de bétons sont réalisées avec deux type de sable recyclés (sable recyclé d'ancien béton et sable recyclé de brique cuite) et comparées chacune avec son béton témoin (à base de 100% de sable naturel). Les propriétés à l'état frais (maniabilité et densité), et durci (résistance à la compression, résistance à la traction, porosité et absorption d'eau par capillarité) des différents bétons réalisés sont analysées et comparées avec le béton témoin. L'analyse expérimentale a montré que l'utilisation du sable recyclé (de béton ou de brique) dans le béton de sable a donné des résultats acceptables en termes physico-mécaniques et approche de durabilité.

Abstract

The purpose of this research is to look into the behavior of concrete sand based on existing materials on the market (local) and construction waste and/or demolition. Natural sand is replaced by recycled sand (25, 50, 75, and 100 percent). Two concrete families are created using two different types of recycled sand (recycled sand from old concrete and recycled sand from fired brick), and each is compared to its control concrete (based on 100 percent natural sand). The fresh (workability and density) and hardened (compressive strength, tensile strength, porosity and water absorption by capillarity) properties of the various concretes produced are analyzed and compared with the control concrete. Experimental analysis has shown that the use of recycled sand (concrete or brick) in sand concrete has given acceptable results in terms of physico-mechanical and sustainability approach.

Sommaire

Dédicaces I

Remerciements III

ملخص IV

Résume V

Abstract VI

Sommaire VII

Liste des tableaux XI

Liste des figures XII

Listes des symboles et des abréviations XV

Introduction Générale 1

CHAPITRE 1 :Recherche bibliographique

Partie I : Béton de sable

1.1Introduction …….....3

1.2 Historique …….....3

1.3Définition du béton de sable …….....6

1.4 Composition du béton de sable …….....7

1.4.1 Sables …….....…….7

1.4.2 Fines d'ajout …….....…..8

1.4.3 Ciments …….....11

1.4.4 Eau …….....11

1.4.5 Adjuvant …….....11

1.4.6 Autres ajouts …….....12

1.5 Propriétés essentielles du béton de sable …….....12

1.5.1 Propriétés générales …….....13

1.5.1.1 Ouvrabilité …….....13

1.5.1.2 Granulométrie et maniabilité…….....13

1.5.1.3 Granulométrie et résistance …….....14

1.5.2 Propriétés spécifiques …….....….16
1.5.2.1 Durabilité des bétons de sable …….....16
1.5.2.2 Résistance au gel dégel ……. ….....17
1.5.3 Retrait et fluage …….....17
1.5.4 Comportement thermique du béton de sable …….....19
1.5.5 Phénomène de ségrégation des constituants …….....19
1.6 Domaine d'utilisation des bétons de sable ……....20
1.7 Inconvénients des bétons de sable ……21
1.8 Intérêt et limites des bétons de sable ……..21
1.8.1 Intérêts des bétons de sable …….....21
1.8.2 Limites des bétons de sable …….....21

PartieII : Le recyclage

1.9 Nécessité du recyclage ……...22
1.10 L'histoire du recyclage en dix dattes …… ….....……22
1.11 Activité du recyclage des déchets en construction ……..…24
1.11.1 Recyclage des déchets …….....24
1.11.2 Les types de recyclage (les procédés) …….....24
1.11.3 Technique de recyclage ……...…...…25
1.12 Gestion des déchets ……....25
1.12.1 Définition …….....25
1.12.2 Les principaux objectifs à atteindre dans la réduction de la production de Déchets.26
1.12.3 Valorisation des déchets en Algérie ……...…26
1.12.4 La valorisation des déchets de chantier …….....27
1.13 Utilisation des déchets et sous-produits dans le domaine du génie civil ……...27
1.14 Différents déchets utilisés en génie civil ……...…28
1.15 L'activité de recyclage des matériaux de construction et de démolition……....30
1.15.1 Intérêt du recyclage des matériaux de construction et démolition …….....30
1.16 Impact du recyclage dans l'industrie ……..…32
1.17 Les avantage du recyclage sur l'environnement ……32
1.18 Le principe de responsabilité …….. 33
1.19 Conclusion ……...33

CHAPITRE 2 : Matériaux et essais

2 .1.Introduction ……...…34
2.2. Matériaux utilisés ……..34
2.2.1 Granulats naturels et recyclés…….....…34
2.2.2 Ciment …….....….39
2.2.3 Filler calcaire …….....…40
2.2.4 Adjuvant …….....41
2.2.5 Eau …….....41
2.3 Formulation du béton …….....41
2.4 Malaxage et conservation des éprouvettes en béton ……..…43
2.5 Essais réalisés sur béton de sable frais ……...44
2.5.1 Maniabilité …….....44
2.5.2 Densité …….....44
2.6 Fabrication et confection des éprouvettes ……..44
2.7 Essais réalisés sur béton de sable durci ……..…44
2.7.1 Traction par flexion …….....45
2.7.2 Compression …….....45
2.8 Essais sur l'approche de durabilité ……46
2.8.1 Porosité ……...…46
2.8.2 Absorption capillaire ……...….....47
2.9Variables étudiées ……...48

CHAPITRE 3 : Résultats et Interprétations

3.1 Introduction …….....49
3.2 Béton frais……...…49
3.2.1 Maniabilité ……..49
3.2.2 Densité ……51
3.3 Béton durci ……52
3.3.1 Résistances à la compression ……...….52
3.3.1.1 Influence du dosage des GR sur la résistance à la compression du BS ……..…52

3.3.1.2 Variation de la résistance à la compression en fonction du temps du BS ……..54
3.3.2 Résistance de traction par flexion……...…56
3.3.2.1 Influence du dosage des GR sur la résistance à la traction par flexion du BS ...56
3.3.2.2 Variation de la résistance à la traction par flexion en fonction du temps ……...58
3.3.3 Porosité du BS ……....60
3.3.4 Influence de la porosité sur la résistance à la compression du BS …….62
3.3.5 Absorption capillaire du BS ……...64
3.4 Conclusion …….66

Conclusions générales ……..68
Références bibliographiques
Recommandation
Annexe

Liste des tableaux

Tableau.1.1 Relation entre la granulométrie et le dosage en ciment…….8

Tableau.1.2 Quantités de déchets industriels produits : évolution 2008……30

Tableau.1.3 Taux de recyclage en Europe……...31

Tableau.2.1 Caractéristiques physiques des sables utilisés ……35

Tableau.2.2 Composition chimique du ciment utilisé ……39

Tableau.2.3 Composition minéralogique du ciment utilisé ……39

Tableau.2.4 Caractéristiques physicomécaniques du ciment utilisé ……...40

Tableau.2.5 Analyse physique de l'addition calcaire……..……40

Tableau.2.6 Analyse chimique de l'addition calcaire…….40

Tableau.2.7 Nomenclature des bétons de sable……..42

Tableau.2.8 Compositions des bétons de sable à base de béton recycles……42

Tableau.2.9 Compositions des bétons de sable à base de brique recycles ……..43

Tableau.2.10 Essais sur bétons de sable durcis……43

Tableau.2.11 Essais sur bétons de sable durcis……45

Liste des figures

Fig.1.1 Phare de Port-Saïd réalisé en béton aggloméré 'Coignet'……..4

Fig.1.2 Fines anguleuses…….9

Fig.1.3 Fines sphériques…….9

Fig.1.4 Influence du module de finesse du sable sur la maniabilité d'un BS……...13

Fig.1.5 Influence de la nature du sable sur la maniabilité (avec fines d'addition calcaire)…..14

Fig.1.6 Effet du dosage et de la finesse de l'addition sur la résistance……15

Fig.1.7 Influence de la nature de l'addition sur le niveau de résistance……...……15

Fig.1.8 Effet de la granularité sur la résistance…….16

Fig.1.9 Courbe de distribution de la porosité en fonction des rayons des pores……..…16

Fig.1.10 Evolution du retrait dans le béton de sable……18

Fig.1.11 Evolution du fluage du béton de sable……...19

Fig.1.12 Eprouvettes non vibrées non piquées……...20

Fig.1.13 Composition des déchets ménagers et assimilés en Algérie (2014)……..30

Fig. 2.1 Courbes granulométriques des sables et de poudre utilisées…….…… 35

Fig.2.2 Analyse par DRX du sable Oued Souf (trans)…….36

Fig.2.3 Analyse par DRX du sable Oued Souf (abs)……36

Fig.2.4 Analyse par DRX du sable béton recyclé (trans)…….37

Fig.2.5 Analyse par DRX du sable béton recyclé (abs)……37

Fig.2.6 Analyse par DRX du sable brique recyclé (trans)……38

Fig.2.7 Analyse par DRX du sable brique recyclé (abs)…….…….38

Fig.2.8 Diagramme de DRX appliqué sur le CEM II/A 42.5 CHLEF…….39

Fig.2.9 Dispositif de l'essai de traction par flexion……..45

Fig.2.10 Diapositif de l'essai de résistance à la compression……...46

Fig.2.11 Mesure de la porosité accessible à l'eau……47

Fig.2.12 Absorption d'eau par succion capillaire……47

Fig.2.13 Variables étudiées…….48

Fig.3.1 Temps d'écoulement des BS à base de béton recyclé**…**…….49

Fig.3.2 Temps d'écoulement des BS à base de brique recyclé……50

Fig.3.3 Temps d'écoulement des BS à base des granulats recyclés…….50

Fig. 3.4. La densité des BS à base de béton recyclé…….51

Fig. 3.5. La densité des BS à base de brique recyclé……51

Fig. 3.6. La densité des BS à base des granulats recyclés……...52

Fig.3.7 La résistance à la compression des BS à base de béton recyclé……...53

Fig.3.8 La résistance à la compression des BS à base de brique recyclé……..53

Fig.3.9 La résistance à la compression des BS à base des granulats recyclés…….54

Fig.3.10 La résistance à la compression des BS à base de béton recyclé en fonction de temps…….55

Fig.3.11 La résistance à la compression des BS à base de brique recyclé en fonction de temps…….....55

Fig.3.12 La résistance à la compression des BS à base de granulat recyclé en fonction de temps……56

Fig.3.13 La résistance de traction par flexion des BS à base de béton recyclé……....57

Fig.3.14 La résistance de traction par flexion des BS à base de brique recyclé……...57

Fig.3.15 La résistance de traction par flexion des BS à base de granulat recyclé……58

Fig.3.16 La résistance de traction par flexion des BS à base de béton recyclé en fonction de temps…….59

Fig.3.17 La résistance de traction par flexion des BS à base de brique recyclé en fonction de temps…….59

Fig.3.18 La résistance de traction par flexion des BS à base de granulat recyclé en fonction de temps……60

Fig.3.19 La porosité des BS à base de béton recyclé……61

Fig.3.20 La porosité des BS à base de brique recyclé……..61

Fig.3.21 La porosité des BS à base de granulat recyclé……...62

Fig.3.22 La résistance à la compression des BS à base de béton recyclé en fonction de la porosité…….63

Fig.3.23 La résistance à la compression des BS à base de brique recyclé en fonction de la porosité……..63

Fig.3.24 La résistance à la compression des BS à base de granulat recyclé en fonction de la porosité……..…64

Fig.3.25 Absorption d'eau des BS à base de béton recyclé……..65

Fig.3.26 Absorption d'eau des BS à base de brique recyclé……65

Fig. 3.27 Absorption d'eau des BS à base de granulat recyclé……....66

Liste des Symbole et des Abréviations

BS : Le béton de sable

SN : sable naturel

SBRR: Sable de déchets de briques

SBTR : Sable de béton recyclé

GR : Granulat recyclé

BT : Béton de sable témoins

DRX: Diffractomètre au rayon X

SiO2: Silicium

CaCO3 : Carbonate de calcium

CPA CEM I 42.5 : Ciment Portland Artificiel de Classe 42,5

C2S : Silicate bicalcique (belite)

C3A : Aluminate tricalcique

C3S : Silicate tricalcique (alite)

C4AF : Aluminate-ferrite tétracalcique

C : Dosage en ciment

CaCO3 : Carbonate de calcium

Al2O3 : Oxyde d'Aluminium

Fe2O3 : Oxyde de fer

Cao : Oxyde de calcium

E/C : Eau/Ciment

ES : Equivalent de sable

R3j : Résistance à 3 jours

R7j : Résistance à 7 jours

R28j : Résistance à 28 jours

ε%: La porosité totale

Mair: La masse d'éprouvette imbibée pesé dans l'air

M sec: La masse d'éprouvette sèche

Meau : La masse d'éprouvette immergée dans l'eau

Introduction Générale

Introduction Générale

Le béton de sable est un matériau de construction qui permet le développement et la valorisation des ressources naturelles en sable. En raison de son transfert d'une région à une autre. Par ailleurs, le sud Algérien dispose des déférents types de sable (de dune, alluvionnaires et de concassage). Par conséquent, la réflexion sur le développement d'un nouveau béton est devenue aussi nécessaire que le béton de sable.

Les chantiers de construction et de démolition génèrent une grande diversité de déchets qui constituent une partie importante des coûts de production des déchets solides dans le monde. Environ 90 % d'entre eux sont éliminés en décharge. L'épuisement de sources naturelles disponible des granulats, les lois plus strictes relatives à la protection de l'environnement et les problèmes posés par la destruction des déchets sont tous des facteurs qui favorisent le recyclage des déchets de chantier. Le recyclage des granulats issus des matériaux de démolition, déjà bien engagé dans le secteur des travaux public mais moins dans les travaux de génie civil, semble être une solution idéale, la plus prometteuse pour les problèmes de déchets. Il a connu une grande évolution dans les pays développés, répond aux soucis de manque de granulats naturels pour les besoins de fonctionnement des chantiers et de promouvoir le respect de l'environnement par l'élimination des décharges sauvages de gravats. Actuellement, la valorisation de déchets de démolition a dépassé le stade d'expérimentation à travers le monde et connait un développement assez important et le taux de recyclage des débris de construction / démolition a attient dans certains pays les 80 %. C'est pourquoi de plus en plus des recherches dans les universités comme dans le domaine privé sont en cours afin de résoudre le problème de la pollution. Les objectifs retenus pour ce travail sont, tout d'abord, la substitution partielle ou totale de béton recyclé et brique recyclé (25% , 50% , 75% , 100%)

La première partie contient un seul chapitre présentant un état de connaissances bibliographique. Ce chapitre comporte deux volets : le premier volet fait le point sur les différentes recherches relatives à notre choix du béton de sable avec une présentation lumineuse de diverses caractéristiques mécaniques et physiques de ce dernier, Le deuxième volet est une revue détaillée sur les bétons recyclé.

La deuxième partie, contenant les deux chapitres II, III est consacrée à l'étude expérimentale.

Chapitre II regroupe les caractéristiques des matériaux utilisés durant notre étude, avec une présentation de la démarche de formulation du béton de sable De plus, une caractérisation des bétons étudiés avec interprétation des résultats. Il s'agit des résistances mécaniques (compression et traction) , ainsi que les propriétés physiques comme le retrait et la porosité.

Enfin, les résultats obtenus des différents essais d'adhérence sont exposés et analysés dans le dernier chapitre, avec une évaluation de la capacité d'adaptation du béton de sable recyclé.

Finalement, la conclusion proposant une synthèse des résultats obtenus dans notre travail ainsi que des perspectives de recherche.

Chapitre 1:
Recherche Bibliographique

Parti I : Béton de sable

1.1 Introduction

Le béton de sable est un matériau ancien utilisé antérieurement au béton traditionnel. Il est tombé en désuétude, avec l'abondance des granulats du plus gros calibre permettant d'obtenir facilement des nouveaux élevés de résistances. Il retrouve cependant de nos jours un intérêt certain du fait des propriétés spécifiques de ce matériau, par rapport au béton traditionnel : excellente maniabilité et cohésion, bonne adaptation au milieu fortement ferraillés, qualités esthétiques, etc. Par ailleurs, dans certaines régions riches en sable, il peut procurer des économies par rapport au béton traditionnel.

Dans ce chapitre on présentera un aperçu général sur le BS, ou on va exposer d'abord l'historique et l'origine des bétons de sable ainsi que leur définition et la différence entre les BS et les mortiers. Ensuite, on donnera une description des constituants entrant dans la fabrication, on décrit les propriétés mécaniques et hygrométriques, puis on explique le caractère non fissurant du BS. Finalement, on met en relief les innovations et les avantages apportés par les BS et on donnera quelques exemples de réparation structurale réalisés par ce matériau [1].

1.2 Historique

Le béton de sable est un matériau ancien utilisé bien antérieurement au béton traditionnel d'aujourd'hui. Il trouve ses origines au milieu du 19éme siècle. C'est à dire au début du développement du ciment armé. En 1853 l'ingénieur François COIGNET a conçu ce qu'il appelait le béton aggloméré. Il s'agissait, en effet d'un mélange sans caillou, de cendres de scories de charbon brûlé, de terre argileuse cuite et pilée, de chaux hydraulique naturelle et d'eau en faible quantité. Il construit pour sa famille une vaste maison à saint Denis (Nord de Paris France) entièrement édifié en béton aggloméré. En 1869, le phare de Port-Saïd en Égypte de 52 mètres de hauteur fut construit en béton de sable de plage avoisinante et chaux importée de France (Fig. 1.1) [2].



Fig 1.1 Phare de Port-Saïd réalisé en béton aggloméré 'Coignet' [2]

Vers les années 1869 et 1872 un aqueduc de 40 km fut construit en béton aggloméré et sert àrelier Fontainebleu à Orléans. Cette fois le mélange était constitué de 4 parts de sable de Fontainebleu et une part de liant (2/3 chaux, 1/3 ciment) et de 0,5 part d'eau ; ce qui correspond à un dosage en liant de 400 kg/m3; très proche du dosage du béton de sable que de celui des mortiers [2].

❖ **Les expériences soviétiques**

- En 1918, une expérience très originale fut faite par Nicolas de Rochefort, à Saint-Pétersbourg.
- Elle consistait à broyer ensemble sable et clinker à parts égales, puis à mélanger ce produit à du sable dans le rapport de 1 (produit broyé) à 3 (sable). Les résistances obtenues furent les mêmes que celles d'un mélange sable-ciment, beaucoup plus riche en ciment (1/3 de ciment pour 2/3 de sable).
- Cette expérience fut reprise par le professeur académicien Rehbinder, comme base de ses propres recherches sur le béton de sable et le mystérieux mécanise d'activation par broyage du mélange sable /clinker.
- Il conclut que ce broyage libérait des surfaces physico-chimiquement actives qui fraiches, fixaient plus efficacement la laite. ce que Nicolas de Rochefort découvrit probablement par hasard, fut ainsi expliqué par le professeur Rehbinder.
- L'Union Soviétique, riche en sable, mais pauvre en gravillons et roche massives sur de vastes étendues, ne cessa, principalement depuis 1941, de faire du béton composé de

sable et d'un ou deux liants (ciment et chaux) selon les opportunités .les réalisations sont nombreuses.

- Citons parmi bien d'autres :
  - Les pistes d'aérodrome militaires de Pevec et Arkangelsk
  - Routes et autoroutes
  - Bâtiments
  - Tunnels et métros
  - Mobilier urbain et éléments architecturaux
  - Travaux de rénovation d'ouvrage d'art
  - Voiles édifiés par coffrages…. [3].

En France, en raison de l'abondance de granulats de gros calibre permettant d'obtenir plus facilement des résistances élevées, les bitons de sable ne connurent pas de réel développement jusqu'à la décennie 1970-1980.

Ce pendant il convient en outre, de noter que les sables tant alluvionnaires que provenant de concassage des roches massives sont excédentaires et qu'il y a déficit en gravillon. Aussi le secteur du bâtiment principal consommateur de béton est donc le plus gros consommateur de granulat de gros calibre. bétons qui utiliseraient une ressource abondante et peu exploitée(le sable) et présenteraient en raison des expériences au laboratoire des caractéristiques comparables à celles des bétons traditionnels.

Au même moment, conscient que les extractions de granulats des lits des fleuves et des rivières compromettent l'équilibre écologique avec des conséquences irréversibles, les pouvoirs publics mettent progressivement en place une politique de réduction des autorisations d'exploitation de ces sites. C'est alors que s'ouvre la réflexion sur la formulation de nouveaux bétons qui utiliseraient une ressource abondante et peu exploitée(le sable) et présenteraient en raison des expériences au laboratoire des caractéristiques comparables à celles des bétons traditionnels.

Ces premières applications sont réalisées avec succès dès le début des années 80 sur l'initiative du laboratoire régional des ponts et chaussées de Bordeaux. Ces expériences trouvent un écho auprès d'universitaires, de spécialistes de bétons et de laboratoires qui s'intéressent sérieusement au sujet.

C'est alors que le béton de sable connut son renouveau en France à travers le projet national baptisé (SABLOCRETE) crée en septembre 1988 sur l'initiative de Henri BILLHOUET Ingénieur des ponts et chaussés, inspecteur général des bases aériennes, avec les fédérations

nationales du bâtiment et des travaux publics et le comité professionnel de la prévention et du contrôle technique. Ainsi dans l'optique de contribuer à la promotion de l'usage courant des bétons de sable, il est important d'enrichir nos connaissances sur le matériau, son comportement et ses modes de mise en œuvres [4].

- **une question pourrait se pose : quelle est la différence entre le béton de sable et le mortier ?**

Le béton de sable comme son nom l'indique est un béton ou le gros granulat est le sable (Dmax = 5mm), il ne consomme que (250 à 400) Kg/m3 de ciment, dosage habituel des béton classiques, la compacité optimal étant atteinte par un ajout complémentaire de fines (fillers) et de plastifiant, tandis que le mortier utilise un fort dosage en ciment de (400à 600) Kg/m3 [5].

1.3 Définition du béton de sable

Le béton est un mélange de : granulats inertes, de liants hydrauliques et d'eau qui, après sa mise en œuvre, durcit dans l'eau ou dans l'air, grâce au liant qu'il contient. A part les bétons classiques dont les densités sont comprises entre 2 et 2,6 t/m3, il existe d'autres, spéciaux dont :

- Les bétons caverneux ;
- Les bétons de granulats légers ;
- Les bétons cellulaires ;
- Les bétons de sables.

Le béton de sable est un béton fin constitué par un mélange de sable, de ciment, d'addition et d'eau. Outre ces composants de base, le béton de sable comporte habituellement un ou plusieurs adjuvants. Cependant le béton de sable se distingue d'un béton traditionnel par un fort dosage en sable, l'absence ou le faible dosage en gravillons, et l'incorporation d'additions. Il se distingue également du mortier par sa composition. Le mortier est en général fortement dosé en ciment et ne comporte pas systématiquement d'addition. Mieux les bétons de sables sont essentiellement destinés aux usages du béton traditionnel [4].

1.4 Composition du béton de sable

Les constituants entrant dans la composition du béton de sable sont ceux du béton, produit normalisé : il s'agit des granulats, des fines d'ajout (ou additions), les ciments, l'eau, et les adjuvants éventuellement [6].

1.4.1 Les sables

Dans le sens le plus courant, on entend par "sable" les éléments de dimensions 0 à 5 mm, non compris les fillers. La propreté du sable est une restriction exigée pour réaliser un béton de sable. Par contre, aucun critère granulaire n'est exigé pour faire un béton de sable et sur la base ont peut utiliser aussi bien un sable fin (type de dune) qu'un sable alluvionnaire moyen ou grossier ou même de type concassé. Les sables se différencient par un grand nombre de paramètres et on peut distinguer deux types de sables : Les sables naturels et ceux issus d'une chaîne d'élaboration (artificiels). La résistance du béton de sable dépend de la granulométrie du sable utilisé et de ses fines. Plus le sable est riche en fines naturelles, plus il absorbe de l'eau et automatiquement le béton perd en résistance [2,6].

