

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Mémoire de Master

Présenté à l'Université 8 Mai 1945 de Guelma

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de : Génie Civil & Hydraulique

Spécialité : Génie Civil

Option : STRUCTURES

Présenté par : BRAHMIA Soundess

**Thème : Etat de l'art sur la valorisation d'un déchet dans
les matériaux cimentaires (Cas déchet de brique)**

Sous la direction de : Dr. KECHKAR Chiraz

Juin 2023

Remerciements

Tout d'abord, je tiens à remercier tout d'abord Dieu, le tout puissant et miséricordieux, qui nous a donné la foi, la force et la patience d'accomplir ce modeste travail, ainsi que la volonté et le courage, pour atteindre cette étape importante de notre vie.

J'exprime toutes mes reconnaissances et gratitude Madame Kechkar Chiraz, en tant que promoteur de mémoire, pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter ma réflexion.

Je remercie sincèrement à tout le personnel du bureau d'étude SIGMA pour leur accueil chaleureux, leur soutien, et leur gentillesse.

Je désire aussi remercier les professeurs de la Faculté des sciences et de la technologie, qui m'ont fourni les outils nécessaires à la réussite de mes études universitaires.

Mes remerciements d'associent de la même manière aux membres de jury qui ont bien voulu examiner ce modeste travail.

Enfin, j'exprime mes plus vifs et sincères remerciements à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à l'aboutissement de ce mémoire.

Dédicaces

Je dédie ce mémoire

A ma très chère mère

Et mon très cher papa

Vous avez toujours été à mes côtés pour me soutenir et m'encourager.

Que ce travail traduit ma gratitude et mon affection.

*A mes frères et ma sœur, mes grands-parents et Ceux qui ont partagé avec moi
tous les*

Moments d'émotion lors de la réalisation de ce travail.

Ils m'ont Chaleureusement

Supporté et encouragé tout au long de mon parcours.

A ma famille, mes proches et à ceux qui me donnent de l'amour et de la vivacité.

*A tous mes amies qui m'ont toujours encouragé, et à qui je souhaite plus de
succès.*

A tous ceux que j'aime.

Merci !

RESUME

Au cours de ces dernières années, la demande en ciment et en granulats est de plus en plus accrue pour répondre aux besoins des grands chantiers mis en œuvre. Avec l'interdiction de l'extraction des matériaux alluvionnaires, l'épuisement de certains gisements naturels de granulats et dans le but de protéger l'environnement, la recherche de nouvelles sources d'approvisionnement en ciment et en granulats est imposé.

Le recyclage et la valorisation des déchets sont devenus aujourd'hui la bonne solution qui peut offrir de nouvelles ressources renouvelables et durables qui contribuent dans le processus de la construction dans le domaine de génie civil et ainsi pour protéger l'environnement.

Ce mémoire s'inscrit dans ce contexte, il consiste à un travail de recherche bibliographique, réunissant des études réalisées sur la valorisation de déchet de brique dans les matériaux cimentaires, et leur influence sur les propriétés et les performances de ces matériaux.

Mots-clés: matériaux cimentaires –valorisation - déchets - brique –ciment –granulat.

ABSTRACT

Over the past few years, the demand for cement and aggregates has been increasing to meet the needs of large construction projects. With the prohibition of alluvial material extraction, the depletion of certain natural aggregate deposits, and the aim of protecting the environment, the search for new sources of cement and aggregates supply has become necessary.

Recycling and recovery of waste have now become the viable solution that can offer new renewable and sustainable resources, which contribute to the construction process in the civil engineering field and help protect the environment.

This thesis is aligned with this context, and it consists of a bibliographic research work, bringing together studies conducted on the recovery of brick waste in cementitious materials, and their influence on the properties and performances of them.

Key words: Cementitious materials - valorization - waste - brick - cement –aggregate.

ملخص

في هذه السنوات الأخيرة ازداد الطلب على الأسمنت والركام من أجل تلبية إحتياجات مشاريع البناء الكبيرة التي تم تنفيذها. مع حظر إستخراج المواد الغرينية، وإستنزاف بعض المواقع الطبيعية للركام، ومن حماية البيئة، أصبح من الضروري البحث عن مصادر جديدة لإسمنت والركام.

إعادة التدوير النفايات أصبح اليوم أفضل الحلول التي بإمكانها أن تمنح مصادر جديدة و متجددة و ذات أمد طويل والتي لها تأثير مباشر على مصار البناء في مجال الهندسة المدنية وتساعد في حماية البيئة.

هذه المذكرة جزء من هذا السياق، و التي تندرج ضمن البحث بيبليوغرافي الشاملة العديد من الدراسات حول إعادة و إعطاء قيمة لنفايات الطوب من خلال إستعمالها كبديل لمواد البناء الإسمنتية ومد تأثيرها على خصائص و أداء هذه المواد.

الكلمات الرئيسية: مواد الاسمنتية - تثمين - نفايات - طوب - إسمنت - ركام.

SOMMAIRE

Résumé	I
Abstract	II
ملخص	III
Sommaire	IV
Liste des figures	IX
Liste des tableaux	XIV
Introduction générale	1

Chapitre I : RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

PATRIE 1 :

GENERALITES SUR LES MATERIAUX

CIMENTAIRES

I. INTRODUCTION	3
II. LES MATERIAUX CIMENTAIRES	3
II.1. LE BETON	4
II.1.1. Les Avantages du béton	4
II.1.2. Inconvénients du béton	4
II.1.3. Classification du béton	5
II.1.4. Les différents types de béton	5
II.2. LE MORTIER	6
II.2.1. Les différents types de mortier	7
II.2.2. Caractéristiques des mortiers	7

II.2.3. Classification des mortiers	8
III. CONSTITUANTS PRINCIPAUX DES MATERIAUX CIMENTAIRES	8
III.1. LES CIMENTS	9
III.1.1. Définition	9
III.1.2. Processus de fabrication du ciment	10
III.1.3. Classification des ciments en fonction de leur composition	10
III.1.4. Impact de la fabrication du ciment sur l'environnement	11
III.2. LES GRANULATS	12
III.2.1. Définition	12
III.2.2. Classification des granulats	13
III.2.3. Différents types de granulats	13
III.3. L'EAU DE GACHAGE	14
III.3.1. Définition	14
III.3.2. Caractéristique de l'eau de gâchage	14
III.4. LES ADJUVANTS	15
PARTIE 2 :	
GENERALITES SUR LES DECHETS	
I. LES DECHETS	16
I.1. Définition des déchets	16
I.2. Différents types de déchets	16
I.2.1. Déchets ménagers et assimilés	16

I.2.2. Déchets ultimes	17
I.2.3. Déchets dangereux	18
I.2.4. Les déchets industriels banals (DIB)	18
I.2.5. Déchets inertes	19
II.3. La gestion des déchets	19
II.3.3. Technique de gestion des déchets	20
II.3.3.1. Décharge	20
II.3.3.2. Incinération	20
II.3.3.3. Compost et fermentation	20
III. DECHETS GENERES PAR LE MATERIAUX DE CONSTRUCTIONS	21
III.1. Ciment durci	21
III.2. Béton récupéré	22
III.3. Déchets de production de l'industrie du béton	22
III.4. Déchets de Carrelage	23
III.5. Déchets de briques	23
IV. LA BRIQUE	24
IV.1. Définition de brique	24
IV.2. Types de briques	24
IV.3. Fabrication de brique	28
IV. CONCLUSION	29
LES REFERENCES	30

CHAPITRE II :	
VALORISATION DE DECHET DE BRIQUES COMME AJOUT DANS LES MATERIAUX CIMENTAIRES	
I. INTRODUCTION	33
II. VALORISATION DU DECHET DES BRIQUES DANS LES MATERIAUX CIMENTAIRES COMME AJOUT CIMENTAIRES	33
II.1. Influence du déchet de brique finement broyé sur les propriétés à l'état frais des matériaux cimentaires	33
II.1.1. La masse volumique	33
II.1.2. L'ouvrabilité	37
II.2. Influence du déchet de brique finement broyé sur les propriétés à l'état durci des matériaux cimentaires	40
II.2.1. La masse volumique a l'Etat durci	40
II.2.2. La résistance à la compression	42
II.2.3. La résistance à la traction par flexion	47
III. SYNTHESE SUR LES TRAVAUX ETUDIES	51
III.1. Influence du déchet de brique finement broyé sur les propriétés à l'état frais des matériaux cimentaires	51
II.1.1. La masse volumique	51
II.1.2. L'ouvrabilité	52
III.2. Influence du déchet de brique finement broyé sur les propriétés à l'état durci des matériaux cimentaires	53
II.2.1. La masse volumique a l'Etat durci	53
II.2.2. La résistance à la compression	54
II.2.3. La résistance à la traction par flexion	55
IV. CONCLUSION	56

