



FACULTÉ DES SCIENCES APPLIQUÉES
DÉPARTEMENT GÉNIE CIVIL

Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme de Master

Spécialité : Génie Civil

Option : Ouvrages d'Art et Infrastructures

Présenté par :

ALI PACHA HICHEM
BOUKERDEL MOHAMED

Sujet du mémoire

**VARIATION DU DOSAGE DES DECHETS DE
BRIQUE SUR LA RESISTANCE EN COMPRESSION
D'UN MORTIER**

Soutenu publiquement le 00/00/2017 devant le jury composé de :

Mr : H.BEKKI

Mm : Z.RENNAK

Mm : A.DRAOUI

Mr : N.KERROUM

Mr : H.SERBAH

Président

Rapporteur

Examineur

Examineur

Examineur

Année Universitaire : 2016/2017

Remerciements

Nous tenons tout d'abord à remercier le bon Dieu de nous avoir guidé et donné la force et la volonté pour atteindre notre objectif.

Nous remercions nos très chers parents pour leur soutien et leur patience.

Nous tenons à exprimer nos vives gratitude et notre profonde reconnaissance à notre encadreur **Mm. ZOHRA RENNAK** pour ses précieux conseils qui nous ont gardés sur le droit chemin afin de réaliser ce modeste travail.

Notre gratitude va également au directeur du laboratoire des travaux publics de l'ouest (LTPO) de Tiaret, qui nous a autorisées à réaliser une partie de notre projet expérimentale au laboratoire,

Sans oublier l'ensemble des enseignants de la faculté des sciences appliquées département de génie civil de TIARET pour l'excellente formation qu'ils nous ont donnée, l'ensemble des techniciens des laboratoires de la faculté pour leur aide.

Nous plus vifs remerciements aux membres de jury qui nous font l'honneur de présider et d'examiner ce modeste travail.

Egalement, nos remerciements à tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin dans la réalisation de ce projet de fin de cycle.

Dédicaces

Je dédie ce travail à mes très chers parents,

A ma mère qui ne cesse jamais de m'encourager, à mon père qui
était toujours à mes côtés à tout moment,

Que Dieu tout puissant les garde pour moi, A mon frère et mes
sœurs pour leur Soutien inconditionnel,

A toute ma famille, Et A tous mes amis où qu'ils soient

On cite particulièrement,

Yassine, Mohamed, Hamza, Khaled, Hafid.

A mon binôme Mohamed.

Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce
Projet soit possible, je vous dis merci.

Hichem.

Dédicaces

À mes parents. Que Dieu leur procure bonne santé et longue vie.

À la lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme de Mon cœur, ma vie et mon bonheur ; MAMAN que j'adore.

À celui que j'aime beaucoup et qui m'a soutenu tout au long de ce projet et bien sûr À mes amis Rabeh, Houcin, Nacer, Saddam, Khalid, Miloud, Nouri, Elhadj, Hamza ...

Sans oublier mes grands-parents, mes tantes, mes oncles, mes cousins et mes cousines.

À toute ma famille, mes amis.
Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce Projet soit possible, je vous dis merci.

AMINE.

RESUME

La présente étude porte sur la détermination du comportement mécanique des mortiers à base des déchets de brique.

Le but principal de cette étude est de démontrer techniquement la possibilité d'utiliser partiellement les granulats (déchets de brique de démolition) comme substitution des granulats naturels dans la fabrication des mortiers ordinaires.

Les déchets de brique ont été incorporés dans le mortier à différents taux (10, 20,30 et 35) %

Des essais de compression et de traction ont été réalisés sur des éprouvettes prismatique (4x 4 x16) cm³ à diffèrent dates (7, 14, 21 et 28 jours),

Les résultats obtenus ont été analysés et comparées avec celles d'un mortier témoin (100% granulats naturels).

Mots clé : déchets, briques, granulats, mortier ordinaire, compression.

ABSTRACT

The present study concerns the determination of behavior mechanical of concretes and mortar based on the waste of brick.

The main purpose of this study is to show technically possibility to use it partly granulates (waste of brick of destruction) as substitution of the Natural granulates in the manufacture of ordinary mortars.

The waste of brick was incorporated mortar with different rates (10, 20, 30 and 35)%

Tries of compression and traction were accomplished on test tubes (4x4x16) cm³ in different rates 7, 14, 21 and 28 days.

Acquired results being analyzed and compared with mortar witness (100% granulates natural).

Key words: waste, bricks, granulates, ordinary mortar, compression.

الملخص

ترتكز هذه الدراسة على تحليل خصائص الفيزيائية و الميكانيكية لملاط الاسمنت الذي اساسه نفايات الاجور .
الهدف الرئيسي من هذه الدراسة هو اثبات الامكانية التقنية لاستخدام هاته النفايات جزئيا او كليا (نفايات الاجور الناتجة عن الهدم) في تعويض الرمل في تصنيع ملاط الاسمنت.

أدرجت على شكل مسحوق في الملاط و ذلك كبديل للرمل بنسب كتلية مختلفة (10، 20، 30 و 35) %
أجريت اختبارات الضغط و الشد على عينات من الملاط ذات الحجم (16×4×4) سم و ذلك للاعمار التالية 7، 14، 21 و 28 يوم.

قمنا بتحليل النتائج المتحصل عليها و مقارنتها مع تلك التي لم يتم دمج نفايات الاجور فيها (100 بالمائة طبيعية).
كلمات المفتاحية : نفايات، الاجور، الحصى، الملاط، الانضغاط.

Résumé

Abstract

الملخص

Table des matières

Liste des figures

Liste des tableaux

Abréviations

Introduction générale	Error! Bookmark not defined.
I.1 Introduction :	Error! Bookmark not defined.
I.2 Définition :	Error! Bookmark not defined.
I.3 Différents types des mortiers :	Error! Bookmark not defined.
I.3.1 Les mortiers de ciment :	Error! Bookmark not defined.
I.3.2 Les mortiers de chaux :	Error! Bookmark not defined.
I.3.3 Les mortiers bâtards :	Error! Bookmark not defined.
I.3.4 Mortier réfractaire :	Error! Bookmark not defined.
I.3.5 Mortier rapide :	Error! Bookmark not defined.
I.3.6 Mortier industriel :	Error! Bookmark not defined.
I.4 Les Constituants des mortiers :	Error! Bookmark not defined.
I.4.1 Le Liant :	Error! Bookmark not defined.
I.4.2 Le ciment:	Error! Bookmark not defined.
I.4.2.1 Principe de fabrication du ciment :	Error! Bookmark not defined.
I.4.2.2 Les constituants du ciment :	Error! Bookmark not defined.
I.4.2.3 Classification de ciment :	Error! Bookmark not defined.
I.4.2.4 Caractéristique du ciment:	Error! Bookmark not defined.
I.4.2.5 Les résistances mécaniques :	Error! Bookmark not defined.
I.4.2.6 Domaine d'utilisation de ciment :	Error! Bookmark not defined.
I.4.3 Le sable :	Error! Bookmark not defined.
I.4.3.1 Origines de sable :	Error! Bookmark not defined.
I.4.3.2 Granulométrie :	Error! Bookmark not defined.
I.4.3.3 Rôle de sable dans le mortier :	Error! Bookmark not defined.
I.4.3.4 Exigences sur le sable d'usage général :	Error! Bookmark not defined.
I.4.4 L'eau:	Error! Bookmark not defined.
I.4.4.1 L'eau de gâchage :	Error! Bookmark not defined.
I.4.5 Importance du rapport eau /ciment :	Error! Bookmark not defined.
I.5 Les différentes utilisations du mortier :	Error! Bookmark not defined.

TABLE DES MATIERES

I.5.1 Les joints de maçonnerie :	Error! Bookmark not defined.
I.5.2 Les enduits :	Error! Bookmark not defined.
I.5.3 Les chapes :	Error! Bookmark not defined.
I.5.4 Les scellements et les calages :	Error! Bookmark not defined.
I.6 Préparation des mortiers :	Error! Bookmark not defined.
I.7 Conclusion :	Error! Bookmark not defined.
II.1 Introduction :	Error! Bookmark not defined.
II.2 Origine de la production de déchets :	Error! Bookmark not defined.
II.3 Constitution chimique du déchet :	Error! Bookmark not defined.
II.4 Différents types de déchets :	Error! Bookmark not defined.
II.4.1 Déchets ultimes :	Error! Bookmark not defined.
II.4.2 Déchets inertes :	Error! Bookmark not defined.
II.4.3 Déchets assimilés :	Error! Bookmark not defined.
II.4.4 Déchets verts :	Error! Bookmark not defined.
II.4.5 Déchets organiques :	Error! Bookmark not defined.
II.4.6 Déchets industriels banals (DIB) :	Error! Bookmark not defined.
II.4.7 Déchets dangereux :	Error! Bookmark not defined.
II.4.7.1 Déchets industriels spéciaux (DIS) :	Error! Bookmark not defined.
II.4.7.2 Déchets ménagers spéciaux (DMS) :	Error! Bookmark not defined.
II.5 Recyclage des déchets :	Error! Bookmark not defined.
II.5.1 Historique :	Error! Bookmark not defined.
II.5.2 Définitions :	Error! Bookmark not defined.
II.5.3 Technique de recyclage:	Error! Bookmark not defined.
II.5.3.1 Procédés du recyclage :	Error! Bookmark not defined.
II.5.3.2 La chaîne du recyclage :	Error! Bookmark not defined.
II.6 Déchets de briques :	Error! Bookmark not defined.
II.6.1 Briques :	Error! Bookmark not defined.
II.6.1.1 Introduction :	Error! Bookmark not defined.
II.6.1.2 Processus de production :	Error! Bookmark not defined.
II.6.1.3 Les types de briques :	Error! Bookmark not defined.
II.6.1.4 Domaine d'emploi :	Error! Bookmark not defined.
II.6.1.5 Briques recyclées :	Error! Bookmark not defined.
II.7 Conclusion :	Error! Bookmark not defined.
III.1 Introduction :	Error! Bookmark not defined.
III.2 Caractéristiques des matériaux :	Error! Bookmark not defined.

TABLE DES MATIERES

III.2.2 Les essais sur les ciments :.....	Error! Bookmark not defined.
III.2.2.1 Les caractéristiques physiques :	Error! Bookmark not defined.
III.2.2.2 Caractéristiques physiques des pâtes de ciment :	Error! Bookmark not defined.
III.3 Le sable :	Error! Bookmark not defined.
III.3.1 Les essais sur le sable :.....	Error! Bookmark not defined.
III.3.1.1 Analyse granulométrique:	Error! Bookmark not defined.
III.3.1.2 Module de finesse (M f) :	Error! Bookmark not defined.
III.3.1.3 Équivalent de sable (la norme NF P 18 -598) : [36] ...	Error! Bookmark not defined.
III.3.1.4 Masse volumique absolue (la norme NFP 18-301) : [37] .	Error! Bookmark not defined.
III.4 Déchets de briques :	Error! Bookmark not defined.
III.4.1 Appareille de los Anglos :	Error! Bookmark not defined.
III.4.2 Analyse granulométrique :	Error! Bookmark not defined.
III.4.3 Masse volumique apparente :	Error! Bookmark not defined.
III.4.4 Masse volumique absolue :	Error! Bookmark not defined.
III.5 Eau de gâchage :.....	Error! Bookmark not defined.
III.6 Les moule :	Error! Bookmark not defined.
III.6.1 Préparation des éprouvettes :	Error! Bookmark not defined.
III.6.1.1 Les étapes de préparation :	Error! Bookmark not defined.
III.7 Formulation et fabrication des mortiers :.....	Error! Bookmark not defined.
III.7.1 Appellations des différentes formulations :	Error! Bookmark not defined.
III.7.2 Préparation du mortier :	Error! Bookmark not defined.
III.7.3 Le malaxage de mortier :.....	Error! Bookmark not defined.
III.7.4 Les essais sur les mortiers :	Error! Bookmark not defined.
III.7.4.1 Essais sur la masse volumique de mortier à l'état frais :	Error! Bookmark not defined.
III.7.5 Conservation des éprouvettes :	Error! Bookmark not defined.
III.8 Résistance à la traction par flexion:	Error! Bookmark not defined.
III.9 Résistance à la compression :	Error! Bookmark not defined.
III.10 Conclusion :	Error! Bookmark not defined.
IV.1 Introduction:.....	Error! Bookmark not defined.
IV.2 Le ciment :.....	Error! Bookmark not defined.
IV.3.Le sable :.....	Error! Bookmark not defined.
IV.3.1.Déterminations des caractéristiques physiques :.	Error! Bookmark not defined.

TABLE DES MATIERES

IV.3.2 Analyse granulométrique :	Error! Bookmark not defined.
IV.3.3 Module d finesse :	Error! Bookmark not defined.
IV.4 Déchets de brique :	Error! Bookmark not defined.
IV.4.1 Déterminations des caractéristiques physiques : ..	Error! Bookmark not defined.
IV.4.2 Analyse granulométrique :	Error! Bookmark not defined.
IV.4.3 Module d finesse :	Error! Bookmark not defined.
IV.5 Les Mortier :	Error! Bookmark not defined.
IV.5.1 Composition des mortiers a base des granulats de brique : ...	Error! Bookmark not defined.
IV.5.2 Masse volumique de mortiers :	Error! Bookmark not defined.
IV.5.3 Masse des éprouvettes :	Error! Bookmark not defined.
IV.6 Evolution des résistances mécaniques en traction par flexion pour le mortier :	Error! Bookmark not defined.
IV.7 Evolution des résistances mécaniques en compression pour le mortier :	Error! Bookmark not defined.
IV.8 Conclusion :	Error! Bookmark not defined.
Conclusion Générale	Error! Bookmark not defined.

Chapitre I : Généralités sur les mortiers

Figure I.1 : Mélange de mortier.....	04
Figure I.2 : Le ciment.....	07
Figure I.3 : principe de fabrication de ciment.....	08
Figure I.4 : Echantillon de sable.....	16
Figure I.5 : Echantillon de Sable roulé (naturel).....	17
Figure I.6 : Echantillon de Sable concassé (Artificiel).....	17
Figure I.7 : les joints de maçonnerie.....	20
Figure I.8 : les enduits.....	21
Figure I.9 : les chapes.....	22
Figure I.10 : Les scellements et les calages.....	22

Chapitre II : Déchets de briques

Figure II.1 : Quantification des déchets par types de chantier.....	25
Figure II.2 : Schéma de la fabrication des Briques.....	31
Figure II.3 : Gisement de la briqueterie de Djilali Bounama Tissemsilt.....	31
Figure II.4 : Argile préparé (Briqueterie Djilali Bounama Tissemsilt).....	32
Figure II.5 : Brique non cuite (Briqueterie Djilali Bounama Tissemsilt).....	33
Figure II.6 : Séchages des briques.....	34
Figure II.7 : Brique prêt d'être commercialisé.....	36
Figure II.8 : Briques pleines et perforées.....	37
Figure II.9 : Briques creuses comprimées par voie demi-humide.....	38

Chapitre III : identification des matériaux

Figure III.1 : Ciment CPJ II/B 32.5 (CHAMIL).....	43
Figure III.2 : Détermination de la masse volumique du ciment.....	46
Figure III.3 : Détermination de la masse spécifique du ciment.....	46
Figure III.4 : Appareil de Vicat.....	47
Figure III. 5 : Détermination du temps de prise.....	48
Figure III.6 : Les tamis d'analyse granulométrie du sable.....	51
Figure III.7 : Essais d'équivalent de sable.....	52

LISTE DES FIGURES

Figure III.8 : Machine d'agitation des sables (mouvement horizontale).....	53
Figure III.9 : L'éprouvette.....	55
Figure III. 10 : Essai de la masse volumique apparente.....	55
Figure III.11 : Déchets de brique.....	56
Figure III.12 : Machine Los Anglos.....	57
Figure III.13 : Essai d'analyse granulométrique déchets de brique.....	59
Figure III.14 : Essai déterminer la masse volumique apparente de déchets de briques....	59
Figure III.15 : Détermination de la masse volumique absolue de déchets de brique.....	60
Figure III.16 : Eau de gâchage (éprouvette gradué).....	61
Figure III.17 : Eprouvette prismatique (40 x 40 x 160).....	61
Figure III.18 : Préparation des moules (couche de huile).....	62
Figure III.19 : Formulation du mortier témoin.....	63
Figure III.20 : Différentes formulations en substituant le ciment par le déchet de brique.....	64
Figure III.21 : Le malaxeur.....	65
Figure III.22 : Table de chocs pour les éprouvettes.....	66
Figure III.23 : Préparation des éprouvettes prismatiques (40 x 40 x 160).....	66
Figure III.24 : Essais sur la masse volumique de mortier.....	67
Figure III.25 : Eprouvettes de mortier témoin conservé dans l'eau de robinet (pH=7)....	68
Figure III.26 : Conservation des éprouvettes des mortiers substitués avec différent pourcentages de déchets des briques dans l'eau.....	68
Figure III.27 : Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion.....	69
Figure III.28 : Eprouvette après essai de flexion.....	70
Figure III.29: Machine de l'essai d'écrasement de traction par flexion.....	70
Figure III.30 : Dispositif de compression.....	71
Figure III. 31 : Machine de traction par essai de flexion.....	71

Chapitre IV : Résultats et Interprétations

Figure IV.1 : la courbe granulométrique du sable.....	76
Figure IV.2 : la courbe granulométrique des déchets de briques.....	77
Figure IV.3 : Développement de la résistance à la traction par flexion des mortiers en fonction du temps.....	80
Figure IV.4 : Variation de la résistance en traction par flexion en fonction du taux de substitution a 7 jours.....	81
Figure IV.5 : Variation de la résistance en traction par flexion en fonction du taux de substitution a 7 jours.....	81
Figure IV.6 : Variation de la résistance en traction par flexion en fonction du taux de substitution a 7 jours.....	82
Figure IV.7 : Variation de la résistance en traction par flexion en fonction du taux de substitution a 7 jours.....	82
Figure IV.8 : Développement de la résistance à la compression des mortiers en fonction du temps.....	85
Figure IV.9 : Variation de la résistance en traction par flexion en fonction du taux de substitution a 7 jours.....	86
Figure IV.10 : Variation de la résistance en traction par flexion en fonction du taux de substitution a 14 jours.....	86
Figure IV.11 : Variation de la résistance en traction par flexion en fonction du taux de substitution a 21 jours.....	87
Figure IV.12 : Variation de la résistance en traction par flexion en fonction du taux de substitution a 28 jours.....	87

Chapitre I : Généralités sur les mortiers

Tableau I.1: Composition chimique et minéralogique du clinker.....	09
Tableau I.2 : Désignation des différents ciments en fonction de leur composition.....	11
Tableau I.3 : Exigences mécaniques définies en termes de valeur caractéristiques.....	12

Chapitre II : Déchets de briques

Tableau II.1: Composition chimique des déchets de briques.....	30
Tableau II.2: La classe et la masse volumique des briques courantes.....	37
Tableau II.3: Dimensions et résistances de briques.....	37

Chapitre III : Identification des matériaux

Tableau III.1 : Module et les diamètres dimensions nominales des tamis.....	50
Tableau III.2 : Les valeurs d'équivalent de sable indiquent la nature et qualité du sable..	53
Tableau III.3 : Pourcentage d'équivalent de sable.....	54
Tableau III.4 : Différentes formulations en substituant le sable normalisé par le déchet de brique.....	63

Chapitre VI : Résultats et interprétation

Tableau IV.1 : Caractéristiques techniques de ce ciment CHAMIL.....	73
Tableau IV.2 : Les caractéristiques physiques du ciment.....	74
Tableau IV.3 : Les caractéristiques physiques de sable.....	74
Tableau IV.4 : Analyse granulométrique du sable.....	75
Tableau IV.5 : Les caractéristiques physiques des déchets de briques.....	76
Tableau IV.6 : Analyse granulométrique des déchets de briques.....	77
Tableau IV.7: Composition des mélanges de mortier.....	78
Tableau IV.8 : La masse volumique de mortier.....	79
Tableau IV.9 : Résistances à la traction par flexion des différentes Compositions de Mortier.....	79
Tableau IV.10 : Résistances à la compression des différentes Compositions de mortier...	80

ABREVIATIONS

R_c : refus cumulé en (%) sous les tamis

h_1 : sable propre +élément fins (hauteur)

h_2 : sable propre seulement (hauteur)

ESv : équivalent de sable visuel

ESp : équivalent de sable au piston.

Mt : Mortier de référence formulé sans utilisation du déchet de brique.

Sb10% : Mortier formulé en substituant 10% de sable normalisé par le déchet de brique.

Sb20% : Mortier formulé en substituant 20% de sable normalisé par le déchet de brique.

Sb30% : Mortier formulé en substituant 30% de sable normalisé par le déchet de brique.

Sb35% : Mortier formulé en substituant 35% de sable normalisé par le déchet de brique.

R_{tj} : est la résistance en traction par flexion, en newtons par millimètre carré ou en MPa.

b : est le côté de la section carrée du prisme, en millimètres.

p : est la charge appliquée au milieu du prisme à la rupture, en newtons.

L : est la distance entre les appuis, en millimètres.

R_{cj} : Résistance à la compression en (MPa).

F_c : Charge de rupture en (N).

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

E/C : Rapport Eau / Ciment. ES: Equivalent de sable

M_f : Module de finesse

Epv : éprouvette mortier prismatique (4×4×16)

DBR : Déchets de briques

ρ_s : masse volumique absolu

ρ_a : masse volumique apparente

INTRODUCTION

GENERALE

Les mortiers et les bétons ont connu un essor important ces dernières années en Algérie dans de divers domaines à savoir: bâtiments, ouvrages d'arts, constructions spéciales, composés essentiellement à partir de liants hydrauliques, ce sont des systèmes rendus complexes par l'incorporation de nombreux adjuvants, sous-produits et déchets issus des industries de fabrication des matériaux de construction, dont les effets, bénéfiques et parfois antagonistes ne sont pas encore totalement compris.

Aujourd'hui, le respect de notre environnement et la sauvegarde des ressources naturelles obligent les autorités, planificateurs et entreprises à encourager sérieusement la valorisation de ses déchets et l'utilisation de matériaux recyclés, en particulier dans le bâtiment.