❖ **Le Sable naturel :**

C'est un matériau qui existe, dans certaines régions, en abondance dans la nature. Il est le résultat d'un processus complexe d'érosion et de sédimentation. Sa formation s'effectue en trois étapes successives : la décomposition sur place des différentes roches suivie d'un transport qui les amène à un dépôt où ils demeurent sous différentes formes. Les sables naturels les plus rencontrés et connus dans la construction sont [2]:

a. Sables de mer

Les sables de la plage utilisés dans le domaine de la construction ont fait l'objet d'importants prélèvements et exploitation anarchique durant les dernières années, ce qui a engendré la dégradation et l'épuisement de plusieurs sablières causant ainsi un grave préjudice à l'équilibre de l'environnement à proximité des plages ce qui a fait apparaître deux décrets ministériels, approuvés en 1991 et 1999 par le ministère de l'équipement et du logement et le gouvernement; interdisant l'exploitation de sable de mer et de sable d'alluvions [2,7].

b. Sables de dune

Les sables des dunes sont les formations détritiques, les plus répandus dans le sud (Sahara) de

l'Algérie avec une couleur qui varie du jaune orangée au rouge suivant leur degré d'altération [5].

c. Sables de rivière

En Algérie, les sables de rivière rencontrés se trouvent soit dans des oueds à écoulement fréquent de la bordure de l'Atlas (dépôts actuels), soit dans des lits d'anciens oueds dont l'écoulement remonte à des époques géologiques antérieures [2].

d. Les sables issus d'une chaîne d'élaboration

Ce sont des matériaux produits dans une chaîne d'élaboration de granulats et peuvent être soit:

- des sables roulés de dessablage qui résultent du criblage primaire d'un tout-venant ;
- des sables de concassage qui sont très souvent l'excèdent de la production d'une carrière ou d'une ballastière, ces derniers sont de plus en plus utilisés en technique routière [2].

1.4.2 Les fines d'ajout (ou addition)

Les fines d'ajout (fillers) sont des matières minérales, naturelles ou artificielles, qui agissent par leur granulométrie (D<0.08 mm) sur la compacité du béton de sable. Ils sont utilisés pour combler les vides et augmenter la compacité du béton. La différence entre le béton classique et le béton de sable réside principalement dans la granulométrie différente des granulats utilisés. Dans le cas d'un béton classique, les macros vides créées par les éléments les plus gros qui sont les gravillons (10 à 20 mm) se remplissent par des sables et les vides du sable par des fines du ciment pour obtenir la bonne compacité du béton. Cette concordance entre le besoin en fines et le dosage en ciment est interprétée par la règle bien connue de C =550/ $\sqrt[5]{D}$ ou C =700/$\sqrt[5]{D}$ (selon l'usage du béton).Le tableau 1.1 suivant récapitule la relation entre la granulométrie et le dosage en ciment d'un béton ou d'un mortier [6].

Tableau.1.1 Relation entre la granulométrie et le dosage en ciment [6].

Granularité	$\sqrt[5]{D}$	$550/\sqrt[5]{D}$	$700/\sqrt[5]{D}$	
0/25	1.904	290	370	
0/20	1.821	300	385	
0/16	1.741	315	400	BETON
0/8	1.516	360	460	
0/6.3	1.445	380	480	
0/4	1.320	415	530	
0/2	1.149	480	610	MORTIER
0/1	1.000	550	700	

La forme des grains et la nature géologique des fillers influent sur la quantité d'eau requise pour obtenir un mélange maniable. Ainsi, des fillers avec des grains sphériques type filler

calcaire, nécessitent moins d'eau que ceux à grains anguleux type filler siliceux, et par conséquent, assurent une meilleure compacité au mélange durci (Fig.1.2 et 1.3). On distingue des fines actives (laitiers moulus et cendres volantes) et des fines passives, résultant du broyage de roches massives (fillers calcaires et fillers siliceux) [2,6].

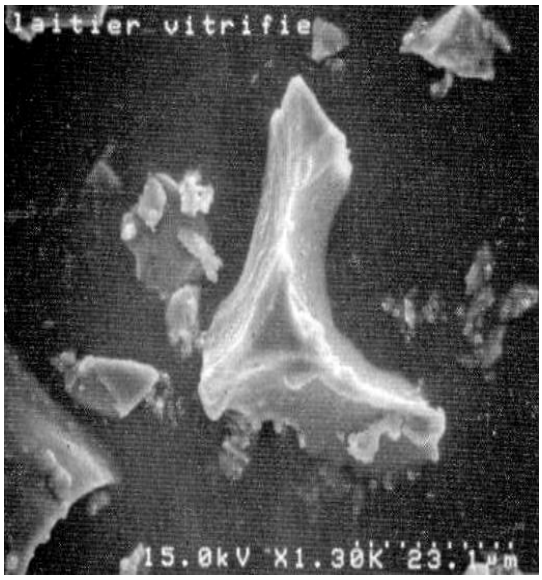


Fig.1.2 Fines anguleuses [6]

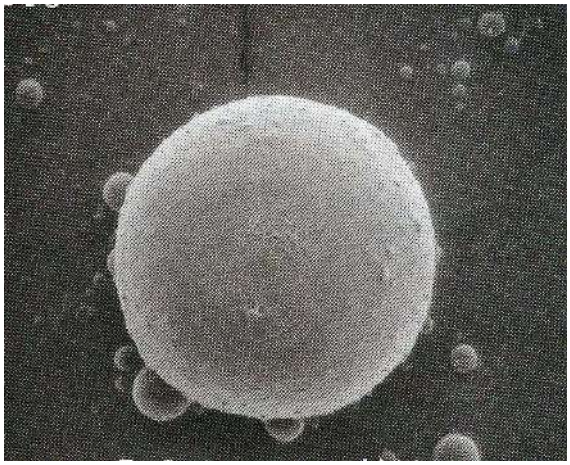


Fig.1.3 Fines sphériques [6]

En matière de maniabilité et de résistance, la morphologie et la texture sont des paramètres très importants. Les fines sphériques peuvent conduire à une réduction d'eau alors que celles anguleuses en nécessitent beaucoup plus. L'agglomération des éléments les plus fins sur les plus grossiers ou l'existence d'éléments alvéolés avides d'eau conduisent à une mauvaise correction granulométrique et à une surconsommation d'eau [8].

❖ **Les fillers calcaire**

Le fillers calcaire est un matériau à finesse presque identique du ciment dont le plus gros grain ne dépassant pas les 80 μm. Le fillers calcaire est considéré comme une pouzzolane puisqu'il n'est pas réactif et comme avantage, sa finesse peut être utilisée pour optimiser la granulométrie du béton. Les fillers ont d'excellentes affinités avec le ciment lui même de nature calcaire [2, 9,10].

❖ **Fumée de silice**

Les fumées de silice, appelée microsilice, sont des résides évacuées de la chambre de combustion d'un four destiné à produire de silicium et des alliages contenant du silicium. La fumée de silice se présente sous forme de microsphères de silice amorphe d'un diamètre moyen de l'ordre de 0.1 μm. En outre, elle peut occuper une surface spécifique entre 20 à 25 m2/g. La finesse et la forme vitreuse des fumées de silice font d'elles un produit très réactif.

L'introduction de fumées de silice dans la composition des bétons à des teneurs entre 7 et 15% par rapport à la masse de ciment, permet d'atteindre des résistances mécaniques élevées,

et permet aussi d'avoir des bétons plus denses, plus imperméables et donc plus durables.

Ce pendant, étant donné que le risque de retrait plastique est très élevé pour ce type de béton,

la cure du béton doit être bien effectuée. L'utilisation de la fumée de silice dans un matériau de réparation a un effet améliorant sur l'adhérence entre le rechargement et le support à réparer. Des résultats ont été obtenus avec des bétons de réparation à base de fumée de silice de la résistance d'adhérence sont similaires à celles avec l'adhésif de résine époxy [5]**.**

❖ **Laitier**

Ce sont des résidus minéraux résultant du refroidissement rapide des scories provenant de la fusion de minerais de fer en haut fourneau. Ce sont des combinaisons d'oxydes de calcium (CaO), de silicium (SiO2) et de magnésium(MgO).Les ciment en laitier offrent une meilleure résistance chimique aux environnements agressifs (eau sulfatées, milieu marin) et permettent l'obtention d'une bonne durabilité du béton. Il existe deux types de laitiers [2] :

- **Le laitier granulé** : sable friable de couleur claire utilisé souvent comme liant hydraulique ;
- **Le laitier solidifié à l'air libre** : se présente sous forme de roches prêtes au concassage à la granulométrie voulue. Ce laitier est employé comme granulats dans les chaussées.

❖ **Cendres volantes**

Ce sont des produits pulvérulents provenant du dépoussiérage électrostatique ou mécanique des gaz brûlés des chaudières industrielles alimentées en charbon pulvérisé. Essentiellement siliceuses, parfois calciques, elles ont des propriétés hydrauliques et/ou pouzzolaniques[2].

1.4.3 Les ciments

Les ciments utilisés pour la confection des bétons de sables doivent être conformes à la norme NF P15-301(1994). A l'instar des bétons ordinaires, le choix du ciment dépend de ses caractéristiques d'hydratation, de sa classe de résistance et des résistances mécaniques désirées. Par ailleurs, l'agressivité du milieu et l'usage auquel le béton est destiné (Sablocrete). Souvent, on privilège les ciments sans ajouts (CEM I) par rapport aux ciments avec ajouts (CEM II à CEM V)[5].

1.4.4 L'eau

A cause de la grande surface spécifique des grains, le béton de sable nécessite plus d'eau qu'un béton ordinaire. En plus de l'eau de gâchage, une quantité non négligeable d'eau apportée par les additions, adjuvants et autres ajouts, et surtout par les sables sont nécessaires pour l'eau efficace [6].

1.4.5 Adjuvants

Les adjuvants sont des agents chimiques qui sont ajoutés en petites quantités pour modifier certaines propriétés du béton comme la rhéologie, la durabilité et les propriétés mécaniques. Il existe beaucoup de types d'adjuvant, on les définit d'après leur action principale, même s'ils ont plusieurs actions secondaires.

On utilise dans les bétons de sable les mêmes adjuvants que dans les bétons traditionnels, et pour en exploiter les mêmes propriétés. La spécificité du béton de sable privilégie toutefois l'usage du plastifiants ou super plastifiant : ils améliorent la maniabilité, le plus souvent avec augmentation de résistance par suite d'une diminution de la teneur en eau et de la défloculation des éléments fins. On se contentera à expliquer ceux qui on été utilisés dans cette étude. Les adjuvants employés devront par ailleurs être conformes à la norme NF P 18-103[2,6].

1.4.6 Autres ajouts

- **Les fibres**

Les fibres sont utilisées comme renfort au sein d'une matrice afin de contribuer à l'amélioration de la résistance à la traction et pour diminuer le phénomène du retrait au jeune âge. Pour limiter les effets de retrait de prise et éviter la fissuration qui en résulte dans le béton de sable, les fibres organiques (polyester, polypropylène…etc.) sont utilisés dans la plus part des cas. Les fibres d'acier ou de fonte amorphe sont généralement utilisées pour améliorer la ductilité du béton de sable [6].

- **Les gravillons**

On considère qu'un béton de sable peut contenir un certain pourcentage de gravillons et conserver sa domination de béton de sable d'une façon pratique, on pourra considérer qu'on a affaire à un béton de sable tant que le rapport massique G/S (gravillons sur sable) reste inférieur à 0,70 (**G/S< 0,70*)*** [6].

- **Les colorants**

Les colorants habituellement utilisés dans les bétons traditionnels peuvent également être employés pour certains usages de bétons de sable : ils nécessitent toutefois un soin particulier dans l'homogénéisation et une formulation appropriée du béton de sable pour conserver une stabilité de la teinte au cours du temps [6].

1.5 Propriétés essentielles du béton de sable

Un concepteur qui retient le béton de sable comme matériau pour un élément de construction a une démarche de « pensée béton », c'est-à-dire qu'il adopte un matériau répondant aux critères qui ont permis le succès du béton, en termes de performances et durabilité, mais aussi d'image et de comportement. Les propriétés du béton durci sont largement influencées par les propriétés du béton frais, qui sont principalement l'ouvrabilité (maniabilité) et la compacité. La maniabilité dépend non seulement du rapport E/C, mais aussi du module de finesse de sable, et elle dépend surtout du type et de la teneur en fines d'ajouts. Nous avons vu qu'il nécessite plus d'eau qu'un béton classique. D'autre part, il apparaît évident que le mélange ciment- sable présentera une porosité plus élevée que la porosité du béton traditionnel. Cet inconvénient est compensé par l'ajout de fines de bonne nature pour améliorer la compacité. Il faut choisir donc des sables de bonne répartition granulaire [5].

1.5.1. Propriétés générales

1.5.1.1 Ouvrabilité :

Le béton de sable a une aptitude à remplir parfaitement les moules, avec une énergie de mise en place moindre, sans préjudice pour les autres propriétés**,** cela est dû à la petite granularité qui garantit un bon enrobage des armatures même dans un milieu fortement ferrailler [11].

1.5.1.2 Granulométrie et maniabilité :

Une des particularités du béton de sable est de nécessiter davantage d'eau que les bétons classiques; ceci se traduit par des valeurs du rapport *E/ C* systématiquement supérieures à 0,5. Ce rapport est généralement compris entre 0,6 et 0.8 par rapport à un *E/ C* de 0,5 à 0,6 pour le béton ordinaire avec des maniabilités comparables ; cette particularité est due à une surface spécifique plus importante du mélange qui a besoin d'être mouillée [6]. La granulométrie du sable influe sur les besoins en eau de mélange; plus le sable est riche en éléments grossiers plus la maniabilité s'améliore comme le traduit la figure 2.8 qui exprime une relation entre le module de finesse et la maniabilité. La figure 1.5 montre clairement que la maniabilité est améliorée quand le rapport *E/C* augmente. Cependant pour un rapport *E*/*C* fixe, la maniabilité dépend da la nature des fines d'ajout. La faible étendue granulaire du béton de sable et donc la grande homogénéité combinée à une bonne maniabilité attribuent au béton de sable un meilleur comportement que les bétons traditionnels, vis-à-vis de la ségrégation [2].

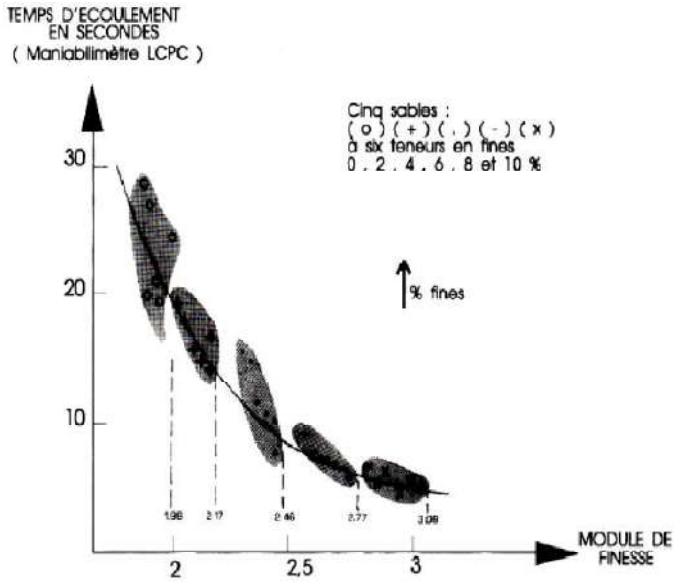


Fig.1.4 Influence du module de finesse du sable sur la maniabilité d'un BS [6].

De la figure 1.5, il est clair que la maniabilité dépend de la nature et de la proportion des fines incorporées. Généralement, si on augmente le dosage en fines d'ajout, la compacité s'améliore. Dans ces conditions pour le cas des bétons de sable, au lieu du rapport E/C utilisé habituellement, on emploie le rapport E/(C+A) qui intègre le dosage en fines (A), ce qui nécessite l'augmentation du dosage en eau. Aussi, selon la porosité du sable, on pourra avoir un dosage optimal en filler qui nous donnera une meilleure maniabilité [2,6].

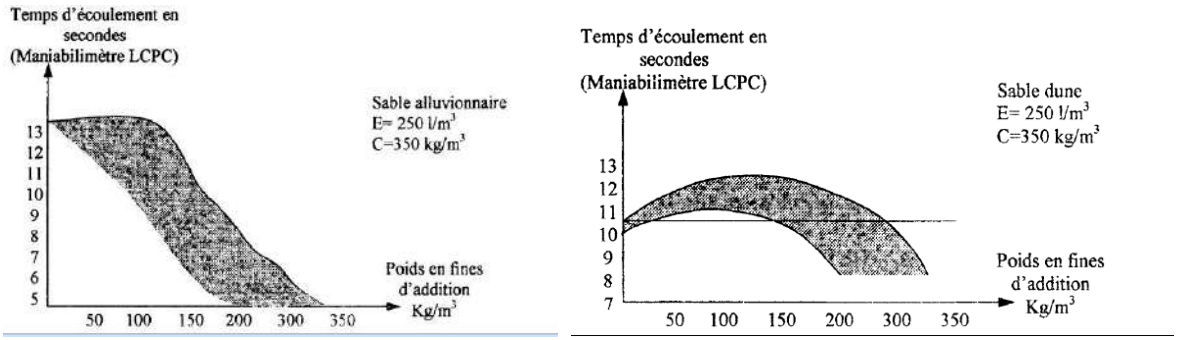


Fig.1.5 Influence de la nature du sable sur la maniabilité (avec fines d'addition calcaire) [6].

1.5.1.3 Granulométrie et résistance

Les résistances mécaniques des bétons de sable sont inférieures à celles des bétons classiques. Cependant, cela n'empêche en aucun cas d'obtenir des bétons de sable à hautes performances mécaniques, c'est dans ce sens que plusieurs comparaisons ont été faites dans l'objectif de voir dans quelles mesures les bétons de sable pourraient remplacer les bétons classiques , La résistance est aussi dépendante d'un certain nombre de paramètres, en plus de la qualité et du dosage en ciment et du rapport (eau/ciment), on cite en particulier : la finesse de l'addition, la nature de l'addition et la dimension maximale [12].

a) Finesse d'ajout

La compacité du béton de sable dépend de la finesse des additions utilisées et augmente en fonction de l'augmentation de cette dernière et cela quelque soit la granulométrie du sable utilisé. Ce résultat est illustré clairement dans la figure 1.8 [6].

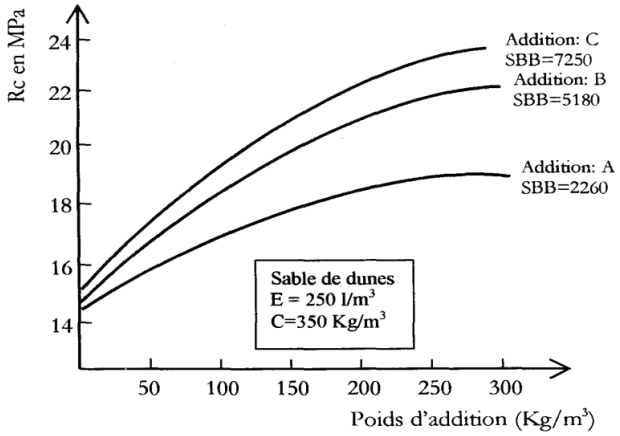


Fig.1.6 Effet du dosage et de la finesse de l'addition sur la résistance [6].

b) Nature d'ajout

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 [12].

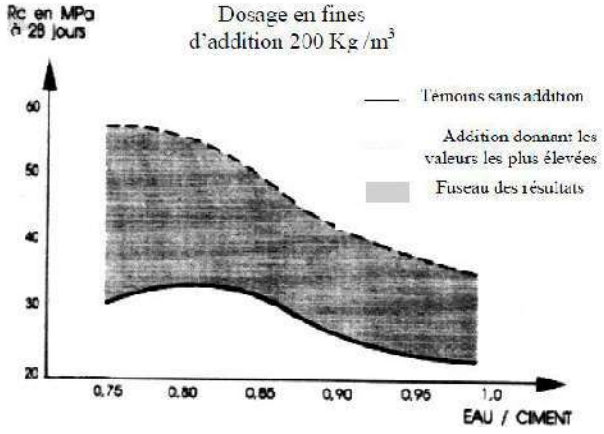


Fig.1.7 Influence de la nature de l'addition sur le niveau de résistance [12].

c) La dimension maximale D max (0/D)

Pour une même valeur du rapport E/C, on constate (Fig.1.8) que l'effet du diamètre Dmax est peu important, mais par contre il influe sur la maniabilité; ou il faut employer un plastifiant réducteur d'eau, afin de fixer la maniabilité et atteindre la résistance voulu [6].

.

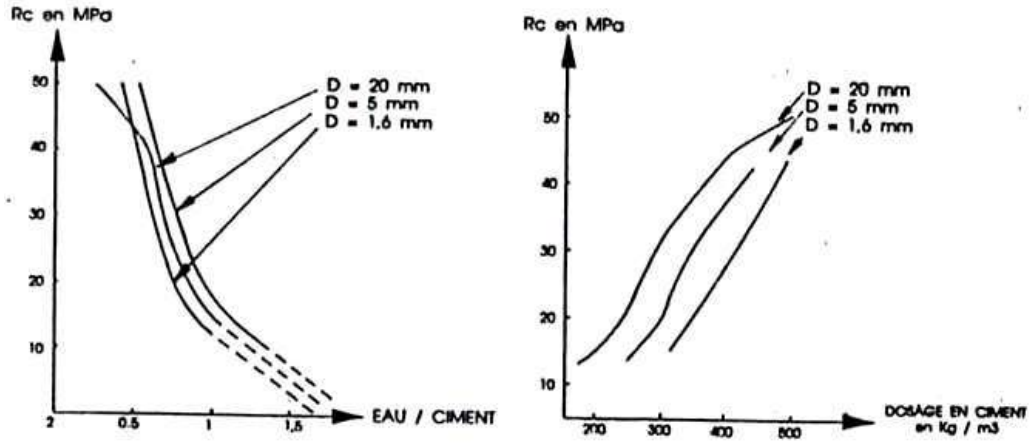


Fig.1.8 Effet de la granularité sur la résistance [6]

1.5.2 Propriétés spécifiques

1.5.2.1 Durabilité des bétons de sable

Durabilité d'un béton est reliée à ses capacités d'échange avec le milieu extérieur. De ce fait, il est évident que les paramètres : porosité, organisation géométrique des pores et perméabilité sont des paramètres physiques de premier ordre de la durabilité.

D'une façon générale, les bétons de sable sont plus poreux que les bétons ordinaires (Fig. 1.9). Leurs pores sont plus nombreux, plus petits et davantage monodimensionnels. Les paramètres: porosité, organisation géométrique des pores et perméabilité sont des paramètres physiques de premier ordre de la durabilité. Cette distribution poreuse particulière contribue pour une bonne part à leur bon comportement vis à vis des essais de durabilité [2,6].

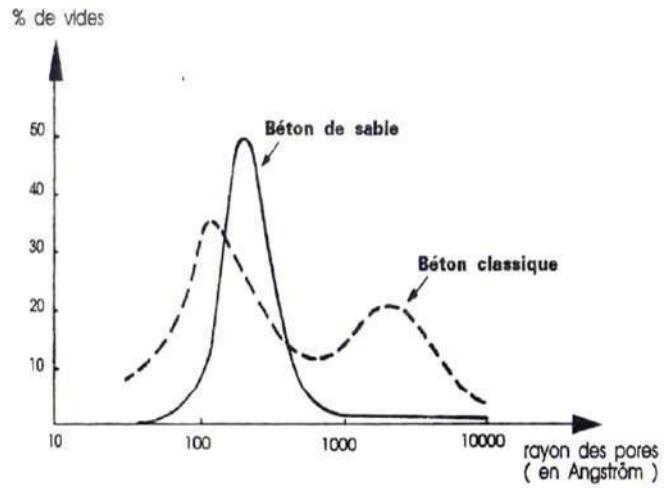


Fig.1.9 Courbe de distribution de la porosité en fonction des rayons des pores [6].

1.5.2.2 Résistance au gel et au dégel

A tenue au gel des bétons de sable formulés correctement est excellente. En effet, par comparaison à une étude menée sur un large éventail de formulations de bétons traditionnels, Les bétons de sable à formulation et performance équivalentes résistent mieux au gel que les bétons traditionnels correspondants. Certains bétons de sable, même sans ajout d'entraîneur d'air, présentent une résistance au gel équivalent aux bétons classiques les plus performants de ce point de vue. Cette bonne tenue aux cycles gel- dégel, quand elle ne résulte pas d'une formulation visant, soit une très faible porosité, soit une porosité bien répartie par l'emploi d'entraîneur d'air, s'explique par la microstructure particulière des bétons de sable, qui est en général, caractérisée par une bonne répartition de micropores [2].

1.5.3 Retrait et Fluage

1.5.3.1 Le retrait

Pour le béton de sable On distingue deux types de retrait. Un retrait d'auto dessiccation (se fait sans contact avec le milieu extérieur et est voisin de celui des bétons ordinaires) et un retrait de séchage (a lieu en milieu ambiant et peut atteindre des valeurs deux fois plus importantes que celles des bétons classiques du moins pendant les deux premiers mois, ensuite il y'a une tendance à la stabilisation. Ce phénomène semble être lié à la taille et à la distribution des pores dans les bétons. En comparaison avec un béton classique, des études antérieures (Fig. 1.10) montrent que le retrait total du béton de sable peut atteindre le double de celui d'un béton classique [2, 13,14].

