République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique

Universitaire Dr Yahia FARES de Médéa

Faculté Des Sciences Techniques

Département de Génie de la Matière

Filière : Génie Civil

Projet de fin d'études

Pour l'obtention du diplome de Master en génie civil

Option: Structures

Thème :

VALORISATION DE LA POUDRE RECYCLÈE DANS LE MORTIER DE CIMENT(poudre de brique et du béton)

Présenté par :

- M^{elle} AOUNI Meriem

- M^{me} MASRI Asma

Proposé et encadré :

Dr DEBIEB Farid

Co-Encadré :

M^{elle} BOUKHELKHAL Dj

Juin 2014

REMERCIEMENTS

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

Nos plus grands remerciements vont à notre promoteur ***Dr Debieb. Farid*** *pour nous avoir guidés pour la réalisation de cette étude et le soutien scientifique et moral qu'il nous a apporté.*

Nous remercions vivement et infiniment ***Melle Boukhelkhal Djamila*** *et* ***Melle Settari Chafika*** *pour nous avoir aidéset prêté leur attention et leur disponibilité.*

Nous sommes reconnaissants à notre département et à l'ensemble des enseignants qui ont contribués à notre formation avec beaucoup de dévouement et de compétence en n'oubliant jamais les personnes qui ont participés de près ou de loin à ce modeste travail.

Meriem et Asma

Dédicace

Rien n'est aussi beau à offrir que le fruit d'un labeur qu'on dédie du fond du cœur à ceux qu'on aime et qu'on remercie en exprimant la gratitude et la reconnaissance durant toute notre existence.

A ceux que j'aime jusqu'à la frontière de l'imagination :

Mon très cher père AHMED et ma très chère mère HOURIA.

Mes grands-mères.

A ceux que j'adore et respecte :

Mes sœurs : ICHRAK, ZOHRA, ROFEIDA, et mes petits neveux adorés HADIA et MOHCEN

Mes gendres : Mohamed et Mansour.

Mes tantes, mes oncles.

Mes cousins et Mes cousines.

Toute la famille AOUNI et BOUDEHRI.

A tous Mes Amis,A toute La promotion Génie Civil de l'année 2010.

A ceux qui se sont sacrifiés et qui se sont donnés pour les études et dont je rends un vibrant hommage.

Aouni Meriem

Dédicace

Je dédie ce modeste travail aux personnes les plus chères à mon cœur

À… Mes parents,

Mes frères et sœurs,

Mon mari Mohamed, c'est avec toi que j'ai partagé mes joies et mes peines avec tes sacrifices et tes encouragements que je suis ou j'en ai

à

Mes enfants ANES et ALAA.

Ma belle famille

Toute La famille MASRI .

À mon amie et binôme MERIEM .

MASRI ASMA

RÉSUMÉ

Le développement des nouveaux matériaux de construction est un problème d'actualitéoù les chercheurs tentent de trouver des matériaux adéquats à chaque région et quireviennent moins chers au pays. Le recyclage et la valorisation des déchets sont aujourd'hui considérés comme une solution d'avenir afin de répondre au déficit entre production et consommation des granulats naturels et de protéger l'environnement.

Ce travail vise essentiellement à étudier de la possibilité de la récupération des déchets de brique (sous forme de poudres) et de béton (BAP)dans la fabrication d'un mortier de ciment avec des taux de substitution allant de 5 à 30% du poids de ciment.

Le résultat de cette étude démontre l'effet bénéfique de la poudre de brique sur les performances à l'état durci du mortier avec un optimum de substitution de 15% du poids de ciment. Par contre la poudre de béton finement broyée a un effet positif sur l'ouvrabilité et la mise en œuvre du mortier, sans détérioration remarquable sur les performances à l'état durci de ce dernier.

Mots clés : Mortier, Déchet, Recyclage, Brique, BAP, Ouvrabilité, Résistances Mécaniques, Durabilité.

ABSTRACT

The development of new building materials is a current problem where researchers are trying to find the right materials for each region and returning cheapest countries. Recycling and recovery of waste are now considered as a promising solution to meet the deficit between production and consumption of natural granulates and protecting the environment.

This work focused on the study of the possibility of recovery of waste brick (in powder form) and SCC waste and incorporated in the fabrication of cement mortar with substitution rates ranging from 5-30% by weight of cement.

The results of this study demote the beneficial effect of the brick powder performance in the cured state of the mortar with an optimum of 15% substitution of the weight of cement. Contrary the powder compacting concrete finely ground has a positive effect on the workability and implementation of the mortar without noticeable deterioration in performance in the hardened state of the latter.

Key words: Mortar, Waste, Recycling, Brick, SCC, Workability, Mechanical strengths, Durability.

الملـخص

يعتبر تطوير مواد بناء جديدة من الانشغالات الحالية للباحثين حيث يحاولون العثور على مواد ملائمة لكل منطقة و باقل الاثمان. اعادة تدوير و استرجاع النفايات تعتبر الحل الانسب لسد العجز بين الانتاج واستهلاك الحصى الطبيعية و حماية البيئة.

الهدف الرئيسي من هذه الاطروحة هو دراسة امكانية استعادة نفايات مصانع الاجر (على شكل مسحوق) بالإضافة الى بقايا حطام الخرسانة المرصوصة ذاتيا في انتاج ملاط اسمنتي بتعويض من 5 الى 30 بالمائة من كمية الاسمنت بهذه النفايات و مقارنة تأثيرها على الحالة اللينة (سهولة التموضع) و الصلبة (قوة الضغط و الشد, الانكماش و امتصاص الماء)

برهنت هذه الدراسة الاثر الايجابي لمسحوق بقايا الاجر على خصائص الملاط في الحالة الصلبة مع نسبة 15 بالمائة كأقصى حد للتعويض. عكسيا بالنسبة لمسحوق بقايا الخرسانة مرصوصة ذاتيا , لوحظ التأثير الايجابي على خصائص الملاط في الحالة اللينة بدون تأثير كبير على خصائص هذا الاخير في الحالة الصلبة.

***كلمات مفاتيح**: الملاط, النفايات, استرجاع النفايات, الأجر, الخرسانة مرصوصة ذاتيا, قابلية التموضع, المقاومة, المتانة.*

SOMMAIRE

Remerciements

Dédicaces

Résumés

Sommaire

Liste des Tableaux

Liste des Figures

Notation et Abréviation

Introduction générale **1**

CHAPITRE 1 : ÉTUDE BIBLIOGRAPHIQUE ***PAGE***

1.1.VALORISATION DES DECHETS ET PROCEDES DE RECYCLAGE …. 4

1.1.1. Introduction…….……..…. 4

1.1.2. Les déchets…….…. 4

1.1.2.1. Définition des déchets……..... 4

1.1.2.2. Origine de la production des déchets…….….. 5

1.1.2.3. Constitution des déchets…….…. 6

1.1.2.4. La classification des déchets…… 6

A. Les déchets inertes……. 6

B. Les déchets banals (ou DIB)…….. 7

C. Les déchets dangereux……..…….. 8

1.1.3. Recyclage des déchets…….. 8

1.1.3.1. Définition……... 8

1.**1.3.2**. Législation européenne relative aux déchets ……... 9

1.1.3.3. Technique de recyclage …… 10

A. Procédés du recyclage …….. 10

B.La chaîne du recyclage …… 10

B.1.Collecte des déchets …….. 10

B.2. Transformation……. 10

B.3.Commercialisationet consommation…… 10

1.1.3.4.Déchets recyclés …… 10
A. Eaux usées …….. 11
B.Déchets usuels inertes ……. 13
C. Déchets usuels non inertes …….. 14
D. Déchets dangereux……..…….. 15
1.1.4. Impact du recyclage dans l'industrie ……..…… 15
1.1. 4.1. Source d'approvisionnement alternative …… 15
1.1.4.2. Création d'activités ……..…… 15
1.1.4.3. Mise en conformité avec la loi …….. 15
1.1.4.4. Coût de main-d'œuvre …….. 16
1.1.4.5. Conséquences sur les produits issus du recyclage …… 17
1.1.5.Impacts du recyclage sur l'environnement …… 17
1.2. DECHET EN ALGERIE……... 17
1.2.1. Naissance d'une véritable politique environnementale en Algérie…… 18
1.2.2. Valorisation des déchets et sous-produits dans le domaine des travaux publics …… 18
1.2.2.1. Pneus usagés et déchets de caoutchouc…….. 18
1.2.2.2. Déchets plastique…… 19
1.2.2.3. Déchets de verre……..…… 20
1.2.2.4. Déchets de marbre……... 21
1.2.2.5. Déchets de la construction/démolition …… 23
1.3. LA BRIQUE ET LE RECYCLAGE……. 23
1.3.1. Le matériaux brique……. 23
1.3.1.1. Définition…… 23
1.3.1.2 Processus de production……. 24
1.3.1.3. La brique et le respect de l'environnement……. 25
1.3.2. Déchets de briques……... 26
1.3.3. Recyclage des déchets de brique…….. 26
1.3.3.1. Principaux critères environnementaux pour la réalisation des déchets de brique…… 27
1.3.3.2. Différents technique pour l'utilisation de la brique recyclé……. 28
1.4.LE BETON ET LE RECYCLAGE……. 30
1.4.1. Le matériau béton…….. 32

1.4.2. Bétons spéciaux…… 32
1.4.2.1. Béton à haute performance (BHP)……. 32
1.4.2.2 Béton autoplaçant (BAP) …… 33
1.4.3. Les déchets de béton et le recyclage……... 34
1.4.3.1. Déchet de béton……... 34
1.4.3.2. Valorisation des déchets de béton…… 35
1.5.MORTIER DE CONSTRUCTION…… 36
1.5.1. Le matériau mortier…….. ……..……... 37
1.5.2. Composition…….. 38
1.5.2.1. Les liants……... 38
1.5.2.2. Les granulats…….. 39
1.5.2.3. L'eau… ;…… 39
1.5.2.4. Les adjuvants……. 40
1.5.3 Types de mortier…….. 40
1.5.3.1. Les mortiers du ciment…….. 40
1.5.3.2. Les mortiers de la chaux……... 40
1.5.3.3. Les mortiers bâtards…….. 40
1.5.3.4. Les mortiers de résine……... 41
1.5.3.5. Mortiers fabriqués sur chantier…… 41
1.5.3.6. Mortier industriel……. 42
1.5.3.7. Mortier de hourdage de maçonnerie……... 42
1.5.4. Domainesd'utilisationdesmortiers…….. 45
1.5.5. Valorisation des déchets dans le mortier de ciment……... 46
1.5.5.1. Déchet de brique …….. 46
1.5.5.2. Déchet de béton……. 47
1.5.5.3. Déchet de céramique…… 50
1.5.5.4. Déchet plastique…….. 50
1.5.5.5.Déchet minéral…….. 52
1.5.6. Contrôledequalitédumortier…… 52
1.5.6.1. Les essais sur le mortier frais…… 53
1.5.6.2. Les essais sur le mortier durci
1.5.6.2. La cure et protection du mortier

1.5.7. Le mortier et le respect de l'environnement……

1.6. CONCLUSION ……..

CHAPITRE 2 : MATÉRIAUX ET ESSAIS

2.1. INTRODUCTION…….…….….. 55

2.2. CARACTERISATION DES MATÉRIAUX UTILISÉS …….…….. 55

2.2.1. Ciment ……..……. 55

2.2.2. Granulats (Sable)……..……...……..….…….. 57

2.2.3. Eau de gâchage ……. 59

2.2.4. Adjuvant ……..……. 59

2.2.5. Les déchets……. 60

2.2.5.1 Les déchets de brique……..…….…… 61

2.2.5.2 Les déchets du béton autoplaçant (BAP)……... 61

2.3. FORMULATION DES MORTIERS ……..…….**.....** 62

2.4.PROTOCOL EXPERIMENTAL……. 65

2.4.1. Préparation des mélanges……. 65

2.4.2. Les essais à l'état frais …….……. 66

2.4.3. Fabrication et conservation des éprouvettes……..…….……... 67

2.4.4. Essais réalisés sur mortier à l'état durci……..……... 68

2.4.4.1. Essai de traction par flexion…….…….. 69

2.4.4.2. Essai de compression…….……. 70

2.4.4.3. Essai d'absorption d'eau capillaire..……..….……. 70

2.4.4.4. Essai de retrait et du gonflement……..….……. 70

2.5.CONFECTION ET CURE DES EPROUVETTE…….…..…… 70

2.6.VARIABLES ETUDIES……..……..…… 73

2.7. CONCLUSION …….……... 73

CHAPITRE 3 : RESULTATS EXPERIMENTAUX ET DISCUSSIONS

3.1. INTRODUCTION ……... 74

3.2. MORTIER A BASE DE DECHETS DE BRIQUE……..……..... 74

3.2.1. Le mortier à l'état frais……..……..... 74
3.2.2 Le mortierà l'état durci…….……. ……..…... 74
3.2.2.1. Résistance à la compression…..…… 77
3.2.2.2. Résistance à la traction par flexion…..…… 78
3.2.2.3. Absorption d'eau par capillarité…….…….. 78
3.2.2.4. Retrait et le gonflement ….……..…….…… 79
3.2.2.5. Variation massique due au retrait et au gonflement**.....**…… 79
3.3.MORTIER A BASE DES DECHETS DE BETON ……..…..... 81
3.3.1. Le mortier à l'état frais…….... ……...……... 82
3.3.2 Le mortier à l'état durci…….……..….... 82
3.3.2.1. Résistance à la compression…..…….… 83
3.3.3.2. Résistance à la traction par flexion…..…… 83
3.3.3.3. Absorption d'eau par capillarité…….. 84
3.3.3.4. Le retrait et le gonflement ….…… 85
3.3.3.5. Variation massique due au retrait et au gonflement**.....**…… 86
3.4. CONCLUSION …….…… 86
88

Conclusions et recommandations 89

Références Bibliographiques

LISTE DES TABLEAUX

Page

Tableau 1.1 : Procédé de recyclage des eaux usées……..…….... 12

Tableau 1.2 : Procédé de recyclage des déchets usuels inertes……....…… 12

Tableau 1.3 : Procédé de recyclage des déchets usuels non inertes ……..…… 13

Tableau 1.4 : Procédé de recyclage des déchets dangereux …… 14

Tableau 2.1 : Composition chimique du ciment ECDE (Chlef)…...……. 56

Tableau 2.2. : Caractéristiques physico-mécanique du ciment ECDE (Chlef)……... 56

Tableau 2.3 : Propriétés physiques d'identification des sables utilisés ……. 58

Tableau 2.4 : Compostions du béton autoplaçant utilisé ……... 62

Tableau 2.5 : Caractéristiques du béton autoplaçant utilisé …… 62

Tableau 2.6 : Compositionsdu mortier Témoin……. 63

Tableau 2.7 : Compositionsdu mortier à base de déchets de brique ……. 64

Tableau 2.8 : Compositionsdu mortier à base de déchets de béton autoplaçant …… 64

Tableau 2.9 : Séquence demalaxagedu mortier …… 65

Tableau 3.1: Composition du mortier MBr adjuventé……... 75

LISTE DES FIGURES

		Page
Figure 1.1 :	Déchets de construction……..……....	5
Figure 1.2 :	Origine des déchets……...….	6
Figure 1.3 :	Déchets inerte ……...……..	7
Figure 1.4 :	Déchets banal (DIB) ……..……..	7
Figure 1.5 :	Déchets dangereux ……..……...	8
Figure 1.6 :	Recyclage des déchets……..……..	9
Figure 1.7 :	Chaine de recyclage……....	11
Figure 1.8 :	Effet de type de granulats recyclés sur la résistance à la compression d'un béton ……...	22
Figure 1.9 :	La brique……...…….	24
Figure 1.10 :	Processus de production de la brique …….	24
Figure 1.11 :	Déchet de brique ……...…….	26
Figure 1.12 :	Déchet de brique concassé…….	27
Figure 1.13 :	La variation de la résistance du béton avec et sans granulats recyclés…….	29
Figure 1.14 :	Absorption d'eau du béton avec et sans granulats recyclé……..	29
Figure 1.15 :	La perméabilité au gaz du béton avec et sans granulats recyclés…….	30
Figure 1.16 :	La diffusion des ions chlores du béton avec et sans granulats recyclés…..	30
Figure 1.17 :	L'utilisation des déchets de brique dans le terrain de tennis……..	31
Figure 1.18 :	Déchet de béton ……..……	36
Figure 1.19 :	Composantes d'un mortier……..……...	38
Figure 1.20 :	Absorption d'eau des bétons à base de déchet de brique…….	43
Figure 1.21:	Variation de la résistance à la compression des bétons à base de déchets de brique sous l'action du gel dégel	43
Figure 1.22 :	L'effet de l'ajout des déchets de brique sur l'ouvrabilité du mortier……	44
Figure 1.23 :	Variation de la résistance à la compression des mortiers en fonction du pourcentage de déchets de brique……	44
Figure 1.24:	Influence des FS sur les résistances en compression …….	48
Figure 1.25 :	Essai à la table à secousses ……	51
Figure 1.26 :	Essai au Maniabilimètre LCPC-B ……..	51
Figure 1.27 :	Appareil de VICAT ……	52

Figure 1.28 : Mesure du retrait d'un mortier par Rétracomètre ……. 53

Figure 2.1 : Le ciment utilisé (Chlef) …… 57
Figure 2.2 : Sable fin de Hassi Bahbah …… 57
Figure 2.3 : Sable grossier de Mont Guorno……... 57
Figure 2.4 : Courbe granulométrique des sables utilisées …… 58
Figure 2.5 : Adjuvant superplastifiant MEDAFLOW 145 …… 59
Figure 2.6 : Concasseur à mâchoires …… 60
Figure 2.7 : Broyeur à disque …… 60
Figure 2.8 : Brique récupérée …… 61
Figure 2.9 : Poudre de briquerecyclée …….. 61
Figure 2.10 : Béton Autoplaçant utilisé **...**…… 61
Figure 2.11 : Poudre de béton recyclé …… 61
Figure 2.12 : Malaxeur à mortier …… 65
Figure 2.13 : Essai au maniabilimètre LCPC—B …… 66
Figure 2.14 : Confection et compactage des éprouvettes de mortier ……...…… 67
Figure 2.15 : Conservation des éprouvettes ……..…… 68
Figure 2.16 : Essai de traction par flexion sur mortier …… 68
Figure 2.17 : Essai de compression sur mortier ……..……. 69
Figure 2.18 : Essai d'absorption d'eau par capillarité sur mortier …… 70
Figure 2.19 : Rétractomètre et son étalonnage (variation dimensionnelle) …… 71
Figure 2.20 : Matériaux utilisés et leurs caractérisations……..…… 73
Figure 2.21 : Formulation et caractérisation des mortiers étudient……. 73
Figure 3.1 : Temps d'écoulement des mortiers à base de déchets de brique……. 74
Figure 3.2 : Pourcentage d'adjuvant …….. 76
Figure 3.3: L'ouvrabilité du mortier MBr après l'utilisation de l'adjuvant……... 76
Figure 3.4: Variation delarésistanceà compression desmortiers …….... 77
Figure 3.5: Variation delarésistanceà la traction par flexion desmortiers ……... 78
Figure 3.6: Absorption capillaire du mortier à base de déchets de brique..……. 79
Figure 3.7: Variations du retrait des mortiers……... 80
Figure 3.8: Variation du gonflement desmortiers ……..…... 81
Figure 3.9: Variations massique due au retrait……...……. 81
Figure 3.10: Variations massique due au gonflement……...……. 82

Figure 3.11 : Temps d'écoulement des mortiers à base de déchets de béton……. 83

Figure 3.12: Variation delarésistanceà compression desmortiers ……... 84
Figure 3.13: Variation delarésistanceà la traction par flexion desmortiers ……... 84
Figure 3.14: Absorption capillaire du mortier à base de déchets de brique..……. 85
Figure 3.15: Variations du retrait des mortiers……... 85
Figure 3.16: Variation du gonflement desmortiers ……..…... 86
Figure 3.17: Variations massique due au retrait……...……. 87
Figure 3.18: Variations massique due au gonflement……...……. 87

NOTATIONS ET ABRÉVIATIONS

BAP	Béton autoplaçant
CEMI 42,5	Ciment portland ordinaire de classe 42.5 MPa
D	Diamètre d'étalement au mini cône
d	Le diamètre final de la galette
d0	Le diamètre inférieur du cône
Dmax	Diamètre maximal des granulats
E	Quantité d'eau
E/C	Rapport eau sur ciment
Fig.	Figure
LCPC	Laboratoire central des ponts et chaussées
Rcmoy	Résistance moyenne à la compression
Rtmoy	Résistance moyenne à la traction
C/L	Rapport ciment sur liant
MT	Mortier témoin
MBr	Mortier à base de déchets de brique recyclé
MBe	Mortier à base de déchets de béton autoplaçnat recyclé
NA	Norme Algérienne
NB	Norme Belgique
NE	Norme Européenne
f_c	Résistance souhaitée du béton a 28jours
f_{mc}	Résistance nominale du ciment
K_b	Coefficient relatif au squelette granulaire
C	Dosage du ciment
E	Quantité d'eau efficace
V	Quantité d'air occlus dans le béton

c	la compacité
p	la porosité
W	Teneur en eau
ES	Equivalent de sable à piston
ESV	Equivalent de sable à vue
Mf	Module de finesse
S	Le sable
$\mathbf{R_t}$	La résistance a la traction
$\mathbf{R_C}$	La résistance a compression
$\Delta\mathbf{L}$	Variation de longueur par rapport à la longueur origine
$\mathbf{L_0}$	Longueurdebase,priseégaleà160mm
$\Delta\mathbf{M}$	Variationde masseparapportàla masseau momentdudémoulage
$\mathbf{M_0}$	Masse de l'éprouvette au moment du démoulage
M	Moment de flexion entre les deux points d'application de la charge
I	Moment d'inertie de la section transversale
N	La distance de la fibre la plus éloignée
E	Dosage en eau
E/C	Rapport eau/ciment

INTRODUCTION GÉNÉRALE

La fabrication du ciment, du mortier et du béton, comme c'est le cas pour de nombreuxmatériaux industriels, consomme une quantité considérable d'énergie, engendrel'émission d'importantes quantités de gaz à effet de serre, contribue à l'épuisementprogressif des ressources naturelles et entraîne la production de certains résidus quel'on doit éliminer. Afin d'assurer la croissance de ces matériaux de constructionindispensables, l'approche du développement durable doit être intégrée à leurproduction, ce qui permettra d'atteindre un équilibre entre les contraintes deprotection de l'environnement et les considérations économiques et sociales.

Les dépôts de sable naturel, de gravier et de pierres, surtout ceux qui sont situés près des grands centres urbains, risquent de s'épuiser ou d'entraîner des frais d'exploitation très élevés en raison du coût du transport et des restrictions relatives à la protection de l'environnement.

Devant les besoins croissant des ressources en matériaux et aux exigences de préservation de l'environnement dans une vision de développement durable, il est devenu nécessaire et pertinent de prospecter et d'étudier toutes les possibilités de réutilisation et de valorisation des déchets et sous-produits industriels notamment dans le domaine de génie civil.

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 de ces granulats recyclés dans les bétons présente plusieurs avantages tant au niveau environnementale, humain, technologique qu'économique qui s'intéresse de plus en plus les industriels

La durabilité des matériaux cimentaires est devenue aujourd'hui l'un desprincipaux enjeux pour les maîtres d'ouvrages. L'amélioration de cette propriété apour objectif direct d'optimiser les formulations des matériaux et leurs procédés demise en œuvre. Hormis la conséquence immédiate de réduction des coûts, lesretombées à long terme sur l'environnement ne sont pas négligeables.

Au cours des 40 dernières années, les mortiers sont devenus de plus en plus complexes. Ils associent liants hydrauliques, divers adjuvants et différents polymères. Pour des mortiers mis en œuvre sous forme de couches d'épaisseur de l'ordre du centimètre, leur durabilité est intimement liée aux propriétés des supports qu'ils recouvrent.

La démolition des ouvrages en béton et l'industrie des matériaux de construction sont toujours accompagnées par des produits secondaires ou des déchets ; le stockage de tels déchets solides dans des dépôts favorise la pollution de l'environnement et puisque les réserves en granulats alluvionnaires vont s'épuiser, il est donc nécessaire de trouver un moyen pour valoriser ces produits et les réutiliser de nouveau comme granulats dans les bétons et les mortiers.

Les déchets de briques sont des sous-produits de l'industrie des produits rouges. Ils se trouvent en grande quantité au niveau national à cause du nombre élevé de briqueteries et des taux de rejets (briques non conformes où cassées) qu'elles génèrent et qui représentent 10 à 15% de leurs productions.

L'objet de notre étude et de contribuer à la valorisation des déchets locaux de la région de Médéa pour le développement des nouveaux matériaux cimentaires, ces produits sont issus de l'industrie rouge qui se trouve en abondance en Algérie et reste peu utilisé ou recyclé jusqu'à présent déchet de brique).Ainsi l'incorporation des déchets du béton autoplaçant (BAP) issus d'une récente étude de DOCTORAT réalisée à l'Université de Médéa.

Ces deux matériaux obtenus par concassage et broyage a haute énergie introduit en substitution du ciment avec des taux variant de 5% jusqu'à 30%, ensuite on cherchera à évaluer à partir d'un protocole expérimental détaillé et conforme aux normes en vigueur les différentes performances et caractéristiques mécanique du nouveau mortier.

Cette étude s'inscrit dans cette optique et porte sur l'influence du taux de substitution et de la nature du déchet sur les caractéristiques des mortiers frais (maniabilité par temps d'écoulement au maniabilimètre LCPC). ainsi que sur les principales caractéristiques des mortiers à l'état durci, résistances mécaniques (compression, flexion), retrait et gonflement et absorption d'eau par capillarité à différentes échéances (3, 7 et 28 jours).Dans cette recherche, les additions (déchets) ont une finesse comparable à celle du ciment (voisine de 3500 cm^2/g).

Cetravailestdoncstructuré commesuit:

Après une introductiongénérale. On commence la première partie par une synthèse bibliographique qui comportedes généralitéssur le mortier etles déchets. Dans cette partie nous soulignons les grands titres pour faire apparaître une vue générale sur le mortier de déchets sa composition, sa formulation, et les propriétés des déchets.

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

Le dernier chapitre est consacré à la présentation des résultats et leurs interprétations. Les différentes résultats sont analysés indépendamment les uns des autres.

Finalement, on terminera ce travail par une conclusion générale et des recommandations pour le futur afin de bien contourner et compléter cette modeste étude, par l'initiation à la recherche.

Chapitre

1

CHAPITRE 1

SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

1.1.VALORISATION DES DECHETS ET PROCEDES DE RECYCLAGE

1.1.1.Introduction

Avant de valoriser un déchet, il faut connaître son origine, l'analyser, caractériser son état actuel et son comportement dans le temps et évaluer sa traitabilité. Il s'agit donc de mesurer pour connaître et connaître pour agir.

L'approche globale du déchet permettra d'en définir son devenir, à savoir quel type de valorisation choisir.

Dans ce chapitre, nous décrivons le contexte de la gestion des différents types de déchets et les principales techniques de traitement ou d'élimination à travers le monde ; ainsi le recyclage et la réutilisation des déchets dans le domaine des travaux publics.

1.1.2.Les déchets

Les déchets constituent un réel problème, inhérent à toute vie biologique et à toute activité industrielle, agricole ou urbaine, et à ce titre, la recherche de solutions est une vraie nécessité pour les collectivités.

1.1.2.1.Définition d'un déchet

Les déchets sont considéré comme toutes substances mise en rebut, ou tout produit qui doit être jeté car il est usé, contaminé ou abîmé **[1]**.

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. » **[2]**.

- 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.



Figure 1.1. Déchets de construction

1.1.2.2. Origine de la production des déchets

La production des déchets est inéluctable pour les raisons suivantes :

- **Biologiques :** tout cycle de vie produit des métabolites ;
- **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 ;
- **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 ;
- **Accidentelles :** les inévitables dysfonctionnements des systèmes de production et de consommation sont eux aussi à l'origine de déchets.

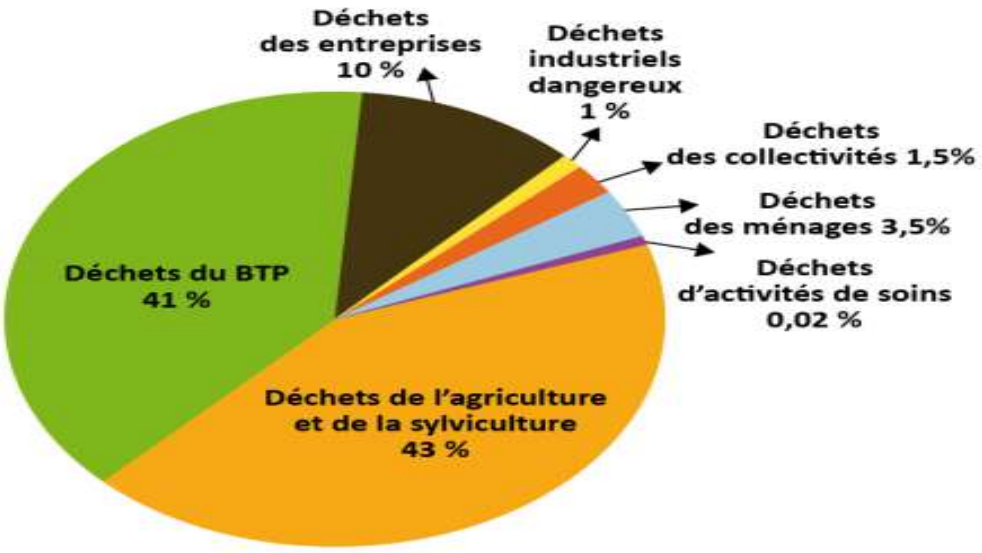


Figure 1.2. Origine des déchets

1.1.2.3. Constitution chimique du déchet

Les déchets sont pour la plupart constitués des mêmes molécules chimiques que celles des produits. Ce qui différencie les déchets des autres produits provient d'un certain nombre de particularités. Certains déchets résultent du traitement involontaire de molécules usuelles avec production de sous-produits de composition, a priori inconnu. Par ailleurs, le déchet peut se retrouver dans un milieu dont il n'est pas issu en tant que produit et de ce fait auquel il n'est pas destiné. Enfin, le mélange au hasard des déchets peut conduire à la formation de produits nouveaux **[3]**.