LES REFERENCES	57
CHAPITRE III : VALORISATION DE DECHET DE BRIQUES COMME GRANULAT DANS LES MATERIAUX CIMENTAIRES	
I.INTRODUCTION	58
II. QUELQUES ETUDES REALISES SUR LA SUBSTITUTION PARTIEL DE LA FRACTION GRANULAIRE PAR LE DECHET DE BRIQUES	58
II.1 Résistance à la compression	58
II.2. Résistance à la traction	67
III. SYNTHESE SUR LES TRAVAUX ETUDIES	73
III.1. Substitution d'une partie du granulats fin (sable)	73
III.1.1. Dans le mortier	73
III.1.2. Dans le béton	75
III.2. Substitution d'une partie du gros granulats (gravier)	77
III.3. Substitution d'une partie du squelette granulaire (sable + gravier)	79
IV. CONCLUSION LES REFERENCES	82
LES REFERENCES	82

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE I : RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

PARTIE 1 :

GENERALITES SUR LES MATERIAUX

CIMENTAIRES

Figure I.1 : Constituant des matériaux cimentaires (béton et mortier).	9
Figure I.2 : Le béton (a) et le mortier (b) à l'état frais.	9
Figure I.3 : Procédé de fabrication du ciment	10
Figure I.4 : Fumée dégagée par la cimenterie de Zahana, Mascara.	11

PARTIE 2 :

GENERALITES SUR LES DECHETS

Figure I.5 : Les déchets ménagers et assimilés.	17
Figure I.6 : Les déchets ultimes.	17
Figure I.7 : Ciment durci.	21
Figure I.8 : Béton récupéré.	22
Figure I.9 : Industrie du béton.	23
Figure I.10 : Déchets de Carrelage.	23
Figure I.11 : Brique creuse classique.	24
Figure I.12 : Brique alvéolaire.	25
Figure I.13 : Brique pleine.	26
Figure I.14 : Brique réfractaire.	26
Figure I.15 : Brique mono mur.	27
Figure I.16 : Brique parement.	27

CHAPITRE II : VALORISATION DE DECHET DE BRIQUES COMME AJOUT DANS LES MATERIAUX CIMENTAIRES

Figure II.1 : Résultats de l'essai de la masse volumique à l'état frais.	34
Figure II.2 : Variation de la masse volumique à l'état frais.	35
Figure II.3 : Variation de la masse volumique des BHP en fonction du taux de substitution.	36
Figure II.4 : Masses volumiques des bétons.	36
Figure II.5 : Variation de la masse volumique à l'état frais en fonction du taux de substitution.	37
Figure II.6 : Résultat de l'essai d'étalement.	38
Figure II.7 : Résultat de l'essai d'affaissement.	39
Figure II.8 : Variation de l'étalement en fonction du taux de substitution De la poudre de brique.	39
Figure II.9 : Résultats des masses volumiques des différentes variantes.	40
Figure II.10 : Résultats des masses volumiques des différentes variantes à 7 jours et 28jours.	41
Figure II.11 : Résultats des masses volumiques des différentes variantes à 7 jours et 28jours.	42
Figure II.12 : Variation de la résistance à la compression en fonction du taux de substitution l'Age 14 jours et 28 jours.	43
Figure II.13 : Evolution de la résistance de compression à 7j et 28j dans l'eau.	43
Figure II.14 : Variation de la résistance à la compression des BHP en fonction du taux de substitution.	44
Figure II.15 : Variation de la résistance à la compression en fonction du taux de substitution à différentes âges.	45
Figure II.16 : Evolution de la résistance à la compression des différents types de béton.	45
Figure II.17 : Variation de la résistance à la compression par rapport aux taux de substitution à différents âges.	46
Figure II.18 : Variation de la résistance à la compression à 28 jours en fonction du taux de substitution.	47
Figure II.19 : Résultats des essais de traction par flexion des différentes variantes.	48
Figure II.20 : Evolution de la résistance en traction par flexion à 7j et 28j dans l'eau.	48
Figure II.21 : Résistance en traction par flexion des BHP.	49
Figure II.22 : Variation de la résistance à la traction par flexion à 7 jours (a) et 28jours (b)	50
Figure II.23 : Variation de la résistance à la traction par flexion à 28 jours.	51
Figure II.24 : Résultats des masses volumiques à l'état frais des différentes des matériaux cimentaires.	52
Figure II.25 : Résultats de l'essai d'ouvrabilité pour les 4 études comparés.	53

Figure II.26 : Résultats des masses volumiques à l'état durci pour les 3 études comparés en fonction du taux de substitution.	53
Figure II.27 : Résistance à la compression à 7 jours les 4 études comparés.	54
Figure II.28 : Résistance à la compression à 28 jours les 7 études comparés.	55
Figure II.29 : Résistance à la traction par flexion à 28 jours les 5 études comparés.	56
CHAPITRE III : VALORISATION DE DECHET DE BRIQUES COMME GRANULAT DANS LES MATERIAUX CIMENTAIRES	
Figure III.1 : Résistances à la compression à 28 jours des mortiers.	59
Figure III.2 : Influence du taux de substitution sur la résistance en compression des mortiers à base de déchets de briques.	60
Figure III.3 : Influence de l'incorporation de déchet de briques sur la résistance à la compression.	60
Figure III.4 : Variation de la résistance à la compression du béton à différentes âges.	61
Figure III.5 : Variation de la résistance à la compression du béton à différentes âges en fonction du taux de substitution du sable nature par un sable de déchets de brique.	62
Figure III.6 : Variation de la résistance à la compression du béton à différentes âges en fonction du taux de substitution du gravier nature par un gravier de déchets de brique.	62
Figure III.7 : Variation de la résistance à la compression du béton à différentes âges en fonction du taux de substitution des granulats (sable + gravier) nature par des granulats naturels ((sable + gravier) de déchets de brique.	63
Figure III.8 : Variation de la résistance à la compression des blocs de béton (parpaing) en fonction du taux de substitution.	63
Figure III.9 : Variation de la résistance à la compression du béton à différentes âges en fonction du taux de substitution (cas du sable).	64
Figure III.10 : Variation de la résistance à la compression du béton à différentes âges en fonction du taux de substitution du gravier.	65
Figure III.11 : Variation de la résistance à la compression du béton à différentes âges en fonction du taux de substitution des granulats.	65
Figure III.12 : Variation de la résistance à la compression du béton à 28 jours en fonction du taux de substitution du gravier.	66
Figure III.13 : Variation de la résistance à la compression en fonction du taux de remplacement du gravier par le gravier de déchet de brique.	66
Figure III.14 : Évolution de la résistance à la compression du béton de brique en fonction de son âge.	67

Figure III.15 : Histogramme des Résistances à la traction par flexion à 28 jours des mortiers étudiés.	68
Figure III.16 : Influence du taux de substitution sur la résistance en Traction des mortiers à base de déchets de briques.	68
Figure III.17 : Influence de l'incorporation de déchet de briques sur la résistance à la traction par flexion.	69
Figure III.18 : Variation de la résistance à la traction par flexion en fonction du taux de substitution en sable de déchet de briques.	69
Figure III.19 : Variation de la résistance à la traction par fendage en fonction du taux de substitution en sable de déchet de briques.	70
Figure III.20 : Résistance à la traction par fendage à 28 jours de durcissement.	70
Figure III.21 : La relation entre la résistance à la compression et la résistance à la traction par fendage à 28 jours.	72
Figure III.22 : Variation de la résistance à la traction par fendage en fonction des taux de remplacement.	72
Figure III.23 : Résistances à la traction par fendage du béton de brique en fonction de son âge.	73
Figure III.24 : Variation de la résistance à la compression des mortiers en fonction du taux de substitution du sable par le déchet de briques à l'âge de 7 jours (a) et 28 jours (b).	74
Figure III.25 : Variation de la résistance à la traction par flexion des mortiers en fonction du taux de substitution du sable par le déchet de briques à l'âge de 7 jours (a) et 28 jours (b).	75
Figure III.26 : Variation de la résistance à la compression des bétons en fonction du taux de substitution du sable par le déchet de briques à l'âge de 7 jours (a) et 28 jours (b).	76
Figure III.27 : Variation de la résistance à la compression des bétons en fonction du taux de substitution du sable par le déchet de briques à l'âge de 7 jours (a) et 28 jours (b).	76
Figure III.28 : Variation de la résistance à la traction par fendage des bétons en fonction du taux de substitution du sable par le déchet de briques à l'âge de 28 jours.	77
Figure III.29 : Variation de la résistance à la compression des bétons en fonction du taux de substitution du gravier par le déchet de briques à l'âge de 7 jours (a) et 28 jours (b).	78
Figure III.30 : Variation de la résistance à la traction par fendage des bétons en fonction du taux de substitution du gravier par le déchet de briques à l'âge de 28 jours.	79
Figure III.31 : Variation de la résistance à la compression des bétons en fonction du taux de substitution des granulats (sable + gravier) par le déchet de briques.	79

à l'âge de 7 jours (a) et 28 jours (b).