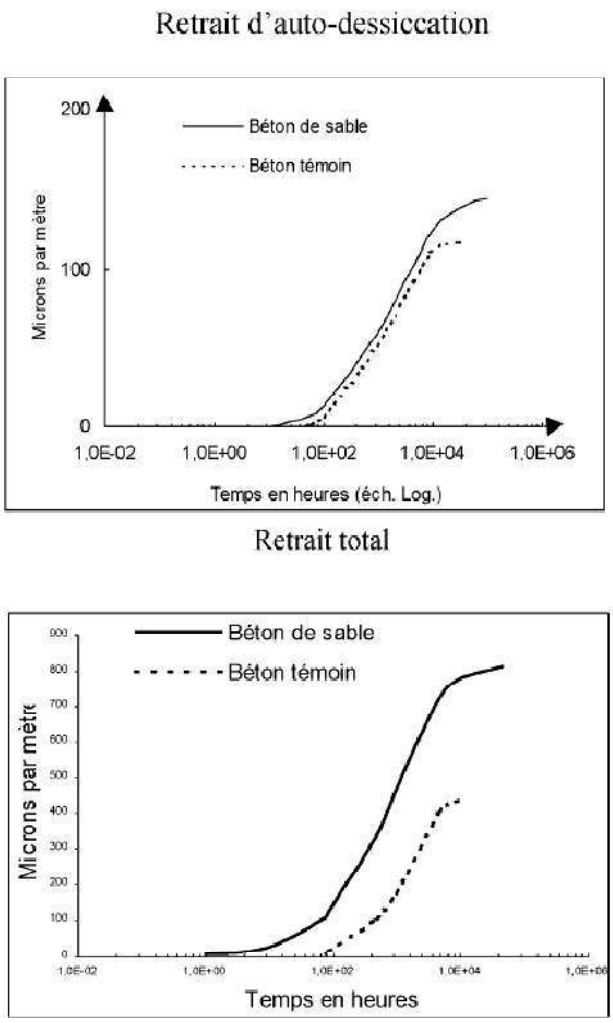
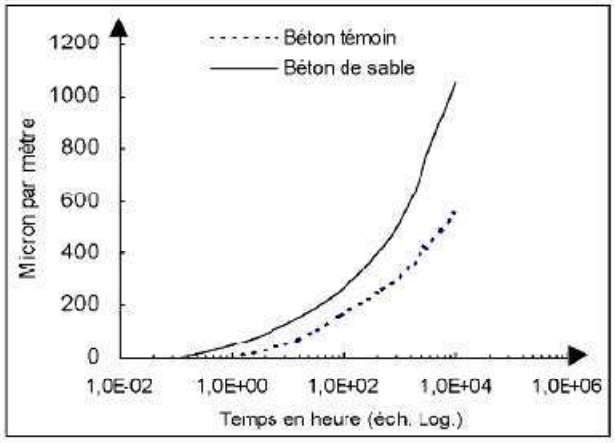


Fig.1.10 Evolution du retrait dans le béton de sable [14].

1.5.3.2 Le fluage

La cinétique du fluage du béton de sable est plus rapide que celle du béton ordinaire (Fig.1.11). Les valeurs du fluage du béton de sable sont deux fois plus importantes que celles du béton ordinaire. Notons que ces résultats correspondent à un niveau de résistance en compression de 25 MPa. Un béton de sable plus résistant n'aura pas le même comportement et son fluage deviendra plus faible [15].



Fluage d'auto-dessiccation

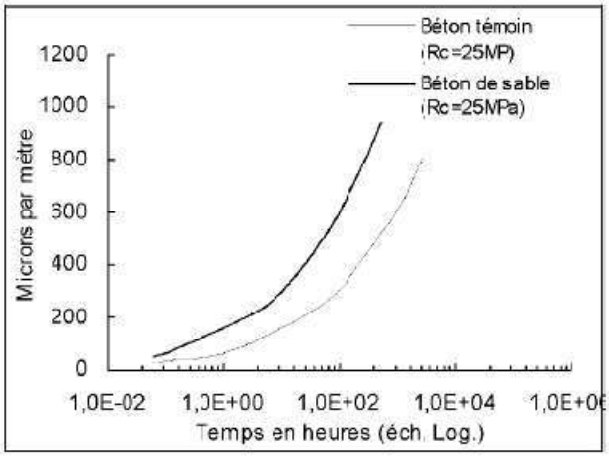


Fig.1.11 Evolution du fluage du béton de sable [14].

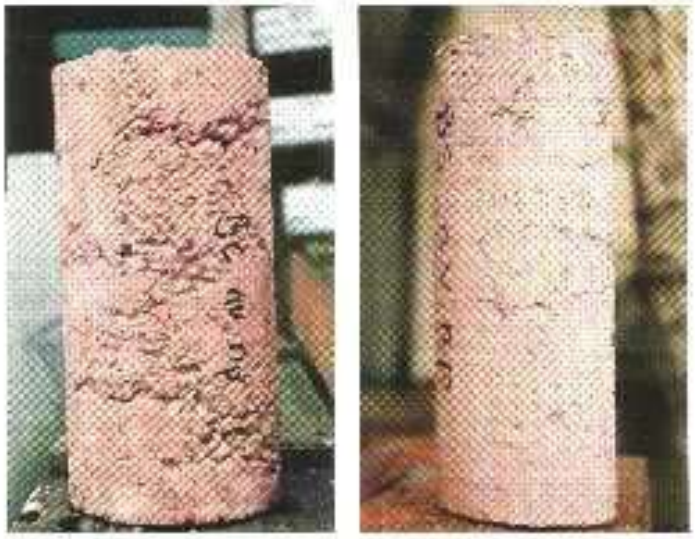
1.5.4 Comportement thermique du béton de sable

La conductivité thermique des bétons traditionnels varie de 1.4 à 1.8 W/m°C. Les conductivités thermiques mesurées sur bétons de sable sont légèrement inférieurs. Le béton de sable est donc plus isolant. Ce résultat s'explique par la porosité plus importante du béton de sable [6].

1.5.5 Phénomène de ségrégation des constituants

La quantité élevée d'éléments fins dans un béton de sable et l'absence de gravillons, et donc sa plus grande homogénéité, confèrent à ce dernier un meilleur comportement que les bétons traditionnels vis-à-vis du phénomène de ségrégation. Cette faculté apparaît plus clairement à travers des expériences comparatives sur des bétons de sable et des bétons classiques équivalents, avec des plasticités et des modes de mise en œuvre variables. La figure suivante

montre la différence d'aspect de la peau de deux éprouvettes coulées, sans action extérieure sur le serrage, à des consistances plastiques équivalentes (cône de 14 cm) [2].



a) Béton ordinaire b) Béton de sable

Fig.1.12 Eprouvettes non vibrées non piquées [2]

1.6 Domaine d'utilisation des bétons de sable

Le béton de sable est un matériau ancien utilisé bien avant le béton traditionnel et présente sous sa forme actuelle certaines propriétés spécifiques par rapport au béton classique, et peut procurer des économies dans certaines régions et pour certains usages. Le béton de sable est un nouveau matériau créé pour remplacer le béton classique dans certains éléments de structure. liements 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
- Bâtiments
- Routes, chaussé et dallage [11].

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 [16].

1.8 Intérêts et limites des bétons de sable

1.8.1 Intérêt des bétons de sable

Dans de nombreux usages, le béton ne nécessite pas un niveau très élevé de résistance. Ce pendant il exige, parfois, des caractéristiques qui peuvent être mieux assurées par le béton de sable. Parmi ces caractéristiques :

- La maniabilité
- La cohésion et l'absence de ségrégation
- La petite granulométrie et la faible dimension des grains
- Le transport
- L'aspect de surface

En plus de ces caractéristiques, le béton de sable possède un autre intérêt plus important pour les régions du sud algérien et qui consiste à utiliser les sables qui se trouvent en abondance dans ces régions, ce qui conduit à des économies certaines [2].

1.8.2. Limites des bétons de sable

A l'heure actuelle, les connaissances sur le béton de sable ne permettent pas un remplacement systématique du béton classique, soit pour des raisons économiques, soit pour des raisons techniques [2,17].

- Raisons économiques : l'expérience a montré que, par l'utilisation des ajouts, on peut augmenter d'une façon considérable la résistance d'un béton de sable**.**

-Raisons techniques : On n'a que peu de connaissances sur les caractéristiques et le comportement du béton de sable, comme le retrait, le fluage et la durabilité, ce qui exclut, peut être, ce matériau des éléments fortement sollicités ou précontraints[2].

Parti II: Le recyclage

1.9 Nécessite du recyclage

Avec la société de consommation, l'ère du « jetable » fait loi. Au cours du XX ème siècle, depuis la révolution industrielle, l'humanité consomme, gaspille les ressources naturelles et pollue l'environnement avec de nombreux déchets dont les déchets de construction et de démolition, dont le béton, qui représentent 48 % des déchets totaux en UE. Il devient donc essentiel de se préoccuper du devenir du béton lorsqu'il est en fin de vie car ce matériau est souvent considéré comme inerte et mis en décharge sans valorisation (DAO, 2012). Si le principe du recyclage remonte à l'époque des romains les premiers essais sur le recyclage des bétons remontent aux années 1970 au Japon et aux Etats Unis et en 1980 pour la France. La valorisation des bétons déconstruits impose un procédé de traitement où il faut les débarrasser de leurs ferrailles, les broyer, les concasser et enfin très souvent les transformer en graves utilisables dans les Travaux Publics Constituant une grande part des déchets de construction et de démolition, le béton déconstruit est un gisement potentiel de granulats pour bétons hydrauliques. Le coût environnemental de la non valorisation des déchets rend économiquement viable les opérations de recyclage qui permettent d'économiser les ressources naturelles de matériaux granulaires pour espérer maintenir dans le futur un prix raisonnable des granulats pour la construction. Le projet national de Recherche et Développement, recybeton vise donc à accroître la réutilisation de tous les produits issus du béton déconstruit tant comme granulats que comme liant hydraulique. Les « bétons recyclés » sont des bétons qui incorporent des granulats recyclés. Ceux-ci se caractérisent notamment par des capacités d'absorption d'eau élevées modifiant leurs propriétés et la fissuration au très jeune âge du béton [18].

1.10 L'histoire du recyclage en dix dates

a. 3000 avant JC : Les premiers objets en métal usagés sont fondus pour en fabriquer de nouveaux.

b. 500 avant JC : Athènes invente la première décharge municipale, et impose à ses citoyens d'y déposer leurs déchets.

c. 105 : La chinois Tsai Lun, ministre de l'agriculture de la dynastie Han, invente le principe de fabrication de papier à partir de vieux chiffons de lin.

d. 1031 : Au Japon, du papier neuf est fabriqué à partir de papier recyclé pour la première fois de l'histoire de l'humanité.

e. 1690 : La première entreprise de recyclage de papier, The Rittenhouse Mill, voit le jour à Philadelphie.

f. 1884 : Le préfet de la seine Eugène Poubelle impose aux parisiens l'usage d'un récipient clos – qui portera son nom - pour déposer les ordures ménagères et faciliter leur collecte.

g. 1940 :Nylon, élastiques, piles usagées et ferrailles diverses sont recyclées en Europe et aux Etats-Unis pour participer à l'effort de guerre.

h. 1970 : Le sigle du recyclage – également appelé ruban de Möbius – devient le logo univers des matériaux recyclables.

i. 1973 : Le premier centre de recyclage de matières plastique est créé à Conshohocken, aux Etats-Unis.

f. 2016 :L'industrie du recyclage génère un volume d'affaires de 160 milliards de dollars dans le monde et emploie environ 1,5 million de personnes [19].

- **Algérie**

En Algérie, des bâtiments publics, des immeubles et des ponts sont démolis après des sinistres naturels comme le séisme et les crues ou simplement par le vieillissement. Les matériaux de démolition sont, pour l'instant, rarement recyclés. L'industrie de construction génère aussi une quantité importante de déchets C&D (briques et béton en particulier) qui est rarement valorisée.

Cependant, dans toutes les villes algériennes et surtout dans les grandes villes, va bientôt apparaître le besoin de démolir ou de déconstruire les anciennes bâtisses coloniales des années cinquante.

La seule tentative de valorisation des déchets de démolition a été tentée en 1981. Laville algérienne d'El-Asnam (Chlef actuellement), a été secouée en octobre 1980 par deux tremblements de terre intenses qui l'ont quasiment réduite en un énorme tas de gravats. Face à quelques milliers de bâtiments (38% des bâtiments) qui devaient êtres démolis et par suite l'évacuation de plusieurs centaines de milliers de tonnes de débris, une opération pilote de recyclage de béton démoli a été menée avec l'aide du CSTC (Belgique), et a démontré qu'il était possible de recycler les débris de béton en blocs de construction de qualité convenables.

Dans le but de pouvoir recycler le plus grand nombre de débris et d'adopter les conditions minimales, on a pu réalisé, suivant la composition choisie suivante, des blocs présentant des résistances acceptables (min: 2,1 MPa et max: 7 MPa) [20] :

- débris de briques : 30%
- débris de blocs de béton : 50%
- débris de béton : 10%
- impuretés + débris divers (enduits, carrelages, etc.) : 10%

1.11 Activité du recyclage des déchets en construction

1.11.1 Recyclage des déchets

Le recyclage est un procédé de traitement des déchets industriels et des déchets ménagers qui permet de réintroduire, dans le cycle de production d'un produit, des matériaux qui le composent.

Le recyclage a deux conséquences écologiques majeures : la réduction du volume de déchets et la préservation des ressources naturelles. C'est une des activités économiques de la société de consommation. Certains procédés sont simples et bon marché mais, à l'inverse, d'autres sont complexes, coûteux et peu rentables. Dans ce domaine, les objectifs de l'écologie et ceux des consommateurs se rejoignent mais parfois divergent ; c'est alors le législateur qui intervient. Ainsi, en particulier depuis les années 70, le recyclage est une activité importante de l'économie et des conditions de vie des pays développés [2,21].

1.11.2 Les types de recyclage (les procédés)

Il existe trois grandes familles de recyclage : chimique, mécanique et organique.

Le recyclage dit « chimique » utilise une réaction chimique pour traiter les déchets, par exemple pour séparer certains composants.

Le recyclage dit « mécanique » est la transformation des déchets à l'aide d'une machine, par exemple pour broyer.

Le recyclage dit« organique » consiste, après compostage ou fermentation, à produire des engrais et du carburant tel que le biogaz [22].

1.11.3 Technique de recyclage

a. Collecte de déchets

Les opérations de recyclage des déchets commencent par la collecte des déchets. La collecte s'organise en conséquence. La collecte sélective, dite aussi séparative et souvent appelée à tort tri sélectif est la forme la plus répandue pour les déchets à recycler.

Le principe de la collecte sélective est le suivant : celui qui crée le déchet le trie lui-même. À la suite de la collecte, les déchets, triés ou non, sont envoyés dans un centre de tri où différentes opérations permettent de les trier de manière à optimiser les opérations de transformation. Le tri manuel est une de ces opérations.

b. Transformation

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

c. Commercialisation et consommation

Une fois transformés, les produits finis issues du recyclage sont utilisés pour la fabrication de produits neufs qui seront à leur tour proposés aux consommateurs et consommés. Pour être en fin de vie, à nouveau jetés, récupérés et recyclés [23].

1.12 Gestion des déchets

1.12.1 Définition

La gestion des déchets, une des branches de la rudologie appliquée, regroupe la collecte, le négoce et courtage, le transport, le traitement (le traitement des rebuts), la réutilisation ou l'élimination des déchets, habituellement ceux issus des activités humaines. Cette gestion vise à réduire leurs effets sur la santé humaine et environnementale et le cadre de vie.

Un accent est mis depuis quelques décennies sur la réduction de l'effet des déchets sur la nature et l'environnement et sur leur valorisation dans une perspective d'économie circulaire. Tous les déchets sont concernés (solides, liquides ou gazeux, toxiques, dangereux, etc.), chacun possédant sa filière spécifique. Les modes de gestion diffèrent selon que l'on se trouve dans un pays développé ou en développement, dans une ville ou dans une zone rurale, que l'on ait affaire à un particulier, un industriel ou un commerçant. Les déchets non dangereux sont habituellement gérés sous la responsabilité des autorités locales, alors que les déchets des commerces et de l'industrie tendent à l'être sous leur propre responsabilité. En France « Tout producteur ou détenteur d'un déchet est responsable de ce déchet : c'est-à-dire qu'il est tenu

d'en assurer ou d'en faire assurer la gestion. Cette responsabilité s'étend jusqu'à l'élimination ou la valorisation finale du déchet » [24].

1.12.2 Les principaux objectifs à atteindre dans la réduction de la production de Déchets

- Diminuer la production et la nocivité des déchets, où il ne résout que partiellement les problèmes de l'élimination des déchets. Il permet cependant de diminuer les coûts de la gestion des déchets tout en induisant une prise de conscience des habitants face à la problématique des déchets.
- Valoriser les déchets qui peuvent être recyclés. Il s'agit de récupérer certains produits ou matériaux des déchets bruts à des fins de réemploi, de recyclage.
- Réserver les centres d'enfouissement aux seuls déchets ultimes, ne pouvant être ni traités, ni valorisés.
- Lutter efficacement contre les décharges « sauvages » anarchiques qui défigurent les paysages et les décharges polluantes non autorisées [25].

1.12.3 Valorisation des déchets en Algérie

La récupération des déchets en Algérie est une importante opportunité à saisir vis-à-vis l'environnement, les déchets ménagers représentent environ 13,5 millions de tonnes/an, soit un kilogramme par habitant par jour, dont près de la moitié peut être récupérée. Environ 45% de ces déchets, soit 6,1 millions de tonnes sont recyclables. Parmi ces 6,1 millions de tonnes, il y a 1,8 million de tonnes de papiers, 1,22 millions de tonnes de plastiques, 1,6 millions de tonnes de textiles et 300.000 tonnes de métaux. Ceux-ci pour une valeur approximative de 23 milliards de DA. C'est un véritable gisement. Or, il n'existe que 247 micro-entreprises qui opèrent dans la récupération des déchets et qui ne valorisent à peine que 5 ou 6% de ce potentiel dont une partie est exportée. L'état mise beaucoup sur le développement d'une industrie de récupération et de recyclage. Elle est au coeur même du programme national de gestion des déchets municipaux (PROGDEM), qui constitue le principal cadre de référence en termes de gestion et de valorisation

des déchets ménagers. Il existe deux (02) types de filières : classiques (plastiques, papiers, métaux, textiles, verres, bois et matières organiques) et complexes (pneus usagés, huiles usagées, piles et batteries et autres déchets d'équipements électriques et électroniques) [26].

1.12.4 La valorisation des déchets de chantier

La valorisation des déchets ou revalorisation est un ensemble de procédés par lesquels on transforme un déchet en un nouveau matériau ou produit de qualité ou d'utilité supérieure, ou bien en une énergie renouvelable. La valorisation des déchets est généralement considérée comme l'inverse de la mise en décharge du contenu des poubelles. Elle se base sur le principe des trois «R», qui sont « Réduire », « Réutiliser » et « Recycler ». D'autres chercheurs y ont ajouté un quatrième R qui est « Repenser».

• **Réduire :**

Cette étape consiste en la réduction à la source de la production des déchets. Cette opération peut se faire par exemple en faisant le tri à la source, ou bien en limitant l'utilisation des produits d'emballage. La réduction vise à avoir une quantité de déchets minimum à éliminer (mise en décharge).

• **Réutiliser :**

Cette opération consiste à donner une nouvelle fonction à un objet existant, sans pour autant le transformer. Cette technique connait un grand essor chez les nouveaux décorateurs qui redonnent une nouvelle vie à des objets destinés à la décharge. Par exemple, les cageots en bois, les pneus de voitures, etc.

• **Recycler :**

Cette étape vient compléter les deux précédentes. Ainsi, s'il y a incapacité à réduire ou à réutiliser, on a recours au recyclage. C'est l'utilisation des déchets pour produire une nouvelle chose avec la même fonction ou une fonction toute autre. Ces objets recyclés sont bien entendu d'une qualité moindre que les objets originaux. On site comme exemple le recyclage des papiers, journaux et cartons, ainsi que le recyclage des bouteilles en plastiques.

• **L'élimination :**

C'est la dernière étape du processus de valorisation. L'opération consiste à se débarrasser du reste des déchets qui ont été utilisés et qui ne peuvent subir aucune des opérations cités ci-dessus. C'est le cas notamment des déchets organiques qui peuvent servir de source d'énergie [27].

1.13 Utilisation des déchets et sous-produits dans le domaine du génie civil

L'idée d'employer des déchets, y compris les sous-produits de l'industrie, n'est pas neuve pour l'homme. Les déchets produits par les industries du charbon ou de l'acier sont relativement facilement assimilables à des granulats ou incorporables dans des liants : étude

de l'emploi du laitier granulé en cimenterie en 1880. En génie civil, le développement de l'emploi de certains déchets s'est fait en parallèle avec le développement de l'industrie lourde dans le temps.

En général, les besoins du génie civil peuvent être résumés en termes de quatre ordres séquentiels

1. matériaux, sur lesquels pèsent de faibles exigences et consommés en grandemasse ;
2. granulats, qui doivent répondre à des spécifications diverses suivant leurutilisation;
3. liants, qui doivent répondre à des spécifications précises et dont les propriétés doivent rester constantes dans le temps ;
4. activants, qui seront utilisés en petites quantités, ce qui peut poser des problèmes de collecte, stockage, distribution et régularité [20].

1.14 Différents déchets utilisés en génie civil

En général les déchets sont classés en six catégories comme illustrés ci –dessous ; bien que les déchets utilisables en génie civil soient les déchets inertes, les déchets ménagers et les déchets en sous produits industriels dans des conditions spécifiques [2,28].

A. Déchets industriels dangereux mais non toxiques

Ce type de déchets regroupe généralement :

•Des déchets de fer, de cuivre, de plomb,

• Des déchets contenant des fibres d'amiante,

• Des produits de préservation du bois,

• Des déchets solides dangereux de construction et de démolition de bâtiment à caractère Industriel [2].

B. Déchets inertes

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

Ce type de déchets regroupe :

•Des déchets solides de construction et de démolition des bâtiments à caractère d'habitation situé ou non sur un site industriel.
•Des déchets solides et inertes de travaux routiers,
•Des éléments en béton, mortier de ciment et béton,
•Des terres de déblais non contaminées[2].

C. Déchets toxiques

Ils sont à caractère industriel et obtenus en général après traitement chimique des matériaux synthétiques.
Certains déchets toxiques sont mélangés en faible quantité à des produits non polluants. Il est alors impossible de recycler ces produits sans les avoir débarrassés des déchets toxiques [2,29].

D. Déchets industriels dans des conditions spécifiques

Ils proviennent d'industries générant de très grandes quantités de déchets en sous produits industriels, dont les caractéristiques sont bonnes et relativement stables (cendres volantes les scories d'aciéries, le laitier, etc.) [28].

E. Déchets ménagers et assimilés

Ce type de déchets regroupe :
• Des déchets en matériaux de synthèse,

• Des déchets solides non dangereux de construction ou de démolition de bâtiment à caractère Industriel.
• Déchets volumineux ou "encombrants" soit collectés en porte à porte, soit réceptionnés dans une installation mise à la disposition des ménages.
• Déblais et gravats produits par les ménages réceptionnés dans des déchetteries ou des dépôts réservés aux seuls déchets inertes.
• Déchets ménagers spéciaux (DMS), ne pouvant en raison de leur danger être éliminés sans risques avec les déchets ménagers. Ils sont réceptionnés dans des déchetteries équipées à cet effet.
• Déchets végétaux issus de l'habitat pavillonnaire.
• Déchets de l'automobile (huiles, épaves, batteries, pneus, …).
• Des déchets commerciaux, emballages et autres résidus générés par les activités commerciales comme les déchets plastiques [2].