Dans ce contexte, les laboratoires de recherche sur les matériaux travaillent sur le développement de nouveaux composites cimentaires à base de ces déchets, dans le but économique (réduire le coût de réalisation), écologique (éliminer ces déchets de l'environnement) et technique (améliorer les propriétés mécaniques et physiques des mortiers ou des bétons). Parmi ces déchets, les déchets de briques réfractaires peuvent être broyés et utilisés comme ajouts pour la fabrication des mortiers et des bétons qui peuvent être exploités dans différent domaines.

L'étude décrite dans ce mémoire a pour objectif de faire le point sur la valorisation des déchets de briques réfractaires qui sont en abondance dans les briqueteries algériennes pour la confection des mortiers afin d'améliorer certaines propriétés physicomécaniques et thermiques.

Ceci nous a amené à étudier, dans un premier temps dans la partie bibliographie, les caractéristiques physiques et mécaniques des différents constituants utilisés pour l'élaboration des mortiers avec l'étude des déchets de briques, dans la seconde partie de ce mémoire nous avons formulé les deux types de mortier.

On a déterminé un programme expérimentale pour caractéristique à l'état frais tous les constituons (ρ_s , ρ_v , E_s ,) et le mortier à l'état durci (résistance à la compression et traction).

Les résultats de cette étude contribuent à l'amélioration du comportement mécanique des mortiers à basse de déchets de briques une augmentation de la résistance à

INTRODUCTION GENERALE

la compression et à la traction remarquable pour le mortier Sb30% par à port au mortier ordinaire témoin.

CHAPITRE I

GENERALITES

SUR

LES MORTIERS

I.1 Introduction :

Le mortier est le résultat d'un mélange de deux matériaux essentiels le sable et le ciment dont on incorpore l'eau pour hydrater le ciment. Aujourd'hui ce matériau est devenu de plus en plus complexes, il est associé à des multiples types d'adjuvant et des additions minérales comme le filler calcaire, la fumée de silice, les cendre et d'autres etc. ;

Les mortiers d'enduit, de pose pour carrelages et les mortiers de réparation sont les applications les plus courantes et importantes du mortier. Ils sont mis en œuvre sous forme de couches d'épaisseur de l'ordre d'un centimètre, leur durabilité est fortement liée aux propriétés des matériaux qui le composent, aux dosages et aux supports qu'ils recouvrent.

Les mortiers comme les bétons sont sujets aux différents effets, thermiques chimiques et mécaniques qui sont liés à l'environnement et qui influent sur la stabilité et la durée de vie de ce matériau. Donc leur choix et dosage sont fonction de l'ouvrage à réaliser et de son environnement.

Donc, un bon mortier est celui qui s'adapte à cette agression ou attaque extérieures pour servir un rôle dans la structure.



Figure I.1 : Mélange de mortier

I.2 Définition :

Le mortier est l'un des matériaux de construction que l'on utilise pour solidariser les éléments entre eux, assurer la stabilité de l'ouvrage, combler les interstices entre les blocs de construction. En général le mortier est le résultat d'un mélange de sable, d'un liant (ciment ou chaux) et d'eau dans des proportions données, différant selon les réalisations et d'adjuvant. Dans ce chapitre, nous présentèrent les différents types ainsi que les caractéristiques principales telles que l'ouvrabilité, la prise, le retrait. [1]

I.3 Différents types des mortiers :

Les mortiers se partagent en différents types : [3]

I.3.1 Les mortiers de ciment :

Les mortiers de ciment, très résistants, prennent et durcissent rapidement. De plus un dosage en ciment suffisant les rend pratiquement imperméables. Les dosages courants sont de l'ordre de 300 à 400 kg de ciment pour 1m³ de sable.

I.3.2 Les mortiers de chaux :

Les mortiers de chaux sont gras et onctueux. Ils durcissent plus lentement que les mortiers de ciment, surtout lorsque la chaux est calcique.

I.3.3 Les mortiers bâtards :

Le mélange de ciment et de chaux permet d'obtenir conjointement les qualités de ces deux liants. Généralement, on utilise la chaux et le ciment par parties égales; mais on mettra une quantité plus ou moins grande l'un ou de l'autre suivant l'usage et la qualité recherchée.

I.3.4 Mortier réfractaire :

Il est fabriqué avec du ciment fondu, qui résiste à des températures élevées. Il est utilisé pour la construction des cheminées et barbecues.

I.3.5 Mortier rapide :

Il est fabriqué avec du ciment prompt, il est rapide et résistant pour les scellements.

I.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 mortier, il suffit de mettre la quantité d'eau nécessaire et malaxer pour

ensuite les mettre en œuvre. Les fabricants de mortiers industriels proposent une gamme complète de produits répondant à tous les besoins:

- Mortiers pour enduits de couleur et d'aspect varié.
- Mortiers d'imperméabilisation.
- Mortier d'isolation thermique.
- Mortier de jointoiement.
- Mortier de ragréage.
- Mortier de scellement, mortier pour chapes.
- Mortier-colle pour carrelages, sur fond de plâtre ou de ciment.
- Mortier de réparation.

I.4 Les Constituants des mortiers :

Classiquement, un mortier est un simple mélange de liant (chaux ou ciment), de sable et d'eau. Néanmoins, de nos jours, l'emploi d'adjuvants et de différentes additions minérales est obligatoire pour atteindre des propriétés souvent antagonistes et ainsi obtenir un comportement adéquat en fonction de l'application désirée et des performances souhaitées.

I.4.1 Le Liant :

On utilise généralement des liants hydrauliques qui peuvent être le ciment, cette dernière est une matière pulvérulente à base de silicate et d'aluminate, et de la chaux obtenue par la cuisson [13].

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.

I.4.2 Le ciment:

Les Romains furent sans doute les premiers à fabriquer des liants hydrauliques susceptibles de durcir sous l'eau. Pour cela, ils mélangeaient de la chaux et des cendres volcaniques de la région de Pouzzoles. C'est de là qu'est venu le terme bien connu de « pouzzolanique », qui se dit d'un matériau capable, en présence d'eau, de fixer la chaux. En

revanche, cette propriété d'hydraulicité du mélange ainsi constitué est restée totalement inexploquée jusqu'aux travaux de Louis Vicat qui élabore, en 1817, la théorie de l'hydraulicité et fait connaître le résultat de ses recherches. Il donne des indications précises sur les proportions de calcaire et de silice nécessaires pour constituer le mélange qui, après cuisson à la température convenable et broyage, sera un véritable liant hydraulique fabriqué industriellement : le ciment artificiel. L'industrie du ciment était née. Quelques années plus tard, en 1824 [2], l'Écossais Aspdin donnait le nom de Portland au ciment qu'il fabriquait et qui égalait les performances de la pierre de cette région.

Donc : le ciment est un liant hydraulique qui se représente sous forme de poudre minérale fine, son hydratation avec l'eau forme une pâte faisant prise et dont le durcissement est progressif. Grâce à ses caractéristiques ; ce composant permet la transformation d'un mélange sans cohésion en un corps solide [3].

Les principaux constituants du ciment portland sont :

- Les silicates bis calciques.
- Le silicate tricalcique.
- L'aluminate tricalcique.
- Le Ferro Aluminate tetracalcique.



Figure I.2 : Le ciment

I.4.2.1 Principe de fabrication du ciment :

Le principe de la fabrication du ciment est :

Calcaire et argiles sont extraits des carrières, puis concassés, homogénéisés, portés à haute température (1450°) dans un four.

Le produit obtenu après refroidissement rapide est : le clinker [4].

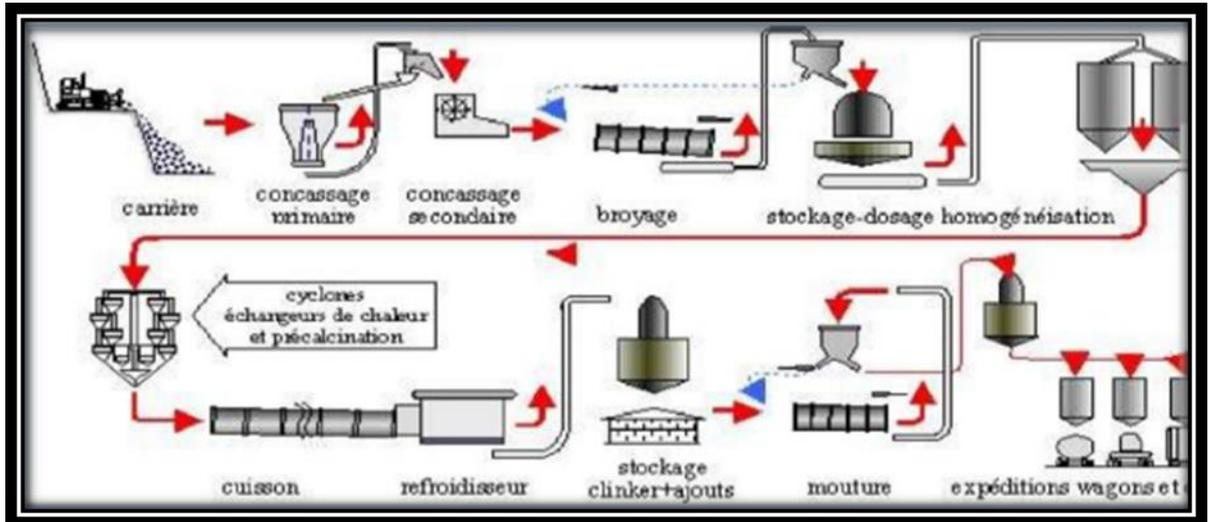


Figure I.3 : Principe de fabrication de ciment [4]

I.4.2.2 Les constituants du ciment :

a) Le clinker :

C'est un produit obtenu par cuisson jusqu'à fusion partielle (clinkerisation) du mélange calcaire + argile, dosé et homogénéisé et comprenant principalement de la chaux (CaO) de la silice (SiO₂) et de l'alumine (Al₂O₃).

Le mélange est en général constitué à l'aide de produits naturels de carrière (calcaire, argile, marne...). C'est le clinker qui, par broyage, en présence d'un peu de sulfate de chaux (gypse) jouant le rôle de régulateur, donne des « portland » et confère aux ciments de ce groupe leur propriétés caractéristique. [5]

Le clinker contient un certain nombre de constituants dont la teneur varie suivant la catégorie de ciment considérée et dont l'influence est plus ou moins grande sur les propriétés de ces ciments. [6]

Les quatre principaux constituants du clinker sont:

- Le silicate tricalcique : C3S
- Le silicate bicalcique : C2S
- L'aluminate tricalcique : C3A

➤ L'alumino-ferrite tétracalcique : C₄AF [6]

Les compositions chimiques et minéralogiques du clinker sont comprises dans les limites données par Le tableau (I.1) ci –dessous :

Tableau I.1 : Composition chimique et minéralogique du clinker [4]

Composants	Teneurs limites (%)	Teneurs moyenne(%)
Minéralogiques		
C ₃ S	40-70	60
C ₂ S	00-30	15
C ₃ A	02-15	08
C ₄ AF	00-15	08
Oxydes	-	-
CaO	60-69	65
SiO ₂	18-24	21
Al ₂ O ₃	04-08	06
Fe ₂ O ₃	01-08	03
MgO	< 05	02
K ₂ O, Na ₂ O ₃	< 02	01
SO ₃	< 03	01

b) Le gypse :

L'addition de gypse au clinker a pour but de régulariser la prise du ciment, notamment de ceux qui contiennent des proportions importantes d'aluminate tricalcique. Grâce à ce gypse, la prise du ciment, c'est-à-dire le début de son durcissement, s'effectue au plus tôt une demi-heure après le début de l'hydratation. Sans gypse, la prise serait irrégulière et pourrait intervenir trop rapidement. [4]

c) Les ajouts:

➤ Laitier granulé de haut fourneau :

Le laitier granulé de haut-fourneau est obtenu par refroidissement rapide de la scorie fondue provenant de la fusion du minerai de fer dans un haut fourneau. C'est donc un coproduit de la fabrication de la fonte. Il doit présenter des propriétés hydrauliques latentes (c'est-à-dire qui se manifestent lorsqu'il a subi une activation) pour convenir à son emploi comme constituant du ciment. Il est composé principalement d'oxydes de calcium, de silice et d'alumine. [8]

➤ **Cendres volantes :**

Ce sont des produits pulvérulents de grande finesse résultant de la combustion, en central thermique, de combustibles minéraux solides (houille, lignite ...) elles rentrent dans la composition de la certains ciments en proportion variable (5 à 20%); on les ajoute au moment du broyage du clinker. [5]

➤ **Pouzzolanes naturelles ou naturelles calcinées:**

Les pouzzolanes naturelles sont des produits essentiellement composés de silice, d'alumine et d'oxyde de fer présentant, soit naturellement (lorsqu'elles sont d'origine volcanique), soit après activation thermique, des propriétés pouzzolanique. Les pouzzolanes doivent leur nom aux cendres volcaniques de la région de Pouzzoles, en Italie, qui étaient utilisées par les Romains pour la confection de leur liant hydraulique. Les pouzzolanes n'ont pas de propriétés hydrauliques intrinsèques mais, en présence de la chaux libérée par le clinker au cours de son hydratation, elles forment elles aussi des hydrates stables, semblables à ceux qui sont formés à la suite de l'hydratation du clinker. [8]

➤ **Fillers :**

Produit obtenus par broyage fin ou par pulvérisation de certaines roches (calcaire, basalte, laitier , cendres volantes...) naturelles ou non ,agissant principalement, grâce à une granularité appropriée , par leurs propriétés physiques sur certaines qualités du ciment (accroissement de maniabilité , diminution de perméabilité et de capillarité, réduction de la fissurabilité ...) les fillers sont inertes s'ils n'ont aucune action chimique sur les ciments en présence d'eau ;ils sont actifs s'ils ont ,même partiellement , des propriétés hydrauliques ou pouzzolanique en présence de ciment et d'eau. [5]

I.4.2.3 Classification de ciment :

a) Classification de ciment en fonction de leur composante :

Les ciments sont classés en fonction de leur composition en cinq types principaux définis par la norme EN 197-1 : [10]

- CEM I: Ciment portland,
- CEM II: Ciment portland composé,
- CEM III: Ciment de haut fourneau,
- CEM IV: Ciment pouzzolaniques,
- CEM V: Ciment au laitier et aux cendres.

Les proportions (en masse) des différents constituants sont indiquées dans le tableau. Les constituants marqués d'une étoile (*) sont considérés comme constituants secondaires pour le type de ciment concerné ; leur total ne doit pas dépasser 5%.

Tableau I.2 : Désignation des différents ciments en fonction de leur composition [10]

	Ciment Port-Land	Ciment Portland Compose		Ciment De Haut-fourneau			Ciment pouzzolanique		Ciment Compose	
	CEM I	CEM II/A	CEM II/B	CEM III/A	CEM III/B	CEM III/C	CEM IV/A	CEM IV/B	CEM V/A	CEM V/B
Clinker (K)	≥95%	≥80% ≤94%	≥65% ≤79%	≥35% ≤64%	≥20% ≤34%	≥5% ≤19%	≥65% ≤89%	≥45% ≤64%	≥40% ≤64%	≥20% ≤38%
Laitier (S)	*	6%≤ Total	6%≤ Total	≥36% ≤65%	≥66% ≤80%	≥81% ≤95%	*	*	≥18% ≤30%	≥31% ≤50%
Pouzzolanes (P ou Q)	*	≤20%	≤35%	*	*	*	11%≤ Total ≤35% (fumée ≤10%)	36%≤ Total ≤55% (fumée ≤10%)	18%≤ Total ≤30%	31%≤ Total ≤50%
Cendres Siliceuses(V)	*	(Fumée de Silice ≤10%)	(Fumée de Silice ≤10%)	*	*	*			*	*
Fumée de Silice(D)	*									
Cendres Calciques(W)	*									
Schistes (T)	*									
Calcaires (L ou LL)	*									
Fillers	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

b) Classification des ciments suivant les résistances à la compression:

La norme européenne NF EN 197-1, classe de ciment courant d'après leur résistance à la compression (résistance normale) déterminée conformément à la norme EN 196-1, mesurée à 28 jours en six classe de résistance selon le tableau (I.3). [11]

Tableau I.3 : Exigences mécaniques définies en termes de valeur caractéristiques [11]

Classe de résistance	Résistance à la compression (MPa)			
	Résistance à court terme		Résistance courante	
	2 jours	7 jours	28 jours	
32,5 N	—	$\geq 16,0$	$\geq 32,5$	$\leq 52,5$
32,5 R	$\geq 10,0$	—		
42,5 N	$\geq 10,0$	—	$\geq 42,5$	$\leq 62,5$
42,5 R	$\geq 20,0$	—		
52,5 N	$\geq 20,0$	—	$\geq 52,5$	—
52,5 R	$\geq 30,0$	—		

I.4.2.4 Caractéristique du ciment:**a) Prise et durcissement :**

Lorsqu'on réalise une gâchée de pâte de ciment, de mortier ou de béton, on constate après un certain temps un raidissement du produit : c'est le début de prise.

Ce raidissement s'accroît jusqu'à ce que le produit obtienne une résistance appréciable en fin de prise. Les réactions qui se passent dès le début du gâchage et qui se poursuivent dans le temps sont complexes, il se produit une micro-cristallisation, la multiplication de ces cristaux dans le temps explique l'augmentation de résistance mécanique.

Les temps de début de prise peuvent varier de quelque minute (ciment prompt) à quelque heure (CPA).

Comme le phénomène de prise, le durcissement est sensible à la température.

Le phénomène de prise du ciment est lié à de nombreux paramètres tel que :

- La nature du ciment
- La finesse de mouture du ciment, plus son broyage a été poussé, plus le temps de prise n'est court.
- La température ; à zéro degré la prise est stoppée, plus la température est élevée plus la prise est rapide.

- La présence de matière organique dans l'eau ou dans l'un des autres constituants du béton qui ralentit la prise.
- L'excès d'eau de gâchage qui a, entre autres inconvénients, une action retardatrice sur la prise. Pratiquement tous les ciments ont des temps de prise de l'ordre de 2h30 à 3h. [12]

b) Finesse du ciment (finesse de Blaine) :

Elle est caractérisé par la surface spécifique des grains de ciment, exprimé en (cm²/g). dans les cas courants, elle est de l'ordre de 3000 à 3500cm²/g.

Plus la finesse de mouture est grande, plus la vitesse des réactions d'hydratation est élevée et plus ces résistances mécaniques à un âge jeune sont grandes, par contre plus le ciment est sensible à l'éventuellement et plus le retrait est important. En outre, la finesse de mouture influence la plasticité et la cohésion de la pâte de ciment à l'état frais, ainsi que son pouvoir de rétention d'eau et la ressuée. [13]

c) Le retrait :

La pâte de ciment se rétracte dans l'air sec (alors qu'au contraire elle gonfle dans l'eau), ce phénomène se poursuivant dans le temps et ceci pendant des durées d'autant plus longues que les pièces sont massives, c'est le retrait qui est cause des fissures que l'on observe dans des pièces en béton et mortier.

L'importance du retrait hydraulique, en dehors du facteur de temps, est en fonction de nombreux paramètres parmi lesquels :

- la nature du ciment
- le dosage en eau
- la propriété des sables
- la forme et la dimension du granulats. [13]

d) L'hydratation :

Les constituants du ciment Portland (C3S, C2S, ...) sont hydrauliques, c'est-à-dire qu'ils donnent en présence d'eau des hydrates qui précipitent et s'organisent en une structure mécaniquement résistante.

On appelle hydratation du ciment l'ensemble des réactions chimiques qui se produisent entre le ciment et l'eau.

Ces réactions commencent dès la mise en contact de ces deux phases.

Quelques heures après le gâchage, le matériau fait prise : il passe en quelques instants de l'état de suspension à celui de solide.

L'hydratation se poursuit longtemps après la prise, ce qui constitue le durcissement: l'évolution des caractéristiques physiques et mécaniques, très rapide dans les heures qui suivent la prise, continue pendant plusieurs mois, mais de plus en plus lentement. [6]

e) Eau dans la pâte de ciment durci :

L'eau se représente sous diverse forme dans la pâte de ciment durci. On distingue classiquement trois types d'eau :

L'eau libre : fortement ionisée dès les premières instants .elle se trouve dans les pores capillaires en particulier les macropores. Echappant aux forces superficielles des particules solides, elle migre la première lors du ressuage et de la dessiccation.

L'eau liée : c'est l'eau qui se combine par réaction d'hydratation avec les grains de ciment et qui entre dans la composition des hydrates.

L'eau adsorbée : c'est l'eau fixée à la surface du solide, cette fixation peut être physique ou chimique selon l'énergie des forces de liaison. L'adsorption physique est due aux forces d'énergie faible. Elle est réversible et peu superposer une ou plusieurs couches de la surface solide, dans le cas de l'adsorption chimique, il y a un transfert ou une mise en commun d'électrons (chimie-sorption), la molécule adsorbé en des sites privilégiés est dans un état différent de son état libre. Les énergies mises en jeu peuvent être importantes et plus durables dans ce cas. En fin, l'eau absorbée chimiquement est considérée comme une eau liée. [14]

I.4.2.5 Les résistances mécaniques :

a) La résistance à la compression :

Les normes AFNOR actuellement en vigueur prévoient pour chaque produit une ou plusieurs classe de résistance à la compression définie, pour un liant donné, par la résistance minimale d'éprouvettes en mortier normal atteinte au bout de 2 ou 7 jours et 28 jours.

La classe est désignée par la résistance moyenne à 28 jours exprimée en mégapascals. C'est en général ce critère, qui, avec la résistance chimique (à l'action d'eaux nocives, d'atmosphères corrosives, etc.), sera retenu pour choisir le ciment à utiliser dans un ouvrage ou élément d'ouvrage déterminé en ce qui concerne le comportement des ouvrages à long terme. [15]

b) La résistance à la traction :

La résistance à la traction est un critère intéressant de la qualité d'un ciment, et nous recommandons vivement de faire des essais de traction par flexion. La résistance à la

traction est systématiquement constatée au cours des essais mécaniques, mais ne figure au procès-verbal que sur demande de l'utilisateur et ce critère a été totalement supprimé dans les nouvelles normes. [15]

I.4.2.6 Domaine d'utilisation de ciment :

- Stabilisation des sols.
- Maçonnerie.
- Travaux en grande masse comme les barrages.
- Produits préfabriqués.
- Béton routier.