Figure III.32 : Variation de la résistance à la traction par fendage des bétons en fonction du taux de substitution des granulats (sable + gravier) par le déchet debriques à l'âge de 28 jours.

80

LISTE DES TABLEAUX

**CHAPITRE II : VALORISATION DE DECHET DE BRIQUES COMME
AJOUT DANS LES MATERIAUX CIMENTAIRES**

Tableau II.1 : Résultats des masses volumiques à l'état frais.	34
Tableau II.2 : Valeurs de la masse volumique à l'état frais.	35
Tableau II.3 : Résultats des essais réalisés sur BHP (Affaissement).	38
Tableau II.4 : Valeurs de la masse volumique à l'état durci.	40
Tableau II.5 : Résultats des essais de la résistance à la compression à l'âge 14 et 28 jours.	42
Tableau II.6 : Résultats des essais de résistance à la traction par flexion.	47
Tableau II.7 : Résistance à la flexion.	50
Tableau II.8 : Valeurs de la masse volumique des matériaux ciment et déchet de brique.	52

**CHAPITRE III : VALORISATION DE DECHET DE BRIQUES COMME
GRANULAT DANS LES MATERIAUX CIMENTAIRES**

Figure III.1 : Variation de la résistance à la traction par flexion en fonction du taux de substitution en déchet de briques.	71
--	----

INTRODUCTION
GÉNÉRALE

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.

En Algérie, la totalité de la production du mortier et du béton dans le bâtiment et les travaux publics est composée essentiellement des matériaux d'origines naturelles. Les contraintes liées à la croissance de la demande pour ce type de matériaux, nécessitent le recours à d'autres alternatives que les matériaux naturels.

Par ailleurs, l'accumulation des déchets est devenue de plus en plus incontrôlable et occupant un espace public, non négligeable, a mis en lumière l'utilisation de ces matériaux dans plusieurs usages, à savoir , des applications dans le domaine de la construction, permettant à la fois, de préserver les ressources naturelles et d'améliorer les performances et la durabilité des composites cimentaires, sans oublier la protection de l'environnement.

Parmi ces déchets on a le déchet de briques, qui peuvent être concassés et utilisés comme granulats pour la fabrication des matériaux cimentaires ou broyés et utilisés comme ajout dans les ciments.

Historiquement l'usage de brique concassée comme granulats dans le béton n'est pas nouveau, Le premier usage marqué de brique concassée avec le ciment portland était en Allemagne en 1860 pour la fabrication de produits en béton.

Ce mémoire s'inscrit dans ce contexte, il consiste à un travail de recherche bibliographique, réunissant des études réalisées sur la valorisation de déchet de brique dans les matériaux cimentaires, et leur influence sur les propriétés et les performances de ces matériaux.

Ce mémoire commence par une introduction générale, et se subdivise en trois chapitres structurés comme suit :

➤ Le premier chapitre présente une synthèse bibliographique sur les matériaux cimentaires, les différents types des déchets et leurs gestions, les déchets recyclés dans le domaine du Génie civil pour l'élaboration des bétons et mortiers on se base sur le déchet de briques rouges.

➤ Le deuxième chapitre présente les résultats de quelques études ultérieures obtenues à partir des essais élaborés par certains chercheurs sur l'effet de l'incorporation des déchets de brique comme ajout cimentaires sur les performances des bétons et des mortiers.

➤ Le troisième chapitre présente les résultats de quelques recherches qui ont étudiés l'influence de la substitution d'une partie des granulats par le déchet de briques sur les propriétés mécaniques des matériaux cimentaires.

Nous terminerons ce mémoire par une conclusion générale.

CHAPITRE I :
RECHERCHE
BIBLIOGRAPHIQUE

PARTIE 1 :
GENERALITES SUR LES MATERIAUX
CIMENTAIRES

I. INTRODUCTION :

Les matériaux de construction sont considérés comme tous les matériaux utilisés pour la réalisation des ouvrages en béton armé ou en constructions métallique, ainsi qui sont largement utilisés dans le domaine de travaux publics (Route, ponts, aérodrome etc.) [1].

II. LES MATERIAUX CIMENTAIRES :

Les matériaux à base de ciment sont des géo suspensions à haute concentration volumique de particules solides (grains). Ces particules solides ont des morphologies et des origines minéralogiques déférentes, ce qui définit ces matériaux comme étant des matériaux composites [2].

Les matériaux cimentaires sont les matériaux les plus utilisés au monde. Ce sont essentiellement eux qui façonnent notre environnement. Voies de circulation, ouvrages d'art et d'assainissement, bâtiments de toute nature, édifices historiques, rien n'échappe à leur omniprésence. [3].

Ces dernières années en Algérie, les matériaux cimentaires : mortiers et les bétons ont connu un essor important dans de divers domaine sa 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 [4].

II.1. LE BETON :

Le béton est un matériau composite aggloméré constitué de granulats durs de diverses dimensions collés entre eux par un liant. Dans les bétons courants, les granulats sont des grains de pierre, sable, gravier, cailloux et le liant est un ciment, généralement un ciment portland. Les composants sont très différents : leurs masses volumiques vont, dans les bétons courants de 1 (eau) à 3 (ciment) t/m³ Si le type de liant utilisé n'est pas un ciment, on parle alors, selon le liant utilisé, de béton de résine, de béton d'hydrocarboné, de béton d'argile, etc [5].

II.1.1. Les Avantages du béton :

- Se moule, épouse toutes les formes, des plus massives aux plus délicates
- Peu couteux, facile à fabriquer, peu d'entretien
- Devient solide comme de la pierre
- Résiste bien au feu et aux actions mécaniques habituelles.

Associé à l'acier, il offre des possibilités de constructions très vastes [6].

II.1.2. Inconvénients du béton :

Les principaux inconvénients du béton ont pu être éliminés grâce à son association à des armatures en acier ou à l'utilisation de la précontrainte. De toutes façons, il reste les quelques inconvénients suivants :

- Faible résistance à la traction.
- Son poids propre élevé (densité de 2,4 environ qui peut être réduite à 1,8 dans le cas de bétons légers de structure).
- Sa faible isolation thermique (elle peut être facilement améliorée en ajoutant une couche de produit isolant ou en utilisant des bétons légers spéciaux).
- Le coût élevé entraîné par la destruction du béton en cas de modification d'un ouvrage [6].

II.1.3. Classification du béton :

Le béton fait partie de notre cadre de vie. Il a mérité sa place par sa caractéristique de résistance, ses propriétés en matière thermique, sa résistance au feu, son isolation phonique, son aptitude au vieillissement, ainsi que par la diversité qu'il permet dans les formes, les couleurs et les aspects. Le béton utilisé dans le bâtiment, ainsi que dans les travaux publics comprend plusieurs catégories.

En général le béton peut être classé en 4 groupes, selon la masse volumique :

- Béton très lourd : $> 2500 \text{ kg/m}^3$.
- Béton lourd (béton courant) : $1800 - 2500 \text{ kg/m}^3$.
- Béton léger : $500 - 1800 \text{ kg/m}^3$.
- Béton très léger : $< 500 \text{ kg/m}^3$ [7].