1.1.2.4. Classification des déchets

Aujourd'hui, les filières de recyclage sont organisées différemment en fonction des déchets traités. Chaque matériau est donc acheminé dans les centres de traitement appropriés en fonction de sa capacité à être valorisé. On distingue trois types de matériaux :

A. Les déchets inertes

Déchet solide minéral, non susceptible d'évolution physico-chimique ou biologique. Il ne se décompose pas, ne brûle pas, n'est pas biodégradable.Déchet à potentiel polluant pratiquement nul, non réactif, non évolutif, non ou peu soluble.L'essentiel de ces déchets est produit sur les chantiers du BTP (mortiers durcis, béton, brique, tuile, céramique, verre, plastique, déblais de voirie, terres de terrassement, laine de verre ou de roche, etc.) **[4]**.

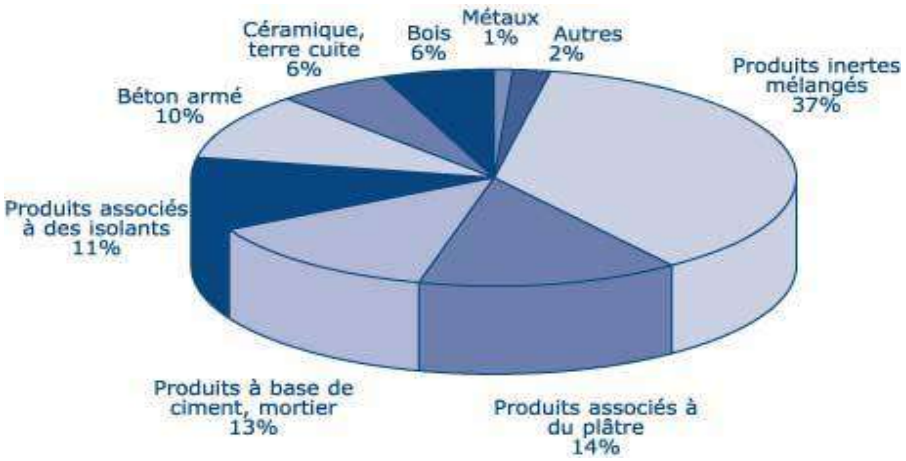


Figure 1.3. Déchets inerte**[4]**

B. Les déchets banals (ou DIB)

Déchets banals ou ***Déchets Industriels Banals*** ou déchets ménagers assimilés, susceptibles de se dégrader par fermentation, oxydation ou combustion. Ils sont ni inerte, ni dangereuse. Impacts sur l'environnement réels sans pour autant présenter des risques pour la santé humaine. Caractéristiques techniques similaires aux déchets ménagers : filières d'élimination communes.

Les déchets industriels banals : bois non traité, plastique, métaux, polystyrène expansé et polyuréthane, peintures, vernis et colles sans solvant**[4]**.

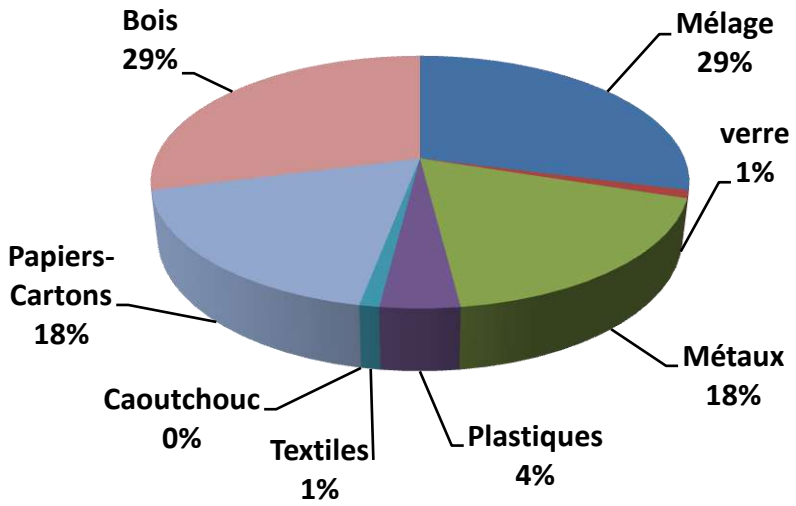


Figure 1.4. Déchets banal (DIB)**[4]**

C. Les déchets dangereux

Déchets contenant des produits (solvants, hydrocarbures …) qui peuvent être toxiques, corrosifs, irritants ou inflammables.Ils ont un impact important sur la santé et sur l'environnement.

Tout déchet banal ou inerte souillé par ces produits devient automatiquement un déchet dangereux. Leur collecte difficile et coûteuse.

Les déchets dangereux : matériaux souillés par des substances nocives, peintures et vernis avec solvant, hydrocarbures, amiante, accumulateurs au plomb, piles ou tubes au mercure, etc.**[4]**.

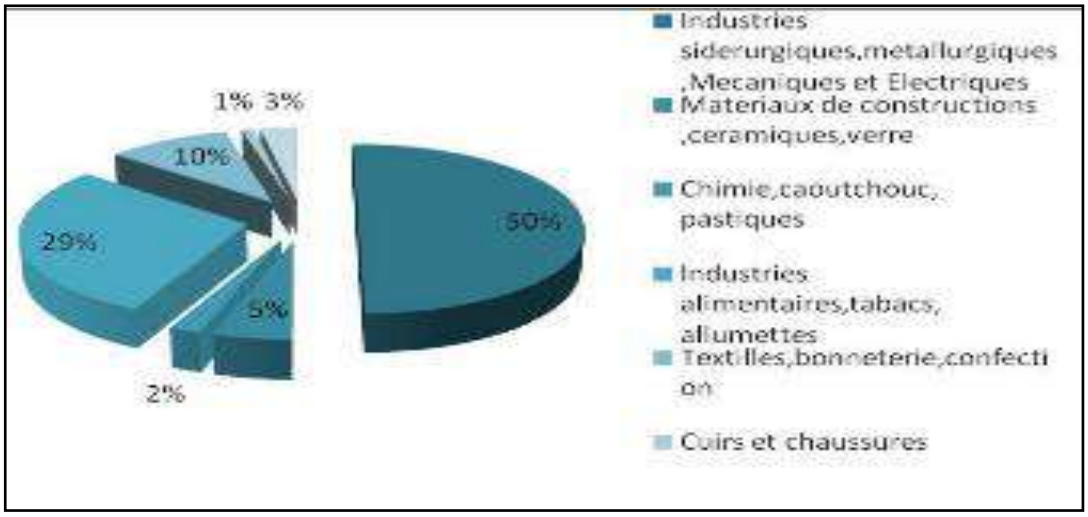


Figure 1.5. Déchets dangereux**[4]**

1.1.3 Recyclage des déchets

1.1.3.1.Définition

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**[5]**.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 **[6]**.

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.

Pour lutter contre l'augmentation des déchets, le recyclage est donc nécessaire, mais il doit être inclus dans une démarche plus large.



Figure 1.6. Recyclage des déchets**[7]**

1.1.3.2. Législation européenne relative aux déchets et leur recyclage

En 2007, la production, le stockage, le traitement et le recyclage des déchets est désormais encadrée en Europe par une législation de plus en plus élaborée.

L'incinération des déchets dangereux est l'objet de la Directive n° 2000/76/CE du Parlement européen et du Conseil du 4 décembre 2000.

Le stockage de déchets industriels spéciaux est définie par la Directive n°1999/31/CE du 26 avril 1999 concernant la mise en décharge des déchets et la Décision de la Commission n° 2000/532/CE du 3 mai 2000 ainsi que la Décision 94/904/CE du Conseil établissant une liste de déchets dangereux.

La qualité de l'air est quant à elle protégée par le Règlement du Parlement européen et du Conseil CE 2037/2000 du 29 juin 2000 sur les substances qui appauvrissent la couche de zone et par la Décision du Conseil du 25 avril 2002 qui est l' Approbation, au nom de la Communauté européenne, du protocole de Kyoto à la convention cadre des Nations unies sur les changements climatiques et l'exécution conjointe des engagements qui en découlent.

1.1.3.3. Technique de recyclage

A. Procédés de recyclage

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

- Le recyclage dit « chimique » utilise une réaction chimique pour traiter les déchets, par exemple pour séparer certains composants.
- Le recyclage dit « mécanique » est la transformation des déchets à l'aide d'une machine, par exemple pour broyer.
- Le recyclage dit « organique » consiste, après compostage ou fermentation, à produire des engrais et du carburant tel que le biogaz.

B. La chaîne de recyclage

B.1. Collecte de déchets

Les opérations de recyclage des déchets commencent par la collecte des déchets.Les déchets non recyclables sont incinérés ou enfouis en centres d'enfouissement techniques. Les déchets collectés pour le recyclage ne sont pas destinés ni à l'enfouissement ni àl'incinération mais à la transformation. La collecte s'organise en conséquence. La collecte sélective, dite aussi séparative et souvent appelée à tort tri sélectif est la forme la plus répandue pour les déchets à recycler. Le principe de la collecte sélective est le suivant : celui qui crée le déchet le trie lui-même.

À la suite de la collecte, les déchets, triés ou non, sont envoyés dans un centre de tri où différentes opérations permettent de les trier de manière à optimiser les opérations de transformation. Le tri manuel est une de ces opérations.

B.2. Transformation

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

B.3. Commercialisation et consommation

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



Figure 1.7. Chaine de recyclage**[7]**

1.1.3.4. Déchets recyclés

A. Eaux usées

L'eau est un bien naturel qui est indispensable à la vie et fortement consommé, mais dont les ressources sont limitées. Dans les pays développés, elle est recyclée et une part de l'eau consommée est issue d'eaux usées, assainies et redistribuées. La gestion de ce recyclage nécessite des infrastructures et une exploitation toutes deux lourdes, généralement confiées à des entreprises spécialisées dans le traitement et la distribution d'eau ou au palier de gouvernement local.

Tableau 1.1. Procédé de recyclage des eaux usées

Produit	Procédé
Eau	▪ Récupérée et transportée par les réseaux d'égout. ▪ Traitée dans des stations d'épuration pour être à nouveau consommé

B. Déchets usuels inertes

Les déchets usuels inertes sont produits par les ménages et les industries. Ils forment la part la plus large des déchets recyclables. Ils sont souvent simples à collecter et à transformer. Ils sont peu dangereux. En revanche, ils représentent des volumes importants à transporter et à stocker.

Tableau 1.2. Procédé de recyclage des déchets usuels inertes

Produit	Procédé
Acier	▪ Repris en l'état par des sociétés de récupération de métaux. ▪ Fabrication des pièces de moteur, des outils, des boîtes de conserve,etc.
Aluminium	▪ Repris en l'état par des sociétés de récupération de métaux. ▪ Fabrication des canettes, du papier d'emballage, des constituants d'automobile (culasses, jantes, boîtes de vitesses, etc.
Caoutchouc	▪ Repris en l'état par des sociétés de récupération. Les pneus hors d'usage sont utilisés pour produire des bacs à fleurs,des tréteaux, des panneaux d'insonorisation, des tuiles de revêtementde sol, de l'asphaltecaoutchouté, etc.
Carton	▪ Repris en l'état par des sociétés de récupération. ▪ Fabrication d'autres types de papier et de carton.
Gravats	▪ Repris en l'état par des sociétés de récupération. ▪ Broyés sous forme de granulats employés à nouveau dans le secteur de bâtiment ou le secteur industriel.
Papier	▪ Repris en l'état par des sociétés de récupération. ▪ Fabrication d'autres types de papier et de carton.
Plastique	▪ Repris en l'état par des sociétés de récupération. ▪ Fabrication des sacs, des récipients et des couvercles pour produits non alimentaires, des meubles de jardin, des vêtements, des jouets, du mobilier urbain, des clôtures, des tuyaux, des pièces d'automobile (pare-chocs, batteries, etc.), des bases de panneaux de signalisationroutière, des cônes de voirie, etc.

Textile	▪ Repris en l'état par des sociétés de récupération. ▪ Fabrication de textile et de pâte à papier.
Verre	▪ Repris en l'état par des sociétés de récupération. ▪ Refonte des articles en verre pour en faire des neufs
Brique alimentaire	▪ Repris en l'état par des sociétés de récupération. ▪ Les briques broyées, lavées, essorées et séchées, sont transformées en bidon, rembourrage d'oreiller, bouteille, tuyau, rouleau de fibre non tissée, etc.
Equipement électrique et électronique	▪ Les appareils sont récupérés, démantelés, déchiquetés et broyés, au moyen d'une chaîne. Les fragments valorisables sont récupérés sous forme de métaux ferreux, non ferreux, câbles, plastiques, etc.

C. Déchets usuels non inertes

Les plus connus de ces déchets sont les huiles et les peintures. L'incinération avec valorisation énergétique est un des procédés employés pour les recycler. Elle permet la production d'énergie et la destruction des déchets peu combustibles.

Tableau 1.3. Procédé de recyclage des déchets usuels non inertes

Produit	Procédé
Déchet liquide à composante minérale.	▪ Traitement physico-chimique minéral : Neutralisation des acides et des bases, transformation des produits toxiques solubles en composés insolubles précipités au sein de la solution, séparation des solides et des liquides par décantation ou par filtre.
Déchets liquides polyphasiques.	▪ Traitement physico-chimique organique en deux étapes : séparation par décantation et séchage par incinération
Déchet organique.	▪ Incinération avec valorisation énergétique : production d'énergie et destruction des déchets peu combustibles. ▪ Avant rejet à l'atmosphère, les gaz restants sont traités au charbon actif par adsorption, et neutralisés
Déchet synthétique.	▪ Incinération avec valorisation énergétique : production d'énergie et destruction des déchets peu combustibles.

D. Déchets dangereux

L'industrie produit une grande quantité de déchets dangereux. Ce sont pour la plupart desproduits comprenant des substances chimiques toxiques ou instables. Les déchets toxiques sontdangereux pour la santé et pour l'environnement. La manipulation de déchets instables entraînedes risques d'accidents graves.

Tableau 1.4. Procédé de recyclage des déchets dangereux

Produit	Procédé
Boue de déchets industriels	Chauffage des déchets dans le but d'en réduire la masse et de valoriser les sous-produits. Il s'agit de techniques de séchage ou de séchage par incinération en utilisant différentes technologies. La vapeur issue du séchage peut être recyclée comme source de chaleur dans le procédé à partir d'une chaudière. En fonction des résidus obtenus par séchage, ceux-ci peuvent être stockés pour une utilisation ultérieure.
Déchet liquide biodégradable	Traitement biologique qui consiste à transformer la matière organique en une boue par des moyens physiques. Les micro-organismes dégradent et assimilent certaines substances organiques par sécrétion d'enzymes. La boue biologique est extraite de l'eau par décantation ou flottation. Pour accélérer le processus de dépollution dans les procédés aérobiques, on utilise un apport d'oxygène (de l'air ambiant, ou pur) dans les bassins.
Hydrocarbure liquide.	▪ Séparation de l'eau, des hydrocarbures et des sédiments par desprocédés physiques (décantation, débourbage, centrifugation, filtration). ▪ Valorisation thermique des hydrocarbures récupérés.
Métal	Les mâchefers, dépollués et ôtés de tout élément métallique sontréutilisés par l'industrie métallurgique. Les sels d'argent sont stockés et transférés dans un réacteur agité, pour précipiter le sulfure d'argent. Après séparation on obtient uneboue qui sera calcinée pour la récupération de lingots d'argent.
Sol pollué Tel que les anciennes décharges.	Les techniques de traitement et de reconstitution des sites et solspollués sont appliquées selon les polluants en présence, par forage,échantillonnage et analyse.

1.1.4. Impact du recyclage dans l'industrie

1.1.4.1. Source d'approvisionnement alternative

Le recyclage des déchets offre une source d'approvisionnement en matières premières alternatives aux autres sources. Par exemple, le recyclage de fil de cuivre permet d'obtenir du cuivre auprès des entreprises de recyclage et non des entreprises d'extraction.

Le recyclage offre aux entreprises les bénéfices de la multiplicité des sources d'approvisionnements telles que la facilité de négociation des prix d'achat ou la sécurité des approvisionnements.

1.1.4.2. Création d'activités

Le recyclage est une activité économique à part entière. Elle est le moyen de création de richesses pour les entreprises de ce secteur.

En théorie, presque tous les matériaux sont recyclables. En pratique, l'absence de filière rentable fait qu'ils ne sont pas tous recyclés. Ainsi, le recyclage est plus coûteux pour des appareils électroniques comme les ordinateurs, car il faut séparer les nombreux composants avant de les recycler dans d'autres filières.

1.1.4.3. Mise en conformité avec la loi

Dans le cas des déchets d'équipements électriques et électroniques, c'est l'intervention du législateur qui a rendu leur collecte et leur valorisation obligatoires au sein de l'Union européenne.

1.1.4.4. Coût de main-d'œuvre

Le recyclage suppose de trier les déchets en fonction du mode de recyclage auquel chacun d'eux sera soumis. Ceci exige une main-d'œuvre abondante, même lorsqu'un tri sélectif est effectué en amont par la population. En effet, il arrive qu'un second tri soit nécessaire dans un centre d'affinage pour éliminer les erreurs de tri et les impuretés qui pourraient compromettre le recyclage (c'est le cas du plastique et du verre).

La collecte sélective elle-même exige la mise à disposition des ménages de bacs spéciaux et emploie plus de personnes qu'une collecte simple.La plupart de ces coûts supplémentaires sont à la charge de la collectivité (en France, par exemple, c'est au niveau de la commune ou de la communauté de communes que cela est géré).Les impôts locaux en tiennent compte, mais d'autres sources de financement existent : l'écotaxe et une taxe sur les emballages.

1.1.4.5. Conséquences sur les produits issus du recyclage

Pour certains types de produits, la qualité de la matière première est altérée par l'opération de récupération de celle-ci dans les produits recyclés. Par exemple, le recyclage du papier donne des fibres de papier plus courtes et un papier de moins bonne qualité (ce qui ne permet qu'une dizaine de recyclages successifs). Autre exemple, le recyclage de certaines matières plastiques contaminées par des polluants ne permet plus de les utiliser pour en faire des emballages alimentaires. Un des problèmes du recyclage du verre est le dépôt, au fond des fours, des verres de type Pyrex qui ont un point de fusion différent du verre ordinaire. Ces dépôts abîment les fours.

Cependant, pour la plupart des matières premières contenues dans les déchets (métaux, verre, certains plastiques), les qualités sont conservées au travers du processus de recyclage, permettant un recyclage quasi illimité de celles-ci.

Néanmoins, la chimie intervient de plus en plus dans la fabrication de matériaux issus du recyclage. Les produits qui en résultent ont des caractéristiques de durabilité et de résistance qui peuvent même être supérieures à celles de certains matériaux naturels. Ainsi, on voit des maisons bâties avec des dérivés du recyclage du bois, mélangés ou recouverts par des résines polyuréthanes ou autres. Le résultat est surprenant, donnant une résistance aux intempéries et aux U.V. supérieure à celle du bois. Il en va de même pour le papier recyclé, dont la pâte dés encrée et mélangée à certains produits chimiques donne un matériau très résistant, utilisé par exemple dans la fabrication de mobilier urbain.

1.1.5.Impacts du recyclage sur l'environnement

Les bénéfices économiques et environnementaux du recyclage sont considérables : il permet de protéger les ressources, de réduire les déchets, de créer des emplois, de protéger la nature et d'économiser les matières premières.

Le recyclage permet de réduire l'extraction de matières premières**[8]** :

- l'acier recyclé permet d'économiser du minerai de fer ;
- chaque tonne de plastique recyclé permet d'économiser 700 kg de pétrole brut ;
- le recyclage de 1 kg d'aluminium peut économiser environ 8 kg de bauxite, 4 kg de produits chimiques et 14 kWh d'électricité ;
- l'aluminium est recyclable à 100%, 1 kg d'alu donne 1 kg d'aluminium (après avoir été fondu) ;

- chaque tonne de carton recyclé fait économiser 2,5 tonnes de bois ;
- chaque feuille de papier recyclé fait économiser 11 d'eau et 2,5 W d'électricité en plus de 15 g de bois.

1.2. DECHET EN ALGERIE

1.2.1. Naissance d'une véritable politique environnementale en Algérie

L'Algérie est entrain de connaître un développement économique et démographique sans précédent. Le taux élevé d'accroissement de la population a ainsi engendré une urbanisation accélérée, le plus souvent de manière anarchique qui a vu la prolifération de l'habitation précaire. Cela ne s'est pas fait sans conséquences sur l'environnement.

Face à la gravité des problèmes environnementaux, le gouvernement algérien a décidé en 2001 de consacrer une enveloppe financière importante, de près de 970 MDZ, pour atteindre les objectifs inscrits dans le Plan National d'actions pour l'Environnement et le Développement Durable (PNAE-DD) **[9]**. Le secteur de l'environnement connaît actuellement des mutations à travers notamment le renforcement du cadre institutionnel et juridique.

- Sur le plan législatif et réglementaire, plusieurs lois ont été promulguées :
  - Loi n 01-19 du 12 décembre 2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets.
  - Loi n°01-20 du 12 Décembre 2001 relative à l'aménagement du territoire dans le cadre du développement durable.
  - Loi n°02-02 du 05 février 2002 relative à la protection et à la valorisation du littoral.
  - Loi n°03-10 du 19 juillet 2003 relative à la protection de l'Environnement dans lecadre du développement durable.
  - Loi n°04-03 du 23 Juin 2004 relative à la protection des zones de montagne dans lecadre du développement durable.
  - Loi n°04-09 du 14 août 2004 relative à la promotion des énergies renouvelables dans le cadre du développement durable.
  - Loi n°04-20 du 25 Décembre 2004 relative à la prévention des risques majeurs et à la gestion des catastrophes dans le cadre du développement durable
  - Ratification par l'Algérie du Protocole de Kyoto
  - Entrée en application de la fiscalité écologique en janvier 2005.

- Sur le plan institutionnel, création de plusieurs organismes :
  - Le Centre National des Technologies de Production plus Propres (CNTPP) ;
  - L'Observatoire National de l'Environnement et du Développement Durable ;
  - L'Agence Nationale des Déchets.
  - Le Conservatoire National des Formations à l'environnement
  - Le Centre National de Développement des Ressources Biologiques
  - Le Commissariat National du Littoral.
  - Le Centre National des Technologies de Productions plus Propres.
  - Le Haut Conseil de l'Environnement et du Développement Durable.

1.2.2. Valorisation des déchets et sous-produits dans le domaine des travaux publics

1.2.2.1. Pneus usagés et déchets de caoutchouc

En Algérie le secteur d'activité œuvre en effet à renforcer ses actions en matière de valorisation des déchets et sous-produits industriels notamment les pneus usagés dans les travaux routiers et de génie civil. Cette démarche consiste évidemment à développer et appuyer l'utilisation de ce déchet industriel dans les divers travaux de Génie civil ce qui contribuera d'une part, à la préservation de l'environnement, et d'autre part, à la réduction des coûts induits par l'utilisation des matériaux de plus en plus rares notamment dans certaines régions du pays.

En effet, les pneumatiques usagés constituent un gisement de matières premières secondaires, leur récupération et leur valorisation constituent pour notre pays un impératif économique. La valorisation de ce déchet industriel est à ses premiers balbutiements. Un premier chantier expérimental a été initié par le département ministériel, concernant l'utilisation des pneus réformés en tant que soutènement d'un talus de remblai dans un projet routier (contournement de Bou Smail). Les travaux déjà finalisés ont permis de mettre en œuvre 3500 pneus mis à disposition par Michelin Algérie **[10]**.

1.2.2.2. Déchets de plastique

Les plastiques sont omniprésents dans notre vie.Au-delà de leurs atouts, une fois consommés, ils génèrent des déchets volumineux par rapport à leur poids.Ces déchets occupent un volume important dans les points de collecte et autres installations de gestion de déchets dont les centres d'enfouissements techniques.Leur dissémination dans la nature est durable et inesthétique car leur biodégradabilité est dans la plupart des cas faible, Il y a donc lieu d'encourager leur recyclage.

A ce jour le recyclage des plastiques, et plus précisément celui des thermoplastiques issus des emballages, participe essentiellement de la grande filière du recyclage matière, c'est à dire que les déchets triés, lavés, broyés et granulés retournent dans la filière de production au stade du mélange ou de la fabrication. Les déchets plastiques sont valorisables par récupération d'une partie importante de la matière (recyclage et régénération) ou par utilisation de leur pouvoir calorifique.

Plusieurs travaux de recherche, ont été réalisés sur la valorisation des déchets plastiques dans la production du béton de construction. Manaseer Al.et al.**[11]**,ont montré que l'ouvrabilité des bétons à base des déchets plastiques est en mesure de diminuer brusquement avec l'augmentation du rapport de déchets plastiques. Cette réduction peut être attribuée au fait que quelques particules sont angulaires et d'autres ont des formes non-uniformes ayant pour résultat moins de fluidité.

Les travaux d'Ochi T et al.**[12]**montrent que le béton contenu des déchets plastiques est moins poreux et bien compacte par rapport au béton normal.Jo et autres **[13],**ont étudié l'effet de l'incorporation des déchets plastiques sur les résistances mécanique du béton. Cette étude a montré que la résistance à la compression du béton de déchets plastique(PET) est plus élevée par rapport à un béton sans déchets plastique.

Mahdi et autres **[14],**ontétudié également l'utilisation de déchets plastiques de PET, pourproduire une résine de polyester se référant que l'utilisation de déchets de PET a un effet positifsur la résistance à la compression du béton de polymère.

En Algérie, dans ses travaux de recherche et dans le cadre de la valorisation de trois types de déchets plastiques disponibles à Médéa, GUENDOUZ M^{ed}**[15]**a étudié l'effet de ces déchets plastiques sur les propriétés d'un béton ordinaire.A travers cette étude, l'auteur a trouvé une augmentation des résistances mécaniques et une diminution remarquable de l'absorption d'eau des bétons à base de déchets plastique par rapport au béton témoin.

1.2.2.3. Déchets de verre

Du fait de sa nature amorphe et qu'il contient des quantités relativement appréciables de silice, le verre est en général considéré comme étant pouzzolanique s'il est finement broyé. Ainsi il pourrait être utilisé en remplacement du ciment dans le béton.

Plusieurs travaux ont été conduits dans les années soixante sur l'utilisation du verre comme granulats dans les bétons. Cependant ces travaux ont montré que tous les bétons se gonflent et se fissurent **[16]**.

Depuis, l'idéea été en partie abandonnée. Ce n'est que depuis une vingtaine d'année que le sujet est redevenu d'actualité. En effet, pour des raisons économiques et environnementales, l'utilisation du verre recyclé dans les ciments et bétons a suscité l'intérêt d'innombrable municipalité et celles-ci ont encouragé de nouvelles études **[17, 18]**.

Zeroub H. **[19]**, a étudié l'effet de l'ajout de 30 % de poudre de verre comme substituant du poids de ciment dans la formulation d'un BHP. L'auteur a montré que la poudre de verre améliore l'écoulement du béton tout en gardant la même quantité de superplastifiant. La résistance mécanique augmente d'une façon graduelle par rapport à celle du béton de référence. Aussi la poudre de verre il consolide d'avantage la matrice cimentaire ce qui rend difficile la pénétration des composés agressifs dans le béton.

1.2.2.4. Déchets de marbre

Le marbre en Algérie est exploité par l'entreprise nationale du marbre «ENAMARBRE» par dix unités de production dans cinq wilayas. Durant l'année 2007, la production de marbre en blocs, par les filiales de l'Entreprise ENAMARBRE, est de 10 620 m^3, en baisse de 33,96% par rapport à la production enregistrée en 2006 qui était de 16 082 m^3.Les déchets de carrières à blocs sont les bocains, chutes et moellons ayant différentesformes géométriques, le taux de déchets est de 56% de la production pour l'année 2007 ; lestock jusqu'à la fin 2007 est de l'ordre de 5 823 m^3.

Actuellement le recyclage des déchets est limité sur une partie de blocs de marbre de la carrière à blocs, par une entreprise privée.

Le produit de recyclage de déchets est un sous-produit de marbre «granulats et poudre». Les déchets de l'usine de transformation sont exploités partiellement en revêtement de sol extérieur pour les chutes de carreaux et en construction de carreaux de granito, en peinture pour la poudre de marbre.

L'étude de SAADANI S. **[20]**, consiste à comparer les propriétés d'un béton de référence à l'état frais et durci, à celles des bétons incorporant des granulats de marbres en substitution d'une fraction volumique du sable, de graviers et les deux ensemble avec des taux de substitution de (25%, 50%, 75%, 100%). Il se dégage de l'étude que le dosage et la classe des granulats recyclés sont, à courts termes, des paramètres de premier ordre.Les résistances en compression sont nettement favorisées par la classe de granulats recyclés quel que soit le dosage.Les mélanges à base de granulats substitués partiellement donnent les meilleures performances à l'état frais et durci du béton que ceux substituer totalement ou de référence.

L'étude effectuée par Hebhoub H. et BelachiaM. **[21]**,a pour but de mettre en évidence la possibilité d`utiliser le sable de déchets de marbre comme substituant dans la fabrication d'un béton hydraulique. Les auteurs ont étudié une série d`essais,« substitution de sable » avec un rapport E/C (eau /ciment) constant pour une teneur en sable recyclé variable. L'étude consiste à analyserles propriétés mécaniques à l`état frais et durci des bétons avec un taux de substitution variable (25%,50% ,75% et 100%) et de comparer les résultats avec un béton témoin à base de granulats ordinaires.