I.4.3 Le sable :

On appelle 'sables' les granulats de petites dimension issues de désagrégation des roches, les sables sont chimiquement inertes. Le sable est l'élément qui assure au béton et au mortier, selon ses qualité une influence prépondérante : il participe à la résistance, il donne la cohésion au mélange.

C'est une matière minérale siliceuse ou calcaire qui se présente dans le sol sous la forme de grains ou de poudre, suivant qu'il s'agit de sable grossier ou de sable fin. Les sables proviennent de la désagrégation des roches qui constituent l'écorce terrestre; suivant leur composition, ils sont blancs, jaunes, gris ou rougeâtres. On peut encore classer les sables d'après leur origine et distinguer les sables de carrière, les sables de mer et les sables de rivière.

Le terrain dans lequel le sable grossier domine, manque d'homogénéité, sa trop grande perméabilité ne lui permet pas de retenir les engrais solubles, qui sont entraînés par les eaux avant d'avoir produit leur effet, amenant, en outre, l'assèchement rapide du sol. Des amendements sont nécessaires pour corriger les défauts des sols sableux; l'apport de marne argileuse donne de la cohésion aux terrains qui en manquent, mais le fumier de ferme, en augmentant l'humus, est dans tous les cas le meilleur des traitements: il apporte au sable grossier l'agglomérant dont il a besoin et au sable fin l'allègement et l'aération qui lui font défaut. [16]



Figure I.4 : Echantillon de sable

I.4.3.1 Origines de sable :

➤ Sable d'origine naturelle:

Le sable est une roche sédimentaire meuble, constituée principalement de quartz, provenant de la désagrégation des roches sous l'action de divers agents d'érosion et de l'altération des roches riches en quartz (granites, gneiss) sous l'action de processus physiques (vent, eaux courantes) ou chimiques (action dissolvante de l'eau). Les grains de sable qui se forment sont généralement gros et anguleux, difficilement transportables par le vent et les cours d'eau. Les plus gros grains de sable se retrouvent ainsi le long des cours d'eau, aux bords des mers, ou dans les régions désertiques. En milieu fluvial, les grains s'usent peu et restent donc gros et anguleux. En milieu continental, l'usure des grains de sable par le vent et l'eau entraîne une modification de leur forme (ou morpho-scopie) au cours des temps géologiques. Les grains de sable usés deviennent émoussés et luisants (milieu littoral), ou ronds et mats (milieu éolien). En s'arrondissant, les grains deviennent plus petits. Les sables peuvent également se consolider et se cimenter ultérieurement pour donner naissance à des grès (grès quartzeux, grès calcaires). Ce type de sables est principalement constitué de quartz (silice), avec de faibles proportions de mica, de feldspath et de magnétite. La couleur du sable est d'autant plus claire que la teneur en silice est élevée. Les sables sont toujours définis en fonction des constituants (masses orbitaires), on parle ainsi de sable quartzeux, feldspathique, ferrugineux, micacé, calcaire, ou encore de sable coquillier. Toutefois, dans le langage courant, le sable est généralement associé au sable quartzeux.



Figure I.5 : Echantillon de Sable roulé (naturel)

➤ **Sable d'origine artificielle :**

Provient de concassage des roches naturelles comme le calcaire, ou artificielle (pouzzolane), dit aussi sable concassé, caractérisées par une meilleure adhérence agrégat/liant.



Figure I.6 : Echantillon de Sable concassé (Artificiel)

I.4.3.2 Granulométrie :

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

- Extra-fins: jusqu'à 0,08 mm (en tamis).
- Fins: jusqu'à 1,6 mm.
- Moyens: jusqu'à 3,15 mm.
- Gros: jusqu'à 5 mm.

I.4.3.3 Rôle de sable dans le mortier :

L'introduction des sables permet de diminuer le retrait du liant (ossature mortier) en augmentant les résistances mécaniques, ajoutant de ça, sa disponibilité et son aspect esthétiques (couleur). 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 et même le prix. 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.

I.4.3.4 Exigences sur le sable d'usage général :

Le sable doit être siliceux, silico-calcaire ou même calcaire à condition que les grains ne soient pas friables. Il doit être propre, c'est-à-dire dépourvu d'impuretés susceptibles de compromettre la qualité du mortier en œuvre (argile, vase, terre végétale, plâtre, sels minéraux). Le degré de propreté du sable est mesuré par l'essai d'équivalent de sable.

L'indice fourni par cet essai (ES_v) doit être inférieur à 75%. Il est préférable d'utiliser des Sables roulés de rivière. Les sables de carrière conviennent s'ils ne renferment pas d'impuretés nocives. Les sables de mer doivent être lavés (sinon ils sèchent mal et peuvent donner lieu à des efflorescences en raison des sels qu'ils contiennent). La granulométrie des sables doit être limitée à 3mm. En général, les dosages du mortier sont exprimés en poids de liant par m^3 de sable sec. Or, le plus souvent, sur le chantier, le sable renferme un certain pourcentage d'eau (pouvant varier de 0% à 20 %) et il suffit de très peu d'eau pour que le poids du m^3 de sable soit modifié, c'est le phénomène bien connu du foisonnement du sable.

I.4.4 L'eau:

On entend par « eau efficace » la quantité d'eau contenue dans le mortier frais, qui est prise en compte lors du calcul du rapport e/c. L'eau efficace comprend:

- L'eau de gâchage
- L'humidité superficielle des granulats
- L'eau apportée par les adjuvants et les additions, si leur quantité totale s'élève à plus de 3 l/m³. [9]

I.4.4.1 L'eau de gâchage :

L'eau de gâchage est la quantité totale d'eau que l'on utilise pour faire le béton ou mortier, il joue deux fonction principales : confère au mortier sa maniabilité à l'état frais (ses propriétés rhéologique) et assure l'hydratation des grains de ciment pour une prise et un durcissement. En sachant le rôle de l'eau dans le mortier on peut dire que toutes les eaux ne peuvent être utilisé pour gâcher du mortier parce qu'elles contiennent, dans certains cas, un excès d'impuretés qui détériorent les propriétés physiques et mécaniques (prise et consistance), les propriétés esthétiques (tache, efflorescences), la durabilité (corrosion des armatures, stabilité du mortier).

I.4.4.1.1 Exigences concernant l'eau de gâchage :

Pour convenir à la confection de mortier, les eaux ne doivent contenir ni composés risquant d'attaquer chimiquement le ciment, les granulats ou les armatures, ni particules en suspension dont la quantité pourrait modifier ses qualités originelles. La norme P 18-303 limite à cet effet le pourcentage de matières en suspension à 2 ou 5 g/l et la teneur en sels dissous à 15 ou 30 g/l suivant la nature du mortier et béton précontraint ou non armé, spécifications qui ne différencient pas les éléments nocifs même en très faible pourcentage de ceux qui en pourcentage éventuellement plus important ne le sont pas. Dans la catégorie des eaux susceptibles de convenir à la confection de béton et mortier, on trouve :

- Les eaux potables (qui bien évidemment conviennent):
- Les eaux de recyclage provenant du rinçage des bétonnières ou des camions malaxeurs à condition de vérifier leur aptitude dans le cas de changement de ciment ou d'adjuvant d'une gâchée à l'autre, sont utilisables. Lorsque ces eaux comportent des éléments fins provenant des matériaux entrant dans la confection des bétons (ciments. fines des sables...). Il est possible de les utiliser après passage dans des bassins de décantation:
- Les eaux de pluie et de ruissellement, les eaux pompées, tant qu'elles restent confirmes aux prescriptions de la norme conviennent également.

À côté, les catégories d'eaux ne devant pas être utilisées comprennent :

- Les eaux usées:
- Les eaux vannes ou contenant des détergents:
- Les eaux industrielles susceptibles de contenir des rejets organiques ou chimiques.

Ces différentes eaux doivent obligatoirement subir des analyses concluant à leur non-nocivité avant tout emploi. [18]

I.4.5 Importance du rapport eau /ciment :

Le dosage d'eau et du ciment sont deux facteurs importants. En effet ouvrabilité et la résistance sont grandement affectes par ces deux paramètres. Plus le rapport eau /ciment est grand, plus ouvrabilité sera grande. En effet, plus il ya d'eau, plus le béton aura tendance à remplir aisément les formes. Le rapport E/C "moyen" est normalement fixe à 0.45.c'est ce rapport qui est le plus souvent utilisé, car le béton obtenu dispose d'une assez bonne ouvrabilité, tout en ayant une bonne résistance [19].

I.5 Les différentes utilisations du mortier :

I.5.1 Les joints de maçonnerie :

La construction réalisée en éléments maçonnés (blocs de béton, pierres de taille, briques), nécessite leur assemblage avec un mortier qui doit présenter des caractéristiques mécaniques suffisantes pour assurer la transmission des charges et une compacité suffisante pour être étanche. On a généralement intérêt à utiliser des mortiers ne présentant pas un module d'élasticité trop élevé, de façon à pouvoir s'adapter aux variations dimensionnelles des éléments qu'il liaisonne sans fissurer. Les mortiers de joints constituent donc un maillon important de la maçonnerie, qui doit être bien étudié et bien mis en œuvre pour assurer la fonction qui lui est dévolue. C'est notamment le cas de la maçonnerie apparente. La norme XP P 10-202-1 « DTU 20.1. Ouvrage en maçonnerie de petits éléments. Parois et murs. » Fournit des indications sur les dosages préconisés pour les mortiers de jointoiment, ainsi que les préconisations pour leur mise en œuvre. [20]



Figure I.7 : Les joints de maçonnerie [20]

I.5.2 Les enduits :

Ce domaine d'application, qui constitue l'un des plus vastes débouchés des mortiers, fait l'objet du chapitre I.3. Rappelons simplement qu'à côté des enduits traditionnels en trois couches décrits dans la norme NF P 15-201 (DTU 26.1), se développent aujourd'hui les enduits monocouches épais, ainsi que les enduits isolants considérés encore comme non traditionnels. Ces produits font l'objet d'une procédure d'Avis technique par le CSTB. [20]



Figure I.8 : Les enduits

I.5.3 Les chapes :

Les chapes ont pour fonction d'assurer la mise à niveau du dallage et la régularité de sa surface. Les chapes peuvent constituer la finition: on y incorpore alors souvent des produits spécifiques. Elles peuvent aussi constituer le support d'un revêtement de sol. Les chapes doivent présenter une résistance suffisante pour assurer la transmission des charges au support, et parfois résister à l'abrasion ou au poinçonnement (sols industriels). Adhérente ou flottante, la chape peut également avoir une fonction thermique ou acoustique. [20]



Figure I.9 : Les chapes

I.5.4 Les scellements et les calages :

La multiplicité des problèmes de scellement et de calage a conduit les producteurs de mortiers industriels à mettre au point des produits spécifiques adaptés aux travaux à réaliser : scellements d'éléments de couverture, scellements d'éléments de second œuvre, scellements de mobiliers urbains, scellements de regards de visite, assemblage d'éléments préfabriqués.

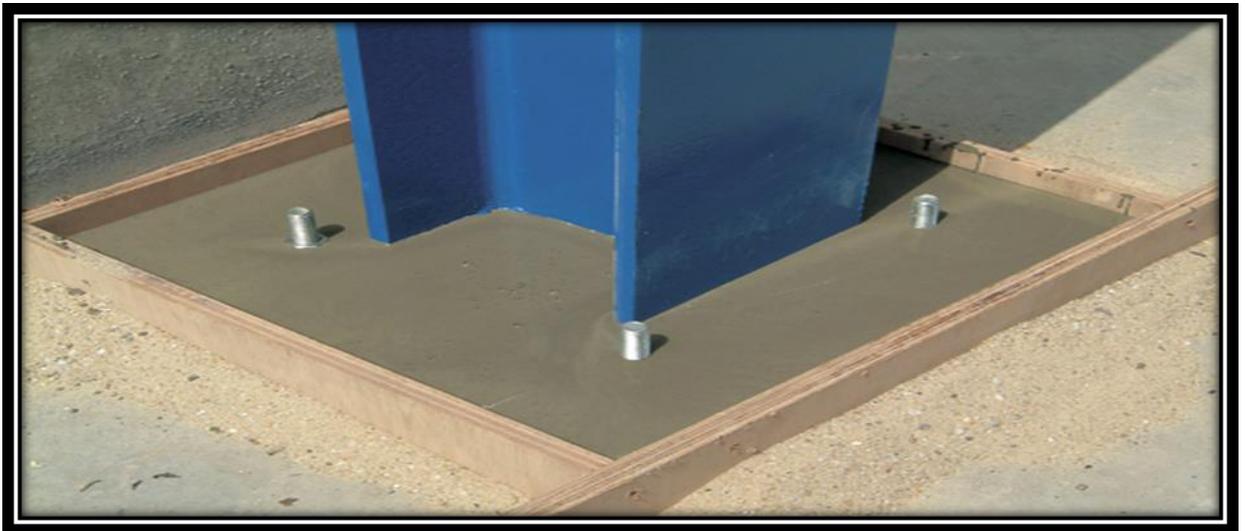


Figure I.10 : Les scellements et les calages

I.6 Préparation des mortiers :

Les mortiers (à l'exception toutefois des enduits contenant du plâtre) sont préparés mécaniquement, tous les constituants étant malaxés en une seule opération. On peut déroger à cette règle que lorsqu'il s'agit de travaux ne mettant en œuvre que peu de

matériaux, comme par exemple dans le cas des applications de carrelage. Quel que soit le mode de fabrication du mortier, il importe détenir le mortier préparé à l'abri du vent, de la pluie, du soleil et des grands froids, ne pas utiliser ni relâcher du mortier contenant du ciment ou du plâtre qui ont déjà subi un début de prise [21].

I.7 Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons montré l'intérêt, la composition et l'utilisation du mortier dans la construction ou bien dans le domaine de génie civil.

Le mortier est l'un des matériaux de construction le plus utilisée dans le monde grâce à leur différent domaine d'application.

L'étude de quelque propriété et quelque pathologie des mortiers tels que le retrait le ressuage et les fissures donnent une idée générale sur leur qualité et comment on peut modifier et améliorer leurs caractéristiques mécaniques, chimiques, et physiques.

CHAPITRE II

DECHETS

DE BRIQUES

II.1 Introduction :

L'augmentation des déchets de chantier provient presque exclusivement du bâtiment.

Elle est essentiellement imputable à la forte croissance des déchets minéraux [22] les quantités de déchets recyclés sont ainsi extrêmement faibles et ne concernent que les métaux, une partie très limitée du bois utilisé pour la fabrication de panneaux de particules, les briques et bétons de démolition (provenant surtout des démolitions d'ouvrage d'art et de génie civil et dans une moindre mesure de bâtiments de composition simple, tels que les hangars industriels). Ces derniers sont utilisés pour des remblaiements ou concassés pour élaborer des granulats recyclés avec une application en Travaux Publics (sous couches de fondation et de base des routes) [23].

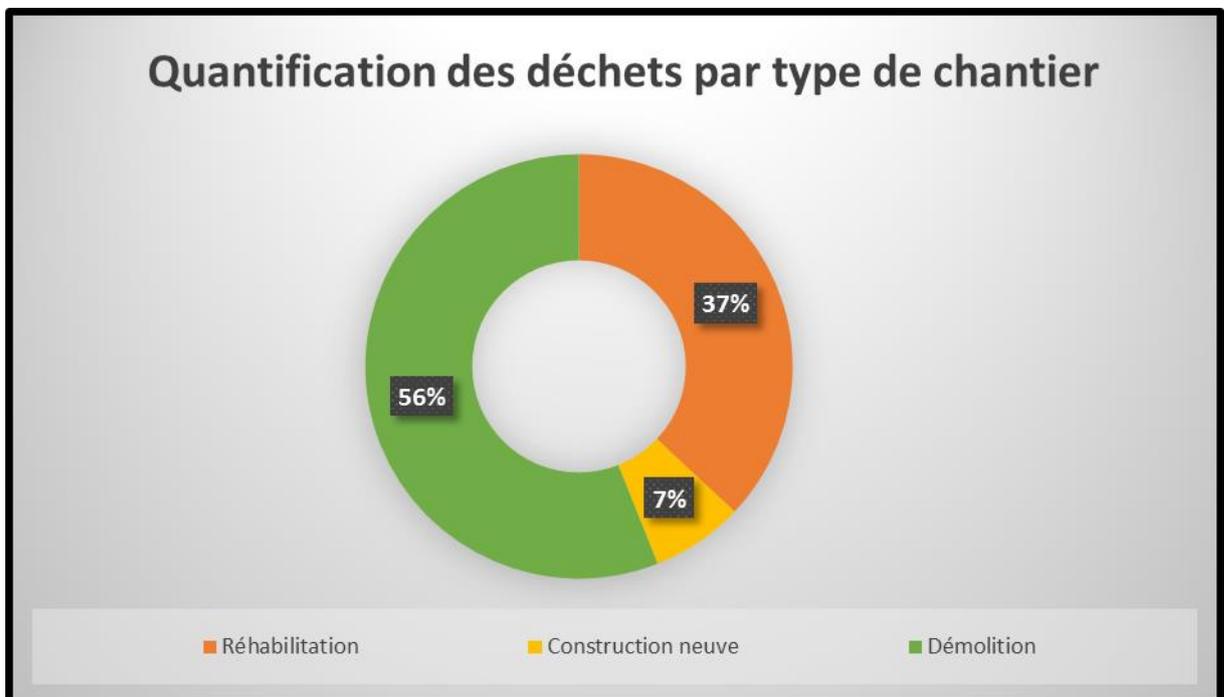


Figure II.1 : Quantification des déchets par types de chantier

II.2 Origine de la production de 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 déchets ;

Economiques : les produits en une durée de vie limitée ;

Ecologiques : les activités de la dépollution (eau, air) génèrent inévitablement d'autres déchets qui nécessiteront une gestion spécifique ;

Accidentelles : les inévitables dysfonctionnements des systèmes de production et de consommation sont eux aussi à l'origine de déchets.

II.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. Ainsi, du point de vue de sa composition chimique, " un déchet dangereux, n'est parfois qu'une molécule banale qui se trouve là où il ne faut pas, avec ce qu'il ne faut pas, et quand il ne faut pas " [LAMY ENVIRONNEMENT].

II.4 Différents types de déchets :

II.4.1 Déchets ultimes :

Tout déchet ménager et assimilé brut issu du ramassage parallèle à la collecte sélective, le refus de tri, le déchet industriel banal issu des ménages et des déchetteries ainsi que les boues de stations d'épuration.

II.4.2 Déchets inertes :

Déchet qui ne subit aucune modification physique, chimique ou biologique importante ; ne se décompose pas, ne brûle pas, et ne produit aucune réaction physique ou chimique, ne sont pas biodégradable et ne détériore pas d'autres matières avec lesquelles il entre en contact, d'une manière susceptible d'entraîner une pollution de l'environnement ou de nuire à la santé humaine.

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

Ce sont notamment les déchets suivants :

Les bétons, les tuiles et les céramiques, les briques, les déchets de verre, les terres, les enrobés bitumeux.

II.4.3 Déchets assimilés :

Les déchets ménagers et assimilés recouvrent les ordures ménagères (OM) qui proviennent des ménages et tous les déchets gérés comme tels par les collectivités locales (déchets des artisans ou commerçants)

II.4.4 Déchets verts :

Déchets végétaux des parcs et jardins (gazon, branchages...)

II.4.5 Déchets organiques :

Les termes suivants recouvrent la même notion : bio déchets ou déchets fermentescibles ou

FFOM (fraction fermentescible des ordures ménagères).

Il s'agit de :

- déchets végétaux des parcs et jardins (déchets verts)
- déchets organiques de la cuisine (restes de repas, épluchures, papiers essuie-tout, papier journal, fleurs coupées, marc de café, filtres à café, sachets de thé, coquilles d'œufs.
- boues

II.4.6 Déchets industriels banals (DIB) :

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

II.4.7 Déchets dangereux :**II.4.7.1 Déchets industriels spéciaux (DIS) :**

Ces déchets figurent en raison de leurs propriétés dangereuses, exemple : déchets contenant de l'arsenic, du plomb ; constitués de boues de peinture, d'hydrocarbures ; provenant de l'industrie pétrolière, etc....

II.4.7.2 Déchets ménagers spéciaux (DMS) :

Ce sont les déchets à risque contenus dans les déchets ménagers, tels que les aérosols, colles, détergents, détachants insecticides, peintures, piles, tubes néon, produits de nettoyage. Il peut s'agir de ce qu'on appelle également les DTQS : déchets toxiques en quantité dispersé.

II.5 Recyclage des déchets :

II.5.1 Historique :

Le recyclage existe depuis toujours dans la nature : les déchets des êtres vivants deviennent de la nourriture pour d'autres organismes. L'homme a pratiqué le recyclage dès l'âge du Bronze quand il récupérait des objets en métal pour les fondre et fabriquer de nouveaux objets. [24].

Pendant et après la seconde guerre mondiale, les gravats provenant des bâtiments détruits par les bombardements étaient employés en Grande Bretagne et en Allemagne, pour la reconstruction de bâtiments [25]. Les publications de cette époque soulignent notamment l'intérêt du réemploi des matériaux de démolition et citent les premiers résultats sur les granulats provenant du concassage de béton.

Cette période d'après-guerre est suivie d'une pose assez longue dans les études, jusqu'à la publication par Buck, d'un rapport de recherche en 1973 ; puis la présentation par le même auteur, d'une communication en 1976 sur l'étude des propriétés physiques des granulats de « béton recyclé » et la comparaison des résistances mécaniques des bétons neufs et recyclés.

Les résultats obtenus sont confirmés par Malhotra [26] et complétés par des observations aux microscopes optiques et électroniques à balayage sur les matrices de ciment.

Hydraté, Frondistou-Yannas et tomasawa [26] mesurent les modules d'élasticité et de retrait d'hydratation du béton recyclé. A partir de 1975, on procède aux Etats-Unis aux premières tentatives de béton armé. La faisabilité de ces opérations est confirmée en 1977 dans deux publications de Frondistou-Yannas tandis que Wilson évalue les «ressources potentielles de débris de démolition aux Etats-Unis et les seuils de rentabilité des opérations de recyclage » [26].

II.5.2 Définitions :

Récupérer un déchet, c'est le sortir de son circuit traditionnel de collecte et de Traitement. La récupération, qui suppose une collecte séparée ou un tri, se situe en amont de la valorisation.