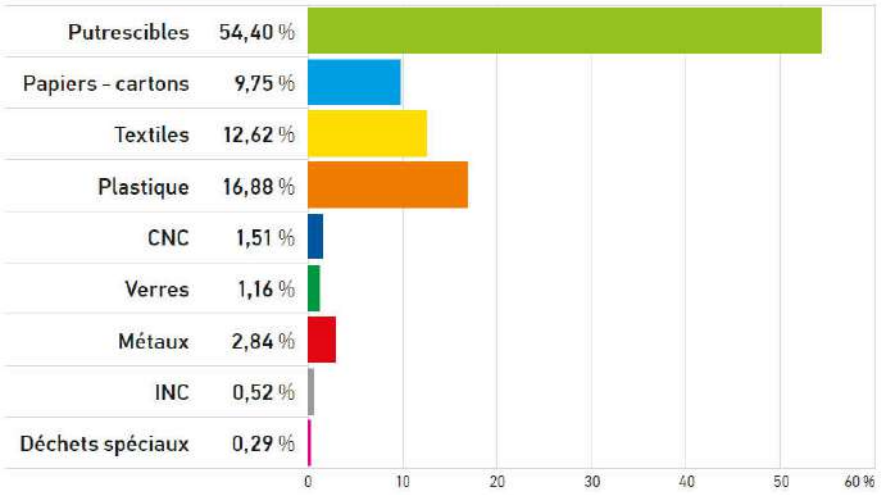


Fig.1.13 Composition des déchets ménagers et assimilés en Algérie (2014) [2].

F. Déchets industriels banals (D.I.B.)

Appelés quelquefois déchets industriels assimilés aux déchets ménagers, sont constitués de déchets non dangereux et non inertes. Ils contiennent effectivement les mêmes composants que les déchets ménagers mais en proportions différentes.

Tableau. 1.2 Quantités de déchets industriels produits : évolution 2008 [2].

Catégorie de déchets	Production de déchets en tonnes
bois	5 529 740
métaux	3 960 337
déchets en mélange	2 160 388
papiers cartons	1 997 818
plastiques	467 333
verre	305 495
caoutchouc	81 220
textile	22 877
Total déchets banals	14 525 208

1.15 L'activité de recyclage des matériaux de construction et de démolition

1.15.1 Intérêt du recyclage des matériaux de construction et démolition

Des contraintes écologiques et économiques imposent de plus en plus la nécessité de remplacement partiel des matériaux classiques utilisés dans le domaine du bâtiment et des travaux publics par des matériaux locaux de substitution.

Dans ce contexte, les granulats recyclés issus de la construction et de la démolition, présentent un intérêt particulier, car leur valorisation permet de résoudre le manque de granulats naturels, de prolonger la durée d'exploitation des carrières existantes et, dans le même temps, de réduire les volumes mis en décharge.

L'intérêt économique du recyclage des matériaux de démolition et de construction est conditionné par trois facteurs essentiels :

- le coût des granulats naturels ;
- les charges et les taxes relatives à l'évacuation des produits de démolition et deconstruction ;
- les coûts de transports.

Afin de préserver l'environnement, les tendances économiques mondiales vont dans le sens de l'augmentation des deux premiers coûts. Le Pays-Bas et la Finlande sont les premiers pays ayant commencé à appliquer en 1990 les taxes relatives à l'évacuation des produits de démolition et de construction, les autres pays de l'Union Européenne ont commencé à appliquer ces mêmes taxes durant la période 1993-2000 [20].

La valorisation des déchets de démolition a dépassé le stade d'expérimentation etconnaît un développement assez important. A titre d'indication, le taux de recyclage dans certains pays d'Europe pour l'année 1995 est résumé dans le tableau 1.3 suivant :

Tableau 1.3 Taux de recyclage en Europe [20]

Pays	**Débris recyclés (millions t/an)**	**Part du recyclage dans la production de débris (%)**	**Part du recyclage dans la consommation de granulats (%)**
Pays-Bas	7,7	64,2	6,1
UK	7,2	14,8	2,5
Belgique	2,3	30,3	2,6
Danemark	14,9	24,0	3,6
France	3	9,0	0,7
Espagne	0,5	3,7	0,2

Du fait de la nature spécifique des matériaux de démolition et de construction, un certain nombre d'opérations sont ajoutées aux fonctions traditionnelles de concassage-criblage :

- stockage sélectif des matériaux réceptionnés ;
- prétraitement : réduction des gros éléments, cisaillage des ferraillages ;
- déferraillage (magnétique) : il peut être effectuer en deux phases, l'une à la sortie du premier broyeur et la seconde après le criblage ;
- des tris manuels et mécaniques pour la récupération des papiers, des bois, des plastiques, etc. : il existe différents systèmes de séparation et de tri, en fonction des éléments à retirer (épuration par flottaison, tables densimétriques, séparation au moyen d'un courant d'air, etc.) [20,30].

1.16 Impact du recyclage dans l'industrie

Le recyclage des déchets offre une source d'approvisionnement en matières premières alternatives aux autres sources. Par exemple, le recyclage de fil de cuivre permet d'obtenir du cuivre auprès des entreprises de recyclage et non des entreprises d'extraction. Le recyclage offre aux entreprises les bénéfices de la multiplicité des sources d'approvisionnements telles que la facilité de négociation des prix d'achat ou la sécurité des approvisionnements [31].

1.17 Les avantage du recyclage sur l'environnement

a– Environnement sain :

Toute entreprise est responsable de la collecte et du traitement de ses déchets. En optant pour le recyclage, vous contribuez à la gestion écologique des déchets. Les autres modes de gestion, qui sont la mise en décharge et l'incinération, favorisent la pollution du sol et de l'air.

b– Économie de matière première :

Recycler vous permet de faire des économies de matières premières. En réutilisant les matériaux des produits en fin de vie, vous les réintroduisez dans le processus de production, à la place de nouvelles ressources naturelles. En effet, la qualité des matériaux contenus dans les verres, les métaux, et bien d'autres produits est conservée, même après le recyclage.

c– Image soignée :

La protection de l'environnement est une des valeurs que de nombreuses personnes, dont vos salariés et vos clients, défendent. Et le recyclage est une preuve tangible à travers laquelle ils

peuvent percevoir votre implication dans une démarche écologique. Vous disposez donc d'un atout concurrentiel et d'un argument de communication.

De plus, si vous voulez vous engager dans une démarche qualité, il vous est indispensable de penser à un moyen de gérer durablement vos déchets.

d– Soutien à l'économie locale :

Plusieurs déchets industriels sont recyclables. Le carton peut être recyclé en carton, les appareils électriques en câbles ou en plastiques, le papier en dalles pour faux plafonds, les gravats en gravats, etc. Quel que soit votre secteur d'activité, vos déchets industriels pourraient être réutilisés [32].

1.18 Le principe de responsabilité

Il peut inclure celui de pollueur-payeur. Par exemple, concernant les déchets radioactifs, l'industrie nucléaire russe a obtenu de ses autorités de tutelle le principe « payé and forget » autorisant un exploitant (ex. : Rosatom via sa filiale Rosenergoatom, de « se libérer de la responsabilité de la gestion des déchets par le versement d'une soulte) ; en France, les propriétaires des déchets en conserveront la propriété, et donc la responsabilité, même lorsque ceux-ci auront été stockés » [33].

1.19 Conclusion

L'enjeu de cette étude n'est pas de subvenir à un manque actuel de granulats naturels mais plutôt de contribuer à la diminution de l'épuisement des ressources naturelles pour l'avenir.

La valorisation de ces granulats issus du recyclage présente un intérêt d'ordre économique, techniques environnemental. Le réemploi de ces matériaux dans la fabrication des mortiers contribuerait à la prolongation de la durée de vie des carrières existantes et au même temps à l'élimination des déchets dans les décharges . Par ailleurs, ces granulats recyclés pouvant se substituer aux granulats naturels, ceci permet de résoudre dans l'avenir le manque de granulats naturels.

Néanmoins, il est nécessaire d'approfondir les connaissances sur les propriétés de ces déchets (granulats recyclés) destinés pour bétons ou mortiers en fonction de leur origine, ce qui facilitera leur valorisation [25].

Chapitre 2:
Matériaux Et Essais

Chapitre 2:
Matériaux Et Essais

2 .1 INTRODUCTION

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

Le béton de sable (BS) est caractérisé à l'état frais par les essais spécifiques suivants :

- La maniabilité
- La densité

A l'état durci nous avons évalué la porosité, la résistance à la compression et la résistance à la traction par flexion aux différents âges.

En ce qui concerne l'étude de la durabilité, nous avons réalisé les essais suivants :

- L'absorption d'eau par capillarité.
- La porosité.

2.2 Matériaux utilisés

Les caractéristiques physico-chimiques des matières premières utilisées pour la confection des bétons de sable sont présentées ci-après.

2.2.1. Les granulats naturels et recyclés

A- Le sable naturel

Le sable utilisé dans le cadre de notre étude expérimentale est un sable naturel de dune (SN), prélevé de la région de Oued Souf (0/5) située au sud-est de l'Algérie, à 620 km au sud-est d'Alger et c'est loin de M'sila 428 km sur la route nationale RN48.

B- Sable de déchets de briques

Un sable recyclé utilisé appelé SBRR est obtenu par les opérations de concassage et criblage, de la brique cuite utilisé pour le remplissage des cloisons en maçonnerie. Les caractéristiques physique et la granulométrie de ce sable SBRR sont présentées respectivement dans le tableau 2.1 et la figure 2.1.

C-Sable de béton recyclés

Un sable recycle (0/5) (SBTR) produits par le concassage (moyennant un concasseur à mâchoire) d'anciennes éprouvettes (16x32 cm) en béton naturel utilisé dans les anciens travaux de recherches au laboratoire. Les caractéristiques physique et la granulométrie du sable SBTR sont présentées respectivement dans le tableau 2.1 et la figure 2.1 suivants.

Tableau. 2.1 Caractéristiques physiques des sables utilisés

Caractéristiques	SN	SBTR	SBRR	Normes
Module de finesse	2,27	2,56	2,54	NF EN 933-1[34]
Masse volumique absolue (Kg/ m3)	2,6	2,5	2,4	NF EN1097-6 [35]
Masse volumique apparente (Kg/m3)	1,57	1,27	1,15	NF EN1097-3 [36]
Equivalent de sable (%)	87,2	91,03	77,1	NF EN933-8 [37]
Coefficient d'absorption d'eau (%)	0,65	8	17,8	NF EN1097-6 [36]

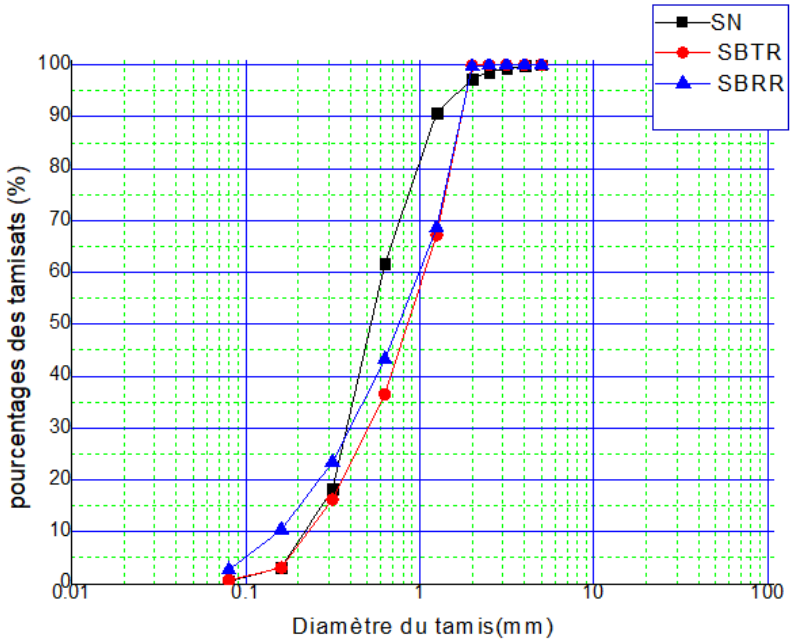


Fig. 2.1. Courbes granulométriques des sables.

L'analyse chimique des sables utilisés, menée par rayon X, révèle que le sable concassé est riche en calcite ($CaCO_3$). Pour les sables dunaires et de carrière, la silice (Quartz) (SiO_2) est l'élément le plus prépondérant dans la composition chimique de ces derniers (Fig.2.2 à Fig. 2.7).

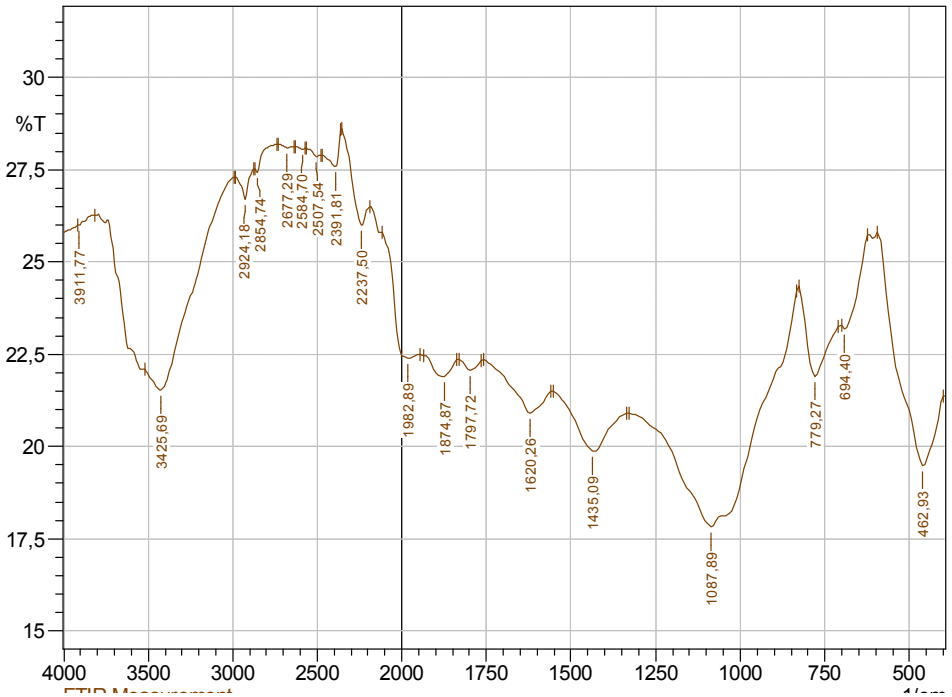


Fig. 2.2 Analyse par DRX du sable Oued Souf (trans) .

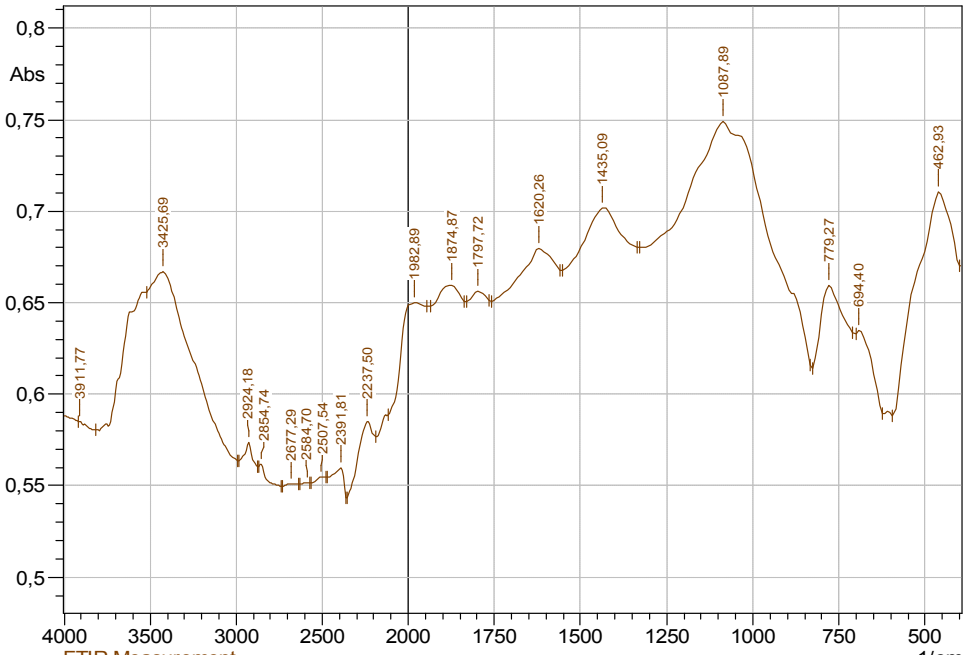


Fig. 2.3 Analyse par DRX du sable Oued Souf (abs).

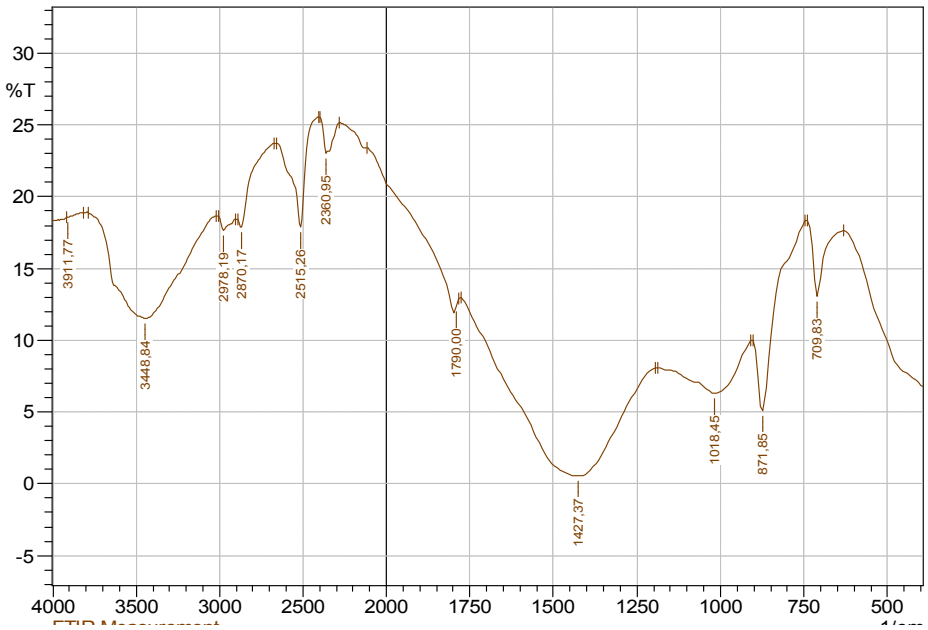


Fig.2.4 Analyse par DRX du sable béton recyclé (trans)

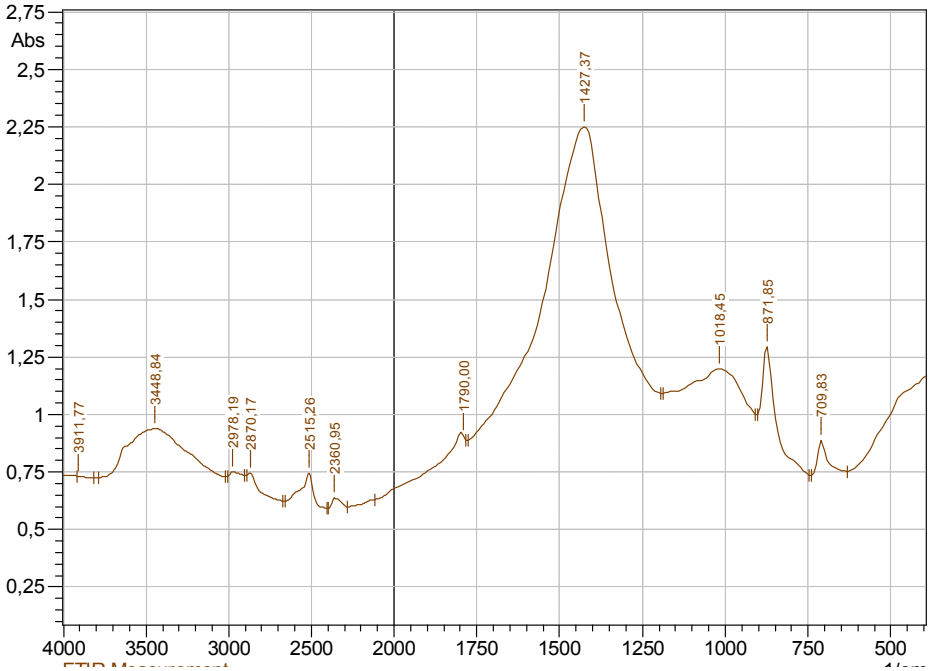


Fig.2.5 Analyse par DRX du sable béton recyclé (abs)

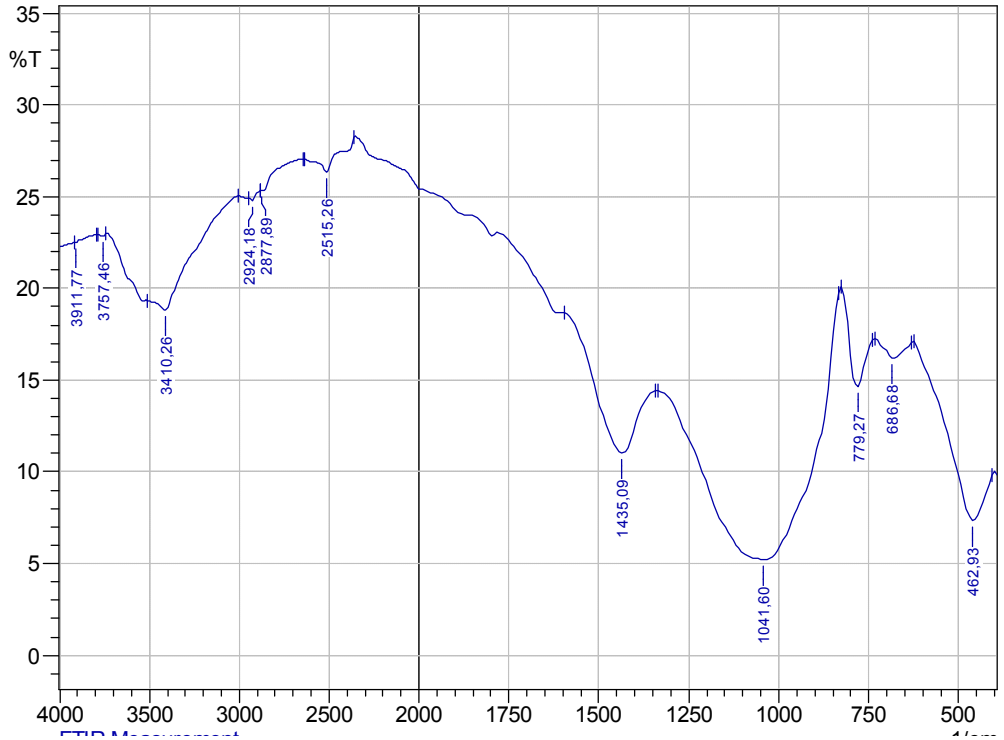


Fig.2.6 Analyse par DRX du sable brique recyclé (trans)

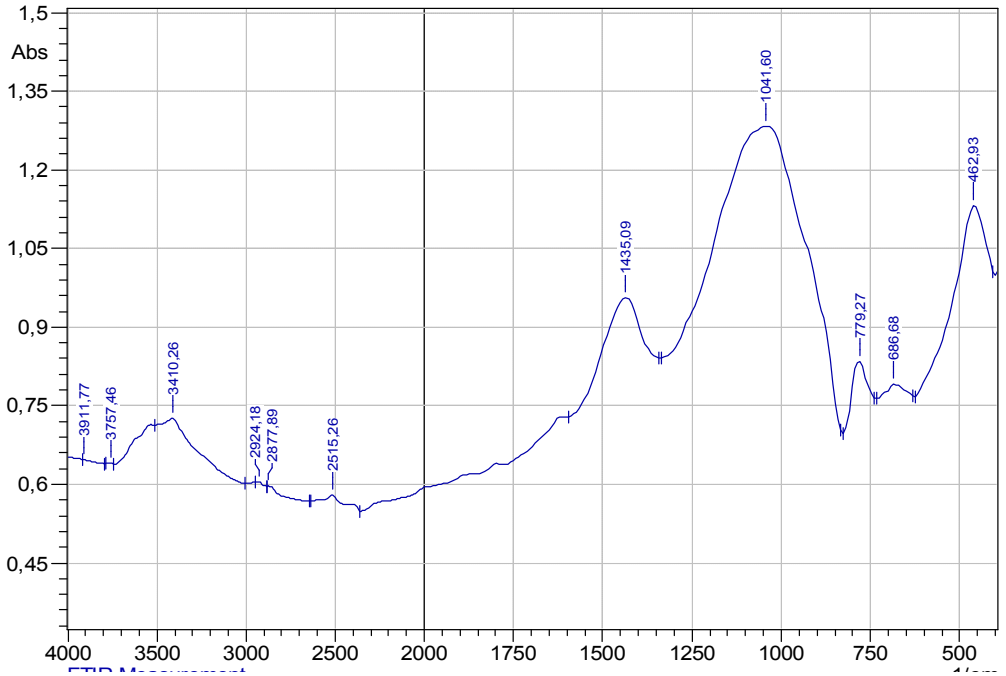


Fig.2.7 Analyse par DRX du sable brique recyclé (abs)

2.2.2 Ciment

Un seul type de ciment a été utilisé au cours de cette étude CEM II/A 42.5, avec une résistance minimale à la compression à 28 jours de 42,5 MPa, une masse spécifique de 3,1 g/cm^3 et une surface spécifique de Blaine (SSB) de 3080cm²/g produit par la cimenterie de CHLEF en accord avec la norme NA 442 [38].