II.1.4. Les différents types de béton :

a) Béton armé :

Le béton possède une grande résistance à la compression et une faible résistance à la traction. C'est pourquoi son utilisation comme matériau de construction, ne s'est véritablement développée qu'avec l'invention du béton armé. Actuellement le béton armé est le matériau le plus utilisé dans le domaine du bâtiment et du génie civil [8].

b) Béton prêt à l'emploi :

Ce béton est directement conçu par les industriels dans leurs centrales à béton. Il est ensuite transporté à l'aide d'un camion toupie et directement transféré sur les chantiers clients. Une fois sur place, le béton prêt à l'emploi est appliqué par le camion toupie, soit par la pompe à béton, soit par la goulotte [9].

c) Béton précontraint :

Un béton ayant la particularité de rester dans un état de compression optimal. Cet état de compression permet au béton d'être utilisé dans les meilleures conditions, ce qui favorise une meilleure finition [9].

d) Béton fibré :

Le béton fibré est un béton dans lequel sont incorporées des fibres synthétiques ou métalliques. Comme pour le béton armé, les fibres renforcent le béton. Il permet une plus grande rapidité et une plus grande facilité de mise en œuvre du fait de la suppression de la mise en place du ferrailage et une limitation de la fissuration grâce au grand nombre de fibres dispersées dans le béton. [10]

e) Béton auto plaçant (BAP) :

Un béton auto-plaçant (BAP) est un béton très fluide, homogène et stable, mis en œuvre sans vibration (la compaction des BAP s'effectuent par le seul effet gravitaire) et conférant à la structure une qualité au moins équivalente à celle correspondant aux bétons classiques mis en œuvre par vibration. [11]

f) Béton à haute performance (BHP) :

Un béton haut performances (BHP) est un béton caractérisé par une très forte résistance à la compression, puisque celle-ci est supérieure à 50 MPA à 28 jours, et des propriétés exceptionnelles à l'état frais, à court ou à long terme. Hautes performances signifient aussi facilité de mise en œuvre et souplesse d'adaptation aux contraintes d'exécution des ouvrages. Les BHP ont une porosité extrêmement réduite, plus résistants aux agents agressifs et, de façon générale, présentent une durabilité accrue [12].

II.2. LE MORTIER :

Le mortier est un matériau complexe dont les caractéristiques physico-chimique et mécaniques des divers constituants sont différentes. Composé essentiellement de sable, de ciment et d'eau de gâchage et d'adjuvants pour améliorer certaines caractéristiques ou propriétés pour faire face à des situations bien définies. Chacun de ses composants joue un rôle bien précis dans le mélange. Les mortiers sont d'usage très répandu : maçonnerie réparation, scellements enduits sols, passe de revêtements lourds...etc. en fonction de leur utilisation, leur dosage varie de façon importante. C'est le mortier qui par la qualité de sa mise en œuvre va assurer la cohésion et la bonne répartition des charges entre assises. Il assure également un rôle de colle, et lorsqu'il comble chacun des espaces entre la pierre à bâtir, il

permet de réaliser des ensembles monolithiques à la résistance variable selon la nature du mortier [13].

II.2.1. Les différents types de mortier :

❖ Les mortiers de ciment :

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

❖ 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.

❖ Les mortiers bâtards :

Ce sont les mortiers, dont le liant est le mélange de ciment et de chaux. Généralement, on utilise la chaux et le ciment par parties égales, mais des fois on prend une quantité plus ou moins grande de l'un ou l'autre suivant l'usage et la qualité recherchée [01].

❖ 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.

❖ Mortier rapide :

Il est fabriqué avec du ciment prompt, il est rapide et résistant pour les scellements [14].

II.2.2. Caractéristiques des mortiers:

Elles sont nombreuses. A savoir :

- Résister à l'écrasement en répartissant régulièrement les pressions ;
- Etre compact : pour éviter l'infiltration des eaux dans les ouvrages, et accroître la résistance mécanique;
- Etre imperméable : pour obtenir un maximum d'étanchéité des joints de maçonnerie, et des enduits ;

- Adhérer aux matériaux: pour mieux transmettre les charges, ou créer un écran durable contre les intempéries;
- Conserver un volume constant pendant la prise et le durcissement pour éviter les tassements sous les dislocations des ouvrages ;
- Résister aux agents agressifs d'un Eamon sphère ou d'un sol pollués ;
- Être ouvrable, afin que l'exécutant puisse seul mettre en place dans les meilleures conditions [15].

II.2.3. Classification des mortiers :

Généralement les mortiers servent selon leur domaine d'application, et ce dernier qui est très vaste et leurs domaines permet de citer les catégories suivantes :

- Mortier de pose ;
- Mortier de joints ;
- Mortier pour les crépis ;
- Mortier pour le sol ;
- Mortier pour les stucs ;
- Pierres artificielles ;
- Support pour les peintures murales ;
- Mortier d'injection ;
- Mortier pour les mosaïques [14].

III. CONSTITUANTS PRINCIPAUX DES MATÉRIEAUX CIMENTAIRES :

La fabrication des matériaux cimentaires nécessite deux ingrédients de base : les granulats, d'une part, qui vont constituer le squelette granulaire et représentent environ les deux tiers de ses volumes, et la pâte de ciment, d'autre part, qui va servir à coller ces granulats entre eux, l'objectif étant d'avoir un matériau moulable qui après durcissement se rapproche d'une roche naturelle. Le cas échéant, l'apport d'adjuvants, et éventuellement d'additions minérales, de fibres, permet d'obtenir telle ou telle caractéristique.

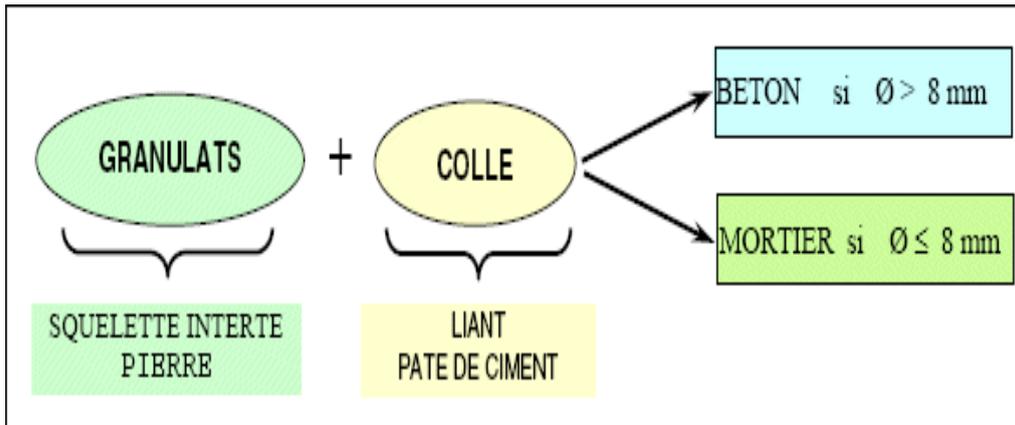


Figure I.1 : Constituant des matériaux cimentaires (béton et mortier).



(a)



(b)

Figure I.2 : le béton (a) et le mortier (b) à l'état frais.

III.1. LES CIMENTS :

III.1.1 Définition :

Le ciment est un liant hydraulique, c'est-à-dire capable de faire prise dans l'eau. Il se présente sous l'aspect d'une poudre très fine qui, mélangée avec de l'eau, forme une pâte faisant prise et durcit progressivement dans le temps.

Le constituant principal du ciment est le clinker qui est obtenu à partir de la cuisson d'un mélange approprié de calcaire (CaCO_3) et d'argile ($\text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3$), en proportion moyenne 80% et 20%, le mélange obtenu s'appelle le cru [16].

III.1.2. Processus de fabrication du ciment :

La fabrication du ciment est un processus très complexe, en effet il existe plusieurs procédés de fabrication du ciment notamment par le mode de préparation des matières premières. On distingue ainsi les procédés en voie humide où les matières premières sont mélangées à de l'eau pour faire une pulpe, procédés en voie semi-sèche où ces mêmes matières premières sont agglomérées en granules grâce à l'ajout de plus faible quantité d'eau et la voie sèche. C'est cette dernière technique que nous allons présenter car de loin la plus développée à l'heure actuelle. Elle a pour avantage de minimiser la consommation d'énergie et de d'économiser l'eau [16].