Le recyclage est la réintroduction directe d'un déchet dans le cycle de production dont il est issu, en remplacement total ou partiel d'une matière première neuve.

Le réemploi est un nouvel emploi d'un déchet pour un usage analogue à celui de sa première utilisation. C'est, en quelque sorte, prolonger la durée de vie du produit avant qu'il ne devienne un déchet.

La réutilisation consiste à utiliser différent de son première emploi, ou à faire, à partir d'un déchet, un autre produit que celui qui lui a donné naissance.

La régénération consiste en un procédé physique ou chimique qui redonne à un déchet les caractéristiques permettant de l'utiliser en remplacement d'une matière première neuve.

La valorisation consiste dans « réemploi, le recyclage ou toute autre action visant à obtenir, à partir des déchets, des matériaux réutilisables ou de l'énergie » [22].

II.5.3 Technique de recyclage:

II.5.3.1 Procédés du 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.

II.5.3.2 La chaîne du recyclage :

a) 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 à l'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) Transformation :

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

c) Commercialisation et consommation :

Une fois transformés, les produits finis issues du recyclage sont utilisés pour la fabrication de produits neufs qui seront à leur tour proposés aux consommateurs et consommés.

Pour être en fin de vie, à nouveau jetés, récupérés et recyclés.

II.6 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 [27]. Par ailleurs des études entreprises par S.WILD [28] ont montré un caractère pouzzolanique de ces déchets, raison pour laquelle nous avons décidé de substitué une partie du sable par ce sous-produit. Une fois réceptionnées, les déchets ont fait l'objet d'un broyage, pour les transformer en poudre fine.

Leur composition minéralogique a été déterminée par fluorescence X sur poudre. Les résultats obtenus, présentés en Tableau II.1, mettent en évidence des pourcentages élevés en silice et en alumine.

Tableau II.1: Composition chimique des déchets de briques

Elément (%)	CaO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	P.A.F
	5,10	18,08	8,02	51,09	1,33	0,52	2,77	1,31	10,50

Qu'est-ce qu'une brique ?**II.6.1 Briques :****II.6.1.1 Introduction :**

Les briques sont les produits céramiques, dont les matières premières sont des argiles, avec ou sans additifs. La forme des briques est généralement parallélépipède rectangle. Elles sont couramment utilisées dans la construction des bâtiments et des travaux publics. Par rapport aux autres matériaux, c'est un des plus anciens matériaux de construction.

II.6.1.2 Processus de production :

En générale la fabrication des briques se compose des cinq opérations principales comme indiquées sur le schéma ci-dessous.

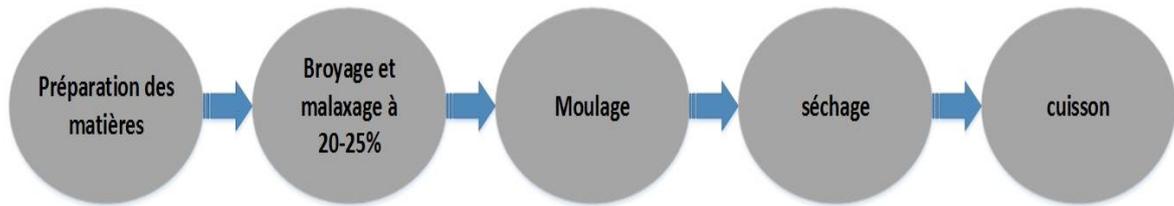


Figure II.2 : Schéma de la fabrication des Briques

a) Extraction :

La matière première naturelle de la brique de terre cuite est l'argile. Il faut entendre 'argile' au sens large et considérer également les terres limoneuses et schisteuses, matières premières de même composition minéralogique que l'argile.



Figure II.3 : Gisement de la briqueterie de Djilali Bounama Tissemsilt

L'argile est extraite dans des argilières situées en zone d'extraction. L'argile est omniprésente dans le sous-sol et ses propriétés diffèrent en fonction de l'origine géologique.

b) Préparation de l'argile :

La préparation comprend deux opérations principales :

Le broyage et le malaxage d'une part, le dosage et le mélange des matières premières d'autre part.



Figure II.4 : Argile préparé (Briqueterie Djilali Bounama Tissemsilt)

Le but est d'obtenir une masse argileuse bien homogène et plastique qui sera facilement transformée en produit fini.

c) Façonnage :

On distingue divers types de briques, en fonction de la manière dont elles sont mises en forme

➤ **Briques moulées :**

La méthode de moulage la plus ancienne est le façonnage à la main des briques. Le mouleur prend une certaine quantité d'argile, la jette dans un moule en bois préalablement sablé pour éviter que la pâte n'adhère aux parois, presse convenablement la terre pour remplir le moule, arase l'excédent et retourne l'appareil pour démouler la brique crue ou «verte» (brique non cuite).



Figure II.5 : Brique non cuite (Briqueterie Djilali Bounama Tissemsilt)

Pour faciliter cette opération, l'argile doit être relativement ductile (et humide par conséquent), évitant ainsi au mouleur de devoir exercer un effort trop important. Ceci a pour conséquence que la brique «moulée main» présente une surface irrégulière, caractérisée par des plissures.

➤ **Briques pressées :**

Les briques moulées à la presse forment une catégorie à part. On introduit dans les moules de l'argile relativement sèche que l'on comprime vigoureusement pour lui donner la cohésion voulue. Ces produits présentent une surface grenue et une forme géométrique bien marquée.

➤ **Briques étirées :**

Enfin, dans notre pays, les briques pour maçonnerie ordinaire sont presque exclusivement fabriquées par extrusion. Dans cette machine, la masse d'argile est extrudée sous forme d'une carotte continue à section rectangulaire. Ce «boudin» d'argile est alors coupé à intervalles réguliers. Chaque élément forme une brique qui présente quatre faces assez lisses suite au coulissement dans la filière, et deux faces de sectionnement plus grossières.

d) Séchage :

Avant d'être cuites, les briques crues doivent encore perdre une grande partie de leur teneur en eau – du moins en est-il ainsi pour la plupart des argiles.

Le séchage se poursuit jusqu'à ce que les briques ne contiennent plus qu'environ 2% d'eau. Le risque serait en effet de les voir se fendre ou éclater sous la dilatation de la vapeur dans la masse. D'autre part, la stabilité dimensionnelle du produit n'est obtenue qu'au terme du retrait consécutif à la dessiccation.



Figure II.6 : Séchages des briques

Le séchage s'opère dans des chambres ou des tunnels où il se poursuit de manière régulière et rapide (généralement de 2 à 4 jours). On utilise l'air chaud de la zone de refroidissement du four pour le séchage des briques. La température et le taux d'humidité sont contrôlés tout au long du processus de séchage, au moyen d'un système informatique réglé de façon très précise.

➤ **La terre cuite :**

Les matériaux de terre cuite sont utilisés depuis plusieurs siècles le bâtiment. Ils se sont adaptés à l'évolution de la construction et à ses impératifs tant dans le domaine traditionnel que dans celui dit industrialisé. Les caractéristiques des produits de terre cuite permettent à ceux-ci d'être employés dans toutes les parties de la construction avec efficacité [29].

Ce sont essentiellement les briques, les tuiles, les éléments pour planchers, les conduits de fumée, les carreaux rustiques, des éléments de décoration, etc.

Ils sont fabriqués par cuisson d'argiles communes à la température de 900°C à 1050°C pour obtenir enfin de produits généralement poreux et de différentes formes.

➤ **Propriétés mécaniques :**

Les propriétés mécaniques de la terre cuite varient avec sa composition initiale, et avec la température et la durée de cuisson qui fixent les microstructures finales et déterminent la répartition de différentes phases en présence.

Les terres cuites sont des matériaux hétérogènes et poreux, constitués de phases solides distinctes. Ces pores, qui constituent des discontinuités dans le matériau, sont la principale cause de leur fragilité. De plus, dans le cas des argiles calcaires, le départ du dioxyde de carbone dû à la décomposition du carbonate de calcium accroît lors de la cuisson la porosité du produit.

La loi de comportement de la terre cuite est de type élastique linéaire à rupture fragile. La résistance en compression peut varier entre 5 et 40 MPa dans le cas des briques pleines et entre 3 et 100 MPa dans le cas de produits creux. Les résistances en traction peuvent varier entre 5 et 12 MPa. Le module d'élasticité E croît avec la résistance à la compression ; il est plus élevé pour les schistes argileux que pour les argiles de surface. Il varie de 9 000 à 15 000 MPa dans le cas des briques pleines courantes et de 20 000 à 40 000 MPa environ dans le cas des produits creux. Ce module augmente avec la température de cuisson, plus fortement après 1050°C. Il peut être relié à la porosité (P) par la relation empirique suivante :

$$E = E_0(1 - 1,9P + 0,9P^2) \dots\dots\dots (1)$$

Où E_0 représente le module d'un matériau à porosité nulle.

Les seuls produits pour lesquels des performances mécaniques sont demandées dans les normes de référence sont les produits de maçonnerie (résistance en compression) et les entrevous pour planchers préfabriqués (rupture par poinçonnement-flexion, résistance en compression, module d'élasticité).

e) Cuisson :

C'est la dernière étape que doit subir la brique d'argile façonnée et séchée, avant de pouvoir devenir une brique de terre cuite à proprement parler. C'est là une phase d'une grande importance qui doit se dérouler très progressivement. On augmente graduellement la température jusqu'à l'obtention de la température de cuisson (comprise entre 850 et

1200°C, en fonction du type d'argile) ; on diminue ensuite progressivement la température jusqu'au refroidissement complet.



Figure II.7 : Brique prêt d'être commercialisé

f) Emballage :

Après la cuisson, les briques sont prêtes à être transportées et livrées sur chantier. Pour des raisons de facilité et de sécurité, elles sont préalablement empilées sur des palettes et emballées de façon à minimiser la quantité d'emballage utilisé.

II.6.1.3 Les types de briques :

Les briques peuvent se diviser en 3 groupes principaux [30] :

a) Brique ordinaire :

Une brique d'argile est une roche artificielle ayant la forme parallélépipédique rectangle de dimensions bien déterminées. Généralement, on fabrique les briques suivant deux procédés: procédé plastique (l'argile est humectée d'eau de 20 à 25%) et procédé demi-sec (l'argile est humectée d'eau de 8 à 12%). Après moulage et séchage, les briques sont cuites pour qu'elles deviennent assez dures. La cuisson est faite soit dans le four périodique soit dans le four continu. En général, les dimensions d'une brique ordinaire sont: 250x120x5mm. Selon la technologie de fabrication des briques traditionnelles, il est difficile d'obtenir des briques ayant des dimensions exactement précises, à cause du retrait à l'air et retrait de cuisson. Selon la norme, les tolérances sur les briques peuvent être calibrées de la manière suivante: $\pm 6\text{mm}$ sur la longueur; $\pm 4\text{mm}$ sur la largeur et $\pm 3\text{mm}$ sur l'épaisseur. On distingue la masse volumique des briques courantes en quatre groupes voir le tableau ci-dessous (II.8).

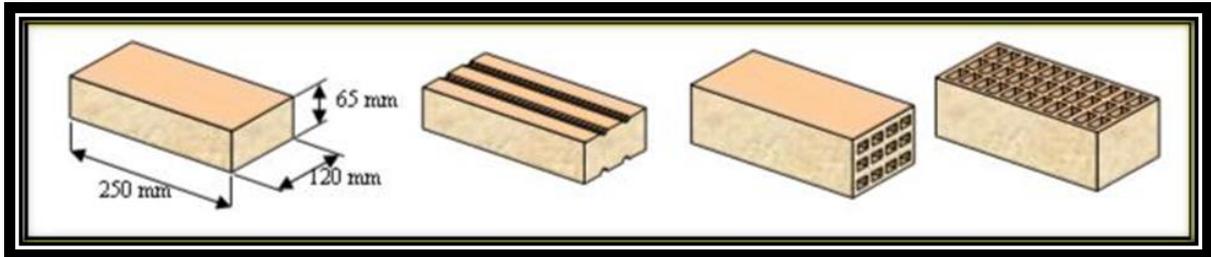


Figure II.8 : Briques pleines et perforées

Tableau II.2: La classe et la masse volumique des briques courantes

Classe	A	B	C	D
Masse volumique (Kg/m ³)	700 - 1000	1000 - 1300	1300 - 1450	Supérieur de 1450

La capacité d'absorption d'eau d'une brique ne doit pas être inférieure à 8%. Ainsi on peut résumer les dimensions et les résistances des briques dans le tableau ci-dessous:

Tableau II.3 : Dimensions et résistances de briques

Dimensions courantes (mm)				Résistances moyennes		
	Epaisseur	Largeur	Longueur	Catégorie	Résistance	
					MPa	Bar
Briques pleines ou perforées	40	105	220	I II III	20 30 40	200 300 400
	55	105	220			
	60	105	220			
	55	105	330			
Tolérances sur briques calibrées :				1 MPa = 10 bars 1bar = 10 newton/cm ²		
<ul style="list-style-type: none"> • 3% sur longueur et largeur • 3 mm sur hauteur 						

b) Briques Poreuses :

Les briques poreuses peuvent être fabriquées par la technologie traditionnelle en utilisant les argiles ordinaires, auxquelles on ajoute des additions fusibles (sciure de bois,

tourbe pulvérisée, charbon pulvérisé). L'emploi des briques poreuses permet de réduire les dépenses de transport et donc le prix des murs. Cependant la résistance d'une brique poreuse étant faible, ce type de briques ne peut pas être utilisé pour construire des murs supportant de fortes charges. Elles seront plutôt employées pour le remplissage des bâtiments à ossature métallique ou béton armé.

c) Briques d'argiles creuses à perforations :

Les briques creuses qui comportent au moins quatre conduits non débouchant sont fabriqués par voie demi-sèche. Ces briques doivent avoir les dimensions suivantes: 250x120x88mm ou bien 65mm. On fabrique les briques à 8 et 18 conduits dont les diamètres sont de 35 à 45mm et de 17 à 18mm. Les trous de la perforation sont faits soit verticalement dans la proportion de 60% de la section totale, soit horizontalement avec alvéoles parallèles au lit de pose dans la proportion de 40% de la section totale. On classe les briques creuses en quatre marques: 150, 125, 100 et 75.

La capacité d'absorption d'eau d'une brique creuse à la même valeur que pour la brique ordinaire donc >8%. La résistance à la flexion est de 20, 18, 16 et 14 kg/cm². Toutes les autres prescriptions techniques imposées aux briques creuses sont les mêmes que pour les briques ordinaires.

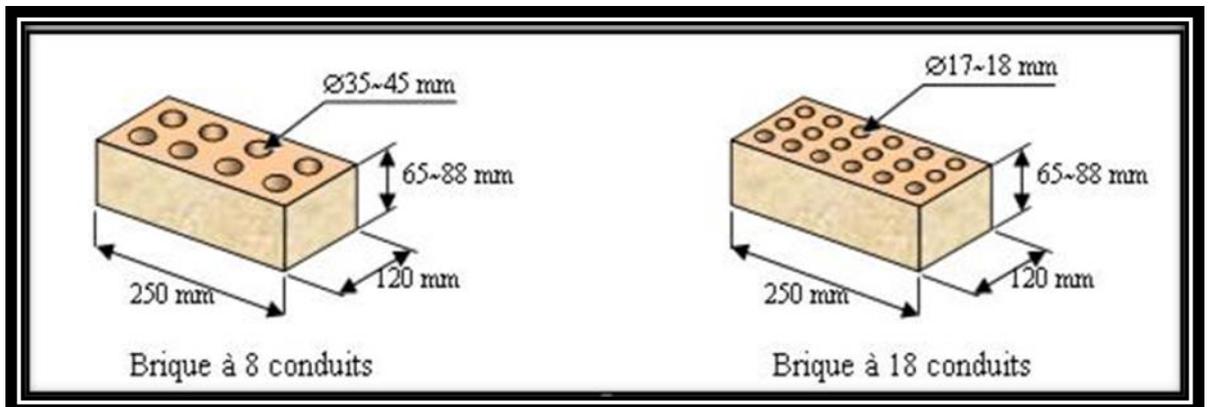


Figure II.9 : Briques creuses comprimées par voie demi-humide

Les briques pleines ou perforées servent à réaliser :

- Des parements extérieurs ou intérieurs décoratifs (appareillages en briques).
- Des murs simples ou doubles enduits ou non.

Les qualités requises:

- Résistance au gel (à 25 cycles de gel et dégel).
- Peu de dilatation à l'humidité (gonflement).
- Pas d'éclatements dus à l'expansion de grains de chaux.

- Peu d'efflorescences (sels) pouvant former des taches.
- Aspect suivant la destination du produit.
- Régularisation des coloris et des dimensions.

II.6.1.4 Domaine d'emploi :

Les briques pleines et les briques creuses sont essentiellement utilisées pour réaliser les murs, les cloisons, les colonnes en brique etc.

La qualité du mur dépend de la qualité de la mise en œuvre et des dispositions suivantes :

- Respecter le sens de la pose cloisons superposées alvéoles superposée,
- Ne pas utiliser de briques cassées ou percer la maçonnerie pour colmater avec du mortier,
- Utiliser du mortier batard de chaux et ciment 500 kg de liant par m³ de sable pour les joints,
- Utiliser les éléments spéciaux d'angle, tableau, linteau, chaînage, about de plancher.

II.6.1.5 Briques recyclées :

a) Matériaux de remplissage et de stabilisation dans les infrastructures :

➤ Routes Secondaires :

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.

➤ Routes principales :

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.

Bien que la maçonnerie broyée puisse être utilisée dans la construction des routes peu fréquentées, elle n'est pas adaptée pour les routes à grande circulation en raison du risque de déformation.

Ce matériau remplace les matériaux naturels tels que le sable et le gravier qui sont généralement utilisés en grandes quantités à cette fin. Dans certains cas, la maçonnerie broyée peut faire partie d'un mélange pouvant également contenir du béton et des agrégats naturels [31].

Dans les deux cas, le matériau doit être exempt de tout contaminant de la terre cuite pouvant être lixivié par l'eau et causer une pollution. Les rebuts de briques, de tuiles ou de maçonnerie démolie de manière sélective ne posent généralement aucun problème, sauf s'ils sont contaminés par des impuretés telles que la laine minérale et le béton.

Bien qu'il y ait consommation d'énergie pour la démolition et le transport du matériau récupéré jusqu'au lieu de réutilisation, l'utilisation de la céramique peut demander une énergie induite inférieure à celle consommée pour l'utilisation de matières premières « vierges ». En effet, l'utilisation de déchets de démolition dans la construction des routes secondaires peut même entraîner une réduction de la consommation d'énergie de l'équipement forestier et agricole.

b) Agrégats pour béton in situ et préfabriqué et mortiers :

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). [32]

La maçonnerie broyée utilisée à cet usage doit être exempte de contaminants pouvant être lixiviés par l'eau et causer une pollution des nappes phréatiques.

c) Agrégats pour briques silico-calcaires :

Les briques, tuiles et autres maçonneries en terre cuite broyée peuvent également être utilisées comme agrégat dans le béton coulé. Le matériau broyé remplace les autres matières premières telles que le sable et entraîne moins de perturbations dans le paysage.

La fabrication d'agrégats de maçonnerie broyée pour le béton implique le broyage, le tri et le nettoyage des déchets de démolition.

L'impact principal de ce processus sur l'environnement est la production de poussière pendant le broyage et le tamisage. Ce problème peut être réduit par pulvérisation d'eau et il est comparable aux problèmes liés à la fabrication d'agrégats naturels.

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.

II.7 Conclusion :

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. Le déchet est par définition « matière » et à ce titre la bio physicochimie, la mécanique et la thermique sont au premier chef sollicitées pour le traiter.

Cette matière n'est pas banale. Elle a une vie, elle a souvent muté au cours de son existence pour se retrouver dans les poubelles et les décharges. Avec une telle diversité moléculaire, qu'il est nécessaire de trouver les moyens pour en extraire les fractions valorisables ou pour atténuer les capacités de nuisances.

L'utilisation des divers déchets est fonction de leur rentabilité d'exploitation et de leurs propriétés. De nombreux types de déchets ne pourront peut-être pas être utilisés à une grande échelle étant donné la diversité de leurs caractéristiques physiques et chimiques.

Les déchets de briques donc, peuvent être transformés en granulats recyclés pour être utilisés, en remblais de diverses natures, en couches de forme sur les chantiers de travaux publics ou encore comme granulats pour le mortier.

Dans cette étude on s'intéresse aux déchets de brique et pour l'utiliser en tant que granulats pour le mortier.

CHAPITRE III

IDENTIFICATION DES MATÉRIAUX

III.1 Introduction :

Dans ce chapitre nous avons défini l'importance des essais appliqués sur le sable, le ciment, et le mortier dans toutes les étapes, pour connaître l'effet de l'ajout des déchets de briques sur les propriétés mécaniques mortiers confectionnés à base de ciment portland composé (C.P.J CEMII/B 32,5R).

Des essais physiques et mécaniques ont été effectués au sein des laboratoires suivants :

- Laboratoire L.T.P.O. Unité de TIARET
- Laboratoire de département de Génie Civil, Université IBN KHALDOUNE TIARET

III.2 Caractéristiques des matériaux :

La caractérisation des matériaux de construction nécessite la connaissance de la nature de ses composants .Par ailleurs, la détermination des dosages optimaux, ainsi que l'illustration des certains interprétation ne pourraient être possible que si les différents constituant sont bien caractérisés.

III.2.1 Le ciment :

Le ciment utilisée, est un ciment portland composé CPJ CEM II /B 32.5, commercialisé et fabriqué, par la cimenterie D'ACC (Algériens company ciment), conforme à la norme NA 442, il est livre dans des sacs de 50kg.