Les résultats de cette étude ont montré que la meilleure ouvrabilité est donnée par le béton de granulatordinaire. Ceci peut être expliqué par la présenced'éléments fins du sable.Les mélanges à base de granulats substitués partiellementdonnent les meilleures performances en compression queceux substitués totalement ou de référence.La valeur maximale de la résistance en traction à 28 joursest obtenue avec le béton de 50% de taux de substitution. Cette recherche montre que les déchets de marbrepeuvent être techniquement utilisés comme substituant dansles bétons hydrauliques.

Chaid R. et al. **[22]**, ont étudié l'effet de l'addition d'une poudre de marbre finement broyée comme ajout cimentaire sur la durabilité des bétons en milieu marin. Les résultats de cette étude ont monté que Le remplacement partiel du ciment par la poudre de marbre ne contribue pas àformer un volume important de nouveaux produits hydratés capables de réduire laporosité des bétons même si la résistance en compression peut être plus ou moinsaméliorée.La contribution de la poudre de marbre a donc un rôle structurant des liaisons dela matrice cimentaire du point de vue mécanique, cette contribution structurante setraduit en termes de durabilité par une réduction de la porosité et une meilleurerésistance à l'agression chimique, la diffusion des ions chlore est systématiquementdiminuée et la perméabilité superficielle réduite

1.2.2.5. Déchets de la Construction/Démolition

La démolition des ouvrages en béton et l'industrie des matériaux de construction sont toujours accompagnées par des produits secondaires ou des déchets ; le stockage de tels déchets solides dans des dépôts favorise la pollution de l'environnement et puisque les réserves en granulats alluvionnaires vont s'épuiser, il est donc nécessaire de trouver un moyen pour valoriser ces produits et les réutiliser de nouveau comme granulats dans les bétons et les mortiers.

Le béton recyclé est simplement du vieux béton broyé pour produire des granulats. Il peut être utilisé dans les couches de fondation comme dans du béton maigre et comme seule source de granulats ou remplacement partiel des granulats dans du béton neuf.

Les granulats de béton recyclé sont généralement plus absorbants et moins denses que les granulats ordinaires. La forme des particules est semblable à celle de la pierre concassée. Le béton fabriqué avec des granulats provenant du recyclage, présente généralement de bonnes qualités de maniabilité, durabilité et résistance à l'action du gel-dégel. La résistance en compression varie selon la résistance du béton initial et le rapport eau/liants du nouveau béton.

Zhen H. D. et al **[23]**, 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 (figure 1.8).

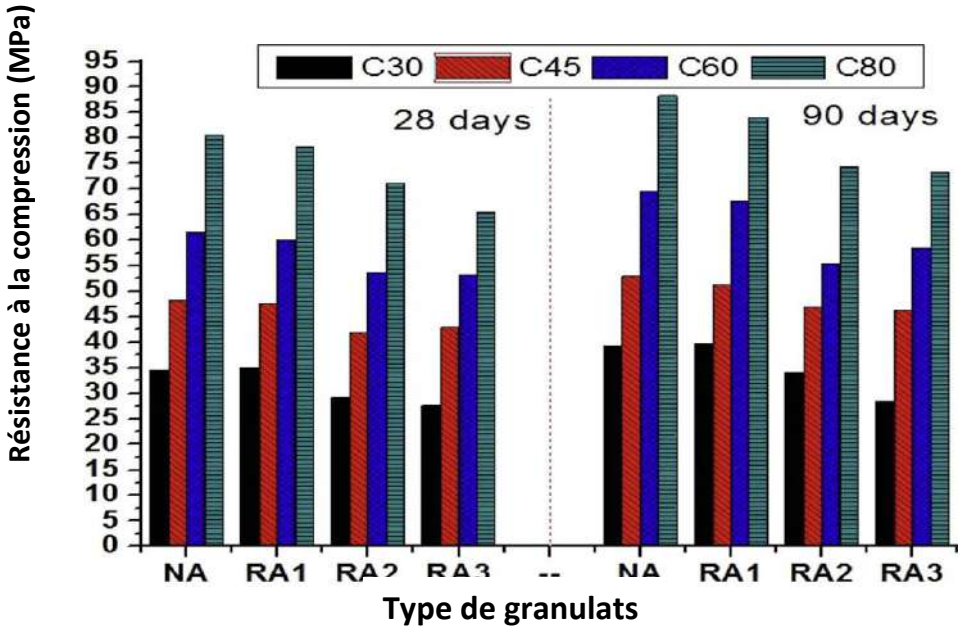


Figure1.8. Effet de type de granulats recyclés sur la résistance à la compression d'un béton **[23]**

Kenai S. et Debieb F. **[24]**, 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**[25]**, 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.

1.3.LA BRIQUE ET SON RECYCLAGE

1.3.1.Le matériaux brique

1.3.1.1.Définition

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 (la température de frittage). 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 confèred'ailleurs des propriétés spécifiques et la distingue des autres matériaux de construction. En réalité, la brique de terre offre une isolation thermique, phonique et hydrométrique bien supérieure au parpaing béton et une résistance à la compression également supérieure au parpaing**[26].**

1.3.1.2 Processus de production

Le processus de production de la terre cuite se compose de différentes étapes :

1. L'extraction des matières premières (argiles et limons),
2. La préparation de l'argile,
3. Le façonnage,
4. Le séchage
5. La cuisson



Figure 1.9. La brique

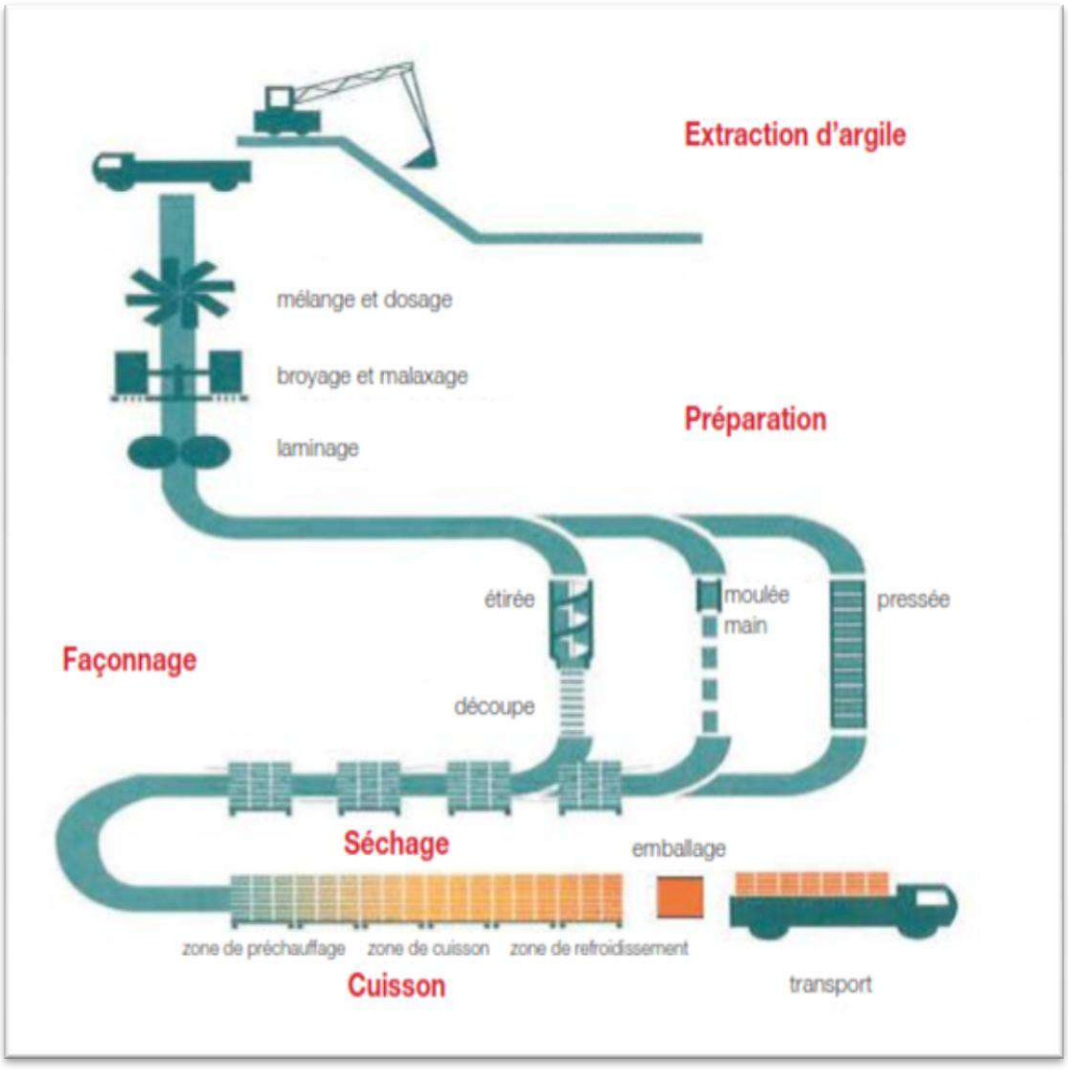


Figure 1.10. Processus de production de la brique

I.3.1.3.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 **[12]**.

I.3.2. Déchets de briques

Les déchets de briques sont des sous-produits de l'industrie des produits rouges. Ils se trouvent en grande quantité au niveau national à cause du nombre élevé de briqueteries et des taux de rejets (briques non conformes où cassées) qu'elles génèrent et qui représentent 10 à 15% de leurs productions. Par ailleurs des études entreprises par WILD S**[78]**..ont montré un caractère pouzzolanique de ces déchets.Les produits en terre cuite sont vraiment très durables et leur résistance à l'épreuve du temps le prouve.

Dans plusieurs pays du monde, plus de la moitié de tous les déchets de démolition est réutilisée sous une forme ou sous une autre, bien que pour le moment il s'agisse souvent d'applications secondaires. Cependant, des difficultés peuvent surgir lors de la séparation des matériaux, en particulier lorsque des éléments composites ont été utilisés. Dans certains pays, des études ont été réalisées pour mettre l'accent sur les méthodes de réutilisation des briques provenant des sites de démolition.Mais il semble certain que les pressions économiques et législatives auront un impact important sur le processus de recyclage des matériaux de construction.



Figure 1.11. Déchet de brique

1.3.3.Recyclage des déchets 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.

1.3.3.1 Principaux critères environnementaux pour la réutilisation des déchets de brique

Les critères techniques pour la réutilisation des déchets de démolition en céramique sont peu nombreux. Dans la plupart des cas, les déchets de démolition sont mélangés à d'autres matériaux, mais ils doivent être exempts d'éléments contaminants tels que les métaux lourds et les HAP (Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques).

1.3.3.2. Différents technique pour l'utilisation de la brique recyclé

A. Matériaux de remplissage et de stabilisation dans les infrastructures

Pendant de nombreuses années, 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 comme le Danemark. Ce matériau est généralement utilisé non broyé.

Les briques, les tuiles et autres maçonneries en terre cuite broyée peuvent être utilisées dans des projets de construction routiers plus importants, en particulier sous forme de couche de base non traitée. Elle est utilisée dans la construction des routes dans des pays tels que la Suisse, la Hollande, le Royaume-Uni et le Danemark.



Figure 1.12.Déchet de brique concassé

B. Agrégats pour béton in situ, préfabriqué et mortier

Les briques en terre cuite 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).

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 **[27]**.

Debieb F. et al. **[28]**, ont étudié la possibilité d'utilisation des déchets de brique dans la fabrication d'un béton ordinaire avec des taux de remplacement de 25, 50, 75 et 100% des granulats naturelles (fin et grossier). L'introduction des granulats de déchet de brique a été faite une fois, par le remplacement partiel du sable naturel seulement. La deuxième fois par le remplacement du gravier seulement. Et en dernier par le remplacement des deux granulats à la fois. Les résultats de cette étude montrent qu'un remplacement maximale de 25 % pour le sable et de 50% pour le gravier avec le déchet de brique, mènent a des caractéristiques similaires à celles du béton à base de granulats naturelles en terme de résistances mécaniques (compression et flexion), retrait, absorption capillaire, porosité et perméabilité à l'eau.

Lan Z. et al.**[29]**,ont utilisé des déchets de brique provient d'un site de construction et ont une résistance à la compression plus de 10 MPa. Ces déchets sont introduites dans la fabrication d'un béton à base de 15% de cendre volante, avec des taux de remplacement de 0, 30, 40 et 50% des granulats concassées. Les résultats de cette étude ont montré que les granulats recyclés (déchets de brique) ont une porosité très élevée par rapport aux granulats concassés. Et que les résistances mécaniques du béton sont diminuées avec l'augmentation du dosage en granulats recyclés (figure 1.13). En outre les résultats des essais de durabilité en termes de perméabilité à l'eau, au gaz et la diffusion des ions chlores, ont montré une augmentation de ces caractéristiques avec l'augmentation du pourcentage d'addition des déchets (figure 1.14-1.16).

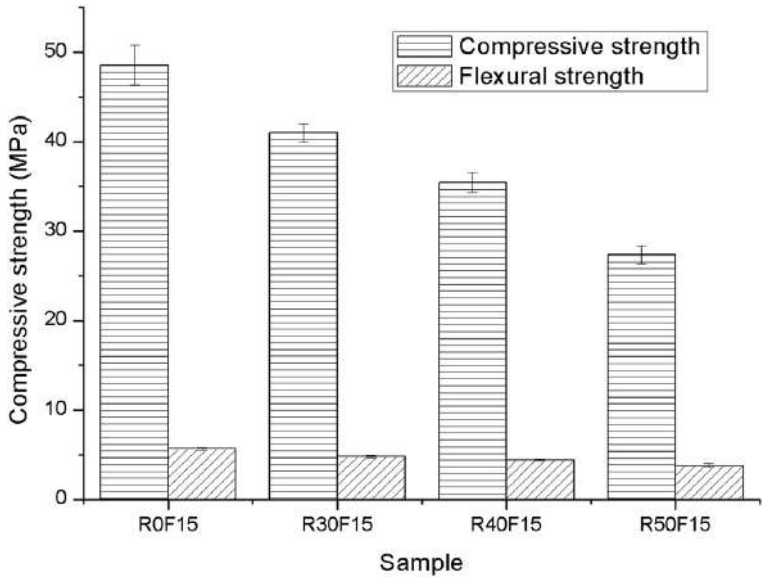


Figure 1.13. La variation de la résistance du béton avec et sans granulats recyclés **[29]**

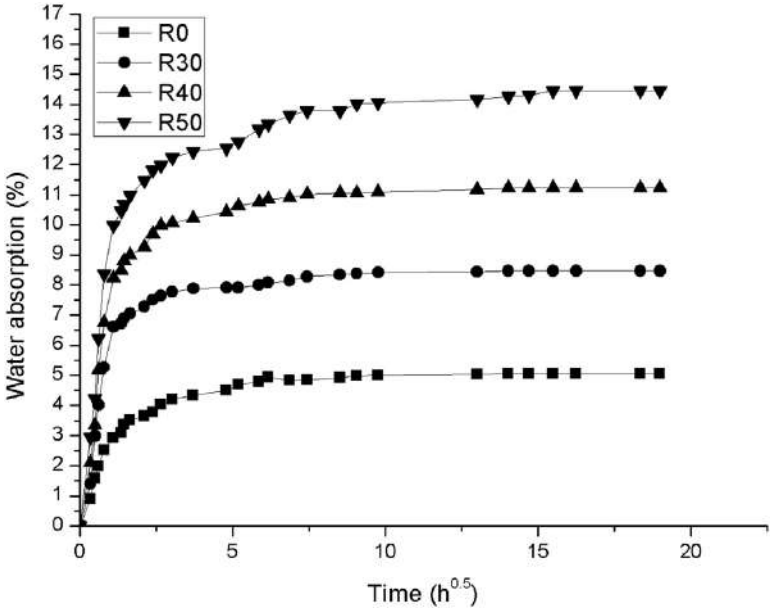


Figure 1.14. Absorption d'eau du béton avec et sans granulats recyclés **[29]**

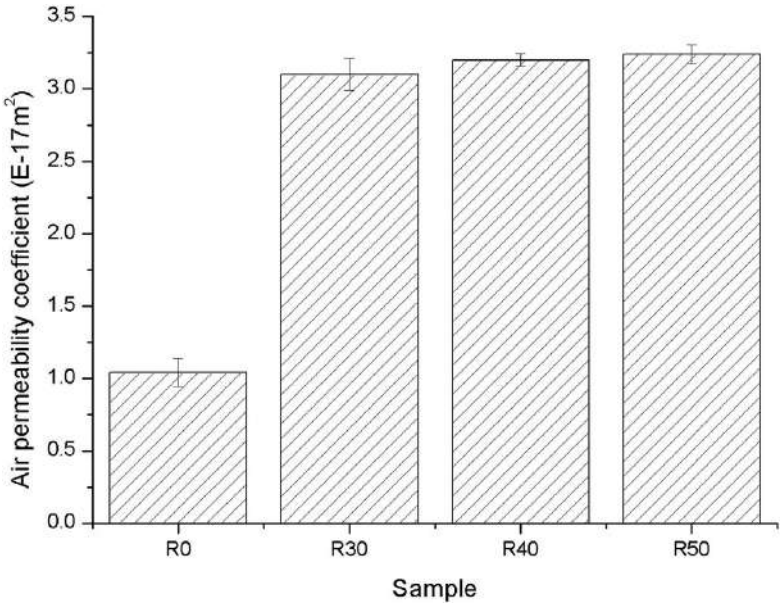


Figure 1.15. La perméabilité au gazdu béton avec et sans granulats recyclés **[29]**

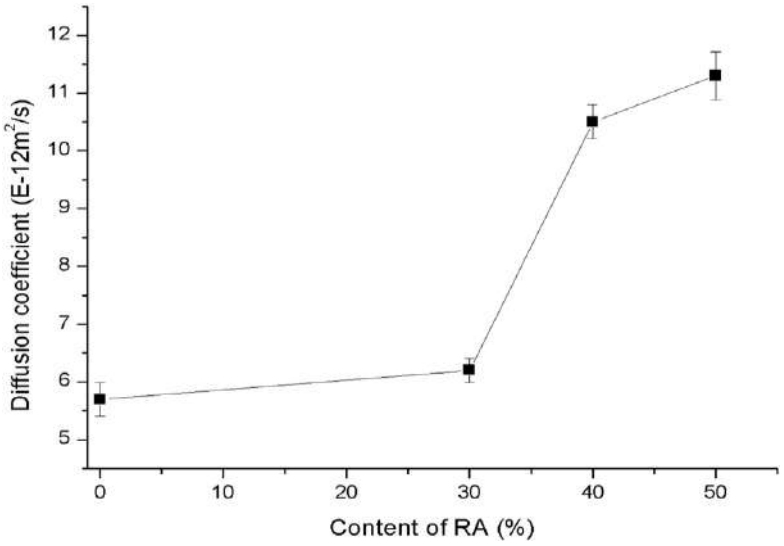


Figure 1.16. La diffusion des ions chloresdu béton avec et sans granulats recyclés **[29]**

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 avec une granulométrie de 0-2 ou 0-4 minimum.

La qualité du clinker aura de nombreux avantages :

- Meilleur drainage de l'eau
- Couleur unique
- Plus grande densité (moins de risque de dispersion par le vent)
- Pas de problème de mousse



Figure 1.17.L'utilisation des déchets de brique dans le terrain de tennis

D. Substrats pour plantes

Les briques et les tuiles broyées peuvent également entrer dans la composition de substratspour la culture des plantes. Le matériau peut être mélangé à d'autres substances utilisées dans la production végétale, comme par exemple les matières organiques compostées. Ce matériau convient particulièrement bien aux toits végétalisés. Les terrasses sont recouvertes d'une membrane polymère dense, puis de 10-30 cm de matériau en briques et en tuiles broyées.

1.4. LE BETONS ET SON RECYCLAGE

1.4.1. Le matériau béton

L'histoire du béton remonte à 2000 ans avant J.C. Ce sont les romains, qui les premiers ontinventes une pâte « dure comme la pierre », à base de chaux vive. Plus tard (19ème siècle),lesvéritables recherches approfondies sur les propriétés de la chaux furent entrepris par SMEATON, VICAT et ASPDIN qui montrèrent dans un premier temps que le clinker issu de lacalcination du mélange « calcaire – argile » (particules anhydres) fournissait une meilleurehydraulicité au liant. En 1855, du gypse (SO3) en petite quantité ajoutée au clinker, permitd'obtenir au contact de l'eau, une étrangéité (mélange formant une étreinte des constituants parune réaction chimique), homogène et maniable pendant un laps de temps.

Ce mélange original « gypse – clinker » fut brevète et possède encore aujourd'huil'appellation Ciment Portland Artificiel. Puis rapidement les mortiers et les bétons furent mis enœuvre en introduisant dans la pâte de ciment respectivement du sable ou des granulats. Enparallèle à de nombreuses recherches sur leur composition et leur comportement ces « nouveauxmatériaux composites » furent rapidement employés dans la construction.

Les propriétés des bétons tentent d'être améliorées en fonction de leur utilisation (structures, réparation). C'est pourquoi, de plus amples recherches s'attachent à déterminer l'effet d'ajouts cimentaires (cendres volantes, laitiers, fumée de silice..) qui apportent des propriétés intéressantes au béton (ouvrabilité, résistance, porosité, facilite de mise en œuvre) et celui d'additifs chimiquestels que les plastifiants qui agissent sur l'ouvrabilité des bétons. Cependant leurs effets nécessitent des études approfondies sur le comportement diffère à court et à long terme des bétons.

A cette étape on peut définir alors la notion des bétons spéciaux, donc quelles sont les bétons spéciaux, et quelles sont leurs propriétés.

1.4.2 Bétons spéciaux

1.4.2.1 Béton à haute performance (BHP)

Les bétons de hautes performances « BHP » ont d'abord été appelés ≪ bétons de hautesrésistances≫, car c'est cette caractéristique facilement mesurable qui a fait des progrèsspectaculaires. Elle est passée de 30 à 35 MPa il y a quelques années, a plus de 100 MPa pour lesbétons a très hautes performances « BTHP », voire plus de 200 pour des bétons delaboratoire.

Les gains de résistance ne sont pas les seuls avantages de ces bétons qui tirent leurspropriétés d'une forte réduction de leur porosité. Ils sont également plus résistants aux agentsagressifs, aux phénomènes de gel-dégel et, de façon générale, présentent une durabilité accrue.Les bétons HP permettent de réaliser des structures soumises à des contraintes élevées oudes ouvrages subissant un environnement sévère (climat, agressions marines, effets du gel). Ilsapportent aussi des résistances précoces élevées au béton, ce qui permet d'accélérer les cadencesde fabrication en usine ou sur chantier.

1.4.2.2 Béton autoplaçant (BAP)

Les maîtres d'ouvrages, architectes, ingénieurs, entreprises, fabricants de béton et préfabricants ont toujours recherché un béton ayant :

- une mise en place aisée,
- un bon remplissage des coffrages,
- un parfait enrobage des armatures,
- une forte compacité.

La vibration a toujours été le moyen d'obtenir ces caractéristiques. Devant la complexité croissante des structures, formes variées, fortes concentrations d'armature, les formulations de bétons ont dû s'adapter.

Les bétons sont devenus de plus en plus fluides, malgré la réduction de la quantité d'eau de gâchage, à tel point que la vibration n'est plus devenue nécessaire. Le béton auto-plaçant était né. Cette hyperfluidité du béton a été rendue possible par l'arrivée sur le marché des dernières générations d'adjuvants « superplastifiants ». La base de ces adjuvants est une molécule complexe qui retarde l'hydratation du ciment et augmente considérablement la dispersion des grains de ciment.

Les BAP ont des compostions granulométriques fortement chargées en éléments fins. Des adjuvants de type « superplasitifants », ou plastifiants « réducteurs d'eau » sont utilisés systématiquement.

Le rapport E/(C + f), facteur principal dans la qualité d'un BAP, est voisin de 0,35.
Un BAP se caractérise par son hyperfluidité dont le seul moteur de mise en place est la gravité sans recours à la vibration.

1.4.3. Les déchets de béton et le recyclage

1.4.3.1. Déchet de béton

Quand on pense déchets et recyclage, on s'inquiète des sacs en plastiques en oubliant trop souvent un problème de poids : le béton. Et d'ailleurs le grand public ne s'en soucie guère – ce n'est pas un déchet toxique ni risqué.Pourtant, il s'agit d'un enjeu énorme. Le béton est le matériau le plus utilisé dans le monde après l'eau: environ 25 milliards de tonnes de béton sont fabriquées chaque année, l'équivalent de 6 millions de camions de béton par jour. C'est un matériau qui peut durer très longtemps, et les structures en béton ne sont généralement détruites que parce qu'elles ne sont plus utiles, et non pas parce qu'elles sont usées.

Le béton – c'est-à-dire du ciment où sont incorporés des gravillons ou des cailloux, dits granulats ne peut pas être retransformé en ciment car il est difficile de le nettoyer des granulats. Le recycler ne permettrait donc pas de réduire les émissions de carbone liées à la production du ciment, base du béton.Mais son recyclage permettrait à la fois de dégager les décharges et de récupérer des matériaux utiles, sans oublier l'empreinte carbone et le coût du transport du béton neuf, si le béton recyclé est utilisé sur place.

Dans le cadre du recyclage du béton, la valorisation des bétons est facilitée par la déconstruction sélective avec tri sur le chantier. Le béton déconstruit est une ressource abondante pour lesquels les cimentiers se sont engagés dans la voie de la réduction d'émission de gaz à effet de serre.

En France la problématique du recyclage du béton est d'autant plus importante que les restructurations urbaines vont engendrer nombre de déconstructions de bâtiments et d'ouvrages en béton des années 70 (voir aussi pathologie du béton, pathologies du bâtiment). Depuis fin 2011, le diagnostic déchets avant déconstruction est devenu obligatoire pour les bâtiments supérieurs à 1000 m². Il en est de même pour les bâtiments qui ont accueillis des activités spécifiques.

Les techniques actuelles de concassage engendrent des granulats composites (granulat naturel d'origine et gangue de mortier) dont les propriétés dépendent de la nature des bétons, du type de tri et des traitements utilisés. Leur introduction dans la formulation de nouveaux bétons révèle un besoineneauélevéeoudes résistances mécaniques limitées.

Le LERM est un des partenaires investis dans le Projet National RECYBETON qui s'intéresse aux technologies innovantes de fragmentation du béton, (chauffage micro-ondes, voie électro-hydraulique) permettant l'obtention de granulat naturel d'un côté et de mortier de l'autre (les

fines). Ce granulat ainsi obtenu permettra un recyclage du béton dans un nouveau béton. Quant aux fines de mortiers, elles pourront être valorisées vers la production de ciment. Ces étapes vont dans le sens d'un recyclage du béton complet.

1.4.3.2Valorisation des déchets de béton

Avant tout recyclage, il est impératif de bien sélectionner les bétons à traiter. Plus ils sont massifs, mieux ils se recyclent. Cela impose au démolisseur de les trier en amont, avant que le recycleur ne contrôle la présence de matières indésirables non inertes (plâtre, plastique, bois, amiante, polystyrène, etc.).

Les déchets de béton peuvent alors être nettoyés, concassés puis tamisés comme on le ferait avec une roche pour en extraire un mélange de granulométrie équivalente à des cailloux, des gravillons et des sables (grave de béton). Les bétons armés sont dé-ferraillés par séparateurs magnétiques.

Pour les utilisations routières et certains travaux de génie civil, les déchets redeviennent ainsi un produit 100% équivalent aux granulats de béton dans la granulométrie voulue, faisant l'objet d'une traçabilité rigoureuse. Les applications sont diverses. On le retrouvera dans la construction de semelles de chaussée, de digues, de remblais, dans les tranchées de canalisation, etc.

On peut également utiliser le béton recyclé dans la formulation de nouveaux bétons pour la construction, y compris des bétons de structure.C'est l'une des ambitions du projet national de recherche et développement ***RECYBETON***(Recyclage complet des bétons) lancé début 2012.Il a pour objectifs principaux :

- de réutiliser l'intégralité des matériaux issus des bétons déconstruits, y compris les fines, comme constituants de nouveaux bétons
- de les recycler comme matière première dans la production de liants hydrauliques (pour produire le clinker ou comme constituant de ciments composés).

RECYBETON ne s'intéresse pas uniquement aux recherches sur les technologies, les processus et les matériaux. Il traite également des aspects socio-économiques, environnementaux et sanitaires, réglementaires et normatifs. En effet, les installations de recyclage sont scrupuleusement réglementées et ses produits normés pour pouvoir être utilisés. Ceci a des effets positifs (réduction des impacts sur l'environnement et la santé) et négatifs (craintes de la population pour accepter ce type d'installations).

Par ailleurs, l'augmentation de la part des granulats recyclés dans les travaux de voirie et de remblayage en particulier, s'inscrit dans le cadre réglementaire spécifique aux déchets du BTP renforcé avec la « loi Grenelle 2 ».

L'amélioration de la gestion des déchets du BTP étant l'un des 5 axes de la Politique Nationale des Déchets. Leur emploi répond de surcroît à la directive-cadre européenne 2008/98/CE sur la valorisation des déchets non dangereux du BTP ; les Etats membres s'engageant à prendre les mesures nécessaires pour recycler au minimum 70% des déchets inertes comme le béton à l'horizon 2020. Ce recyclage permet la préservation des ressources naturelles et évite ainsi la mise en décharge.