Les tableaux 2.2 et 2.3 résument respectivement la composition chimique et minéralogique du ciment utilisé. Les caractéristiques physico-mécaniques du ciment utilisé sont représentées dans le tableau 2.3. L'analyse chimique du ciment menée par rayon X met en évidence l'existence des éléments de la composition minéralogique (Fig. 2.5). Néanmoins, cette analyse à un aspect qualitatif et non quantitatif. Cette analyse confirme l'existence des C3S, C2S, C3A et C4AF [2].

Tableau.2.2 Composition chimique du ciment utilisé

Oxydes	S_iO_2	AL_2O_3	Fe_2O_3	CaO	K_2O	Mgo	Na_2O	SO_3	Cao_{libre}	R.insol	P.F
Teneurs(%)	21.89	6.15	3.95	58.76	0.67	1.13	0.57	1.62	0.45	5.19	4.67

Tableau.2.3 Composition minéralogique du ciment utilisé

Minéraux	C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF	CaO libre	Gypse	Phase d'ajout
Teneurs(%)	45	18	11	8	1	5	12

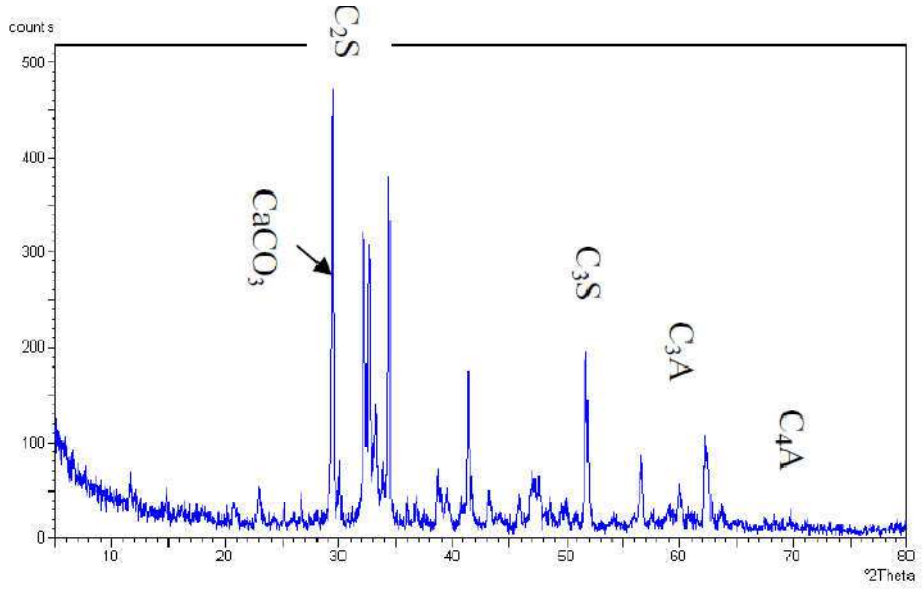


Fig.2.8 Diagramme de DRX appliqué sur le CEM II/A 42.5 CHLEF [2]

Tableau. 2.4 Caractéristiques physicomécaniques du ciment utilisé [2]

Les essais	Valeurs Mesurées	Norme NA 442
Surface spécifique de Blaine (cm^2/g)	3080	-
Consistance (%)	24.15	-
Début de Prise (h, mn)	02 :34	≥60 mn
Compression 02 Jours (MPa)	15.15	≥12.5
Compression 28 Jours (MPa)	46.43	≥42.5
Flexion 02 Jours (MPa)	2.97	-
Flexion 28 Jours (MPa)	6.26	-
Expansion à chaud sur pate (mm)	2.12	≤10 mm

2.2.3 Filler calcaire

Le filler calcaire utilisé dans le cadre de ce travail est obtenu par broyage de la roche calcaire provenant du gisement de BELANGIR, région d'AIN SEFRA à 250 Km de la wilaya de BECHAR. L'addition calcaire est un produit sec blanc tendre à mi tendre essentiellement composé de carbonate (83.64 %). Les tableaux 2.5 et 2.6 résument les résultats des analyses physiques et chimiques faits sur l'addition calcaire [39].

Tableau 2.5 Analyse physique de l'addition calcaire

Propriétés physiques	Valeur
Masse volumique absolue [t/m^3]	2.65
Masse volumique apparente [t/m^3]	1.60
Surface specifique [cm^2/g]	903

Tableau 2.6 Analyse chimique de l'addition calcaire

Composés chimiques	Valeur
Les carbonates [%]	83.64
La chaux [%]	46.62
Les magnésies [%]	0.21
Les sulfates [%]	Nul
Les chlorures [%]	Nul
La matière organique [%]	Nul
La valeur de bleu (gramme de bleu pour 100 g de fines)	0.43

2.2.4 Adjuvant

L'adjuvant utilisé est un plastifiant réducteur d'eau fabriqué par la société Algérienne GRANITEX, commercialisé sous l'appellation MEDAFLOW 145 de forme liquide de couleur marron, d'un PH égal à 5-6, de densité 1,065 ± 0,015 et d'une teneur en chlore < 1g/L. MEDAFLOW 145 permet de diminuer le rapport eau/ciment (E/C) environ 6 à 10%, tout en améliorant la plasticité du béton. La plage de dosage recommandée du MEDAFLOW 145 est de 0.3 à 2 % du poids de ciment.

2.2.5 Eau

L'eau utilisée pour le gâchage du béton est une eau potable de distribution, exempte d'impuretés, et sans aucun traitement supplémentaire.

2.3 Formulation du béton

La composition du béton de sable pour la confection des éprouvettes est basée sur la méthode expérimentale de SABLOCRETE 1994 [6]**.**

Formulation du béton de sable à base de granulat recycles

Le béton de sable à base de granulat recycles est obtenu par substitution massique (25, 50, 75 et 100%) du sable naturel avec les sables de brique (SBRR) et de béton recyclé (SBTR). La nomenclature des différents bétons réalisés est représentée dans le tableau 2.7.

Tableau.2.7 Nomenclature des bétons de sable réalisés

	SN (%)	SBTR (%)	SBRR (%)
BT	100	00	00
BS1	75	25	00
BS2		00	25
BS3	50	25	25
BS4		50	00
BS5		00	50
BS6	25	50	25
BS7		25	50
BS8		00	75
BS9		75	00
BS10	00	50	50
BS11		75	25
BS12		25	75
BS13		100	00
BS14		00	100

La composition de chaque mélange et pour chaque type de béton est codifié et mentionnée dans le tableau 2.8 suivant **:**

Tableau.2.8. Compositions des bétons de sable à base de béton recyclé

	BT	BSBTR			
		25%	**50%**	**75%**	**100%**
Sable (Kg/m3)	1400	1050	700	350	0
Ciment (Kg/m3)	350	350	350	350	350
Filler calcaire (Kg/m3)	200	200	200	200	200
Eau (l/m3)	230	258	286	314	342
Plastifiant (%)*	1	1	1	1,3	1,5

(* % par rapport à la masse du ciment et Filler calcaire)

Tableau.2.9. Compositions des bétons de sable à base de brique recyclée

	BT	BSBRR			
		25%	**50%**	**75%**	**100%**
Sable (Kg/m3)	1400	1050	700	350	0
Ciment (Kg/m3)	350	350	350	350	350
Filler calcaire (Kg/m3)	200	200	200	200	200
Eau (l/m3)	230	292,3	354,6	416,9	479,2
Plastifiant (%)*	1	1	1,2	1,5	1,6

(* % par rapport à la masse du ciment et Filler calcaire)

Tableau 2.10. Compositions des bétons de sable à base de brique et de béton recyclés

	BST	**BS3**	**BS6**	**BS7**	**BS10**	**BS11**	**BS12**
Sable (Kg/m3)	1400	700	350	350	0	0	0
Sable béton (Kg/m3)	0	350	700	350	700	1050	350
Sable brique (Kg/m3)	0	350	350	700	700	350	1050
Ciment (Kg/m3)	350	350	350	350	350	350	350
Filler calcaire (Kg/m3)	200	200	200	200	200	200	200
Eau (l/m3)	230	320,3	348,3	382,6	410,6	376,3	444,9
Plastifiant (%)*	1	1,5	1,6	1,5	1,2	1,5	1,4

(* % par rapport à la masse du ciment et Filler calcaire)

2.4 Malaxage et conservation des éprouvettes en béton

Le malaxage des bétons de sable se fait en deux malaxeurs en fonction de la nature et du nombre des éprouvettes à réaliser. S'il s'agit des éprouvettes de 4×4×16 cm, on utilise un malaxeur à mortier d'une capacité de 5 L. Le but recherché est de répartir, le plus régulièrement possible, chaque constituant afin d'assurer un mélange homogène et d'obtenir ainsi les mêmes propriétés. Le malaxage de chaque mélange se fait de la manière suivante :

- ✓ on verse les gros grains (le sable);
- ✓ puis en verse les fines (le calcaire) et le ciment;
- ✓ on malaxe pendant 2 minutes;
- ✓ on verse de l'eau et la moitié de la quantité d'adjuvant et on continue le malaxage
- ✓ pendant 2 minutes;
- ✓ on verse le reste de l'eau et de l'adjuvant et on mélange pendant 1 minute**.**

2.5 Essais réalisés sur béton de sable frais

Juste après chaque malaxage, deux essais sur béton frais ont été réalisés **:**

2.5.1 La maniabilité

Elle nous permis d'apprécier la fluidité d'un béton de sable qu'est l'objet des essais définis par la norme NF P 18 - 452 [40]. La consistance est caractérisée par le temps que met le béton de sable pour s'écouler sous l'effet d'une vibration. L'appareil utilisé est appelé Maniabilimètre LCL (B). Après la mesure de la maniabilité (temps d'écoulement), toutes les compositions de béton ont été ajustées pour avoir une maniabilité constante pour tous les mélanges.

2.5.2 La densité

La densité du béton de sable a été mesurée selon la norme NF EN 12350-6 [41].

2.6 Fabrication et confection des éprouvettes

Les différents types de bétons de sable sont tous fabriqués dans l'environnement de laboratoire. Le béton a été coulé dans des moules métalliques des éprouvettes prismatiques 4x4x16 cm destinées aux essais de traction par flexion et de variations dimensionnelles , Les éprouvettes confectionnées sont au nombre total de 1800, et elles ont été coulées dans les moules en plusieurs couches et mises en place par vibration manuelle.

Juste après la confection, toutes les éprouvettes ont été couvertes afin d'éviter le risque d'évaporation excessive et le retrait plastique. 24 heures après la confection, les éprouvettes ont été démoulées et conservées : dans l'eau à 20°C ± 2°C et à l'air libre d'un climat moyen (laboratoire). Les échantillons conservés dans l'eau ont été séchés à l'atmosphère de laboratoire pendant environ 24 heures avant l'âge d'essai et jusqu'à un poids constant.

2.7 Essais réalisés sur béton de sable durci

Les essais de caractérisation sur béton de sable durci sont résumés dans le tableau 2.11 :

Tableau.2.11 Essais sur bétons de sable durcis

Essais	Appareil	Dimension (cm)
Traction	La Presse hydraulique	4x4x16
Compression		4x4x16
Retrait + gonflement	Déformètre	4x4x16
Capacité d'absorption d'eau	Essai d'absorption	demi-prisme
La porosité	Dessiccateur	d'éprouvette 4x4x16

2.7.1 Essais de traction par flexion

Selon la norme EN 196-1 [42], c'est l'essai le plus couramment utilisé. Il consiste à rompre en flexion (par trois points) (Fig. 2.9), une éprouvette prismatique de côté **a** et de longueur **L**. Dans notre étude, cet essai est effectué sur des éprouvettes prismatiques de dimensions 4×4×16 cm, à 3, 7et 28 jours.



Fig.2.9 Dispositif de l'essai de traction par flexion

2.7.2 Essais de compression

La résistance à la compression a été mesurée selon la norme NF EN 196-1 [42] par compression axiale pour demi-prisme d'éprouvettes prismatiques de dimensions 4×4×16 cm (Fig. 2.10), à l'âge de 3, 7 et 28 jours, à l'aide d'une presse hydraulique de capacité maximale de 2000 KN conforme à la norme NF P 18-412 [43].

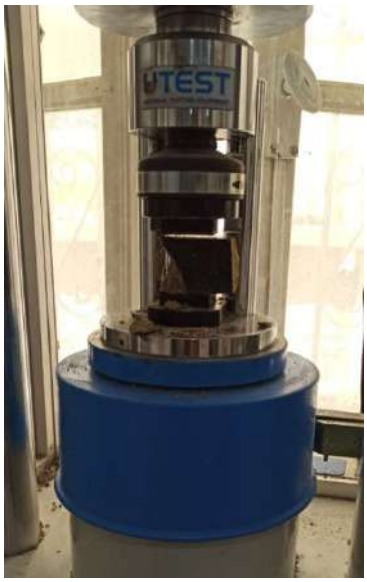


Fig.2.10 Diapositif de l'essai de résistance à la compression

2.8 Essais sur l'approche de durabilité

2.8.1 Porosité

À la fin de la cure, les demi-prismes d'éprouvette 4x4x16cm sont séchés dans une étuve ventilée à 40 ± 5 °C jusqu'à poids constant ; elles sont ensuite prolongé dans l'eau, jusqu'à poids constant (Fig 2.11). L'échantillon est passé ensuite à imbibition sous vide, et après saturation une pesée sous eau (Meau) et une autre dans l'air (Mair) sont réalisées. Ensuite, l'échantillon est séché dans une étuve ventilée à 105 ± 5 °C jusqu'à poids constant et à nouveau, une mesure de masse (Msec) est réalisée selon la recommandation l'AFPC-AFREM.

La porosité volumique accessible à l'eau $\varepsilon(\%)$, exprimée en pourcentage, est donnée par l'équation :

$$\varepsilon\,(\%)=\frac{\text{Mair - M sec}}{\text{Mair - Meau}}\,x100$$

$\varepsilon\%$: La porosité totale

Mair: La masse d'éprouvette imbibée pesé dans l'air

M sec: La masse d'éprouvette sèche

Meau: La masse d'éprouvette immergée dans l'eau



Fig.2.11 Mesure de la porosité accessible à l'eau

2.8.2 Absorption capillaire

Dans cet essai, on prend un morceau d'éprouvette de béton de sable déjà utilisé puis sécher. On le pèse (m0) au début, après on l'introduit dans un bac remplit d'un film d'eau (5mm d'eau) (comme mentionné dans la figure. 2.12), et pendant chaque intervalle du temps (15 min, 30 min ,1 h, 2h ,4h et 24h) on repese le morceau (m1). La différence du poids entre m1 et m0 (m1- m0), est le poids d'eau absorbé (NBN NE 13057) [44].

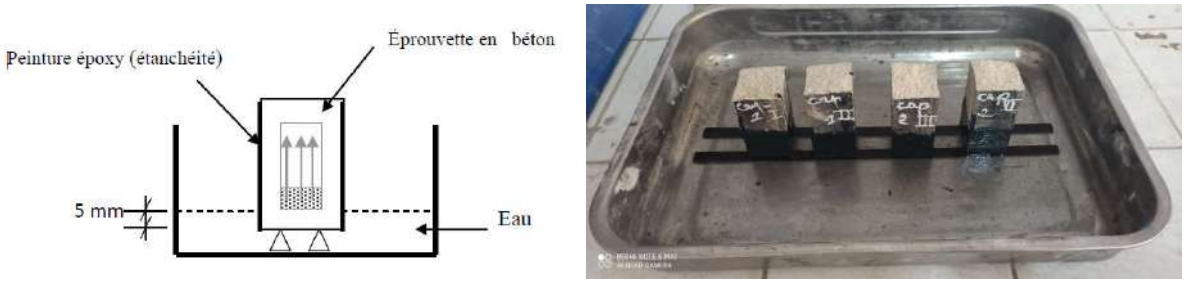


Fig. 2.12 Absorption d'eau par succion capillaire

2.9 Variables étudiées

Les variables étudiés dans la partie expérimentale, sont récapitulés dans l'organigramme suivant (Fig. 2.13):

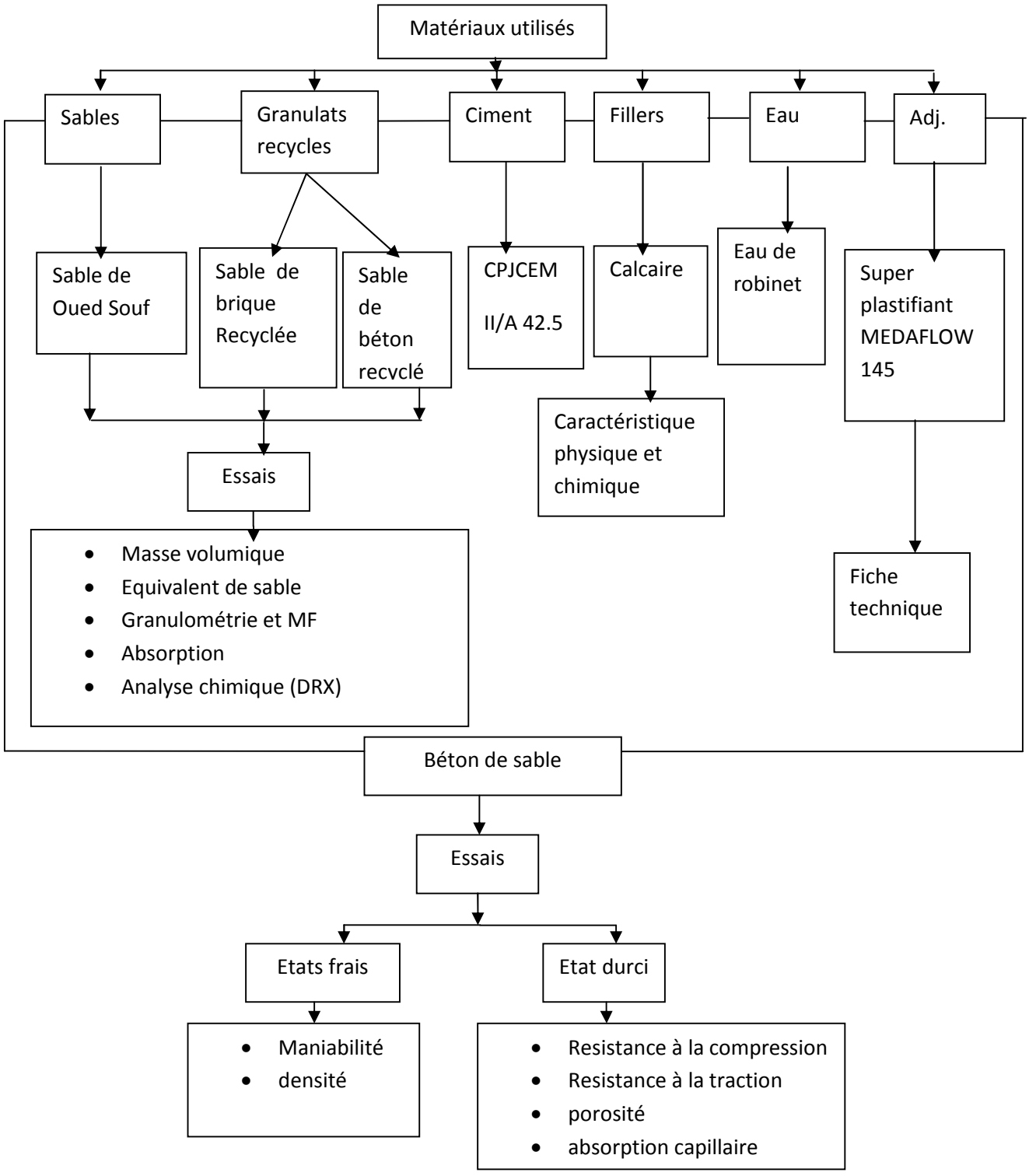


Figure 2.13 Variables étudiées

Chapitre 3:
Résultats Et Interprétations

3.1. Introduction

Les résultats des différents essais réalisés sur les bétons de sable à base des granulats recyclés à l'état frais et durci sont rassemblés ci-après et les valeurs données sont les moyennes arithmétiques des trois résultats d'essais.

3.2. Béton frais

3.2.1. La maniabilité

La maniabilité des bétons de sable réalisés, est basée souvent sur la mesure du temps d'écoulement à l'aide d'un maniabilimètre LCL type B (page 9). Les résultats trouvés sont résumés sur les figures (3.1) à (3.3).

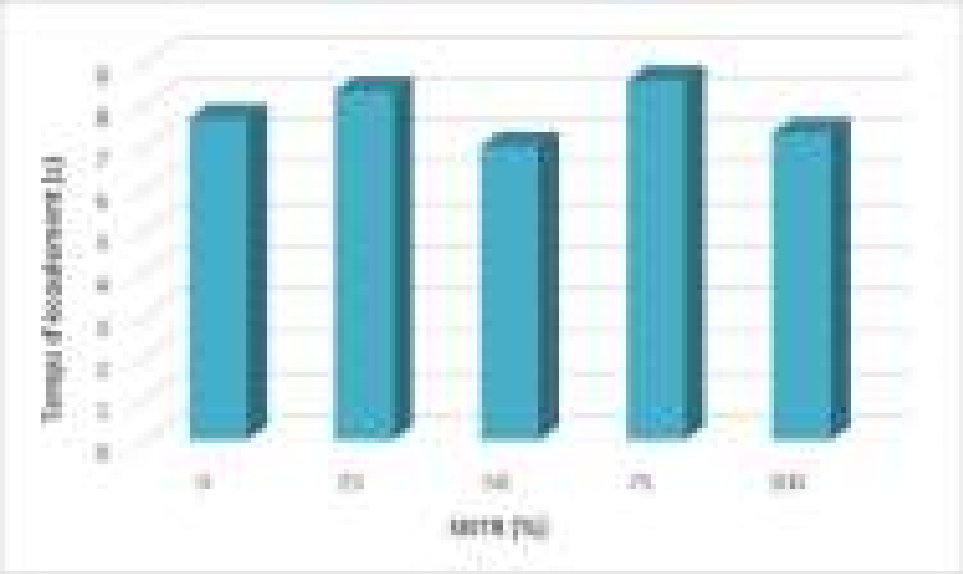


Fig. 3.1. Temps d'écoulement des BS à base de béton recyclé.

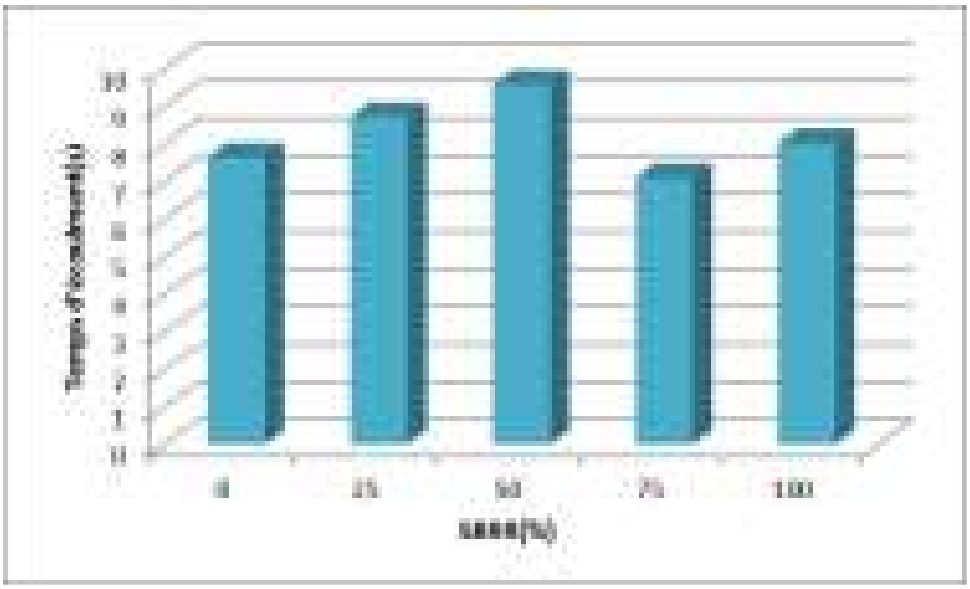


Fig. 3.2. Temps d'écoulement des BS à base de brique recyclé.