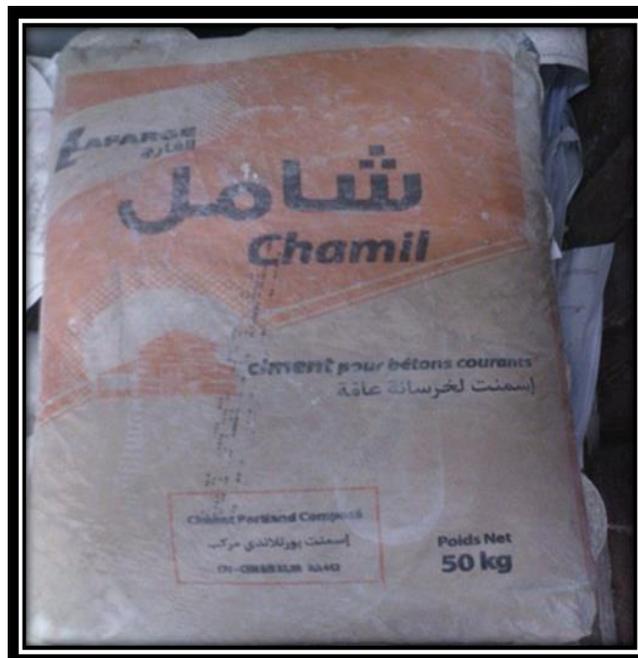


Figure III.1 : Ciment CPJ II/B 32.5 (CHAMIL)

III.2.2 Les essais sur les ciments :**III.2.2.1 Les caractéristiques physiques :****a) Détermination de la masse volumique apparente (EN 197-1) [33]:****➤ Objectif d'essai :**

Déterminer des caractéristiques physiques (masses volumiques) des ciments.

➤ Principe de l'essai :

La masse volumique apparente est mesurée par un entonnoir porté par trépied et menu d'une passoire et d'un opercule mobiles, placé au-dessus d'un récipient calibré.

➤ Equipement nécessaire :

- Un entonnoir monté sur trépied.
- Un récipient calibré ($V_{app} = 1$ litre).
- Une règle à araser.
- Une balance.

➤ Mode opératoire :

- Peser le moule de mesure ou bien le récipient (M_1).
- Placer l'entonnoir au-dessus du centre du récipient calibré.
- Fermer l'opercule et verser une petite quantité du ciment dans la passoire.
- Ouvre l'opercule et faire descendre le ciment dans le récipient à l'aide de la spatule.
- Recommences jusqu'à ce qu'il ait débordement.
- Peser le contenu (M_2).

On calcul de la masse volumique apparente par l'équation suivante :

$$\rho_{app} = \frac{M_2 - M_1}{V_{app}} \dots\dots\dots (2)$$

b) Détermination de la masse volumique absolue(EN 197-1) :**➤ Objectif de l'essai :**

Il s'agit de mesurer la masse volumique absolue de ciment anhydre qui varie en fonction de la composition du ciment.

➤ **Principe de l'essai :**

On opère en comparant la masse (m_c) d'un volume connu de ciment (v_c) à la masse (m_t) d'un même volume d'un liquide dont la masse volumique (ρ_t) est connu. La masse volumique du ciment (ρ_c) s'en déduit en écrivant :

$$\rho_c = \rho_t \left(\frac{m_c}{m_t} \right) \dots\dots\dots (3)$$

➤ **Equipement nécessaire :**

- Un volumétre ou (densitometre) le Chatelier.
- Un liquide inerte vis-à-vis du ciment (alcool à bruler, toluène ou du benzène, ou le pétrole).
- Une balance.
- Un entonnoir.
- Une tige métallique.
- Une spatule.

➤ **Mode opératoire :**

- Remplir le volumétre du toluène à l'aide de l'entonnoir jusqu'à ce que le niveau du liquide parvienne entre les graduations 0 et 1 ; soit V1.
- Peser le tout ; soit M1.
- Introduire à l'aide de la spatule environ 60 g de ciment, en évitant de laisser le ciment se déposer sur les parois.
- Une fois la totalité du ciment introduite, boucher le volumétre et l'incliner à 45° par rapport au plan de travail et faire rouler le volumétre par un mouvement de va-et-vient pour chasser l'air.
- Laisser reposer verticalement et noter le niveau volume ; soit V2.
- Peser le tout ; soit M2.

En calcul la masse volumique absolue avec la relation suivant :

$$\rho_a = \frac{M2-M1}{V2-V1} \dots\dots\dots (4)$$



Figure III.2 : Détermination de la masse volumique du ciment



Figure III.3 : Détermination de la masse spécifique du ciment

III.2.2.2 Caractéristiques physiques des pâtes de ciment :

Notre ciment présente des caractéristiques physiques conformément à la norme NA442 et la norme EN197-1. Pour cela des essais sélectionnés pour les résistances mécaniques permettent de mesurer quelque caractère important des pâtes de ciments :

A savoir :

- La consistance normale(E/C) (la norme NF-EN196-3).
- La prise (norme NF- EN196-3).

a) La consistance normale (E/C) (Norme : NF. P15 -358) [34] :

La pâte de ciment est essentiellement constituée d'eau et de ciment, vis-à-vis de ces deux éléments sa composition est définie par le rapport E/C. Dans ce rapport E et C représentent les concentrations d'eau et de ciment exprimées en masse pour un volume unité de pâte.

La consistance de la pâte caractérise sa plus ou moins grande fluidité. Un essai normalisé permet d'apprécier cette consistance :

L'essai de consistance effectué avec l'appareil de Vicat conformément à la norme EN196-3, la consistance est évalué ici en mesurant L'enfoncement, dans la pâte, d'une tige cylindrique sous l'effet d'une charge constante. L'enfoncement est d'autant plus important que la consistance est plus fluide.la consistance évaluée de cette manière sera appelée « Consistance Vicat ».



Figure III.4 : Appareil de Vicat

La distance (d) caractérise l'aptitude de la consistance de la pâte étudiée.

- Si $(d) = 6\text{mm} \pm 1\text{mm}$, on dit que la consistance de la pâte étudiée est normalisée, (Consistance normalisée).
- Si (d) n'atteint pas cette valeur (c.à.d. $d > 7\text{mm}$ ou $d < 5\text{mm}$), il convient de refaire l'essai avec une valeur différente du rapport E/C jusqu'à atteindre la valeur recherchée de la consistance.

b) L'essai de prise :

Dès que le ciment anhydre a été mélangé avec de l'eau, l'hydratation commence et les propriétés de la pâte ainsi obtenue sont évolutives dans le temps. Tant que cette hydratation n'est pas trop avancée la pâte reste plus ou moins malléable, ce qui permet de lui faire épouser par moulage la forme désirée. Mais au bout d'un certain temps, les cristaux d'hydrates prenant de plus en plus d'importance, le mélange a changé de viscosité et se raidit, on dit qu'il se fait priser.

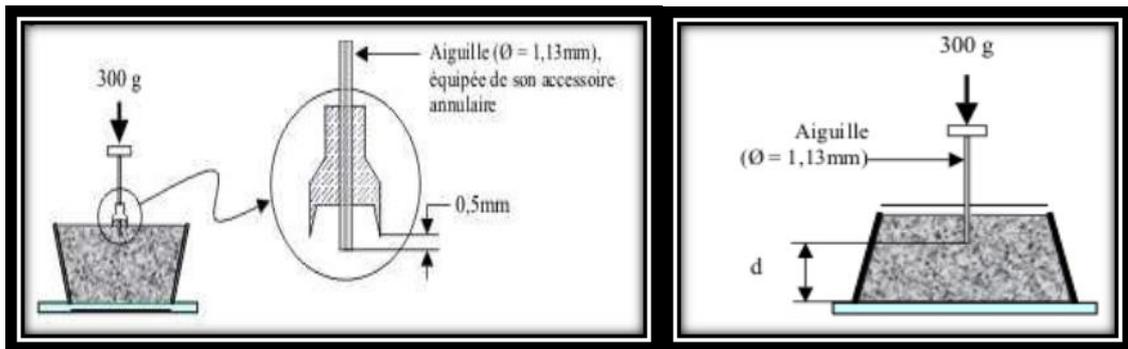


Figure III. 5 : Détermination du temps de prise

Le début de prise correspond au moment où l'on observe une augmentation de la viscosité, ou raidissement de la pâte, ce qui, dans la pratique, se mesure au moyen de l'aiguille normalisée (appareil de Vicat) et correspond au temps écoulé depuis le gâchage de la pâte jusqu'au moment où l'aiguille s'arrête à une distance ($d = 4\text{mm} \pm 1\text{mm}$) du fond de l'anneau de 40 mm de hauteur remplie de pâte pure de ciment selon la norme NF P15-473 [34].

De même, la fin de prise correspond au moment où l'aiguille ne s'enfonce plus que de 0,5 mm dans l'anneau.

III.3 Le sable :

Le sable utilisé est le sable de guelta région Laghouat.

III.3.1 Les essais sur le sable :**III.3.1.1 Analyse granulométrique:**

On peut définir l'analyse granulométrique par tamisage c'est un ensemble des opérations aboutissant à la séparation selon leur grosseur des éléments constituant échantillon, en employant des tamis à maille carrée afin d'obtenir une représentation de la répartition de la masse des particules à l'état sec en fonction de leur dimension.

➤ But de l'essai :

L'analyse granulométrique s'intéresse à la détermination de la dimension des grains et la granularité concerne la distribution dimensionnelle des grains d'un granulat.

➤ L'analyse granulométrique a trois buts :

- Déterminer les dimensions des grains.
- Déterminer les proportions de grains de même dimension (% pondéral).
- En déduire le Module de finesse (M f).

➤ Principe de l'essai :

L'essai consiste à classer les différents grains constituant l'échantillon en utilisant une série de tamis, emboîtés les un sur les autres, dont les dimensions des ouvertures sont décroissantes du haut vers le bas. Le matériau étudié est placé en partie supérieure des tamis et les classements des grains s'obtiennent par vibration de la colonne de tamis.

Afin d'éviter toute ambiguïté, un tamis et une passoire équivalent désigné par un même numéro de module et une dimension nominale normalisée des tamis.

Tableau III-01: Module et les diamètres dimensions nominales des tamis

Module S	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Tamis	0.08	0.100	0.12 5	0.16 0	0.20 0	0.25 0	0.31 5	0.4	0.5	0.6 3	0.8 0
Module S	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41
Tamis	1.00	1.25	1.60	2.00	2.50	3.15	4.00	5.00	6.30	8.0 0	10. 0
Module S	42	43	44	45	46	47	48	49	50		
Tamis	12.5	16.00	20.0 0	25.0 0	31.5 0	40.0 0	50.0 0	63.0 0	80.0 0		

➤ **Dimension des tamis utilisés :**

Pour les sables, on utilisera les tamis de modules 23, 26, 29, 32, 35, 38 selon la norme Française [NFP 18-540]. [35]

Pour les matériaux plus grossiers, tous les tamis au-delà du module 38 seront utilisés.

➤ **Préparation de l'échantillon :**

La quantité à utiliser doit répondre à différents impératifs qui sont contradictoires:

- Il faut une quantité assez grande pour que l'échantillon soit représentatif.
- Il faut une quantité assez faible pour que la durée de l'essai soit acceptable et que les tamis ne soient pas saturés et donc inopérants.

Dans la pratique, la masse à utiliser sera telle que : $M \leq 0,2 D_{max}$

Avec :

M, masse de l'échantillon en Kg et D_{max} diamètre du plus gros granulat exprimé en mm.

➤ **Matériel nécessaire :**

Des tamis dont les ouvertures carrées, de dimension normalisée, sont réalisés soit à partir d'un maillage métallique. Pour un travail d'essai aux résultats reproductibles, il est conseillé d'utiliser une machine à tamiser électrique qui comprime un mouvement vibratoire horizontal, ainsi que des secousses verticales, à la colonne de tamis. (Figure

(III.6). La dimension nominale de tamis se suit dans une progression géométrique de raison.

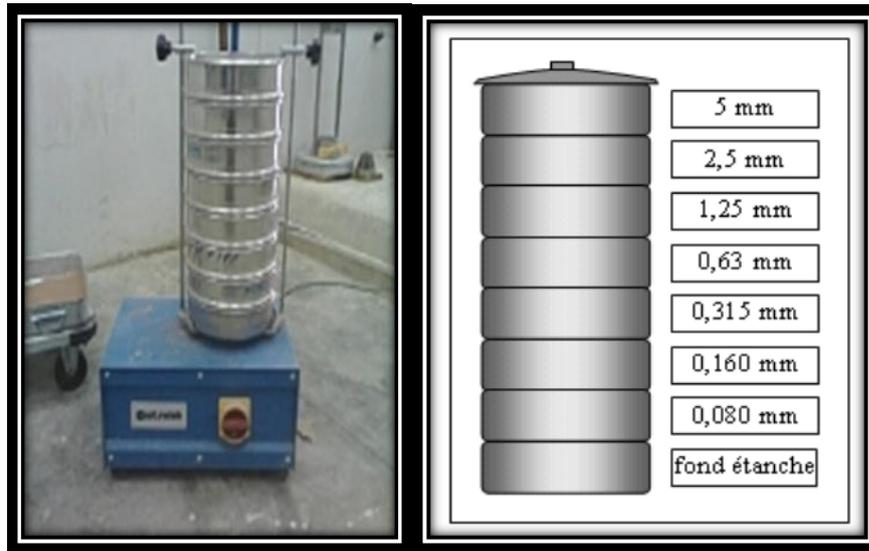


Figure III.6 : Les tamis d'analyse granulométrie du sable

III.3.1.2 Module de finesse (M f) :

Est une caractéristique importante surtout en ce qui concerne les sables. Un bon sable à mortier doit avoir un module de finesse M f compris entre 2,2 et 2,8 ; au-dessous, le sable a une majorité d'éléments fins et très fins, ce qui nécessite une augmentation du dosage en eau ; au-dessus, le sable manque de fines et le mortier perd en ouvrabilité.

- Pour $1,8 < M f < 2,2$: le sable est à utiliser si l'on recherche particulièrement la facilité de mise en œuvre au détriment probable de la résistance.
- Pour $2,2 < M f < 2,8$: le sable est à utiliser si l'on recherche une ouvrabilité satisfaisante et une bonne résistance avec des risques de ségrégation limités.
- Pour $2,8 < M f < 3,2$: le sable est à utiliser si l'on recherche des résistances élevées au détriment de l'ouvrabilité et avec des risques de ségrégation.
- Pour $M f > 3,2$: le sable est à rejeter.

Ce paramètre est en particulier utilisé pour caractériser la finesse des sables à bétons [EN 12620]. [35]

$$M_f = \sum \frac{R_c}{100} \dots\dots\dots (5)$$

R_c : refus cumulé en (%) sous les tamis de module 22 à 37.

III.3.1.3 Équivalent de sable (la norme NF P 18 -598) : [36]

Il est défini par la norme NFP 18-598 ; cet essai d'équivalent de sable, permettant de mesurer la propreté d'un sable, est effectué sur la fraction d'un granulat passant au tamis à mailles carrées de 5mm. Il rend compte globalement de la quantité et de la qualité des éléments fin, en exprimant un rapport conventionnel volumétrique entre les éléments sableux qui sédimentent et les éléments fin qui flocculent.

➤ But de l'essai :

Cet essai utilisé de manière courante pour évaluer la propreté des sables entrant dans la composition des mortiers. L'essai consiste à séparer les particules fines contenues dans le sol des éléments sableux plus grossiers, une procédure normalisé permet de détermination un coefficient d'équivalent de sable qui quantifie la propreté de celui-ci.

➤ Principe de l'essai :

L'essai est effectué sur la fraction 0/5 mm du matériau à étudier .Le tamisage se fait par voie humide afin de ne pas perdre d'élément fins.

On lave l'échantillon, selon un processus normalisé, et on laisse reposer le tout .Au bout de 20 minutes, on mesure les éléments suivants :

Hauteur h1 : sable propre +élément fins,

Hauteur h2 : sable propre seulement.

On en déduit l'équivalent de sable qui, par convention, est :

$$E_S = \left(\frac{h_2}{h_1} \right) \times 100 \dots \dots \dots (6)$$



Figure III.7 : Essais d'équivalent de sable



Figure III.8 : Machine d'agitation des sables (mouvement horizontale)

Selon que la hauteur h_2 est mesurée visuellement ou à l'aide d'un piston, on détermine ES_v (équivalent de sable visuel) ou ES_p (équivalent de sable au piston).

Tableau. III.2 : Les valeurs d'équivalent de sable indiquent la nature et qualité du sable [42]

ES à vue	ES au piston	Nature et qualité du sable
$ES < 65\%$	$ES < 60\%$	Sable argileux : risque de retrait ou de gonflement. Sable à rejeter pour des bétons de qualité ou vérification plus précise de la nature des fines par un essai au bleu de Méthylène.
$65\% \leq ES < 75\%$	$60\% \leq ES < 70\%$	Sable légèrement argileux de propreté admissible pour les bétons de qualité courante quand le retrait n'a pas de conséquence notable sur la qualité du béton.
$75\% \leq ES < 85\%$	$70\% \leq ES < 80\%$	Sable propre à faible proportion de fines argileuses convenant parfaitement pour les bétons de haute qualité
$ES \geq 85\%$	$70\% \leq ES < 80\%$	Sable très propre. L'absence presque totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra compenser par une augmentation du dosage en eau.

Tableau III.03 : Pourcentage d'équivalent de sable

Nature de sable	ES%		Observation
Sable de GUELTA	Piston	64.83	Sable très propre : l'absence presque totale de fines argileuse risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau.
	Visuel	71.8	

III.3.1.4 Masse volumique absolue (la norme NFP 18-301) : [37]

La masse volumique absolue ρ_s est la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat, sans tenir compte des vides pouvant exister dans ou entre les grains. Il ne faut pas confondre ρ_s avec la masse volumique ρ qui la masse de matériau par unité de volume, celui-ci intégrant à la fois les grains et les vides. Les masses volumiques s'expriment en :

t/m^3 , en kg/dm^3 , ou en g/cm^3 .

➤ But de l'essai :

Cet essai a pour but de permettre de connaître la masse d'une fraction granulaire lorsque par exemple on élabore une compression de béton. Ce paramètre permet, en particulier, de déterminer la masse ou le volume des différentes classes granulaire malaxées pour l'obtention d'un béton dont les caractéristiques sont imposées.

➤ Conduite de l'essai :

- Remplir une éprouvette graduée avec un volume V1 d'eau.
- Peser un échantillon sec M_s de granulats (environ 125 g) et l'introduire dans l'éprouvette en prenant soin d'éliminer toutes les bulles d'air.
- Le liquide monte dans l'éprouvette. Lire le nouveau volume V2.

La masse volumique est alors :

$$\rho_s = \frac{M_{\text{mat}}}{V_{\text{absolu}}} \dots\dots\dots (7)$$



Figure III.9 : Eprouvettes pour essais d'équivalent de sable

III.3.1.5 La masse volumique apparente (la norme NFP 18-554) : [38]

La masse volumique apparente d'un matériau est la masse volumique d'un mètre cube du matériau pris en tas, comprenant à la fois des vides perméables et imperméables de la particule ainsi que les vides entre particules.

L'essai est répété 3 fois pour un volume de 1 litre et la moyenne de ces essais donne la valeur de la masse volumique apparente.

$$\rho_{\text{App}} = \frac{M_{\text{mat}}}{V_{\text{App}}} \dots\dots\dots (8)$$



Figure III. 10 : Essai de la masse volumique apparente

III.4 Déchets de briques :

Les déchets de brique employés dans la composition du béton et mortier sont ramenés de la briqueterie DJILALI BOUNAMA DE TISSEMSILT.

Les déchets ont été concassé à l'aide d'un marteau ensuite broyé en utilisant un broyeur à boulet (Los -Anglos).



Figure III.11 : Déchets de brique

III.4.1 Appareille de los Anglos :

L essais consiste à déterminer la quantité d'éléments inférieure à 1,6 mm c'est pour ça en utilise un tamis avec ouverture des maile de 1,6 mm, et le but de ce essais c'est de

déterminé la résistance aux chocs des boules qu'on doit utiliser dans l'essai avec un nombre déterminé suivant les normes.



Figure III.12 : Machine Los Anglos

III.4.2 Analyse granulométrique :

➤ **But de l'essai :**

L'analyse granulométrique permet de déterminer la grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs des différentes familles de grains constituant les échantillons. Elle s'applique à tous les granulats de dimension nominale inférieure ou égale à 63 mm, à l'exclusion des fillers.

➤ **Principe de l'essai :**

L'essai consiste à classer les différents grains constituant l'échantillon en utilisant une série de tamis, emboîtés les uns sur les autres, dont les dimensions des ouvertures sont décroissantes du haut vers le bas. Le matériau étudié est placé en partie supérieure des tamis et les classements des grains s'obtiennent par vibration de la colonne de tamis.

➤ **Matériel nécessaire :**

Des tamis dont les ouvertures carrées, de dimension normalisée, sont réalisés soit à partir d'un maillage métallique. Pour un travail d'essai aux résultats reproductibles, il est

conseillé d'utiliser une machine à tamiser électrique qui comprime un mouvement vibratoire horizontal, ainsi que des secousses verticales, à la colonne de tamis. La dimension nominale de tamis se suit dans une progression géométrique de raison.

➤ **Dimension de tamis utilisés :**

Pour les sables, on utilisera en général les tamis de modules 20, 21, 24, 26, 27, 28, 31, 34, 37, 38. Pour les matériaux plus grossiers, tous les tamis au-delà du module 38 seront utilisés.

➤ **Préparation de l'échantillon :**

La quantité à utiliser doit répondre à différents impératifs qui sont contradictoires :

- Il faut une quantité assez grande pour que l'échantillon soit représentatif ;
- Il faut une quantité assez faible pour que la durée de l'essai soit acceptable et que les tamis ne soient pas saturés et donc inopérants ;

Dans la pratique, la masse à utiliser sera telle que : $M = 0,2 D$ avec M masse de l'échantillon en Kg et D diamètre du plus gros granulat exprimé en mm.

➤ **Description de l'essai :**

On emboîte les tamis les uns sur les autres, dans un ordre tel que la progression des ouvertures soit croissante du bas de la colonne vers le haut. En partie inférieure, on dispose un fond étanche qui permettra de récupérer les fillers pour une analyse complémentaire. Un couvercle sera disposé en haut de la colonne afin d'interdire toute perte de matériau pendant le tamisage.

On appellera tamisât le poids du matériau passant à travers un tamis donné et refus le poids de matériau retenu par ce même tamis.

Le matériau étudié est versé en haut de la colonne de tamis et celle-ci entre en vibration à l'aide de la tamiseuse électrique. Le temps de tamisage varie avec le type de machine utilisé, mais dépend également de la charge de matériau présente sur le tamis et son ouverture.