Figure 1.18. Déchet de béton

1.5.LE MORTIER DE CONSTRUCTION

1.5.1.Définition

Le mortier est un des matériaux de construction que l'on utilise pour solidariser les éléments entre eux (blocs de béton, briques, éléments en béton préfabriqué, etc.), assurer la stabilité de l'ouvrage, combler les interstices entre les blocs de construction. En général, le mortier se compose de ciment ou de chaux, de sable, d'eau et d'adjuvant.C'estladimension Dduplusgros granulatqui déterminel'appellation:mortierpour D≤4mm, béton pour D≥4 mm**[30]**.

Les différents granulats forment le squelette granulaire du mortier est leciment, l'eau et l'adjuvant forment la pâte liante. Lorsqu'il n'y a pas de squelettegranulaire, on parle de pate pure de ciment **[2]**.

Le mélange de chaux, d'argile, de sable et d'eau est très ancien. Les Égyptiens l'utilisaient déjà 2600 ans avant.J.-C. : un des mortiers les plus anciens est celui de la pyramide d'Abu Roasch, qui fut probablement érigée sous la IVe dynastie **[31]**.

Le mortier romain de l'Antiquité était composé d'une partie de chaux pour trois parties de sable fin. Grâce à la chaux et au processus chimique de carbonatation, le mortier romain durcit en vieillissant, ce qui explique son extraordinaire conservation pendant des siècles**[32]**.

Le mortier de tuileau est un mélange de chaux et de fragments de terres cuites de construction (briques ou tuiles). Une variété citée par Vitruve**[33]**, comprend une partie de chaux, une partie de tuileau pilée et tamisée et deux parties de sable. Le tuileau, qui est une argile cuite, agit pendant la prise du mortier :

- dans un premier temps, le tuileau fixe au cœur du mortier l'eau rendue par le début de prise
- dans un second temps, le tuileau rend l'eau fixée, contribuant à une prise très solide.

1.5.2. Composition

Le mortier est un des matériaux de construction, qui contient du ciment; de l'eau; du sable; des adjuvants et éventuellement des additions. Ils peuvent être très différents les uns des autres selon la nature et les pourcentages des constituants, le malaxage, la mise en œuvre et la cure.

Les mortiers sont constitués par des mélanges de:

- liant (ciment ou chaux)
- eau
- sable
- adjuvants

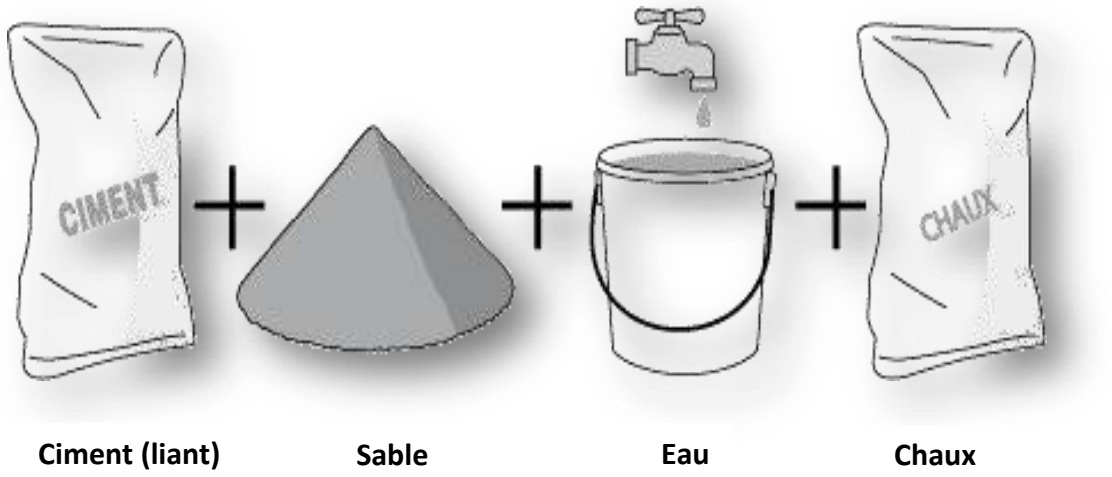


Figure 1.19. Composantes d'un mortier

1.5.2.1.Les liants

Un liant est un produit qui se solidifie, par contact avec l'eau (liant hydraulique) ou par action de l'air (liant aérien). Il existe aussi des liants à base de résines. Généralement, on peut utiliser:

- les ciments normalisés (gris ou blanc);
- les ciments spéciaux (alumineux fondu, prompt, ..) ;
- les liants à maçonner;
- les chaux hydrauliques naturelles;
- les chaux éteintes.

1.5.2.2.Les granulats

Les mortiers utilisent comme granulat du sable, issu de la désagrégation ou du broyage de roches minérales. Ce sable, principalement de rivière ou éventuellement de carrière, doit être le plus propre possible. Il s'agit en général de sable fin ou moyen, qui doit être bien homogène et régulier. Il doit être non friable.

Normalement, les sables utilisés sont les sables appelés "sable normalisé". Les sables de bonne granulométrie doivent contenir des grains fins, moyens et gros. Les grains fins se disposent dans les intervalles entre les gros grains pour combler les vides. Ils jouent un rôle important: Ils réduisent les variations volumiques, les chaleurs dégagées. Les dosages se feront en poids plutôt qu'en volume comme c'est souvent le cas, afin d'éviter les erreurs de dosage, par suite de l'augmentation de volume de sable humide.Ils peuvent être:

- naturels et roulés (de rivières, de sablières, ..), de nature siliceuse ou silico-calcaire;
- naturels concassés (roches de carrières), comme des basaltes, porphyres, quartzites. Ils sont anguleux et durs ;
- spéciaux (lourds, réfractaires, légers):
  - sable de laitier;
  - sable d'oxydes de fer, de chromite;
  - corindon;
  - sable de briques concassés;
  - liège torréfié;
  - polystyrène expansé;
  - vermiculite, perlite.

Certains sables sont à éviter, notamment les "sables à lapin", généralement très fins, les sables crus qui manquent de fines et les sables de dunes ou de mer qui contiennent des sels néfastes pour les constituants des ciments, par contre ils doivent être propres.

Le diamètre maximum des grains de sable utilisés pour les mortiers est:

- Extra-fins: jusqu'à 0,8 mm (en tamis), soit 1 mm (en passoire);
- Fins: jusqu'à 1,6 mm;
- Moyens: jusqu'à 3,15 mm;
- Gros: jusqu'à 5 mm.

1.5.2.3. L'eau

L'eau s'utilise pour faire durcir les liants hydrauliques. Elle doit être propre et pure. C'est pourquoi il faut généralement utiliser de l'eau du robinet ou de l'eau de puits potable. La quantité nécessaire dépend de la destination du mortier. Pour assembler des parpaings par exemple, il faut un produit plus sec que pour un enduit. Mais attention : quand le mortier est trop liquide, il coule et sèche difficilement. Trop sec, il colle mal.

1.5.2.4.Les adjuvants

Les adjuvants sont des produits chimiques que l'on utilise. Ils modifient les caractéristiques de base des bétons et des mortiers auxquels ils sont ajoutés en faible proportion (environ de 5% du poids de ciment). Ils peuvent agir sur le délai de prise et de durcissement, la plasticité ou la compacité mais aussi sur la résistance au gel ou bien à l'évaporation.

Les mortiers peuvent comporter différents types d'adjuvants:

- les plastifiants (réducteurs d'eau);
- les entraîneurs d'air;
- les modificateurs de prise (retardateurs, accélérateurs);
- les hydrofuges.

Dans tous les cas des soins particuliers doivent être pris afin d'obtenir des mortiers sans ressuage, homogènes d'une gâchée à l'autre.

1.5.3. Types de mortier

Dans les travaux publics on utilise différents types de mortier:

1.5.3.1.Les mortiers du ciment

Les mortiers de ciments sont très résistants, prennent et durcissent rapidement. Le dosage du rapport entre le ciment et le sable est en général volumétrique de 1/3 et le rapport de l'eau sur ciment est environ 0,35. De plus, un dosage en ciment les rend pratiquement imperméables.

1.5.3.2.Les mortiers de la chaux

Les mortiers de chaux sont moins résistants par rapport aux mortiers de ciment (gras et onctueux). La durée du durcissement des mortiers de chaux est plus lente que pour les mortiers de ciments.

1.5.3.3.Les mortiers bâtards

Ce sont les mortiers, dont le liant est le mélange de ciment et de chaux. Généralement, on utilise la chaux et le ciment par parties égales, mais des fois on prend une quantité plus ou moins grande de l'un ou l'autre suivant l'usage et la qualité recherchée.

1.5.3.4.Les mortiers de résine

Ils utilisent des résines synthétiques, en particulier le polyester ou l'époxyde.

1.5.3.5. Mortiers fabriqués sur chantier

Ils sont préparés avec le ciment et le sable du chantier. Le ciment est un ciment courant CPA ou CPJ et parfois des ciments spéciaux comme le ciment alumineux fondu.

On emploie également des chaux hydrauliques et parfois des liants à maçonner. Le sable est le plus souvent roulé (nature silico-calcaires) parfois concassé et le gâchage s'effectue à la

pelle ou à l'aide d'une petite bétonnière. Ces mortiers ne sont donc pas très réguliers et les sables peuvent être différents d'une livraison à l'autre, mais de toutes façons ils doivent être propre et de bonne granulométrie.

Le sable est généralement dosé en poids (ce qui est préférable), soit en volume (cas des petits chantiers). Dans ce dernier cas, il est très important de tenir compte du phénomène de foisonnement des sables.

1.5.3.6. Mortier industriel

Ce sont des mortiers que l'on fabrique à partir de constituants secs, bien sélectionnés, conditionnés en sacs, contrôlés en usine et parfaitement réguliers. Pour utiliser ce type de mortiers, il suffit de mettre la quantité d'eau nécessaire et malaxer pour ensuite les mettre en œuvre.

Les mortiers peuvent contenir des liants et des sables variés ainsi que certains adjuvants et éventuellement des colorants.

1.5.3.7. Mortier de hourdage de maçonnerie

On utilise des sables dont les grains les plus gros n'excèdent pas 5mm, le dosage le plus usuel est de1 volume de liant pour trois volumes de sable. La quantité d'eau qui joue un rôle important ne peut être fixée à priori, en règle générale on adopte une valeur voisine de la moitié du poids du liant qui peut être réduite lorsqu'on utilise un plastifiant.

1.5.4. Domainesd'utilisationdesmortiers

Parmi les nombreuses applications du mortier, les fabricants distinguent notamment :

- Les mortiers-colles : ils servent à poser du carrelage et de la céramique, au sol ou sur les murs.
- Les mortiers de ragréage : ils bouchent les trous et bulles, cachent les défauts de surface pour obtenir une surface plane.
- Les mortiers de scellement : ils s'utilisent pour sceller des éléments métalliques.
- Les mortiers isolants : ils permettent d'isoler thermiquement des façades par l'extérieur.

1.5.5. Valorisation des déchets dans la fabrication du mortier de ciment

1.5.5.1.Déchet de brique

Les déchets de briques sont des sous-produits de l'industrie des produits rouges. Ils se trouvent en grande quantité au niveau national à cause du nombre élevé de briqueteries et des taux de rejets (briques non conformes où cassées) qu'elles génèrent et qui représentent 10 à 15 % de leurs productions **[1]**.

NIGRI.G. et al. **[34]**, Ont cherché à élaborer un nouveau ciment composé à base de déchets de briques. Des résultats préliminaires montrent quel'incorporation de 5 à 15% de déchets de briques dans un broyeur à haute énergie, permet une amélioration des principales caractéristiques physiques (retrait, densités, expansion à chaud, etc.) du nouveau liant, avec des propriétés mécaniques comparables aux ciments portlands composés de classe derésistance normale de 42,5MPa.Les meilleures valeurs des caractéristiques et des propriétés physico mécaniques ont été obtenues pour un ciment contenant les proportions en masses suivantes : 85% de clinker + 10% de déchets de briques + 5% de gypse.

Les travaux de Dina M. S. **[35]**,ont pour but d'étudie les propriétés physico-mécaniques des mortiers de ciment à base du déchet de brique d'argile broyées comme granulats recyclés. Quatre séries de mélanges dont la teneur en ciment de 100, 150, 200 et 300 kg/m3 ont été préparés. Dans chaque série, les granulats naturels fins, ont été remplacés par des agrégats de briques concassées (ABC) à avec des taux de substitution de 0%, 50% et 100% en volume. Les résultats expérimentaux ont montré une diminution du poids et des résistances mécaniques des mortiers avec l'augmentation du dosage en granulats recyclés. En plus ils ont remarqué que l'absorption d'eau par capillarité augmente en augmentant le taux de remplacement des granulats recyclés des granulats naturels.

HADJOUDJA M. et BEDERINA M. **[36]**,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 gel-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 1.20).En ce qui concerne la résistance au gel-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/m^3 de fillers de brique (figure 1.21).

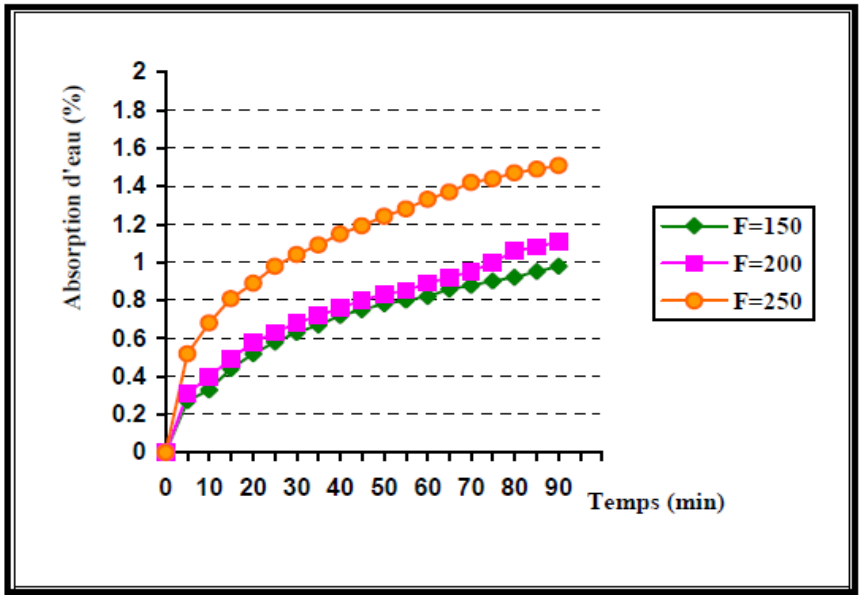


Figure 1.20. Absorption d'eau des bétons à base de déchets de brique **[36]**

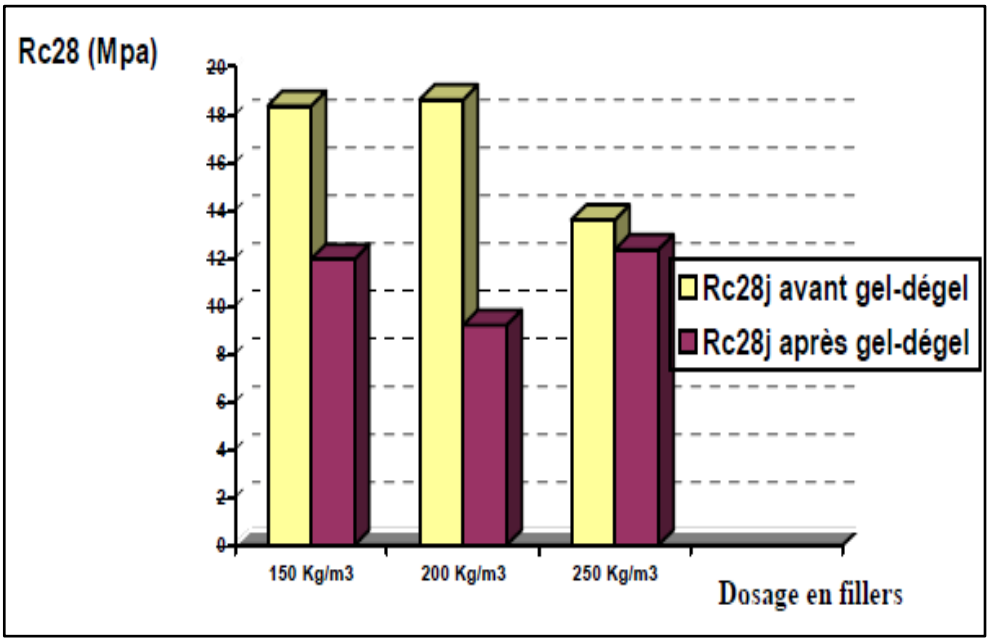


Figure 1.21. Variation de la résistance à la compression des bétons à base de dechet de brique sous l'action du Gel-Dégel **[36]**

F.Bektas et al. **[37]** 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 1.22). 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 1.23).

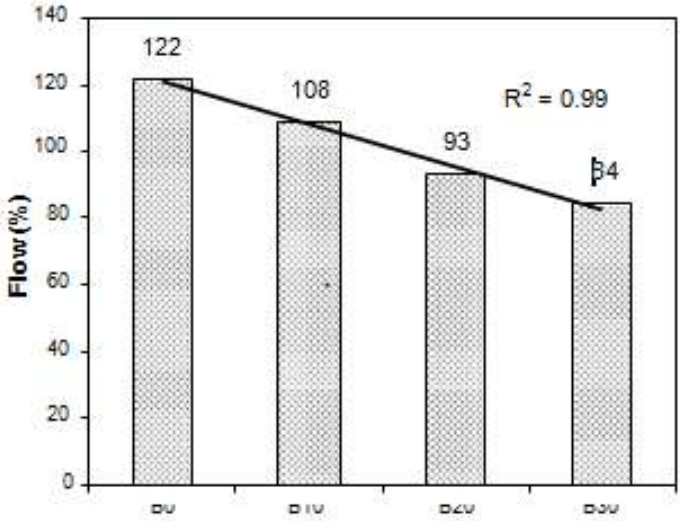


Figure 1.22. L'effet de l'ajout des déchets de brique sur l'ouvrabilité d'un mortier **[37]**

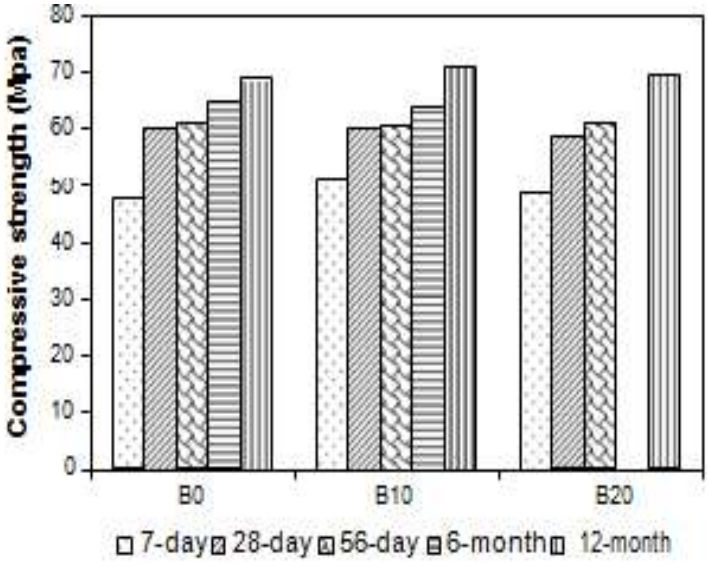


Figure 1.23. Variation de la résistance à la compression des mortiers en fonction du pourcentage de déchets de brique **[37]**

1.5.5.2. Les déchets de béton

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 .

Seung-T, aeL. **[38]** 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%.

Les résultats expérimentaux ont confirmé que l'utilisation de granulats fins recyclés jusqu'à une limite maximale de remplacement de 50% est efficace dans l'environnement sévère du sulfate de magnésium, quelle que soit le type d'agrégats recyclés. Cependant, la performance a été observée dans le pire des échantillons de mortier comportant 100% niveau de remplacement. Ils ont trouvé aussi que l'absorption d'eau des granulats recyclés affecte la détérioration des échantillons de mortier, en particulier à un niveau plus élevé de remplacement.

Les résultats de la diffraction des rayons X ont indiqué que la principale cause de dégradation des éprouvettes de mortier était principalement due à la formation de gypse et de thaumasitelors de l'attaque du sulfate de magnésium. En outre, il est apparu que la conversion de C-S-H dans M-S-H par l'attaque a probablement influencé la détérioration mécanique des éprouvettesde mortier avec des granulats recyclés.

NELFIA L. et al. **[39]** 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.

1.5.5.3. Déchet de céramique

Des études ont été réalisées par J. R. Jiménezet al.**[40]** pour l'évaluation des performances à l'état frais et durci d'un mortier de maçonnerie à base de déchet de céramique. Pour cela cinq (05) types de mortiers ont été préparés avec des pourcentages de substitution du déchet de céramique de 0, 5, 10, 20 et 40% du volume de sable.

Les auteurs ont trouvé une diminution de la densité et ouvrabilité du mortier frais avec l'augmentation du pourcentage de substitution en déchet. Et qu'il y a aucun effet sur l'air entrainé. En ce qui concerne les résistances mécaniques (compression et flexion) les auteurs ont trouvé des résistances comparables à celles trouvées pour le mortier sans déchet pour des taux de substitution inférieurs à 40%. Mais pour des taux supérieurs à 40% ils ont observé quelque amélioration de ces résistances. Il s'avère aussi que le retrait des mortiers à l'état durci n'était pas affecté par les déchets de céramique. L'absorption d'eau par capillarité du mortier durci diminue légèrement pour un taux de remplacement de 10% et augmente au-delà de ce pourcentage.

Finalement on peut dire que l'utilisation de déchets de céramique en remplaçant une partie de sable dans la fabrication du mortier n'affecte pas les propriétés de ce dernier à l'état frais et durci pour des taux de remplacement allant jusqu'à 40% du volume de sable.

1.5.5.4. Déchet de plastique

Plusieurs travaux ont été effectués sur l'incorporation des déchets plastiques dans la fabrication des matériaux cimentaires.Une étude a été réalisé par Luiz A. P. et al **[41]**, Cette étude a examinél'utilisationdes fibres debouteillerecycléede type polyéthylène téréphtalate (PET) comme renfort dans un mortier cimenter. Les fibres ont étéobtenues par simpledécoupe mécaniquedesbouteilles et introduites dans les mélangesde mortier sec comme des ajouts avec des pourcentages de 0%, 0,5%, 1,0% et 1,5% du poids du ciment. Les résultats de cette étude indiquentque l'incorporation defibres de PETaméliorede manière significativelarésistance à la flexiondes mortiersavecune amélioration importantede la ténacitédu mortier.Le volume maximal defibre PET pourunemaniabilitésatisfaisante était de 1,5%.

Lucolano F. et al. **[42]**, ont étudié l'effet des déchets plastique (Polyéthylène et polyolefin) sur les propriétés physico-mécaniques d'un mortier hydraulique. Ces déchets sont utilisés en faisant remplacer le sable naturel siliceux avec des taux de substitution de : 10%, 15%, 20%,25%,33% et 50%du poids du sable siliceux.Les résultats de cette étude ont montré une augmentation de la porosité et diminution des résistances mécaniques (compression et traction) des mortiers avec l'augmentation du dosage en déchets de plastique.

L'effet des hautes températures (feu) sur le comportement physico-chimique des mortiers à base de déchets de plastique a été étudié par Liguori B.et al. **[43]**. A cet effet des déchets industriels de type polyéthylène polymère ont été utilisé par substitution du sable siliceux dans la fabrication des mortiers ordinaires avec des taux de remplacement de 10, 15 et 20 %. Les résultats de cette étude confirment que même si la matière du déchet de plastique n'a pas été modifiée chimiquement, il existe une bonne interaction chimique entre les granulats du mortier et la matière plastique ce qui réduit les effets négatifs des propriétés physiques et fonctionnelles des mortierscomposites, tel que la dégradation thermique et la mauvaise résistance au feu.

I.5.5.5. Déchet minéral

Les matrices cimentaires confectionnées avec une addition minérale ont fait l'objet de nombreuses études.Toutefois aucune règle générale n'a encore été dégagée pour quantifier les effets de telles additions, vis-à-vis des performances des mortiers, car le mélange des différents matériaux n'est pas une opération simple, à cause des incompatibilités qui peuvent exister entre différents constituants.

KAZI AOUAL-BENSLAFAF. et al. **[44]**,Ont étudié l'effet de l'incorporation des fines siliceuses (FS)sur la résistance à la compression du mortier.Le ciment a été partiellement remplacé par 0, 5, 10, 15 et 20 % de FS. Aussi ils ont utilisé les dosages recommandés par le fabricant à savoir 15 et 30 Kg/m3. Le rapport liant-sable et liant-eau ont été maintenu respectivement constant à des valeurs 1/3 et 0,52. Les échantillonsont été mis à la cure dans l'eau jusqu'aux échéances de l'écrasement. Des essais de résistance à lacompression ont été effectués à différentes échéances 7, 28, 60 et 90 jours (figure 1.24). Un mortier témoin (CPA + 15 %de pouzzolane naturelle) a été confectionné pour les besoins de comparaison.

Des améliorations dans les performances mécaniques des mortiers ont été constatées avec l'ajout de l'addition siliceuse pour les dosages 5, 10 % et 30 kg/m^3 en comparaison avec le mortier témoin.

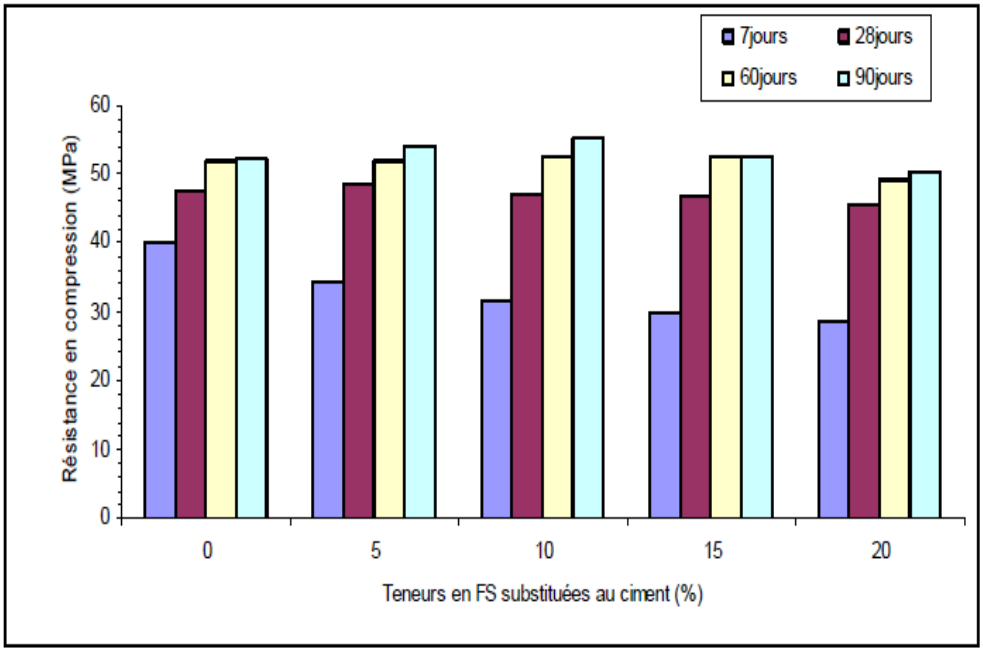


Figure 1.24 : Influence des FS sur les résistances en compression**[44]**

L'étude d'AMOURI C. et HOUARI H. **[45]**, a pour but d'examiner l'effet des additions minérales, chimiquement inertes ou pouzzolaniques (fillers calcaires et cendres volantes), sur les performances à l'état frais et durci des mortiers. Les paramètres de l'étude sont la nature et la teneur de l'addition minérale. Le taux de substitution du ciment par l'addition est 10 et 20% en masse.

L'effet de la nature et de la quantité d'addition est examiné, en choisissant des additions dontla finesse est demême ordre que le ciment.

De l'étude de quelques propriétés des mortiers frais,nous retenons une diminution sensible de la quantité d'airocclus pour les mortiers contenant les cendres volantes avecun taux de 10%. Cette diminution se traduit par unemeilleure compacité des mortiers frais.Pour les additions calcaires, aucune augmentation demasse volumique des mortiers frais n'est mise en évidence.Pour les taux plus forts (20%), les masses volumiquesdécroissent pour les deux additions.

Concernant les résistances, il se dégage de l'étude que,les résistances des mortiers, aux jeunes âges, contenant uneaddition de finesse voisine du ciment suivent une fonctionlinéaire du dosage et sont indépendants de la nature del'addition qu'elle soit inerte ou pozzolanique.

Les mortiers avec calcaires à 10% donnent desrésistances légèrement supérieures aux autres. Cet avantagen'est pas durable car pour les échéances supérieures (28 et90 jours), les mortiers contenant les additions calcaires oucendre volante présentent les mêmes résistances pour untaux de substitution donné.

La contribution des additions minérales à l'activité liante du ciment dans des mortiers a été évaluée par Bessa A. **[46]**, à l'aide d'une méthodologie expérimentale originale permettant de s'affranchir de leur effet granulaire. Les résultats obtenusmontrent que cette contribution à la résistance en compression est une fonction croissante de leur quantité jusqu'à desteneurs volumiques de 50% et de leur finesse. La composition minéralogique de l'addition et le type du ciment influentégalement.

Cette contribution est plutôt le résultat d'un effet structurant dans la matrice cimentaire du mortier durci que celui de la formation d'une quantité significative de produits hydratés nouveaux. Ainsi, la porosité des mortiers augmenteavec la substitution du ciment par l'addition sans que la perméabilité soit franchement affectée. Par ailleurs, à forte teneuren addition, la perméabilité dépend du couple ciment-addition dont les propriétés diffèrent de celles des composantsd'origine.

