MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEURE
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITÉ YAHIA FARÈS DE MÉDÉA
FACULTÉ DE TECHNOLOGIE

Projet de fin d'étude
Pour l'obtention du diplome de Master en Génie Civil
Option: Matériaux en genie civil

THEME :

Formulation et caractérisation d'un béton fluide à base de granulats issus de déchets de construction

Etudié par:

Mlle Chablaoui karima

Mlle Rizani khadidja

Encadré par:

Mlle BOUKHELKHAL Djamila

Dr GUENDOUZ Mouhamed

Promotion Juin 2018


بسم الله الرحمن الرحيم

Remerciment

Au terme de ce travail, on remercie en premier lieu

Allah

qui a donné la force pour achever cette étude.

On remercie nos très chers parents pour leurs soutiens et leurs patiences.

On exprime notre profonde gratitude à notre promotrice: Melle Boukhelkhal Djemila et mensieu guendouz mouhamed Pour ses conseils et ses aides précieuses. Nos sincères remerciements s'adressent également à tous les enseignants du département de génie civil de l'université de Médéa.

Notre gratitude à tous les membres de jury qui font l'honneur deJuger notre travail.

DIDICACE

Je m'incline devant dieu tout puissant qui m'a ouvert
La Porte du savoir et m'a aidé à la franchir.
Je dédiece modeste travail:
A ma chère et tendre mère, source d'affectation de
courage et d'inspiration qui a autant
sacrifié pour me voir atteindre ce jour.
A mon père source de respect, en témoignage de ma
profonde reconnaissance pour Tout
l'effort et le soutien incessant qui m'a toujours apporté.
A mes frères : larbi ; elhadj ;taher ;samir ;nesrddine
A mes sœurs
Pour les petits enfants : fares ; Ritadj ;noor ;malak ;
ahmed ali ; taki ddine ; Rinad et Meriem
A toute la famille Chablaoui
A mes amies :Khadidja ;Hadda ; Fati ; Hadjer ;
Assia ; Rachida ; Nbila ;
Je remercie ma promotrice Melle Boukhelkhale Dj
pour son soutient ;
A tous ceux que je Porte dons mon cœur.

Imane

DIDICACE

Je m'incline devant dieu tout puissant qui m'a ouvert La Porte du savoir et m'a aidé à la franchir.

Je dédiece modeste travail:

A ma chère et tendre mère, source d'affectation de courage et d'inspiration qui a autant

sacrifié pour me voir atteindre ce jour.

A mon père source de respect, en témoignage de ma profonde

reconnaissance pour Tout

l'effort et le soutien incessant qui m'a toujours apporté.

Agrande mére et grand pére

A mes frères : Nourrdine ; Ibrahim;

A mes sœurs : Samira : Malika ;Nassima

Pour les petits enfants :Mohamed et Malek

A toute la famille Rizani , Rebouh,Agouni,Messoudani,Chahboub et Mimouni

A mes amies :Karima ; Fatiha ; Roumaissa ;Hadda ; Fatma ; Hadjer ;Atika ;Imane ; Nassima ;Nesrine ; Ghania ;Saida ;Houda ; khadidja ; Rym ; Soumia

Je remercie ma promotriceMelle Boukhelkhale Dj pour son soutient ;

A tous ceux que je Porte dons mon cœur.

khadidja.

Sommaire

Dédicaces

Remerciments

Résumés

Sommaire

Liste des tableaux

Liste des figures

Introduction générale……1

CHAPITRE 01: Synthese BIBLIOGRAPHIQUE

1.1Valorisation des déchets et activité de recyclage en construction.....*4*

1.1.1 Introduction.....4

1.1.2Déchets 4

1.1.2.1.Définition 4

1.1.2.2.Origine de la production de déchets 6

1.1.2.3.La Valorisation des déchets.....6

1.1.3. Activité de recyclage des déchets en construction.....7

1.1.3.1 Recyclage des déchets.....7

1.1.3.2. Type de recyclage 8

1.1.3.3. Impacts du recyclage sur l'environnement 9

1.2. La brique et déchet de brique.....9

1.2.1. Définition de brique 9

1.2.2. La brique et le respect de l'environnement 10

1.2.3. Déchets de brique.....11

1.2.3.1. Définition de déchet de brique 11

1.2.3.2. Recyclage de brique.....12

1.2.3.3. Les techniques d'utilisation de la brique recyclé.....12

1.2.4. Influence de déchet de brique sur le comportement des matériaux cimentaires 13

1.3. Le béton et Déchets de béton.....16

1.3.1. Définition de béton.....16

1.3.1.3. Utilisation de béton :.....17

1.3.2. Déchets de béton 18

1.3.2.1. Origine des déchets du béton :.....18

1.3.2.2. Recyclage de béton :.....19

1.3.3. Influence de déchet de béton sur le comportement des matériaux cimentaires :.....19

1.4. Le béton de sable 24

1.4.1. Introduction.....24

1.4.2. Historique 25

1.4.3. Définition du béton de sable 25

1.4.4. Les composants du béton de sable [44].....25

1.4.4.1. Sables 26

1.4.4.2. Fillers 26

1.4.4.3.Les ciments.....27

1.4.4.4. L'eau 27

1.4.4.5. Les adjuvants.....27

1.4.4.6.Autres ajouts.....27

1.4.4.6.1. Les fibres.....27

1.4.4.6.2. Les gravillons.....28

1.4.4.6.3. Les colorants 28

1.2.5 PROPRIETES DES BETONS DE SABLE.....28

1.2.5.1 Propriétés générales 28

1.2.5.1.1 Granulométrie et maniabilité 28

1.2.5.1.2 Granulométrie et résistance : 29

1.2.5.2 Propriétés spécifique 30

1.2.5.2.1 L'adhérence aux armatures.....30

1.2.5.2.2 Durabilité des bétons de sable.....31

1.2.5.2.3 Résistance au gel et au dégel 32

1.2.5.2.4 Retrait et Fluage 32

1.2.6 Formulations des bétons de sable.....33
1.2.6.1Approche théorique d'une formulation d'un béton de sable.....33
1.2.6.2. Méthode expérimentale de formulation.....35
1.3. Béton autoplaçant.....*38*
1.3.1 Définition.....38
1.3.2 Avantages de béton autoplaçant.....38
1.3.3 Domaine d'utilisation des BAP.....39
I.4. Conclusion.....*39*

CHAPITRE 02: Matériaux et essais

2.1. Introduction.....*40*
2.2. Caractérisation des matériaux utilisés.....*41*
2.2.1. Le sable.....41
2.2.2. Ciment.....44
Analyse chimique du ciment et composition hypothétique du clinker.....44
Essais physiques.....45
Essais mécaniques sur le ciment.....47
Ajout (filler).....47
2.2.4. Adjuvant.....49
2.2.5. Eau de gâchage.....49
2.2.6. Déchets de construction (béton et brique).....50
2.3. Composition des mélanges.....*51*
Malaxage.....*53*
Essais réalisés à l'état frais.....*54*
L'étalement au mini cône (Flow test).....54
Temps d'écoulement à l'entonnoir en V (V-Funnel test).....55

2.5.3. La densité.....55

Préparation et conservation des éprouvettes.....*56*

Essais sur béton durci *57*

Résistance à la compression 58

Retrait et gonflement.....59

Absorption d'eau par capillarité 61

Conclusion *62*

CHAPITRE 03: Résultats et Interpretation

3.1. Introduction.....*64*

3.2. Caractérisation des BSAP à l'état frais.....*64*

3.2.1 Diamètre d'étalement au mini cône 66

3.2.2. Temps d'écoulement dans l'entonnoir en V.....67

3.2.3. Densité.....68

3.3. Caractérisation des BSAP à l'état durci.....*70*

3.3.1. Résistances à la compression.....70

3.3.1.1. BSAP à base de déchet de béton 70

3.3.1.2. BSAP à base de déchet de brique 72

3.3.2. Absorption capillaire 75

3.3.2.1. BSAP à base de déchet de béton 75

3.3.2.2. BSAP à base de déchet de brique 76

3.3.3. Retrait 76

3.3.4. Gonflement 78

3.4. Conclusion.....*79*

Conclusion générale……..80

Référence bibliographique……81

Annexes……90

Listes des figures

Figure 1.1.Recyclage des déchets 7

Figure 1.2. La brique. 9

Figure 1.3.Déchet de brique. 11

Figure1.4.Absorption d'eau des bétons à base de déchets de brique 14

Figure 1.5. L'effet de l'ajout des déchets de brique sur l'ouvrabilité d'un mortier……..14

Figure 1.6. Variation de la résistance à la compression des mortiers en fonction du pourcentage de déchets de brique.....15

Figure 1.7. Les composants de béton 16

Figure 1.8. Etalements des différents mortiers autoplaçant en fonction du % de sable recyclé 21

Figure 1.9 . Résistances à la compression des mortiers autoplaçant en fonction du % de sable recyclé à 7 et 28 jours.....22

Figure1.10. Effet de type de granulats recyclés sur la résistance à la compression d'un béton 23

Figure 1.11. Retrait due au séchage des différents types de béton recyclé 23

Fig.1.12. Effet de la granularité sur la résistance.....30

Fig.1.13. Variation de l'adhérence d'une armature en fonction de la formulation.....31

Fig.1.14.Influence de la résistance en traction du BS sur l'adhérence des armatures……31

Figure 2.1. Sable d'Oued-Souf utilisé. 42

Figure 2.2. Courbe granulométrique du sable utilisée.....43

Figure 2.3. Courbe analyse chimique de sable utilisé (infrarouge).....44

Figure 2.4. Le ciment MATINE utilisé. 44

Figure 2.5. Diagramme de DRX appliqué sur le CEM II/B 42.5 MATINE.....46

Figure 2.6. Le Laitier d'El Hadjar avant et après broyage. 49

Figure 2.7. Broyeur à disque utilisé.....49

Figure 2.8. Superplastifiant MEDAFLOW 30 utilisé. 50

Figure 2.9. L'eau utilisée. 50

Figure 2.10. Déchet de construction après le concassage (a/ béton ; b/ brique). 51

Figure 2.11. Le malaxeur à mortier utilisé.....54

Figure 2.12.Séquence de malaxage du béton de sable autoplaçant.....54

Figure 2.14. Essai d'écoulement à l'entonnoir en V. 56

Figure 2.15. Mesure de la densité du béton de sable autoplaçant à l'état frais.....57

Figure2.16. Fabrication des éprouvettes.....57

Figure 2.17.Conservation des éprouvettes.....58

Figure 2.18. Machine d'essai de compression. 59

Figure 2.19. Principe de l'essai de compression. 60

Figure 2.20. Mesure des variations dimensionnelles par le rétractomètre. 61

Fig.2.21.L'essai d'absorption d'eau par succion capillaire 62

Figure 2.22.Variables étudiées. 65

Figure 3.1. Besoin en adjuvant en % pour les différents BSAP à base de déchets de béton....66

Figure 3.2. Besoin en adjuvant en % pour les différents BSAP à base de déchets de brique. .66

Figure 3.3. Diamètre d'étalement des BSAP à base de déchets de béton. 68

Figure 3.4. Etalement des BSAP à base de déchets de brique. 68

Figure 3.5. Temps d'écoulement des BSAP à base de déchets de béton.....69

Figure 3.6.Temps d'écoulement des BSAP à base de déchets de brique. 69

Figure 3.7. Densité des BSAP à base de déchets de béton. 70

Figure 3.8. Densité des BSAP à base de déchets de brique.....70

Figure 3.9.Résistance à la compression des BSAP à base de déchets de béton à 7 et 28 jours..
.....72

Figure 3.10.Résistance à la compression des BSAP à base de déchets de béton à 7 jours. 72

Figure 3.11.Résistance à la compression des BSAP à base de déchets de béton à 28 jours. ...73

Listes des figures

Figure 3.12. Résistance à la compression des BSAP à base de déchets de brique à 7 et 28. ...74

Figure 3.13. Résistance à la compression des BSAP à base de déchets de brique à 7 jours. ...74

Figure 3.14. Résistance à la compression des BSAP à base de déchets de brique à 28 jours. .75

Figure 3.15. Absorption capillaire des BSAP à base de déchets de béton. 76

Figure 3.16. Absorption capillaire des BSAP à base de déchets de brique. 77

Figure 3.17. Retrait des BSAP à base de déchets de béton. 78

Figure 3.18. Retrait des BSAP à base de déchets de brique. 78

Figure 3.19.Gonflement des BSAP à base de déchets de béton.....79

Figure 3.20.Gonflement des BSAP à base de déchets de brique.……80

Liste des Tableaux

Tableau 2.1. Caractéristiques physiques des sables utilisés 41
Tableau 2.2.Analyse chimique du ciment et composition du clinker 44
Tableau 2.3.Caractéristiques physiques du ciment 45
Tableau2.4. Evolution de la résistance du ciment en fonction de l'âge 46
Tableau2.5. Caractéristiques physiques des fillers du laitier d'El Hadjar utilisés 47
Tableau 2.6. Caractéristiques physiques des granulats de béton et brique. 50
Tableau 2.7. Composition des bétons de sable autoplaçant à base de déchet de béton.....51
Tableau 2.8. Composition des bétons de sable autoplaçant à base de déchet de brique 52
Tableau 2.9.Essais sur bétons frais 54
Tableau 2.10.Essais sur bétons de sable durci 57

BAP	Ciment portland ordinaire de classe
D	Diamètre d'étalement au mini cône
Dmax	Diamètre maximal des granulats
E	Quantité d'eau
E/C	Rapport eau sur ciment
BSAP	Béton sable autoplaçant
BSAPT	Béton sable autoplaçant témoin
BSAPBr	Béton sable autoplaçant à base de déchets de brique recyclé
BSAPBe	Béton sable autoplaçant à base de déchets de béton recyclé
NF	Norme Algérienne
NE	Norme Européenne
C	Dosage du ciment
E	Quantité d'eau efficace
V	Quantité d'air occlus dans le béton
C	la compacité
P	la porosité
S	Le sable
G/S	gravillons sur sable
V	Volume des vides du mélange granulaire;
V0	Constante expérimentale comprise entre 0,7 et 0,8;
d	La dimension du plus petit grain de l'étendue granulaire;
Dmax	La dimension du plus gros grain de l'étendue granulaire
ΔL	Variation de longueur par rapport à la longueur origine
L0	Longueur de base, prise égale à160mm
Mi	masse de l'éprouvette à une échéance donnée (kg),
M_0	masse initiale de l'éprouvette (kg),

Notation et abréviations

A	section de l'éprouvette (m^2).
E	Dosage en eau
E/C	Rapport eau/ciment
R_C	Résistance à la compression
F_C	Charge de rupture
B	Côte de l'éprouvette

الملخص

الخرسانة هي مادة جد مستعملة في جال البناء.والركام المكون عنها بنسبة 75 بالمئة .وقد اهتمت الدراسات باعادة رسكلة نفايات البناء (الخرسانة والاجر) الموجودة في الطبيعة ودلك حفاظا عليها .

الهدف من عدا العمل دراسة الخصائص في الحالة المائعة والصلبة للخرسانة الرملية المحتواة على الركام (الخرسانة والاجر) المعاد رسكلته للوصول الى تطبيقه في بعض عناصر البناء .

ركزت الدراسة التجريبية على اثنين من نفايات البناء. نفايات الخرسانة ونفايات الاجرودمجها في انتاج الخرسانة الرملية المائعة .ودلك باستبدال الرمل الطبيعي جزئيا بواحدة من هده النفايات.

الخرسانة الرملية المائعة تتم صياغتها بطريقة مدروسة مع كمية الاسمنت الثابتة 400غ ونسبة (الماء على الاسمنت) ثابتة .

خصائص الخرسانة الرملية المائعة على اساس النفايات الخرسانية ونفايات الاجر في الحالة المائعة والحالة الصلبة ومقارنتها بالخرسانة الرملية المرجعية (لا تحتوي على النفايات).

النتائج المتحصل عليها في هده الدراسة اثبتت امكانية العمل بالخرسانة الرملية المائعة الجديدة (تحتوي على نفايات الاجر ونفايات الخرسانة).

ويكون الاستعمال الامثل ل 10بالمئة من نفايات الخرسانة ونفايات الاجر وقد تحسنت مقاومة الضغط ومن جهة اخرى نلاحظ نقص الانكماش والتورم مقارنة بالخرسانة الرملية المرجعية.

الكلمات المفتاحية: الخرسانة الرملية ، الخرسانة السائلة ، النفايات الخرسانية ، نفايات الطوب ، مقاومة الانضغاط ، امتصاص الماء ، الانكماش والتورم.

Résumé

Le béton est le matériau le plus utilisé dans le domaine de construction. Les granulats présentent 75% du volume du béton. A cet effet il est important d'étudier la possibilité de valorisation des déchets de construction qui sont en abondance dans la nature, en substituant des granulats naturels pour préserver l'environnement et les ressources naturels.

L'objet de ce travail, est d'étudier les propriétés à l'état frais et durci, des bétons de sable fluides (BSAP) à base de sable recyclé (béton et brique) afin de pouvoir les appliqués dans certains éléments de construction,

L'étude expérimentale a été portée sur deux déchets de construction de nature différente. Déchet de béton et déchet de brique et les incorporés dans la production d'un béton de sable fluide, en substituant partiellement le sable naturel par l'un de ces déchets.

Les bétons de sable fluides, sont formulés par la méthode formulation appelée SABLCRETE. Avec un dosage en ciment de 400 kg/m^3, et un rapport E/c relativement constant. Les propriétés des BSAP à base de déchet de béton et de brique à l'état frais (diamètre d'étalement, temps d'écoulement et densité) et à l'état durci (résistance à la compression, absorption d'eau par capillarité, retrait et gonflement) sont étudiées, analysées et comparées à celles du béton de sable fluide témoin.

Les résultats de cette étude, ont montré qu'il est possible de fabriquer un béton de sable fluide à base de déchet de construction (béton et brique). Pour un optimum d'utilisation de 10% de chacun de ces deux déchets, les résistances à la compression sont meilleures, la compacité est améliorée et problème du retrait est minimisé par rapport au béton témoin.

Mots clés : Béton de sable, béton fluide, déchet de béton, déchet de brique, résistance à la compression, absorption d'eau, retrait et gonflement.

Abstract

Concrete is the most used material in the construction field. Aggregates have 75% of the concrete volume. For this purpose it is important to study the possibility of upgrading construction waste that is in abundance in nature, substituting natural aggregates to preserve the environment and natural resources.

The purpose of this work, is to study the properties in the fresh and hardened state, of sand concrete (BSAP) based on recycled a incorrection in order to be able to apply them in some elements of construction,

The experimental study was focused on two construction waste of a different nature. Concrete waste and brick waste and incorporated into the production of a fluid sand concrete.

Fluid sand concretes are formulated by the formulation method called SABLCRETE. With a cement dosage of 400 kg / m3, and a relatively constant E / c ratio. The properties of the BSAP based on concrete and fresh brick waste (spreading diameter, flow time and density) and in the cured state (compressive strength, water absorption by capillarity, shrinkage and swelling) are studied, analyzed and compared to control fluid sand concrete.

The results of this study have shown that it is possible to manufacture a fluid sand concrete based on construction waste (concrete and brick). For an optimum use of 10% of each of these two wastes, the compressive strengths are better, the compactness is improved and the shrinkage problem is minimized compared to the control concrete.

Key words: Sand concrete, fluid concrete, concrete waste, brick waste, compressive strength, water absorption, shrinkage and swelling.

Introduction générale

Le granulat est une matière première indispensable dans les industries du bâtiment et des travaux publics. Elle est produite et utilisée en très grandes quantités, dans tous les pays du monde ; toutefois les ressources naturelles ne sont pas inépuisables et les lieux d'extraction ne cessent de s'éloigner des lieux de consommation. Pour répondre au besoin vital de la construction et d'autre part, au besoin universel de conserver les ressources et de protéger l'environnement, il a été question de se pencher beaucoup plus sur l'étude et la production de matériau granulat tant en quantité qu'en qualité. Par conséquent, une grande importance a été accordée à l'usage de déchets et de sous-produits comme granulats pour le béton.

Au fil des années, états exagérés dans l'évaluation des déchets et surtout les déchets de construction car elles sont des grandes problèmes dans l'environnement. Parmi ces déchets, les débris de brique et d'ancien béton, peuvent être concassés et utilisés comme granulats pour la fabrication du béton. En Algérie, l'intérêt à la valorisation du sable de dunes dans les bétons, notamment dans le béton de sable (BS) est apparu dans la fin des années 80.Par définition un béton de sable ne comportant pas de gravillons. Le béton de sable présente beaucoup d'avantages tel que : la petite granularité, la bonne résistance, la facilité de la mise en œuvre, etc.

Toutefois, pour construire des structures fiables et durables, il est nécessaire non seulement, de développer un béton de qualité, mais aussi d'assurer une mise en place correcte afin de répondre aux exigences demandées pour la mise en service de la structure. Les édifices du 21ème siècle se traduisent par la complexité de leurs modèles telles que les formes variables et les courbures multiples, ainsi que par leur forte concentration en armatures, ce qui rend l'application des bétons ordinaires à ce type d'ouvrages très difficile avec des défaillances structurales très probables c'est pour cela qu'il y a aujourd'hui un intérêt croissant pour ce qui a trait à la qualité, aussi bien de la part de l'industrie que de l'ingénieur.

Ce travail consiste donc à récupérer des déchets de démolition et construction, plus précisément les déchets de brique qui sont en abondance dans les briqueteries Algérienne, et les déchets d'ancien béton déchargés dans la nature et les incorporées dans la fabrication d'un béton de sable fluide en substituant le volume du sable naturel par différents pourcentages.

Le travail est présenté en trois chapitres :

Le premier chapitre est consacré à l'étude bibliographique qui présente l'intérêt de valorisation et recyclage des déchets dans le domaine de construction en général. Et ceux des déchets d'anciens bétons et de brique jetés dans la nature en particulièrement. Non donnons par la suite et dans le même chapitre, une image sur les nouveaux bétons développés dans le domaine de génie civil, à savoir les bétons de sable et bétons autoplaçants.

Le deuxième chapitre est destiné en premier lieu à la caractérisation des matériaux utilisés dans cette étude. En second lieu à la confection et la conservation des éprouvettes passant par la formulation et le malaxage des béton de sable auto plaçant et finalement le protocole expérimental et les essais de caractérisation du BSAP réalisés à l'état frais et durci.

Le troisième chapitre présente l'analyse et la discussion des différents résultats obtenus à l'état frais et à l'état durci.

Finalement et bien entendu tous les résultats des essais effectués au laboratoire sont présentés et suivis d'une interprétation et d'une conclusion générale.

Chapitre 01 :
Synthèse bibliographique

1.1.Valorisation des déchets et activité de recyclage en construction

1.1.1 Introduction

L'augmentation des déchets de chantier provient presque exclusivement du bâtiment. Elle est essentiellement imputable à la forte croissance des déchets minéraux**.** Les quantités de déchets recyclés sont ainsi extrêmement faibles et ne concernent que les métaux, une partie très limitée du bois utilisé pour la fabrication de panneaux de particules, les briques et bétons de démolition (provenant surtout des démolitions d'ouvrages d'art et de génie civil et dans une moindre mesure de bâtiments de composition simple, tels que les hangars industriels). Ces derniers sont utilisés pour des remblaiements ou concassés pour élaborer des granulats recyclés avec une application en Travaux Publics (sous couches de fondation et de base des routes) **[1].**

1.1.2 Déchets

1.1.2.1. Définition

Les déchets sont considéré comme toutes substances mise en rebut, ou tout produit qui doit être jeté car il est usé, contaminé ou abîmé **[2]**.

D'après l'Article L541-1 du code de l'environnement, (loi de 1975), et modifié par Loi n°2003-591 du 2 juillet 2003 - art. 31 (V) JORF 3 juillet 2003:«un déchet est tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau, produit ou plus généralement tout bien meuble abandonné ou que son détenteur destine à l'abandon. » **[3]**.

- Notion objective : « résidu »
- Notion subjective de l'abandon

Un sous-produit peut être un déchet pour l'un et un matériau pour l'autre (et avoir une valeur marchande)

Plus de 25% des déchets proviennent de la démolition ou de la rénovation d'immeubles et de ces rebuts qui encombrent les décharges publiques. On estime que 30% seulement des matériaux utilisés dans la construction sont actuellement recyclés, alors que la pratique dans certains pays européens, démontre que 90% sont réutilisable.

En Algérie, les déchets de construction et de démolition, qui sontgénéralement classés parmi les déchets industriels, restent inconnus etsont estimés approximativement à des millions de

tonnes par an [**4**].Et selon l'étude réalisée par Bedjou**[5],** les déchets issus du bâtiment sont estimés à 2,2 millions de tonnes par an.

On peut classer les déchets selon quatre grandes catégories représentant l'essentiel de laproduction et rendant compte de leur diversité : **[6]**

A. Les déchets inertes

Ce sont des déchets composés d'éléments minéraux qui n'évoluent pas dans le temps (non putrescibles) et qui ne contiennent pas de substances toxiques ou dangereuses. Ce sont les gravats, résidus d'activité extractive.

B. Les déchets spéciaux

Ces déchets contiennent des éléments nocifs en quantités variables impliquant des précautions particulières d'élimination. Ce sont les solvants, les produits phytosanitaires,…; certains déchets spéciaux doivent être stabilisés avant stockage. Un déchet est considéré comme stabilisé quand sa perméabilité à l'eau et sa fraction lixiviable ont été réduites et quand sa tenue mécanique a été améliorée de façon à respecter certains seuils pour différents paramètres (pH, siccité, fraction soluble…).

C. Les déchets banals

Ce sont des déchets qui ne contiennent pas de substances toxiques ou dangereuses. Ce sont des déchets ménagers et les déchets qui leur sont assimilables et peuvent être traités de la même façon. Ce sont les emballages, les déchets de bois, de plastiques…

D. Les déchets organiques

Ces déchets sont composés de matière organique et son issus d'organismes vivants végétaux ou animaux.

1.1.2.2. Origine de la production de déchets

La production des déchets est inéluctable pour les raisons suivantes :

- **Chimiques :** toute réaction chimique est régie par le principe de la conservation de la matière et dès que veut obtenir un produit à partir de deux autres on en produira un quatrième ;

- **Technologiques :** tout procédé industriel conduit à la production de déchet ;
- **Biologiques :** tout cycle de vie produit des métabolites ;
- **Accidentelles :** les inévitables dysfonctionnements des systèmes de production et de consommation sont eux aussi à l'origine de déchets ;
- **Economiques :** les produits en une durée de vie limitée ;
- **Ecologiques :** les activités de la dépollution (eau, air) génèrent inévitablement d'autres déchets qui nécessiteront une gestion spécifique **[7].**

1.1.2.3. La Valorisation des déchets

La valorisation est définie comme l'élimination des déchets comporte les opérations de collecte, transport, stockage, tri et traitement nécessaires à la récupération des éléments et matériaux réutilisables ou de l'énergie, ainsi qu'au dépôt ou au rejet dans le milieu naturel de tous autres produits dans des conditions propres à éviter les nuisances **[6]**.

Ils existent plusieurs modes de valorisation des déchets :

A. Valorisation matière

Elle est appelée également, recyclage mécanique, il s'agit de l'opération globale consistant à la production d'une nouvelle matière à partir d'un déchet. Dans ce cas, il n'y a pas de destruction majeure de la structure chimique du polymère **[6]**.

B. Valorisation chimique

Il s'agit de tout processus chimique permettant la transformation d'un déchet en des produits chimiques utilisables comme intermédiaires réactionnels dans l'industrie chimique ou l'industrie de la transformation des matières plastiques **[6]**.

C. Valorisation énergétique

Elle est appelée également, recyclage énergétique, elle vise la production d'énergie calorifique plusieurs techniques permettent d'atteindre cet objectif dont les plus connus sont l'incinération, la pyrolyse ou la thermolyse. Cette énergie calorifique peut être utilisée sur

place ou transformée par la suite en énergie électrique, en fonction des besoins du moment ou du lieu de traitement **[6]**.

1.1.3. Activité de recyclage des déchets en construction

1.1.3.1 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 **[8]**.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 **[9]**.