Le refus du tamis ayant la plus grande maille est pesé. Soit R1 la masse de ce refus. Le refus du tamis immédiatement inférieur est pesé avec le refus précédent. Soit R2 la masse du deuxième refus. Cette opération est poursuivie pour tous les tamis pris dans l'ordre des ouvertures décroissantes. Ceci permet de connaître la masse des refus cumulés Rn aux différents niveaux de la colonne de tamis. Le tamisât présent sur le fond de la colonne du tamis est également pesé. La somme des refus cumulés mesurés sur les différents tamis et du tamisât sur le fond (fillers) doit coïncider avec le poids de l'échantillon introduit en tête de colonne. La perte éventuelle de matériaux pendant l'opération de tamisage ne doit pas excéder plus de 2% du poids total de l'échantillon de départ.



Figure III.13 : Essai d'analyse granulométrique déchets de brique

III.4.3 Masse volumique apparente :

Elle est définie comme étant la masse de l'unité de volume apparente du corps, c'est-à-dire celle du volume constitué par la matière du corps et les vides qu'elle contient.

$$\rho_{App} = \frac{M_{mat}}{V_{App}} \dots\dots\dots(9)$$



Figure III.14 : Essai déterminer la masse volumique apparente de déchets de briques

III.4.4 Masse volumique absolue :

Elle est définie comme étant la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat sans tenir compte des vides pouvant exister entre les grains.



Figure III.15 : Détermination de la masse volumique absolue de déchets de brique

III.5 Eau de gâchage :

On a utilisé une eau potable du robinet, ce qui est considéré comme appropriée pour la fabrication du béton et le mortier et ne nécessite aucun essai spécifique [39].



Figure III.16 : Eau de gâchage (épreuve gradué)

III.6 Les moule :

Les éprouvettes sont de forme prismatique de section carrée (40 x 40 x 160) mm.

III.6.1 Préparation des éprouvettes :

Des moules prismatiques d élancement (4x4x16) cm, selon la Norme ENV 197-1[40].



Figure III.17 : Eprouvette prismatique (40 x 40 x 160)

III.6.1.1 Les étapes de préparation :

- enduire les parois latérales des moules d'une légère couche d'huile de décoffrage.
- fixer le moule et la hausse sur la table à chocs.
- introduire la première des deux couches de mortier dans chaque compartiment.



Figure III.18 : Préparation des moules (couche de huile)

III.7 Formulation et fabrication des mortiers :

Les mortiers confectionnés sont de type 1/3 (une masse de ciment CPJ CEMII/B 32.5R CAHMIL avec trois masses de sable) (tableau III.5). Le rapport eau/liant choisi est égal à 0.63. Les ajouts cimentaires et les adjuvants ne sont pas utilisés.

Les éprouvettes de mortier confectionnées sont des éprouvettes prismatique de dimension $(4 \times 4 \times 16) \text{ cm}^3$.

Le rapport E/C = 0.63 a été adopté afin de fabriquer un mortier témoins (de référence) et de comprendre son comportement à l'état naturel.

III.7.1 Appellations des différentes formulations :

L'usage de déchets de briques substitué quatre pourcentages de nous a conduits à élaborer plusieurs formulations et pour les distinguer, il a été préférable d'utiliser les abréviations suivantes:

Mt : Mortier de référence formulé sans utilisation du déchet de brique.

Sb10% : Mortier formulé en substituant 10% de sable normalisé par le déchet de brique.

Sb20% : Mortier formulé en substituant 20% de sable normalisé par le déchet de brique.

Sb30% : Mortier formulé en substituant 30% de sable normalisé par le déchet de brique.

Sb35% : Mortier formulé en substituant 35% de sable normalisé par le déchet de brique.

Tableau III.4 : Différentes formulations en substituant le sable normalisé par le déchet de brique

Formulation	Ciment (g)	Sable (g)	Eau (g)	Déchet (g)
Mt	450	1350	286	0
Sb10%	450	1215	286	135
Sb20%	450	1080	286	270
Sb30%	450	945	286	405
Sb35%	450	877.5	286	472.5

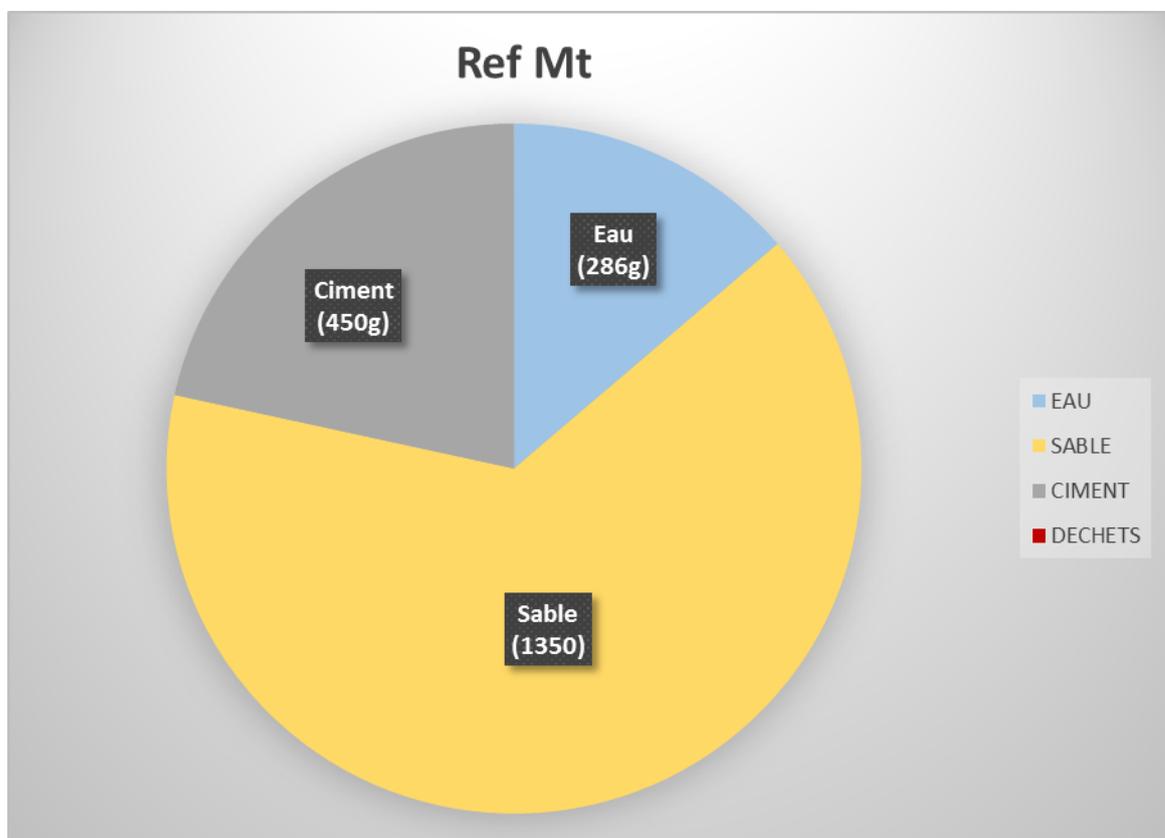


Figure III.19 : Formulation du mortier témoin

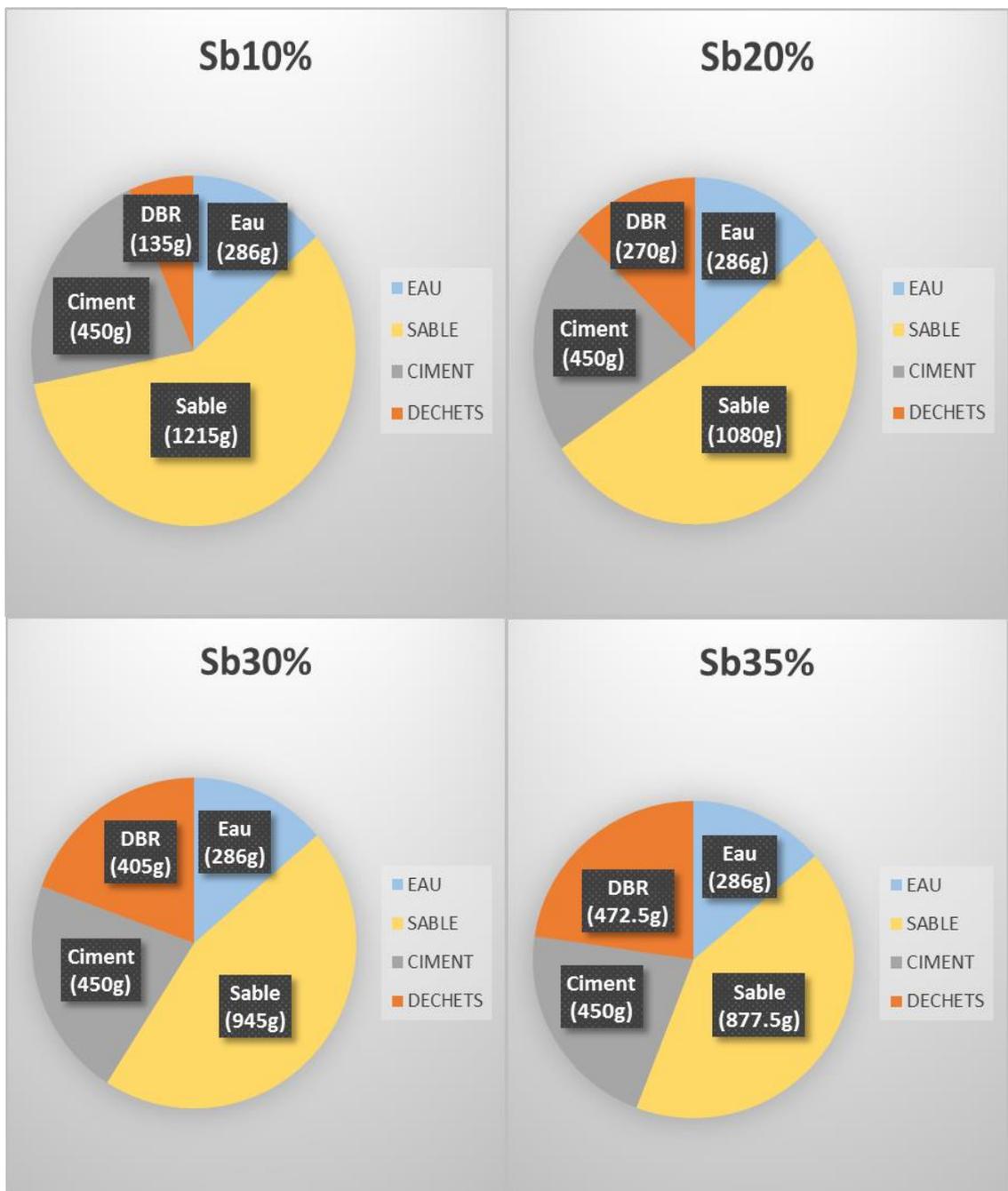


Figure III.20 : Différentes formulations en substituant le ciment par le déchet de brique

III.7.2 Préparation du mortier :

- nettoyage et séchage parfait des instruments (malaxeur).
- introduire deux volumes de sable et un volume de ciment.
- introduire la quantité d'eau choisie : $E/C=0.63$

III.7.3 Le malaxage de mortier :

Le malaxage de mortier a été réalisé dans un malaxeur électrique au laboratoire de PFE qui assure le mélange des constituants par simple rotation la vitesse de rotation.

Mettre le malaxeur en route, vitesse lente pendant 60s stopper le malaxeur, mettre la vitesse rapide et relancer le malaxeur pendant 30s.

Stopper le malaxeur pendant 1 min 30s et nettoyer les parois du récipient avec le batteur pendant les 15 premières secondes.

Remettre le malaxeur en route, vitesse rapide durant 60s.

La procédure de malaxage est celle préconisée dans la norme NF P15-403 [41].



Figure III.21 : Le malaxeur



Figure III.22 : Table de chocs pour les éprouvettes

- étaler la couche en utilisant la plus grande spatule tenue verticalement.
- serrer la première couche de mortier par 60 chocs (réglage de la machine).
- retirer le moule et la hausse de la machine à chocs.
- ôter la hausse et enlever l'excédent de mortier avec la règle plate à araser.



Figure III.23 : Préparation des éprouvettes prismatiques (40 x 40 x 160)

III.7.4 Les essais sur les mortiers :

Dans les 'essais sur le mortier le rapport E/C toujours constante et égale la valeur E/C=0.63

III.7.4.1 Essais sur la masse volumique de mortier à l'état frais :

La masse volumique sur mortier frais est toujours réalisée. Cela permet de vérifier le rendement de la composition en comparant la masse volumique déterminée expérimentalement avec la masse volumique théorique.

La masse volumique ρ des mortiers, mis en place à la table à chocs, est mesurée par différence de pesées du moule 4x4x16 cm. Les mortiers sont préparés dans des moules 4x4x16 cm. Les moules vides et pleins sont pesés. La masse volumique ρ est déduite. Chaque résultat est la moyenne de 3 mesures.

$$\rho_{App} = \frac{M_{moul}}{V_{App}} \dots\dots\dots(10)$$



Figure III.24 : Essais sur la masse volumique de mortier

III.7.5 Conservation des éprouvettes :

- poser une plaque en verre ou en acier sur le périmètre du moule.
- placer le moule dans une pièce humide pendant 24 heures.
- démouler ensuite les éprouvettes avec précautions et marquer les éprouvettes.
- conserver les éprouvettes dans l'eau à 20°C.



Figure III.25 : Eprouvtes de mortier témoin conservé dans l'eau de robinet (pH=7)



Figure III.26 : Conservation des éprouvtes des mortiers substitués avec différent pourcentages de déchets des briques dans l'eau

III.8 Résistance à la traction par flexion:

Placer le prisme dans le dispositif de flexion avec une face latérale de moulage sur les rouleaux d'appui et son axe longitudinal perpendiculaire à ceux-ci. Appliquer la charge verticalement par le rouleau de chargement sur la face latérale opposée du prisme avec d'augmentation des charges, jusqu'à rupture.



Figure III.27 : Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion

Conserver les demi-prismes humides jusqu'au moment des essais en compression. La résistance en flexion R_f (en N/mm^2) est calculée au moyen de la formule :

$$R_f = \frac{1,5PL}{b^3} \dots\dots\dots (11)$$

Où :

R_f : est la résistance en flexion, en newtons par millimètre carré ou en MPa.

b : est le côté de la section carrée du prisme, en millimètres.

p : est la charge appliquée au milieu du prisme à la rupture, en newtons.

L : est la distance entre les appuis, en millimètres.



Figure III.28 : Eprouvette après
essai d'écrasement



Figure III.29: Machine de l'essai de traction
par flexion

III.9 Résistance à la compression :

Centrer chaque demi-prisme latéralement par rapport aux plateaux de la machine à ± 0.5 mm près et longitudinalement de façon que le bout du prisme soit en porte-à-faux par rapport aux plateaux d'environ 10 mm.

Augmenter la charge avec une vitesse providence durant toute l'application de la charge jusqu'à la rupture (compenser la décroissance de vitesse de la charge à l'approche de la rupture).

La résistance en compression R_c (en N/mm^2) est calculée au moyen de la formule :

$$R_c = \frac{F_c}{b^2} \dots\dots\dots (12)$$

R_c : Résistance à la compression en (MPa).

F_c : Charge de rupture en (N).

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



Figure III.30 : Dispositif de compression



**Figure III. 31 : Machine de traction par
essai de flexion**

III.10 Conclusion :

Les essais physiques effectués dans les différents laboratoires donnent une idée générale sur les caractéristiques principales des matériaux servant à la formulation des mortiers qui seront étudiés au chapitre suivant du point de vue mécanique.

La connaissance de ces caractéristiques nous aide d'une façon significative à commenter les résultats des essais expérimentaux.

Le chapitre suivant regroupe les différents résultats des mortiers déterminés par les essais de compression simple et de flexion, par deux types de mortier, Mortier ordinaire et mortier à base de déchets de brique.

CHAPITRE IV

RESULTATS

ET

INTERPRETATION

IV.1 Introduction:

Ce chapitre est consacré à la présentation et à la discussion des résultats obtenus durant ce travail. Le but principal de cette étude est de démontrer techniquement la possibilité d'utiliser partiellement ou totalement les granulats (déchets de brique) dans le mortier on se basant sur la comparaison de ces mortiers avec un mortier témoin.

IV.2 Le ciment :

Le ciment utilisé dans cette étude est le ciment portland composé CPJ– CEM II/B 32,5R CHAMIL de la cimenterie de LAFARGE, il présente les caractéristiques techniques suivantes :

Tableau IV.1 : Caractéristiques techniques de ce ciment CHAMIL

CHAMIL	Caractéristiques techniques
	Composition minéralogique du clinker (bogue)
60 ± 3	C3S (%)
7.5 ± 1	C3A (%)
	Propriétés physiques
27 ± 2.0	Consistance normale (%)
4300 à 5500	Finesse suivant la méthode de Blaine (cm ² /g) (NA231)
<1000	Retrait à 28 jours (µm/m)
≤ 3	Expansion (mm)
	Temps de prise à 20° C
150 ± 30	Début de prise (min)
250 ± 50	Fin de prise (min)
	Résistance à la compression
≥ 10	2 jours (MPa)
≥ 32.5	28 jours (MPa)

Tableau IV.2 : les caractéristiques physiques du ciment

Type de ciment	Cimenteries	Masse volumique absolue (Ton/m ³)	Masse volumique apparente (Ton/m ³)	La consistance (%)	Début de prise (mn)	Fin de prise (mn)
CEM II	Chamil	$\rho_s = 3,1$	$\rho_a = 1,003$	27	120	250

IV.3.Le sable :

Le sable utilisé est un sable naturel, provenant de la carrière de Guelta Laghouat.

IV.3.1.Déterminations des caractéristiques physiques :

Les résultats obtenus sur les caractéristiques physiques sont récapitulés dans le tableau suivant :

Tableau IV.3 : les caractéristiques physiques de sable

Sable	granullat	Masse volumique absolue (Ton/m ³)	Masse volumique apparente (Ton/m ³)	Equivalent de sable (%)	
				ES _p	ES _v
Sable de GUELTA	0/2	2.71	1,54	65	72

ES=65 sont situés entre 60 et 70% présenter un sable légèrement argileux de propreté admissible pour les mortiers et les bétons de qualité courante.

IV.3.2 Analyse granulométrique :

Classe granulaire 0/2 mm

Tableau IV.4 : Analyse granulométrique du sable

Ouverture des tamis (mm)	Refus cumulé		Tamisa cumuler	
	(g)	(%)	(g)	(%)
5	1	0	499	100
4	5	1	495	99
2	16	3	484	97
1	30	6	470	94
0.5	82	16.4	418	89
0.4	129	25.8	371	74
0.315	208	41.6	192	58
0.2	409	81.8	91	18
0.1	479	95.8	21	4
0.08	489	100	11	3

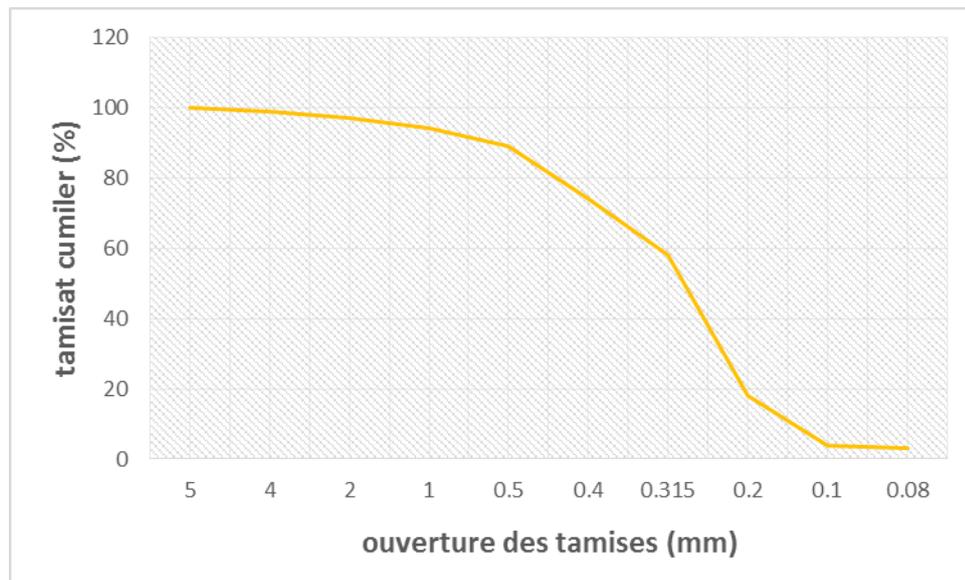


Figure IV.1 : la courbe granulométrique du sable

IV.3.3 Module d finesse :

$$MF = (95.8+81.8+41.6+16.4+6+3+0)/100 = 2.44$$

IV.4 Déchets de brique :

Le déchet utilisé est un déchet obtenir de la **Briqueterie Djilali Bounama Tissemsilt**.

IV.4.1 Déterminations des caractéristiques physiques :

Les résultats obtenus sur les caractéristiques physiques sont récapitulés dans le tableau suivants :

Tableau IV.5 : les caractéristiques physiques des déchets de briques

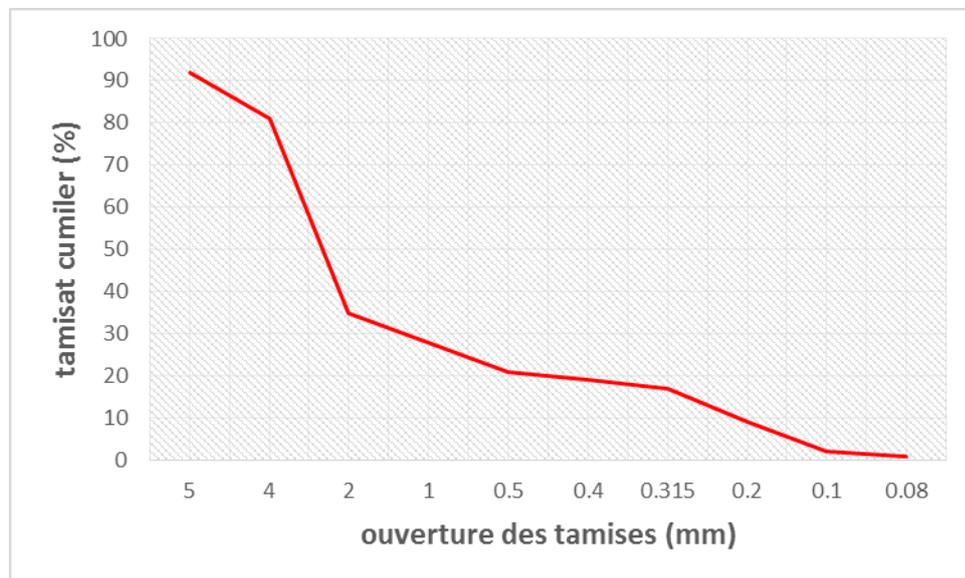
échantillon	Granullat	Masse volumique absolue (Ton/m ³)	Masse volumique apparente (Ton/m ³)
Déchet de brique	0/4	2.38	1,189

IV.4.2 Analyse granulométrique :

Classe granulaire 0/4mm.