Hibbert et Khatib**[47]**, ont étudié le développement de la résistance à la compression pour des bétons contenant 0%, 40%, 60% et 80% de laitier par substitution du ciment. L'étude a montré une baisse systématique de la résistance à la compression à jeune âge lorsque le pourcentage du laitier augmente. Au-delà de 28 jours et jusqu'à 90 jours, la présence du laitier est très favorable à 40% et 60% de substitution avec une résistance qui dépasse celle du béton de référence (0% de laitier). Une diminution de la résistance notable à tous les âges est observée à 80% de laitier.

Zeghichi et al. **[48]**, ont étudié l'influence de l'activation du laitier d'El-Hadjar sur le comportement mécanique des bétons. Une amélioration des résistances en compression à long terme a été constatée.

Les études de Benkaddour et al. **[49]** ont porté sur l'effet de la pouzzolane naturelle de Béni-Saf (gisement de Bouhmidi) et la pouzzolane artificielle à base de la vase calcinée de barrage Ferrgoug (Mascara) sur les résistances mécaniques des mortiers. L'étude a montré que la résistance à la compression diminue considérablement avec l'augmentation du pourcentage d'ajout au jeune âge surtout à 2j, 7j et 28 jours. La résistance à la compression de 10% PA et

de 10% PN rejoint celle du mortier témoin à 28 jours. Cette diminution de la résistance est attribuée principalement à l'activité lente de la pouzzolane naturelle et pouzzolane artificielle.

Une étude expérimentale a été faite par Siad et al. **[50]** sur l'influence du type d'additionsminérales dans les bétons autoplaçants, cette étude a montré que les BAP contenant lapouzzolane naturelle sont plus économiques et possèdent des performances mécaniquescomparables à celles des bétons contenant de la cendre volante et meilleures que celles desbétons contenant des fillers calcaires.

1.5.6. Contrôle de qualité du mortier

Le spécialiste en conservation chargé de la supervision des travaux et du contrôle de la qualité doit se rendre sur le chantier plus souvent qu'il ne le fait pour les projets de construction de maçonnerie moderne **[51, 52]**.

Les essais de contrôle de la qualité du mortier comprennent la résistance à la compression, le foisonnement du sable (soit le changement de volume imputable à la teneur en humidité du sable), la teneur en air du mortier frais, le rapport liant/sable et la consistance du mortier **[53]**.La qualité du mortier est contrôlée par:

1.5.6.1.Les essais sur le mortier frais

A. L'ouvrabilité

L'ouvrabilité d'un mortier se mesure à l'aide de divers appareils:

A.1. La table à secousses

Le mortier, après avoir été mis en place et démoulé d'un moule tronconique, reçoit 15 chocs en 15 secondes. On mesure le diamètre de la galette ainsi obtenue (figure 1.25). L'étalement en % est donné par la formule suivante **[54]**:

$$E\% = 100\ (D_r - D_i)/D_i \qquad \text{[Equation 1]}$$

D_r=diamètrefinal

Di = diamètre initial.

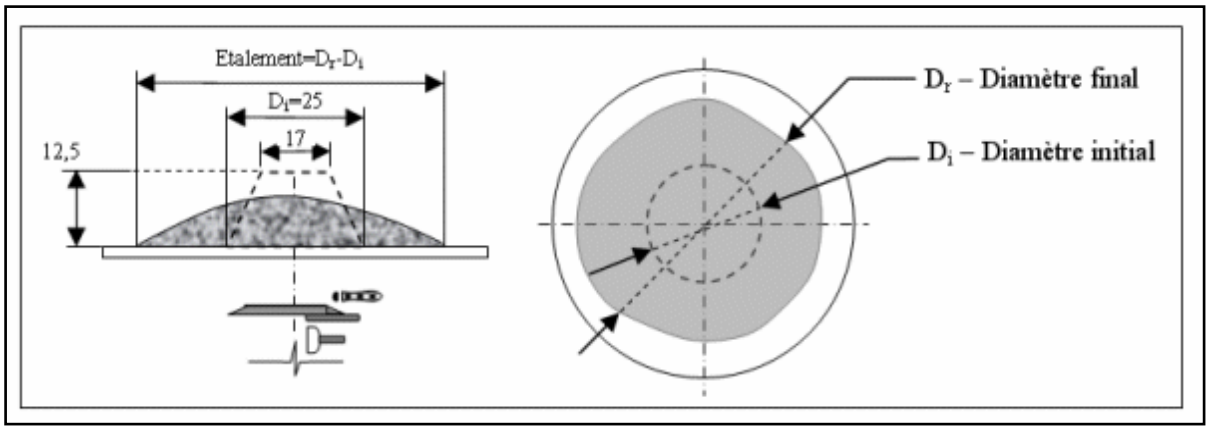


Figure 1.25. Essai à la table à secousses

A.2. Le maniabilimètre du LCPC-B

Dans cet essai, la consistance est caractérisée par le temps que met le mortier pour s'écouler sous l'effet d'une vibration pour atteindre un repère gravé sur la face intérieure du moule (figure 1.26). Le mortier est d'autant fluide que le temps d'écoulement est court.

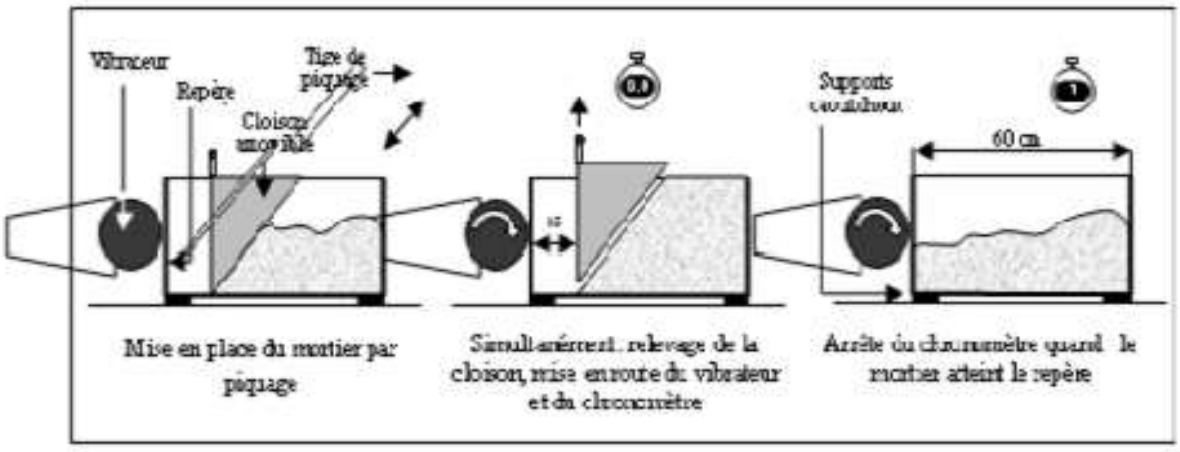


Figure 1.26. Essai au ManiabilimètreLCPC-B

B. La prise

Le temps de prises en mesure habituellement sur une pâte pure de ciment de consistance normale (24 à 30% d'eau) et conformément à la norme concernée (à l'aide de l'appareil de Vicat). Le début de prise est l'instant où l'aiguille s'arrête à 2,5mm du fond (taille des plus gros grains de sable) et la fin de prise est l'instant où l'aiguille s'arrête à 2,5 mm du niveau supérieur **[54]**.

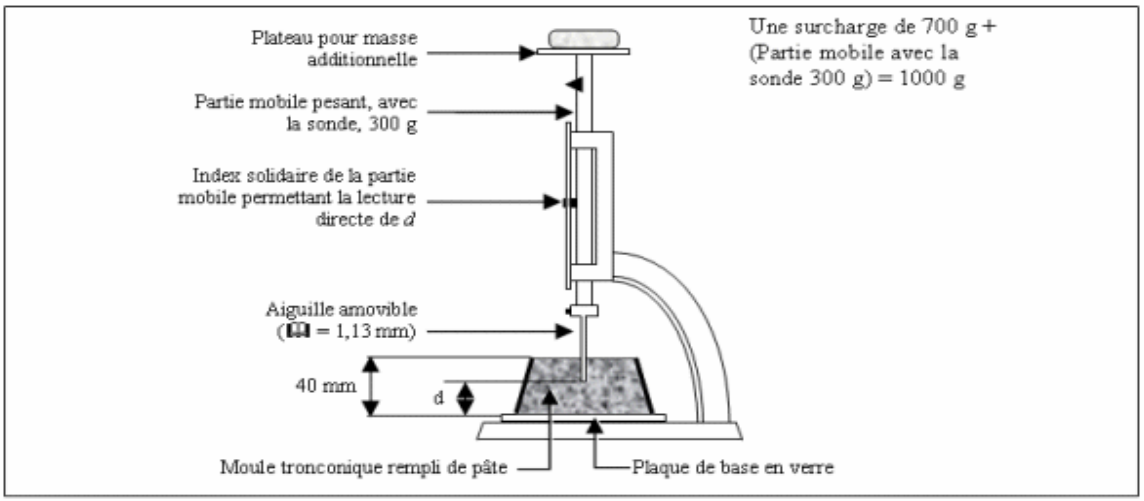


Figure 1.27. Appareil de VICAT

1.5.6.2. Les essais sur le mortier durci

A.Résistancesmécaniques

Les éprouvettes sont rompue sen traction par flexion puis en compression. Les résistances, aussi bien en traction par flexion qu'en compression, progressent à peu près comme logarithme du temps (entre 1 et 28 jours).

Les résistances des mortiers (comme dans le cas des bétons) dépendent de très nombreux facteurs **[55, 56]**:

- Nature et dosage en ciment;
- RapportE/C;
- Granulométrie et nature du sable; énergie de malaxage et mise en œuvre; protection les tous premiers jours;

B. Retraitset gonflements

Le mortier prend son retrait plus rapidement que la pâte pure. Le rapportdu retrait de la pâte pure sur le retrait du mortier croît avec le temps. Il est del'ordre de 1,5 à 2,5 les premiers jours, puis augmente pour atteindre 2,5 à 3,5 enun an. En moyenne, le retrait sur mortier est 2 à 3 fois plus faible que celui de lapâte pure (avec le même ciment).Le gonflement des mortiers sont en généralassez faibles **[57]**.

Il s'agit d'évaluer le retrait, ou le gonflement, que provoque le ciment étudie sur des éprouvette de mortier normal. On compare, à différents temps t, la variation de la longueur d'une éprouvette 4x4x16, par rapport à sa longueur à un temps t_0 pris pour origine.

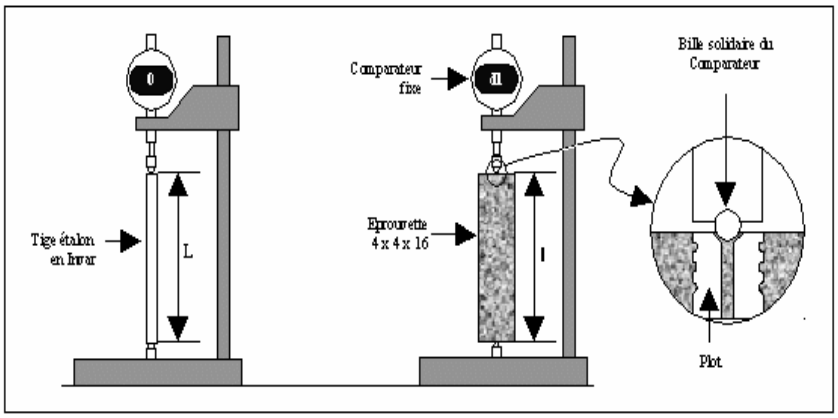


Figure 1.28. Mesure du retrait d'un mortier par Rétracomètre

1.5.7. La cure et protection du mortier

Éviter que le mortier ne sèche trop vite, car cela peut entraîner des fissures de retrait. Les joints de mortier frais doivent être protégés de la pluie, du vent et du soleil et être maintenus humides pendant trois à sept jours **[58]**.

Les mortiers à base de liants hydrauliques à durcissement lent, comme la chaux hydraulique, devraient être soumis à une cure humide d'au moins sept jours, et les mortiers de ciment Portland et de chaux de type N et O, à une cure humide de trois à quatre jours **[58]**. Pour créer les conditions de la cure humide, installer une toile de jute humide (recouverte d'une membrane de plastique) sur la maçonnerie et ré-humecter régulièrement la toile de jute avant qu'elle ne sèche **[58]** (Tenir la toile de jute hors de contact de la maçonnerie pour éviter les taches de mortier).

1.5.8.Le mortier et le respect de l'environnement

Les mortiers font le lien entre tous les matériaux et tous les produits, ils sont compatibles avec tous les matériaux de construction : béton, brique, céramique, bois, métaux, etc... .

Les mortiers performanciels permettent de construire durablement dans le respect de l'environnement. Dans le grand concert du Développement Durable, les adhérents ont tenu à rappeler cette affirmation toute simple.

La plupart du temps les mortiers ne se voient pas ou passent inaperçus,pourtant il est important de rappeler quelques évidences :

- Les mortiers sont des produits indispensables techniquement car ilssont le lien durable et compatible entre tous les matériaux et tous les produits ;
- Les mortiers sont des produits respectueux de leur environnement,issus de matières premières naturelles et durables, économiques en CO_2 et en eau,respectueux des individus et recyclables en fin de vie car inertes.
- Les mortiers contribuent à l'élaboration des constructions durables, surle plan énergétique, thermique qui permettant les calculs de l'ouvrage pour lequelils sont utilisés. Enfin, les mortiers lorsqu'ils sont visibles, sont esthétiques etdécoratifs et permettent un large choix architectural en neuf comme enrénovation, en extérieur comme en intérieur **[59]**.

Dans le souhait de rappeler tous ces éléments, en Europe une grande opération de communication entre les économistes, promoteurs, bureaux d'étude, architectes vient d'être engagée par les industriels. Une enveloppe leur est adressée contient une brochure explicative sur le respect de l'environnement dans la construction grâce aux mortiers, et rappelle comme une évidence toutes les utilisations possibles avec les mortiers, et avec son calendrier en façade, elle a pour objectif de rester « durable» **[60]**.

1.6. Conclusion

La fabrication des matériaux cimentaires comme c'est le cas pour de nombreux matériaux industriels, consomme une quantité considérable d'énergie, engendre l'émission d'importantes quantités de gaz à effet de serre, contribue à l'épuisement progressif des ressources naturelles et entraîne la production de certains résidus que l'on doit éliminer. Afin d'assurer la croissance de ces matériaux de construction indispensables, l'approche du développement durable doit être intégrée à leur production, ce qui permettra d'atteindre un équilibre entre les contraintes de protection de l'environnement et les considérations économiques et sociales.

L'utilisation des granulats recyclés dans les matériaux cimentaires présente plusieurs avantages tant au niveau environnementale, humain, technologique qu'économique qui s'intéresse de plus en plus les industriels. A cet effet, il est judicieux de penser à incorporer des déchets dans la production de ces matériaux qui peuvent contribuer au développement durable et améliorer les performances des bétons.

Chapitre

2

CHAPITRE 2

MATÉRIAUX ET ESSAIS

2.1. Introduction

À la lumière de la synthèse bibliographique, il est bien marqué que l'utilisation des granulats recyclés dans la production des matériaux cimentaires présente plusieurs avantages tant au niveau environnementale, technologique qu'économique. En autre le choix des matériaux utilisés dans la composition d'un mortier joue un rôle très important sur ses propriétés et ses performances ultérieures. En effet, les propriétés essentielles du mortier sont largement influencées par les caractéristiques de ses constituants.

De ce fait, ce chapitre est consacré dans une première partie à la présentation de l'ensemble des matériaux utilisés dans le cadre de ce travail, à savoir : le ciment, les granulats (sable), les déchets recyclés, l'adjuvant et l'eau de gâchage. Dans une seconde partie, nous décrivons les formulations adoptées et nous présenterons par la suite les différents essais réalisés au cours de notre étude.

Pour les besoins de cette étude, des matériaux locaux de la wilaya de Médéa sont employés avec l'introduction de deux (02) types de déchets issus des travaux de construction et disponibles en abondance dans notre wilaya :

- Déchets de brique,
- Déchets de béton.

2.2. Caractérisation des matériaux utilisés

Pour la confection des bétons, des matériaux locaux de la wilaya de Médéa sont caractérisés expérimentalement au laboratoire de génie civil du Hall de technologie de l'université de Médéa et suivant les normes en vigueur. Le choix des matériaux s'est porté, tout d'abord, sur leur disponibilité dans la région (Médéa) et surtout pour fabriquer un mortier comparable à celui utilisé dans nos chantiers.

2.2.1.Ciment

Le ciment est un liant hydraulique, c'est-à-dire une matière inorganique finement moulue qui, gâchée avec de l'eau, forme une pâte qui fait prise et durcit par suite de réactions et processus d'hydratation et qui, après durcissement, conserve sa résistance et sa stabilité même sous l'eau **[61]**.

Le ciment employé lors de cette étude est un ciment portland composé CEM II/A 42.5 provient de la cimenterie ECDE de CHLEF (figure 2.1), dont l'ajout est le calcaire. La composition chimique de ce ciment est présentée au tableau2.1 suivant.

Tableau 2.1. Composition chimique du ciment ECDE (Chlef)

Norme : NF EN 196-2 **[62]**								
CaO	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MgO	SO_3	CaO libre	PF	Insolubles
63.26	19.48	4.70	3.22	0.81	1.60	0.77	4.86	0.53

Les spécifications physico-mécaniques du ciment employé (Chlef) sont présentées aux tableaux 2.2.

Tableau 2.2. Caractéristiques physico-mécanique du ciment ECDE (Chlef)

Caractéristiques		Ciment ECDE	Norme
Finesse (cm^2/g)		3080	NF EN 196-6 **[63]**
Masse volumique absolue (g/cm^3)		2,93	
Masse volumique apparente (g/cm^3)		1,02	NF EN 459-2 **[64]**
Consistance normale (%)		24,15	NF EN 196-3 **[65]**
Temps de prise	Début	2h34	
	Fin	3h50	
Résistance à la compression 28 j (MPa)		46.43	NF EN 196-1 **[66]**
Résistance à la flexion 28 j (MPa)		6.26	
Expansion à chaud sur pate (mm)		2.12	NF EN 196-3 **[65]**

Les caractéristiques physico – mécaniques ainsi que la composition chimique du ciment employé sont motionnées dans la fiche technique jointé en annexe.

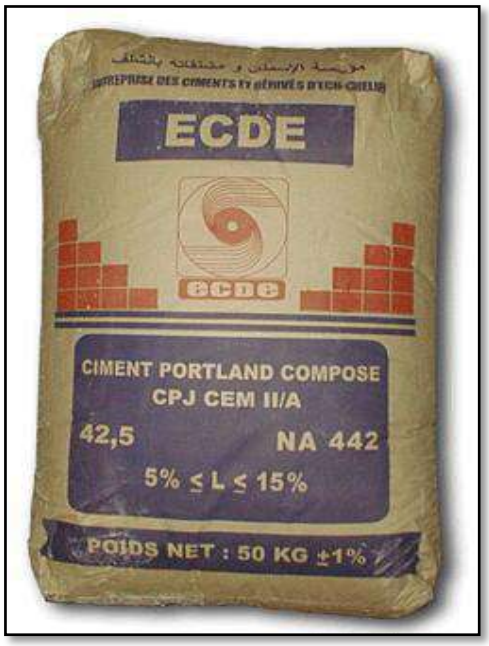


Figure2.1.Le ciment utilisé (Chlef)

2.2.2. Granulats (Sable)

Pour que le module de finesse du sable utilisé soit environ 2,50 ; on a combiné deux types de sable: fin de Hassi Bahbah (28%) et grossier de Mont Guorno (72%) dont les propriétés physiques d'identification sont présentées au tableau 2.3. Les figures 2.2 et 2.3 suivantes donnent un aperçu sur la nature des sables utilisés.



Figure 2.2. Sable fin de Hassi Bahbah.



Figure 2.3. Sable grossier de Mont Guorno

Tableau 2.3. Propriétés physiques d'identification des sables utilisés

Caractéristiques	Type de sable		Normes
	Roulé	Concassé	
Provenance	Hassi Bahbah	Mont Guorno	
Classe granulaire	0/3	0/5	NF EN 933-1 **[67]**
Module de finesse	1,06	3,45	
Masse volumique absolue (g/cm^3)	2,58	2,59	NF EN 1097-6 **[68]**
Masse volumique apparente (g/cm^3)	1,42	1,48	NF EN 1097-3 **[69]**
Equivalent de sable (%)	61,13	41,31	NF EN 933-8 **[70]**
Taux d'absorption d'eau (%)	0,40	0,30	NF EN 1097-6 **[68]**

L'analyse granulométrique des deux sables utilisés est présentée sur la figure 2.4 suivante.

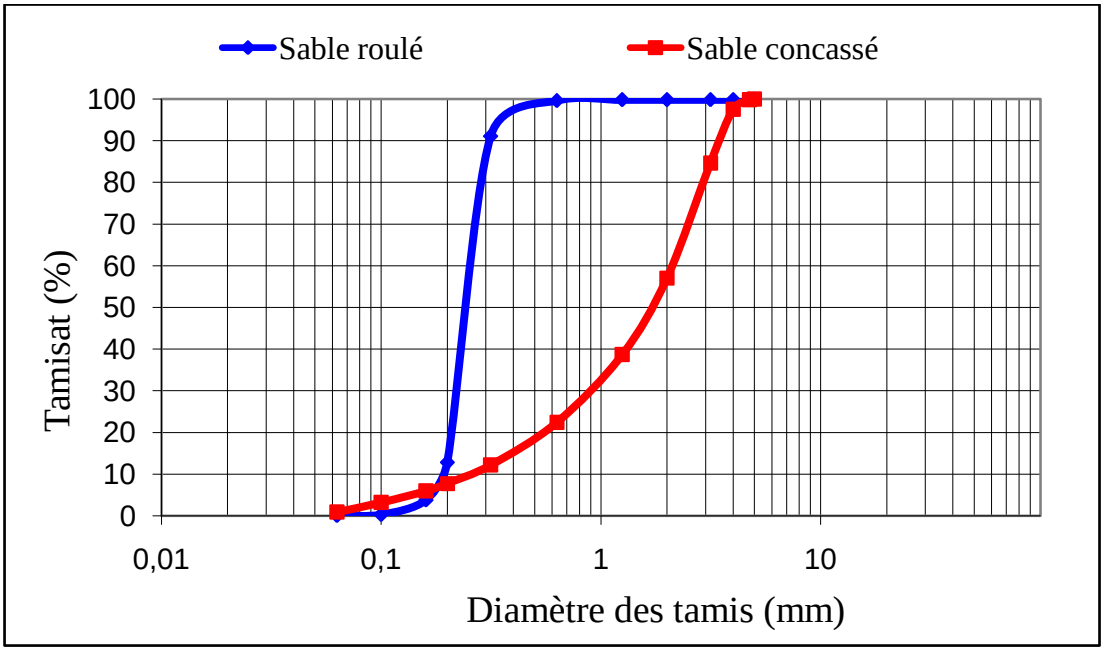


Figure 2.4. Courbe granulométrique des sables utilisées

2.2.3. Eau de gâchage

L'eau de gâchage utilisée pour la confection des mortiers est celle du robinet considérée comme potable, exempte de toute impureté nuisible au béton et conforme à la norme NF EN 1008 **[71]**.

2.2.4. Adjuvant

Pour assurer une ouvrabilité satisfaisante avec réduction d'eau de gâchage, on a employé un adjuvant Superplastifiant – Haut réducteur d'eau fabriqué par la société Granitexe-NP et commercialisé sous le nom « MEDAFLOW 145 » (figure 2.5), de type polycarboxylate est formulé à base de polymère de synthèse combinée. Il ne présente pas d'effet retardataire (voir fiche technique en annexe). Sa plage normale d'utilisation est fixée par la fiche technique de 0,3 à 2 % du poids de ciment et ses caractéristiques sont :

- Forme :…… Liquide;
- Couleur :…….. Brai clair;
- Extrait sec :…….. 30 % ± 1.5;
- Densité : ……... 1,065 ± 0.015;
- PH :…… 5 – 6;
- Teneur en chlorure :…….. < 1g/l.



Figure2.5. Adjuvant superplastifiant MEDAFLOW 145

2.2.5. Déchets

Comme nous avons vue dans le chapitre précédant qu'il existe plusieurs ajouts introduits comme substituants dans le mortier de ciment. Dans ce travail on a utilisé deux types de déchets :

- Déchets de brique,
- Déchets de béton autoplaçant (BAP).

Les déchets une fois réceptionnés, ils ont fait l'objet d'un concassage par un concasseur à mâchoires de laboratoire (figure 2.6) qui nous a permet d'obtenir un matériau dont les grains sont de dimensions 0-5 mm. Après, les déchets sont subis un broyage par un broyeur à disque (figure 2.7) pour les transformer en poudre fine, d'une finesse comparable à celle du ciment utilisé (3500 cm^2/g).



Figure2.6. Concasseur à mâchoires



Figure2.7. Broyeur à disque

2.2.5.1.Déchets de brique

La wilaya de Médéa comporte une briqueterie dans la région de Draa Smar. Raison pour laquelle nous avons décidé d'utiliser les déchets de cette briqueterie avec substitution du poids de ciment dans la confection des mortiers (figure 2.8 - 2.9). La masse volumique absolue de ce matériau est déterminée par la méthode au pycnomètre et a comme valeur de 2,66 g/cm^3.



Figure2.8. Brique récupérée



Figure 2.9. Poudre de brique recyclé

2.2.5.2.Déchets de béton autoplaçant (BAP)

Les déchets de bétonutilisés dans cette étude, proviennent d'une récente étude de doctorat à l'université de Médéa **[40]** (figure 2.10 et 2.11). La composition de ce BAP ainsi ses caractéristiques sontprésentées aux tableaux 2.4 et 2.5 suivants. La masse volumique absolue de ce matériau est déterminée par la méthode au pycnomètre et a comme valeur de 2,63 g/cm^3.



Figure 2.10. Béton Autoplaçant utilisé



Figure 2.11. Poudre de béton recyclé

Tableau 2.4. Compostions du béton autoplaçant utilisé

Dosage Pondéraux des constituants (Kg/m^3)							
E/L	Ciment	Sable		Gravier		Eau	Superplastifiant
		Roulé	Concassé	G1 3/8	G2 8/15		
0,40	475	361	541	401	401	210	7,27

Tableau 2.5. Caractéristiques du béton autoplaçant utilisé

Temps V-funnel (s)	L-Box H_2 / H_1	Etalement		Résistance à la compression (MPa)		
		T_{50}(s)	D(mm)	1 jour	7jours	28 jours
5,05	0,878	1.72	740	15	39	58

2.3. Formulation des mortiers

2.3.1. Mortier Témoin

Notre étude est focalisée sur l'influence de l'ajout des poudres issues de deux (02) différents déchets de construction sur les caractéristiques à l'état frais et durci d'un mortier. Afin de déterminer les quantités des matériaux : sable, ciment, eau du mortier témoin (de référence), nous nous sommes basés sur la méthode normalisée de formulation d'un mortier normal (S/C = 3 et E/C = 0,5), avec quelques modifications apportées au niveau de la détermination du rapport eau/ciment (E/C) dans le but de s'adapter avec les exigences des matériaux locaux et d'obtenir de bonnes caractéristiques du mortier à l'état frais.

Tenir compte de l'absorption d'eau des granulats utilisés **[58]**, l'eau de gâchage utilisé pour la réalisation des différents mortiers est donné par l'équation suivante :

$$E=E_{efficace} = Eréel+(\%d'Absorptiond'eaudesgranulats) \quad \text{(Equation2.1)}$$

Les différentes compositions du mortier témoin, sont présentées au tableau 2.6 suivant.

Tableau 2.6. Compositionsdu mortier Témoin

Composante		MT (1)	MT (2)	MT (3)
Ciment (g)		450	450	450
Sable (g)	**Roulé**	978,21	978,21	978,21
	Concassé	372,79	372,79	372,79
E/C		0,5	0,52	0,54
Eau (g)		225	234	243
Temps d'écoulement au maniabilimètre (s)		41	25	11

La composition adoptée pour le mortier témoin, est celle du E/C = 0,54 (MT3) correspondant à la composition qui a donné une ouvrabilité satisfaisante et comparable à celle pour un mortier normal à base du sable normalisé (temps d'écoulement au maniabilimètre LCPC proche de 10 secondes).

2.3.2. Mortiers à base de déchets recyclés

Pour l'ensemble des mortiers à base de déchets recyclés, les rapports S/C et E/C sont fixés à 3 et 0,54 respectivement et correspond au mortier témoin.

Deux différentes familles de mortier à base de déchet sont fabriquées (MBr et MBe), en faisant substituer une partie du poids de ciment par une quantité similaire en poudre de l'un de ces déchets séparément et comparées au mortier témoin. Les taux de remplacement des poudres recyclées, sont choisis de 0 à 30 % avec une marge de 5%.

Les différentes compositions utilisées pour chaque famille sont résumées dans les tableaux 2.7 et 2.8 suivant.

Tableau 2.7. Compositionsdu mortier à base de déchets de brique

Composant	Ciment (g)	Déchet		Sable (g)		Eau (g)
		%	(g)	Roulé	Concassé	
MT	450	0	0	978,21	372,79	243
MBr (5%)	427,5	5	22.5	978,21	372,79	243
MBr (10%)	405	10	45	978,21	372,79	243
MBr (15%)	382,5	15	67,5	978,21	372,79	243
MBr (20%)	360	20	90	978,21	372,79	243
MBr (25%)	337,5	25	112,5	978,21	372,79	243
MBr (30%)	315	30	135	978,21	372,79	243

Tableau 2.8. Compositionsdu mortier à base de déchets de béton autoplaçant

Composant	Ciment (g)	Déchet		Sable (g)		Eau (g)
		%	(g)	Roulé	Concassé	
MT	450	0	0	978,21	372,79	243
MBe (5%)	427,5	5	22.5	978,21	372,79	243
MBe (10%)	405	10	45	978,21	372,79	243
MBe (15%)	382,5	15	67,5	978,21	372,79	243
MBe (20%)	360	20	90	978,21	372,79	243
MBe (25%)	337,5	25	112,5	978,21	372,79	243
MBe (30%)	315	30	135	978,21	372,79	243

- ✓ **MT :** Mortiertémoin,
- ✓ **MBr:** Mortierà base de déchet de brique,
- ✓ **MBe :** Mortierà base de déchet debéton.