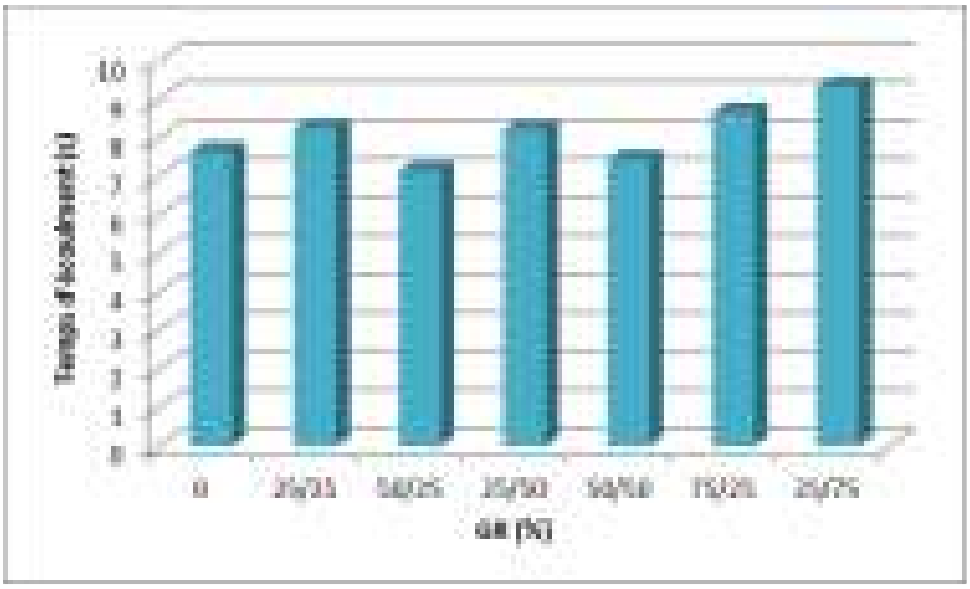


Fig. 3.3. Temps d'écoulement des BS à base d béton et brique recyclés.

D'après les figures ci-dessus et comme convenu, tous les types de bétons de sable ont une maniabilité constante (un temps d'écoulement entre 7(s) et10 (s) est visé) à l'aide de la variation de la quantité d'adjuvant adéquate pour obtenir ce résultat. Ce travail est important pour la suite pour pouvoir comparer les bétons a leur témoin pour une maniabilité constante.

3.2.2 La densité

La densité des différents bétons réalisés est résumée dans les figures (3,4) à (3,6) :

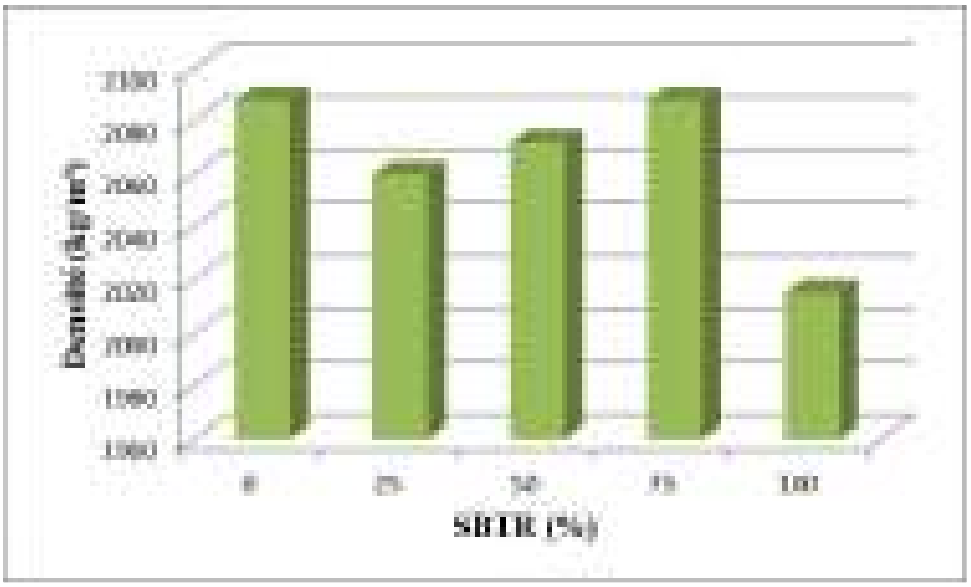


Fig.3.4. La densité des BS à base de béton recyclé.

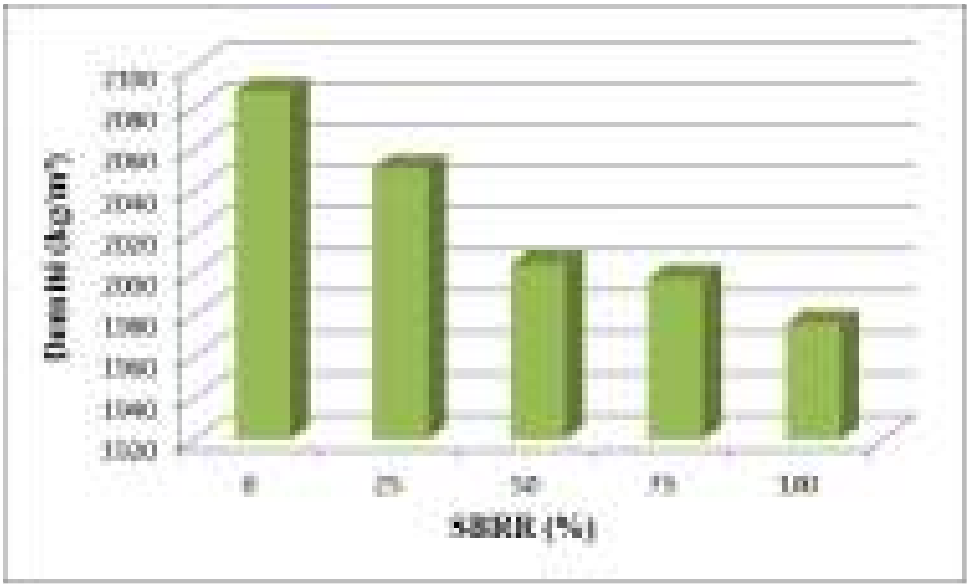


Fig.3.5. La densité des BS à base de brique recyclé.

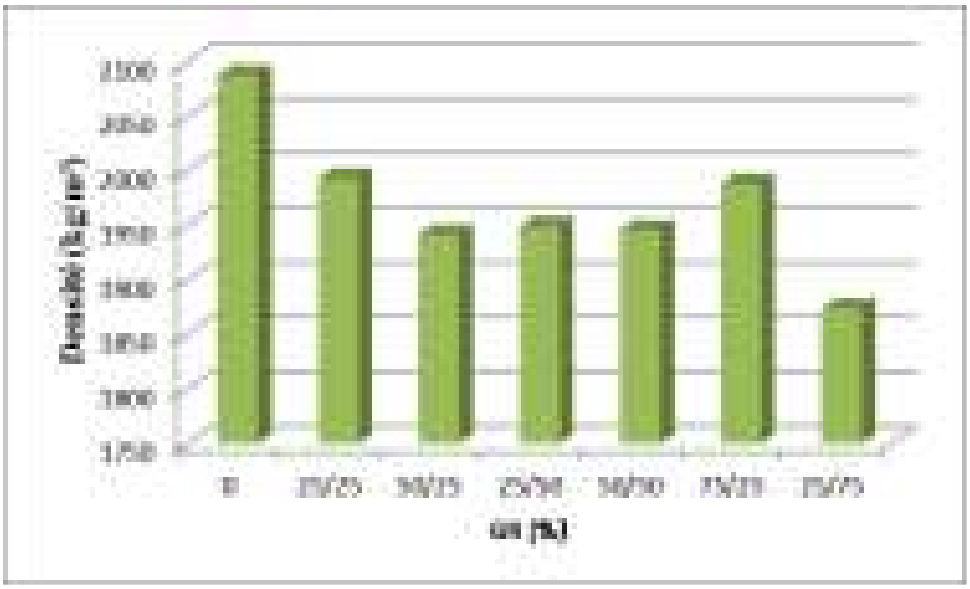


Fig.3.6. La densité des BS à base de béton et brique recyclés

Les figures précédentes 3.4 à 3.6 montre que densité du BS chute en fonction du pourcentage de substitution en SBTR, SBRR ou la combinaison des deux en même temps. Ce résultat est logique et attendu, car la densité des sables recyclés est plus faible que le sable naturel ; Ceci confirme les résultats d'autres chercheurs [45] qui ont trouvé aussi que la densité des bétons diminue d'une façon considérable en fonction du pourcentage de substitution du sable naturel par les sables recyclée (sable de béton ordinaire et sable de brique).

3.3 Béton durci

De la même façon que pour le béton frais, les résultats des différents essais réalisés sur les bétons de sable durcis sont la moyenne de trois (03) mesures prises sur des éprouvettes 4x4x16cm³. Les résultats trouvés sont présentés dans ce qui suit.

3.3.1 Résistances à la compression

Les essais de résistance en compression de béton de sable à base du granulat recyclé sont présentés dans ce qui suit.

3.3.1.1 Influence du dosage des GR sur résistance à la compression

Les figures ci-dessous présentent l'évolution des résistances à la compression des bétons à base des granulats recyclés par rapport au BT en fonction du taux de substitution en sable recyclé.

a-Béton recyclé :

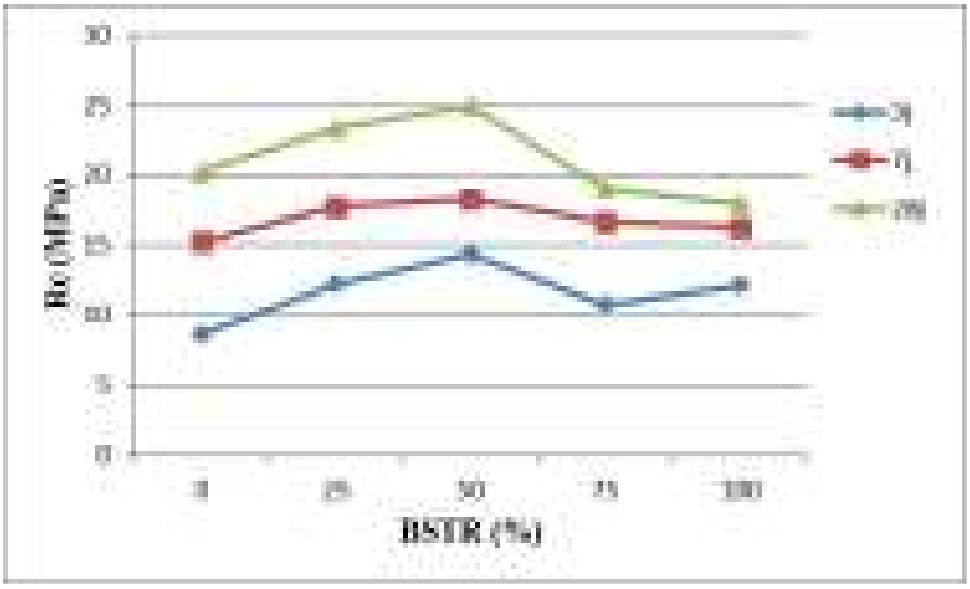


Fig.3.7. La résistance à la compression des BS à base de béton recyclé.

La figure 3.7 présente l'effet de béton recyclé sur la résistance à la compression de béton de sable aux différents âges : 3,7et 28 jours. D'après la figure 3.7, on remarque que Les éprouvettes dont le pourcentage de 50% de béton recyclé (BS4) donnent le meilleur résultat de la compression.

b-Brique recyclé :

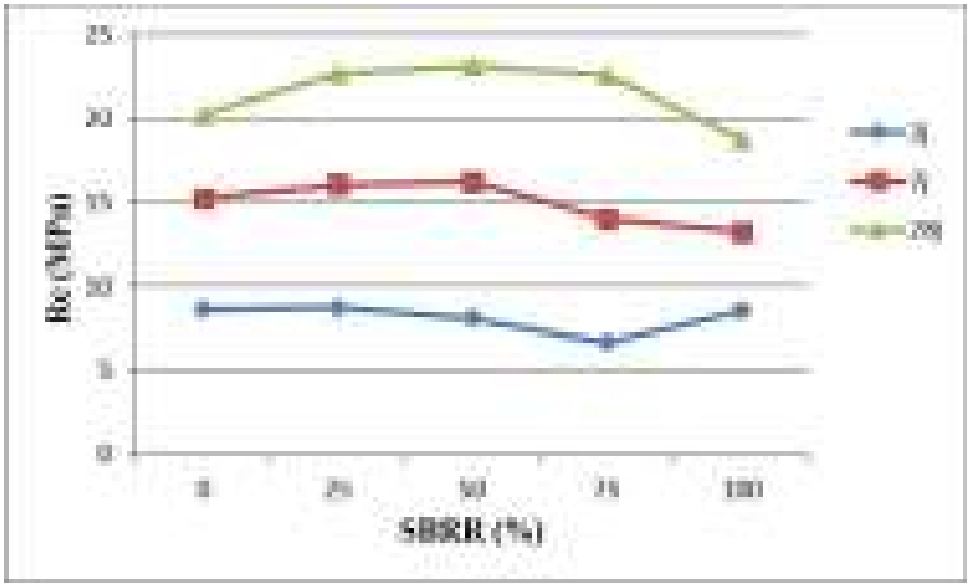


Fig.3.8. La résistance à la compression des BS à base de brique recyclé.

Les résultats obtenus montrent que la résistance à la compression des différents bétons de sable à base de brique recyclé augmente en fonction de l'âge et suit la même cinétique.
D'après la figure 3.8, on remarque que Les éprouvettes dont le pourcentage de 50% de brique recyclé (BS5) donnent le meilleur résultat de la compression.

c-Combinaison :

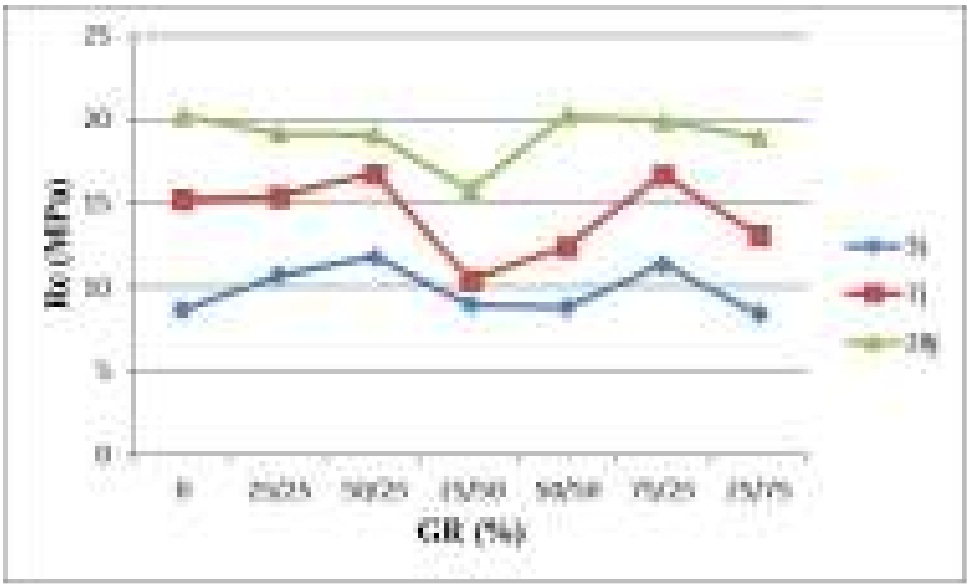


Fig. 3.9. Résistance à la compression des BS à base de béton et brique recyclés.

Les résultats obtenus montrent que la résistance à la compression des différents bétons de sable à base du granulat recyclé augmente en fonction de l'âge et suit la même cinétique. D'après la figure 3.9, on remarque que Les éprouvettes dont le pourcentage de 50% de brique recyclé et 50% de béton recyclé (BS10) donnent le meilleur résultat de la compression.

3.3.1.2 Variation de résistance à la compression en fonction du temps

Pour mieux saisir le sens de l'évolution relative de la résistance a la compression des différents bétons de sable avec l'âge et fonction du taux de substitution de granulat recyclé, et permettre la comparaison avec BT, nous représentons cette évolution sous forme d'histogramme.

a-Béton recyclé

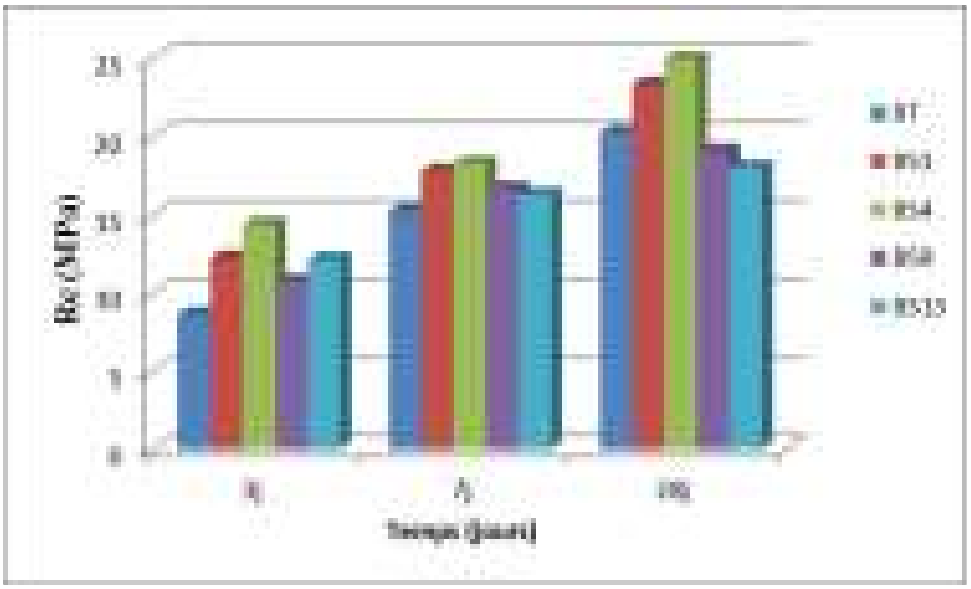


Fig. 3.10. Résistance à la compression des BS à base de béton recyclé en fonction de temps

D'après la figure 3.10, on remarque que les résistances de tous les types de béton augmentent régulièrement avec l'âge et ne présentent aucune chute. On constate aussi que les résistances initiales des différents bétons (à 3j) atteignent les 50% par rapport à celle du 28 jours.

b-Brique recyclé

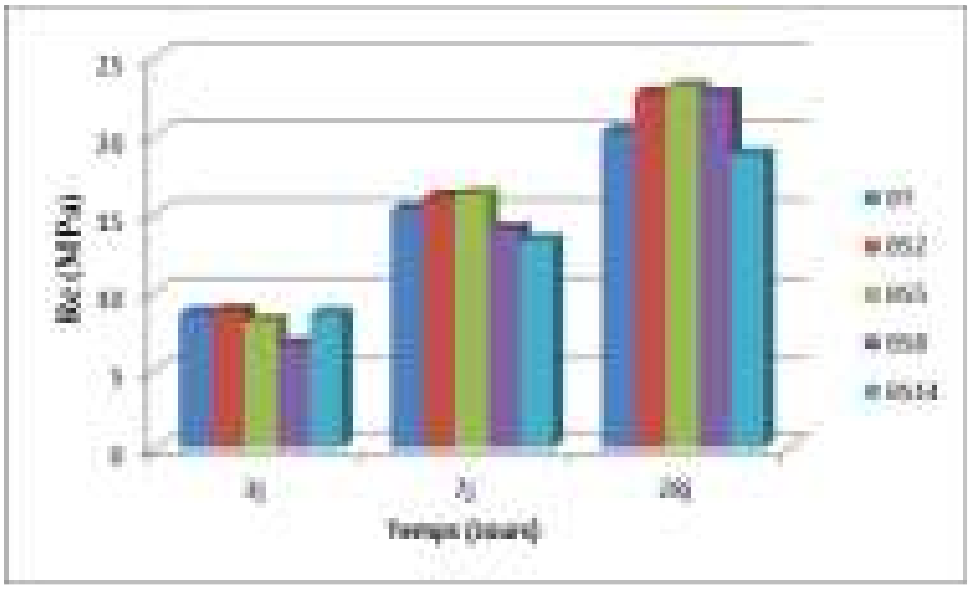


Fig. 3.11. La résistance à la compression des BS à base de brique recyclé en fonction de temps

La première remarque qui doit être soulignée à travers la figure (3,11) , qu'à jeune âge les résistance des bétons a base de brique recyclé diminuent avec l'augmentation du taux de substitution en brique recyclé . La figure montre aussi que les résistances de tous les type béton augmentent régulièrement avec l'âge et ne présentent aucune chute.

A l'âge de 28j on remarque que les résistances des bétons (BS2, BS5, BS8) dépassent celle de BT.

c-Combinaison

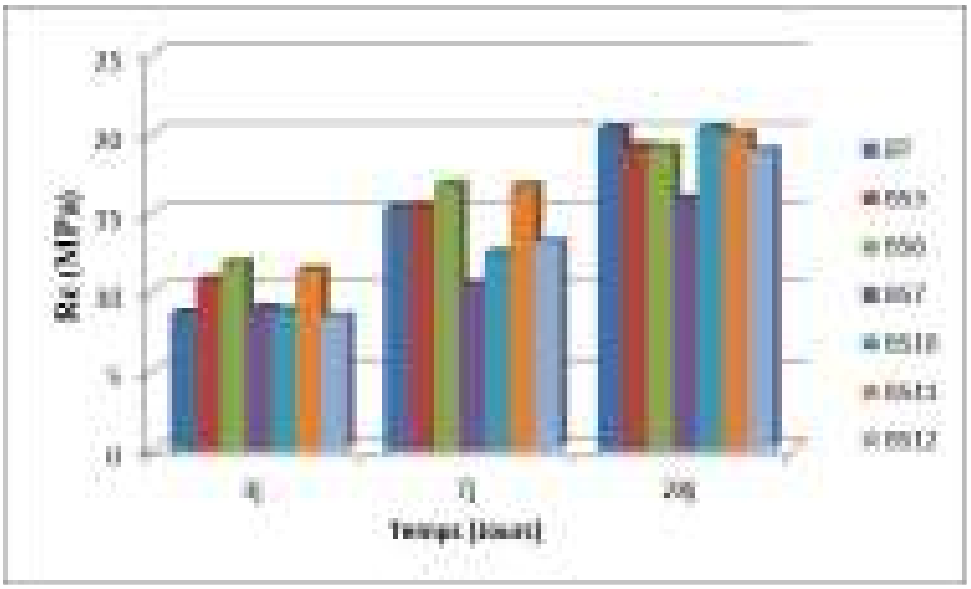


Fig. 3.12. La résistance à la compression des BS à base de granulat recyclé en fonction de temps

D'après la figure 3.10, on remarque que les résistances de tous les types de béton augmentent régulièrement avec l'âge et ne présentent aucune chute.

A l'âge de 28j , On constate aussi une diminution des résistances des bétons a base des granulats recyclés par rapport BT .

3.3.2 Résistances de traction par flexion

La mesure de la résistance à la traction est importante surtout pour identifier l'adhérence ciment /granulats.