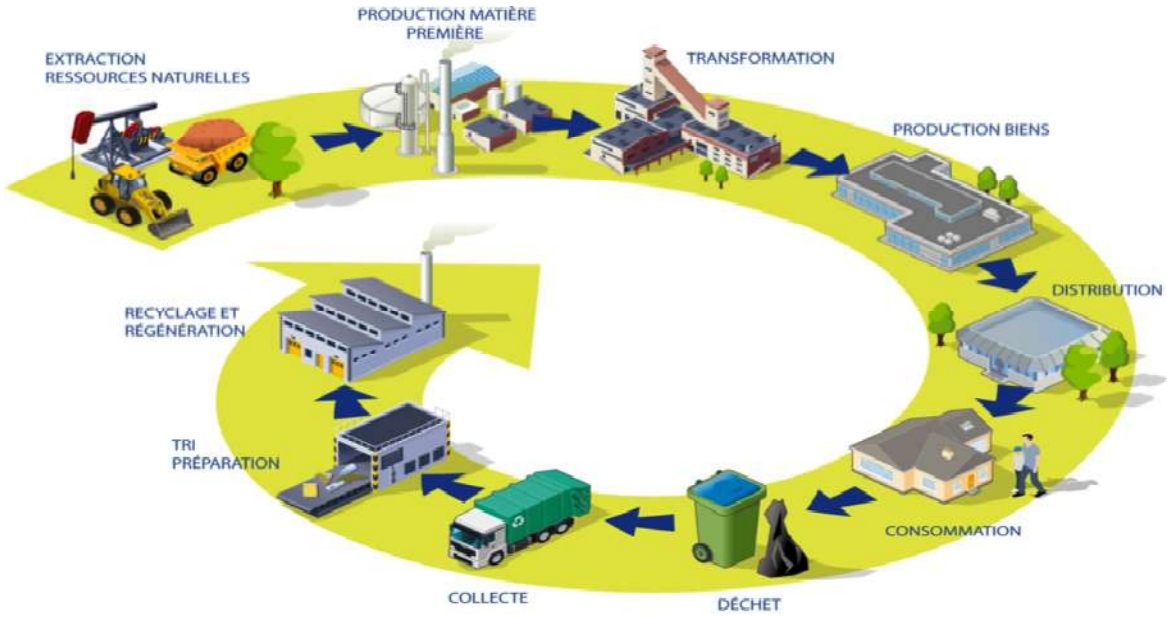


Figure 1.1. Recyclage des déchets**[10]**.

Le recyclage s'inscrit dans la stratégie de traitement des déchets dite des trois R :

- Réduire, qui regroupe tout ce qui concerne la réduction de la production de déchets,

- Réutiliser, qui regroupe les procédés permettant de donner à un produit usagé un nouvel usage.

- Recycler, qui désigne le procédé de traitement des déchets par recyclage.

1.1.3.2. Type de recyclage

Il existe trois types de recyclage **[11]**:

- **Le recyclage en site fixe :** Les matériaux de démolition sont acheminés vers des installations montées en permanence sur un même site. Il s'effectue dans des conditions industrielles.
- **Le recyclage sélectif :**Il est choisi lorsque les matériaux de démolition sont homogènes ; il nécessite que les quantités stockées soient suffisantes.
- **Le recyclage in situ :** Consiste en la réutilisation immédiate des déchets. De plus, le transport n'intervient pas dans le coût des granulats. Dans le domaine routier, par exemple, la nouvelle chaussée est réalisée à partir du matériau de recyclage de l'ancienne chaussée.

L'Allemagne etl'Angleterre possèdent plus d'installations mobiles que fixes.En revanche, la possibilité de retrait de certaines impuretés est réduite et la qualité desgranulats est irrégulière. De ce fait, le champ d'utilisation des granulats ainsi fabriqués restelimité.

1.1.3.3. Impacts du recyclage sur l'environnement

Le recyclage permet de réduire l'extraction de matières premières**[12]** :

- l'acier recyclé permet d'économiser du minerai de fer.
- l'aluminium est recyclable à 100%, 1 kg d'alu donne 1 kg d'aluminium (après avoir été fondu).
- le recyclage de 1 kg d'aluminium peut économiser environ 8 kg de bauxite, 4 kg de produits chimiques et 14 kWh d'électricité.
- Chaque tonne de plastique recyclé permet d'économiser 700 kg de pétrole brut.
- il permet de protéger les ressources, de réduire les déchets, de créer des emplois, de protéger la nature et d'économiser les matières premières.
- chaque tonne de carton recyclé fait économiser 2,5 tonnes de bois ;
- chaque feuille de papier recyclé fait économiser 1 L d'eau et 2,5 W d'électricité en plus de 15 g de bois. **[12]**

1.2. La brique et déchet de brique

1.2.1. Définition de brique

La brique est un matériau de construction qui est fabriqué en portant une petite quantité d'argile, préalablement mise en forme, à une température appropriée.
Les particules d'argile commencent alors à fondre et s'agglomèrent pour former une masse à caractère pierreux. Après la cuisson, la brique conserve une certaine porosité, qui lui confère d'ailleurs des propriétés spécifiques et la distingue des autres matériaux de construction. Labrique de terre offre une isolation thermique, phonique et hydrométrique bien supérieure au parpaing béton et une résistance à la compression également supérieure au parpaing **[13].**



Figure 1.2. La brique.

On trouve différents types de briques pour la construction :**[14]**

- brique creuse ou alvéolaire,
- brique rouge
- brique réfractaire
- brique de verre
- brique de terre crue (qui peut aussi contenir des fibres (pailles, lin, crin..),
- brique cuite pleine matériau respectant les traditions particulièrement ancien,
- brique cuite creuse, découverte au XIXe siècle, plus légère et isolante qui est aujourd'hui de loin la plus utilisée,
- brique de chanvre, très bon isolant thermique
- brique non gélive, brique réfractaires, pour la construction des fours, chaudières,foyers, cheminées, etc

1.2.2. La brique et le respect de l'environnement

Comme la plupart des processus, la production de briques a un impact sur l'environnement. Le secteur céramique y accorde beaucoup d'attention et met tout en œuvre pour minimiser les émissions dans l'air, l'eau et le sol. La consommation énergétique est aussi un point d'attention continu.

- **Economie de matières premières :** la gestion de la matière première qu'est l'argile est planifiée à court, moyen et long terme. Nous accordons beaucoup de valeur à la gestion parcimonieuse des matières premières. Lorsque c'est possible, des accords de partenariats sont conclus pour stimuler l'apport extérieur d'argile. Ainsi, de temps à autre, on ajoute au mélange de matières premières, de l'argile provenant des travaux d'infrastructure.

L'eau est utilisée pour rendre le mélange d'argile plastique mais est également ajoutée lors du moulage. Lors du façonnage, les moules sont humidifiés, sablés et remplis du mélange argileux. Ensuite, ils sont rincés à l'eau et réutilisés. L'eau de rinçage est réutilisée en circuit fermé .Cette manière de travailler permet de limiter la consommation d'eau et d'éviter toute forme de rejet d'eau.

La production de briques occasionne d'inévitables émissions. Le secteur mène de nombreuses initiatives pour les minimiser. Pour atteindre cet objectif, des mesures intégrées au processus et des techniques de traitement de fumées jouent un rôle complémentaire.

- **Economie d'énergie :** depuis des dizaines d'années, des mesures d'économie d'énergie sont mises en œuvre : fours tunnel performants alimentés au gaz naturel, suivi détaillé du processus de cuisson, récupération maximale de la chaleur des fours pour l'utiliser dans les chambres de séchage, …

La brique est un produit " local ", fabriqué à partir de matières premières issues de notre propre sous-sol. Par ailleurs, on trouve toujours une briqueterie à une distance limitée d'un chantier. Ainsi, on limite le transport tant des matières premières que des produits finis **[15]**.

1.2.3. Déchets de brique

1.2.3.1. Définition de déchet de brique

Selon la méthode utilisée pour la fabrication et la manipulation des briques, il y a toujours un certain pourcentage de briques cassées, trop cuites ou mal cuites. Les briques concassées et bien cuites conviennent bien à la fabrication des blocs de béton. Le béton contenant de tels granulats est plus perméable et si les briques contiennent des sels solubles, il peut y avoir corrosion et efflorescence dans le béton. Le béton contenant de l'argile cuite comporte une résistance au feu beaucoup plus élevée que celle du béton à base de gravier naturel **[16]**.



Figure 1.3.Déchet de brique.

1.2.3.2. Recyclage de brique

La dernière phase du cycle de vie d'un produit peut devenir la première, si la démolition est suivie d'un recyclage et d'une réutilisation. Malgré la durée de vie potentiellement longue des bâtiments en briques de terre cuite (bien supérieure à 100 ans), ils sont parfois démolis avant la fin de leur durée de vie utile**[7].**

1.2.3.3. Les techniques d'utilisation de la brique recyclé

A. **Substrats pour plantes**

Les briques broyées peuvent également entrer dans la composition de substrats pour la culture des plantes. Le matériau peut être mélangé à d'autres substances utilisées dans la production végétale. Ce matériau convient particulièrement bien aux toits végétalisés **[7].**

B. Matériaux de remplissage et de stabilisation dans les infrastructures

Les déchets de maçonnerie et les rebuts de briques ont été utilisés pour remplir et stabiliser les routes secondaires, en particulier dans les zones humides telles que les bois et les champs. Cette pratique est courante dans les pays qui manquent de réserves de pierre suffisantes.

Les briques, les tuiles et autres maçonneries en terre cuite broyée peuvent être utilisées dans des projets de construction routiers plus importants **[7].**

C. Terre battue pour terrains de tennis

La terre battue utilisée pour le revêtement des terrains de tennis est fabriquée à partir de briques et de tuiles rouges broyées **[7].**

D. Agrégats pour béton in situ, préfabriqué et mortier

Les briques broyée et autres maçonneries peuvent également être utilisées pour niveler et remplir les tranchées de canalisations. Le matériau broyé remplacera les matériaux naturels tels que le sable et perturbera donc moins le paysage.

Une granulométrie fine d'environ 0-4 mm est généralement utilisée pour le matériau de remplissage des tranchées de canalisations qui se compose essentiellement de maçonnerie broyée. Des particules plus grossières peuvent être utilisées dans d'autres applications (par exemple, agrégats dans le béton et les mortiers).

Le mortier fabriqué avec des sables provenant de déchets de briques, présente généralement de bonnes résistances à l'action du gel-dégel, à l'action du séchage et aux eaux usées **[17]**.

1.2.4. Influence de déchet de brique sur le comportement des matériaux cimentaires

Plusieurs projets de recherche européens ont étudié le potentiel d'utilisation de la maçonnerie broyée comme agrégat pour le béton. C'est une pratique courante en Autriche, en Suisse, au Danemark et surtout en Hollande.Le mortier fabriqué avec des sables provenant de déchets de briques, présente généralement debonnes résistances à l'action du gel-dégel, à l'action du séchage et aux eaux usées **[18]**

Des recherches antérieurs ont montré que **[19]** :

- ✓ La résistance à la compression des bétons à base de déchets de brique chute au fur et à mesure par substitution successive des granulats naturels par les granulats recyclés. Elle est de l'ordre de la moitié de celle du béton ordinaire à l'âge de 07 jours et

augmente au fur et à mesure au cours du temps jusqu'à 66à 80% du béton ordinaire à l'âge de 90 jours.

- ✓ L'absorption capillaire du béton entièrement en brique concassé est presque le double de celle du béton ordinaire.
- ✓ La porosité du béton augmente (compacité diminué) par substitution successive des granulats naturels par les granulats de brique.

Hadjoudjaet Bederina**[20]**,ont étudié la possibilité de récupération des déchets de briques dans le béton de sable de dunes. Leur étude a pour objet d'étudier l'effet du dosage en filler des déchets de briques sur la capacité d'absorption de l'eau du béton de dunes, ses cycles de séchage–ré-humidification et l'évolution de sa résistance sous l'effet du gel et dégel.Leur travail a permis d'observer l'intérêt et l'efficacité de l'ajout des fillers sur le comportement physico-mécanique du béton de sable dunaire à base de déchets de brique.Néanmoins les résultats de cette étude ont montré l'importante absorption capillaire avec l'augmentation du dosage en filler de brique (figure 1.4).En ce qui concerne la résistance augel-dégel, ils ont remarqué que l'augmentation de la teneur en fillers de briques provoque une nette diminution des taux de variations en poids, elle semble présenter un optimum pour la composition avec 200 Kg/m3 de fillers de brique

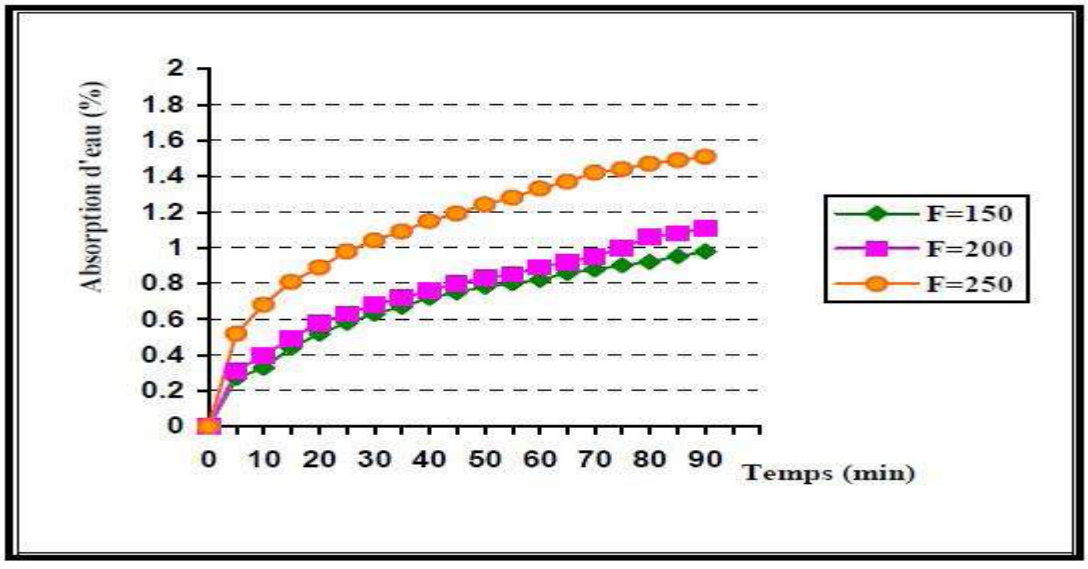


Figure1.4. Absorption d'eau des bétons à base de déchets de brique **[20]**

Bektas et al. **[21]** ont examiné les effets du recyclage de la brique d'argile sur la durabilité du mortier. La brique a été utilisée par remplacement du poids de sable avec des taux de

substitution de 5% à 30%. Les auteurs ont remarqué une diminution de l'ouvrabilité des mortiers avec l'augmentation du taux de substitution (figure 1.5). Cela peut être dû au degré d'absorption des déchets de brique (7%). En ce qui concerne l'état durci (Résistance à la compression), les auteurs ont trouvé une augmentation graduelle avec le vieillissement (B0,B5%, B10% et B20%). Au-delà ils ont remarqué une réduction de 5% à 10% pour un pourcentage de 25% de brique (figure 1.6).

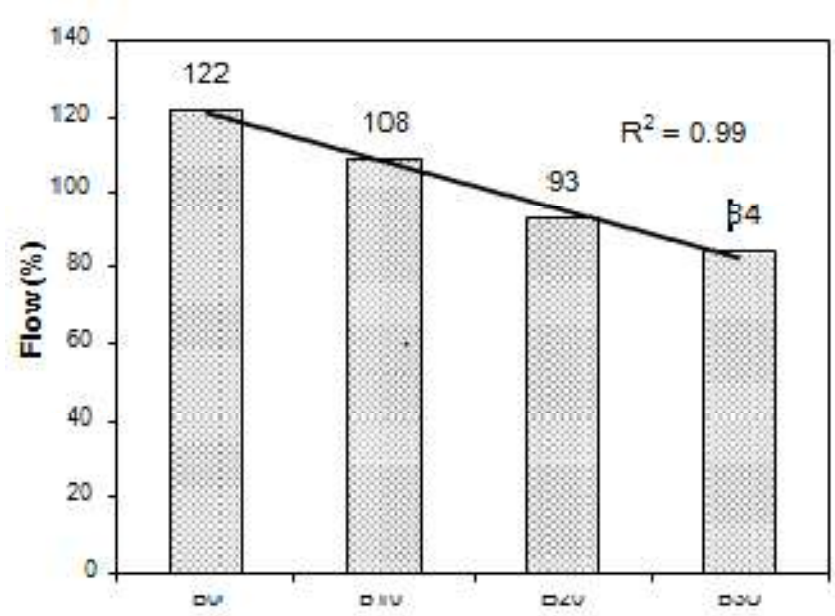


Figure 1.5. L'effet de l'ajout des déchets de brique sur l'ouvrabilité d'un mortier **[21]**

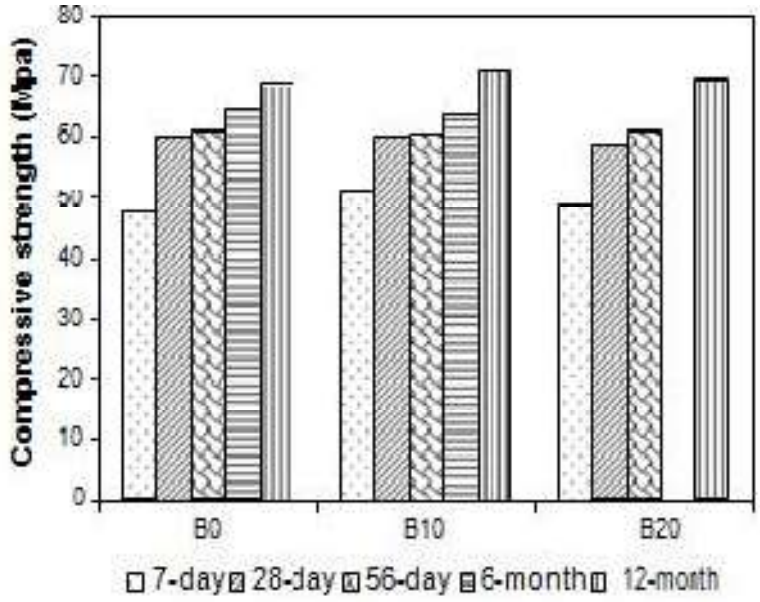


Figure 1.6. Variation de la résistance à la compression des mortiers en fonction du pourcentage de déchets de brique **[21]**.

Barkat A.**[19]** à utiliser la brique concassé comme granulat pour la fabrication d'un béton ordinaire. L'auteur a montré que pour une ouvrabilité constante, le besoin d'eau pour le béton à base de sable de brique concassée, est deux (02) fois plus grand que pour le béton à base du sable naturel. L'auteur a trouvé également que la masse volumique apparente du béton de brique concassée est approximativement de 15 % inférieure à celle du béton normal à base du sable naturel. La résistance à la compression des bétons à base de déchets de briquechute au fur et à mesure par substitution successive des granulatsnaturels par les granulats recyclés. Elle est de l'ordre de la moitié de celle du béton ordinaire à l'âge de 7 jours et augmente au fur et à mesure au cours du temps jusqu'à 66 80% du béton ordinaire à l'âge de 90 jours.

1.3. Le béton et Déchets de béton

1.3.1. Définition de béton

Le béton est un matériau hétérogène constitue par le mélange, dans des proportions convenables, de granulats (sable, gravier), de ciment et d'eau. Le mélange entre le ciment et l'eau forme une pâte qui durcit.la pâte de ciment hydraté et le sable constituent le mortier. Leur rôle lier avec les gros granulats pour former un conglomérat solide et résistant, il s'appelle ce mélange béton frais, commence à durcis après quelques heures les résistances mécaniques du béton obtenus sur des éprouvettes cylindriques (16x32cm2), sont :

- Béton fabriqué sur le chantier 25 à 35 MPa.
- Béton prêt à l'emploi (en usine) 40 à 60 MPa.
- Béton à haute performance 50 MPa.
- Béton ultra haute performance 40MPa.

Les composants principaux du béton sont **[22]** :

- Ciment,
- L'eau de gâchage,
- Les graviers,
- Le sable.

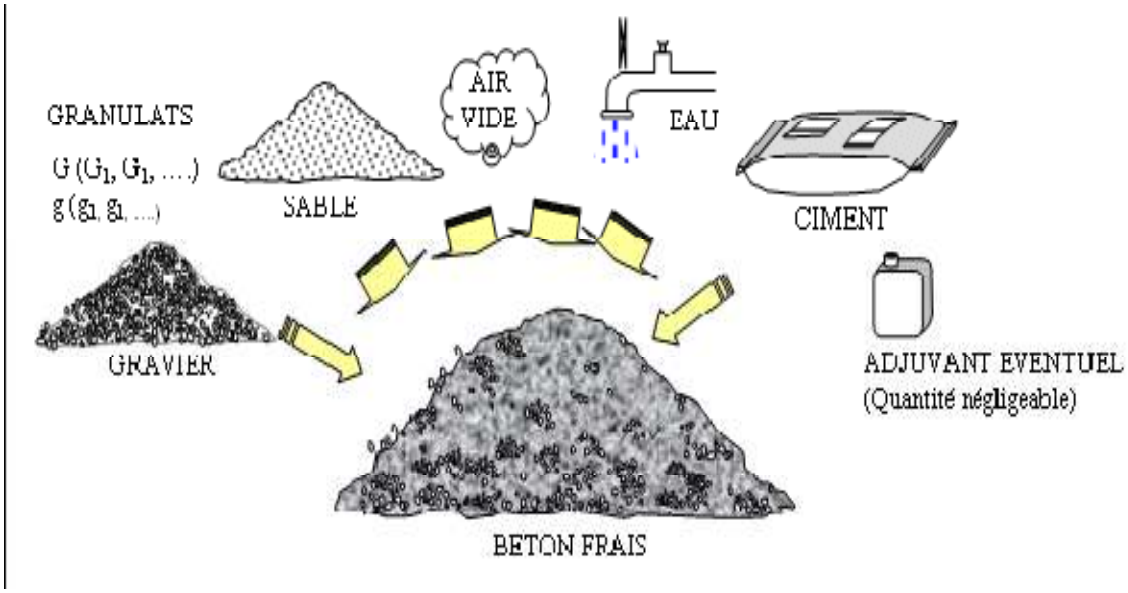


Figure 1.7 Les composants de béton **[22]**

Ils existent plusieurs type de béton dans le domaine de génie civil comme :

- Béton auto plaçant,
- Béton haut performance
- Béton prête à l'emploi
- Béton léger
- Béton ordinaire
- Béton compacte au rouleau
- Béton lourd

1.3.1.3. Utilisation de béton :

- Les routiers
- Les Tunelles
- Les bâtiments (voile, poteau, dalle, fondation …)
- Les ponts
- Les barrages

1.3.2. Déchets de béton

La recommandation SIA 162/4 établit un cadre technique général à respecter pour l'obtention d'un béton de recyclage. Cette recommandation, dont la plupart des points renvoient à la norme générale SIA 262, soulève une question importante : la qualité requise des granulats.
En effet, ces granulats, issus de matériaux de démolition ou de matériaux routiers non bitumineux, doivent répondre à des exigences précises en terme de propreté afin de ne pas porter atteinte à la qualité du produit final**.[23]**

1.3.2.1. Origine des déchets du béton :

Le domaine des bâtiments et des travaux publics est un domaine très vaste qui englobe deux grand secteurs qui produisent quotidiennement des milles des tonnes de déchets **[24].**

A. Les déchets issus des travaux de bâtiment :

Ce type de déchets se compose dans l'ensemble des déchets issus des travaux de bâtiment est se répartissent en trois familles :**[24]**

1. Les déchets des travaux de démolition et de déconstruction
2. Les déchets des travaux de réhabilitation
3. Les déchets de construction de bâtiment

B. Les déchets issus des travaux publics :

L'Algérie a connu, depuis l'indépendance, un développement important de son réseau routier. Ce dernier est passé de 80.000 km dont seulement environ 20000 km revêtus en 1962 à 107000 km aujourd'hui dont 72% est revêtus **[25]** .les années 80 one enregistré une véritable relance de modernisation, extension et désenclavement des régions montagneuses des hauts plateaux et du sud. Dans le but de mieux desservir les usagers et de rendre le réseau routier algériens plus sécuritaire et fiable, le ministère des travaux publics s'occupe d'entretien et de réparer ce réseau vieillissant. Ainsi, chaque année, des projets de réabilitation et de construction du réseau routier doivent être entrepris.ces activités impliquent souvent l'utilisation d'une grande quantité de matériaux faits de béton .et d'asphalte et génèrent une quantité de matériaux résiduels tout aussi importante .de ce fait,

L'importance de les valoriser au lieu de le maitre dans dépôts ou dans les décharges publics **[24].**

Ces déchets sont issus du domaine des travaux publics se répartissent également en trois familles principales : **[24]**

1. Les déchets de travaux de grandes voiries
2. Les déchets de travaux de petites voiries
3. Les déchets d'entretien et de nettoyage des voiries et réseaux

1.3.2.2. Recyclage de béton :

La démolition est suivie d'un recyclage et d'une réutilisation. Malgré la durée de vie potentiellement longue des bâtiments en briques de terre cuite (bien supérieure à 100 ans), ils sont parfois démolis avant la fin de leur durée de vie utile**[7]**

1.3.3. Influence de déchet de béton sur le comportement des matériaux cimentaires :

Il apparaît généralement que l'utilisation des granulats recyclés diminue l'affaissement du béton par rapport à un béton contenant un granulat naturel pour un même rapport E/C **[15, 26]**. Cette baisse d'affaissement serait due à la grande absorption et l'angularité des granulats recyclés. En effet, selon Butler **[26],** on observe une augmentation de 3,1 à 9,4 % de la demande en eau du béton lors de l'utilisation des granulats recyclés, pour garantir un même affaissement. Ceci a été attribué **aux** granulats recyclés ayant une surface plus rugueuse et une forme plus anguleuse, créant ainsi plus de friction interne dans le béton **[26].**

La masse volumique à l'état frais est plus faible pour les bétons fabriqués avec des granulats recyclés par rapport aux bétons fabriqués avec des granulats ordinaires. Cela serait dû à la grande proportion de mortier total dans le béton fabriqué avec des granulats recyclés **[1].** De plus, il a été observé que la teneur en air entraînée ne semble pas être affectée par l'utilisation d'un granulat recyclé **[24].**

Mathias et *al.* **[27]** ont noté que la forte capacité d'absorption d'eau des GBR a une grande influence sur l'eau de gâchage qui peut affecter l'ouvrabilité du béton. Ainsi, il est nécessaire d'estimer la quantité d'eau de gâchage qui est absorbée par les GBR pour déterminer et préciser le temps de malaxage ce qui peut affecter l'ouvrabilité et la résistance du béton.

D'après l'étude de AIT MOHAMED A. **[28]**sur l'effet des granulats issus de déchet de béton. Il a été montré que pour des bétons de même consistance, le dosage en superplastifiant augmente avec la diminution du rapport E/C et du taux de substitution par les GBR secs. Cette augmentation est plus importante lorsque le rapport E/C atteint 0,4 et le pourcentage des GBR dépasse 60%. Lorsque les GBR sont préalablement saturés, le dosage en superplastifiant est par conséquent réduit pour le béton à faible rapport E/C et devient inutile pour le béton avec le rapport E/C de 0,6.

Pour ce qui est des matériaux provenant de la démolition des bâtiments ainsi que des ouvrages de travaux publiques tels que les blocs de béton qui nécessitent des stations de traitement et de concassage ce qui exige plus de transformations et par conséquent un coût élevé relativement à la fabrication des granulats naturels, mais devant les besoins prépondérantes des granulats d'une part et les exigences environnementales d'autre part le recyclage de ces matériaux reste la solution meilleure et efficace.

Kenai S. et Debieb F. **[29]**, ont travaillé sur le béton recyclé en remplaçant partiellement le gravier et le sable naturel (25, 50, 75 et 100%) par de gros, fin, et mélange de gros et fin granulats à base d'ancien béton et de brique cuite concassées. Par comparaison avec un béton hydraulique à base de 100% de granulats naturelles, les résultats de cette étude ont mis en évidence que l'absorption d'eau des bétons recyclés est élevée, la perméabilité à l'eau peut atteindre le double, le retrait est très important. Finalement ils ont trouvé que les propriétés physiques et mécaniques des bétons à base de granulats recyclés peuvent être acceptables.

Dans d'autres travaux de Debieb F. et son équipe de recherche sur l'effet des granulats recyclés contaminés sur les performances mécaniques et la durabilité d'un béton courant**[30]**, les résultats expérimentaux montrent que les granulats recyclés contaminés par les chlorures ont un effet néfaste sur les caractéristiques du béton par rapport aux granulat. Une importante déférence a été observée entre les propriétés des bétons recyclés et ceux des bétons naturels.

Seung-T, aeL. **[31]** a étudié l'effet des granulats recyclés issus d'un béton de démolition sur la résistance du mortier à l'attaque du sulfate de magnésium. Les granulats recyclés sont remplacés le sable naturel avec des taux de substitution de 0, 25, 50, 75 et 100%..

NELFIA L. et al. **[32]** ont étudié la faisabilité d'introduire des fines obtenues par concassage d'un béton dans la constitution de mortiers avec trois taux de substitution du ciment (25, 50 et 75%) à travers l'étude de la réactivité, la maniabilité et les résistances mécaniques en compression. Au regard des résultats obtenus, les auteurs ont constaté que les fines étudiées peuvent être introduites dans la constitution de liants composés (jusqu'à 25% environ), c'est-à-dire jouer un rôle identique à celui du filler calcaire présent dans les ciments de type CEM II II /B-L 32,5 R.