2.4. Protocol expérimental

2.4.1. Préparation des mélanges

Pour la confection des mortiers, nous avons utilisé un malaxeur de 5 litres de capacité (Figure 2.12). Le mortier normalisé est malaxé pendant 4 minutes conformément aux prescriptions de la norme en vigueur NF EN 196-1 **[66]**,



Figure 2.12. Malaxeur à mortier

Les opérations de malaxage sont récapitulées dans le tableau 2.9 ci-dessous :

Tableau 2.9.Séquence demalaxagedu mortier**[66]**

Opérations	Durée	Etatdumalaxeur
Introductiondel'eau	15 s	Arrêt
Introductionduciment		
Malaxage	30s	Vitesselente
Introductiondusable	30s	
Malaxage	30s	Vitesserapide
Raclagedela cuve	15s	Arrêt
Repos	1 min 15 s	
Malaxage	60s	Vitesserapide

2.4.2. Essais à réalisés sur mortier frais

La consistance des mortiers à l'état frais est caractérisée par l'essai au maniabilimètre LCPC-B et suivant la norme NF P 15-437 **[72]**. L'essai consiste à mesurer le temps que met le mortier pour s'écouler sous l'effet d'une vibration (figure 2.13). Ce temps sera d'autant plus court que le mortier sera plus fluide.

L'appareil utiliséestappeléManiabilimètreàmortierLCPC-Betcomporte:

- Un boîtier parallélépipédique métallique(9cmx 9cmx 18cm);
- Une cloison amovible;
- Un vibrateur;
- Un chronomètre;

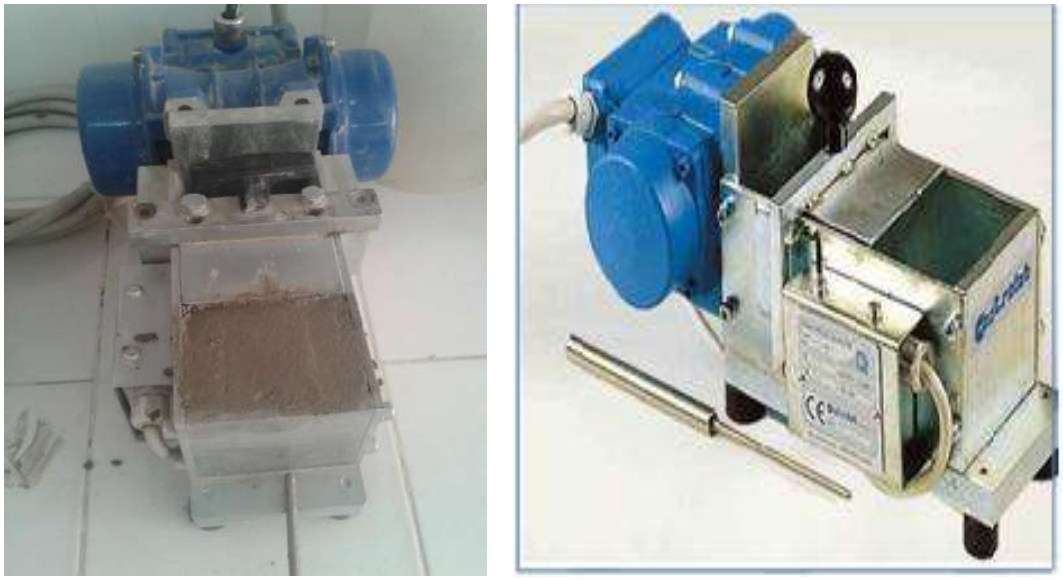


Figure2.13. Essai au maniabilimètre LCPC—B**[74]**

Le principe de fonctionnement du maniabilimètre à mortier est illustré dans la figure2.13 et se résume comme suite:

- Huiler légèrement les parois internes de la cuve.
- Le mortier est introduit dans la partie la plus grande délimitée par la cloison et mise en place en quatre (04) couches. Chaque couche piquée de 15 coups au moyen de la tige de piquage.

- Araser la dernière couche ;
- 4 minutes après la fin du malaxage la cloison est retirée, provoquant la mise en route du vibrateur et le déclenchement d'un chronomètre par l'opérateur en même temps que la cloison est retirée ;
- Sous l'effet de la vibration le mortier s'écoule, Le chronomètre est arrêté quand le mortier atteint un trait repère sur la paroi opposée du boîtier ;
- Le temps **t** mis par le mortier pour s'écouler caractérise sa consistance. Ce temps sera d'autant plus court que le mortier sera plus fluide.

2.4.3. Fabrication et conservation des éprouvettes

Avec le mortier préparé, on remplit un moule métallique de 4 cm× 4 cm× 16 cm à trois (03) alvéoles. Le serrage du mortier dans ce moule est obtenu en introduisant le mortier en deux couches et en appliquant au moule 60 chocs pour chaque couche moyennent la table à chocs. Après quoi le moule est arasé et recouvert d'une plaque de verre (figue 2.14).La norme [NF EN196-1]**[66]** décrit de manière détaillée le mode opératoire concernant cet essai

Après 24 h de début du malaxage, ces éprouvettes sont démoulées et entreposées dans l'eau à 20 °C±1 °C jusqu'au moment de l'essai de rupture (figure 2.15).

A raison de trois (03) éprouvettes par essai, trois (03) âges (essais mécaniques), deux types de déchets recyclés, six taux de substitution des déchets et deux (02) cures différentes pour le retrait et gonflement, les éprouvettes confectionnées sont aunombre total de 132 éprouvettes, réparties selon l'âge (3, 7 et 28 jours) et les autres variables d'étude.



Figure 2.14. Confection et compactage des éprouvettes de mortier



(a) **(b)**

Figure 2.15. Conservation des éprouvettes a) : à l'air libre. b) dans l'eau à 20°C

2.4.4. Essais à réalisés sur mortier à l'état durci

2.4.4.1. Résistance à la tractionparflexion

À l´âge requis, les éprouvettes sont brisées par flexion en deux moitiés selon la norme [EN 196-1] **[66]**. C'est l'essai le plus couramment utilisé. Il consiste à rompre en flexion (par trois points) (Figure 2.16), une éprouvette prismatique de côté a et de longueur L. Dans notre étude, cet essai est effectué sur des éprouvettes prismatiques de dimensions (4×4×16) cm, à 3, 7 et 28 jours.

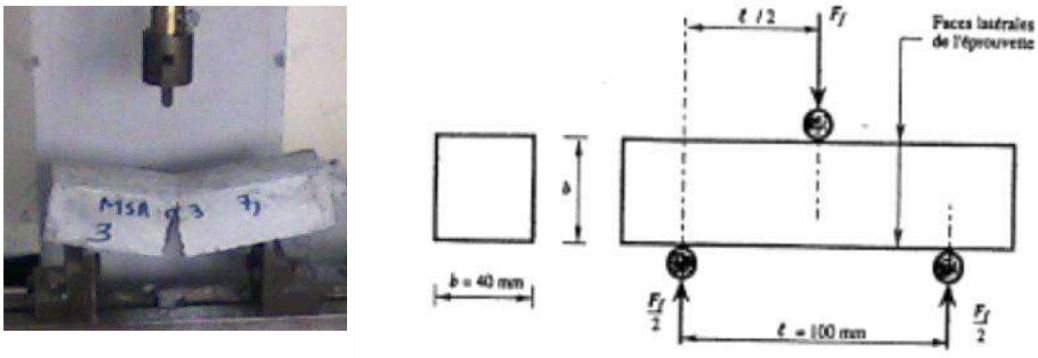


Figure 2.16. Essai de traction par flexion sur mortier

La contrainte de flexion sur la fibre inférieure est donnée par la formule suivante :

$$\sigma_t = \frac{M}{I} v$$

Avec :

M : Moment de flexion entre les deux points d'application de la charge : $\mathbf{M} = \frac{\mathbf{F_f L}}{\mathbf{4}}$

I : Moment d'inertie de la section transversale : $\mathbf{I} = \frac{\mathbf{a^4}}{\mathbf{12}}$

v : La distance de la fibre inférieure la plus éloignée : $\mathbf{v} = \frac{\mathbf{a}}{\mathbf{2}}$

La résistance à la traction par flexion est calculée donc par la formule suivante :

$$\boldsymbol{\sigma_t} = \frac{\mathbf{1.5 F_f L}}{\mathbf{a^3}}$$

2.4.4.2. Résistance à la compression

La résistance à la compression a été mesurée selon la norme [EN 196-1] **[66]** par compression axiale pour demi-prisme d'éprouvettes prismatiques après rompre en flexion à l'âge de 3, 7 et 28 jours, à l'aide d'une presse de capacité de 2000 KN (figure 2.17). La résistance à la compression correspond à la contrainte moyenne d'écrasement de six (06) demi-prismes des trois éprouvettes.

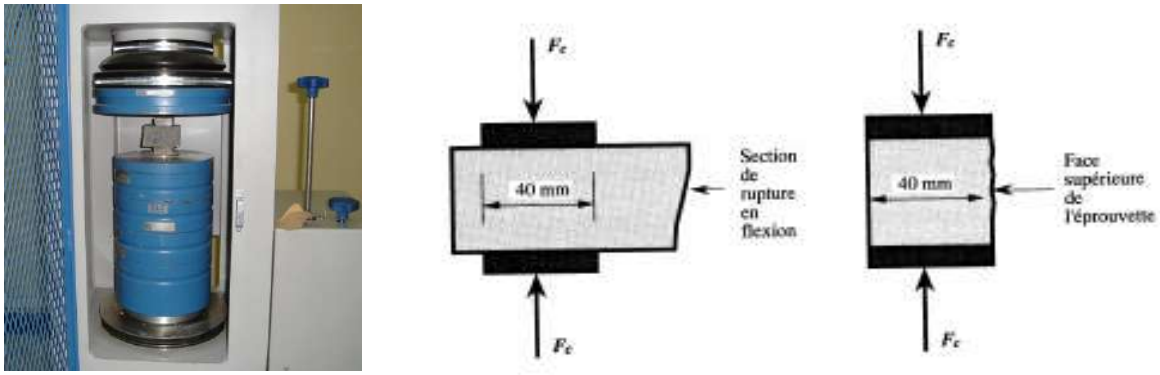


Figure 2.17. Essai de compression sur mortier

Si F_c est la charge de rupture, la contrainte de rupture vaudra : $\boldsymbol{\sigma_c} = \frac{\mathbf{F_c}}{\mathbf{a^2}}$

Cette contrainte est appelée résistance à la compression et, si F_c est exprimée en newtons, cette résistance exprimée en méga pascals vaut :

$$\boldsymbol{f_{c28}}\,(\text{MPa}) = \frac{\mathrm{F_c\,(N)}}{1600}$$

2.4.4.3. Absorption d'eau par capillarité

Conformément à la norme NF EN 1015-18**[74]**, dans cet essai, on prend un morceau d'éprouvette de mortier déjà utilisé puis séché. On le pèse(m_0) au début, après on l'introduire dans un bac remplit d'un film d'eau(5 mm d'eau) (figure2.18)et pendant chaque intervalle de temps(12min,30min,1h,2h,4h,24h)on ressort les morceaux du bac et on les pèse (m_1). Le différent de poids entre $m_1$et m_0 est le poids de l'eau absorbée (m_1- m_0).

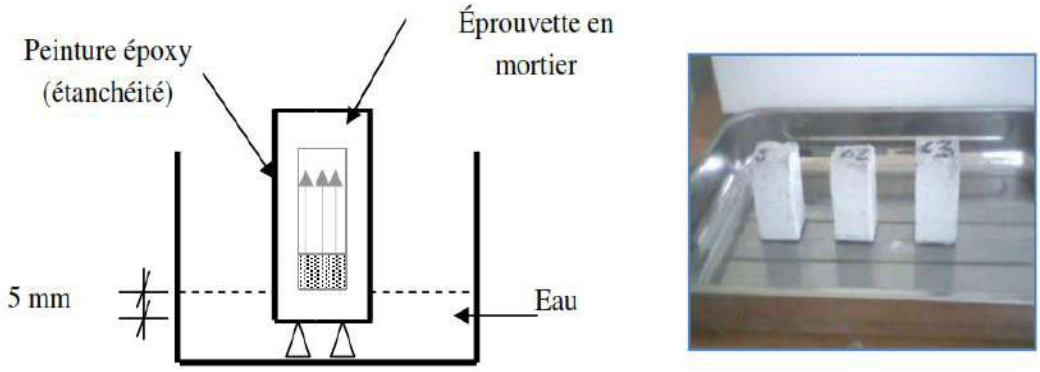


Figure 2.18. Essai d'absorption d'eau par capillarité sur mortier

2.4.4.4. Retrait et Gonflement

En l'absence de toute charge, le mortier se déforme instantanément. Ces déformations sont du essentiellement à une perte d'eau de gâchage par évaporation, qui se traduit par un rétrécissement des éléments en mortier. Le retrait dépend non seulement des conditions de conservation (humidité, température) mais dépend aussi des constituants du mortier **[75]**.

Les mesuresdu retrait ont été effectuées sur des éprouvettes prismatiques (4x4x16cm) conformément à la norme [NFP 18-404]**[76]**.Ces éprouvettes au nombre de trois par composition, sont après démoulage à 24h, placées dans un rétractomètre (figure2.19) munis d'un comparateur qui permet la mesurer du retrait à tout moment à court et moyenne terme(du1jjusqu'à 4 semaines).



Figure2.19.Rétractomètreetson étalonnage (variation dimensionnelle)

A. Mesuredesvariationsdelongueur

La mesure a lieu, l'axe longitudinal de l'éprouvette étant vertical. Si, d'une mesure à l'autre, la variation de longueur d'une des 3 éprouvettes dépasse de plus de 0.03mm celle de l'éprouvette ayant la variation la plus voisine, il y a lieu d'en rechercher la cause (poussière, mauvais contact descellement des plots,…etc.).Etsi elle ne peut être éliminée, l'éprouvette doit être rebutée.

Avant chaque sérié de mesures, l'appareil est étalonné avec une tige de métal de 160 mm de longueur et dont les extrémités reproduisent la forme des plots de l'éprouvette (la tige est réalisée en métal Invar et protégée contre les variations de température qu'elle est appelée à subir au cours des manipulations) (figure 2.19).

Pour chaque éprouvette on calcul les rapports suivants:

$\Delta \mathbf{L}$: Variation de longueur par apport à la longueur origine,

$\mathbf{L_0}$: Longueur de base, prise égale à 160mm.

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

$$\boldsymbol{l = L + dl(t)}$$ Equation2.3

Soit l (t0) la longueur de l'éprouvette au temps tcette origine est prise au moment du démoulage, 24 h après la confection deséprouvettes. La variation de longueur au temps t sera:

$$\Delta \boldsymbol{l}(\boldsymbol{t}) = \boldsymbol{l}(\boldsymbol{t}) - \boldsymbol{l}(\boldsymbol{t_0}) = \boldsymbol{dl}(\boldsymbol{t}) - \boldsymbol{dl}(\boldsymbol{t_0})$$ Equation 2.4

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

$$\boldsymbol{\varepsilon}(\boldsymbol{t}) = \frac{\Delta \mathbf{l}(\mathbf{t})}{\mathbf{L}} = \frac{\boldsymbol{dl}(\boldsymbol{t}) - \boldsymbol{dl}(\boldsymbol{t_0})}{\boldsymbol{L}}$$ Equation 2.5

Δl(t) est obtenu en faisant la moyenne sur les 3 éprouvettes. Lorsque les éprouvettes sont conservées dans l'air,Δl(t) est généralement négatif et l'on parle alors du retrait de l'éprouvette. Lorsque l'éprouvette est conservéedans l'eau ou à froid, Δl(t) peutêtre positif: il y a alors gonflement **[57,77].**

B. Mesuredesvariationsdemasse

La variation de masse est déduite après avoir, pesé à 0.1 g chaque éprouvette à chacun des temps utilisés pour mesurer de retrait ou bien gonflement.

Pour chaque éprouvette on calcul les rapports suivants:

Δ**L** : Variation de longueur par apport à la longueur origine,

$\mathbf{L_0}$: Longueur de base, prise égale à 160mm.

2.5.Variablesétudiées

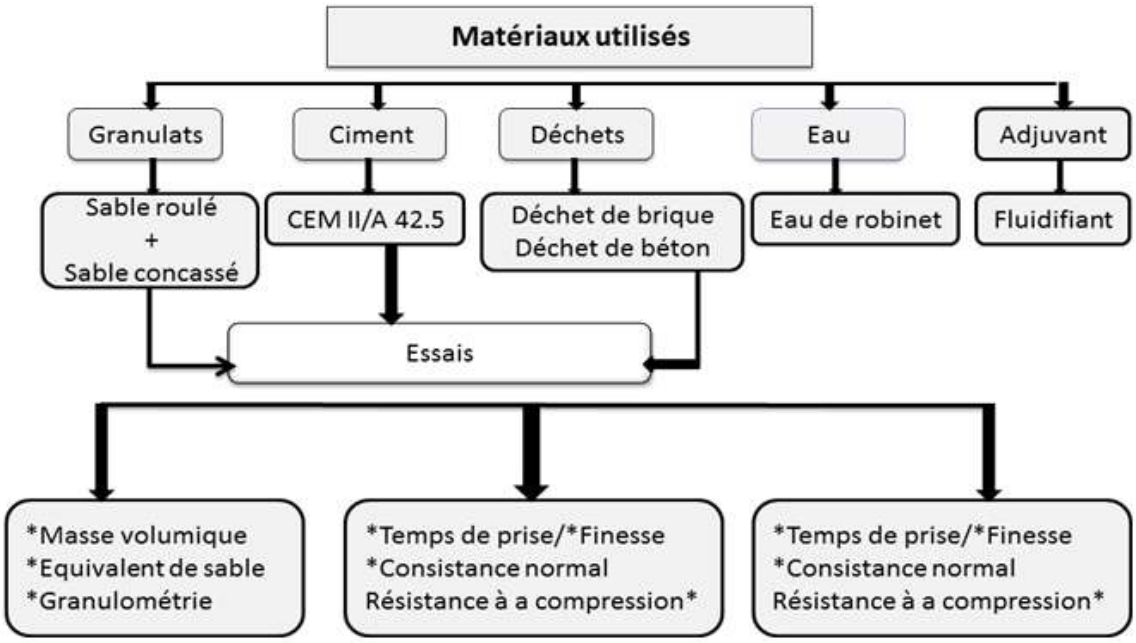


Figure2.20. Matériaux utilisés et leurs caractérisations

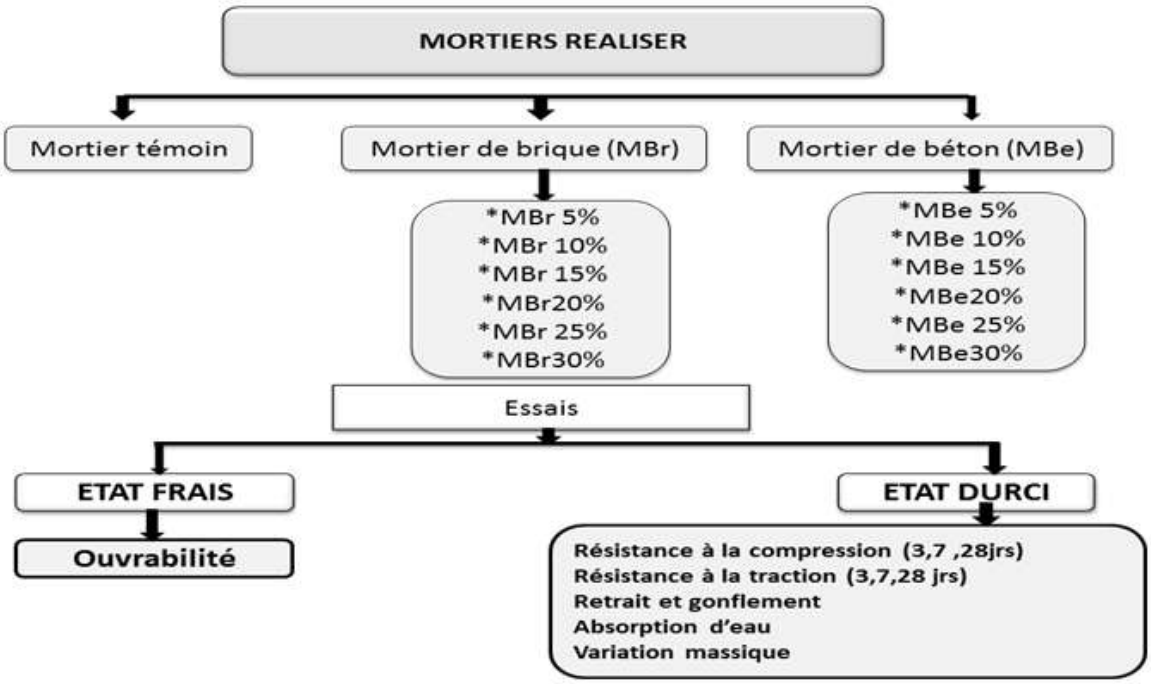


Figure2.21. Formulation et caractérisation des mortiers étudiés

Chapitre

3

CHAPITRE 3

ANALYSE DES RÉSULTATS ET INTERPRÉTATION

3.1. Introduction

L'étude expérimentale a pour objet, d'étudier l'effet de recyclage de deux types de déchet des travaux de construction, dans la fabrication d'un mortier de maçonnerie, tel que les déchets de brique et les déchet d'un béton autoplaçant sur les caractéristiques à l'état frais et durci d'un mortier de maçonnerie à base des matériaux locaux.

A cet effet, nous visons à tester les différents mortiers réalisés par l'essai d'écoulement au maniabilimètre LCPC-B à l'état frais. Ainsi la caractérisation des différents mortiers à l'état durci à travers l'essai de traction par flexion, l'essai de compression, l'absorption d'eau par capillarité, la variation dimensionnelle (retrait et gonflement) et la variation massique des éprouves d'essai en fonction de type du déchet, pourcentage de déchet et l'âge du mortier. Les résultats expérimentaux obtenus dans cette étude sont présentés et discutés ci-après.

3.2. Mortier à base de déchets de brique

3.2.1. Le mortier à l'état frais (Ouvrabilité)

Les résultats d'ouvrabilité sont présentés sur un histogramme (Figure3.1) qui permet de comparer les valeurs du temps d'écoulement des différents mortiers à base de déchets de brique (MBr) au mortier témoin (MT).

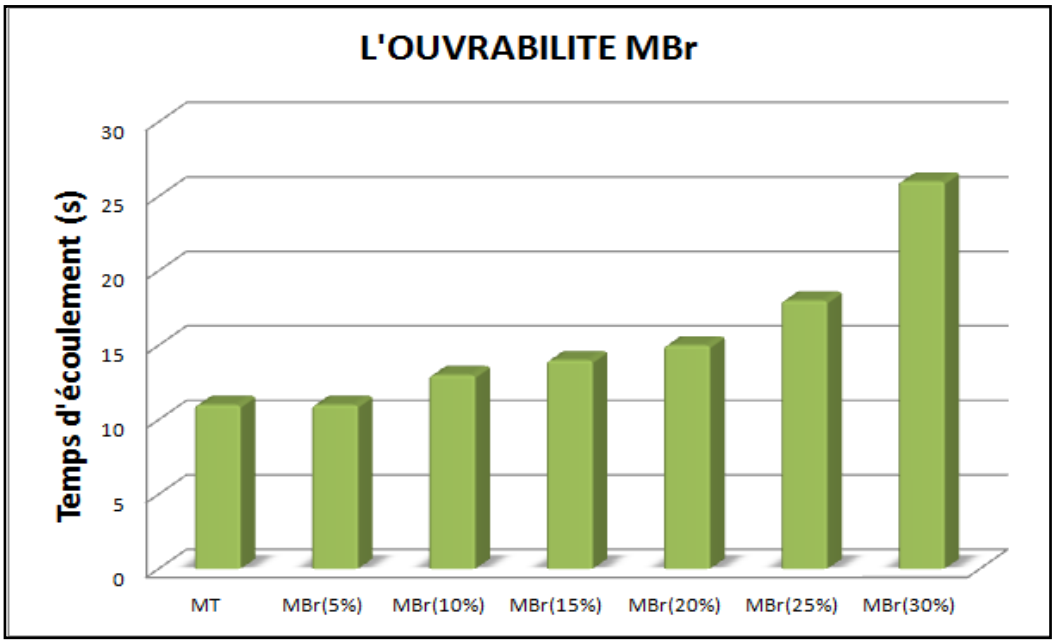


Figure 3.1 : Tempsd'écoulementdesmortiersà base de déchets de brique (MBr)

D'après l'histogramme représenter dans la figure 3.1 ci-dessus, on remarque que les déchets de brique influent négativement sur l'ouvrabilité du mortier, et on remarque également que plus le pourcentage des déchets augmente, le temps d'écoulement du mortier augment aussi, ce qui confirme les résultats trouvés par plusieurs chercheures **[30, 31, 34]**.

Cette diminution en ouvrabilité est semblée être due au taux d'absorption élevé des déchets de brique. En plus de la forme irrégulière de ses grains**[26]**.

Afin pouvoir comparer les différents type des mortiers à base de déchets de brique au mortier témoin il faut que les mélange auront la même ouvrabilité. Ce qui nous a obligés de reformuler les différents mortiers à base de déchet de brique. Pour cela, nous avons employé un adjuvant plastifiant « MEDAFLOW 145 » pour garder le même temps d'écoulement des mortiers de déchet de brique avec le mortier témoin.

Les nouvelles compositions des mortiers à base de déchet de brique avec l'adjuvant sont présentées au tableau 3.1. Le besoin en adjuvant des mortiers (MBr), ainsi les résultats d'écoulement au maniabilimètre après l'introduction de ce dernier sont présentés dans les figures 3.2 et 3.3 respectivement.

Tableau 3.1. Compositionsdu mortier MBr adjuvanté

Composant	Ciment (g)	Déchet(g)	Sable (g)		Eau (g)	Sp (%)
			Roulé	Concassé		
MT	450	0	978,21	372,79	243	0
MBr (5%)	427,5	22.5	978,21	372,79	243	0
MBr (10%)	405	45	978,21	372,79	243	0,10
MBr (15%)	382,5	67,5	978,21	372,79	243	0,10
MBr (20%)	360	90	978,21	372,79	243	0,12
MBr (25%)	337,5	112,5	978,21	372,79	243	0,15
MBr (30%)	315	135	978,21	372,79	243	0,20

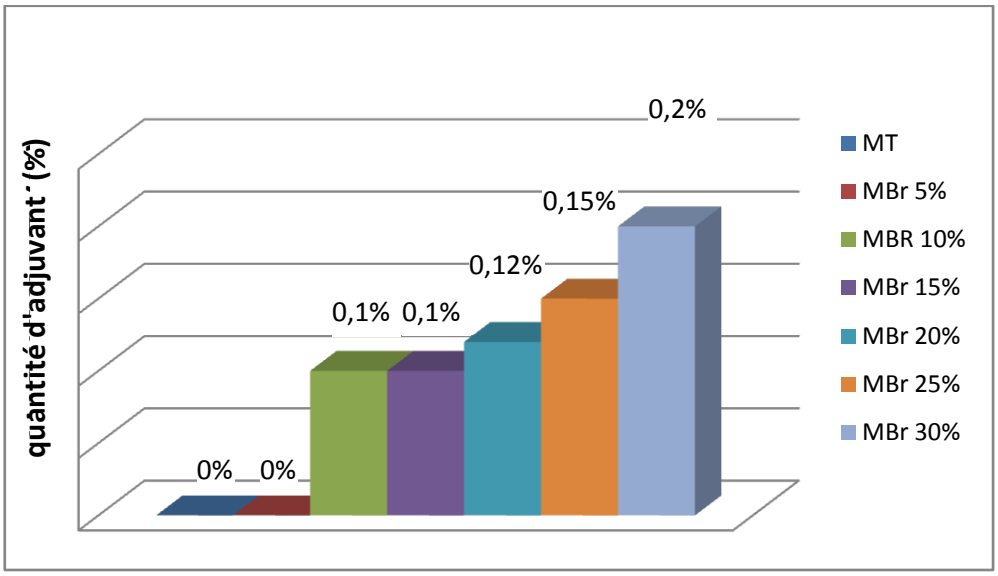


Figure 3.2. Besoin en adjuvant des mortiers de déchet de brique

On remarque de la figure 3.2, que la demande en adjuvant des mortiers de déchet de brique, augment avec l'augmentation du pourcentage de déchets dans le mortier.