Tableau IV.6 : analyse granulométrique des déchets de briques

Ouverture des tamis (mm)	Refus cumulé		Tamisat cumuler (%)
	(g)	(%)	
5	38	8	92
4	94	19	81
2	327	64	35
1	358	72	28
0.5	394	79	21
0.4	403	81	19
0.315	415	83	17
0.2	457	91	09
0.1	489	98	02
0.08	496	99	01

**Figure IV.2 : la courbe granulométrique des déchets de briques****IV.4.3 Module d finesse :**

$$MF = (91+79+72+64+8)/100 = 3.25$$

IV.5 Les Mortier :**IV.5.1 Composition des mortiers a base des granulats de brique :****Tableau IV.7: Composition des mélanges de mortier**

<i>M(g)</i>	M t	Sb10 %	Sb20 %	Sb30 %	Sb35 %
Ciment	450	450	450	450	450
Eau	286	286	286	286	286
<i>Sable</i>	1350	1215	1080	945	877.5
Granulats de brique	0	135	270	405	472.5

IV.5.2 Masse volumique de mortiers :

La masse volumique de mortier durci selon le tableau suivant :

Tableau IV.8 : la masse volumique de mortier

Poids d'éprouvette vide (g)	Volume d'éprouvette (4×4×16) (cm ³)	Poids de mortier 1/3 (g)	Masse volumique de (01 éprouvette) (g/cm ³)
7640	256	1653	6.4

IV.5.3 Masse des éprouvettes :

La masse des éprouvettes est entre l'intervalle de 520 jusqu'à 530g

IV.6 Evolution des résistances mécaniques en traction par flexion pour le mortier :

Dans le tableau (IV.8) suivant, chaque valeur de résistance en traction par flexion représentées est une moyenne effectuée sur trois valeurs des mortiers Mt, Sb10%, Sb20%, Sb30%, Sb35%.

Tableau IV.9 : Résistances à la traction par flexion des différentes compositions de Mortier

Type de mortier	Age (jours)	Résistance à la traction par flexion R_{tj} (MPa)			Résistance moyenne $R_{t_{moy}}$ (MPa)
		Epv 1	Epv 2	Epv 3	
Tm	07	14.50	13.20	13.70	13.8
	14	15.00	15.30	15.60	15.3
	21	16.30	17.00	17.80	17
	28	16.00	18.00	19.00	17.7
Sb 10%	07	11.50	12.30	13.00	12.3
	14	16.00	16.50	15.00	15.8
	21	14.00	14.60	15.00	14.5
	28	12.00	12.00	12.50	12.2
Sb 20%	07	13.50	12.50	13.00	13
	14	17.50	16.00	17.50	17
	21	13.80	14.00	14.50	14.1
	28	14.00	13.00	14.00	13.7
Sb 30%	07	15.50	16.20	15.00	15.6
	14	17.75	17.60	17.00	17.5
	21	15.00	14.30	14.50	14.6
	28	14.20	14.50	13.80	14.2
Sb 35%	07	14.80	14.00	14.50	14.4
	14	16.90	17.00	16.80	16.9
	21	13.00	13.00	13.50	13.2
	28	12.90	12.00	12.50	12.5

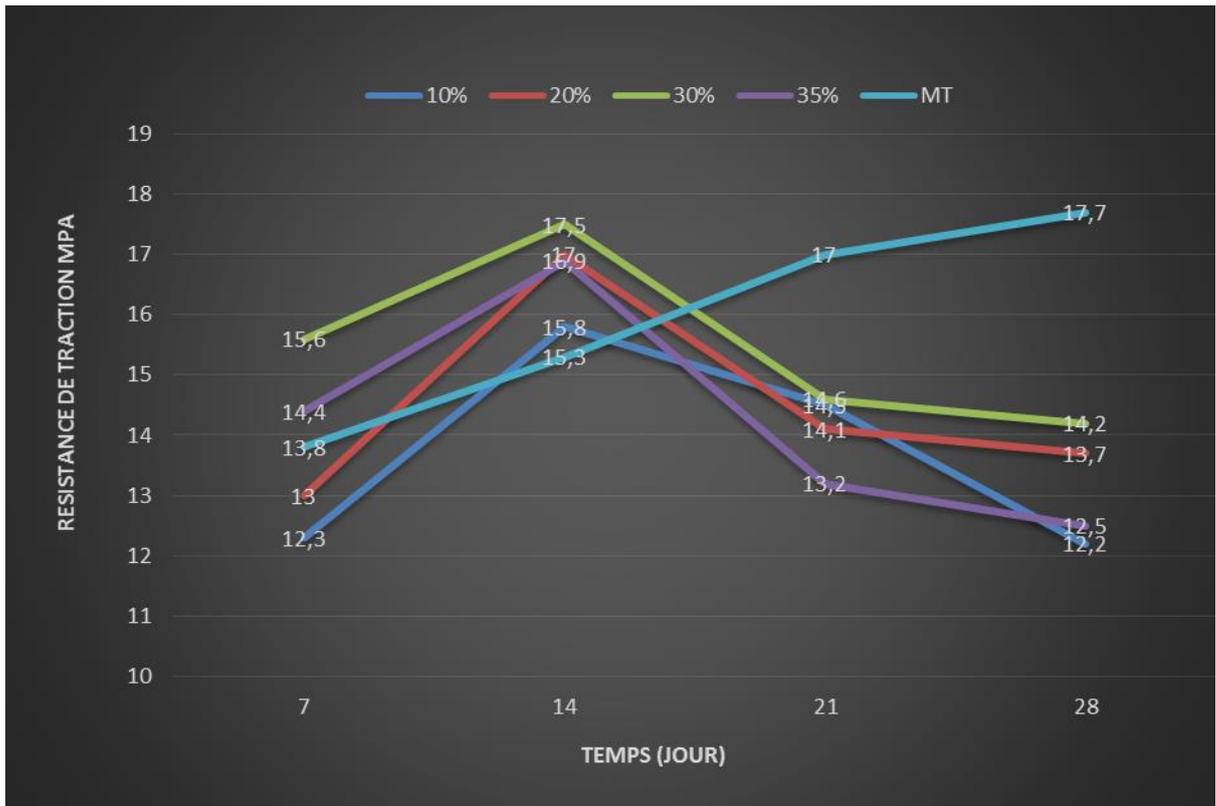


Figure IV.3 : Développement de la résistance à la traction par flexion des mortiers en fonction du temps

Commentaire :

La figure (IV.3) présente le développement de résistance à la traction pour le mortier témoin et les mortiers contenant les granulats de brique, pour le mortier témoin en remarque que la résistance en compression augmente de façon proportionnelle avec le temps. Bien que pour le mortier à base de déchet de brique des différents taux la résistance à la traction par flexion augmente de 7 jusque à 14 jours, à partir de cette date on remarque bien que cette dernière diminue relativement de 14 à 28 jours, mais la résistance du mortier Sb 30% reste toujours la plus élevée par rapport aux autres mortiers, on conclue que la résistance à la traction par flexion pour les mortiers à base de déchet de brique ces valeurs au jeune âge.

La variation de la résistance à la compression en fonction du taux de substitution de sable par les granulats de brique (M10, M20, M30, M35), est représentée sur les figures (IV.11) (IV.12), (IV.13) suivantes :

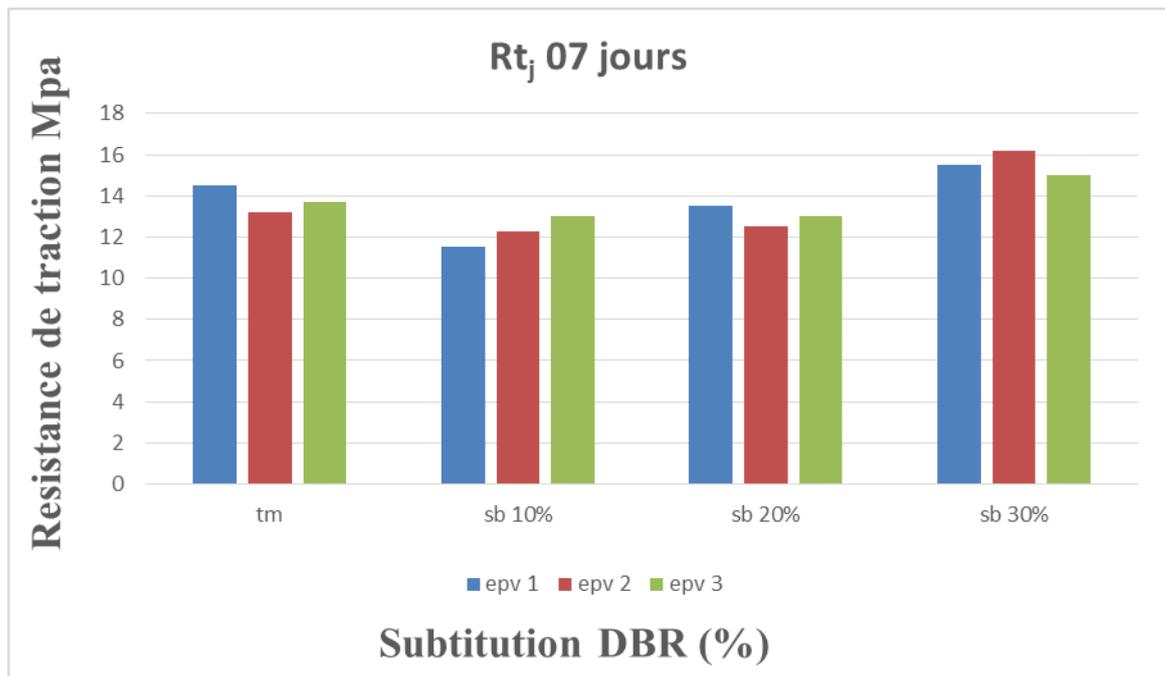


Figure IV.4 : Variation de la résistance en traction par flexion en fonction du taux de substitution a 7 jours

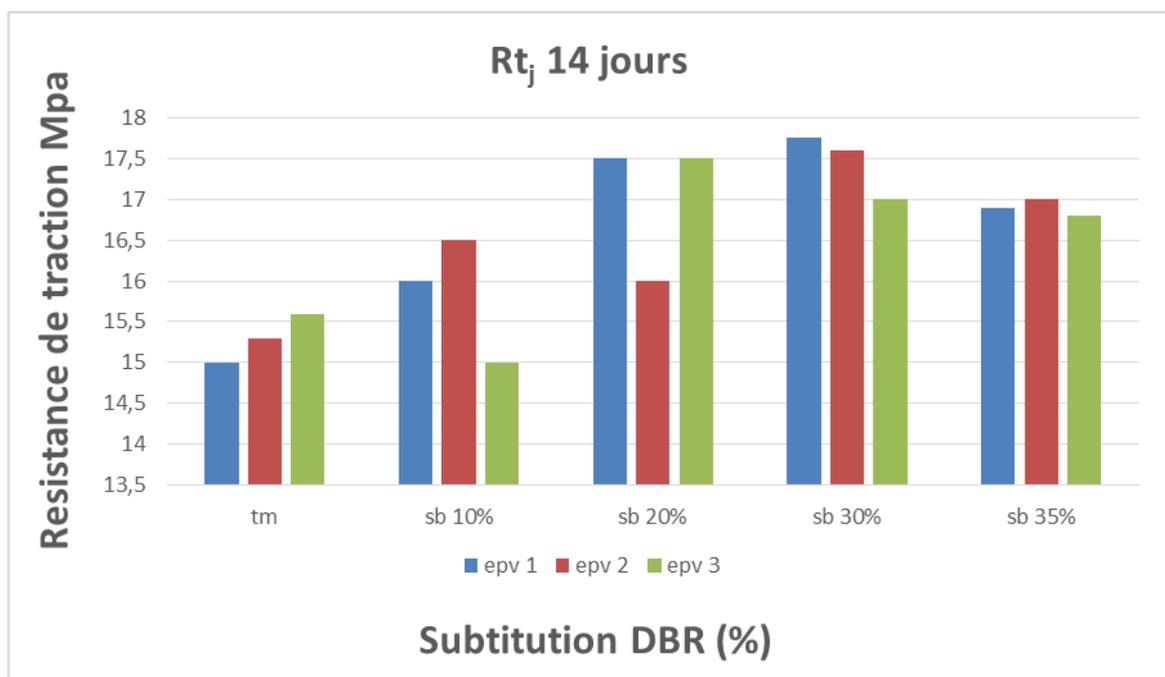


Figure IV.5 : Variation de la résistance en traction par flexion en fonction du taux de substitution a 14 jours

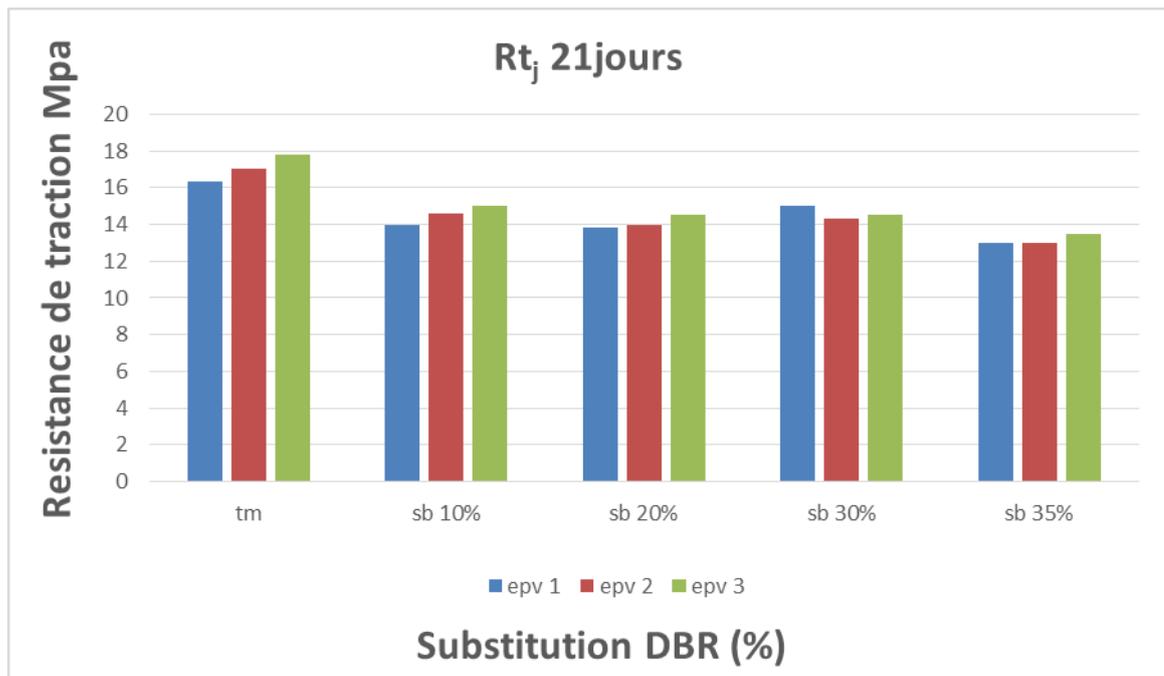


Figure IV.6 : Variation de la résistance en traction par flexion en fonction du taux de substitution a 21 jours

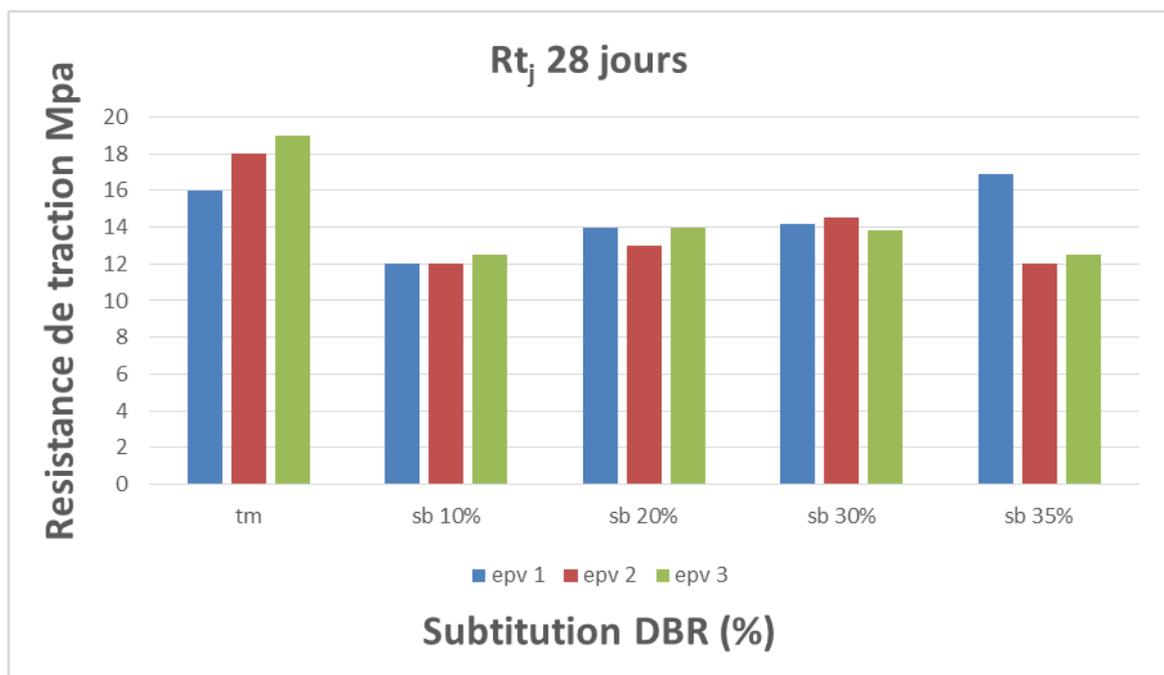


Figure IV.7 : Variation de la résistance en traction par flexion en fonction du taux de substitution a 28 jours

Commentaire :

D'après les figures (IV.4), (IV.5), (IV.6), (IV.7), on remarque qu'à l'âge de 14 jours la résistance à la traction par flexion diminue avec l'augmentation du taux de substitution.

La diminution de la résistance à la traction par flexion se confirme pour les résultats de 21 et 28 jours est présenté sur l'histogramme.

A 28 jours de conservation les valeurs présentées sur la dernière figure montrent une légère amélioration de toutes les résistances avec une différence d'avantage de côté de mortier témoin MT.

IV.7 Evolution des résistances mécaniques en compression pour le mortier :

Dans le tableau (IV.8) suivant, chaque valeur de résistance en compression est une moyenne effectuée sur trois valeurs des mortiers Mt, Sb10%, Sb20%, Sb30%, Sb35%.

Tableau IV.10 : Résistances à la compression des différentes Compositions de Mortier

Type de mortier	Age (jours)	Résistance à la compression R_{c_j} (MPa)			Résistance moyenne $R_{c_{moy}}$ (MPa)
		Epv 1	Epv 2	Epv 3	
Tm	07	14.3	14.3	14.9	14.4
	14	16.7	16.3	16.2	16.4
	21	21.9	23.1	22.8	22.6
	28	25.9	25.6	25	25.4
Sb 10%	07	14	14.4	14.1	14.2
	14	18.8	18.1	16.7	18.1
	21	22.2	21.3	24.4	22.6
	28	28.1	28.8	28.1	28.3
Sb 20%	07	16.3	16.7	16.2	16.4
	14	20.3	21.3	22.2	21.3
	21	26.6	25.8	25	25.9
	28	31.6	31.3	31.9	31.6
Sb 30%	07	17.5	16.7	17.2	17.1
	14	21.3	25	25.6	25.3
	21	29.4	30	29.4	29.6
	28	40.1	38.1	37.8	37.7
Sb 35%	07	18.1	18.8	18.1	18.3
	14	24.4	24.4	23.1	24
	21	31.9	32.5	32.4	32.3
	28	35.5	36.3	37.2	36.3

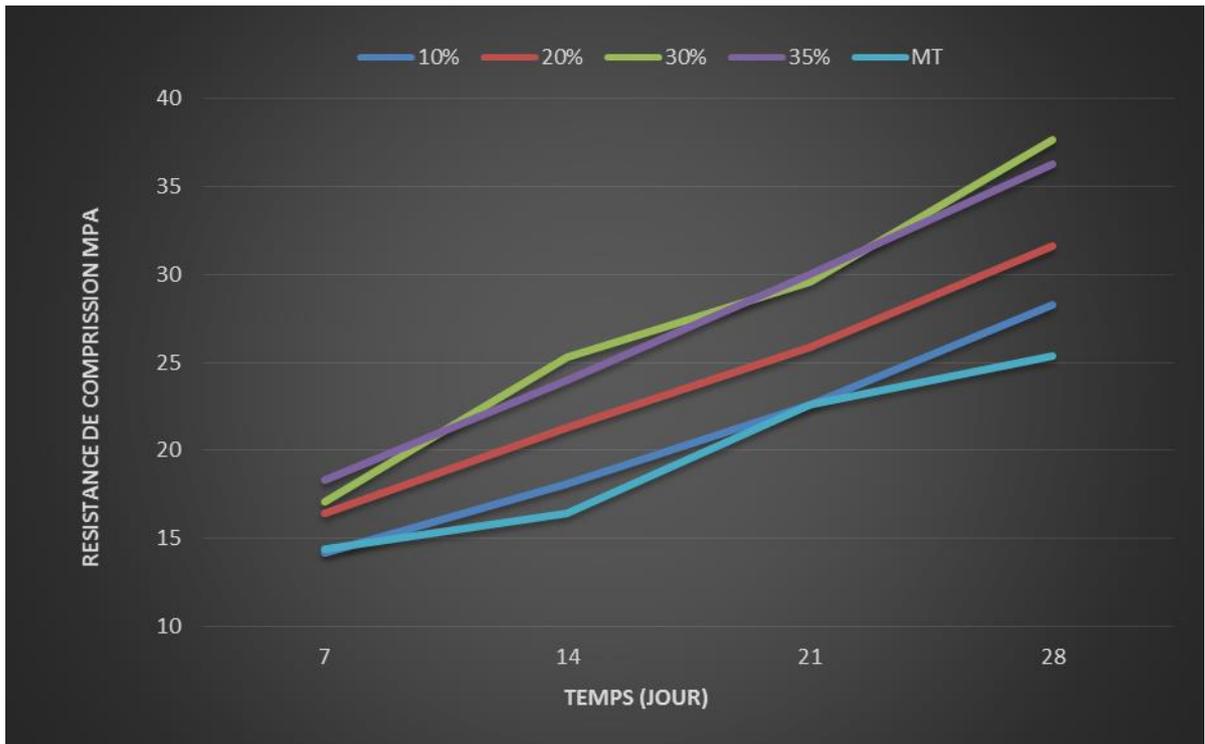


Figure IV.8 : Développement de la résistance à la compression des mortiers en fonction du temps

Commentaire :

La figure (IV.8) présente le développement de compression pour le mortier témoin et les mortiers contenant les granulats de brique on remarque que la résistance en compression augmente de façon proportionnelle avec le temps, bien que les taux de variation ne soit pas similaire pour les différents mélanges de mortier par comparaison, on peut noter que les mortiers (Sb10%, Sb20%, Sb30%, Sb35%) présente une augmentation de résistance par rapport à celle de mortier témoin.