Dans l'étude de l'effet des granulats recyclés sur les performances d'un béton autoplaçant, Bouarroudj et al. **[33]**, ont utilisé des granulats recyclés issu d'un ancien béton, sous forme de sable recyclé (SR) pour fabriquer un mortier autoplaçant en substituant une partie du sable naturel (SN) avec différents taux de substitution (20, 40, 60, 80 et 100%). Les auteurs ont remarqué une amélioration de la maniabilité avec la substitution du SN par le SR pour tous les % de substitution. Et plus le % de SR augmente, plus la maniabilité augmente. Pour la résistance mécanique, les auteurs ont remarqué que la substitution du SN par le SR ne modifie pas significativement les résistances en compression, aussi bien à 7 jours qu'à 28 jours.

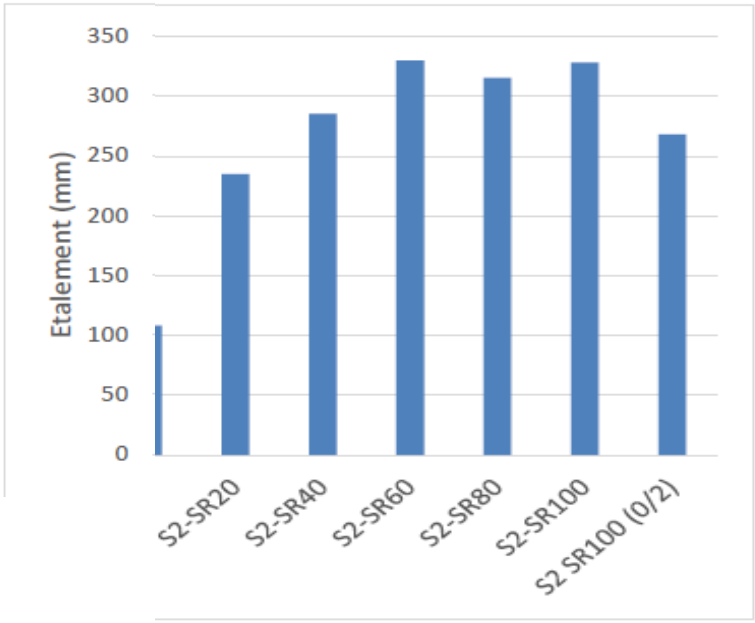


Figure1.8. Etalements des différents mortiers autoplaçant en fonction du % de sable recyclé [33].

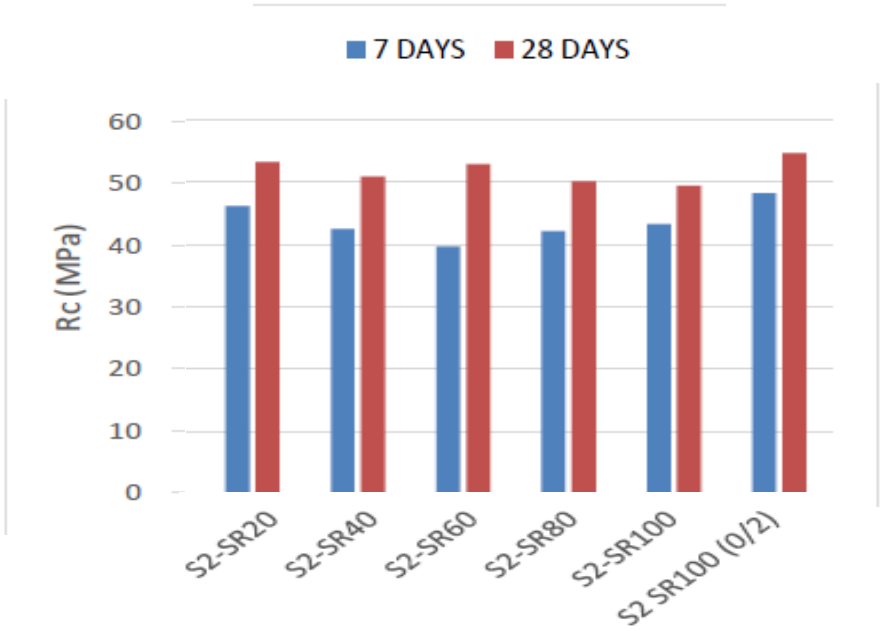


Figure 1.9 : Résistances à la compression des mortiers autoplaçant en fonction du % de sable recyclé à 7 et 28 jours **[**33**]**.

La résistance à la compression d'un béton est un des paramètres fondamentaux employés pour évaluer la qualité d'un béton. En général, la majorité des chercheurs ont observés entre 5% à 30% de diminution dans la résistance à la compression du béton fait de gros agrégats recyclés **[13, 34, 35],** en fonction de la qualité du béton et la composition du mélange **[36].** En 1977, Buck **[4]** réalise l'une des premières enquêtes sur les propriétés du BGR. Il a utilisé le béton à partir de différentes sources d'agrégats dans le nouveau béton. Il a gardé le rapport eau/ciment constant, il a observé une diminution moyenne de résistance de 20% dans le BGR. Güneyisi et *al.* **[37]** confirment que la réduction de la résistance à la compression est due à l'augmentation de la teneur en granulats recyclés.

Zhen H. D. et al **[13]**, ont étudié l'effet de l'ajout de trois types de granulats recyclés (10-20 mm) issus des bétons de classe de résistance différentes (30, 45, 60 et 80 MPa) sur les performances mécaniques et la durabilité d'un béton ordinaire. Les résultats expérimentaux de cette étude, en terme de résistances mécaniques (compression et traction), module d'élasticité, retrait de séchage et pénétration des ions chlore ont montré qu'on peut utiliser des granulats recyclés de bonne qualité (présentent une faible couche de mortier à la surface et un faible

coefficient d'absorption) pour formuler un béton avec des performances comparables à celles mesurées pour un béton à base de granulats naturelles (Fig. 1.10).

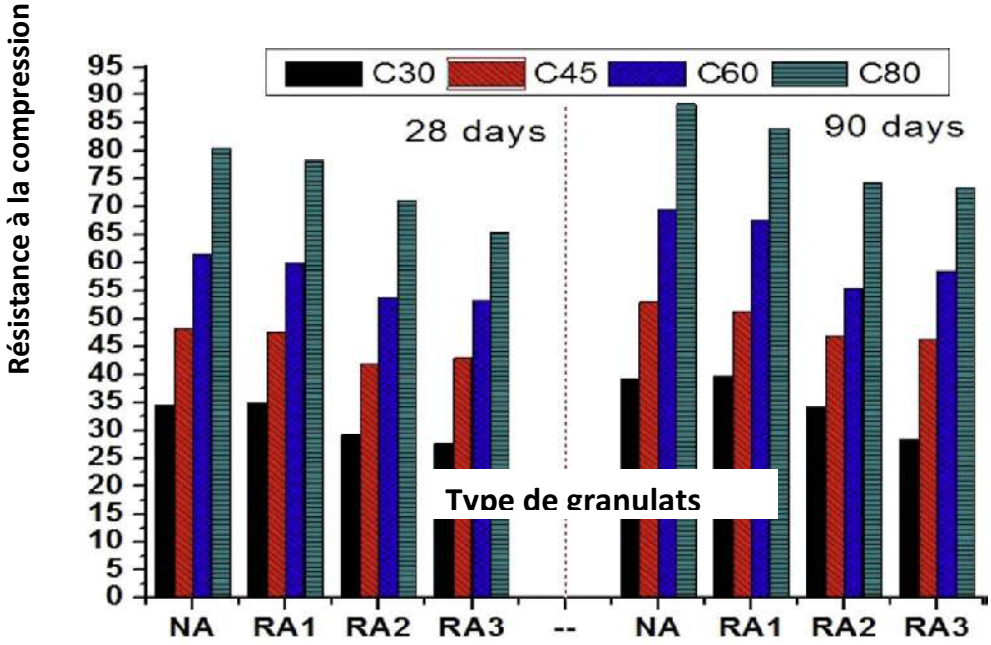


Figure1.10. Effet de type de granulats recyclés sur la résistance à la compression d'un béton [**13**]

En ce qui concerne le retrait, José Manuel Gómez-Soberón **[38]** a fait une analyse expérimentale pour obtenir les propriétés de retrait endogène et de séchage du béton contenant des granulats de béton recyclé. Pour le retrait de séchage (figure 1.11) il indique que le taux de retrait est élevé aux jeunes âges, puis ralentit avec le temps. Les facteurs de remplacement des granulats de béton recyclé par des granulats naturel supérieur à 30% provoquent une augmentation rapide dans les valeurs de retrait de séchage.

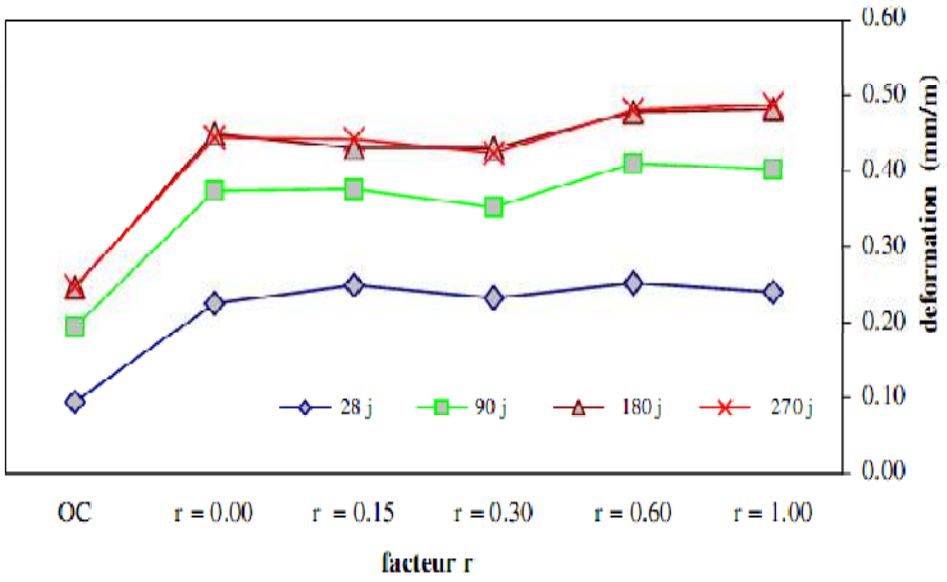


Figure 1.11 : *Retrait* due au séchage des différents types de béton recyclé**[38].**

Kenai et Debieb [29] ont remarqué, en général d'après les résultats montrés que le retrait de séchage à l'air libre des bétons recyclés est nettement plus important que celui du béton de granulats naturels, cela est probablement du à la porosité élevée des granulats recyclés ainsi qu'au degré important d'absorption d'eau du mortier de l'ancien béton qui recouvre ces granulats. Ils ont observé un retrait important qui ne se manifeste qu'au-delà d'une certaine période de temps; au départ il est limité en intensité. Ceci est dû principalement à la pré-saturation des gros granulats recyclés avant le malaxage du béton. L'incorporation d'un adjuvant superplastifiant, réduit le retrait du béton recyclé.

AIT MOHAMED A. **[28]** a montré que dans le cas des bétons recyclés, les problèmes de retrait sont encore plus à craindre, compte tenu de la grande absorption des GBR lorsqu'ils sont utilisés à l'état sec. Pour des rapports E/C faibles (E/C=0.4), la présence des granulats recyclés diminue considérablement le retrait observé. Par contre, le retrait des bétons aux granulats recyclés est plus important avec des rapports E/C élevés (E/C=0.6) et d'une façon proportionnel au taux de substitution.

1.4. Le béton de sable

1.4.1. Introduction

Comme tous les pays en voie de développement, l'Algérie est un gros consommateur de granulats. Cette consommation s'accroît d'une année à l'autre. Les gros granulats ont

tendance à être épuisés dans certaines régions. D'autres régions ne disposent plus de ce matériau. Par ailleurs, notre pays, et notamment le sud algérien, dispose de grands gisements de sables de différentes natures, ainsi que de grands gisements de fines naturels et artificiels. La réflexion sur la l'élaboration de nouveaux bétons, tels que les bétons de sable, est donc devenue nécessaire **[39].**

Le béton de sable se distingue d'un béton traditionnel par un fort dosage en sable et par l'absence ou par un faible dosage en gravillon. Il se différencie également des mortiers par un plus faible dosage en ciment et surtout par son domaine d'application. L'emploi de béton de sable en remplacement des bétons classiques peut constituer une variante de structure rigide intéressante sur le plan économique lorsque le sable est facilement accessible et à un coût moindre que les granulats courants **[40].**

1.4.2. Historique

Le béton de sable trouve ses origines en France dans le béton aggloméré confectionné par F.coignet dans le 3ème quart de XIX siècle. Il était constitué de sable, de ciment, de chaux et d'eau. Le mur de soutènement a Passy, la maison Coignet à Saint-Denis, constituent les premières applications de cette technique que l'on retrouve aussi dans la réalisation de la tour de Port Said en Egypt (hauteur : 52 m) et du pont de New-York **[41]**.

Les premières tentatives de correction granulaire reste l'apanage de F.Coignet qui, pour les besoins de réalisation de certaines parties de l'aqueduc de Vanne construit entre 1869 et 1872, mélangea un sable fin traditionnel à un sable non utilisé à l'époque car jugé impropre à la construction.

Cette technique a été mise au point depuis des décennies, en URSS, en témoignent les réalisations du port Kaliringrad en Prusse- Orientale en béton de sable au début du siècle et aussi du pont de Chernavskif coulé sur place à Voronej (500Km de Moscou) **[42]**. À la fin du second conflit mondial, le professeur académicien Rebinder a permis l'utilisation de ce matériau dans plusieurs domaines : (les chaussés, les pistes d'aviation, élément de remplissage, murs architecturaux, planchers, dalles, réhabilitation, etc).

1.4.3. Définition du béton de sable

Le béton de sable est un béton formé par mélange de sable, de ciment, d'addition(s) etd'eau. Des ajouts (adjuvants, fibres ...) peuvent également être incorporés au mélange. Il estdonc

principalement constitué de sable. Son dosage en ciment est du même ordre que celuides bétons classiques soit entre 250 à 400 kg/m3. Cette similitude lui vaut, entre autre, leterme de "béton". Il se distingue du mortier par, notamment, son dosage en ciment, celui d'unmortier étant de 400 à 700 kg/m3, et par son domaine d'utilisation. **[43].**

1.4.4. Les composants du béton de sable [44]

Un béton de sable est composé de sable, de fines d'ajouts, de ciment et d'eau. Par rapport à cette composition de base et pour répondre au besoin de certain usage, d'autres ajouts spécifiques peuvent être envisagés : gravillons, fibres, adjuvants.

1.4.4.1. Sables

Par sable on entend tous granulats 0/D conformes aux définitions des normes NF P 18-540 et NF P 18-101 il peut s'agir soit d'un sable naturel alluvionnaire ou de ballastière, soit d'un sable de carrière issu du concassage d'une roche massive ou détritique.

Aucun critère granulométrique n'est a priori exigible pour réaliser un béton de sable : on peut aussi bien utiliser un sable fin (même homométrique, type sable de dune) qu'un sable alluvionnaire moyen ou grossier, ou un O/D de concassage. La seule restriction d'emploi des sables réside dans leur propreté.

1.4.4.2. Fillers

La qualité essentielle du béton de façon générale est sa compacité. Les paramètres essentiels qui vont jouer sur la compacité sont **[44]:**

- La granulométrie du mélange et sa teneur en eau.
- L'énergie de mise en place.

L'optimisation de la compacité, en relation avec la granulométrie, obéit à certaines règles. Le principe est simple : les éléments les plus fins se logent dans les vides des éléments les plus gros ; c'est en quelque sorte le principe des tables gigognes. Et ces fines sont du ciment, puisque la qualité nécessaire de ciment pour assurer la résistance coïncide avec celle qu'il faut en fines pour obtenir la bonne compacité. Cette concordance entre besoin en fines et dosage en ciment se traduit par la règle bien connue de : $C = 550/D_5$ ou $C = 700/D_5$ (selon l'usage du béton). Donnant le dosage minimum en ciment en fonction du diamètre (D) du granulat employé.

On distinguera deux types de fines : les fines actives (laitiers moulu, cendre volantes, fumé de silice, pouzzolanes broyées…) et les fines inertes (fines calcaires, ou de broyage de roches massives….). Les dosages en fines d'addition seront souvent importants : entre 70 et 220 Kg/m3 et même au-delà. Par voie de conséquence leurs caractères (nature géologique, forme, etc.) vont influer grandement sur les caractéristiques de la formule employée. On peut constater que, à dosage constant en fines d'addition :

•La maniabilité est améliorée quand le rapport eau/ciment augmente :

•pour un rapport eau/ciment fixé, la maniabilité dépend de la nature et du dosage en fines d'addition.

1.4.4.3. Les ciments

Comme pour le béton classique, le ciment utilisé pour la confection d'un béton de sable est conforme à la norme NF P 15-301. Le choix du ciment est fait à partir de sa classe de résistance, de ses caractéristiques d'hydratation, de l'agressivité du milieu…et, d'une façon plus générale, de la composition du béton et de l'usage auquel on le destine**. [44]**.

1.4.4.4. L'eau

L'eau utilisée pour la confection des bétons de sable est conforme à la norme NFP18-303. L'eau efficace comprend, en plus de l'eau de gâchage, une quantité non négligeable d'eau apportée par les additions, adjuvants et autres ajouts, et surtout par les sables.

1.4.4.5. Les adjuvants [45]-[44]

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

On utilise dans les bétons de sable les mêmes adjuvants que dans les bétons traditionnels, et pour en exploiter les mêmes propriétés. La spécificité du béton de sable privilégie toutefois l'usage du plastifiants ou superplastifiant : ils améliorent la maniabilité, le plus souvent avec augmentation de résistance par suite d'une diminution de la teneur en eau et de la défloculation des éléments fins. On se contentera à expliquer ceux qui on été utilisés dans cette étude.

Les adjuvants employés devront par ailleurs être conformes à la norme NF P 18-103.

1.4.4.6.Autres ajouts

1.4.4.6.1. Les fibres [44]

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

1.4.4.6.2. Les gravillons [44]

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***

1.4.4.6.3. Les colorants [44]

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.

1.2.5 PROPRIETES DES BETONS DE SABLE

1.2.5.1 Propriétés générales

1.2.5.1.1 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 **[46]**.

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. La figure 2.9 montre clairement que la maniabilité est améliorée quand le rapport *E/C* augmente. Cependant pour un rapport *E*/*C*

fixe, la maniabilité dépend de 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.

Un BS se diffère d'un béton traditionnel par sa granulométrie fine. Donc, la porosité dans le cas du BS est élevée et par conséquence le dosage nécessaire du ciment sera très important.L'utilisation du ciment seul n'est pas économique et en plus le BS ne sera finalement qu'un mortier. A cet effet, l'introduction de fines d'ajout est indispensable dans le cas des BS.L'ajout de fines entraîne une amélioration de la compacité du squelette granulaire et améliore par conséquence la maniabilité du BS **[47].**

I.2.5.1.2 Granulométrie et résistance :

La résistance mécanique du béton de sable avec un dosage en ciment constant, varie en fonction de plusieurs paramètres à s'avoir la finesse d'ajouts, la nature d'ajouts et la dimension maximale des granulats **[46].**

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. **[46].**

b) Nature d'ajout

D'après des recherches antérieures, Les fines d'ajout les plus efficaces pour le béton de sable sont ceux qui sont actifs hydrauliquement. On peut constater l'extrême diversité du niveau de performance atteint selon la nature du filler ;si l'addition de fines permet d'améliorer systématiquement la résistance, ce gain est en effet très variable **[46].**

- **La dimension maximale D_{max} (0/D)**

Pour une même valeur du rapport E/C, on constate (Fig. 1.12) 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.

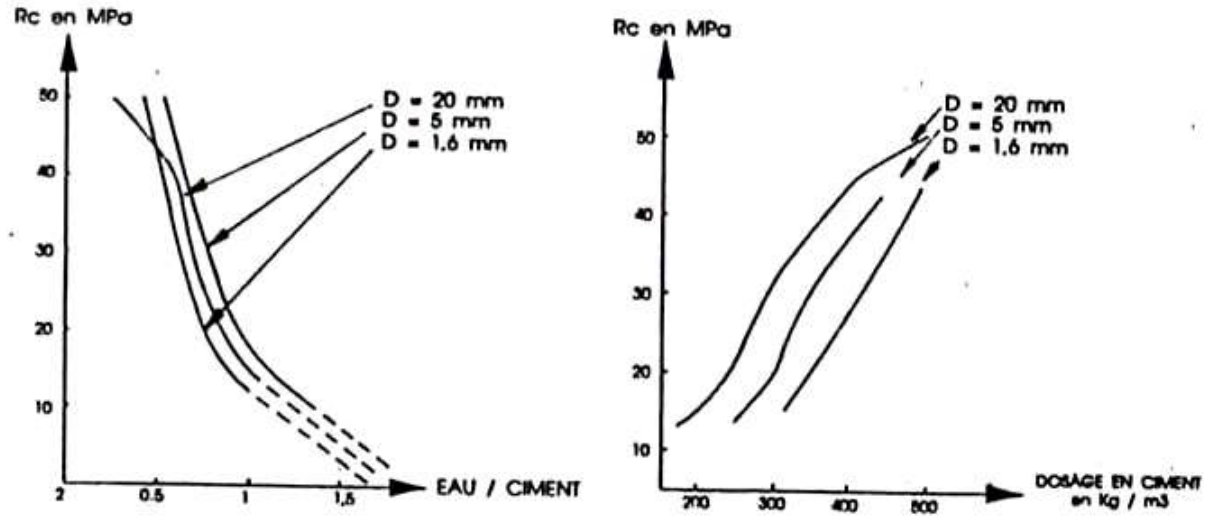


Fig.1.12. Effet de la granularité sur la résistance **[46]**

I.2.5.2 Propriétés spécifique

I.2.5.2.1 L'adhérence aux armatures

Le béton de sable adhère bien aux armatures. La contrainte d'adhérence moyenne se situe en une bonne position par rapport à celles des bétons traditionnels. La granularité du béton de sable n'est pas un élément essentiel puisque à même niveau de résistance, l'adhérence mesurée pour un sable dunaire (très fin) est supérieure à celle obtenue pour un sable alluvionnaire. Quelques résultats de la variation de l'adhérence d'une armature en fonction de la formulation du béton de sable sont résumés dans la figure 1.13suivante. Le phénomène d'adhérence observé dans le béton de sable est pratiquement identique à celui des bétons traditionnels et l'association béton de sable-acier engendre une adhérence suffisante entre les deux matériaux, ceci permet d'envisager l'utilisation du béton de sable comme béton de structure. Les études antérieures (Fig. 1.14) ont trouvé que plus la résistance en traction du béton de sable est élevée, moins sont les déformations (au environ des microns) **[46].**

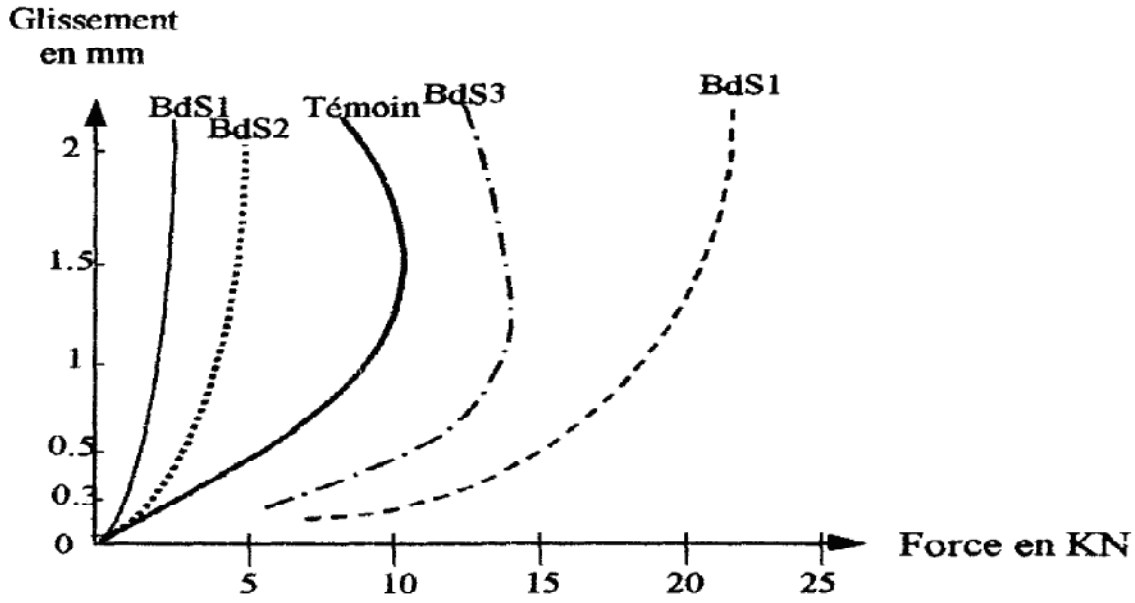


Fig.1.13. Variation de l'adhérence d'une armature en fonction de la formulation **[46]**

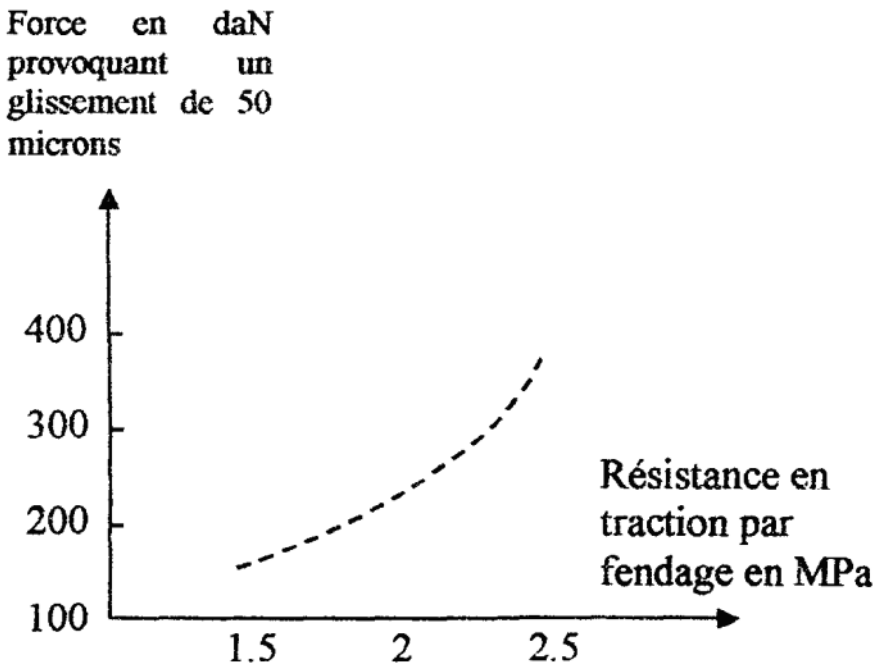


Fig.1.14. Influence de la résistance en traction du BS sur l'adhérence des armatures **[46]**

I.2.5.2.2 Durabilité des bétons de sable

La 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. 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 **[46].**

La perméabilité à l'eau de béton de sable est plus faible qu'un béton ordinaire ($2{,}5\times10^{-12}$ contre 1×10^{-10} m/s) ; quant à la perméabilité à l'air, elle conduit à des résultats inférieurs ou comparables pour des bétons de sable optimisés. La profondeur de carbonatation en ambiance naturelle pourrait être importante du fait de la faible dimension des pores ($<10\mu m$) et de l'absorption initiale. Le comportement à la pénétration des ions chlores est comparable à celui des bétons traditionnels **[46].**

I.2.5.2.3 Résistance au gel et au dégel

La 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 **[46].**

I.2.5.2.4 Retrait et Fluage

A. 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 antérieuresmontrent que le retrait total du béton de sable peut atteindre le double de celui d'un béton classique **[48-49].**

B.Le fluage

La cinétique du fluage du béton de sable est plus rapide que celle du béton ordinaire.

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 encompression de 25 MPa. Un béton de sable plus résistant n'aura pas le même comportement et son fluage deviendra plus faible **[51-49].**

I.2.6 Formulations des bétons de sable

Le but de la formulation d'un béton de sable est de trouver les proportions des différents constituants, à fin de réaliser un béton optimisé dans son squelette granulaire et dont les qualités sont celles qui répondent aux critères techniques et économiques.Ainsi toutes les méthodes de formulation des bétons ne relèvent pas d'une science exacte, c'est pourquoi une étude théorique ne conduit qu'à une approche du problème. Une étude expérimentale basée sur la réalisation des gâchées successives permettra d'adapter et de corriger la formulation théorique.

A ce titre il y a lieu de présenter deux types de formulations, résistance mécanique. La maniabilité qui est la facilité de la mise en œuvre **[51]**.

I.2.6.1Approche théorique d'une formulation d'un béton de sable

Les agrégats d'un béton jouent un rôle d'ossature et la pâte (généralement le ciment avec l'eau) assure, dans un premier temps, la cohésion et l'écoulement, puis joue le rôle d'une colle liant les agrégats et donnant une certaine durabilité au matériau durci.