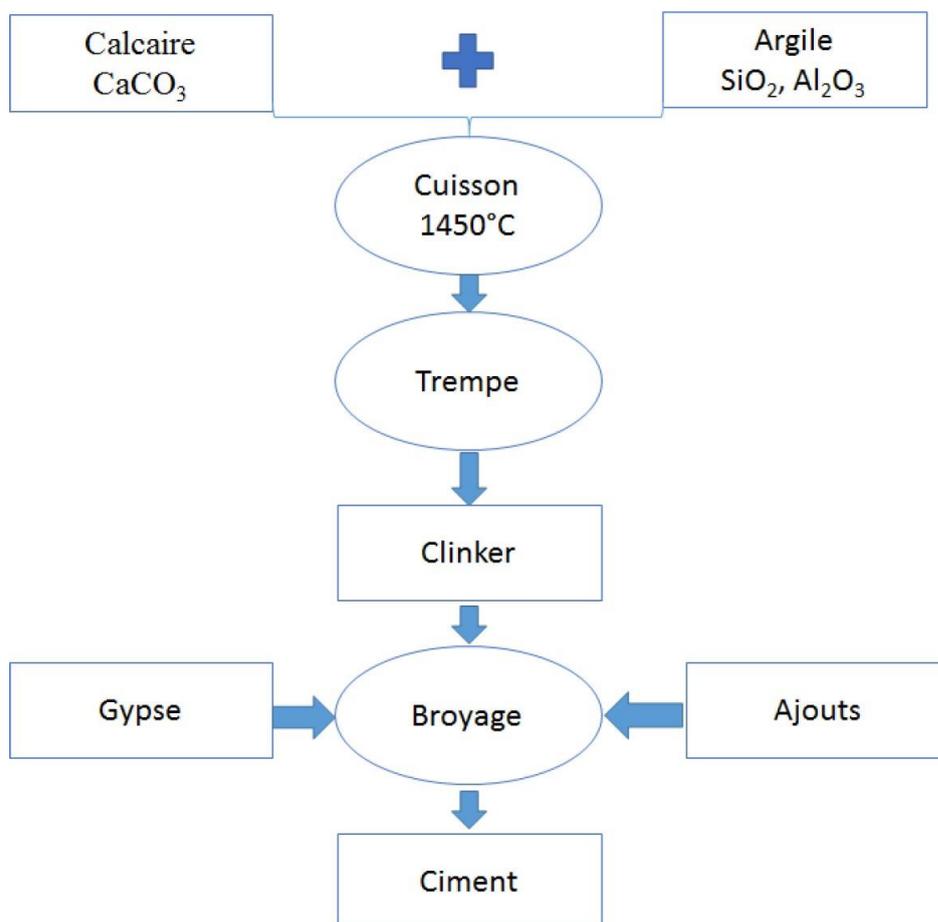


Figure I.3 : Procède de fabrication du ciment.

III.1.3. Classification des ciments en fonction de leur composition :

Les ciments constitués de clinker et des constituants secondaires sont classés en fonction de leur composition, en cinq types principaux par les normes NF P15-301 et ENV 197-1. Ils

sont notés CEM et numérotés de 1 à 5 en chiffres romains dans leur notation européenne (la notation française est indiquée entre parenthèse):

- CEM I : Ciment portland (CPA - dans la notation française),
- CEM II : Ciment portland composé (CPJ),
- CEM III : Ciment de haut fourneau (CHF),
- CEM IV : Ciment pouzzolanique (CPZ),
- CEM V : Ciment au laitier et aux cendres (CLC) [18].

III.1.4. Impact de la fabrication du ciment sur l'environnement :

Les impacts négatifs de la fabrication de ciment sont liés à la manipulation et à l'entreposage des matériaux, à leur broyage (particules) et au fonctionnement des fours et des dispositifs de refroidissement du clinker c'est-à-dire les poussières de four et les gaz de combustion contenant du monoxyde et du dioxyde de carbone, des hydrocarbures, des aldéhydes, des cétones, des oxydes de soufre et de l'azote et d'autre gaz [16]. D'une manière plus détaillée les impacts sont classés comme suit :

- ✦ **Émissions de Gaz à effet de serre** : la transformation du calcaire et de l'argile dans des fours puissants, la chaleur qui en résulte dégage d'importantes quantités de fumée de monoxyde (CO) et du dioxyde de carbone (CO₂) (Figure I-4), des hydrocarbures, des aldéhydes, des cétones, des oxydes de soufre (SO₂) et de dioxyde d'azote (NO₂).



Figure I. 4 : Fumée dégagée par la cimenterie de zahana, mascara.

- ✓ **Émissions de particules dans l'atmosphère** : en terme spécifique lors du transport de matériaux poussiéreux ou pulvérisés entre l'extraction du calcaire et le chargement et la livraison du produit fini. Les émissions de particules constituent la principale source d'effets négatifs sur l'environnement.
- ✓ **Épuisement des ressources naturelles non renouvelable** : les ressources comme le calcaire et de l'argile, leur extraction se fait par abattage ou ripage. Les carrières sont laissées ouvertes par la suite.
- ✓ **Rejets de déchets liquides** : les eaux utilisées dans la phase de refroidissement sont chargées de l'alcali et elles se sont débarrassées dans certaines usines d'une manière inappropriée.
- ✓ **Consommation énergétique** : la production du clinker nécessite une température qui peut atteindre jusqu'à 1500 C°, ceci participe au réchauffement climatique [16].

III.2. LES GRANULATS :

III.2.1. Définition :

Les granulats sont définis comme un ensemble de grains minéraux inertes, de dimensions comprises entre 0 et 125mm, destinés à la confection des mortiers, des bétons, etc.....

Les granulats sont des constituants essentiels des bétons qui conditionne à la fois leurs caractéristiques tant mécanique (résistance) que physique (densité) que leur coût [18].

III.2.2. Classification des granulats :

Les granulats sont classés en fonction de leur granularité déterminée par anal granulométrique sur des tamis de contrôle à mailles carrées dans la série normalisée.

Ils sont désignés par d et D qui représentent respectivement la plus petite et la plus grande des dimensions de l'appellation commerciale des produits.

Les intervalles d/D et $0/D$ sont également appelés classes granulaires.

- **Famille de granulats :**
- Fillers $0 / D$ où $D \leq 0.08 \text{ mm}$,
- Sables $0 / D$ où $D \leq 6.3 \text{ mm}$,
- Sablons $0 / D$ où $D \leq 1 \text{ mm}$
- Gravillons d / D où $d \geq 2 \text{ mm}$ et $D \leq 31.5 \text{ mm}$,
- Cailloux d / D où $d \geq 20 \text{ mm}$ et $D \leq 125 \text{ mm}$,
- Graves $0 / D$ où $D > 6.3 \text{ mm}$ [18].

III.2.3. Différents types de granulats :

Les granulats utilisés pour le béton soit d'origine naturelle, artificiel, soit recyclée.

a) Les granulats naturels :

On classe les granulats naturels en deux catégories :

❖ Les granulats alluvionnaires :

Dits roulés, dont la forme a été acquise par l'érosion. Ces granulats sont lavés pour éliminer les particules argileuses, nuisibles à la résistance du béton et criblés pour obtenir différentes classes de dimension. Bien qu'on puisse trouver différentes roches selon la région d'origine, les granulats utilisés pour le béton sont le plus souvent siliceux, calcaires ou silico-calcaires.

❖ Les granulats de carrière :

Sont obtenus par abattage et concassage, ce qui leurs donnent des formes angulaires. Une phase de pré criblage est indispensable à l'obtention de granulats propres.

Différentes phases de concassage aboutissent à l'obtention des classes granulaires souhaitées.

Les granulats concassés présentent des caractéristiques qui dépendent d'un grand nombre de paramètres : origine de la roche, régularité du banc, degré de concassage... La sélection de ce type de granulats devra donc être faite avec soin et après accord sur un échantillon.

b) Les granulats artificiels :**❖ Sous-produits industriels, concassés ou non**

Les plus employés sont le laitier de haut fourneau obtenus par refroidissement à l'eau. Ces granulats sont utilisés notamment dans les bétons routiers.

❖ Granulats à hautes caractéristiques élaborés industriellement

Il s'agit de granulats élaborés spécialement pour répondre à certains emplois, notamment granulats très durs pour renforcer la résistance à l'usure de dallages industriels (granulats ferreux,.....).

❖ Les granulats très légers

Ils sont d'origine aussi bien végétale et organique que minérale (bois, polystyrène expansé).

Très légers-20 à 100kg/m³. Ils permettent de réaliser des bétons de masse volumique comprise entre 300et 600 kg / m³. On voit donc leur intérêt pour les bétons d'isolation, mais également pour la réalisation d'éléments légers : blocs coffrant, blocs de remplissage, dalles, ou rechargements sur planchers peu résistants. [18]

III.3. L'EAU DE GACHAGE**III.3.1. Définition :**

L'eau de gâchage est la quantité d'eau totale ajoutée au mélange sec de béton. Leur rôle :

- Mouiller la surface des granulats, pour que la pâte de ciment puisse y adhérer.
- Permettre la réalisation de cette pâte de ciment.