3.3.2.1 Influence du dosage des GR sur résistance de traction par flexion

Les figures ci-dessous sont représent l'évolution des résistances de traction par flexion des bétons à base des granulats recyclés par rapport au BT en fonction du taux de substitution.

a-Béton recyclé

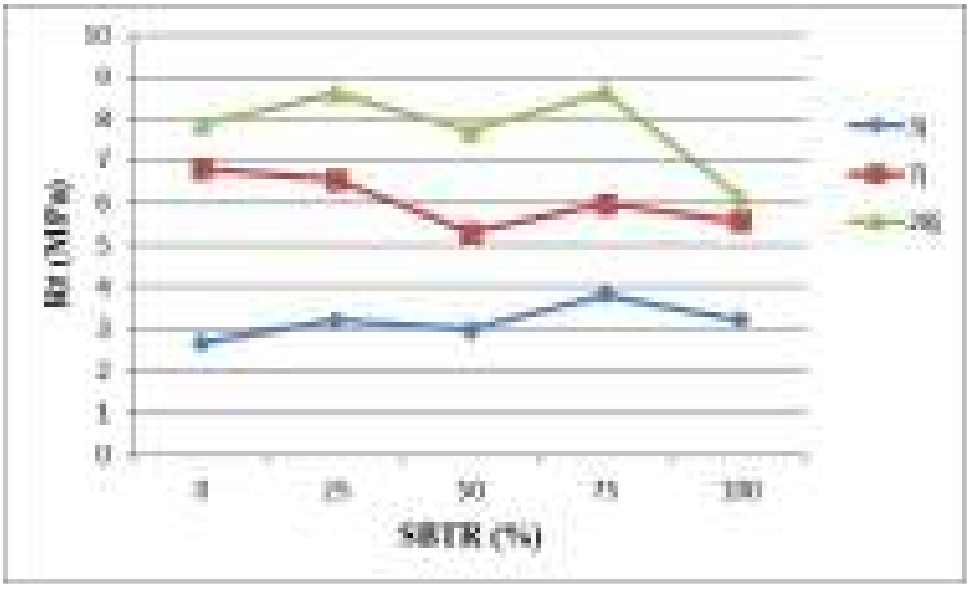


Fig. 3.13. La résistance de traction par flexion des BS à base de béton recyclé.

La figure 3.13 présentent l'effet de béton recyclé sur la résistance de traction par flexion de béton de sable aux différents âges : 3,7et 28 jours.

Les résultats obtenus des pourcentages de 75% de béton recyclé (BS9) ont donné des valeurs supérieures.

b-Brique recyclé :

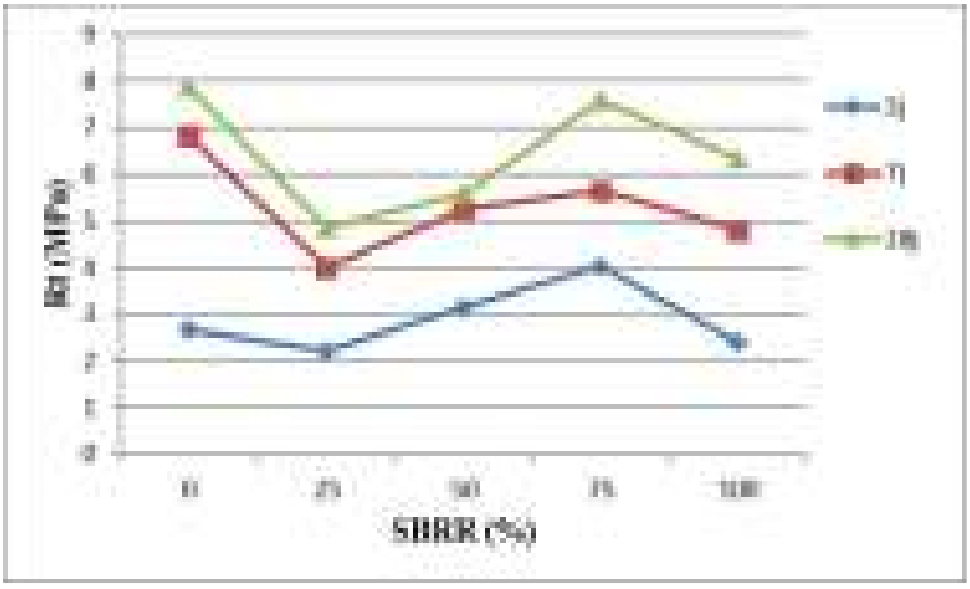


Fig. 3.14. La résistance de traction par flexion des BS à base de brique recyclé.

La figure 3.14 présentent l'effet de brique recyclé sur la résistance traction par flexion de béton de sable aux différents âges : 3,7et 28 jours. On remarque une diminution des résistances de traction par flexion des bétons à base de brique recyclé en fonction de l'augmentation du taux de substitution de brique recyclé.

c-Combinaison :

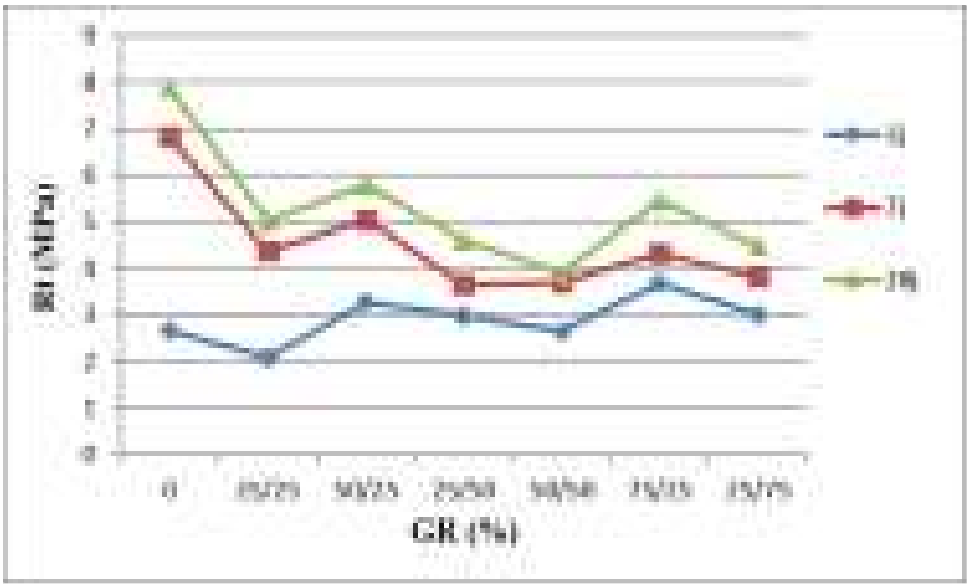


Fig. 3.15. La résistance de traction par flexion des BS à base de granulat recyclé.

La figure 3.15 présentent l'effet de granulat recyclé sur la résistance traction par flexion de béton de sable aux différents âges : 3,7et 28 jours. On remarque une diminution des résistances de traction par flexion des bétons à base de granulat recyclé en fonction de l'augmentation du taux de substitution de granulat recyclé.

3.3.2.2 Variation de résistance de traction par flexion en fonction du temps

La mesure de la résistance à la traction est importante surtout pour identifier l'adhérence ciment /granulats Les figures ci-dessous sont représentée l'évolution des résistances de traction par flexion des bétons à base des granulats recyclés par rapport au BT en fonction du temps (3,7et28 j).

a-Béton recyclé

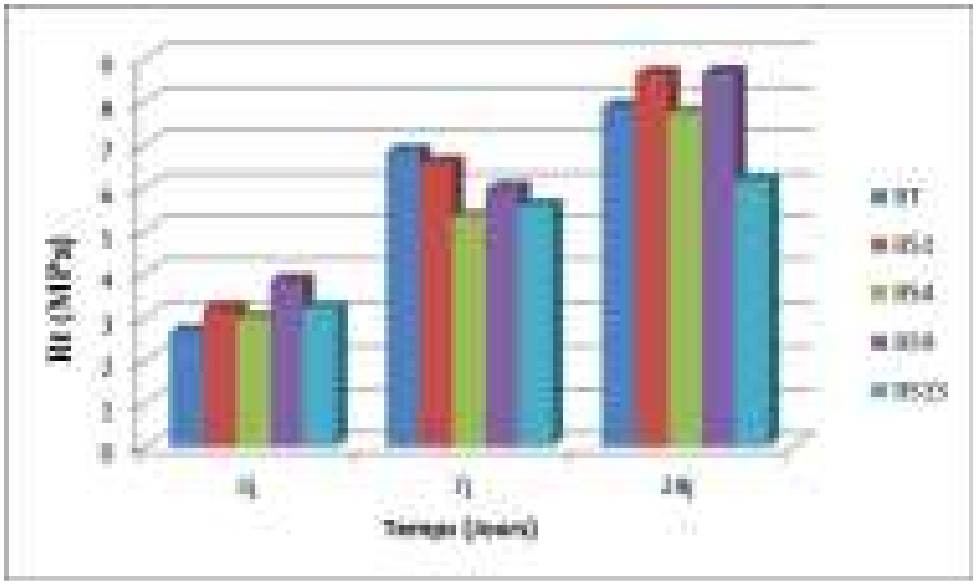


Fig. 3.16. La résistance de traction par flexion des BS à base de béton recyclé en fonction de temps

D'après la figure 3.16, on remarque que les résistances de traction par flexion augmentent en fonction de l'âge quel que soit le type de béton ceci est du développement de l'hydratation de ciment en fonction de temps. la meilleur résistance observée correspond au béton (BS1, BS9).

b-Brique recyclé

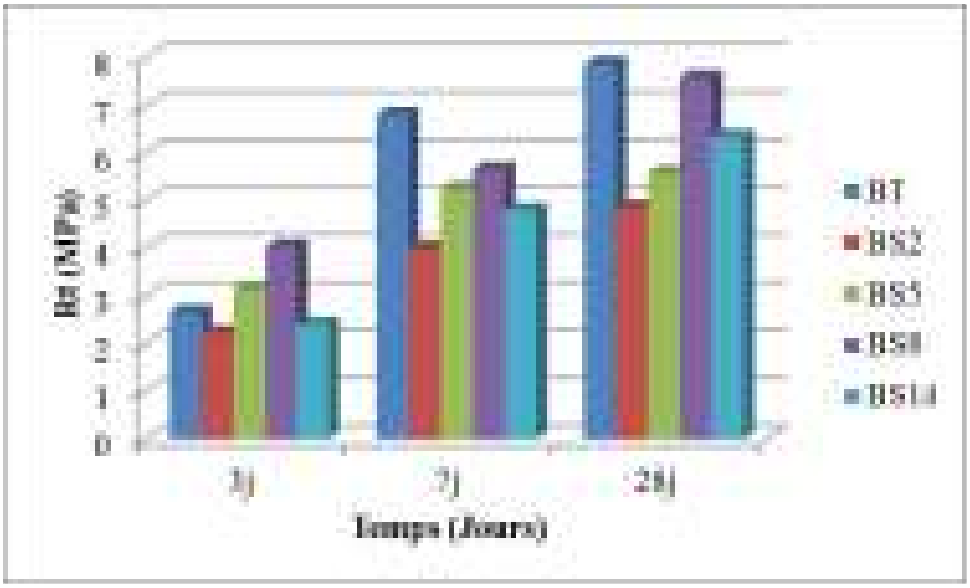


Fig. 3.17. La résistance de traction par flexion des BS à base de brique recyclé en fonction de temps

D'après la figure 3.17, on remarque que les résistances de tous les types de béton augmentent régulièrement avec l'âge. On constate aussi une diminution des résistances de traction par flexion des bétons à base de brique recyclé en fonction de l'augmentation du taux de substitution de brique recyclé.

c-Combinaison :

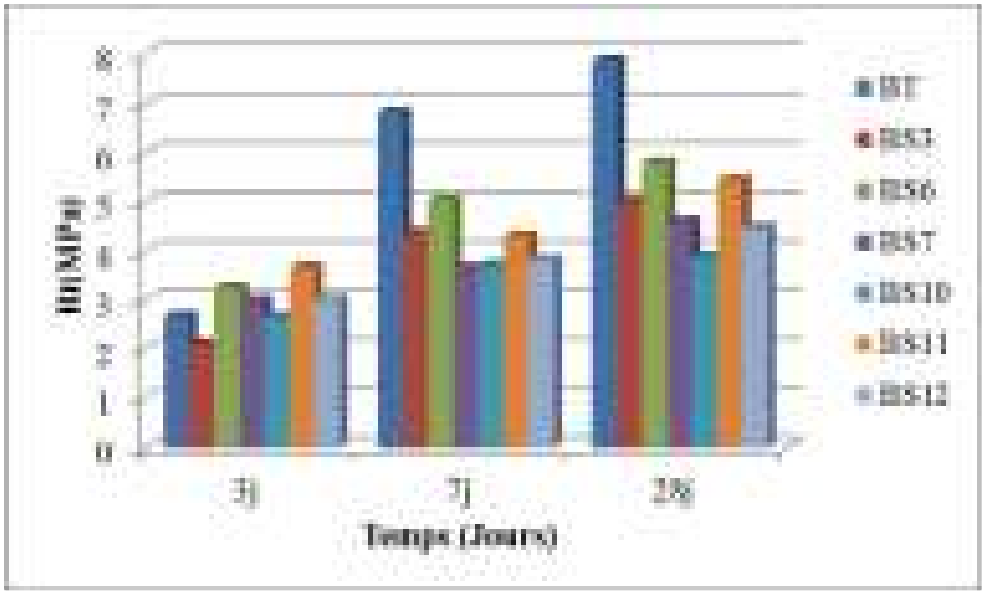


Fig. 3.18. La résistance de traction par flexion des BS à base de granulat recyclé en fonction de temps

D'après la figure 3.17, on remarque que les résistances de tous les types de béton augmentent régulièrement avec l'âge. Lorsque le poursontage des granulats recyclés augmente la résistance diminue.

A 28 jours, la plus grande valeur des résistances est observée pour le BT (7,87 MPA).

3.3.3 Porosité

La porosité des différents mélanges obtenus est résumée dans les figures 3,19 à 3,21**:**

a-Béton recyclé

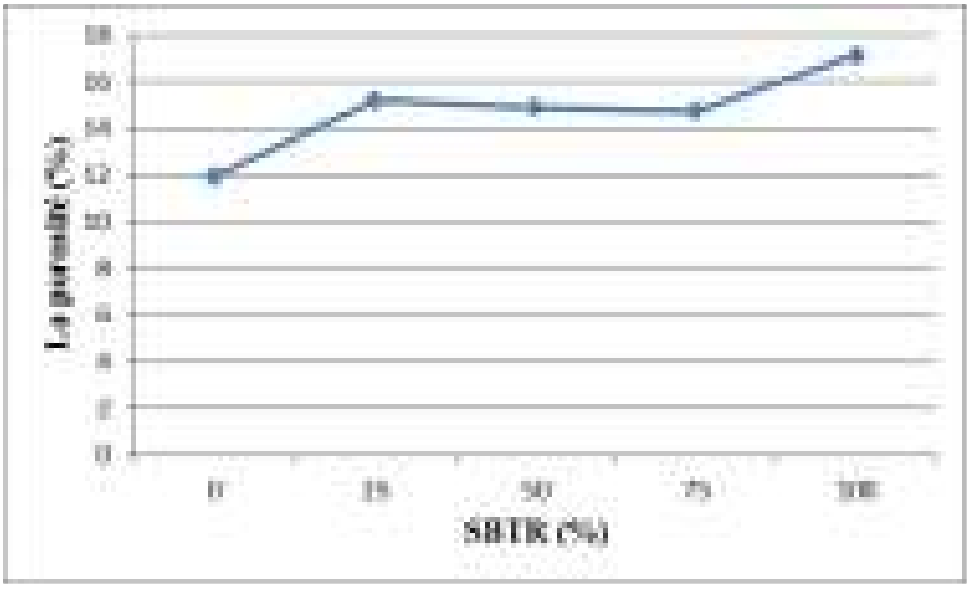


Fig.3.19. La porosité des BS à base de béton recyclé

D'après la figure ci-dessus on remarque que la porosité des bétons de sable à base de béton recyclé est plus élevée que celle du BT .Les résultats obtenus montrent aussi que la porosité est augmentée en fonction d'augmentation du pourcentage de béton recyclé.

Le graphe montre que :

La porosité s'évolue en amplifiant le pourcentage de béton recyclé

Pour un pourcentage de 100% de béton recyclé révèle 30,20% alors que 25% de béton recyclé donne 21,38% dont la différence est importante.

b-Brique recyclé

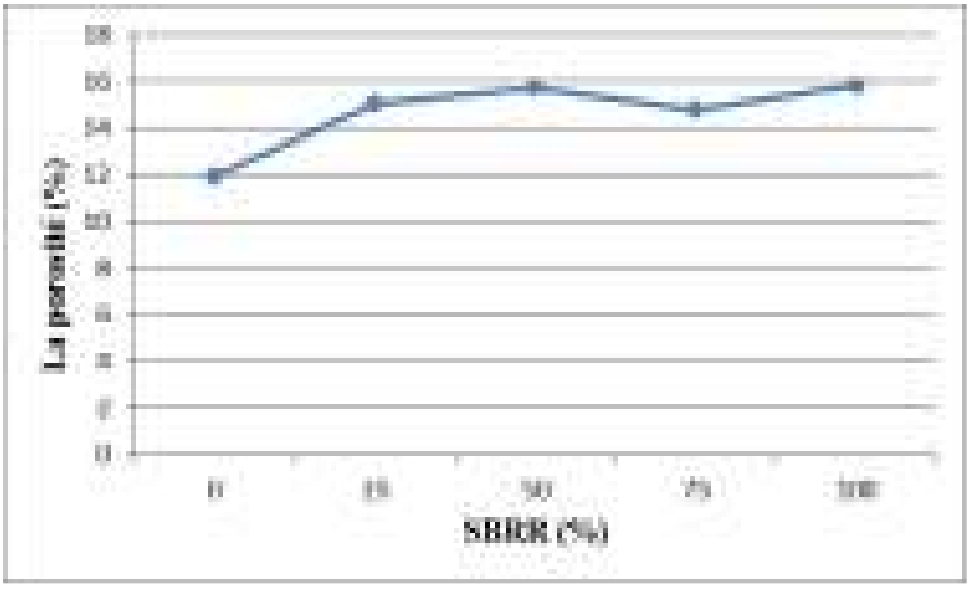


Fig. 3.20 La porosité des BS à base de brique recyclé

D'après la figure ci-dessus on remarque que la porosité des bétons de sable à base de brique recyclé est plus élevée que celle du BT .Les résultats obtenus montrent aussi que la porosité est augmentée en fonction d'augmentation du pourcentage de brique recyclé.

Le graphe montre que :

Pour un pourcentage de 100% de brique recyclé révèle 24,41% alors que 25% de brique recyclé donne 20,70% dont la différence est importante.

c-Combinaison :

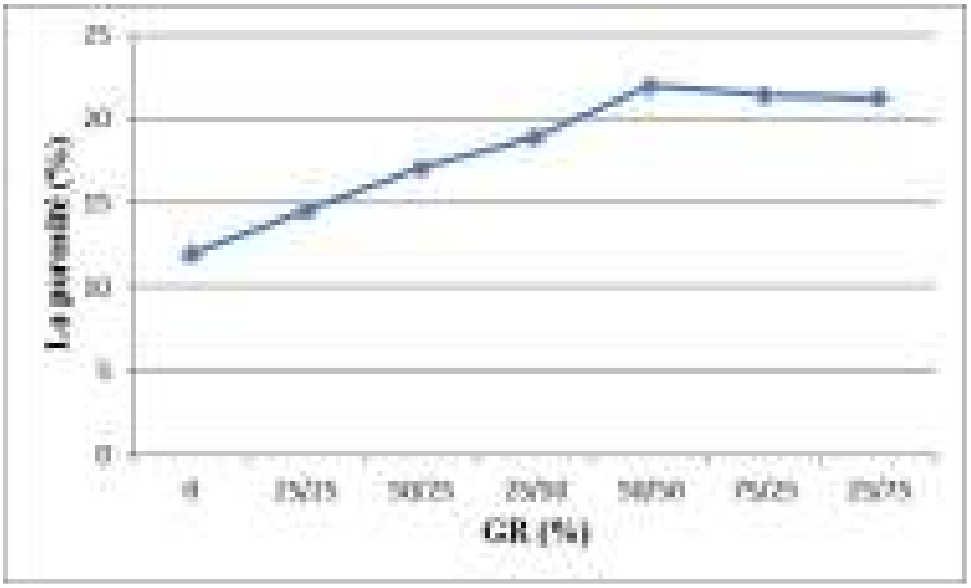


Fig. 3.21 La porosité des BS à base de granulat recyclé

D'après la figure ci-dessus on remarque que la porosité des bétons de sable à base de granulat recyclé est plus élevée que celle du BT .Les résultats obtenus montrent aussi que la porosité est augmentée en fonction d'augmentation du pourcentage de granulat recyclé.

Le graphe montre que : La porosité s'évolue en amplifiant le pourcentage de béton recyclé

La plus grande valeur de porosité est observée pour le BS10.

3.3.4 Influence de la porosité sur la résistance à la compression

L'influence de la porosité sur la résistance à la compression des différents bétons de sable sont illustrés sur les figures suivantes 3.22 à 3.24.

a-Béton recyclé

A travers les résultats de la figure 3.22 suivantes, on constate qu'en comparaison avec le béton témoin BS1 et BS4 présentent un gain en RC par rapport au deux autres béton de sable de la même catégorie. Un pourcentage de substitution de 25 % en SBRT semble avoir moins d'effet négatif sur le BS à base de SBRT et par conséquent il est recommandé pour les utilisateurs.

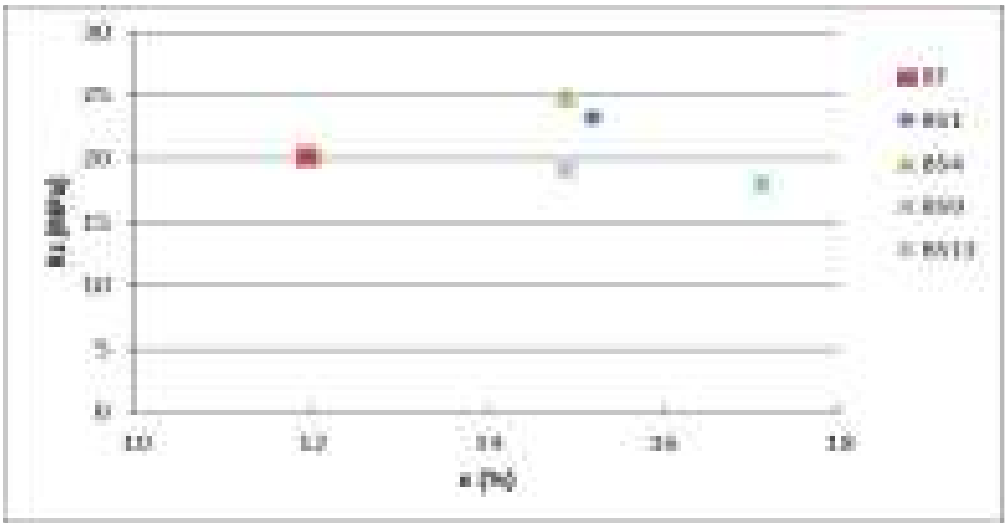


Fig. 3.22. La résistance à la compression des BS à base de béton recyclé en fonction de la porosité

b-Brique recyclé

pour le cas du BS a base de SBRR, les résultats de la figures 3.23 suivante ne montrent pas de grand effet négatif de l'effet du SBRR sur Rc du BS à part pour le cas de substitution avec 100% en SBRR. Une utilisation de 50 % de SBRR en BS semble être tolérable et acceptable.

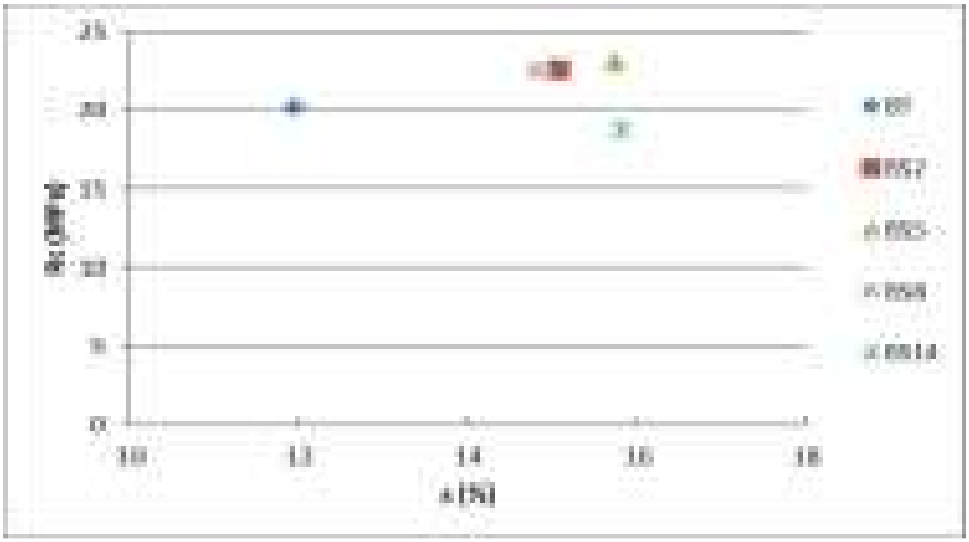


Fig. 3.23 La résistance à la compression des BS à base de brique recyclé en fonction de la porosité

c-Combinaison

Dans le cas de la substitution du SN par la combinaison de SBRT et SBRR en même temps, la meilleure combinaison possible pour ne pas perdre en RC du BS est celle de BS10 et BS11 selon les résultats illustrés sur la figure 3.24 ci-après. Les deux combinaisons de SBRT et SBRR de 50/50 ou 75/25 n'influent pas négativement sur RC du BS et par conséquent elles sont recommandables pour les utilisateurs.