Le premier problème qui se pose lors d'une formulation d'un béton est la compacité du squelette granulaire définie comme le rapport du volume des constituants solides sur le volume total du mélange ; il faut assurer au mélange une compacité maximale et donc dimi-nuer au maximum la porosité.

Cependant la détermination de cette compacité maximale n'est pas facile et fait l'ob-jet de modélisation poussée.

Caquot **[52]**a pu établir à partir des données expérimentales une relation mathématique reliant le volume des vides d'un mélange granulaire présentant une compacité maximale et son étendue granulaire (d/D_{max}).

Pour ce mélange optimisé la relation de Caquot s'écrit comme suit $\mathbf{V = V_0 (d /D_{max})^{1/5}}$

Avec :

V : Volume des vides du mélange granulaire;

V0 : Constante expérimentale comprise entre 0,7 et 0,8;

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

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

Cette formule a innové le domaine de formulation des bétons et elle est à la base de nombreuses méthodes utilisées telles que l'approche de Faury, Bolomey, Dreux, etc. Elle trouve aussi son application aux bétons de sable pour la détermination des différents dosages des constituants, tout en faisant quelques adaptations à ce cas précis.

A. Dosage en fines d'un béton de sable [51]

Dans le but d'optimiser la compacité du béton de sable, les constituants du mélange sont séparés en deux fractions :

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

Toute l'étendue du sable comprise entre 80 µm et le diamètre maximal du sable Dmax, ainsi que l'éventuelle fraction des éléments supérieurs à 80 µm. provenant des fines d'ajout. En faisant cette distinction entre les fines incluant les éléments inférieurs à 80 µm et l'éten-due du sable comprise entre 80 µm et le diamètre maximal, la porosité du sable peut être calculée selon la formule précédente de Caquot :

$$\mathbf{Ps = V= 0.75 (0.08/D)^{1/5}}$$

Avec :

Ps(V) : Porosité du sable d'étendue 80 µm et D_{max}

Un dosage optimal en fines d'ajout sert à compléter l'étendue granulaire bornée in-férieurement par la coupure 80 µm, et à combler la porosité du sable ainsi calculée. En effet, il est impossible de prendre en compte la distribution de la taille pour les fines d'ajout car l'assemblage géométrique relève surtout des forces électriques inter-granulaires.

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

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

$$[Fines] = 0.38\ (0.08/D_{max})^{1/5}$$

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

B. Dosage en eau d'un béton de sable

Après optimisation du squelette granulaire, la compacité maximale conduisant à une porosité minimale ne sera atteinte que si la consistance le permet ; pour cela d'autres travaux de Caquot sur la compacité ont abouti à une autre relation à partir de la relation de base, enadmettant que la porosité du squelette granulaire se décompose en la somme d'un volume d'eau et d'un volume de vide piégé notés respectivement e et v **[52].**

C. Dosage en sable

Afin de compléter un volume unitaire de béton de sable, (1m3), de la formulation, le dosage en sable est obtenu en faisant soustraire au mètre cube du mélange les dosages estimés précédemment des autres constituants (fines, eau, vide) **[53].**

[Sable]=1000-[fines]-[eau]-[vide] (l/m3). …….Éq. (I.8)

Il reste à noter que le volume du sable ainsi calculé regroupe toutes les particules de taille supérieure à 80mm, soit du sable, soit de la fraction des fines d'addition **[53].**

1.2.6.2. Méthode expérimentale de formulation

La méthode expérimentale, doit permettre de formuler un béton de sable mais son but n'est pas d'expliquer ou de formaliser les phénomènes qui entrent en jeu dans la formulation des bétons.

Dans cette méthode, on travaille à dosage en ciment fixé, de manière à mieux répondre aux prescriptions contractuelles ou normatives qui imposent bien souvent un dosage minimum.

Cette méthode est une adaptation de la méthode dite BARON-LESAGE, elle est itérative et est basée sur la réalisation de gâchées légères. Les gâchées sont caractérisées par des mesures de la maniabilité, au maniabilimètre à mortier LCL, et de la masse volumique apparente.

Diverses formulations de bétons de sable ont déjà été réalisées par cette méthode, on cite à titre d'exemple : le béton de pieux, le béton routier, le béton de projection etc, et ont donné pleine satisfaction **[44]**.

Les différentes étapes de la formulation sont comme suite [47].

A. Détermination d'une formule de base sans fines d'addition

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

B. Dosage en ciment

Les prescriptions contractuelles ou normatives imposent très souvent un dosage minimum en ciment par mètre cube de béton, en fonction du type d'ouvrage ou bien de l'agressivité du milieu. On choisit donc de travailler avec un dosage en ciment fixé qui ne variera pas tout au long de l'étude, on le note C (Kg/m3).

C. Dosage en eau

A ce stade de la méthode, une valeur approximative du dosage en eau, E (l/m3), suffit. Pour estimer ce dosage, les praticiens s'appuient sur l'expérience. Par exemple, on peut prendre 220 litres d'eau pour 350 Kg de ciment, et 250 litres pour 400 Kg de ciment.

D. Détermination du dosage en sable

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

nous devons donc compléter la formule par du sable de manière à obtenir un mètre cube de béton ; on aboutit à la relation suivante :

$$\mathbf{Vair + VC + VE + Vadj + Vsable = 1000\ (En\ litres)} \quad \textbf{Eq. 1.10}$$

Les masses volumiques des constituants du béton sont connues, alors, on peut connaître la masse de sable pour une formule d'un mètre cube du béton S (Kg/m3).

E. Réglage de la maniabilité et du rendement de la formule

Lorsqu'on fait la confection de la formule initiale du béton, et la détermination de : La valeur du temps d'écoulement 't' au maniabilimètre à mortier LCL.
La masse volumique apparente réelle du béton (MVAR), cette formule doit être corrigée à l'aide de l'équation itérative suivante :

$$\mathbf{s}i = s(i-1) - (MVAT\ i\text{-}1 - MVAR\ i\text{-}1) \pm MV\ sable \quad \textbf{Eq. 1.11}$$

Tel que : MVAT et MVAR représentent respectivement la masse volumique apparente théorique et la masse volumique apparente réelle du béton.

Si le temps d'écoulement au maniabilimètre est inférieur à la valeur visée il faut retrancher un volume V d'eau (+V dans l'équation) ; si le temps d'écoulement est supérieur, il faudra rajouter un volume V d'eau de manière à rendre le béton plus maniable (-V dans l'équation).
Après chaque correction, la masse volumique apparente théorique devra être comparée à la masse volumique apparente réelle.

F. Détermination du dosage en fines d'addition

Il faut maintenant introduire dans le béton les fines d'addition et en définir le dosage optimal à rapport E/C constant. Pour cela, il est nécessaire de réaliser des gâchées de béton de sable avec 5 à 6 dosages en fines dans la plage d'emploi usuelle de ces fines. L'incorporation des fines doit permettre d'augmenter la compacité du béton, en remplissant les vides.

Notre objectif, est d'obtenir une formule de un mètre cube dans laquelle la masse volumique apparente théorique tend vers la masse volumique apparente réelle, et un temps d'écoulement adéquat.

Pour chaque gâchée, on détermine la maniabilité ainsi que la masse volumique apparente réelle (MVAR) que l'on compare à la masse volumique apparente théorique (MVAT) de la formule.

Si besoin, la correction sur le sable s'effectue à l'aide de la formule suivante :

$$\mathbf{S}\boldsymbol{i} = S\boldsymbol{i}\text{-}1 - (MVAT\ \boldsymbol{i}\text{-}1 - MVAR\ \boldsymbol{i}\text{-}1) \quad \textbf{Eq. 1.12}$$

Comme exemple pratique sur cette méthode de formulation, une étude de formulation de béton de sable effectuée au LRPC de Bordeaux.

1.3. Béton autoplaçant

1.3.1 Définition

Les bétons autoplaçant (BAP), sont encore à l'heure actuelle qualifiés de « nouveaux bétons » car leur utilisation reste modeste bien qu'ils possèdent un fort potentiel de développement **[54]**.

La spécificité des BAP par rapport aux bétons traditionnels réside dans le fait qu'ils sont extrêmement fluides et qu'ils ne nécessitent pas de vibration pour être mis en oeuvre. Se compactant sous l'effet de leur propre poids, ils peuvent être coulés dans des zones très ferraillées ou dans des zones d'architecture complexe et difficilement accessibles. La suppression de la phase de vibration présente également l'intérêt d'améliorer les conditions de travail sur site, ainsi que le confort acoustique au voisinage du chantier plus particulièrement en zone urbaine.

La fluidité des bétons autoplaçants est due à une quantité de fine élevée et à l'utilisation des superplastifiants. Ces adjuvants spécifiques issus de technologie moléculaire récente permettent de réduire de manière importante le volume d'eau, tout en conférant au béton autoplaçant une importante fluidité, ils assurent aussi le maintien de l'ouvrabilité du béton durant un temps déterminé. Une nouvelle famille d'adjuvants, appelés agents de viscosité, entre également parfois dans la formulation des BAP qui vont donner une viscosité à la pâte **[55]**. En effet, la qualité de matériau autoplaçant confère au béton plusieurs avantages techniques et socio-économiques par rapport au béton ordinaire **[56]**.

1.3.2 Avantages de béton autoplaçant

On a plusieurs d'avantage de béton autoplaçant comme **: [57]**

- Réalisation d'éléments de forme plus complexe.
- Facilité et rapidité dans la mise en œuvre du béton (coulage en un seul point, augmentation du débit de béton pompé),
- Une réduction des risques d'accident,
- Absence de systèmes de vibration (intérieurs ou extérieurs) réduisant ainsi les coûtset les nuisances sonores dans et au voisinage du chantier.
- Amélioration de la qualité des parements et de l'enrobage des aciers.

1.3.3 Domaine d'utilisation des BAP

Les caractéristiques des BAP laissent entrevoir de nombreuses possibilités techniques du fait de leur grande fluidité :

- Possibilité de coulage de zones fortement ferraillées,
- Possibilité de coulage de zones d'architecture complexe et difficilement accessibles,
- Obtention de très bonnes qualités de parement.

L'un des avantages majeurs du BAP est de permettre la réalisation de parements de grande qualité. Leur composition, riche en éléments fins, permet d'obtenir une texture de surface plus fine et plus fidèle à la peau coffrant utilisée. Les aspects satinés, lisses ou très structurés recherchés par les architectes sont alors plus facilement réalisables. Des teintes homogènes et régulières peuvent être obtenues si les conditions de mise en œuvre évoquées précédemment sont respectées, notamment du point de vue de la propreté des coffrages.Le coulage d'un béton dans une zone très fortement ferraillée menait traditionnellement à un surdimensionnement de la pièce afin de rendre accessible tout point du bétonnage.

L'utilisation des BAP présente des intérêts architecturaux importants puisque, sans augmenter les performances mécaniques d'une structure donnée, ils permettent l'optimisation des sections ou la réalisation d'éléments de forme complexe. Les BAP constituent donc une alternative particulièrement intéressante au béton vibré dans les différents domaines de la construction : bâtiment, ouvrages d'art, tunnels, préfabrication, réhabilitation, etc.

I.4. Conclusion

Notre recherche dans les déchets, nous montre la possibilité d'utilisation de ces derniers (dits inertes) dans le domaine de génie civil, plus particulièrement,comme granulats, ce qui permettrait de réduire d'autant les extractions de granulatstout en prolongeant la vie des décharges qu'ils contribuent actuellement à saturer.Parmi ces déchets, les débris de brique et béton de démolition, qui peuvent être utilisés commegranulats pour la fabrication du béton et qui sont jugés, par conséquent, pour être unesolution pour les régions où les granulats naturels font défaut et où une réductiondans le poids mort de structure peut être désirable.

La production des granulats recyclés s'est développée au début des années 80, elle répond au besoin d'une autre source de granulats et de la réduction des volumes de déchets. L'utilisation des granulats recyclés dans les bétons présente plusieurs avantages tant au niveau environnementale, humain, technologique et économique qui s'intéresse de plus en plus les industriels.

En outre, Les progrès des vingt dernières années dans le domaine de formulation ont conduit à une évolution notable du matériau béton. On peut même dire qu'il s'agit d'une véritable révolution offrant aux concepteurs et aux ingénieurs un produit de plus en plus performant et satisfaisant au critère d'économie en introduisant des nouveaux substances industrielles, ainsi la gamme s'est enrichie de nouveaux matériaux. Toutefois, pour construire des structures fiables et durables, il est nécessaire non seulement, de développer un béton de qualité, mais aussi d'assurer une mise en place correcte afin de répondre aux exigences demandées pour la mise en service de la structure. Le béton, dont la fabrication fait appel à des résidus industriels et des matériaux et technologies respectueux de l'environnement, constitue peut-être l'une des principales contributions de l'industrie de la construction pour réduire ses émissions de gazes à effet de serre.

Au cours des années, de nombreux progrès ont été apportés aux matériaux, et notamment auniveau de la formulation. L'utilisation de plus en plus croissante d'adjuvants de nature organique et/ou minérale a permis de modifier leurs propriétés rhéologiques. Un intérêt particulier se porte en ce moment sur les bétons fluides (autoplaçants, autonivellants ou pompés) qui se mettent en place sous l'effet leur propre poids. Néanmoins, l'arrivée de ces nouveaux matériaux s'est accompagné de nouveaux problèmes :

- Blocage de l'écoulement en conduite (écoulements bouchon).
- Problèmes de pression sur les parois des coffrages.
- Problèmes de redémarrage du pompage après un temps d'arrêt prolongé.
- Ségrégation.

C'est dans ce contexte, note étude a pour objective d'étudier l'effet d'incorporation des déchets de construction (béton et brique) dans la fabrication d'un béton de sable fluide.

Chapitre 02 :
Matériaux et essais

2.1. Introduction

Dans ce chapitre, on s'intéresse premièrement, à la présentation des matériaux de construction utilisés pour la confection des bétons de sable autoplaçants. Pour réaliser les déférents essais expérimentaux présentés par la suite, la formulation doit être définie avec le plus grand soin et les grandeurs caractéristiques sont classiques et bien connues à savoir :

La granularité ou le fuseau granulaire du squelette.

Les dosages en sable, ciment, filler, eau et l'adjuvant**.**

Les essais effectués au laboratoire de **Génie Civil de l'Université de Médéa** et celui du **Laboratoire MEZAAD ROAD** de Médéa au cours de cette étude sont les suivants :

2.1.1. L'état frais

- Essai d'étalement au mini cône,
- Essai d'écoulement à l'entonnoir en V (V-Funel test),
- Essai de la densité.

2.1.2. L'état durci

- Essai de compression sur l'éprouvette 4*4*16 cm^3 à l'âge de 7 et 28 jours ;
- Essai de variation dimensionnel (retrait et gonflement) ; sur des éprouvettes prismatiques 4*4*16 cm^3 à l'âge de 1, 2, 3, 7, 14, 21, 28 et 56 jours ;
- Essai d'absorption d'eau par capillarité sur des éprouvettes 4*4*16 cm^3 à l'âge de 28 jours ;

2.2. Caractérisation des matériaux utilisés

2.2.1. Le sable

Le sable utilisé dans cette étude est un sable de carrière d'OUED-SOUF,située à 600 Km au SUD-EST d'Algérie, sa classe granulaire est 0/3. La figure2.1 donne un aperçu sur la nature de ce sable utilisé. Les propriétés physiques sont représentées dans le tableau 2.1 ainsi sa courbe granulométrique est présentée au figure 2.2.

Les valeurs moyennes des masses volumiques apparentes montrent que le sable de dune est plus dense, la valeur du module de finesse confirme que le sable utilisé, est un sable moyen et les valeurs de l'équivalent de sable (selon la norme NF EN 933-8**[61]** mettent en évidence la propreté de ce sable (pauvres en éléments fins).



Figure 2.1. Sable d'Oued-Souf utilisé.

Tableau 2.1. Caractéristiques physiques des sables utilisés

Caractéristiques	**Sable**	**Norme**
Classe granulaire	**0/3**	NF EN 933-1 **[58]**
Module de finesse	2.25	
Masse volumique absolue (Kg/ m^3)	2.63	NF EN 1097-6 **[59]**
Masse volumique apparente (Kg/m^3)	1.56	NF EN 1097-3 **[60]**
La compacité (%)	59	
La porosité (%)	41	
Equivalent de sable (%)	70	NF EN 933-8 **[61]**
Coefficient d'absorption d'eau (%)	0.14	NF EN 1097-6 **[59]**

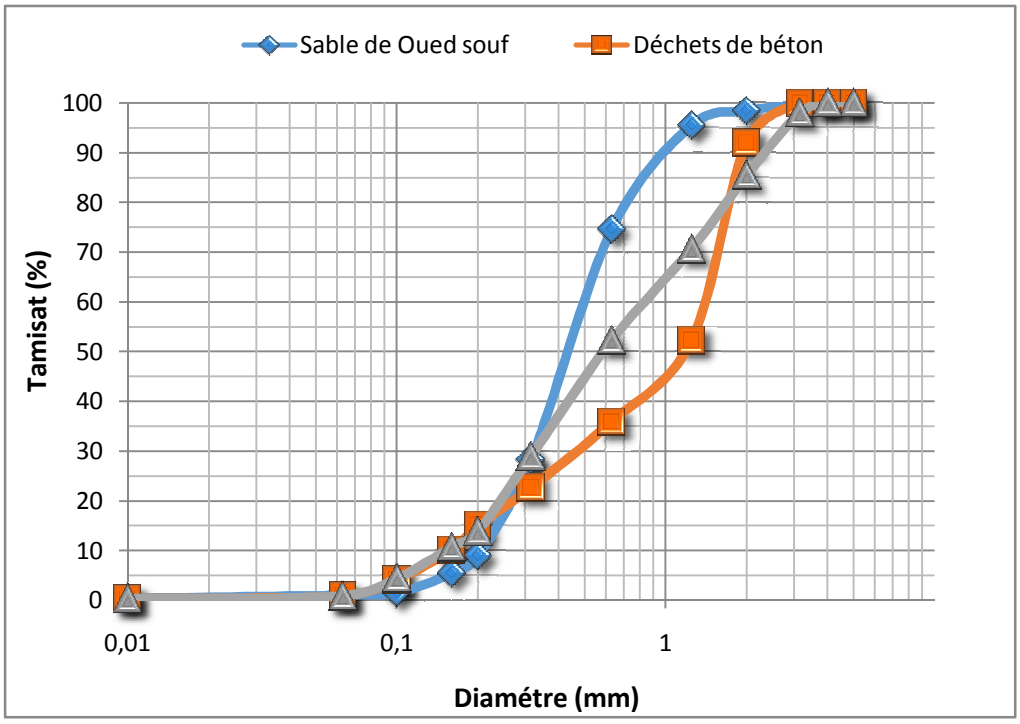


Figure 2.2. Courbe granulométrique du sable utilisée.

Le sable utilisé a été analysé aussi à l'aide d'une spectrophotométrie infrarouge, pour l'identification des différents groupements caractéristiques de la biomolécule.Le spectre obtenu sur le sable utilisé démontre que sa nature est calcaire **[62]** (Fig. 2.3).

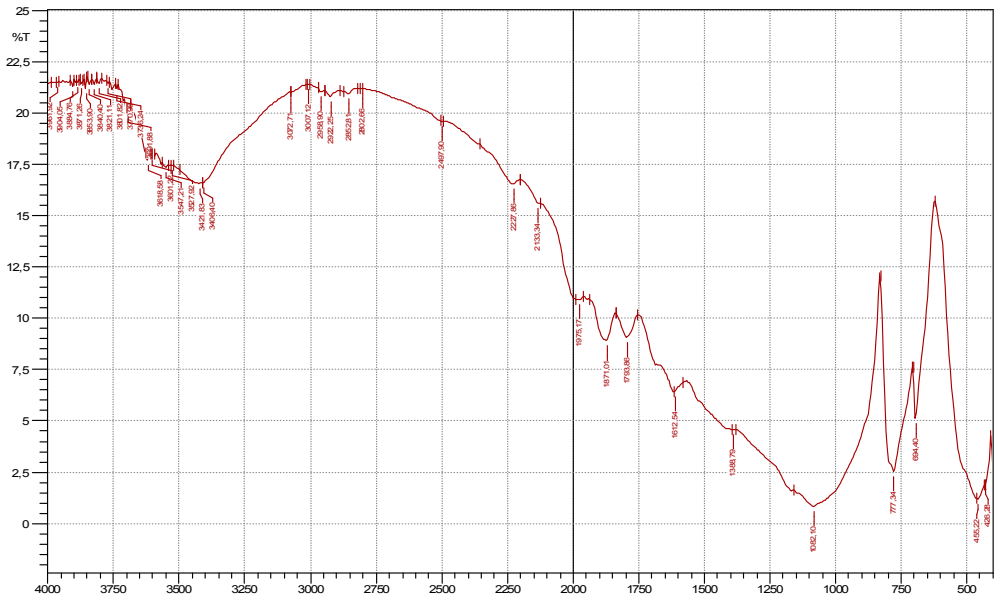


Figure 2.3. Courbe analyse chimique de sable utilisé (infrarouge) **[62]**.

2.2.2. Ciment

Le ciment utilisé dans cette étude est un ciment portland composé ''MATINE''CPJ-CEM II/A 42.5R (Fig. 2.4), produit par la cimenterie CIBA-LAFARGE à M'sila en Algérie dont l'ajout est le calcaire. Ce ciment (MATINE) est un ciment gris de hautes résistances initiales et finales, résultat de la mouture du clinker obtenu par cuisson jusqu'à la fusion partielle d'un mélange convenablement dosé et homogénéisé de calcaire et d'argile. Ce ciment est constitué d'oxydes minéraux dont les principaux sont la chaux (CaO) à fonction basique et la silice (SiO_2) à caractère acide. On trouve également l'aluminium (Al_2O_3) et le fer (Fe_2O_3). Ils sont rendus aptes à réagir entre eux et avec l'eau par traitement thermique à des températures comprises entre 1300 °C et 1500°C.En présence d'eau à lieu la réaction d'hydratation consistant en la formation d'un réseau résistant constitué principalement de microcristaux de silicates de calcium hydratés et de la portlandite.MATINE présente des performances mécaniques et des caractéristiques physicochimiques conformes à la norme NA 442 **[63],** et à la norme NF EN 197-1**[64].**



Figure 2.4. Le ciment MATINE utilisé.

2.2.2.1.Analyse chimique du ciment et composition hypothétique du clinker

Selon la fiche technique du ciment (Annexes 1). Le tableau 2.2, résume l'Analyse chimique du ciment et la composition hypothétique du clinker,

Tableau 2.2. Analyse chimique du ciment et composition du clinker **[62]**

Analyse chimique du ciment	Perte au feu (%)	7.00-9.50
	Résidus insolubles (%) (NA 5042)	1.50-3.00
	Teneur en sulfates SO3 (%) (NA 5042)	2.00-2.50
	Teneur en oxyde de magnésium MgO(%)	1.90-2.30
	Teneur en chlorures (%) (NA 5042)	0.01-0.03
Composition Hypothétique du Clinker	Silicates tricalciques C_3S (%)	58.00-64.00
	Aluminates tricalciques C_3A (%)	6.00-8.00

2.2.2.2.Essais physiques

- **La finesse**

La finesse du ciment influe d'une façon considérable sur la résistance mécanique, la consistance normale et le temps de prise. La finesse est déterminée par la surface spécifique de Blaine. Elle est calculée en fonction du temps à l'aide du perméabilimètre de Blaine d'après la norme NF EN 196-6**[65].**

- **La consistance normale**

C'est la quantité d'eau de gâchage qu'il faut ajouter à une quantité de ciment préalablement pesée pour obtenir une pâte dite normale, elle est mesurée à l'aide de l'appareil de Vicat d'après la norme NF EN 196-3**[66].**

- **Le temps de prise**

Le début et la fin de prise sont déterminés à l'aide de l'aiguille de Vicat sur une pâte de consistance normale placée dans un moule tronconique d'après la norme NF EN 196-3**[66].**

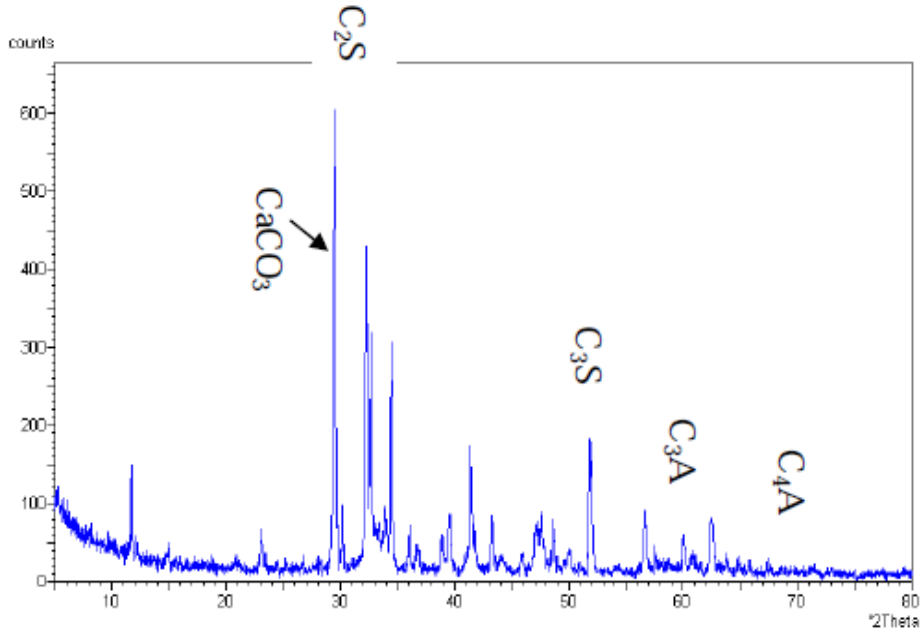


Figure 2.5. Diagramme de DRX appliqué sur le CEM II/B 42.5 MATINE **[62]**.

Le tableau 2.3résume les résultats des essais physiques sur le ciment utilisé.

Tableau 2.3. Caractéristiques physiques du ciment

Caractéristique	**Valeur**
Masse volumique absolue (g /cm^3)	0.99
Masse volumique apparent (g/cm^3)	3.04
Consistance normale de la pâte de ciment(%)	25.5-28.00
Prise - **Début de prise** - **Fin de prise**	 120-180 210-280
Classe de résistance(MPa)	≥ 42.5& 62.5
Retrait à 28 jours (µm/m)	< 1000
Finesse (BLAINE) (cm^2/g)	4300-4800
Expansion (mm)	0.50– 2.50

2.2.2.3.Essais mécaniques sur le ciment

Selon la fiche technique les essais mécaniques sur le ciment ont été effectués conformément à la norme NF EN 196-1 **[67]** sur des éprouvettes prismatiques 4x4x16 cm³ à raison de trois éprouvettes rapportées à la moyenne par âge. Le mortier utilisé est un mortier normalisé : 450 g de ciment, 1350 g de sable naturel et 225 g d'eau. Le tableau 2.4résume l'évolution de la résistance du ciment en fonction de l'âge.

Tableau2.4. Evolution de la résistance du ciment en fonction de l'âge

Ages (jour)	Résistance à la compression (MPa)
2	>20
28	≥42.5 et 62.5

2.2.3. Ajout (filler)

Les fillers sont un composant principal dans la formulation d'un béton de sable ainsi qu'un béton autoplaçant. Le filler utilisé pour formuler nos bétons de sable est du laitier granulé provient du complexe sidérurgique d'El-Hadjar. Il est fourni sous forme de grains sphériques de couleur grise jaunâtre(Fig.2.6). Rappelons que la poudre de Laitier sont les plus adaptés au béton et donnent de meilleures performances**.** Leur caractéristique physique est mentionnée dans le tableau.2.5.

Afin de pouvoir utiliser le laitier dans les différentes formulations du béton de sable autoplaçant (BSAP), nous avons procédé à leur étuvage à 50C° jusqu'à obtenir une masse constante et ceci dans le but de faciliter son broyage. Le matériau est ensuite broyé à une finesse comparable à celle du ciment (3500 cm2/g). Le broyage a été réalisé avec un broyeur à disque au niveau du Hall de Technologie de l'Université YAHIA Farés de Médéa (Fig. 2.7).

Tableau2.5. Caractéristiques physiques des fillers du laitier d'El Hadjar utilisés

Caractéristiques	Valeurs
La masse volumique apparente (Kg/m^3)	1.083
La masse volumique absolue (Kg/ m^3)	2.73
La finesse	3500



Figure 2.6. Le Laitier d'El Hadjar avant et après broyage.



Figure 2.7. Broyeur à disque utilisé.

2.2.4. Adjuvant

Pour assurer une ouvrabilité satisfaisante, on a employé un adjuvant chimique, de type superplastifiant haut réducteur d'eau à base de polycarboxylate d'éther formulé à base de polymère de synthèse combiné commercialise par la société GRANITEX sous le nom MEDAFLOW 30 (Fig. 2.8). De forme liquide ; de couleur brai clair ; d'un PH égal à 5-6, de densité 1,065 ± 0,015 et d'une teneur en chlore< 1g/l (voir fiche technique en annexe A).