Favoriser enfin la maniabilité de béton, en remplissant plus au moins les vides entre les constituants. [19]

III.3.2. Caractéristique de l'eau de gâchage :**• Caractéristique physiques :**

Les eaux naturelles ne sont pratiquement jamais pures, il faut seulement que les corps qu'elles contiennent soient en quantité suffisamment faibles pour ne créer de désordres dans la construction.

L'eau de gâchage des bétons doit être propre : ne pas contenir de matière en suspension au-delà de certaines valeurs permises.

Les tolérances réglementaires pour les matières en suspension sont les suivantes :

- 2 g/L pour les bétons à résistance mécanique élevée et les bétons à faible perméabilité.
- 5 g/L pour les bétons à résistance mécanique faible.

• **Caractéristique chimique :**

L'eau de gâchage des bétons ne doit pas contenir des sels dissous au-delà de :

- 15 g/L pour les bétons à résistance mécanique élevée et les bétons à faible perméabilité.
- 30 g/L pour les bétons à résistance mécanique faible.

Par ailleurs, il faudra veiller à ce que la proportion de certaines matières dissoutes (acides, sulfate de magnésie, etc.....) ne puisse nuire à la conservation des bétons. [19]

III.4. LES ADJUVANTS :

Produit chimique incorporé à faible dose (moins de 5% de la masse du ciment) dans le béton ou le mortier, afin de modifier certaines de ses propriétés. L'incorporation se fait soit avant, pendant le mélange, ou bien au cours d'une opération supplémentaire de malaxage.

Les adjuvants utilisés en faible proportion (moins de 5 % du poids du ciment) améliorent les propriétés du béton (béton frais ou béton durci). Ils permettent de formuler des bétons "sur mesure" aux performances adaptées à chaque ouvrage.

Certains, par exemple, rendent le béton liquide lors de sa mise en œuvre, sans pour autant réduire ses résistances mécaniques finales. Les adjuvants sont aujourd'hui pratiquement toujours utilisés pour la formulation des bétons. Ils sont classés selon leur fonction principale (retardateur de prise, entraîneur d'air, hydrofuge de masse, plastifiant, super plastifiant, plastifiant réducteur d'eau, accélérateur de prise...) [18] .

PARTIE 2 :
GENERALITES SUR LES DECHETS

I. LES DECHETS :

I.1. Définition des déchets :

Un déchet (détritus, ordure, résidu, etc.) désigne : la quantité perdue dans l'usage d'un produit, ce qui en reste après son utilisation. De nos jours, ce terme tend à désigner n'importe quel objet ou substance ayant subi une altération d'ordre physique ou chimique, ou qui ne présente plus d'utilité et le destinant à l'élimination ou au recyclage (Il est alors parfois nommé recyclât) [20].

Le déchet est défini, d'après la loi algérienne N°01-19 du 12/12/2001, comme « tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau, produit ou plus généralement tout bien meuble abandonné ou que son détenteur destine à l'abandon » [21].

I.2. Différents types de déchets :

Chaque jour, de grandes quantités de déchets sont produites dans le monde. Pour pouvoir les traiter, il est nécessaire de les classer afin de les orienter vers des filières de traitements adaptées.

I.2.1. Déchets ménagers et assimilés :

Ce sont les déchets produits par l'activité quotidienne des ménages : les ordures ménagères collectées à domicile, les encombrants collectés en déchèteries (gros électroménager, mobilier, matelas, bicyclettes...), les déchets de l'assainissement individuel (matières de vidange par exemple), les déchets d'entretien des jardins collectés en déchèteries (tontes de

pelouse, résidus d'élagage, tailles de haies...), les déchets ménagers spéciaux collectés en déchèteries (résidus de peinture et solvant, piles, produits de nettoyage...) [22].



Figure I.5: les déchets ménagers et assimilés.

I.2.2. Déchets ultimes :

Tout déchet 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 [23].

D'après les lois internationales est un déchet, résultant ou non du traitement d'un déchet, qui n'est pas susceptible d'être traité dans les conditions techniques et économiques du moment, notamment par extraction de la part valorisable ou par réduction de son caractère polluant ou dangereux [24].



Figure I.6 : Les déchets ultimes.

I.2.3. Déchets dangereux :

a) 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, ext....

b) 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 [25].

c) Déchets non dangereux des activités économiques :

Il s'agit de déchets d'entreprises qui s'apparentent, par leur nature et leur composition, aux déchets ménagers tels que les déchets liés aux activités de commerce, les déchets de construction et les déchets des services publics (école, administration, etc.). La loi considère d'ailleurs qu'ils sont « assimilables aux déchets ménagers » et peuvent ainsi être collectés et éliminés comme des déchets ménagers [26].

I.2.4. Les 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.

Les déchets non dangereux et non inertes, dits industriels banals sont de même nature que les ordures ménagères. Ce sont :

- Les bois non traités ou traités avec des produits non dangereux (emballages, coffrages, menuiseries, planchers...),
- Les plastiques en PVC, polystyrène, polypropylène (canalisations, menuiseries, revêtements de sols, emballages...),
- Les métaux ferreux et non ferreux tels que l'aluminium, le cuivre, l'acier, le zinc (toitures, matériels électriques, canalisations, équipements...),

- Les revêtements muraux et de sol textiles
- Le polystyrène expansé, le polyuréthane,
- Les produits mélangés issus de chantier de réhabilitation...
- Les peintures, vernis, colles, mastics, qui ne comprennent ni solvants organiques, ni substances dangereuses [29].

I.2.5. Déchets inertes :

Déchet qui ne subit aucune modification physique, chimique ou biologique important 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 Les bétons, les enrobés bitumeux [27].

II.3. La gestion des déchets :

La gestion des déchets regroupe la collecte, le transport, la valorisation et l'élimination des déchets généralement issus des activités humaines. L'accent a été mis, ces dernières décennies, sur la réduction de l'effet des déchets sur la nature et l'environnement et sur leur valorisation.

La gestion des déchets concerne tous les types de déchets, qu'ils soient solides, liquides ou gazeux, chacun possédant sa filière spécifique. Les manières de gérer les déchets diffèrent selon qu'on retrouve dans un pays développé ou en voie de développement, dans une ville ou dans une zone rurale, que l'on ait affaire à un particulier, un industriel ou à un commerçant [28].

II.3.3. Technique de gestion des déchets :

II.3.3.1. Décharge :

Stocker les déchets dans une décharge est la méthode la plus traditionnelle de stockage des déchets, et reste la pratique la plus courante dans la plupart des pays. Historiquement, les décharges étaient souvent établies dans des carrières, des mines ou des trous d'excavation désaffectés. Utiliser une décharge qui minimise les impacts sur l'environnement peut être une solution saine et à moindre coût pour stocker les déchets ; néanmoins une méthode plus efficace sera sans aucun doute requise lorsque les espaces libres appropriés diminueront [11].

II.3.3.2. Incinération :

C'est un procédé urbain d'élimination finale des déchets qui consiste à brûler au moyen d'un feu les déchets produits par les hôpitaux. Les procédés de l'incinération comprennent le ramassage des déchets et ordures, le triage pour dissocier les déchets combustibles et non combustibles. Elle peut être considérée comme un procédé par excellence de traitement des immondices, c'est une méthode satisfaisante qui présente cependant quelques inconvénients, parmi lesquels on peut citer :

- Elle nécessite une évacuation des cendres après son exécution,
- Elle provoque un danger de pollution de l'environnement par sa fumée,
- Elle nécessite un investissement et un coût d'exploitation élevés pour sa construction [29].

II.3.3.3. Compost et fermentation :

Les déchets organiques, comme les végétaux, les restes alimentaires, ou le papier, sont de plus en plus recyclés. Ces déchets sont déposés dans un composteur ou un digesteur pour contrôler le processus biologique de décomposition des matières organiques et tuer les agents pathogènes. Le produit organique stable qui en résulte est recyclé comme paillis ou terreau pour l'agriculture ou le jardinage.

Il y a un très large éventail de méthodes de compostage et de fermentation qui varient en complexité du simple tas de compost de végétaux à une cuve automatisée de fermentation de déchets domestiques divers. Ces méthodes de décomposition biologique se distinguent en

aérobie, comme le compost, ou anaérobie, comme les digesteurs, bien qu'existent aussi des méthodes combinant aérobie et anaérobie [11].