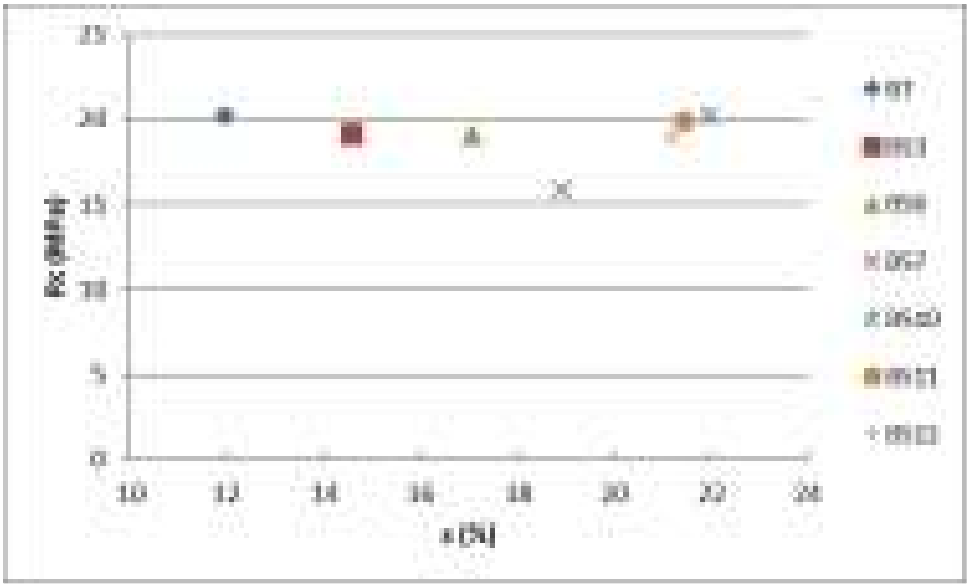


Fig. 3.24 La résistance à la compression des BS à base de granulat recyclé en fonction de la Porosité

3.3.5 Absorption capillaire

Les résultats d'absorption d'eau par capillarité des différents bétons de sable réalisés sont illustrés dans les figures 3 .25 – 3.27 suivantes :

a-Béton recyclé

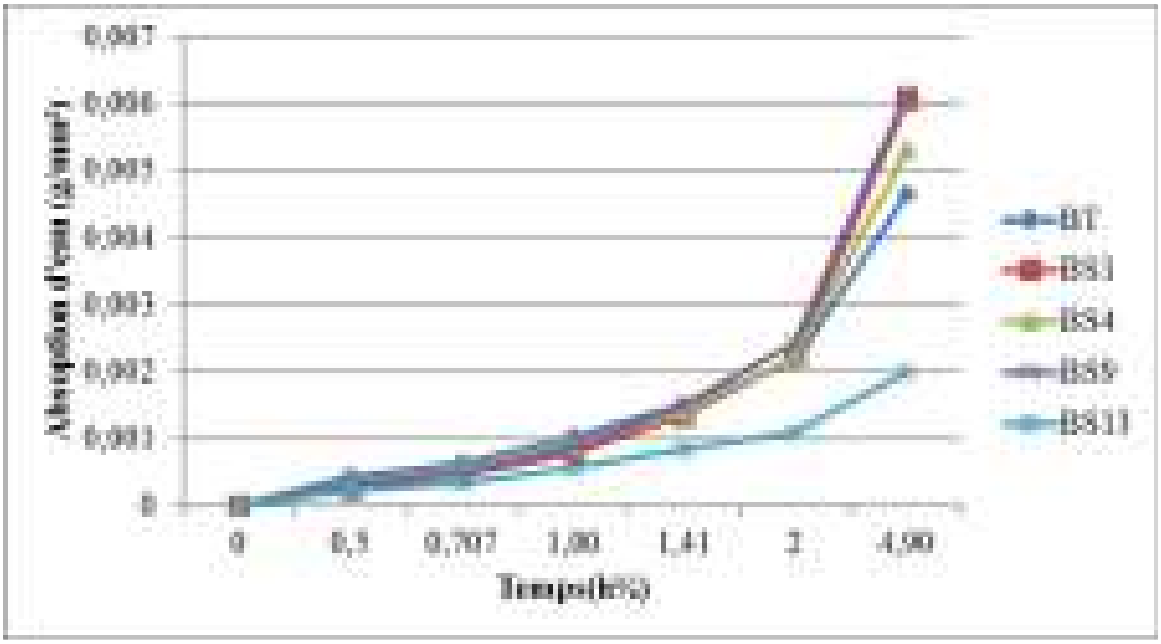


Fig. 3.25 Absorption d'eau des BS à base de béton recyclé

D'après la figure 3.25, on remarque une augmentation de l'absorbation des bétons à base de béton recyclé (BS1,BS4,BS9) par rapport au béton témoin soft que (BS13) qui diminue par rapport BT. Cette augmentation est due a l'augmentation de la porosité des bétons.

b-Brique recyclé

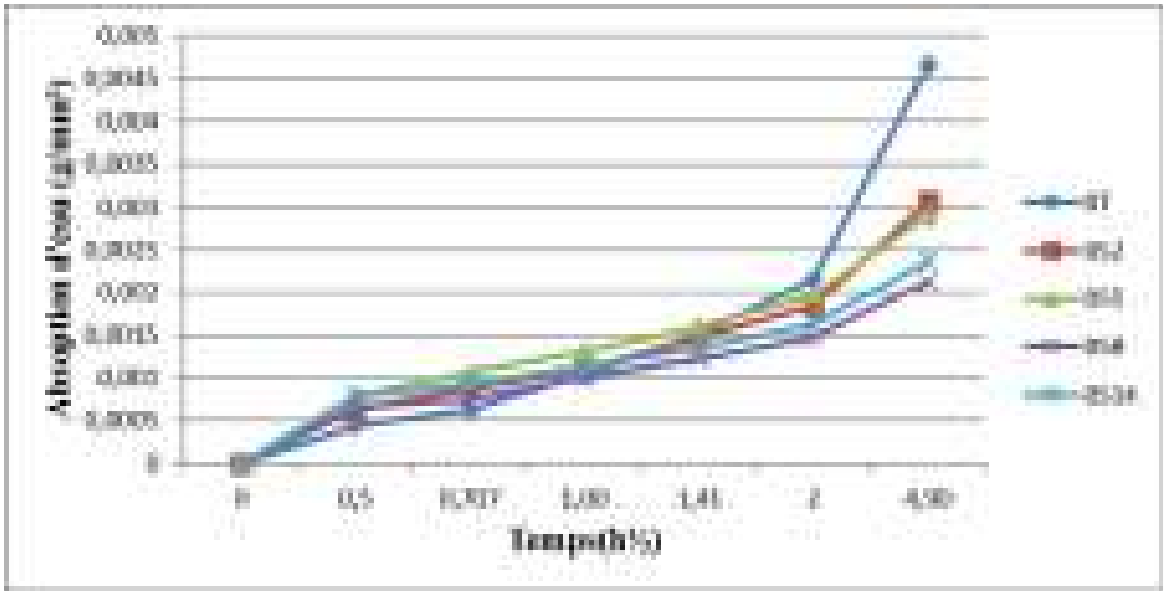


Fig. 3.26 Absorption d'eau des BS à base de brique recyclé.

D'après la figure 3.26 montre que le béton à base de brique recyclé absorbe moins d'eau par rapport au béton témoin .Ceci peut être justifié par une bonne compacité des bétons à base de ce type de brique plus le faible taux d'absorption des grains de brique recyclé.

c-Combinaison

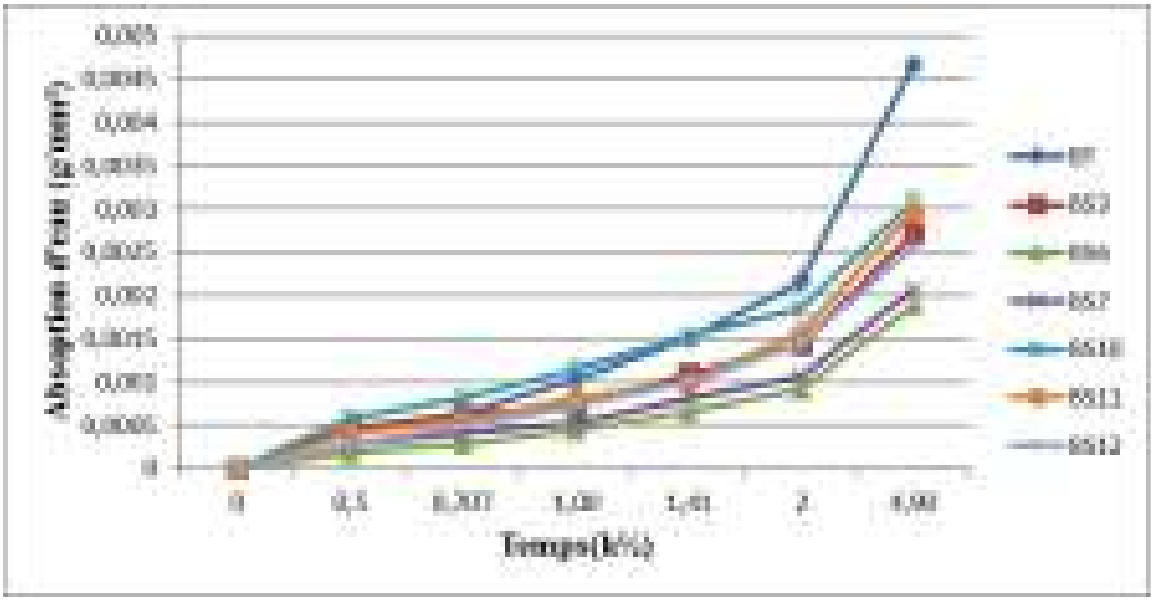


Fig. 3.27 Absorption d'eau des BS à base de granulat recyclé.

De cette figure 3.27 montre que le béton à base de granulat recyclé absorbe moins d'eau par rapport au béton témoin .Ceci peut être justifié par une bonne compacité des bétons à base de ce type de granulat plus le faible taux d'absorption des grains de granulat recyclé.

3.4 Conclusion :

Dans le cadre de cette partie d'étude, l'analyse des résultats expérimentaux peut mener aux quelques conclusions suivantes :

- Les granulats recyclés (béton ordinaire, brique) diminuent la densité du béton de sable.
- Les résultats obtenus des pourcentages de 75% de SBRR ont donné des valeurs supérieures de la résistance de traction par flexion, et 75 % concernant le SBTR.
- Les résultats obtenus des pourcentages de 50% de brique recyclé ont donné des valeurs supérieures de la résistance à la compression, et 50 % concernant le béton recyclé.
- Les bétons de sables à base de béton recyclé sont absorbants plus que les bétons de sables à base de brique recyclé.

- La porosité du béton de sable augmentent quelque soit le type du granulat recyclé utilisé.

Conclusion Générale

Conclusions générales

Le présent travail a pour objectif l'étude de l'influence des granulats recyclés fins (sous forme de sable) sur le comportement du béton de sable. A cet effet l'étude est basée sur l'étude du comportement du béton de sable à maniabilité constante (un temps d'écoulement entre 7(s) et10 (s) est visé) avec le remplacement partiel du sable naturel par deux différents sables recyclés (sale recyclé de béton ordinaire et sable recyclé de brique). L'étude expérimentale a permis de confirmer un certain nombre de résultats de la bibliographie et de tirer les conclusions suivantes :

- l'utilisation de l'adjuvant a permet d'avoir l'ouvrabilité ciblée du BS avec l'utilisation des deux types de sable recyclés ;
- Les sables recyclés (SBTR et SBRR) contribuent à la chute de la densité du béton de sable ;
- En comparaison avec le sable naturel, malgré l'absorption élevé des sable recyclés utilisé, le BS à base de ses sable recyclés présente une résistance mécanique (Rc et Rt) acceptable pourvu ne pas dépasser la substitution du SN par 50% en SBTR et 75 % en SBRR ;
- La combinaison des deux sables recyclés (SBTR et SBRR) à un effet négatif sur résistance mécanique du BS ;
- Le BS à base de SBTR est en moyenne plus absorbants que le BS à base de SBRR ;
- La porosité du BS à base de SR augmente quel que soit le type du SR utilisé.

Finalement, Sur la base des résultats obtenus, on peut conclure que l'utilisation du SBTR et SBRR avec le SN dans le BS constitue une alternatif économique, environnementale et technologique très importante pour le domaine de la construction et pour le pays.

Références Bibliographiques

Référence bibliographique

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

[2] GUENDOUZ M, «Contrubition à la formulation et à la caractérisation d'un éco-matériau de construction à base de déchets plastiques : application au béton de sable», Thèse de doctorat, Université de Médéa, Algérie, Mai 2017.

[3] Projet National de Recherche- Développement, SABLOGRETE, Béton de sable caractéristique et pratique d'utilisation, 1994

[4] Bachabi Abdoul Fatahi Worou, « ETUDE DE LA POSSIBILITE D'UTILISATION DU BETON DE SABLE COMME REVETEMENT DE CHAUSSEES», PFE Master en Génie Civil, Algérie, JUIN 2009.

[5] Gadri Karima, « Etude expérimentale sur la compatibilité déformation elle Des Réparation En Béton de sable », Thèse de doctorat, Université de Biskra, Algérie, 2018.

[6] SABLOCRETE - Béton de sable, Presse de l'école nationale des ponts et chaussées, Paris, 1994, France.

[7] CNERIB, Centre National d'Etudes et Recherches Intégrées du Bâtiment, " Bétons de Sable ", Rapport de recherches. Tipaza, Algérie, Décembre 1992

[8] BEDERINA.M, « Caractérisation mécanique et microstructure des bétons de sable », mémoire de magistère, université de Laghouat 1998.

[9] Sandrine Catinard, « Durabilité à long terme de matériaux cimentaires, avec ou sans fillers calcaire en contact avec des solutions salines ».Thèse Ph.D, Université LAVAL (Québec) CANADA, 2000.

[10] Yanéric Roussel, « Béton autoplaçant avec fibres comme matériau de réparation du béton » Mémoire de maîtrise ès science appliquées, Université Sherbrooke, Québec, CANADA ,2000.

[11] Achoura. D, « contribution à l'étude de la formulation et de la caractérisation des bétons de sable à base de laitiers de hauts fourneaux d'El-Hadjar», thèse de doctorat, Université Badji-Mokhtar, Annaba, Algérie, 2005.

[12] Melais F, durabilite des betons de sable fibres dans les differents milieux agressifs « effets de la nature des fines d'ajouts et fibres » , thèse de doctorat, université badji-mokhtar, annaba, algérie, 2016.

[13] Mélanie SHINK, « Fissuration des matériaux cimentaires renforcés de microfibres d'aciers », Mémoire de maîtrise ès sciences appliquées, Université LAVAL CANADA ,2000

[14] Benaissa A., "Déformations différées d'un béton de sable" - Thèse de doctorat, Université de bordeaux, France, 1992

[15] BENAISSA A., MORLIER, P. ., VIGUIER, C. ., CAUVIN J.J., "Cinétique de dessiccation et retrait du béton de sable", Annales de l'institut technique du bâtiment et de travaux publics (ITBTP), N°504, juin 1992.

[16] Ben Amara 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, 2002.

[17] Chauvin J, Grimaldi G, « Les bétons de sable », Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées (LCPC), N°157, Sept. 1988.

[18] Jean-Claude Souche. Etude du retrait plastique des bétons à base de granulats recyclés avec mesure de l'influence de leur degré de saturation. Mécanique des matériaux [physics.class-ph]. Université Montpellier, 2015. Français. NNT : 2015MONTS097.

[19] BOURMATTE NADJOUA «granulats recyclés de substitution pour bétons hydrauliques » chapitre 1 page 18 Université des frères Mentouri Constantine 2017.

[20] DEBIEB Farid, « Performances et durabilité du béton à base de granulats recyclés contaminés par les chlorures et les sulfates», Thèse de doctorat, université des sciences et de la technologie houari Boumediene, Algérie, 2007

[21] Kan A., and Demirboga R. A., Novel material for lightweight concrete production, Cem. Concr. Compos,31 (2009) 489–95

[22] Les litrons de vin français dits « à étoile », normalisés, étaient acceptés indifféremment par n'importe quel fournisseur.« Litre 6 étoiles », sur www.abcduvin.com (consulté le 19 mars 2019).

[23] BOURMATTE NADJOUA, «granulats recyclés de substitution pour bétons hydrauliques » ,Université des frères Mentouri ,Constantine, Algérie, 2017.

[24] BOUALI Khaled « Comportement des bétons a base de granulats recyclés » thèse de magister université Mentouri Constantine.

[25] HABETA F, « L'utilisation de la brique recyclée et de la céramique dans la formulation des mortiers», PFE, Université Mohamed Bou DIAF M'SILA, Algérie, 2019.

[26] BOUALI Khaled [Valorisation des déchets en Algérie]: Elaboration et caractérisation thermomécanique des mortiers à base d'ajouts de déchets de briques réfractaires (Mémoire de Magister-UMBB-2014).

[27] Dr. AMRI BRAHIM « LA PROLIFERATION DES DECHETS SOLIDES MUNICIPAUX »chapitre 1 page 26 thèse de magister en architecture Université El hadj lakhdar Batna.

[28] Naik T.R., Singh S.S., Huber C.O., Brodersen B.S., Use of post-consumer plastic wastes in cement-based composites, Cem. Concr. Res., 26 (1996) 1489–92.

[29] Yang S., Yue X., Liu X., Tong Y., Properties of self-compacting lightweight concrete containing recycled plastic particles, Const. Build. Mater., 84 (2015) 444–453.

[30] Desmyter J, et al 'The use of recycled concrete and masonry aggregates in concrete: improving the quality and purity of the aggregates', in 'Recycled Concrete and Masonry Aggregates', Proceeding of the International Seminar,Dundee, Scotland, UK, 1999, pp. 139-149.

[31] « Contrat d'Etude Prospective Ile-de-France sur les besoins en emplois et compétences liés aux travaux du Grand Paris et aux enjeux de la transition écologique dans le recyclage » [PDF], sur gouv.fr

[32] https://article.coachreferencement.fr/avantages-inconvenients-recyclage-professionnels.

[33] « Granulats recycles de substitution pour béton hydrauliques béton de démolition - déchets de briques -déchets de verre » chapitre 1 page 23 thèse de doctorat en sciences Université des frères Mentouri, constantine, 2017.

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

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

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

[37] NF EN 933-8, 1999, « Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats. Partie 8: Evaluation des fines. Equivalent de sable », AFNOR.

[38] NA 442, Normes Algérienne : "Ciment - Composition, spécifications et critères de conformité des ciments courants", 1994, 2000

[39] Bella Ilham Aguida, et al, « Influence des ajouts de type addition calcaire sur les caractéristiques mécaniques du béton de sable » , N° : 1O-038, *Université Djillali Liabes, Sidi Bel-Abbès, Algérie,* Novembre 2011

[40] NF P 18- 452, Normes AFNOR : « Béton- mesure du temps d'écoulement des bétons et des mortiers aux maniabilimètre », Mai 1988.

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

[42]CEN EN 196-1, Normes AFNOR : « Méthodes d'essais des ciments – Partie 1 : détermination des résistances mécaniques (indice de classement P15- 471) », Aout 1995.

[43] Norme Francaise, NF P 18-412 « Béton : Caractéristiques communes des machines hydrauliques pour essais de compression, flexion et traction des matériaux durs», Norme enregistrée, Déc. 1981.

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

[45] Debieb f, et al « Caractérisation de la durabilité des bétons recyclés à base de gros et fins granulats de briques et de béton concassés », Article *in* Materials and Structures, Algeria, May 2011.

Recommandations

Les observations et les analyses que nous avons effectuées dans le cadre de cette recherche pourraient mener à des développements futurs dans le domaine du recyclage des granulats recycles .pour cela on recommande les étudiants d'approfondir dans ces recherches et surtout d'étudier :

- L'effet des granulats recyclés employés dans cette étude sur la durabilité du béton de sable ;
- L'effet d'autre type de granulats recyclés le comportement du béton de sable ;
- L'influence des gros et fin granulats recyclés sur d'autre type de béton ;
- La rhéologie du béton de sable avec ces types de granulats recyclé ;
- Etude technicoéconomique de bloc de béton de sable à base de sable recyclé.

Annexe

ANNEXE



Fige.A.1 . Essai de l'équivalant de sable





Fig.A.2. Dispositif de l'essai de traction par flexion et compression.



Fig. A.3. Essai de la porosité accessible à l'eau



Fig. A.4. Essai de l'absorption capillaire



Fig.A.5. Balance



Fig.A.6. Appareille de los Anjilos



Fig.A.7. Eprouvette du béton de sable à base de brique recyclé.



Fig.A.8. Essai au maniabilimètre LCPC



Fig.A.9. L’étuve.

MEDAFLOW 145

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

Super plastifiant – Haut réducteur d'eau

DESCRIPTION

Le **MEDAFLOW 145** est un super plastifiant haut réducteur d'eau de la nouvelle génération d'adjuvants. Il est conçu à base de poly carboxylates d'éther modifiés et son utilisation dans le béton permet l'obtention d'un long maintien d'ouvrabilité.
Le **MEDAFLOW 145** permet d'obtenir des bétons et mortiers de très haute qualité.
En plus de sa fonction principale de superplastifiant, il permet de diminuer la quantité d'eau de gâchage du béton d'une façon remarquable.
Le **MEDAFLOW 145** ne présente pas d'effet retardateur.

CARACTERISTIQUES

- Forme .....Liquide
- Couleur .....brai clair
- pH .....5 – 6
- Densité..... 1.065 ± 0,015
- Teneur en chlore..... < 1g/L
- Extrait sec.....30±1.5%

PROPRIETES ET EFFETS

Grâce à ses propriétés le **MEDAFLOW 145** permet :
Sur béton frais :

- l'obtention d'un E/C très bas
- Béton plastiques à fluides
- une très bonne maniabilité
- un long maintien de l'ouvrabilité
- de faciliter la mise en œuvre du béton

Sur béton durci :

- bonne résistances initiale et finales .
- de diminuer la porosité
- bel aspect de parement au décoffrage
- de diminuer le retrait

DOMAINES D'APPLICATION

- Bétons à hautes performances
- Bétons auto - nivelant
- Bétons pompés
- Bétons précontraints
- Bétons avec ferraillage dense

DOSAGE

Plage de dosage recommandée :
0,3 à 2,0 % du poids de ciment soit 0.33 à 1.8 litre pour 100 Kg de ciment.
Le dosage optimal doit être déterminé sur chantier en fonction du type de béton et des effets recherchés.

MODE D'EMPLOI

Le **MEDAFLOW 145** est introduit dans l'eau de gâchage.
Il est recommandé d'ajouter l'adjuvant dans le béton après que 60% de l'eau de gâchage ait déjà été introduite.
Il est recommandé de réaliser des essais dans les conditions de chantier afin de déterminer le dosage fournissant les résultats recherchés.
Par temps chaud, le **MEDAFLOW 145** peut être combiné à un retardataire de prise **MEDARETARD GR** .

CONDITIONNEMENT ET STOCKAGE

Le **MEDAFLOW 145** est conditionné en bidons de 10 l et fûts de 210 et 240 kg.et cubitainer 1100 kg
Délai de conservation :
12 mois dans son emballage d'origine, à l'abri du gel et de la chaleur (5°C < t < 35°C).

Précaution d'emploi:
Manipulation non dangereuse.

Se référer à la Fiche de Données de Sécurité disponible sur notre site web : www.granitex.dz

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

Granitex
Zone industrielle Oued Smar – BP85 Oued Smar – 16270 Alger
Tél : (213) 021 51 66 81 & 82
Fax : (213) 021 51 64 22 & 021 51 65 23
www.granitex.dz - E-mail: granitex@granitex.dz