Figure 2.8. Superplastifiant MEDAFLOW 30 utilisé.

2.2.5. Eau de gâchage

L'eau utilisée pour le gâchage de nos mélanges, est une eau potable de distribution de notre laboratoire (Fig. 2.9), exempte d'impuretés nuisibles au béton et conforme à la norme NF EN 1008 **[68]**. Et sans aucun traitement supplémentaire. Le PH mesuré régulièrement est voisin de 7,5.



Figure 2.9. L'eau utilisée.

2.2.6. Déchets de construction (béton et brique)

Les déchets utilisés dans notre étude proviennent de la récupération de déchets de construction. Il y a deux types : déchet de béton et déchet de brique (Fig. 2.10), rejeté dans la nature sous forme granulée. Après avoir récupérer, concasser et tamiser (au tamis de 3.15 mm), ces déchets sont ajoutés dans la masse du béton de sable auto plaçant par substitution volumique du sable avec des pourcentages de (5, 10, 15, 20et 25%) pour le cas de déchets de béton et (5,10et 15%) pour le cas de déchets de brique.

La granulométrie de ces déchets est représentée dans la figure.2.2, et leurs caractéristiques physiques

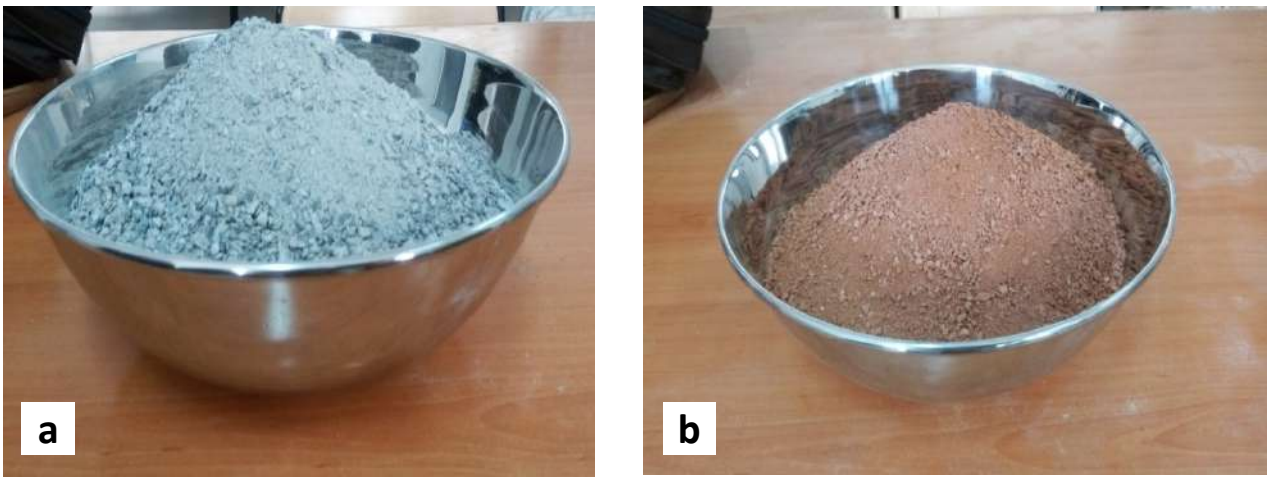


Figure 2.10. Déchet de construction après le concassage (a/ béton ; b/ brique).

Tableau 2.6. Caractéristiques physiques des granulats de béton et brique.

Caractéristiques	Déchet de béton	Déchet de brique
Masse volumique absolue (kg/m^3)	2.57	2.4
Masse volumique apparente (kg/m^3)	1.28	1.09
Module de finesse	3.04	2.52
La compacité (%)	49	45
La porosité (%)	51	55

2.3. Composition des mélanges

La composition du béton de sable auto plaçant pour la confection des éprouvettes est basée sur la méthode théorique SABLOCRETE 1994 **[69].** Les déchets de béton et brique sont incorporés dans la masse du béton de sable par substitution volumique du sable avec les pourcentages de 5, 10, 15, 20et 25%pour les déchets de béton et de 5,10 et 15% pour les déchets de brique.

Dans la première étape : on a essayé de formuler et d'optimiser la composition du béton de sable autoplaçant de référence pour avoir une formulation de base.

Dans la deuxième étape on a introduit les déchets de béton et de brique on substituant une masse du sable pour avoir l'effet de ces déchets sur les caractéristiques du béton de sable autoplaçant. Les tableaux 2.7 et 2.8 résument les différentes compositions du BSAP obtenus :

Tableau 2.7. Composition des bétons de sable autoplaçant à base de déchet de béton

Béton	Ciment (Kg /m^3)	Fillers de Laitier (Kg /m^3)	Sable (Kg /m^3)	Béton (Kg /m^3)	Eau (l /m^3)	Adj(Kg / m^3)
BSAPT	400	200	1400	0	240	6
BSAP 5%Be	400	200	1331.6	68.36	240.67	8.4
BSAP 10% Be	400	200	1263.28	136.72	241.35	9
BSAP 15% Be	400	200	1194.82	205.18	242.03	9.6
BSAP 20% Be	400	200	1126.4	273.6	242.7	11.4
BSAP 25% Be	400	200	1058.02	341.98	243.38	12

Tableau 2.8. Composition des bétons de sable autoplaçant à base de déchet de brique

Béton	Ciment (Kg /m^3)	Fillers de Laitier (Kg /m^3)	Sable (Kg /m^3)	Brique (Kg /m^3)	Eau (l/m^3)	Adj*(Kg/m^3)
BSAPT	400	200	1400	0	240	1
BSAP 5%Br	400	200	1336.16	63.84	241.26	9
BSAP 10%Br	400	200	1272.32	127.68	242.52	10.2
BSAP 15%Br	400	200	1208.4	191.61	243.79	11.4

(* % par rapport à la masse du liant)

Avec :

BSAPT : Béton de sable autoplaçant témoin.

BSAP Be : Béton de sable autoplaçant à base de déchet de béton.

BSAPBr: Béton de sable autoplaçant à base de déchet de brique.

2.4. Malaxage

Le malaxage de différents mélanges de béton de sable se fait en utilisant un malaxeur à mortier d'une capacité de 5 l (Fig. 2.11).Apres avoir calculé la quantité de chaque élément entrant dans la composition de chaque BSAP, on procède à un malaxage suivant la séquence présentée à la figure 2.12 et résumée comme suit :

- Malaxer à sec le ciment, granulat (sable, déchet de béton ou de brique) et filler du laitier afin d'homogénéiser le mélange pendant 30seconds (vitesse lente)
- Ajouter pendant 1 minute la première quantité d'eau (E1= 60% E_T).
- Ajouter pendant 1 minute le reste de l'eau (E240%E_T+Adj).
- Malaxer le mélange pendant 3 minutes (vitesse rapide)
- En laisse le mélange reposé 3minutes.
- Malaxer le mélange pendant 1minutes (vitesse rapide).



Figure 2.11. Le malaxeur à mortier utilisé.

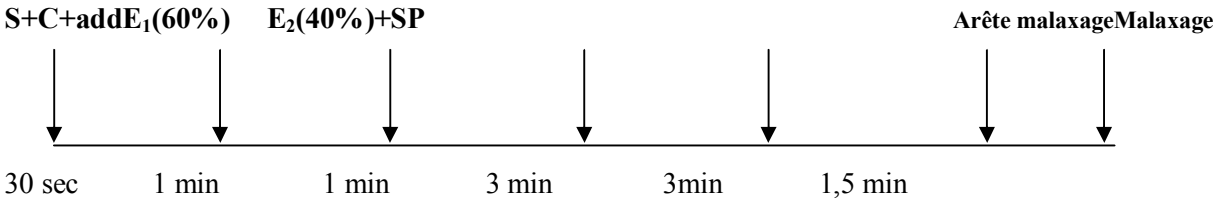


Figure 2.12.Séquence de malaxage du béton de sable autoplaçant.

2.5. Essais réalisés à l'état frais

Juste après le malaxage et afin de vérifier le caractère autoplaçant de nos mélanges, une série d'essais recommandés par Domone et Jim **[70]**, a été réalisé sur tous les mélanges à l'état frais. A savoir, l'essai d'étalement au mini cône (Flow test) et l'essai d'écoulement dans l'entonnoir en V (V-Funnel test), Comme caractéristique importante pour les bétons de sable, il est préconisé de savoir la densité pratique de chaque mélange à l'état frais.

Les différents essais réalisés sur le béton de sable auto plaçantà l'état frais sont résumés dans le tableau 2.9suivant.

Tableau 2.9. Essais sur bétons frais

Essais	Appareil	Nombre d'essais
Ouvrabilité	Etalement : Mini cône	12
	Temps d'écoulement – Entonnoir en V	12
Densité	Moule (1l) + balance	12

2.5.1. L'étalement au mini cône (Flow test)

L'essai d'étalement consiste à remplir un moule tronconique placé sur une surface horizontale lisse, une fois le moule soulève, le diamètre d'étalement du mortier est mesuré suivant deux directions perpendiculaires, la moyenne est retenu. La figure 2.13 montre les étapes de l'essai d'étalement au mini cône.



Figure 2.13. Mesure de l'étalement du béton de sable autoplaçant.

2.5.2. Temps d'écoulement à l'entonnoir en V (V-Funnel test)

Pour cet essai, un entonnoir en forme de V, équipé d'une trappe, est rempli de 1.1 litre de béton frais. La trappe est ouverte 10 secondes après le remplissage et le temps d'écoulement est calculé entre l'instant de l'ouverture de l'orifice de l'entonnoir et l'instant de l'apparition de la première lumière en regardant verticalement vers le bas de l'entonnoir(Fig. 2.14).



Figure 2.14. Essai d'écoulement à l'entonnoir en V.

2.5.3. La densité

La masse volumique du béton de sableà l'état frais a été mesurée selon la norme NF EN 12350-6 **[71]** (Fig. 2.15).



Figure 2.15. Mesure de la densité du béton de sable autoplaçant à l'état frais.

2.6. Préparation et conservation des éprouvettes

Les différents mélanges de bétons de sable autoplaçant, sont tous fabriqués dans l'environnement de laboratoire. Le béton a été coulé dans des moules métalliques de forme prismatiques 4x4x16 cm. Les éprouvettes confectionnées sont destinées aux différents essais à sur béton à l'état durci (compression, variation dimensionnelles et l'absorption d'eau par capillarité) (Fig. 2.16).



Figure2.16. Fabrication des éprouvettes.

Après la confection, toutes les éprouvettes ont été couvertes afin d'éviter le risque d'évaporation excessive et le retrait plastique. Après 24 heures de la confection, les éprouvettes ont été démoulées et conservées dans l'eau à 20°C ± 2°Cconformément à la norme NF EN 12390-2**[73]** (Fig. 2.17).



Figure 2.17. Conservation des éprouvettes.

2.7. Essais sur béton durci

Les essais effectués sur le béton durci sont résumés dans le tableau2.10 suivant.

Tableau 2.10. Essais sur bétons de sable durci

Essais	Appareil	Dimension d'éprouvette (cm)
Compression	La presse hydraulique	4x4x16
Retrait + gonflement	Réctaractométre	4x4x16
Variation massiques	Balance	4x4x16
Capacité d'absorption d'eau		

2.7.1. Résistance à la compression

La résistance à la compression a été mesurée selon la normeNF EN 196-1 **[67]**par compression axiale jusqu'à la rupture sous une vitesse de chargement constante des éprouvettes prismatiques de dimensions 4×4×16 cm^3, àl'âge de 7et 28 jours, à l'aide d'une presse hydraulique représentée par la figure 2.18.



Figure 2.18. Machine d'essai de compression.

La résistance à la compression est la moyenne des contraintes d'écrasement mesurées sur deux éprouvettes à chaque âge d'essai (7 et 28 jours). La contrainte est le rapport entre la charge de rupture et la section transversale de l'éprouvette correspondante (Fig. 2.19)**.**

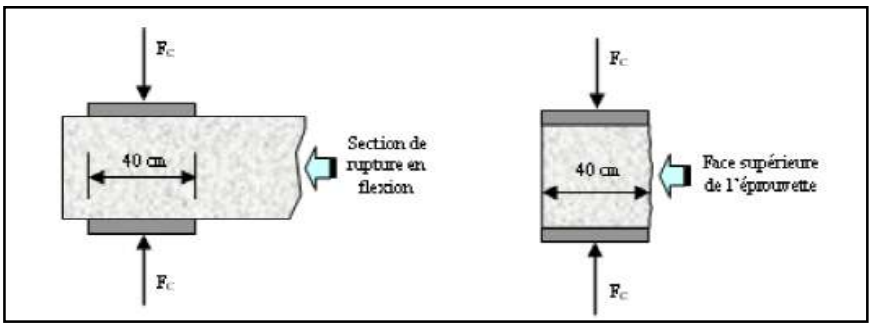


Figure 2.19. Principe de l'essai de compression.

La contrainte de rupture est calculée comme suit :

$$R_C = \frac{F_C}{b^2} \text{Equation 2.1}$$

$\mathbf{R_C}$: Résistance à la compression en (MPa) ;

$\mathbf{F_C}$: Charge de rupture en (N) ;

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

2.7.2. Retrait et gonflement

En absence de toute charge, le béton se déforme instantanément Ces déformation sont dues essentiellement à une perte d'eau de gâchage par évaporation, qui se traduit par un rétrécissement des éléments en béton. Le retrait dépend non seulement des conditions de conservation (humidité, température) mais dépend aussi des constituants du béton. Les mesures du retrait ont été effectués sur des éprouvettes prismatiques de 4*4*16cm conformément à la norme NF P15-433**[73]**.



Figure 2.20. Mesure des variations dimensionnelles par le rétractomètre.

Ces éprouvettes au nombre de trois par composition, sont après démoulage à 24 h, placées dans un réctractométre munis d'un comparateur qui permet la mesure du retrait et gonflement à tout moment à court et moyenne terme (Fig. 2.20). La conservation des éprouvettes est faite à l'aire libre dans le laboratoire à une température de 18 à 27°C pour la mesure de retrait et à l'eau pour la mesure de gonflement.

- **Mesure des variations de longueurs (retrait et gonflement)**

Au moment de la mesure, le comparateur est mis au zéro sur la tige étalon en Invar de longueur L = 160 mm. Soit dl(t) la valeur lue sur le comparateur au l'éprouvette a une longueur au temps considéré:

Equation 2.2 $$l = L + dl(t)$$

Soit l (t_0) la longueur de l'éprouvette au temps t_0 choisi d'origine. En général, cette origine est prise au moment du démoulage, 24 h après la confection des éprouvettes. La variation de longueur au temps t sera:

Equati $$\Delta l(t) = l(t) - l(t_0) = dl(t) - dl(t_0)$$

La variation relative de longueur est généralement désignée par ε et a pour expression:

$$\varepsilon(t) = \frac{\Delta l(t)}{L} = \frac{dl(t) - dl(t_0)}{L}$$

ΔL (t) est obtenu en faisant la moyenne sur les 3 éprouvettes issues du même moule. Lorsque les éprouvettes sont conservées dans l'air ΔL (t) est généralement négatif et l'on parle alors de retrait de l'éprouvette. Lorsque l'éprouvette est conservée dans l'eau, Δl(t) peut être positif: il y a alors gonflement).

Avec :

ΔL: Variation de longueur par apport à la longueur origine,

L0: Longueur de base, prise égale à 160mm.

2.7.3. Absorption d'eau par capillarité

Conformément à la norme NF EN 1015-18 **[74]**, l'essai consiste à mesurer la masse d'eau absorbée par une éprouvette de mortier autoplaçant préalablement conditionnée par un étuvage à 80°C jusqu'à poids constatant. A l'issue du sortir en étuvage, la surface latérale des éprouvette est alors enduite de résine (ou de papier aluminium autocollant) pour éviter l'évaporation latérale de l'eau absorbée durant l'essai, puis conservée environ 12 heures dans un dessiccateur à 20 ± 2°C pour permettre le durcissement complet de la résine.

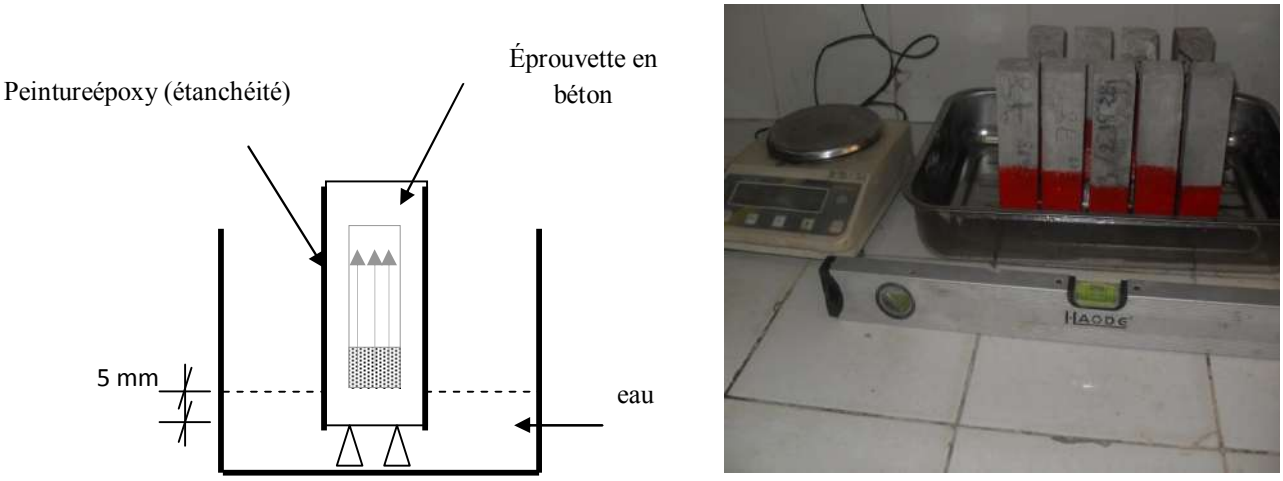


Fig.2.21.L'essai d'absorption d'eau par succion capillaire.

L'essai d'absorption capillaire est réalisé à la suite et consiste à suivre l'évolution de masse des éprouvettes plongées de 5 mm dans de l'eau (Fig. 2.22). L'augmentation de la masse de l'échantillon a été mesurée à intervalles de temps (0 min, 12 min, 30 min,1h,2h,4h et 24h) on procède à la pesée des morceaux (m_x). La différence de poids entre (m_i) et (m_0) est le poids de l'eau absorbée (m_i- m_0).

Le coefficient d'absorption capillaire ***Ca***est alors calculé par l'équation suivante :

$$Ca = \frac{Mi-M0}{M0} \times 100 \quad \text{Equation 2.6}$$

Où

Mi : masse de l'éprouvette à une échéance donnée (kg),

M_0 : masse initiale de l'éprouvette (kg),

A : section de l'éprouvette (m^2).

2.8. Conclusion

Afin de mettre en évidence les effets des déchets de construction (béton et brique) sur les propriétés des bétons de sable autoplaçants à l'état frais et durci, une caractérisation complète des matériaux et une mise en place de procédures expérimentales s'est avérée nécessaire. La première partie de ce chapitre a été consacré à cet effet, dans lequel, nous avons exposé les différents matériaux utilisés pour la formulation de nos BSAP ainsi que leurs propriétés physico-chimiques. Il a été en deuxième étape exposé la méthode de formulation et la séquence de malaxage des différents mélanges étudiés, ainsi une présentation des essais nécessaires pour la vérification et la caractérisation des BSAP à l'état frais et durci.

L'organigramme présenté sur la figure 2.23 suivante résume les variables d'étude expérimentale réalisée au laboratoire. Les différents matériaux utilisés, les essais réalisés et les différentes compositions obtenues sont présentés.

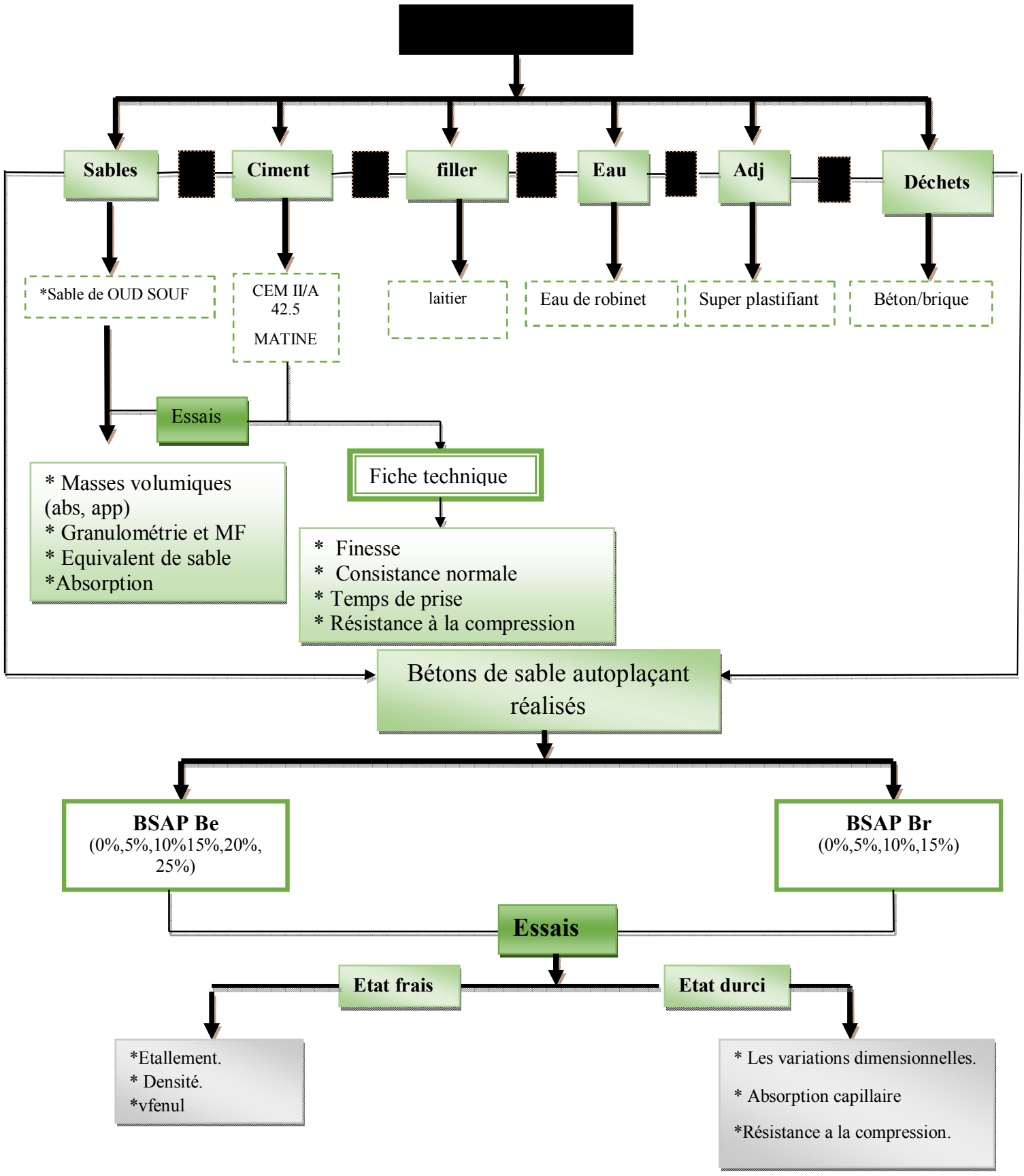


Figure 2.22. Variables étudiées.

Chapitre 03 :
Résultats et interprétations

3.1. Introduction

L'objet du présent chapitre est de mettre en évidence les caractéristiques d'ouvrabilité, mécaniques et les propriétés de durabilité des bétons formulés. Ces propriétés sont aujourd'hui des critères incontournables pour valider la valorisation d'un sous-produit ou déchets dans le domaine des matériaux de construction.

L'étude expérimentale a pour objet, d'étudier l'effet de déchets de construction sur le comportement à l'état frais et durci d'un béton de sable autoplaçant. A cet effet, nous visons à testerles différents mélanges réalisés par l'essai d'étalement au mini cône et l'essai d'écoulement à l'entonnoir en V (V – Funnel) à l'état frais afin de vérifier leur autoplacance. Ainsi que leur densité à l'état frais afin d'assurer leur nature de béton de sable. Nous étudions par la suite, les caractéristiques des différents mélanges à l'état durci afin de savoir l'effet de déchet de construction (béton et brique) à travers l'essai de compression, d'absorption d'eau par capillarité et de variation dimensionnelle (retrait et gonflement).

Les résultats expérimentaux obtenus dans cette étude sont présentés et discutés ci-après. Les valeurs données sont les moyennes arithmétiques des trois résultats d'essais.

3.2. Caractérisation des BSAP à l'état frais

Lors de la formulation, la caractérisation des différents mélanges à l'état frais est nécessaire. Cela consiste à connaître son comportement à l'état frais à partir des tests empiriques conçus spécifiquement pour évaluer le caractère autoplaçant. Évidemment, un béton est qualifié d'autoplaçant, non pas par rapport à sa composition, mais parce qu'il possède certaines propriétés à l'état frais, la capacité de remplissage, la capacité de passage et la résistance à la ségrégation.

Pour ce qui s'en suit, et pouvoir comparer les résultats obtenus à l'état durci, on a varié la quantité d'adjuvant pour obtenir un étalement constant de 28 cm et un temps d'écoulement entre 2 et 10 sec pour tous les bétons de sable autoplaçants.

Les différents pourcentages du besoin en adjuvant pour les différents bétons de sable autoplaçants réalisés dans cette étude sont présentés sur les figures 3.1 et 3.2 suivantes.

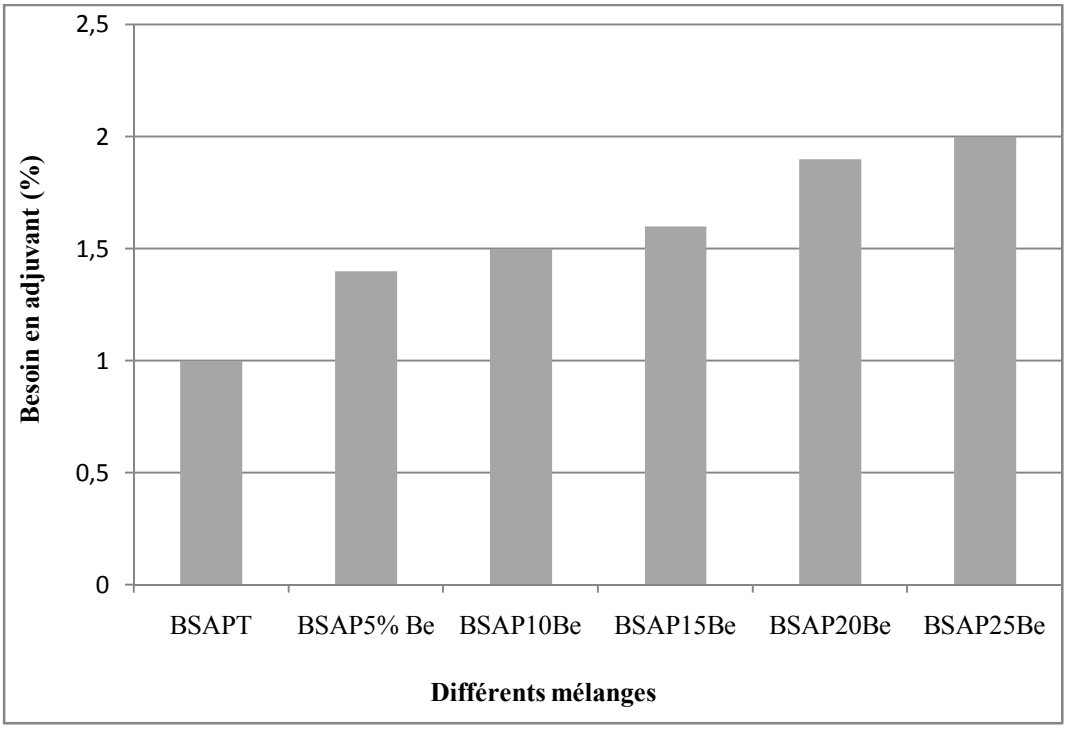


Figure 3.1. Besoin en adjuvant en % pour les différents BSAP à base de déchets de béton.