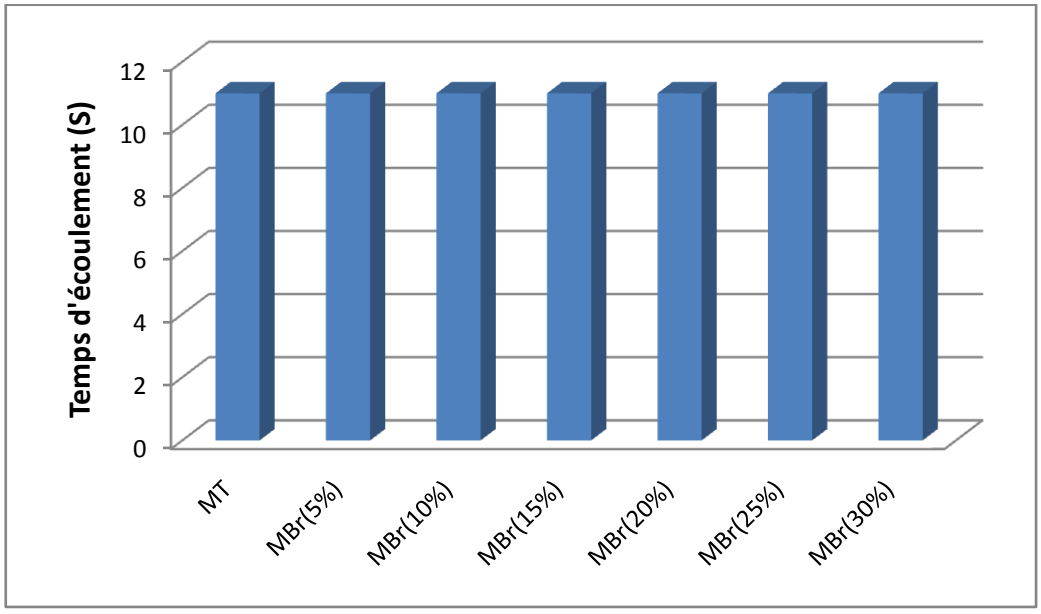


Figure 3.3. L'ouvrabilité du mortier MBr après l'utilisation de l'adjuvant

On remarque que l'utilisation de l'adjuvant nous a permettez d'avoir une bonne ouvrabilité (11 sec) pour tous les mélanges.

3.2.2.Le mortier à l'état durci

3.2.2.1Résistance à la compression

Pour mieux saisir le sens de l'évolution relative de la résistance à la compression des différents mortiers avec l'âge et fonction du taux de substitution de déchets de brique, et permettre la comparaison avec le mortier témoin, nous présentons cette évolution sous forme d'histogramme donné par la Figure 3.4.

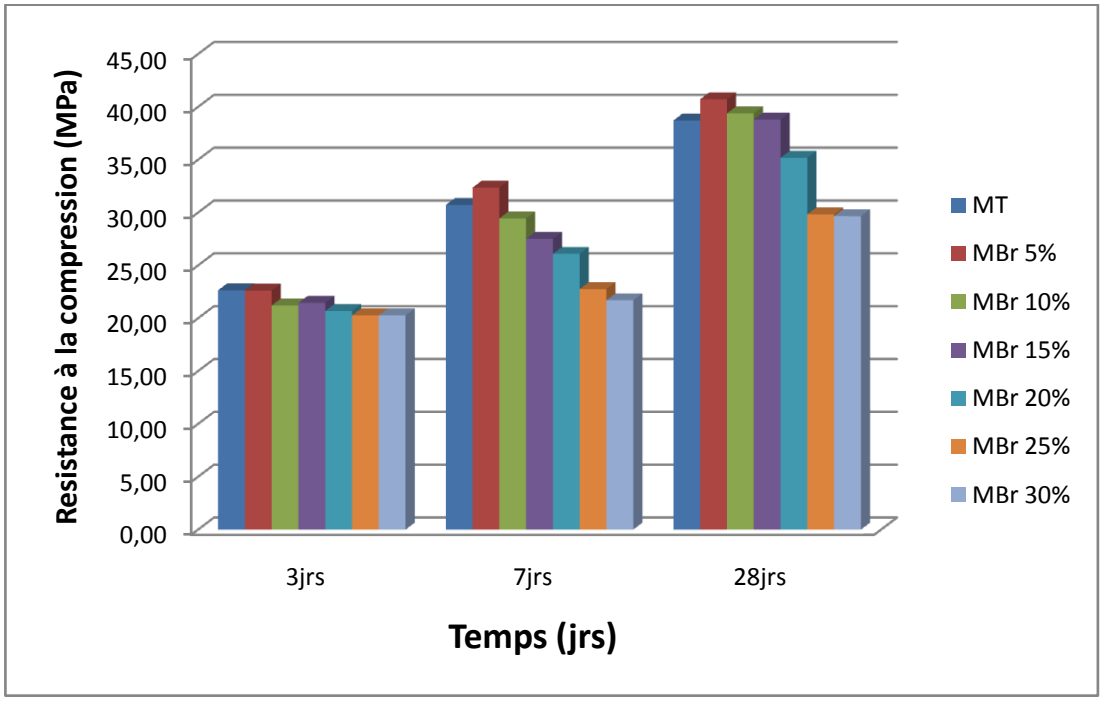


Figure 3.4. Variationdelarésistanceàlacompression desmortiers MBr

La première remarque qui doit être soulignée àtravers cette figure, qu'à jeune âge les résistances des mortiers à base de déchet de brique diminuent avec l'augmentation du taux de substitution en déchet. On remarque aussi,que les performances mécaniques se développent dans les premiers jours de l'hydratation. La figure montre aussi que les résistances de tous les mortiers augmentent régulièrement avec l'âge et ne présentent aucune chute. Onconstate aussi que les résistances initiales des différents mortiers (à 3jours) atteignent les 50% par rapport à celle du 28 jours.

A l'âge de 28 jours, on remarque que les résistances des mortiers MBr 5%, MBr 10% et MBr 15% dépassent celle du mortier de référence. On peut dire que la pouzzolanicité qui a été déterminante et a donné par conséquent de sensibles progressions de résistance à ces mortiers ce qui a été démontrée par S. Wild **[78]**.

3.2.2.2. Résistance à la traction par flexion

La mesure de la résistance à la traction est importante surtout pour identifier l'adhérence Ciment-Granulats. Les résultats trouvés sont résumés dans la figure3.5 suivante.

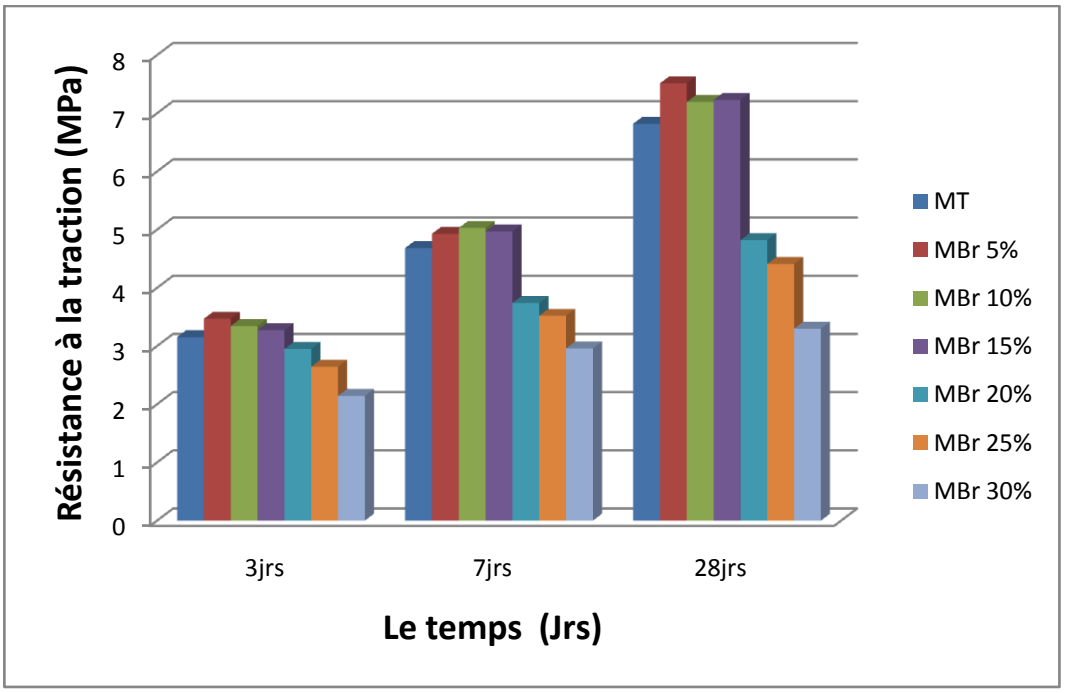


Figure 3.5. Variation delarésistanceà la traction par flexion desmortiers MBr

D'après la figure 3.5, On remarque que les résistances à la traction augmentent en fonction de l'âge quel que soit le type du mortier. Ceci est dû au développement de l'hydratation de ciment en fonction du temps. La meilleure résistance observée correspond au mortier Mbr 5%, MBr 10% et MBr 15%,

On remarque que les mortiers présentent une similaire évolution de la résistance à la flexion en fonction de l'âge de ces derniers.

Les résistances des mortiers MBr 5%, MBr 10% et MBr 15%dépassent celle du mortier témoin pour les trois âgés et il est de l'ordre de 7,51 MPa, 7.21 MPa et 7,23 MPa respectivement à 28 jours, et la plus faible valeur de l'ordre de 3.30 MPa est remarquée pour le mortier MBr 30% .

La traction par flexion nous donne à peu près une idée sur la résistance à la traction, on constate alors qu'on a un gain de résistance de 11%.

3.2.2.3. Absorption d'eau par capillarité

Les résultats de l'essai d'absorption d'eau par capillarité des différents mortiers réalisés sont résumés dans la figure3.6.

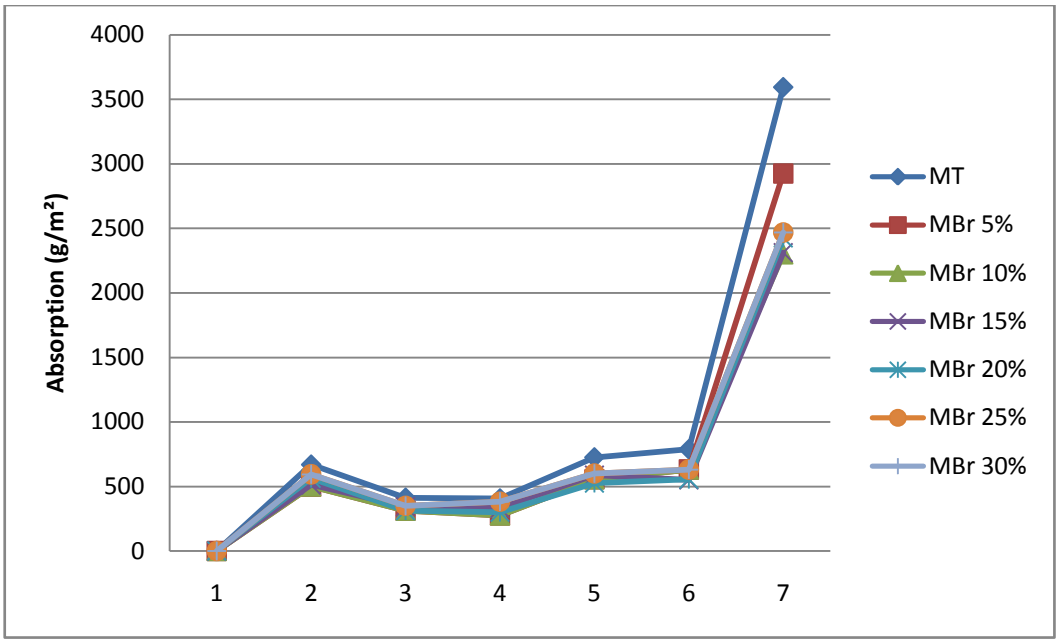


Figure 3.6. Absorption capillaire du mortier à base de déchets de brique

La figure 3.6 montre que le mortier à base des déchets de brique absorbe moins d'eau par rapport au mortier témoin. Ceci peut être dû aux réactions pouzzolanniques des déchets de brique qui ont permettaient l'amélioration de la compacité de ces mortiers.

3.2.2.4. Le retrait et le gonflement

Les résultats des essais de retrait et gonflement sont illustrés dans les figures 3.7 et 3.8 suivantes D'après la figure 3.7, on remarque que les valeurs du retrait diminuent avec l'augmentation du taux de substitution du déchet de brique. La plus faible valeur observer dans l'essai de retrait est dans le mortier à base de 25% de substitution de déchets de brique tous ont comparant avec le mortier témoin (MT).

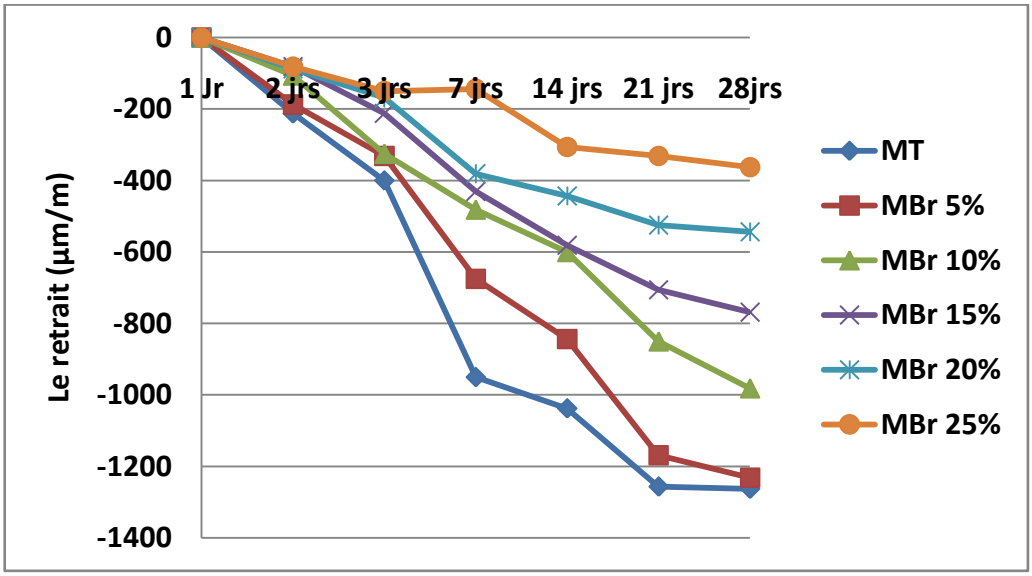


Figure 3.7.Résultats du retrait desmortiers à base de déchet de brique (MBr)

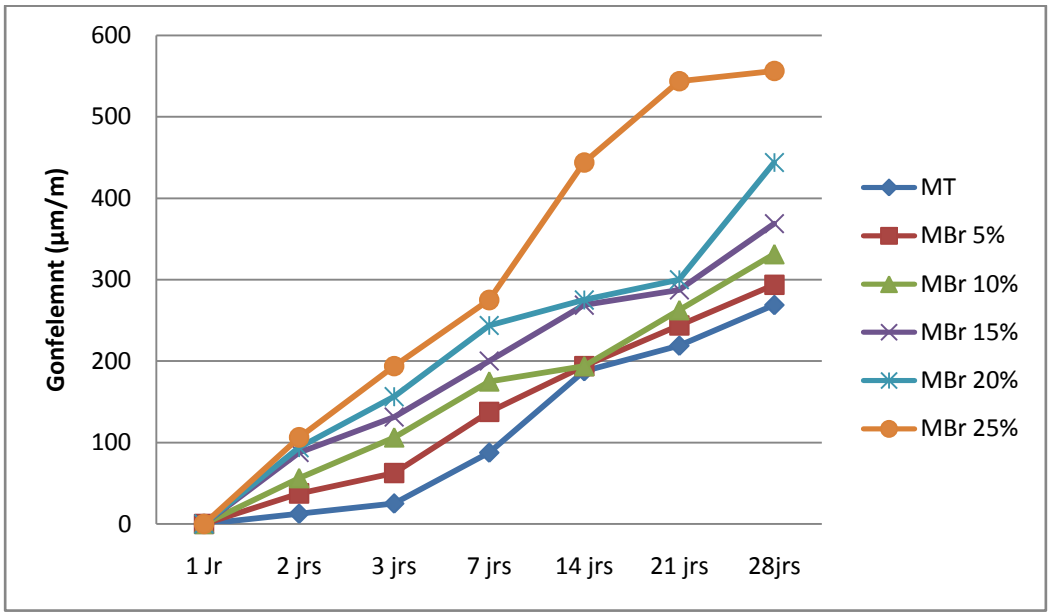


Figure 3.8.Résultats du gonflement desmortiers à base de déchet de brique (MBr)

De la figure 3.8 ci-dessus, on remarque que les valeurs du gonflement augmentent en fonction du pourcentage de replacement du déchet de brique. Ceci peut être dû au taux d'absorption élevé des grains de déchet de brique. La plus grande valeur observer dans l'essai de gonflement est dans le mortier à base de 25% de déchets de brique tous ont comparant avec le mortier témoin (MT) qui a eu le faible gonflement.

3.2.2.5. Variation massique due au retrait et gonflement

Les résultats des variations massiques dues au retrait et gonflement sont illustrés dans les figures 3.9 et 3.10 respectivement.

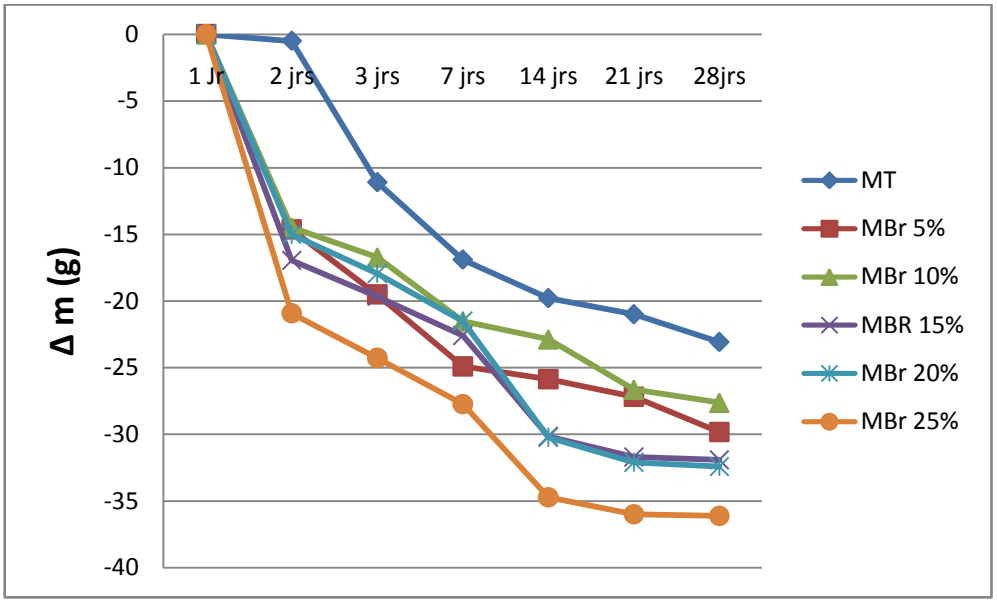


Figure 3.9. Variation massique desmortiers due au retraitdes mortiers à base de déchet de brique (à l'air libre)

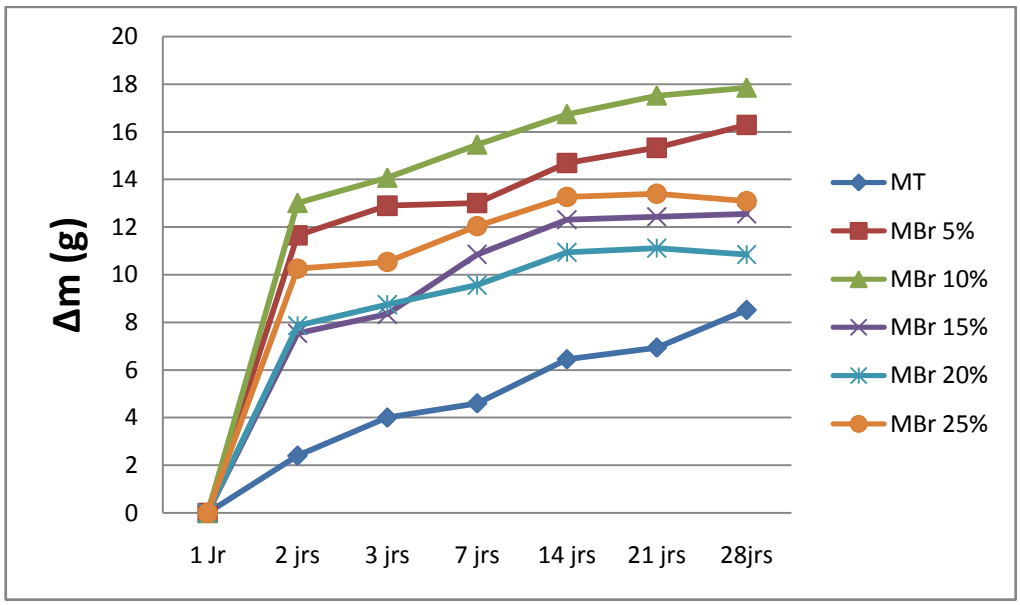


Figure 3.10. Variation massique desmortiersà base de déchet de brique due au gonflement (dans l'eau)

D'après la figure 3. 9. on constate que pour les mortiers exposés à l'air libre, il y a une perte en masse, dans le mortier (MBr 25%) par rapport au mortier témoin (MT).Cette perte en masse augmente avec l'augmentation du pourcentage de substitution des déchets de brique.

Tandis que pour le cas des mortiers immergés dans l'eau (figure 3. 10), on constate un gain en masse des mortiers à base de déchets de brique par rapport au mortier témoin (MT). Et que le mortier avec 10% de déchet de brique a la plus grande valeur en gains de masse.

3.3.Mortier à base de déchets de béton autoplaçant

3.3.1.Le mortier à l'état frais

Les résultats de l'ouvrabilité des mortiers à base de déchet de béton autoplaçant, sont représentés sur l'histogramme suivant (Figure3.11) qui permet de comparer les valeurs du temps d'écoulement au maniabilimètre des différents mortiers réalisés avec et sans déchet de béton.

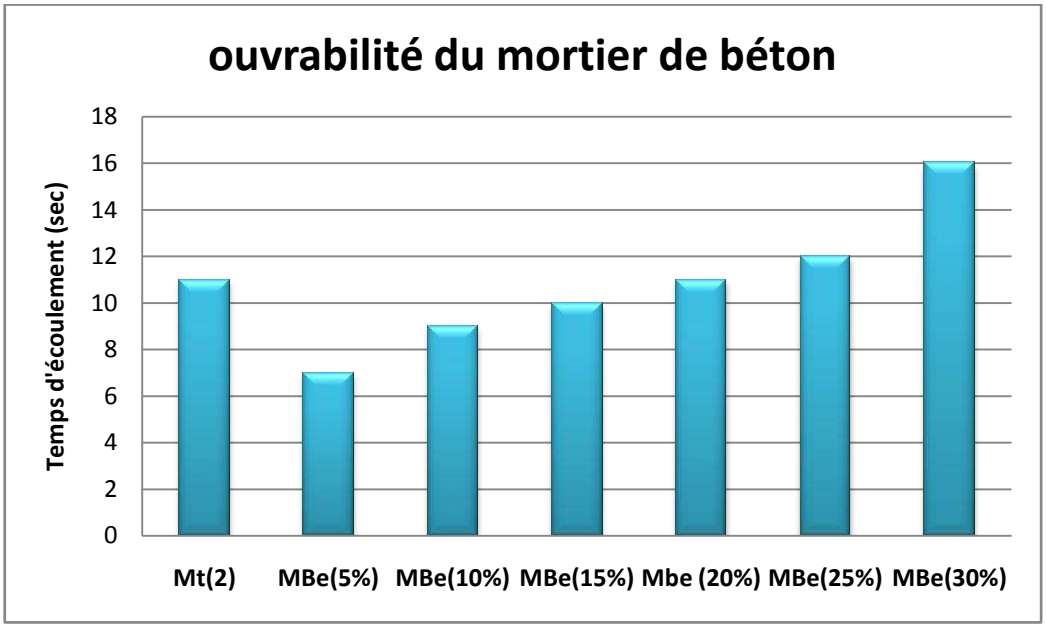


Figure 3.11. Tempsd'écoulementdesmortiersde déchets de béton autoplaçant (MBe)

Les résultats présentés sur la figure I3.11, montrent une amélioration de l'ouvrabilité des mortiers à base du déchet de béton par rapport au mortier témoin pour des taux de substitution inférieurs à 20%. Ceci peut être justifié par un faible taux d'absorption des grains de béton autoplaçant ou bien la composition du BAP qui contient plus d'éléments fins que grossiers. Et la meilleure ouvrabilité a été observée pour le cas des mortiers avec 5% de déchet. On remarque de cette figure aussi que le temps d'écoulement au maniabilimètre augmente avec l'augmentation du taux de substitution en déchet.

3.3.2. Le mortier à l'état durci

3.3.2.1. Résistanceàla compression

Sur la figure 3.12est présentéel'évolution des résistances à la compression des mortiers à base de déchet de béton autoplaçant par rapport au mortier de référence MT en fonction du temps et du taux de substitution.

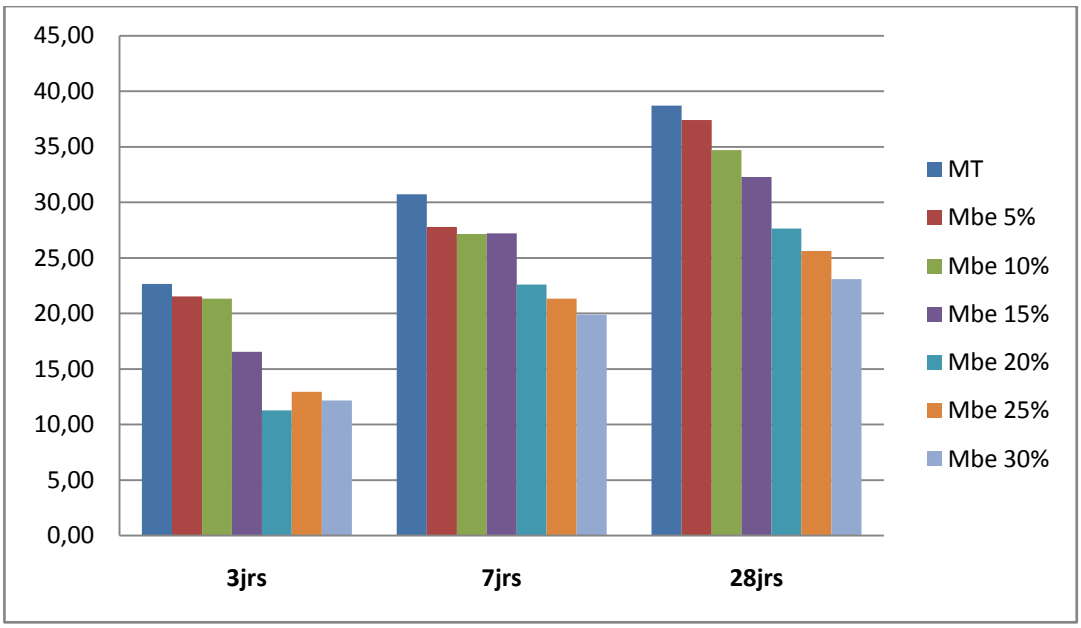


Figure 3.12. Variation delarésistanceàlacompression desmortiers de déchets de béton

D'après la figure 3.12, on remarque une diminution des résistances à la compression des mortiers à base de déchets de béton autoplaçant en fonction de l'augmentation du taux de substitution du déchet. Ce qui confirme les résultats trouvés dans la littérature **[60, 66]**. Cette diminution de résistance peut être expliquée toujours par la contenance en éléments fin du BAP recyclé.

3.3.2.2. Résistanceàla tractionparflexion

La mesure de la résistance à la traction est importante surtout pour identifier l'adhérence ciment/granulats. Les résultats trouvés sont résumés dans la figure3.13 suivante.

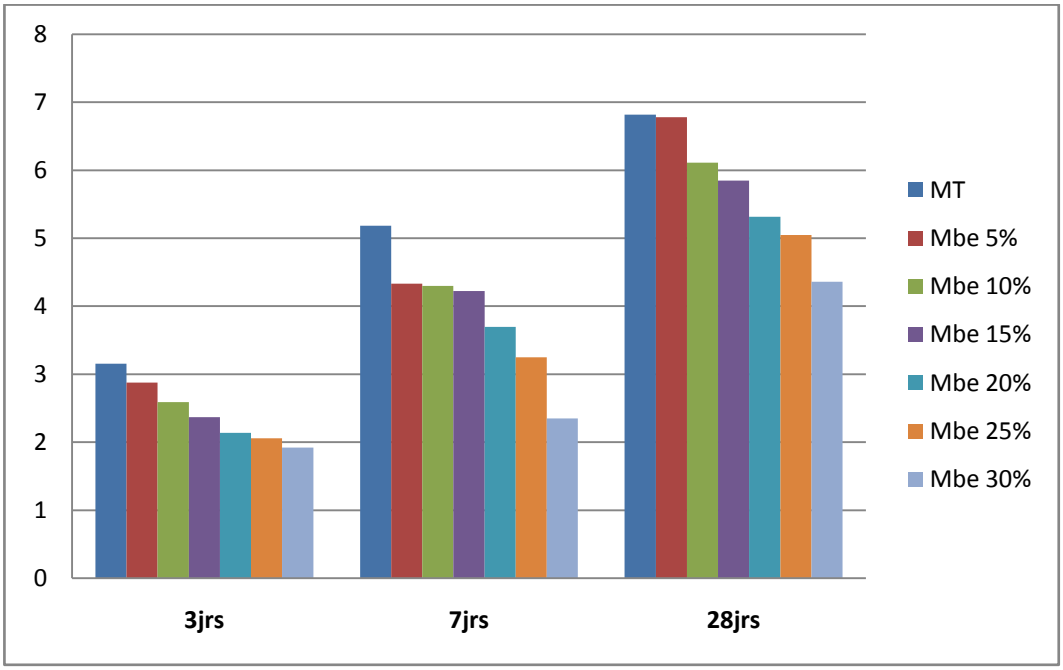


Figure 3.13. Variation de la résistance de traction par flexion des mortiers à base de BAP

D'après la figure 3.13on remarque que les résistances à la traction augmentent en fonction de l'âge des mortiers. On constate aussi que la résistance à la traction diminue en fonction du pourcentage de substitution des déchets de béton, lorsque le pourcentage des déchets de béton augmente la résistance diminue. Et que les mortiers présentent une similaire diminution de la résistance à la flexion.