Le recyclage :

Etant donné que tout ce qui est brûlé est irrémédiablement perdu en tant que matière première, c'est ainsi que le recyclage, qui a pour avantage de réduire la consommation en matière première pour la fabrication de nouveau bien, permet de minimiser l'impact en environnemental des déchets. Afin que les déchets recyclables puissent être effectivement recyclés, il est nécessaire qu'un pré-tri soit effectué en amont. Cette opération a pour objectif principal d'éviter un souillage des déchets recyclables par des déchets non recyclables. En effet, ceci pourrait les rendre impropres au recyclage. D'autre part, il permet d'orienter les différents déchets vers la bonne destination.

III. QUELQUES DECHETS UTILISES DANS L'ELABORATION DES MATERIAUX CIMENTAIRES :

III.1. Ciment durci

Dans le cas où un sac de ciment est en contact avec l'eau, la poudre se cristallise. Cette recristallisation du ciment est suivie d'une réaction d'hydrolyse. Ces deux réactions sont rapides et provoquent le durcissement du ciment. Il devient inutilisable comme liant sur le chantier. Le ciment ainsi durci devient automatiquement un déchet. Il peut être concassé et utilisé comme granulats de béton. Ce déchet est produit accidentellement ou par négligence, il est donc important d'éliminer le ciment durci et d'œuvrer pour empêcher sa production [29].



Figure I.7 : ciment durci.

III.2. Béton récupéré

Il s'en suit donc que la plus grande partie des rebuts de démolition soit du béton. Par ailleurs, les sinistres fournissent des millions de tonnes de débris de béton. L'épuisement des sources courantes de granulats, les lois plus strictes relatives à la protection de l'environnement et les problèmes posés par la destruction des déchets sont tous des facteurs qui favorisent l'usage du béton récupéré. Les débris de chaussées en béton sont déjà utilisés pour la construction de la couche de fondation de nouvelles chaussées [30].



Figure I.8 : béton récupère.

III.3. Déchets de production de l'industrie du béton

Les granulats de déchets de production ont deux origines :

- 1) Les débris de béton générés tout au long des étapes de la production ; ils résultent du nettoyage des installations de fabrication et du transport du béton frais (chutes de béton); il peut également s'agir de béton provenant de gâchées non utilisées ou non utilisables.
- 2) Les produits défectueux, mal formés, partiellement cassés ou d'aspect non conforme; à ces produits défectueux s'ajoutent les produits ayant fait l'objet d'essais de résistance à la rupture [29].



Figure I.9 : industrie du béton.

III.4. Déchets de Carrelage

Le carrelage est un revêtement de sol et de mur formé de carreaux de céramique, terre cuite ou ciment, juxtaposés et collés. Il est couramment utilisé pour la finition et la décoration des sols et des murs pour les habitations et autres locaux, aussi bien à l'intérieur qu'en extérieur. Le terme désigne à l'origine l'action de poser des carreaux, puis, par métonymie, le résultat de cette action [31].



Figure I.10 : déchets de carrelage.

III.5. Déchets de briques :

Les déchets de briques sont issus de l'industrie des produits rouges. Ces produits comptent parmi les plus anciens matériaux de construction, ils sont des produits céramiques dont les argiles sont la matière première et parfois des additifs. Les briques ont généralement une forme parallélépipède rectangle.

L'industrie des produits génèrent des quantités considérables de déchets. Selon les statistiques disponibles, la quantité de rebus dans cette industrie représente environ 10% de la production globale [32].

IV. LA BRIQUE :

IV.1. Définition de brique :

Une brique est un élément de construction généralement en forme de parallélépipède rectangle constitué de terre argileuse crue, séchée au soleil (brique crue) ou cuite au four, employée principalement dans la construction de murs [34]. Ils sont des produits céramiques dont les argiles sont la matière première et parfois des additifs [33].

La brique rouge est le matériau de construction le plus utilisé dans la construction des murs en raison de leur facilité d'utilisation ; ces bonnes caractéristiques techniques et de leur adaptabilité au climat.

IV.2. Types de briques :

a) La brique creuse classique :

L'épaisseur de la brique creuse classique est d'environ 8 pouces. Ce type de matériau ne garantit pas à lui seul une isolation thermique optimale. Il faudra certainement demander au brique tuer-maçon d'ajouter une isolation extérieure supplémentaire pour conserver la chaleur au sein de votre maison [34].



Figure I.11 : brique creuse classique.

b) La brique alvéolaire :

La brique alvéolaire est plus épaisse que la classique (12 pouces environ), ce qui renforce ses propriétés isolantes. En effet, la brique alvéolaire évite les déperditions de chaleur l'hiver et garde votre maison au frais durant l'été. Elle est aussi un bon isolant phonique et empêche l'humidité de pénétrer dans vos murs. Ces atouts font de la brique creuse un matériau plus cher que le parpaing [34].



Figure I.12 : brique alvéolaire.

c) La brique pleine :

La brique pleine que l'on appelle également brique rouge, est fabriquée en terre cuite grâce à un savant mélange d'argile et de sable cuit puis séché. C'est un matériau naturel et recyclable qui offre une très bonne inertie thermique et résiste à l'eau. La chaleur accumulée pendant la journée est doucement restituée à l'intérieur du domicile. La résistance, la durabilité, les capacités d'isolation et le coût de ce type de briques en font un élément très souvent utilisé dans la construction de maisons.

Son aspect, son épaisseur et sa taille peuvent varier en fonction de la région de provenance. Il est préférable d'engager des constructeurs expérimentés, car ce type de briques requiert une certaine technique pour être posé convenablement.



Figure I.13 : brique pleine.

d) La brique réfractaire :

La brique réfractaire présente une capacité de résistance aux températures pouvant aller jusqu'à 1 700 °C. C'est pour cette raison que son utilisation est fréquente dans la construction traditionnelle de cheminées ou de fours. Elle conserve la chaleur avec une grande efficacité pour la restituer ensuite.

Son coût étant plus élevé que celui de ses homologues, elle est très peu sélectionnée pour construire des murs ou des façades.



Figure I.14 : brique réfractaire.

e) La brique mono mur :

La brique mono mur assure une correction optimale des ponts thermiques pour conserver une température agréable dans la maison. Grâce à de petites alvéoles qui emprisonnent l'air à l'intérieur de la brique, son isolation acoustique et thermique est d'une grande qualité.

Généralement, elle est un peu plus épaisse qu'une brique traditionnelle et peut être fabriquée en terre cuite ou en béton cellulaire. L'argile permet cependant une meilleure hygrométrie du domicile, ce qui évite à l'humidité et aux moisissures de s'installer dans vos murs. La brique mono mur offre une pose aisée et permet ainsi d'optimiser les temps de construction [34].



Figure I.15 : brique mono mur.

f) La brique parement :

La brique de parement, aussi connue sous l'appellation de brique de façade, est utilisée pour les revêtements de murs ou de cloisons. L'usage de la brique de parement est essentiellement esthétique ; elle constitue la touche décorative finale des travaux de construction et de rénovation intérieure ou extérieure. Ce matériel de qualité a une durée de vie de plus de 100 ans et nécessite peu d'entretien. La richesse de couleurs et la variété de choix des matières font des briques de parement un matériau de prédilection pour les finitions [35].



Figure I.16: brique parement.

IV.3. Fabrication de brique :

La production de la brique, est un travail complexe qui permet une production en grande quantité à des coûts raisonnables, demande une parfaite organisation ; c'est la raison qui, sans doute, explique qu'il a fallu attendre la naissance, au troisième millénaire avant J-C,

Pour une société organisée, on envisage de cuire des briques, alors que la céramique existait depuis l'époque néolithique. (Manuel de sensibilisation, 2006). Il y a cinq étapes se succèdent dans la fabrication de la brique :

- **L'extraction de la terre** : jusqu'à la fin du XIX^e siècle où furent inventées les premières excavatrices motorisées, se faisait à la pelle.
- **La préparation de la pâte** : mélange d'une ou plusieurs terres argileuses, ou de limon, avec de l'eau et des éléments dits "dégraissants", comme le sable.
- **Le façonnage de l'antiquité** : on voit apparaître le moule, cadre de bois avec ou sans fond, aux dimensions de la brique à produire.
- **Le séchage** : est en effet, indispensable de faire sécher doucement la brique de terre crue, avant de la cuire. Ce séchage se fait actuellement en séchoir artificiel, mais autrefois, la brique était mise à sécher sous de vastes hangars à l'air libre.
- **La cuisson** : est l'opération la plus délicate, la brique est mise à cuire dans un four.
- **Refroidissement** : Une fois le processus de cuisson terminé, les briques doivent être laissées dans le four pour refroidir lentement et éviter une exposition directe à l'air froid.
- **Stockage** : Les briques peuvent être stockées correctement dans des endroits secs et couverts pour les conserver longtemps

Ce sont les étapes de base pour fabriquer des briques en utilisant de l'argile et du sable. Ces étapes peuvent être personnalisées pour s'adapter à différents matériaux et conditions de travail [36].