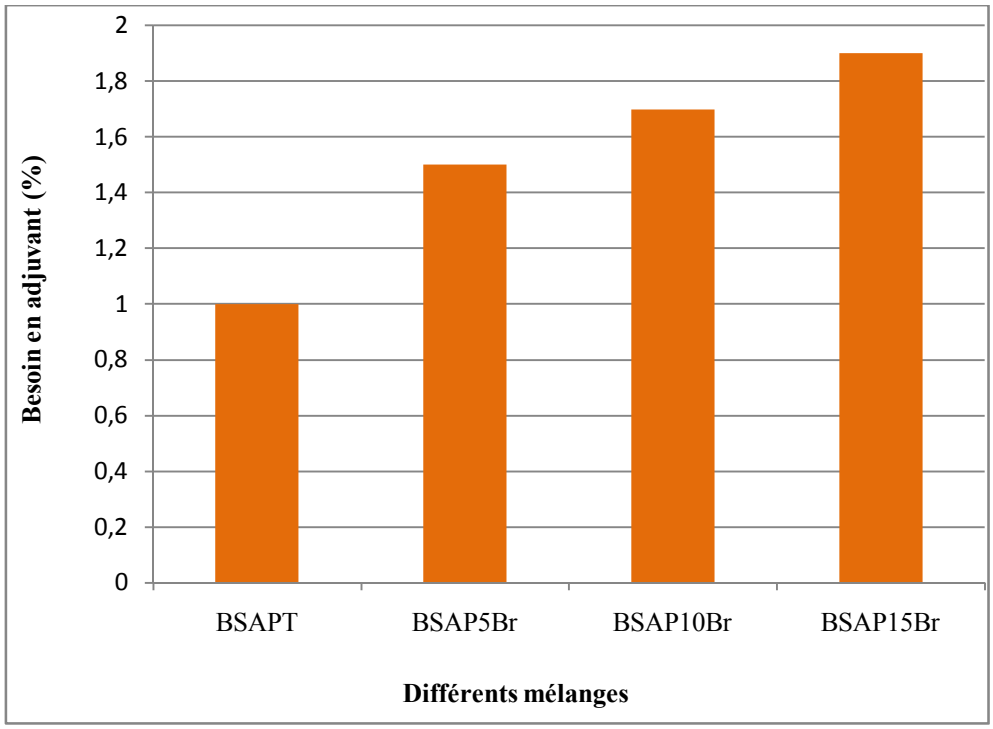


Figure 3.2. Besoin en adjuvant en % pour les différents BSAP à base de déchets de brique.

On remarque des figures 3.1 et 3.2, que la demande en adjuvant des mélanges à base de déchets de béton et de brique, augment avec l'augmentation du pourcentage de déchets dans le béton. Cette augmentation et est de l'ordre de double pour le cas du béton à base de 25% de déchet de béton et ceux du béton à base de 15% de déchet de brique comparativement au béton témoin. Donc, on peut dire que l'incorporation des déchets de construction (béton et brique) comme sable dans la production de béton, influent négativement sur l'ouvrabilité de ce dernier. Ceci est bien confirmé par les résultats trouvés par plusieurs chercheures **[20, 21, 31]**.

Cette diminution en ouvrabilité est semblée être due au taux d'absorption élevé des déchets des deux déchets de construction incorporés (déchet de béton et déchet de brique). En plus de la forme irrégulière de ses grains.

3.2.1 Diamètre d'étalement au mini cône

Les diamètres d'étalement obtenus pour les différents bétons de sable autouplaçant à base de déchet de béton et brique sont représentés dans les figures 3.3 et 3.4 suivantes.

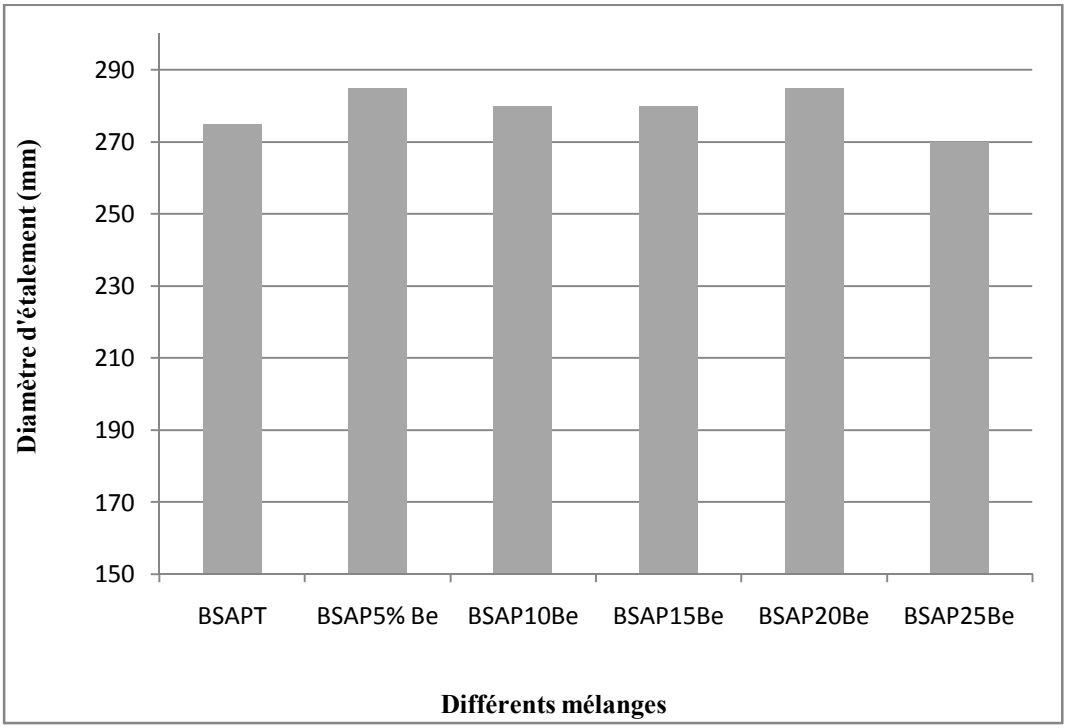


Figure 3.3. Diamètre d'étalement des BSAP à base de déchets de béton.

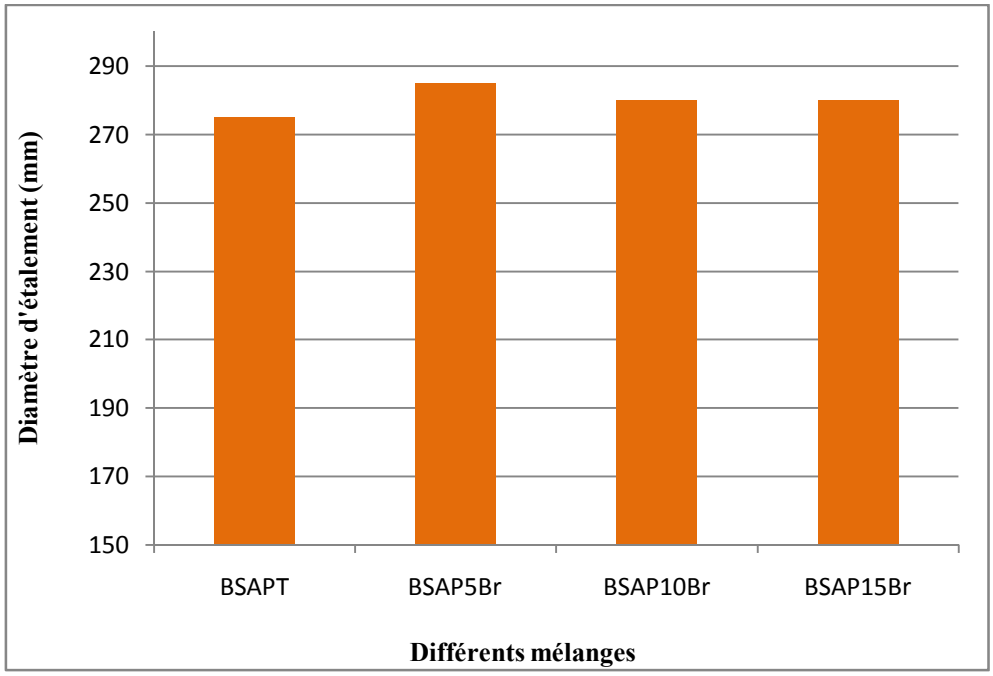


Figure 3.4. Etalement des BSAP à base de déchets de brique.

3.2.2. Temps d'écoulement dans l'entonnoir en V

La mesure du temps d'écoulement des différents BSAP à base de déchets de béton et brique obtenus est représentée dans les figures 3.5 et 3.6 suivantes.

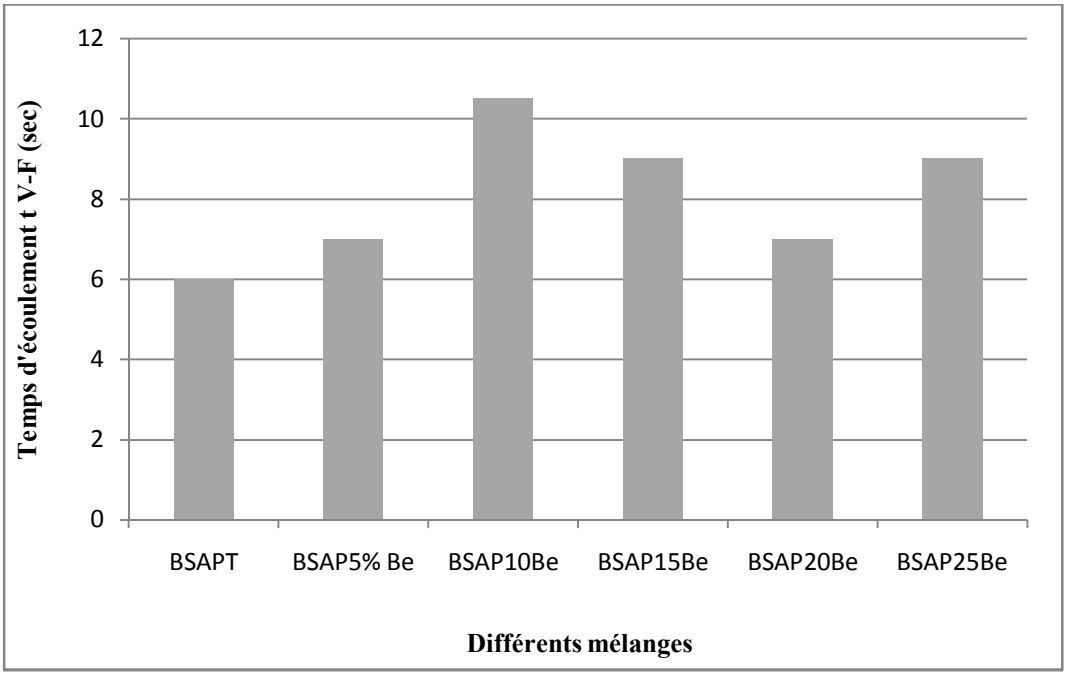


Figure 3.5. Temps d'écoulement des BSAP à base de déchets de béton.

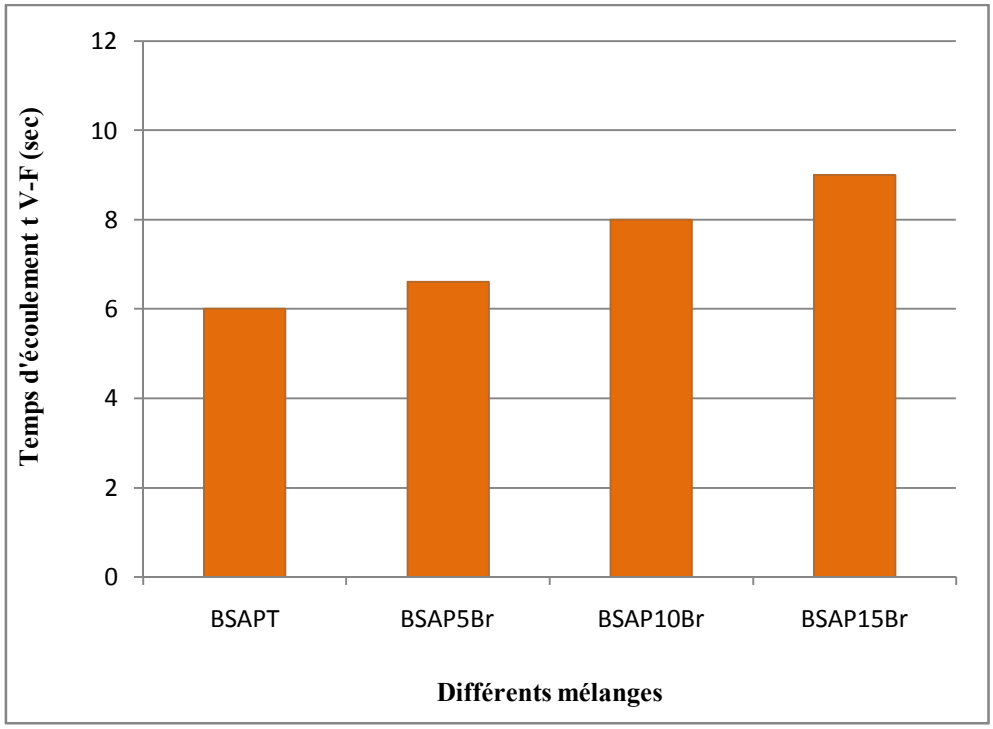


Figure 3.6.Temps d'écoulement des BSAP à base de déchets de brique.

D'après les figures ci-dessus, on remarque que le temps d'écoulement des bétons de sable autouplaçant varie en fonction de pourcentage de substitution du sable par le déchet de béton ou de brique. On constate aussi, que plus le pourcentage dedéchets augmente, plus le temps d'écoulement augmente.Cette augmentation est liée à la forme anguleuse des deux déchets incorporés (béton et brique) qui jouent un rôle d'obstacle.

D'âpres les résultats d'étalement des différents BSAP, qui sont présenté sur les figures 3.3 et 3.4, et ceux du temps d'écoulement présentés sur la figure 3.5 et 3.6, on remarque que tous les les mélanges ont des valeurs d'étalement et temps d'écoulement qui s'inscrivent dans le domaine des mortiers autoplaçants (D ≈ 28 cm et 6< t <10 sec). Nous pouvons conclure que les compositions choisies assurent une bonne fluidité des bétons quel que soit l'addition incorporée

3.2.3. Densité

La densité des différents bétons de sable autoplaçant à base de déchets de béton et brique obtenus est représentée dans les figure 3.7 et 3.8 suivantes.

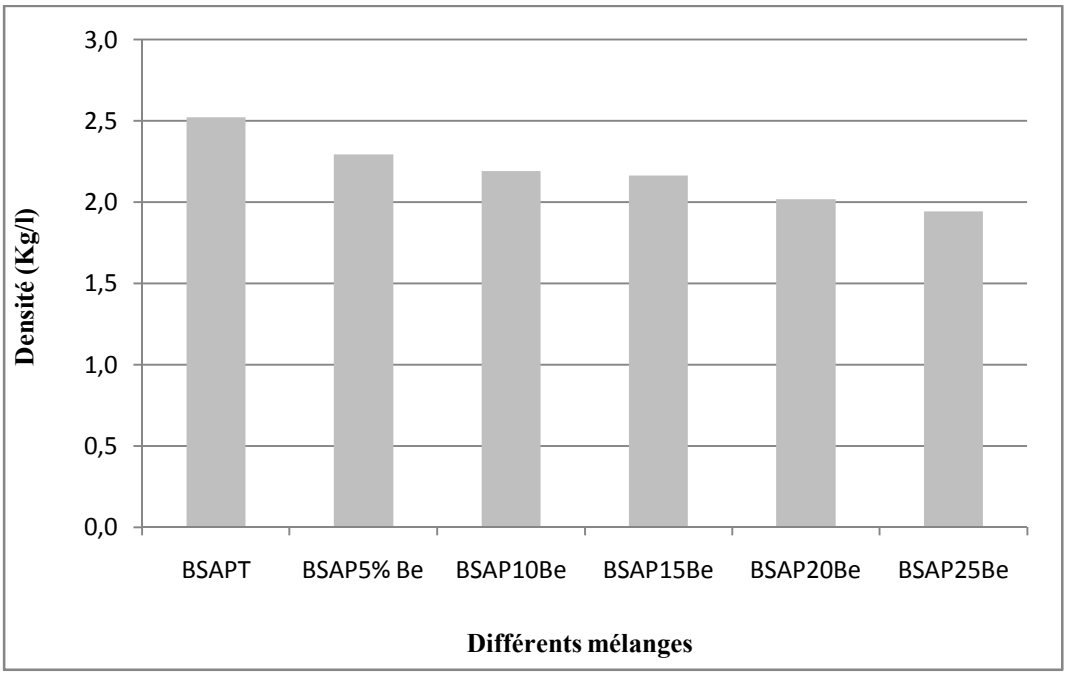


Figure 3.7. Densité des BSAP à base de déchets de béton.

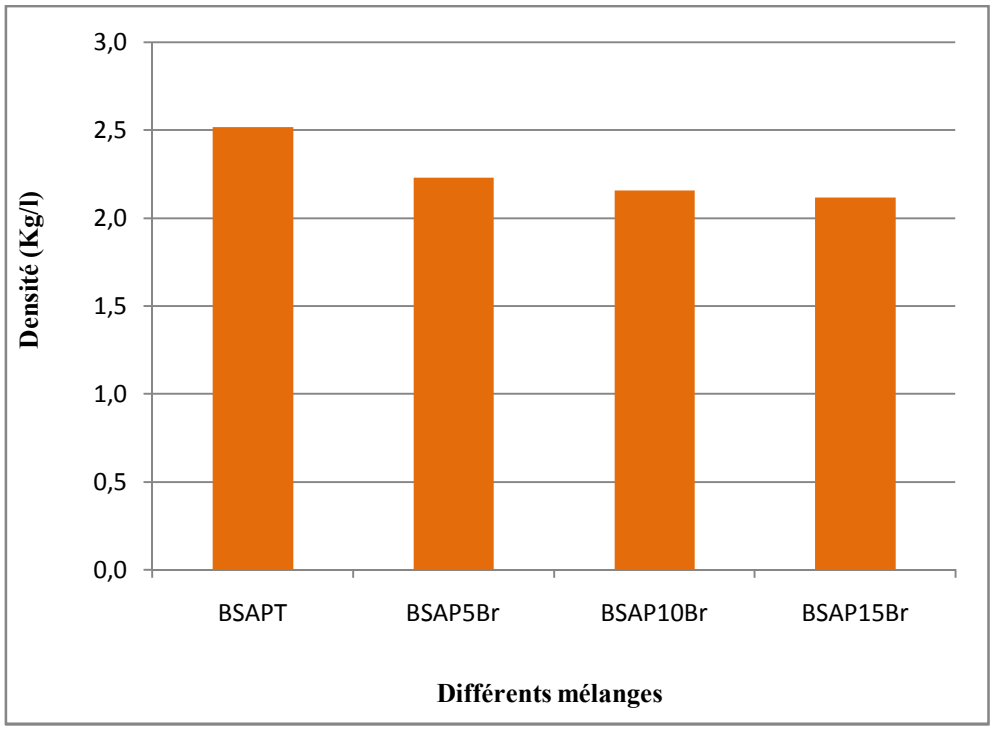


Figure 3.8. Densité des BSAP à base de déchets de brique.

D'après la figure précédente on remarque que la densité de béton à base de déchets de béton et de brique est diminuée en fonction d'augmentation de pourcentage de déchets de béton et de brique. Ceci est dû aux densités des deux déchets incorporés (béton :2.57 g/cm^3 et brique :2.40 g/cm^3), qui sont inférieures à celle du sable naturel substitué (2.63 g/cm^3).

3.3. Caractérisation des BSAP à l'état durci

De la même façon que le béton de sable frais, les résultats des différents essais réalisés sur les bétons de sable durcis sont résumés ci-après.

3.3.1. Résistances à la compression

3.3.1.1. BSAP à base de déchet de béton

Les résultats de résistance à la compression des bétons sable autoplaçants à base de déchet de béton obtenus sont illustrés dans les figures 3.9, 3.10 et 3.11suivantes. Pour chaque essai, les résultats sont la moyenne de trois mesures prises sur des éprouvettes de 4x4x16cm^3 à l'âge de 7 et 28 jours.

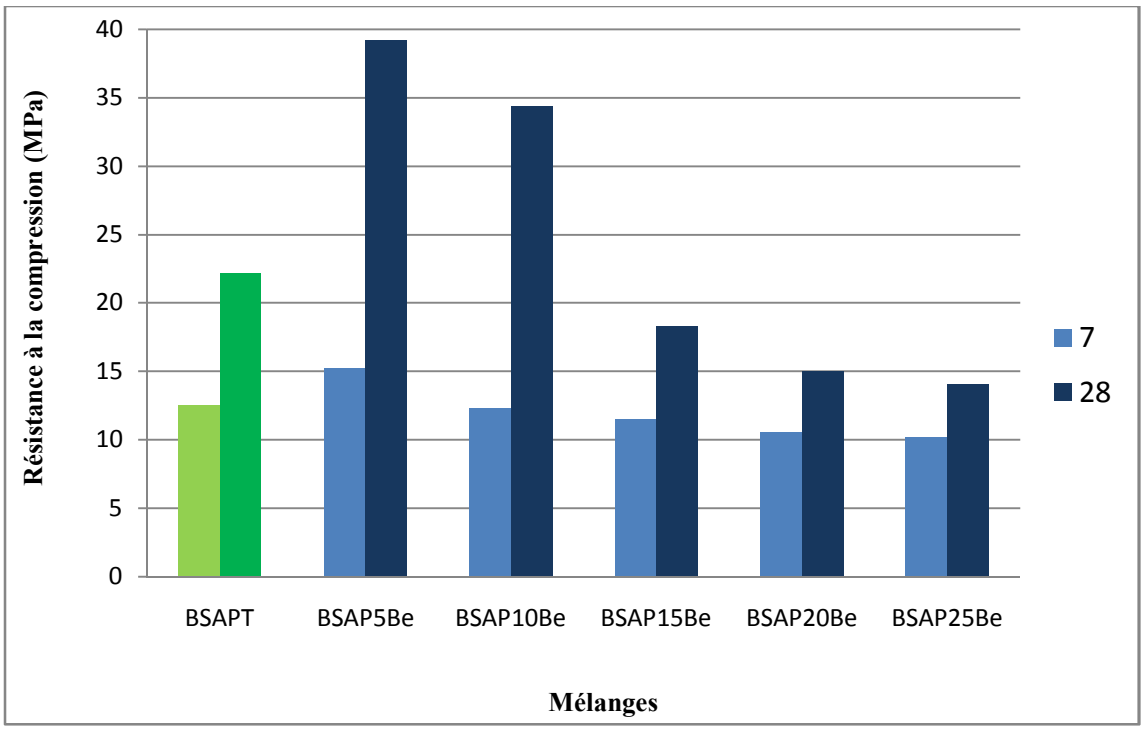


Figure 3.9.Résistance à la compression des BSAP à base de déchets de béton à 7 et 28 jours.

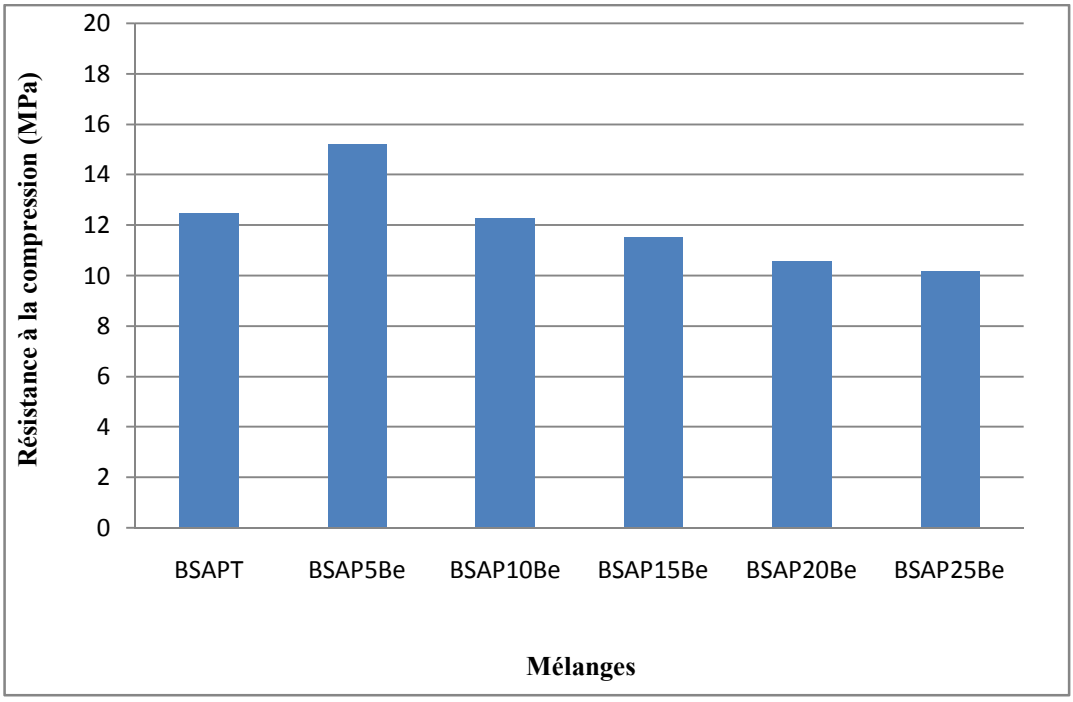


Figure 3.10.Résistance à la compression des BSAP à base de déchets de béton à 7 jours.

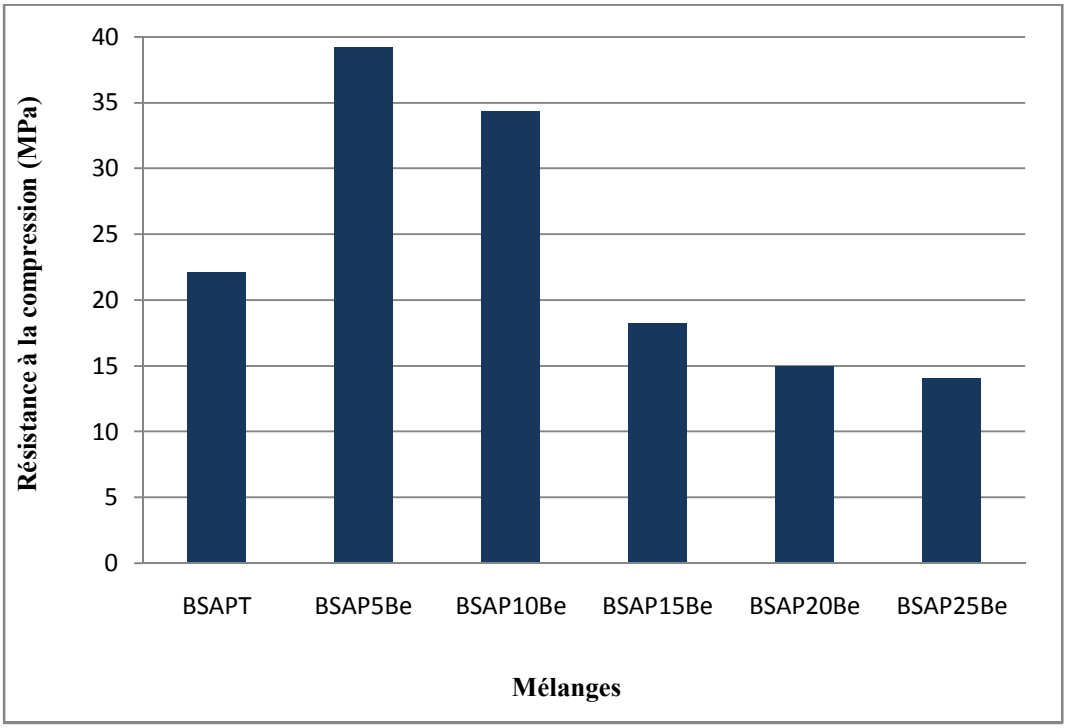


Figure 3.11.Résistance à la compression des BSAP à base de déchets de béton à 28 jours.

Les résultats obtenus montrent que la résistance à la compression des différents bétons de sable fluide augmente en fonction de l'âge et suit la même cinétique que celle du béton de sable fluide de référence.

On remarque d'après ces figures, que quel que soit l'âge des mélanges, la résistance à la compression augmente avec la substitution du sable par les déchets de béton jusqu'à un pourcentage de 10% de ce dernier. Au-delà de ce taux de substitution, une diminution des résistances a été observée pour tous les mélanges avec l'augmentation du taux de remplacement du sable par le déchet de béton.

On remarque aussi que les meilleures résistances ont été trouvées pour les BSAP contenant 5% du déchet de béton, avec une résistance de 40 MPa à l'âge de 28 jours. Une augmentation de 20% et 77% a été observée pour les BSAP5Be par rapport au BSAPT à l'âge de 7 et 28 jours respectivement.

On peut dire aussi, d'après ces résultats, qu'on peut fabriquer un béton de sable fluide de bonne caractéristiques mécaniques et une résistance à l'âge de 28 jours d'environ de 35 MAP, on remplaçant 10% du sable naturel par les déchets de béton.

3.3.1.2. BSAP à base de déchet de brique

Les résultats de résistance à la compression des bétons sable autoplaçants à base de déchet de brique obtenus sont illustrés dans les figures 3.12, 3.13 et 3.14 suivantes. Pour chaque essai, les résultats sont la moyenne de trois mesures prises sur des éprouvettes de $4x4x16cm^3$ à l'âge de 7 et 28 jours.