D'après les résultats présentés sur les figures IV.8, nous constatons que L'allure des courbes des mortiers contient des différent pourcentages de déchet montre une progression croissante de la compression en fonction de l'âge, le mortier substituer avec granulat des déchets de brique à donner la meilleur résistance à 7, 14, 21, et 28 jours. Que le mortier témoin.

Pour mieux illustrer c'est pour cette raison que les mortiers avec une augmentation des Pourcentages de déchet ont une résistance relativement élevé par rapport au mortier ordinaire.

La variation de la résistance à la compression en fonction du taux de substitution de sable par les granulats de brique (Sb10%, Sb20%, Sb30%, Sb35%) est représentée sur les figures (IV.9) (IV.10), (IV.11) (IV.12) suivantes :

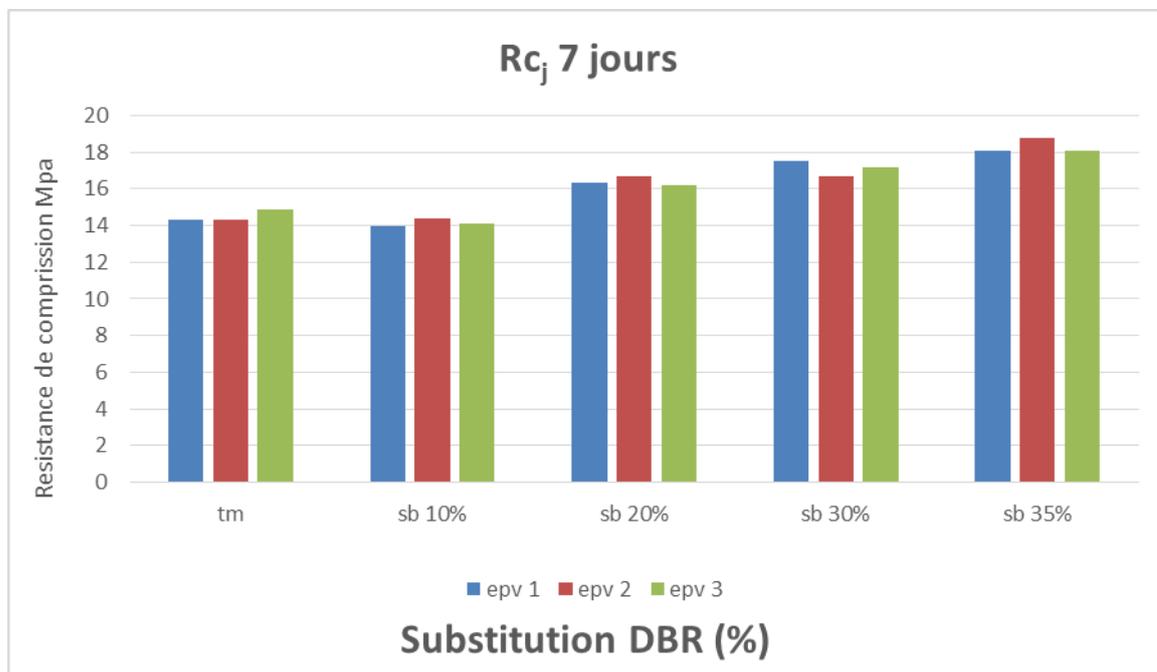


Figure IV.9 : Variation de la résistance en traction par flexion en fonction du taux de substitution a 7 jours

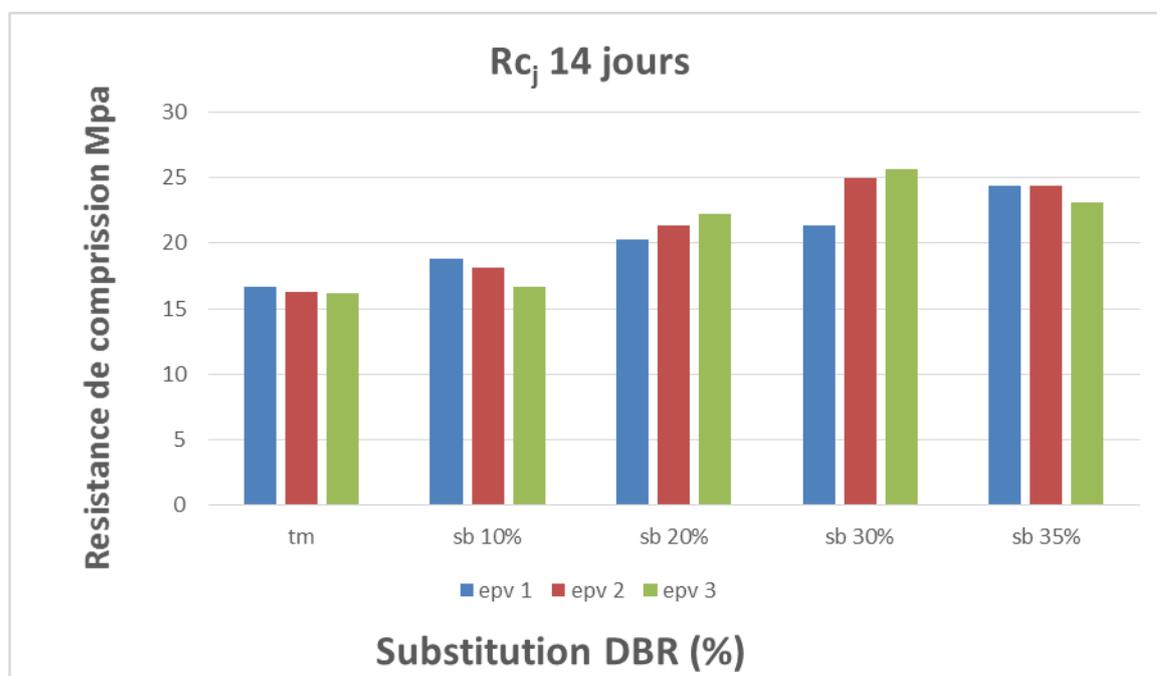


Figure IV.10 : Variation de la résistance en traction par flexion en fonction du taux de substitution a 14 jours

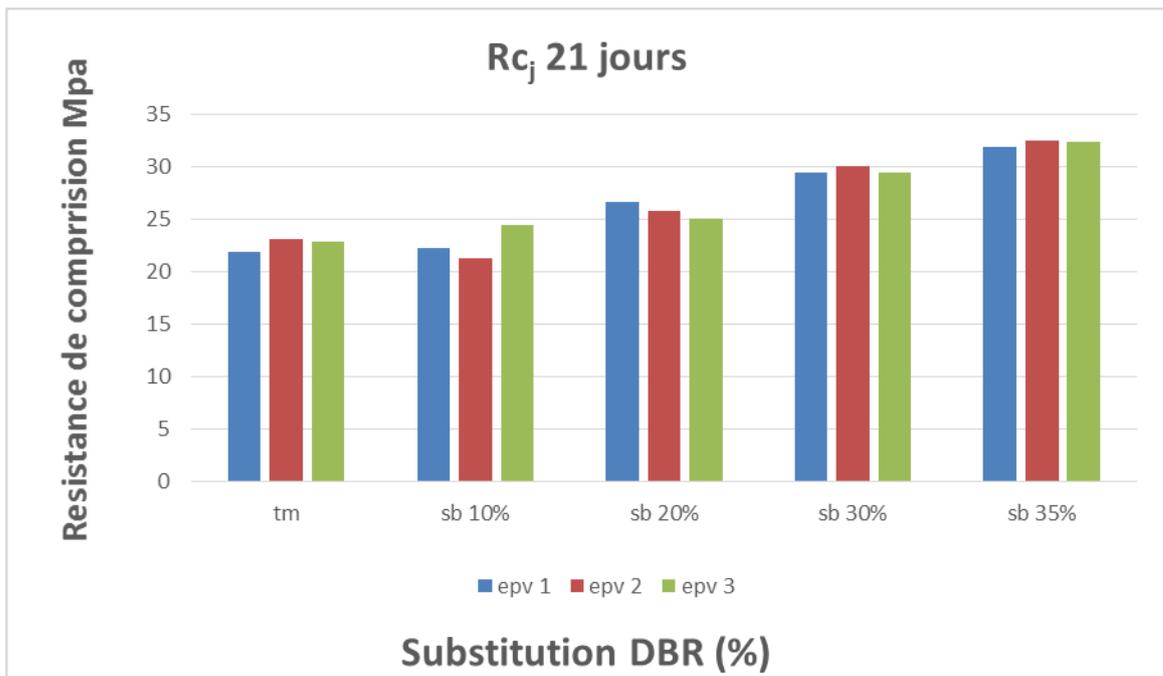


Figure IV.11 : Variation de la résistance en traction par flexion en fonction du taux de substitution a 21 jours

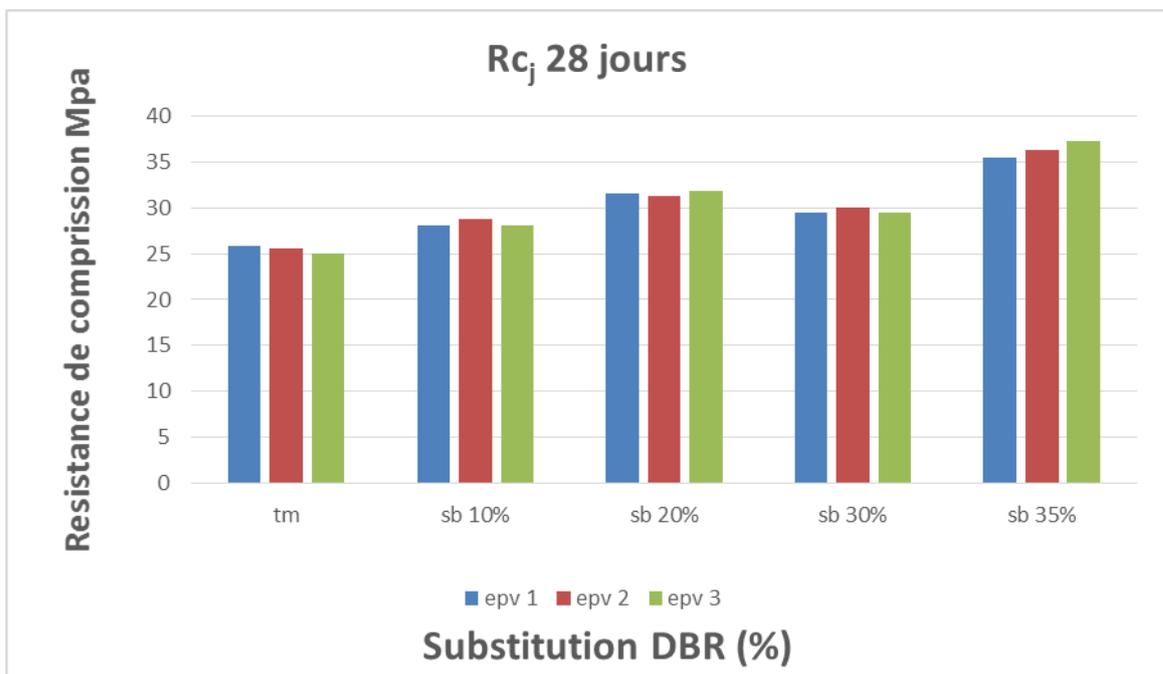


Figure IV.12 : Variation de la résistance en traction par flexion en fonction du taux de substitution a 28 jours

IV.8 Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté les résultats des différents essais effectués sur le matériau utilisé pour la préparation des mortiers, ainsi que les résultats des essais mécaniques effectués sur les éprouvettes 4x4x16 cm. On voit que les résistances à la compression et à la flexion 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. et l'utilisation des granulats de déchets de brique avec différent pourcentage pour substituer le sable donne un résultat acceptable.

Conclusion Générale et perspective

Les travaux de recherche dans ce domaine sont encore peu avancés car ils demandent un investissement important, mais ils s'inscrivent dans une véritable volonté de développer des outils d'aide à la conception.

Le recyclage des déchets de briques réfractaires comme agrégats est moins coûteux et ne demande pas pour son élaboration un matériel ou des stations spéciales comme celles conçues à l'élaboration des granulats recyclés à base de déchets de démolition et de construction.

Ainsi, notre recherche bibliographique nous a permis de constater que parmi les paramètres les plus influant sur les propriétés que ce soit à l'état frais ou durci des mortiers, on retrouve les caractéristiques des granulats utilisés.

Les granulats de substitution ont été caractérisés par leur granulométrie, leur masse volumique et spécifique leur nature minéralogique.

Les résistances en compression et en traction obtenus ce donnent une amélioration des mortiers à base de déchets de brique par à port au mortier ordinaire témoin

Enfin les déchets des briques et autres maçonneries en terre cuite broyée peuvent également être utilisés comme agrégat dans le mortier ordinaire, le matériau broyé remplace les autres matières premières telles que le sable ou le gravier.

Les résistances mécaniques du mortier varient en fonction de la densité du déchet de brique réfractaire. Donc plus ce dernier est dense, plus les performances mécaniques du mortier augmentent.

Les résultats de cette étude contribuent à l'amélioration du comportement mécanique des mortiers à base de déchets de briques une augmentation de la résistance à la compression et à la traction remarquable pour le mortier Sb30% par à port au mortier ordinaire témoin.

Perspectives :

Parmi les thèmes portant sur l'amélioration de la résistance à la compression du béton et du mortier, une autre étude semble intéressante sur le comportement des bétons et des mortiers à base des déchets de brique dans le milieu chimiquement agressif.

Une autre étude c'est de faire une substitution de ciment par les granulats en déchets de brique c'est un thème qui mérite d'être étudié

Une autre étude semble intéressante sur l'amélioration de la résistance à la compression du béton hydraulique à base des déchets de brique.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIE

- [1] Ghomari Fouad. Science des matériaux de construction .2011/2012.disponible sur :
<http://fsi.univtlemcen.dz/cours/granulats.pdf>
- [2] Cimbéton. Les constituants des bétons et des mortiers .tome 1, chapitre 1.paris.
Septembre
2005. Disponible sur :
<http://www.infociments.fr/telecharger/CT-G10.pdf>
- [3] Haifi Mohamed Redha .formulation des bétons autoplaçant, mémoire de magister en
génie civil, université de mentouri, Constantine .2011.
- [4] Belhocin aida, Nagoudi nadjia .étude expérimentale d'un mortier avec les ajouts
minéraux, mémoire de master en génie civil, université Kasdi Merbah, Ouargla. 2014.
- [5] George Dreux .nouveau guide du béton ,3 ème édition .Edition Eyrolles .paris.1981.
- [6] Véronique Baroghel-Bouny. Caractérisation microstructurale et hydrique des pâtes de
ciment et des bétons ordinaires et à très hautes Performances.2010.
- [7] Amouri chahinaz .contribution à l'étude de l'influence des différents ajouts sur les
propriétés des matrices cimentaire (caractérisation, performance, durabilité), thèse de
doctorat en science en génie civil, Université Mentouri, Constantine.2009.
- [8] Cimbéton. Guide de prescription du ciment pour des constructions durables. Paris.
Octobre 2009 .disponible sur :
<http://www.infociments.fr/telecharger/CT-T47.pdf>
- [9] Holcim. Guide pratique du béton : concevoir et mettre en œuvre des bétons durables.
Suisse.2009. Disponible sur :
http://www.holcim.ch/fileadmin/templates/CH/doc/.../Guide_pratique_f.pdf
- [10] Iméne Joudi-bahri .influence des sables fillérisés calcaires sur les propriétés des
bétons courants et super plastifiés, thèse de doctorat, université lorraine France. 2012.
- [11] Boutiba Aldjia .accélération du durcissement par énergies renouvelables du béton frais
et caractérisation du béton durci, thèse de magistère.
- [12] Barakat A. cour matériaux de carrière et de construction disponible sur :
http://www.fstbm.ac.ma/newfstv08/support/cours_matx.pdf
- [13] Touzouti kamilia .introduction aux nano ciments et nano béton, mémoire de
magistère, université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou .2012.
- [14] Ismail Yurtdas. Couplage comportement mécanique et dessiccation des matériaux à
matrice cimentaire : étude expérimentale sur mortiers, thèse de doctorat de l'université des
sciences et technologies de Lille et de l'école centrale de Lille. 2003.

Bibliographie

- [15] Miche Adam. Guide pratique pour l'emploi des ciments. Édition Eyrolles. Paris .1985.
- [16] R.DUPAIN, R.LANCHON, J-C.SAINT-ARROMAN «Granulat, sols, ciment et béton» Edition CASTEILLA-PARIS-2004.
- [17] Cimbéton. Les bétons : formulation, fabrication et mise en œuvre, tome II. Paris, éditeur : cimbéton .octobre 2006.disponible sur :
www.infociments.fr/telecharger/CT-G11.pdf
- [18] Eau de gâchage et adjuvants .chapitre 3. Disponible sur :
<http://ensh.dz/files/Cours/1011/Mat%C3%A9riaux%20de%20construction/Eau%20et%20a%20dj>
- [19] Bellehrece abdelhamid, bouhnouchemeddah. « Contribution à l'étude du comportement des BHP sous hautes température étude comparative ». (Mémoire de master présenté à l'université de Tiaret, 11 juin 2013)
- [20] Les mortiers et coulis – généralités :
<http://www.infociments.fr/ciments-chaux-hydrauliques/caracteristiques-applications/mortiers/mortiers-coulis>
- [21] Vu approuvé par décision ministérielle N°51-626 Luxembourg le 26 -09- 1975 le ministre des travaux « S .jean hamillius »
- [22] L'environnement mis à profit :
« Production et consommation. www.labelinfo.ch »
- [23] Mon-immeuble :
« Les déchets du bâtiment et des travaux publiques.www.monimmeuble.com »
- [24] Article de Wikipédia :
L'encyclopédie libre : <http://fr.wikipedia.org/wiki/recyclage>
- [25] Queband.M, Courtial.M & Buyle-Bodin.F:
«Le recyclage des matériaux de Démolition. Matériaux et structure » Travaux, n°721, juin 1996, PP.65-72.
- [26] Bauchard.M & Joubert.JP :
« Utilisation en technique routière de granulats provenant du concassage de béton de démolition. LCPC », Nice, n° 134 ? Novembre – Décembre 1984, PP. 53-57.
- [27] L'environnement mis à profit :
Production et consommation. www.labelinfo.ch
- [28] HARBL.R., 2009 :
« Comportement mécanique et durabilité des mortiers à base de déchets de briques ».
- [29] WILD.S, GAILUIS.A, SZWABOWSKI.J, and H.HANSEN :

Bibliographie

« Water clay brick – A European of its effectiveness as a cement replacement materiel. Exploiting wastes in concrete. Proceedings of the international seminar held in Dundee 1999».

[30] L.ALVISET :

« Technique de l'ingénieur : Matériaux de terre cuite. C905 », Mai 1987.

[31] A.JOURDIN :

« La technologie des produits céramique réfractaires », Paris Gauthier-Villard. p315-329, 1966.

[32] Bedjou.S :

« Etude du recyclage de débris de briques ». Thèse de Magister. ENP (2003).

[33] F.H. Wittman. On the action of capillary pressure in fresh concrete .cement and concrete research, vol.6 n° 1, 1976, pages 49-56

[34] TEMPS DE PRISE Préparé Par : M. GHOMARI F. & Mme BENDI-OUIS A.
SCIENCE DES MATERIAUX DE CONSTRUCTION Travaux pratiques ANNEE
UNIVERSITAIRE 2007 – 2008

[35] Ghomari F. & Bendi-Ouis A, «science des matériaux de construction Travaux pratiques »

[36] Norme française, « Analyse granulométrique par tamisage», NF P 18-560, Septembre 1990).

[37] DUPAIN. R, LANCHON. R, J. C. SAINT ARROMAN « granulats, sols, ciments et bétons – caractérisation des matériaux de génie civil par les essais de laboratoire », Edition Casteilla – 25, ruerouge-75005 Paris 1995

[38] Norme française, « Équivalent de sable », NF P 18-598, Octobre 1991

[39] NF EN 1008 :

Eau de gâchage pour mortier, spécifications d'échantonnage, d'essai et d'évaluation de l'aptitude à l'emploi

[40] NF P 15-413

Moules pour éprouvette prismatique et accessoires)

[41] NF P 15-411

La procédure de malaxage de béton

[42] Bekkai Khadidja, Guelmouna Karima « valorisation du Métakaolin de la région de Saoura pour la formulation d'un béton hydraulique » Département de génie civil, promotion.