A 28 jours, la plus grande valeur des résistances est observée pour le mortier témoin MT (6.82 MPa), tant disque la plus faible valeur de l'ordre de 4.36 MPa est remarquée pour le mortier MBe 30%.

3.3.2.3. Absorption d'eau par capillarité

Les résultats de l'essai d'absorption d'eau par capillaritédes différents mortiersréalisés à base de déchets de béton autoplaçant sontrésumésdans la figure3.14.

De cette figure, on remarque que le mortier à base de déchets de béton autoplaçant absorbe moins d'eau comparativement au mortier témoin. Ceci peut être justifié par une bonne compacité des mortiers à base de ce type de déchet de béton plus le faible taux d'absorption des grains de béton autoplaçant.

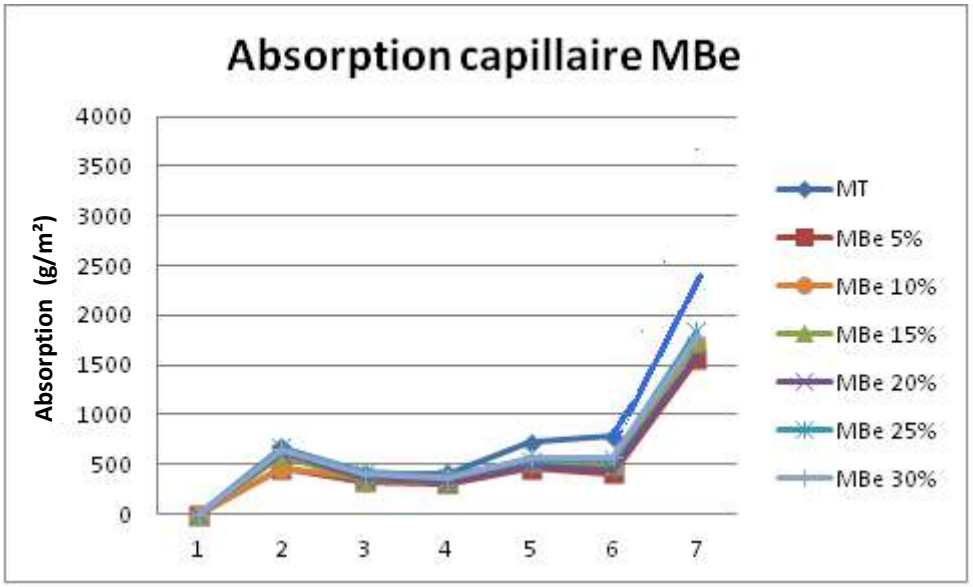


Figure 3.14. Absorption d'eau par capillarité des mortiers à base de déchet de béton

3.3.2.4. Retrait et Gonflement

Les résultats des essais de retrait et gonflement pour l'ensemble des mortiers à base de déchet de béton autoplaçant, sontillustrésdansles figures3.15 et 3.16 suivantes.

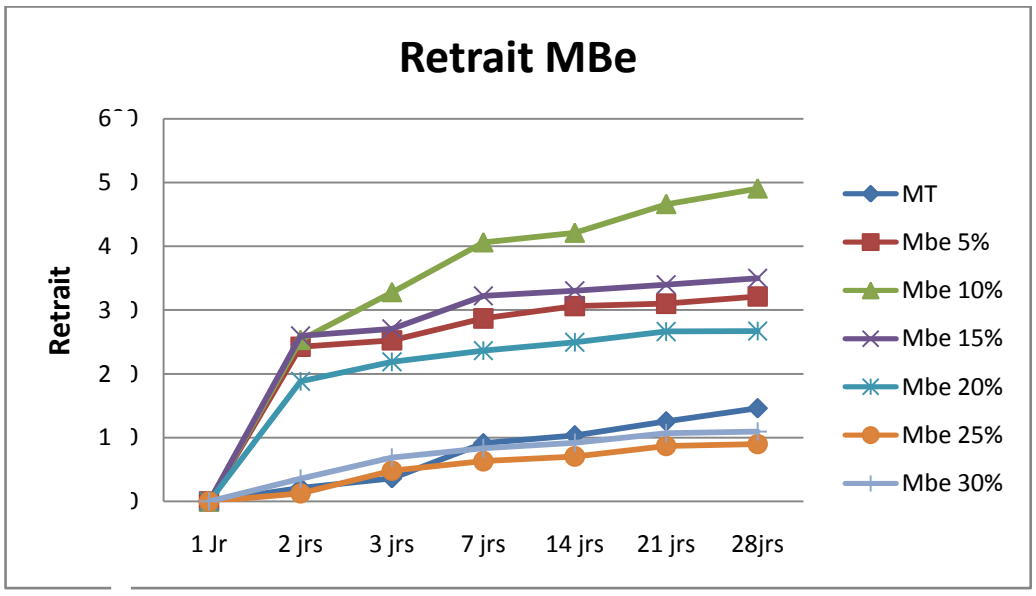


Figure 3.15. Variation du retrait des différents mortiers à base de déchet de béton autoplaçant

D'après cette figure, on remarque que le retrait en air libre des mortiers à base de déchets de béton autoplaçant est nettement plus important que celui du mortier témoin (MT). A part quelques particularités concernant les mortiers à base de 25 et 30% de déchets de béton autoplaçant qui développent moins de retrait à partir de 7 jours.

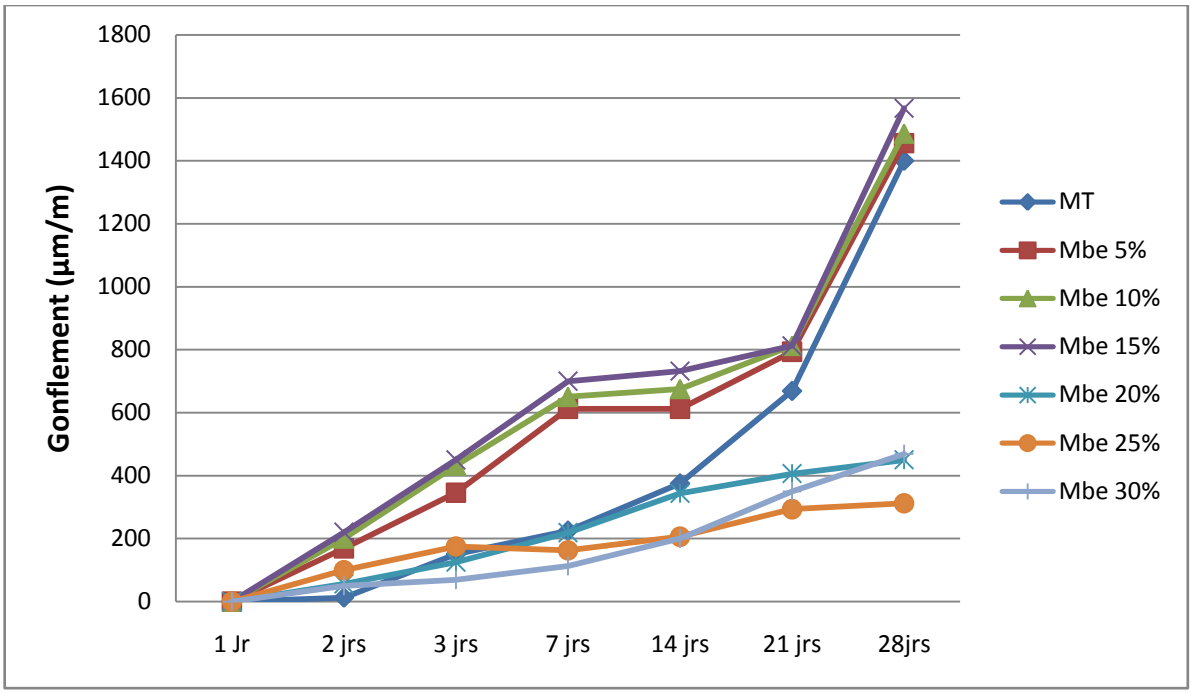


Figure 3.16. Variation du gonflement des différents mortiers à base de déchet de béton autoplaçant

On constate de cette figure, que le gonflement dans l'eau des mortiers à base de déchets de béton autoplaçant est aussi plus important que celui du mortier témoin (MT). A part quelques particularités aussi concernant les mortiers à base de 25 et 30% de déchets de béton autoplaçant qui développent des faibles gonflements par rapport au mortier témoin.

3.3.2.5. Variation massique due au retrait et gonflement des mortiers de déchet de béton

Les résultats des variations massiques dues au retrait et gonflement sont illustrés dans les figures3.17 et 3.18 suivantes.

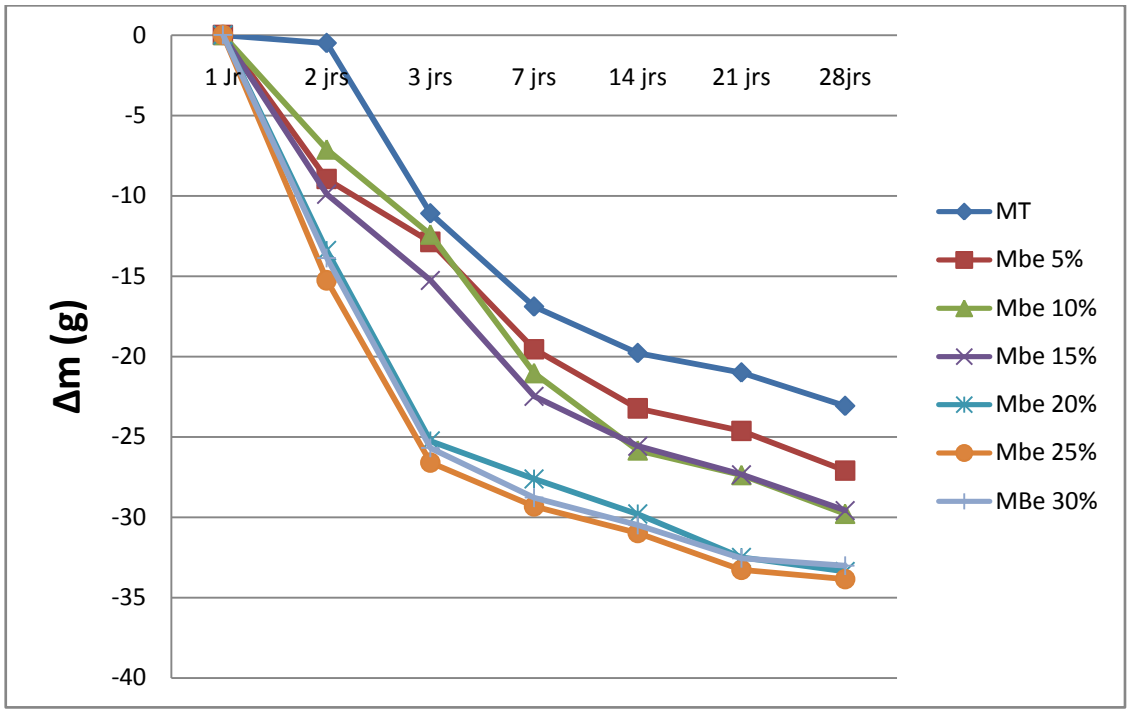


Figure 3.17. Variation massique due au retrait des différents mortiers à base de béton autoplaçant

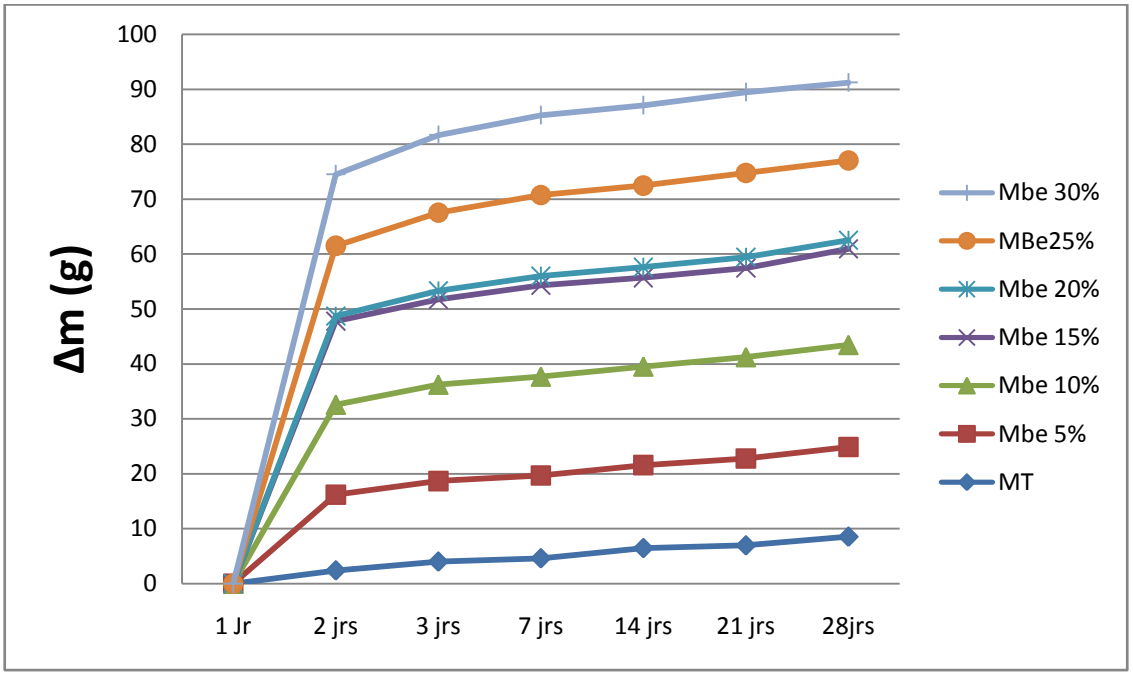


Figure 3.18. Variation massique due au gonflement des différents mortiers à base de béton autoplaçant

D'après la figure 3. 17 on constate que pour les mortiers exposé à l'air libre qu'il y a une perte en masse dans le mortier (MBe 30%) par rapport au mortier témoin (MT).Cette perte en masse augmente avec l'augmentation du pourcentage de la substitution des déchets de béton.

Tandis que pour la figure 3. 18 on constate pour les mortiers immergé dans l'eau qu'il y a un gain en masse dans le mortier (MBe 30%) par rapport au mortier témoin (MT). Ce gain en masse augmente avec l'augmentation du pourcentage de la substitution des déchets de béton.

3.4. Conclusion

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

- Les mortiers à base de déchet de brique présentent une mauvaise ouvrabilité par rapport au mortier témoin (sans déchet de brique). Ce qui est dû au taux d'absorption élevé de ce déchet ;
- Des améliorations dans les performances mécaniques des mortiers ont été constatées à partir de 28 jours d'âge avec l'ajout de la poudre de déchet de brique pour les taux de substitution de 5, 10 et 15%du poids de ciment, comparativement au mortier témoin ;
- L'ajout de la poudre de déchet de brique, diminue à la fois le taux d'absorption par capillarité et le retrait à l'air libre des mortiers à base de ce déchet et augmente en parallèle le gonflement de ces derniers ;
- A l'état durci la poudre de déchet de brique, joue à la fois un double rôle pouzzolanique et densification de la matrice cimentaire ;
- L'emploi de la poudre de déchet d'un béton autoplaçant dans la fabrication d'un mortier, fait améliorer l'ouvrabilité de ce dernier jusqu'à un taux de substitution de 20% du poids de ciment ;
- Les déchets de béton autoplaçant mènent à une diminution des résistances mécaniques des mortiers de maçonnerie à court et long terme ;
- Une amélioration de l'absorption d'eau par capillarité des mortiers à base de poudre de déchet d'un béton autoplaçant par rapport au mortier témoin a été observée ;
- Un retrait important a été enregistré dans les mortiers de déchet de béton autoplaçant, par apport au mortier témoin avec les taux de substitution de 5 à 20% ;
- Si on compare les résultats qu'on a trouvés dans cette partie d'étude et les résultats des déférents chercheurs (citées dans la bibliographie) on peut dire qu'il y a une nette concordance entre les deux.

CONCLUSIONS GÉNÉRALES

ET RECOMMANDATION

Conclusions générales

Le présent travail avait pour principal objectif de valoriser les déchets issus des travaux de construction. A cet effet l'étude est basée sur la comparaison du comportement du mortier ordinaire à maniabilité constante avec le remplacement partiel du ciment par la poudre des déchets de brique et celle du béton autoplaçant ; qui nous a permis de confirmer un certain nombre de résultats de la bibliographie. La synthèse bibliographique et l'analyse des résultats expérimentaux nous ont permet de tirer les conclusions suivantes :

- La poudre de brique finement broyée influent négativement sur l'ouvrabilité du mortier en fonction du taux de substituions, le cas contraireest observé pour la poudre du béton autoplaçant et qui a améliorer cette dernière jusqu'à un taux de substitution de 20% du poids de ciment ;
- A l'état durci la poudre de déchet de brique, joue à la fois un double rôle pouzzolanique et densification de la matrice cimentaire. Des améliorations dans les performances mécaniques des mortiers ont été constatées à partir de 28 jours d'âge pour des taux de substitution de 5, 10 et 15 % du poids de ciment, comparativement au mortier témoin. Tandis que Les déchets de béton autoplaçant mènent à une diminution des résistances mécaniques des mortiers à court et long terme
- L'ajout de la poudre de déchet de brique, diminue à la fois le taux d'absorption par capillarité et le retrait à l'air libre des mortiers à base de ce déchet et augmente en parallèle le gonflement de ces derniers ;
- Une amélioration de l'absorption d'eau par capillarité des mortiers à base de poudre de déchet d'un béton autoplaçant par rapport au mortier témoin a été observée avec un retrait important qui a été enregistré pour les mortiers avec un de substitution allant de 5 à 20% du poids de ciment.

Finalement, si on compare les résultats qu'on a trouvés dans cette partie d'étude et les résultats des déférents chercheurs (citées dans la bibliographie) on peut dire qu'il y a une nette concordance entre les deux.

Recommandations

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

- L'étude de l'effet des déchets employés dans cette étude sur d'autres caractéristiques à l'état frais du mortier. Tel que l'air occlus et le temps de prise ;
- D'étudier l'effet de ces déchets sur la durabilité des mortiers de maçonnerie ;
- Visualiser l'effet de ces poudres sur la microstructure des mortiers (MEB) ;
- Incorporer ces deux déchets dans la fabrication du béton ou bien béton autoplaçant.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1] 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.

[2] 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* .

[3] SPERANDIO K., 2001, *Identification des facteurs mobilisateurs des stratégies de gestion des déchets ménagers mises en œuvre par les collectivités locales*, thèse de doctorat, l'institut national des sciences appliquées de Lyon.

[4] SAADI S., 2005, *Comportements des bétons à base des granulats recyclé*, mémoire de Magister, Département de génie civil, Université de Constantine, Algérie.

[5] 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 génie civil : matériaux de construction, université de Mostaganem.

[6] 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.

[7] Propriétés mécaniques et de longévité des agrégats réutilisés souillés employant béton Ciment et composé concret, 32(2010)421-426.Elsevier, la science directe.

[8] 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.

[9] Plan National d'actions pour l'Environnement et le Développement Durable (PNAE-DD), Ministère de l'Aménagement du territoire et de l'environnement, Janvier 2002.

[10] Ministère des Travaux Publics, 2005, *Valorisation des pneus usagés et les déchets plastiques dans le domaine des travaux publics, journée scientifique.*

[11] Al-ManaseerA.A., Dalal T. R., 1997, *Concrete containing plastic aggregates*, Concrete International, pp. 47– 52.

[12] 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.

[13] JohB., Seung-Kook P., Cheol-Hwan K., 2006, *Mechanical properties of polyester polymer concrete using recycled polyethylene terephthalate*, ACI Struct J. N° 25, pp. 203-219.

[14] Mahdi F., Abbas H., Khan A., 2010, *Strength characteristics of polymer mortar and concrete using different compositions of resins derived from post-consumer PET bottles*,journal of Construction Building Materials, pp.25–36.

[15] Guendouz M., 2012, *Valorisation et recyclage des déchets plastiques dans le béton*, Mémoire de Master, Université de Médéa, Algérie, 101 p.

[16] PattengilM.et Shutt T.C., *Use of ground glass as a pozzolan*, Albuquergue symposiums on utilization of wast glass in secondary product. Albuquergue, New Mexico, U.S.A.

[17] Kojima. T., Takagi N. etHarouta K., *Expanding characteristics of mortar in glass powder produced from waste bottles*, 11th international conference on Alkali aggregate reaction, Quebec.

[18] Norme ACI,(American concret Institute) 116 R-90 (ACI 1990b).

[19] ZeroubH., 2012, *Valorisation du verre dans l'élaboration du béton durable (Approche expérimentale*, thèse de magister université de Boumerdès, Algérie, 90 p.

[20] Saadani S., 2010, *Comportement des bétons à base des granulats recyclés*, thèse de magister, université de Constantine, Algérie, 130 p.

[21] HaboubH. et BelaichaM., 2010, *Introduction du sable de déchet de marbre dans le béton hydraulique*, thèse de magister université de Skikda, Algérie.

[22] R. ChaidR.,Jauberthie R., Abadlia M. T. et Talah A., 2014, *Properties of recycled aggregate concrete made with recycled aggregates with different amounts of old adhered mortars*, The Hong Kong Polytechnic University, Hung Hom, Kowloon, Hong Kong.

[23] Zhen H. D. etChi S. P., 2014, *Properties of recycled aggregate concrete made with recycled aggregates with different amounts of old adhered mortars*, The Hong Kong Polytechnic University, Hung Hom, Kowloon, Hong Kong.

[24] 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.

[25] Debieb F., Courard L., Kenai S. etDegeimbre R., 2010, *Mechanical and durability properties of concrete using contaminated recycled aggregates*, Journal of Cement and

Concrete Composites, N° 32, pp. 421-426.

[26] BOURMATTE N., 2004, *Granulats recyclés de substitution pour bétons hydrauliques*, thèse de magister, Université de Constantine, Algérie.

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

[28] Debieb F. et Kenai S., 2008, The use of coarse and fine crushed bricks as aggregate in concrete, , Journal of construction and Building Materials, N° 22, pp. 886-893.

[29] Lan Z., Zhengyue F. etShiping Z., 2014, *Permeability of recycled aggregate concrete containing fly ash and clay brick waste*,Department of Architecture and Civil Engineering, Nanjing Institute of Technology, China.

[30] Étienne B. et Georges-Bernard D., 1837, *Règlements sur les arts et métiers de Paris, rédigés au 13e siècle, et connus sous le nom du Livre des métiers d'Étienne Boileau. Crapelet.*

[31] Augustin M. , 1935, *Ciments et mortiers*, Libr. Armand Colin, coll. « Génie civil », p. 2.

[32] Vitruve, *De Architectura*, livre II, 5.

[33] NIGRIG., CHERAITY. et BENOUIS H., 2011, *Valorisation des déchets de briques dans l'industrie cimentaire*, Université de Guelma, Algérie.

[34] Dina M. S., 2011, *Physico-mechanical properties of solid cement bricks containing recycled aggregates*, Building Materials Research and Quality Control Institute, Housing and Building National Research Center, Egypt.

[35] HADJOUDJAM. et BEDERINAM., 2005, *Influence des fillers des déchets de briques sur la durabilité à l'eau du béton de sable de dunes*, Université de Laghouat, Algérie.

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

[37] Bektas F.,Wang K. etCeylan H., 2008,*Effects of crushed clay brick aggregate on mortar durability,*CivilConstruction and Environmental Engineering, Iowa State University, United States.

[38] 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.

[39] 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.

[40] Jiménez J. R., Ayuso J., López M., Fernández J. M. et Brito J.,2012, *Use of fine recycled aggregates from ceramic waste in masonry mortar manufacturing* , Construction Engineering Area, University of Córdoba, Córdoba, Spain.

[41] Luiz A. Pereira Oliveira, João P. et Castro-Gomes, 2010, *Physical and mechanical behaviour of recycled PET fibre reinforced mortar*, Centre of Materials and Building Technologies, University of Beira Interior, Portugal.

[42] Iucolano F., Liguori B., Caputo D., Colangelo F. et Cioffi R., 2013, *Recycled plastic aggregate in mortars composition: Effect on physical and mechanical properties*, Dipartimento di IngegneriaChimica, deiMaterialie del la ProduzioneIndustriale, Università di Napoli Federico II, Italy.

[43] BarbaraL., Iucolano F., Capasso I., Lavorgna m. et Verdolotti L., 2014, *The effect of recycled plastic aggregate on chemico-physical and functional properties of composite mortars*, Dipartimento di IngegneriaChimica, deiMateriali e dellaProduzioneIndustriale, Università di Napoli Federico II, Naples, Italy.

[44] Kazi F., AOUAL-BENSLAFA A, SEMCHA et KERDALD., 2011, *Influence des additions minérales sur la résistance mécanique des mortiers*, Laboratoire « LabMat » Enset Oran, Université des Sciences et de la Technologie Mohamed Boudiaf, Oran, Algérie.

[45] Amouri C. et HaboubH., 2009, *Les performances des mortiers avec différentes additions minérales*, 1st International Conference on SustainableBuiltEnvironment Infrastructure in Developing in Developing Countries ENSET Oran, Algérie.

[46] Bessa. A, *Evaluation de la contribution des additions minérales à l'activité liante duciment dans les mortiers*, Université de Cergy-Pontoise, France.

[47] CHERAIT Y., NAFA Z., 2007, *Eléments de matériaux de construction et essais*, Direction de la publication universitaire de Guelma , Algérie.

[48] Hibbert J. J. &Khatib J. M., 2005, « *Selected engineering properties of concrete incorporation slag and metakaolin*», Construction and building Materials, N° 19, pp. 460-472.

[49] Zeghichi L., Mezghichi B. &Merzougui A., 2007, « *L'influence de l'activation du laitier sur le comportement mécanique des bétons* », Libanaise Science Journal, Vol. 8, N° 2, pp. 105-113.

[50] Benkaddour M., ZakiAoual F. &Semcha A., 2009, « *Durabilité des mortiers à base de pouzzolane naturelle et de pouzzolane artificielle* », Revue Nature et Technologie, N° 01, pp 63-73.

[51] Siad H., Mouli M., Mesbah H. M. & Khelfi H., 2009, « *Influence du type d'additions dans les bétons autoplaçants sur l'adhérence béton-ancrage* », SBEIDCO 1st International Conference on sustainable Built Environment Infrastructures in Developing Countries, ENSET Oran, Algérie, pp. 183-190.

[52] XP P18-540, 1997, Normes AFNOR: Granulats - Définitions Conformité Spécifications (indicedeclassementP18-540).

[53] CIM béton, 2008, Fiche technique édité par le centre d'information sur le ciment et ses applications:« Bétons et mortiers : préparation et mise en œuvre sur chantier», Paris, France.

[54] BARON J., OLLIVIER J. P., 1999, *LES BETONS*, bases et données pour leur formulation, édition Eyrolles.

[55] P18-597, 1990, Normes AFNOR:«Granulats-Détermination de la propreté dessables – Equivalant de sable à10% defines».

[56] CHERAITY.,NAFAZ., 2007,*Eléments de matériaux de construction et essais*, Direction de la publication universitaire de Guelma.

[57] Neville A., Geon M., 2000, *Propriétés des bétons*, traduits par CRIB Centre de Recherche Interuniversitaire sur le Béton, SHERBOOKE-Laval-éditions Eyrolles.

[58] Dreux G. et Festa J., 1998, Nouveau guide du béton et ses constituants, 8eme édition, Eyrolles .

[59] Le Laboratoire Des Travaux Publics De Polynesi, 2008, Notice technique: «La durabilité des bétons ».

[60] CIM béton, 2008, Fiche technique édité par le centre d'information sur le ciment et ses applications: « Les ouvrages en béton: durabilité, dimensionnement et esthétique»,

Tome3, Paris, France.

[61] NA 2607, Normes Algérienne : « *Granulats - Analyse granulométrique par tamisage* », 1990.

[62] NF EN 196-2, 2006, *Méthodes d'essais des ciment- Partie 2 : Analyse chimique des ciments*, AFNOR. 46 p.

[63] NF EN 196-6, 1990, « *Méthodes d'essais des ciments. Partie 6: Détermination de la finesse* », AFNOR.

[64] NF EN 459-2, 2002, « *Chaux de construction. Partie 2 : Méthode d'essai* », AFNOR.

[65] NF EN 196-3, 1995, « *Méthodes d'essais des ciments. Partie 3 : Détermination du temps de prise et de la stabilité* », AFNOR.

[66] NF EN 196-1, 1995, « *Méthodes d'essais des ciments. Partie 1: Détermination des résistances mécaniques* », AFNOR.

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

[68] 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.

[69] 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.

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

[71] 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'industrie du béton, telle que l'eau de gâchage pour béton* », AFNOR.

[72] NFP15-437,1987, Normes AFNOR: «Liants hydrauliques– Techniques des essais Caractérisation des ciments par mesure de la fluidité sous vibration des mortiers».

[73] NFP18-452, 1988, Normes AFNOR:«Béton-mesure du temps d'écoulement des bétons et des mortiers aux maniabilimètre ».

[74] NF EN 1015-18, 2002, Méthodes d'essais sur mortier de maçonnerie, Partie 18 : Absorption d'eau par capillarité du mortier durci.

[75] DUPAIN et Lanchon R., 2000, «Granulats, sols, ciment et béton: Caractérisation des matériaux de génie civil par les essais de laboratoire»,2emeédition CASTEILLA, Paris, France.

[76] NFP18-404,1989, Normes AFNOR: «Essais pour béton durci-Partie1 : forme, dimensions et autres exigences relatives aux éprouvettes et aux moules ».

[77] Nasr-Eddine Kedjour, 2003, *Le laboratoire de béton*, office des publications universitaires, Algérie.