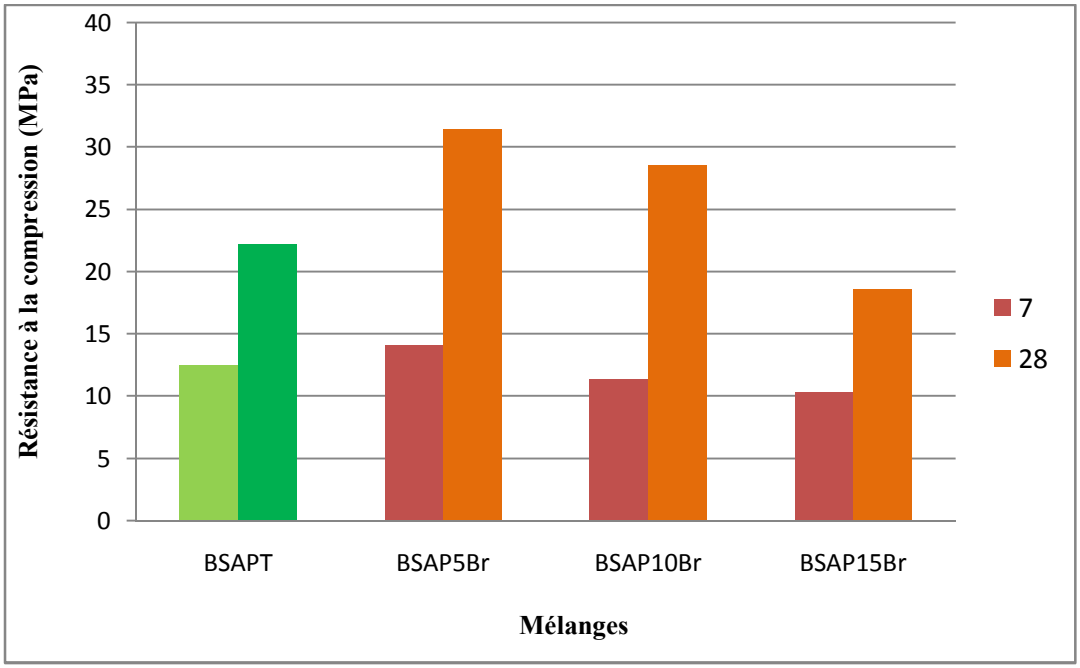


Figure 3.12. Résistance à la compression des BSAP à base de déchets de brique à 7 et 28.

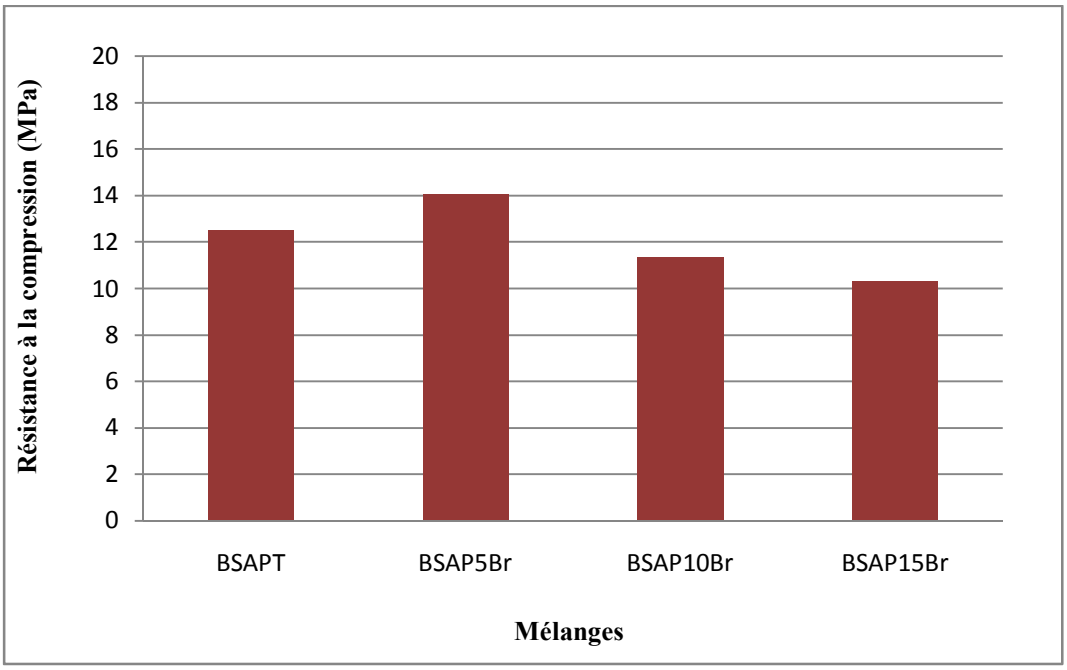


Figure 3.13. Résistance à la compression des BSAP à base de déchets de brique à 7 jours.

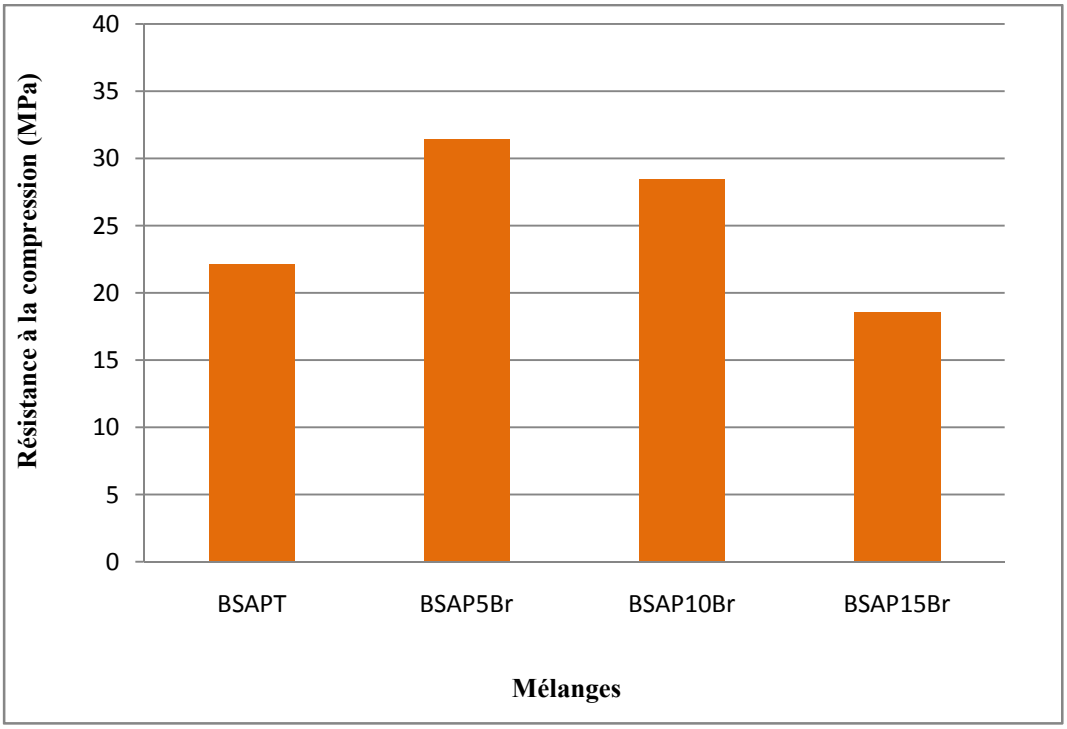


Figure 3.14. Résistance à la compression des BSAP à base de déchets de brique à 28 jours.

Les résultats obtenus montrent que la résistance à la compression des différents bétons de sable fluide augmente en fonction de l'âge et suit la même cinétique que celle du béton de sable fluide de référence. Les figures ci-dessus montrent que la résistance à la compression argumente en fonction de substitution de du sable par les déchets de brique jusqu'à un pourcentage de 10% de ce dernier. Au-delà de ce taux de substitution, une diminution des résistances a été observée pour tous les mélanges avec l'augmentation du taux de remplacement du sable par le déchet de brique.

On remarque aussi que les meilleures résistances ont été trouvées pour les BSAP contenant 5% du déchet de brique, avec une résistance de 32 MPa à l'âge de 28 jours. Une augmentation de 16% et 45% a été observée pour les BSAP5Br par rapport au BSAPT à l'âge de 7 et 28 jours respectivement. Ces résultats confirment ceux trouvés par Aoini et Masri **[7]**.

On peut dire aussi, d'après ces résultats, qu'on peut fabriquer un béton de sable fluide de bonne caractéristiques mécaniques et une résistance à l'âge de 28 jours d'environ de 30 MAP, on remplaçant 10% du sable naturel par les déchets de brique.

3.3.2. Absorption capillaire

3.3.2.1. BSAP à base de déchet de béton

Les résultats d'absorption d'eau par capillarité des différents bétons de sable fluide à base de déchets de béton réalisés, sont illustrés dans la figure 3.15 suivante.

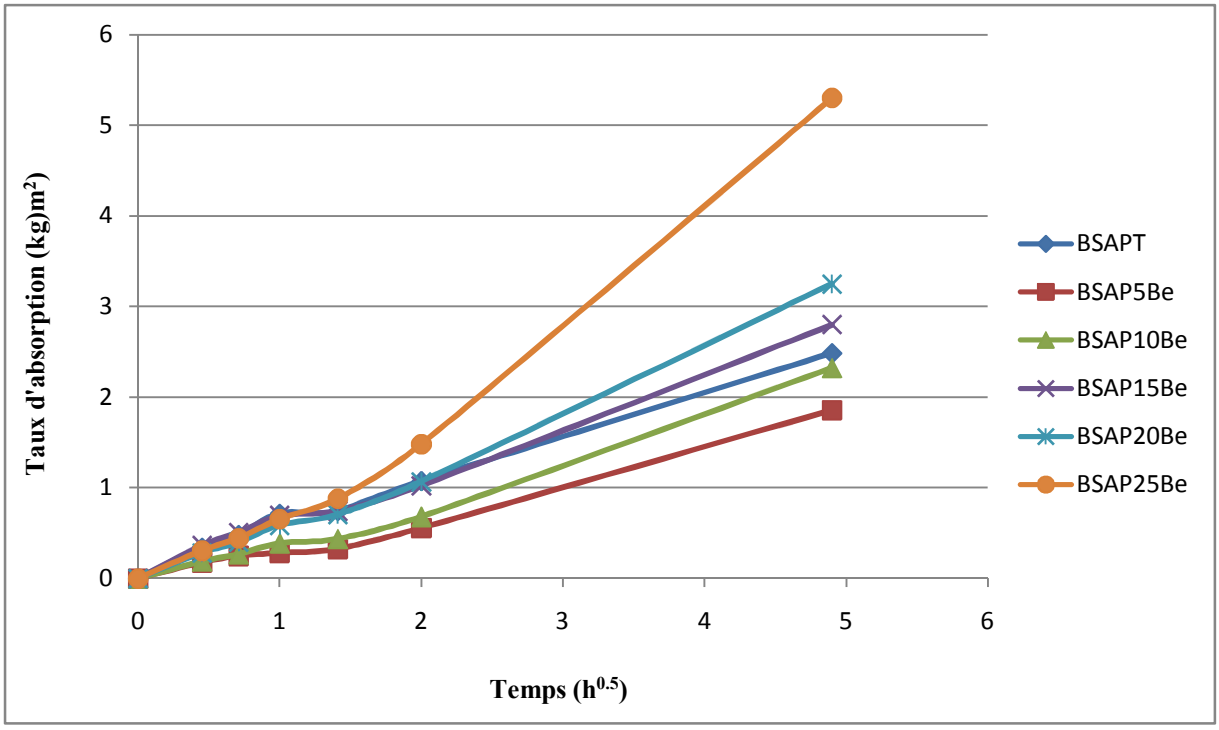


Figure 3.15. Absorption capillaire des BSAP à base de déchets de béton.

A partir des résultats de la figure 3.17, on remarque que les BSAP à base de 5 et 10% de déchets de béton, absorbent moins d'eau que le BSAPT. Mais, au-delà de 10% en déchet tous les mélanges présentent un taux d'absorption plus élevé par rapport au BSAPT. On remarque aussi que plus on augmente le taux de substitution du sable par le déchet de béton, plus le taux d'absorption d'eau augmente. On peut dire qu'un remplacement de 10% du sable naturel par les déchets de béton, contribue à l'amélioration de la compacité du mélange. Et par conséquent une diminution de l'absorption d'eau par capillarité est constatée.

3.3.2.2. BSAP à base de déchet de brique

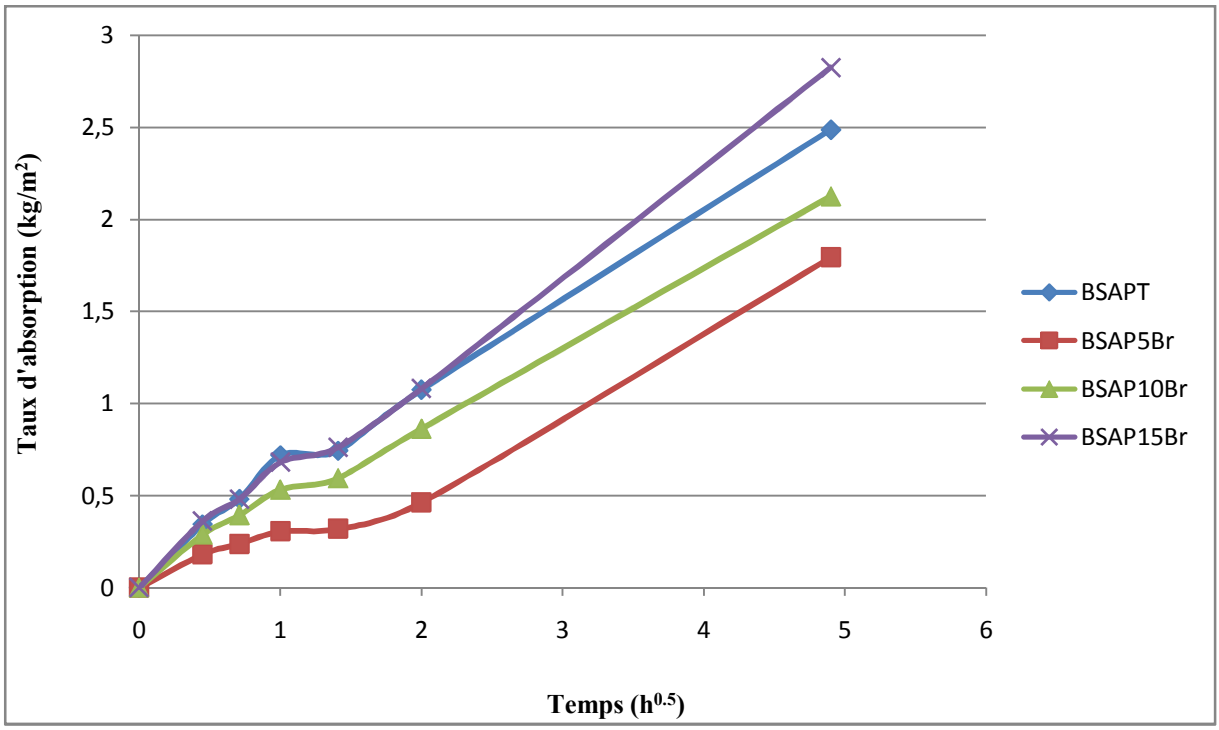


Figure 3.16. Absorption capillaire des BSAP à base de déchets de brique.

A partir des résultats de la figure 3.18, on remarque que les BSAP à base de 5 et 10% de déchets de brique, absorbent moins d'eau que le BSAPT. Mais, au-delà de 10% en déchet, tous les mélanges présentent un taux d'absorption plus élevé par rapport au BSAPT. On remarque aussi que plus on augmente le taux de substitution du sable par le déchet de brique, plus le taux d'absorption d'eau augmente. On peut dire qu'un remplacement de 10% du sable naturel par les déchets de brique, contribue à l'amélioration de la compacité du mélange. Et par conséquent une diminution de l'absorption d'eau par capillarité est constatée.

3.3.3. Retrait

Les résultats du retrait des différents bétons de sable autoplaçant à base de déchet de béton et de brique obtenus, sont représentés dans les figures 3.19 et 3.20 suivantes.

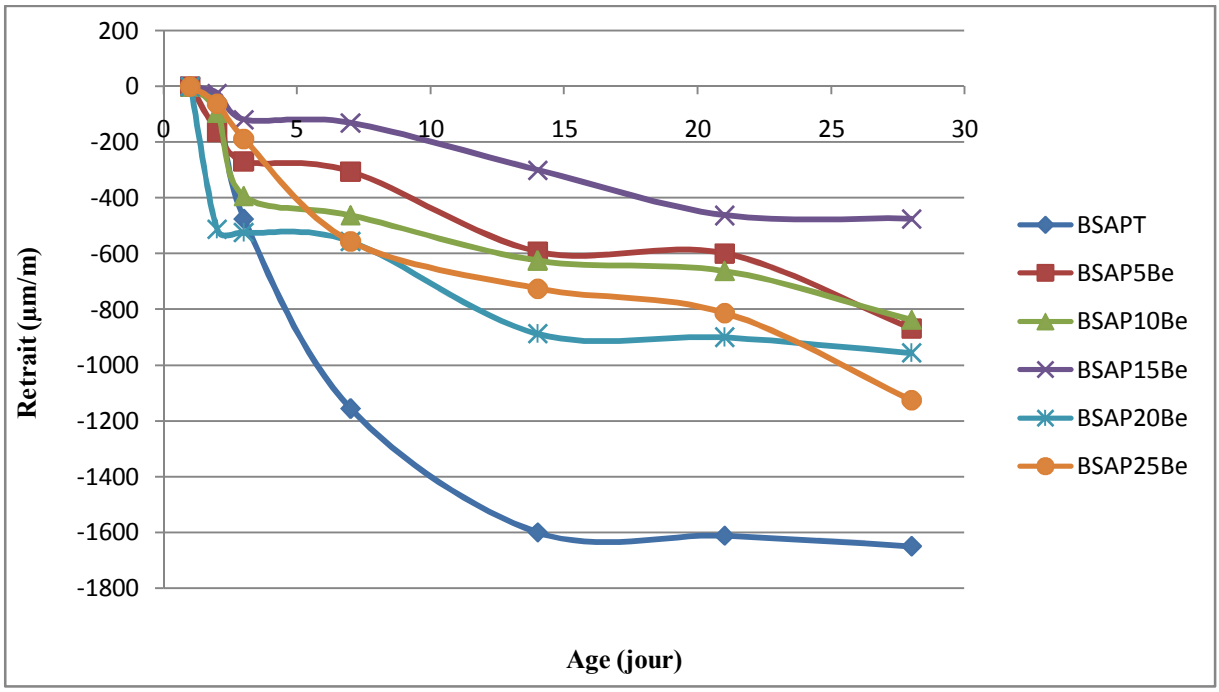


Figure 3.17. Retrait des BSAP à base de déchets de béton.

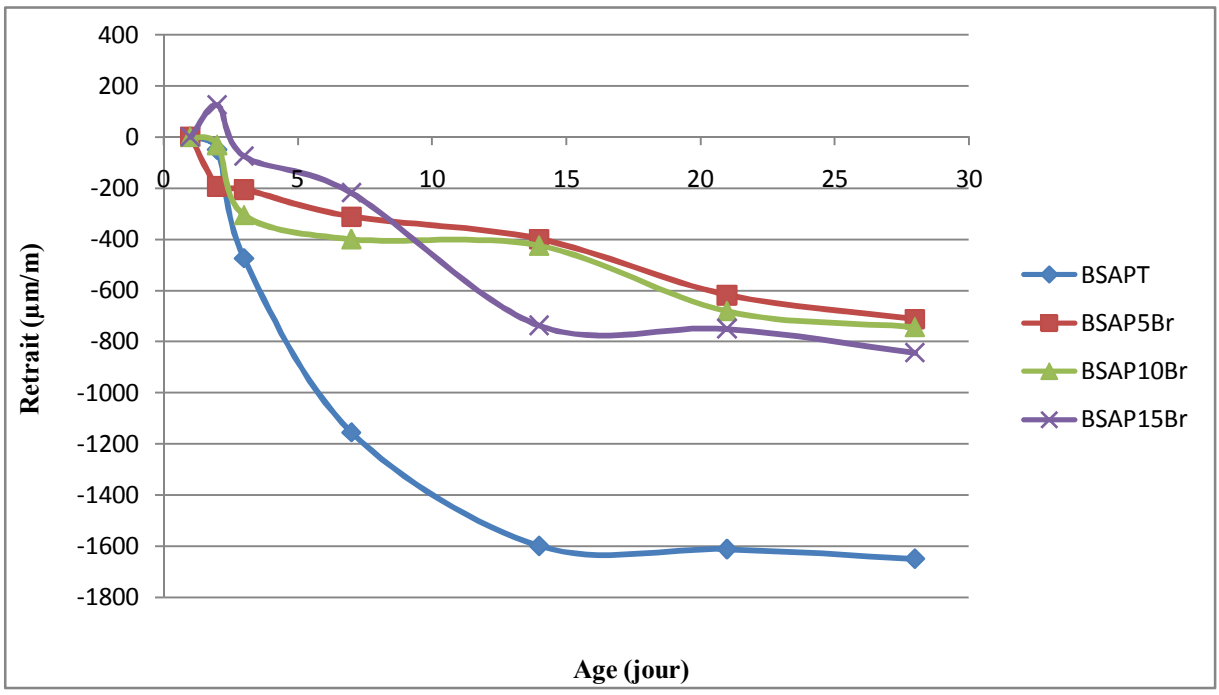


Figure 3.18. Retrait des BSAP à base de déchets de brique.

Nous pouvons remarquer clairement à partir des deux figures précédentes, que le retrait de béton de sable autoplaçant à base de déchets de construction (béton et brique), est nettement moins important que celui du béton de sable autouplaçant de référence. Cependant ces valeurs du retrait sont acceptables pour divers usages de béton structural.

3.3.4. Gonflement

Les résultats du gonflement des différents bétons de sable autoplaçant à base de déchet de béton et de brique obtenus, sont représentés dans les figures 3.21 et 3.22 suivantes.

Du même que pour le cas du retrait, d'après les figures ci-dessus, on remarque que les valeurs retrait du gonflement du béton de sable autoplaçant à base de déchets de construction (béton et brique), est nettement moins important que celui du béton de sable autoplaçant de référence. Et plus en augment le % du déchet dans le béton, le gonflement augment, mais il reste toujours inférieur que pour le cas du BSAPT.

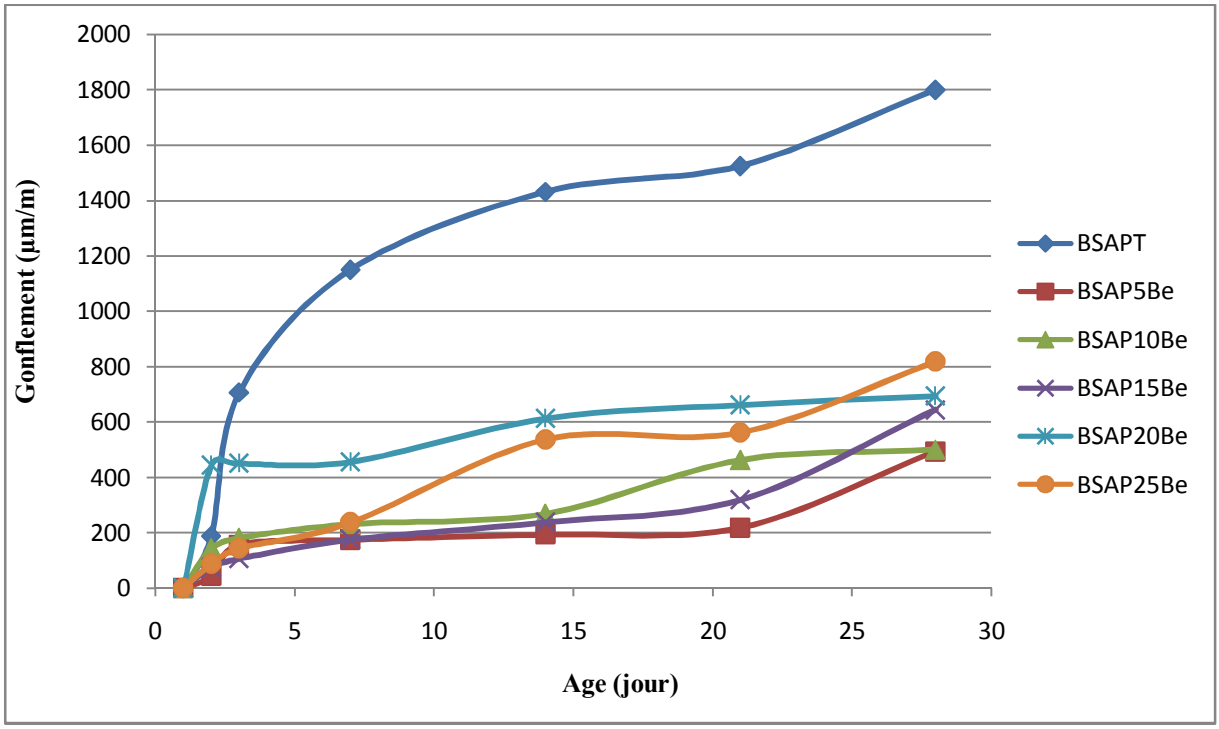


Figure 3.19. Gonflement des BSAP à base de déchets de béton.

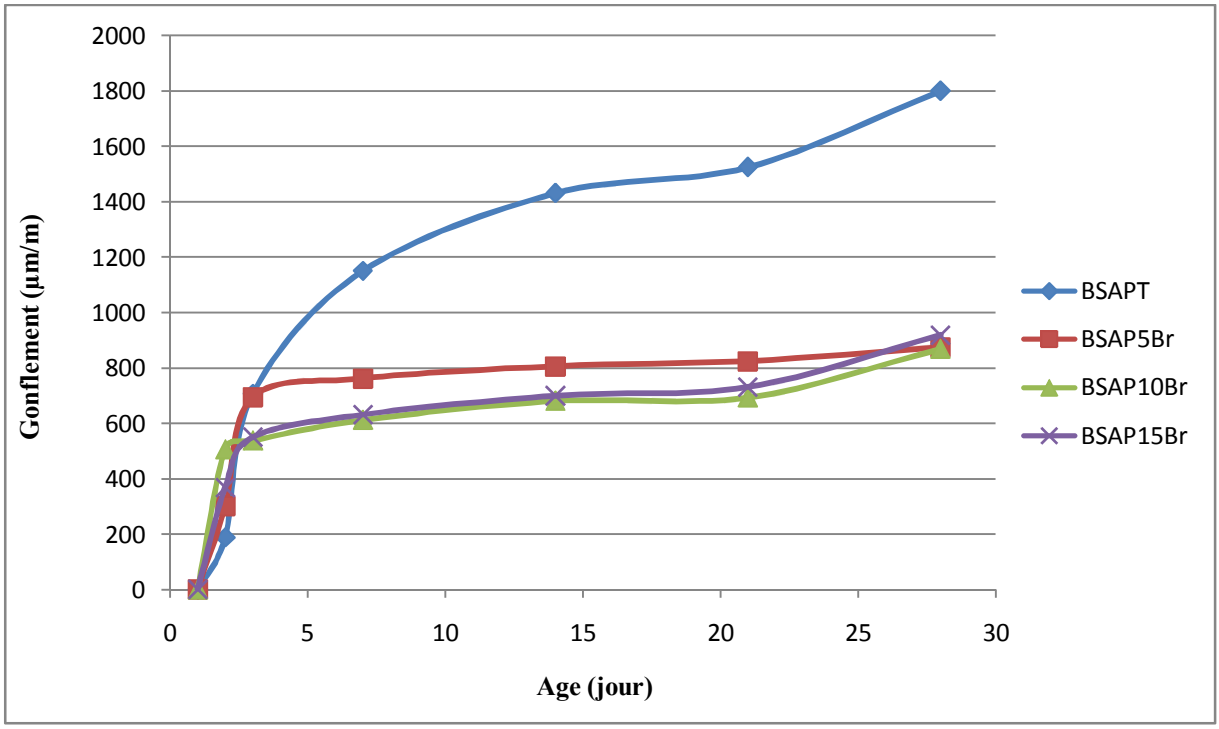


Figure 3.20. Gonflement des BSAP à base de déchets de brique.

3.4. Conclusion

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

- Les bétons de sable fluides à base de déchets de construction (béton et brique) présentent une mauvaise ouvrabilité par rapport au béton de sable fluide. Et tous les mélanges à base de ces déchets demandent plus d'adjuvant superplastifiant pour avoir une fluidité satisfaisante ;
- Des améliorations dans les performances mécaniques des béton de sable fluide à base de déchets de construction ont été constatées pour les deux types de déchets (béton et brique) à 7 et 28 jours d'âge pour des taux de substitution de 5 et 10 % du poids de sable naturel, comparativement au mélange témoin ;
- On peut avoir des résistances à la compression de 35 et 30 MPa à l'âge de 28 jours, pour un béton de sable fluide contenant de 10% de déchet de béton et de brique respectivement, on substituons la masse du sable naturel ;

- L'ajout des déchets de construction (béton et brique) comme granulats dans la fabrication des bétons de sable fluide en substituant la masse du sable naturel, améliore la compacité du mélange et diminue le taux d'absorption d'eau par capillarité des mélanges pour un taux de substitution au plus de 10% ;
- Le retrait et gonflement de tous les mélanges à base de déchet de béton et brique, sont améliorés par rapport au béton de sable fluide témoin ;

En fin, on peut dire qu'on peut fabriquer un béton de sable fluide, économique, écologique et présente des bonne caractéristiques d'ouvrabilité, mécaniques et physiques pour divers applications structurelles dans le domaine de génie civil, en remplaçant 10% du sable naturel par les déchets de constructions les plus connus à savoire : les déchet de béton de démolition et les déchets de brique.

Références bibliographiques

[1] Mon-immeuble : « Les déchets du bâtiment et des travaux publiques Erreur ! Référence de lien hypertexte non valide.immeuble.com ».

[2]-Courard L., 1998, *Valorisation des déchets et sous-produits dans le génie civil*, notes de cours, Université de Liège, faculté des Sciences Appliquées, service des Matériaux de Construction, 195 p.

[3]- Code de l'environnement,*Article L541-1 du code de l'environnement, (loi de 1975), modifié par Loi n°2003-591 du 2 juillet 2003 - art. 31 (V) JORF 3 juillet 2003*.

[4]Allal M. A., Sayagh C., 2001, « Recyclage des déchets de construction en voiries, 3ème Congrès Algérien de la route », Recueil des communications, Tome 1, ARAL, Alger, p. 102.

[**5**] Bedjou S., 2003, « Contribution à la valorisation des déchets de construction – Etude du recyclage des débris de terre cuite », Mémoire de Magister, ENP d'Alger, Algérie.

[6] Languedoc R., "Guide pratique des déchets" (site Internet google.fr), 2001.

[7] Aouni M., Masri A., valorisation de la poudre récyclée dans le mortier de ciment(poudre de brique et du béton), projet de fin d'études, universitaire dryahiafares de médéa,2014

[8] Azzouz L., Bouhicha M., Kenai S. et Hadjoudja M., 2000, recyclage des déchets de briques dans le béton de sable de dunes, proceedings du 1er colloque national de géniecivil : matériaux de construction, université de mostaganem.

[9] Caractérisation de la longévité des briques brutes et très bien écrasées réutilisées d'employer de bétons et des agrégats, des matériaux et du RILEM concrets 2011.

[10] https://www.google.dz/36 1366 662

[11] Quebaud M**.,** "Caractérisation des granulats recyclés - Etude de la composition et du comportement de bétons incluant ces granulats", Thèse de doctorat, Université d'Artois, France, décembre 1996.

[12] Quebaud M., 1996,Caractérisation des granulats recyclés –Etude de la composition et du comportement de bétonsincluant ces granulats, Thèse de doctorat, Université d'Artois, France.

[13] Zhen H. D., etChi S. P., 2014, Properties of recycled aggregate concrete made with Ministère de l'Aménagement du territoire et de l'environnement, Janvier 2002.
recycled aggregates with different amounts of old adhered mortars, The Hong Kong Polytechnic University, Hung Hom, Kowloon, Hong Kong.

[1] Mon-immeuble : « Les déchets du bâtiment et des travaux publiques Erreur ! Référence de lien hypertexte non valide.immeuble.com ».

[2] Courard L., 1998, Valorisation des déchets et sous-produits dans le génie civil, notes de cours, Université de Liège, faculté des Sciences Appliquées, service des Matériaux de Construction, 195 p.

[3] Code de l'environnement, Article L541-1 du code de l'environnement, (loi de 1975), modifié par Loi n°2003-591 du 2 juillet 2003 - art. 31 (V) JORF 3 juillet 2003.

[4] Allal M. A., Sayagh C., 2001, « Recyclage des déchets de construction en voiries, 3ème Congrès Algérien de la route », Recueil des communications, Tome 1, ARAL, Alger, p. 102.
[**5**] Bedjou S., 2003, « Contribution à la valorisation des déchets de construction – Etude du recyclage des débris de terre cuite », Mémoire de Magister, ENP d'Alger, Algérie.

[6] Languedoc R., 2001,"Guide pratique des déchets" (site Internet google.fr).
[7] Aouni M., Masri A., 2014, valorisation de la poudre recyclée dans le mortier de ciment(poudre de brique et du béton), projet de fin d'études, universitaire yahiafares de médéa.
[8] Azzouz L., Bouhicha M., Kenai S. et Hadjoudja M., 2000, Recyclage des déchets de briques dans le béton de sable de dunes, Proceedings du 1er colloque national de géniecivil : matériaux de construction, université de Mostaganem.
[9] Caractérisation de la longévité des briques brutes et très bien écrasées réutilisées d'employer de bétons et des agrégats, des matériaux et du RILEM concrets 2011.
[10] https://www.google.dz/36 1366 662
[11] Quebaud M**.,** 1996, "Caractérisation des granulats recyclés - Etude de la composition et du comportement de bétons incluant ces granulats", Thèse de doctorat, Université d'Artois, France.

[12] Quebaud M., 1996, Caractérisation des granulats recyclés –Etude de la composition et du comportement de béton sincluant ces granulats, Thèse de doctorat, Université d'Artois, France.
[13] Zhen H. D., etChi S. P., 2014, Properties of recycled aggregate concrete made with Ministère de l'Aménagement du territoire et de l'environnement, Janvier 2002.
recycled aggregates with different amounts of old adhered mortars, The Hong Kong Polytechnic University, Hung Hom, Kowloon, Hong Kong.

[14] Zemmour A., Toubal H., Meredef F., Otmanine T,2014., La maçonnerie en brique, universitaire dr yahia fares de médéa,

[15] Ochi T., Okubo S., Fukui K., 2007, Development of recycled PET fibre and its application
as concrete-reinforcing fiber,journal of Cement and Concrete Composites, N° 29, pp. 448–55.

[16] SAADANI S., « Comportement des bétons à base de granulats recycles» thèse de Magister, Université Mentouri de Constantine.

[17] Fédération national Belge de la brique, Fabrication de la brique, Brique de parement, Blocs treillis, brique de pavages,…des produits naturels en terre cuite.

[18] CIM béton, 2008, Fiche technique édité par le centre d'information sur le ciment et ses applications : « Les mortiers », Tome 3, Paris, France.

[19] Barkat A-E., 2006, « Valorisation des déchets de brique dans la réalisation des ouvrages en béton », Mémoire de Magister, Université KasdiMerbah, Ouargla, Algérie.

[20] HADJOUDJA M., et BEDERINA M., 2005, Influence des fillers des déchets de briques sur la durabilité à l'eau du béton de sable de dunes, Université de Laghouat, Algérie.

[21] BektasF.,Wang K. et Ceylan H., 2008,Effects of crushed clay brick aggregate on mortar durability,CivilConstruction and Environmental Engineering, Iowa State University, United States.

[22] Brahimhouti F., 2002, comportement des structures en maçonnerie sous sollicitation uniaxiale, mémoire magister en génie civil, universite aboubekrbelkaid – tlemcen.

[23] *David R., Suren E et Daniel C.,* 2006, le recyclage des matériaux de construction à genève,republique et canton de geneve Département du territoire.

[24] gastitayeb., 2009-2010, caracterisation et formulation d'un béton compacte au rouleau à partir de granulat recyclés, mémoire de magister, universitaire dryahiafares de médéa.

[25] ministére des travaux publics d'algérie site http://www.mtp-dz.com/direction entretien routier.

[26] A.MERDAS.**,** cours les bétons**,** U.F.A. de Sétif,

[27] Matias D., De Brito J., Rosa A., Pedro D., 2013, « Mechanical properties of concrete produced with recycled coarse aggregates – Influence of the use of superplasticizers

aggregates – Influence of the use of superplasticizers », Construction and Building Materials, 44, pp. 101-109.

[28] AIT MOHAMED A. A., 2017, « Valorisation des matériaux de démolition dans la construction », Thèse de Doctorat, Université Hassiba Ben Bouali – Chlef, Algérie.

[29] Kenai S. et Debieb F., 2011, Caractérisation de la durabilité des bétons recyclés à base de gros et fin granulats de briques et de granulats concassés, Journal of Materials and Structures, N° 44, pp. 815-824.

[30] Debieb F., Courard L., Kenai S. et Degeimbre R., 2010, *Mechanical and durability properties of concrete using contaminated recycled aggregates*, Journal of Cement and Concrete Composites, N° 32, pp. 421-426.

[31] Seung-Tae L., 2009, Influence of recycled fine aggregates on the resistance of mortarsto magnesium sulfate attack, Department of Civil Engineering, Kunsan National University, South Korea.

[32] Nelfia L., mahieux p. Y., Turcry Ph., Amine Y. et Ouali A., 2012,Incorporation de fines de béton de démolition dans la fabrication de mortier par substitution du ciment,Université de La Rochelle, Pole Sciences et Technologie, France.

[33] Bouarroudj M. E. K., Colman C., Robine E., Zhao Z., Michel F., Courard L., Remond S., Bulteel D., 2017, « Utilisation du béton recyclé dans la formulation des bétons autocompactants, 18e édition des Journées scientifiques du Regroupement francophone pour la recherche et la formation sur le béton $(RF)^2B$, Université Laval, 6 et 7 juillet 2017, Québec, Canada.

[34] Butler L., Jeffrey S. W., Susan L. T., 2013, « Effect of recycled concrete coarse aggregate from multiple sources on the hardened properties of concrete with equivalent compressive strength ». Construction and Building Materials, 47, pp. 1292-1301.

[35] Folino P., Xargay H., 2014, « Recycled aggregate concrete – Mechanical behavior under uniaxial and triaxial compression », Construction and Building Materials, 56, pp. 21-31.

[36] Shi-Cong K., Chi-Sun P., 2015, « Effect of the quality of parent concrete on the properties of high performance recycled aggregate concrete », Construction and Building Materials, 77, pp. 501-508.

[37] Güneyisi E., Gesoğlu M., Kareem Q., İpek S., 2016, « Effect of different substitution of natural aggregate by recycled aggregate on performance characteristics of pervious concrete », Materials Structures, 49(1), pp. 521-536.

[38] Gomez-Soberon J. M. V., 2002, «Porosity of recycled concrete with substitution of recycled concrete aggregate: an experimental study», Cement and Concrete Research, 32(8), pp. 1301-1311.

[39] Benaissa A .,MorlierP.,Viguier C.,CauvinJ.J ., 1992,"Cinétique de dessiccation et retrait du béton de sable." Annales de l'institut technique du bâtiment et de travaux publics.

[40] Eric F., Stephane F**.,** 2002,"Le béton de sable appliqué au chaussées routières", infrastructure, Montréal, Crein, Vol.9.

[41] Benaîssa.A., Molier.P et Tram.V., « Le béton de sable un matériau non fissurant », Algérie, Equipement (matériau) PP : 7-10.

[42] J.J. Chauvin., 1991 ,« le béton de sable en Union Soviétique » Bulletin liaison laboratoire Ponts et Chaussées, N° : 174, Ref 3589, PP : 61-68.

[43] KhadY NdiaYE., 1993 «Optimisation des formulations des bétons sable »mémoire d'ingénieure, Université cheik anta diop senegal.

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

[45] Mélanie S., (2000),« Fissuration des matériaux cimentaires renforcés de microfibres d'aciers » Mémoire de maîtrise ès sciences appliquées, Université LAVAL CANADA

[46] SABLOCRETE, 1994 « Béton de sable », Presse de l'école nationale des ponts et chaussées,Paris, France

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

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

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

[50] 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.

[51] Propriétés mécaniques et de longévité des agrégats réutilisés souillés employant béton.Ciment et composé concret, 32, 2010,421-426

[52] Quebaud M., 1996 "Caractérisation des granulats recyclés - Etude de la composition et du comportement de bétons incluant ces granulats", Thèse de doctorat, Université d'Artois, France.

[53] Eric F., Stephane F., 2002 ''le béton de sable appliqué au chaussées routières'' infrastructure, montréal, crein, vol.9

[54] EL Barrak., M., « contribution à l'étude de l'aptitude a l'écoulement Des bétons autoplaçant à l'état frais »

[55] F.Buyle, Bonin, «Bétons autoplaçants».

[56] Okamura. H., and M. Ouchi., 1999, «S*elf Compacting Concrete: Development, Present use and future*», In self compacting concrete: Proceedings of the First international RILEM symposium, A. Skrendahl, and O. Petersson, Eds. RILEM Publications, Cachan, France.

[57] Nadia .A., Hassiba.C.,Mounira.H., (2013/2014), [Formulation du mortier autoplaçant à base des matériaux locaux.

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

[59] 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.

[60] 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 intergranulaire », AFNOR.

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

[62] Larbi.A.I., Kadri Z., 2017, l'influence des déchets de marbre et de verre sur les caractéristiques physico-mécanique et thermique d'un béton de sable fluide, Mémoire de master, Université de Médéa, Algérie.

[63] NA 442, 2005, Norme Algérienne, Ciment : Composition, Spécification et critères de conformité des ciments courants, AFNOR.

[64] NF EN 197-1, 2012, Ciment - Partie 1 : composition, spécifications et critères de conformité des ciments courants, AFNOR.

[65]NF EN 196-6, 2012, Méthodes d'essai des ciments - Partie 6 : détermination de la finesse, AFNOR.

[66] NF EN 196-3, 2017, Méthodes d'essai des ciments - Partie 3 : détermination du temps de prise et de la stabilité, AFNOR.

[67] NF EN 196-1, 2016, « Méthodes d'essais des ciments. Partie 1: Détermination des résistances mécaniques », AFNOR.

[68] NF EN 1008, 2003, « Eau de gâchage pour bétons: spécification d'échantillonnage, d'essais et d'évaluation de l'aptitude à l'emploi, y compris les eaux des processus de l'industriedu béton, telle que l'eau de gâchage pour béton », AFNOR.

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

[70] P.L. Domone, J.Jing, « Properties of Mortar for Self-Compacting Concrete »,Proceedings of RILEM International Symposium on SCC, Stockholm, September 1999,RILEM Proceedins PRO 7, Paris pp109-120.

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

[72] NF EN 12390-2, 2012, « Essai pour béton durci. Partie 2 : Confection et conservationdes éprouvettes pour essais de résistance », AFNOR.

[73] NF P15-433**,** 1994**, «** Méthodes d'essais des ciments - Détermination du retrait et du gonflement **»,** AFNOR.

[74] NF EN 1015-18, 2003, « Méthodes d'essai des mortiers pour maçonnerie - partie 18 : détermination du coefficient d'absorption d'eau par capillarite du mortier durci -», AFNOR.

Annex A

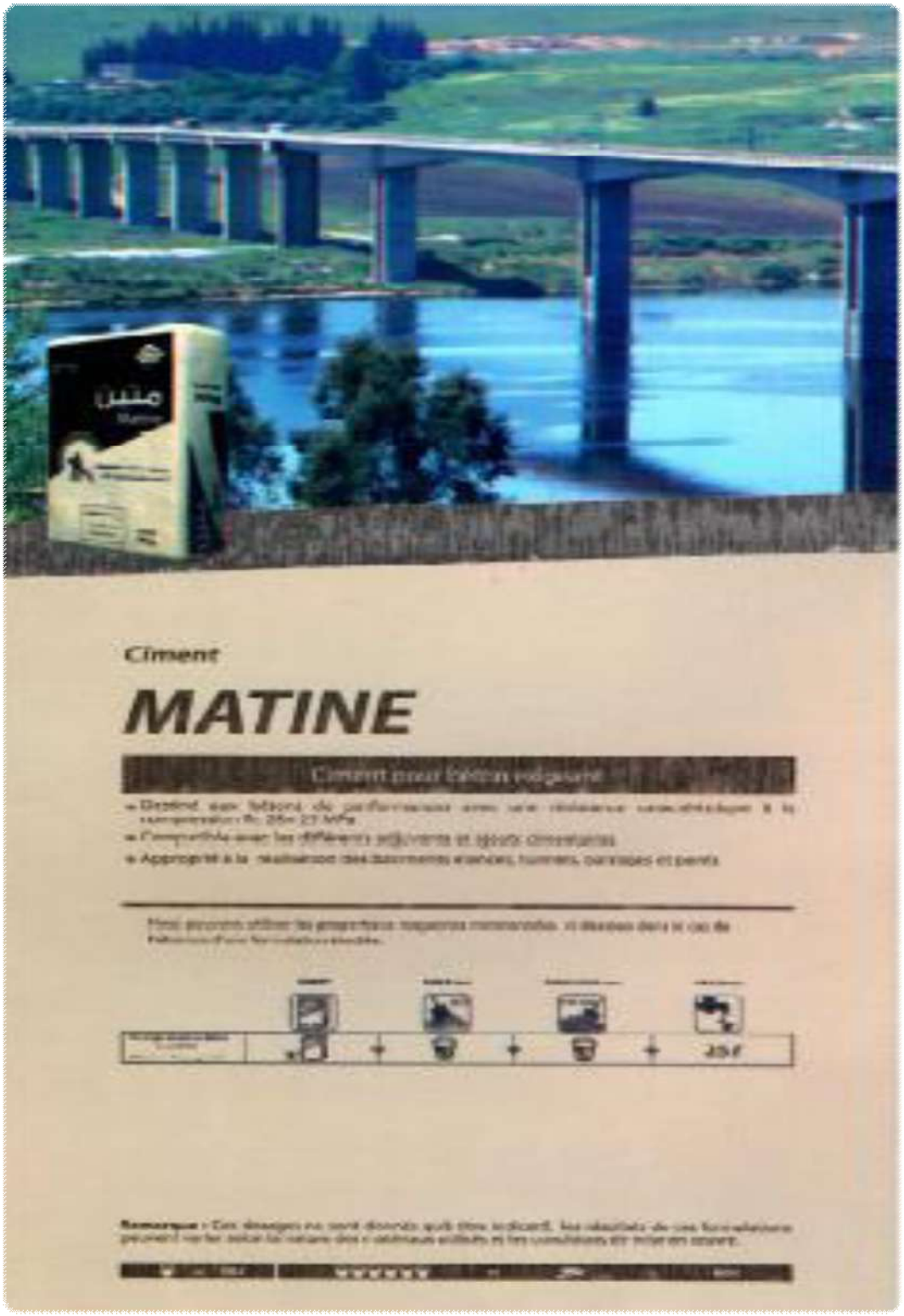


Fig.A.1: La fiche technique du ciment.

LAFARGE
لافارج

MATINE

Ciment pour béton exigeant

CEM II/A 42,5 R NA 442

FICHE TECHNIQUE

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

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

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

Domaine d'utilisation :

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

Les principales applications de ce ciment sont :

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

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

Annex B

NOTICE TECHNIQUE

MEDAFLOW 30

Super plastifiant
Haut réducteur d'eau

DESCRIPTION

Le **MEDAFLOW 30** est un super plastifiant haut réducteur d'eau de la troisième génération. Il est conçu à base de polycarboxylates d'Ether qui améliorent considérablement les propriétés des bétons.
Le **MEDAFLOW 30** permet d'obtenir des bétons et mortiers de très haute qualité.
En plus de sa fonction principale de superplastifiant, il permet de diminuer la teneur en eau du béton d'une façon remarquable.
Le **MEDAFLOW 30** ne présente pas d'effet retardateur.

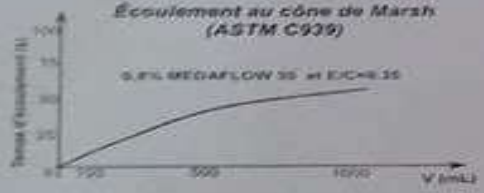
DOMAINES D'APPLICATION

- Bétons à hautes performances
- Bétons auto - plaçant
- Bétons pompés
- Bétons précontraints
- Bétons architecturaux

PROPRIÉTÉS

Grâce à ses propriétés le **MEDAFLOW 30** permet
Sur béton frais :
- Obtention d'un rapport E/C très faible
- Amélioration considérable de la fluidité
- Une très bonne maniabilité
- Eviter la ségrégation
- Faciliter la mise en œuvre du béton

Écoulement au cône de Marsh (ASTM C939)



Sur béton durci :
- Augmenter les résistances mécaniques à jeune âge et à long terme (voir tableau)
- Diminuer la porosité
- Augmenter la durabilité
- Diminuer le retrait et le risque de fissuration

Désignation	Rc (MPa)		
	3J	7J	28J
MEDAFLOW 30 (1.4%)	39.2	54.7	62.2

CARACTÉRISTIQUES

• Aspect	Liquide
• Couleur	Brun clair
• pH	6 – 6,5
• Densité	1,07 ± 0,01
• Teneur en chlore	< 0,1 g/l
• Extrait sec	30%

MODE D'EMPLOI

Le **MEDAFLOW 30** est introduit dans l'eau de gâchage.
Il est recommandé d'ajouter l'adjuvant dans le béton après que 50 à 70% de l'eau de gâchage ait déjà été introduite.

DOSAGE

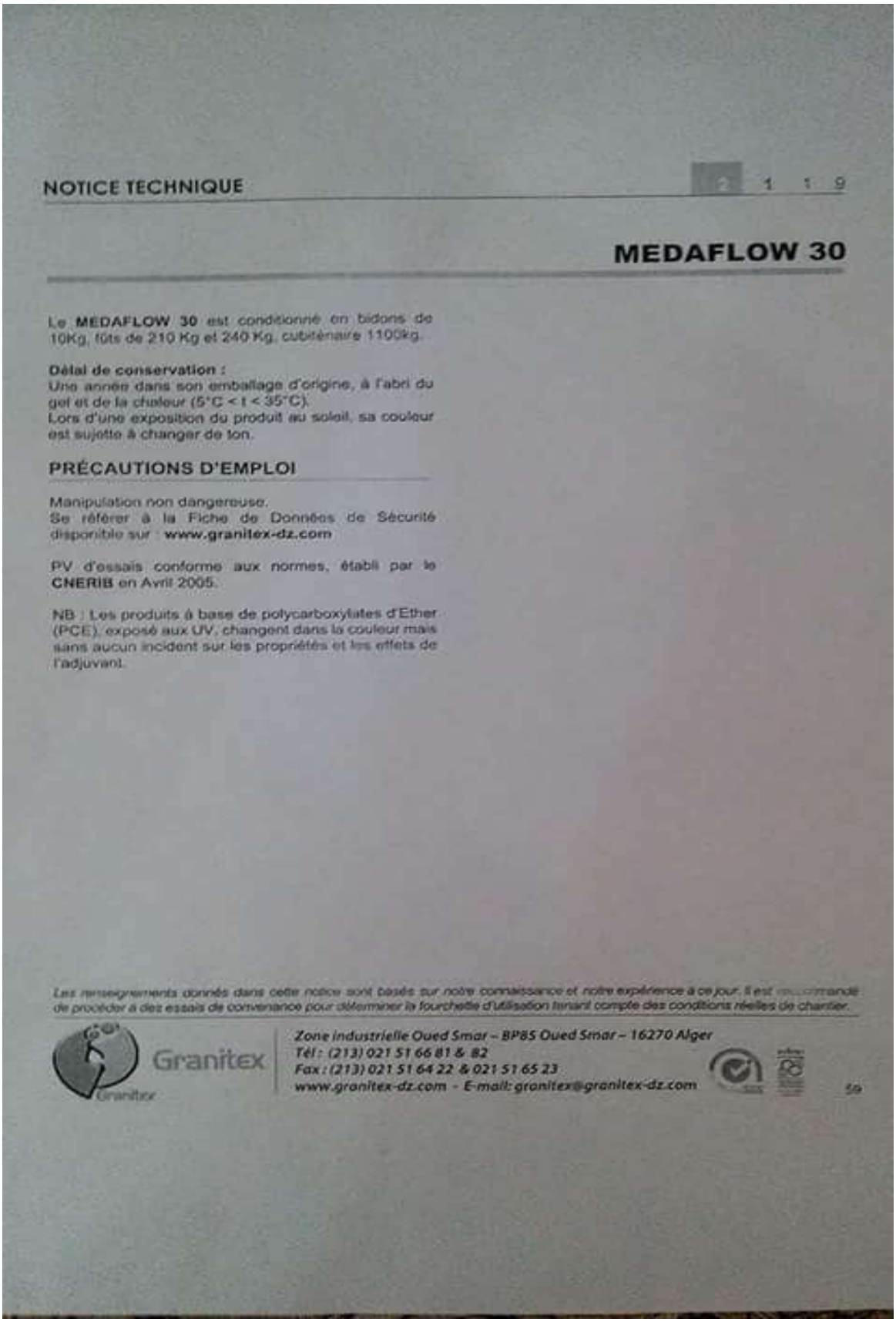
Plage de dosage recommandée :
0,5 à 2,0 % du poids de ciment soit 0.46 à 1.85 litre pour 100 Kg de ciment.

Le dosage optimal doit être déterminé sur chantier en fonction du type de béton et des effets recherchés.

CONDITIONNEMENT ET STOCKAGE

Les renseignements donnés dans cette notice 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
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.com – E-mail: granitex@granitex-dz.com



NOTICE TECHNIQUE

2 1 1 9

MEDAFLOW 30

Le **MEDAFLOW 30** est conditionné en bidons de 10Kg, fûts de 210 Kg et 240 Kg, cubiténaire 1100kg.

Délai de conservation :
Une année dans son emballage d'origine, à l'abri du gel et de la chaleur (5°C < t < 35°C).
Lors d'une exposition du produit au soleil, sa couleur est sujette à changer de ton.

PRÉCAUTIONS D'EMPLOI

Manipulation non dangereuse.
Se référer à la Fiche de Données de Sécurité disponible sur : **www.granitex-dz.com**

PV d'essais conforme aux normes, établi par le **CNERIB** en Avril 2005.

NB : Les produits à base de polycarboxylates d'Ether (PCE), exposé aux UV, changent dans la couleur mais sans aucun incident sur les propriétés et les effets de l'adjuvant.

Les renseignements donnés dans cette notice 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

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.com - E-mail: granitex@granitex-dz.com

59

Fig.B.2 : La fiche technique du superplastifiant.



Fig.B.3: concasseur



Fig.B.4 : Tamiseuse électrique



Fig .B.5 : la machine de Los Angeles



Fig.B.6 : Etalement BSAPT



Fig.B.7 : Etalement BSAPBe5%



Fig.B.8 : Etalement BSAPBe10%



Fig.B.9 : Etalement BSAPBe15%



Fig.B.10 : Etalement BSAPBe20%



Fig.B.11 : Etalement BSAPBe25%



Fig.B.12: Etalement BSAPBr5%



Fig.B.13: Etalement BSAPBr10%



Fig.B.14: Etalement BSAPBr15%

Conclusion générale

Ce travail vise à étudier l'influence du sable recyclé, issu des déchets de béton et de brique, sur les propriétés à l'état frais (fluidité) et l'état durci (résistance mécanique et indicateur de durabilité) d'un béton de sable fluide.

En se basant sur les résultats obtenus à travers cette étude, nous pouvons tirer les conclusions suivantes :

- Il est possible d'avoir des propriétés autoplaçantes pour tous les bétons de sable étudiés lorsque le sable naturel est substitué par l'un des déchets employés dans cette étude (béton et brique). Toute fois une perte dans les mesures de fluidité et de déformabilité a été observée par l'emploi des deux déchets, ce qui nécessitent l'augmentation du dosage en superplastifiant.
- Des améliorations dans les performances mécaniques des béton de sable fluide à base de déchets de construction ont été constatées pour les deux types de déchets (béton et brique) à 7 et 28 jours d'âge pour des taux de substitution de 5 et 10 % du poids de sable naturel, comparativement au mélange témoin ;
- On peut avoir des résistances à la compression de 35 et 30 MPa à l'âge de 28 jours, pour un béton de sable fluide contenant de 10% de déchet de béton et de brique respectivement, en substituant la masse du sable naturel ;
- L'ajout des déchets de construction (béton et brique) comme granulats dans la fabrication des bétons de sable fluide en substituant la masse du sable naturel, améliore la compacité du mélange et diminue le taux d'absorption d'eau par capillarité des mélanges pour un taux de substitution au plus de 10% ;
- Le retrait et gonflement de tous les mélanges à base de déchet de béton et brique, sont améliorés par rapport au béton de sable fluide témoin.

En fin, on peut dire qu'on peut fabriquer un béton de sable fluide, économique, écologique et présente des bonne caractéristiques d'ouvrabilité, mécaniques et physiques pour divers applications structurelles dans le domaine de génie civil, en remplaçant 10% du sable naturel par les déchets de constructions les plus connus à savoire : les déchet de béton de démolition et les déchets de brique.