IV. CONCLUSION :

- Les matériaux cimentaires (le béton et le mortier) sont les matériaux de construction les plus utilisés au monde.
- Le sable et le gravier sont les deux matières principales qui entrent dans la composition des matériaux cimentaires. Ils constituent d'environ 75% du volume de ces matériaux.
- Le ciment est un liant hydraulique très répandu dans la formulation des matériaux cimentaires. Leur procédé de production est très intensif qui requiert énormément d'énergie et contribue d'une manière significative à l'émission du dioxyde de carbone CO₂ dans l'atmosphère.
- L'extraction abusive et anarchique des matériaux mène à la diminution des sources naturelles habituelles. En plus des effets néfastes sur l'environnement, donc l'exploitation de nouvelles sources pour les matériaux cimentaires paraît sans doute une solution d'avenir.
- Le domaine de génie civil engendre une quantité considérable de déchets, parmi lesquels on a le déchet de briques rouges.
- L'industrie des produits de briques génèrent des quantités considérables de déchets. Selon les statistiques disponibles, la quantité de déchets dans cette industrie représente environ 10% de la production globale.

LES REFERENCES

- [1] **BOUBEKEUR T.** : « Matériaux de Construction 01 », Université AIRE de – TISSEMSILT-, 2017.
- [2] **GERARD J.** : « Développement de matériaux cimentaires à base de sous-produits bois - Mise en forme par extrusion et vibrocompactage », thèse doctorat, Université -D'ARTOIS-, 2015.
- [3] **BENSAFIR S.A.** : « Mécanismes d'altérations des matériaux cimentaires soumis aux milieux fortement agressifs », Mémoire d'ingénieur, Université de -MASCARA-, 2010.
- [4] **BEN MOSTEFA F. et BOUHAFS KH.** : « Etude de la Durabilité des mortiers à base de pouzzolane », Mémoire de Master, Université Belhadj Bouchai -D'AIN TEMOUCHENT.
- [5] **SAIDI H.** : « Matériaux de Construction 02 », Mémoire Licence, Université -SIDI BEL ABBES-, 2022.
- [6] **BECHIR O.** : « Etude de la durabilité d'un béton a base du granulats recycle », Mémoire de Master, Université de 8 mai 1954 –GUELMA-, 2019.
- [7] **KECHKAR C.** : « Contribution à l'étude des empilements granulaires approche théorique et expérimental », Mémoire de Magister, Université de 8 mai 1954 –GUELMA-, 2005.
- [8] **SILEM KH. et GUESSOUM A.** : « Comportement mécanique en mode cisaillement des poutres courtes en béton armé », Mémoire de Master, Université Mohamed El Bachir El Ibrahimy –BORDJ BOU ARRERIDJ-, 2016.
- [9] **BENDRIF A. et ELMAJDOUBI H.** : « La formulation du béton prêt à l'emploi et procédés de ses différents types de contrôle de qualité », Mémoire de Master, Université de MARRAKECH, 2021.
- [10] <https://www.constructis.org/differents-types-beton/>
- [11] **LARIBI I. et BOURAHDOUN N.** : « Valorisation des déchets dans le béton auto-plaçant état de l'art », Mémoire de Master, Université de 8 mai 1954 –GUELMA-, 2020.
- [12] **BENAMARA D.** : « Formulation et étude d'un béton à haute performance (BHP) » Thèse de Doctorat, Université Mohamed Khider – BISKRA-, 2011.
- [13] **LABED S.** : « Influence des taux élevés des fines calcaires sur le comportement mécanique et rhéologique des mortiers à base du sable de carrière », Mémoire de Master, Université Mohamed Khider –BISKRA-, 2018.
- [14] **GHRIGA GH. et OULAD SAID N.** : « Étude physico-mécanique d'un mortier à base de sable de carrière et déchets industrielles (déchets de brique et déchets de plastique) », Mémoire de Master, Université de –GHARDAIA-, 2022.

- [15] **AL-EYANI A.A.** : «Valorisation du déchet de marbre et de verre comme additif dans la production du mortier », Mémoire de Master, Université Mohamed Boudiaf -M'SILA-, 2017.
- [16] **RAMDANE R.** : « Valorisation des cendres de bois comme ajout dans les formulations d'un mortier et d'un béton hydraulique. Caractérisations-Formulation-Performances - Durabilité » Thèse de Doctorat, Université 20 Aout 1956 – SKIKDA-, 2021.
- [17] **CHAKRI S.** : « Compréhension des mécanismes d'inhibition de la corrosion des armatures métalliques des bétons par des molécules d'origine biologique » Thèse de Doctorat, Université Pierre et Marie Curie – PARIS-, 2015.
- [18] **DREUX G. et FESTA J.** : « Nouveau guide du béton et de ses constituants » Huitième Editions Eyrolles, 1998.
- [19] **BRAHMA A.** : « Le béton » Office des publications universitaires, 03. 1996.
- [20] **SAKER A.** : « Etude d'un centre de tri de déchets» Mémoire de Master, Université - ANNABA-, 2017.
- [21] **AISSANI L. LACHI H.** : « Valorisation des déchets dans le domaine de génie civil », Mémoire de master, Université A.MIRA-BEJAÏA-, 2020.
- [22] **CITERETSE L.** : « les déchets ménagers solides de la ville de Bujumbura (Burundi): Quelles perspectives pour une gestion durable ? », Mémoire de master, Université libre de – BRUXELLES-.
- [23] **SAADANI S.** : « Comportement des bétons a base de granulats recyclés 02 » Mémoire magister ; Université de –CONSTANTINE-.
- [24] **DALI R. et BOUMAZA M.** : « Analyse des déchets industriels et évaluation des dangers potentiels sur les personnes et l'environnement », Mémoire master, Université Badji Mokhtar - ANNABA-, 2020.
- [25] **MAEL A. XAVIER GH. CHRISTIAN M. et DORIS N.** : « Lexique à l'usage des acteurs de la gestion des déchets », Collection « Références » du Service de l'Économie, de l'Évaluation et de l'Intégration du Développement Durable (SEEIDD) du Commissariat Général au Développement Durable (CGDD), 2012.
- [26] **STAMBOULI M.S.** : « Valorisation de débris de verre dans les infrastructures routières Application au verre industriel, verre ménager et verre mixte », Mémoire de master, 2016.
- [27] **CHELABI Z. et TALEB H.** : « Mélioration des propriétés mécaniques du plâtre de construction avec des déchets plastiques et verre » , Mémoire de master, université de - BOUIRA-, 2017.
- [28] **ABDOUNE A. et HADDAD O.K.** : « Utilisation des déchets plastiques en matériaux composites de construction », Mémoire de Master, université -d'ADRAR-, 2020.
- [29] **BOULOUSA O. et GRINE A.** : « Effet de l'ajout des déchets de brique sur les propriétés physicomécaniques des mortiers », Mémoire de Master, Université de - BOUIRA-, 2019.

[30] **MOUSSAOUI W.** : « Valorisation des sous-produits Caractérisation de bétons à base des granulats issus de recyclage des matériaux de construction», Mémoire master, Université – MENTOURI -, 2011.

[31] **NIGRI G.** : « Nouvelle élaboration d'un liant hydraulique », thèse de doctorat, Université 8 Mai 1945- GUELMA-, 2018.

[32] **LALAOUI S. et KADRI A.** : « Etude des performances Thermiques des briques en terre cuite BRIQUETERIE DE L'Atlas », Mémoire de Master, Université de -M'SILA-, 2021.

[33] <https://www.constructionlabrique.com/quel-type-brique-construire-mur/>

[34] <https://www.citya.com/immobilier/nos-guides/neuf/les-differents-types-de-briques>

[35] <https://www.harmonie.fr/ravalement/faq/quest-ce-que-la-brique-de-parement/>

[36] **ZARROUKI I.** : « Effet de déchet de brique rouge sur la stabilisation des briques de terre crue », Mémoire de Master, Université de –BISKRA-, 2019.

CHAPITRE II :
VALORISATION DE DECHET
DE BRIQUES COMME
AJOUT DANS LES
MATERIAUX CIMENTAIRES

**CHAPITRE 2 :
VALORISATION DE DECHET DE BRIQUES COMME
AJOUT DANS LES MATERIAUX CIMENTAIRES**

I. INTRODUCTION :

Le recyclage des déchets a devenu aujourd'hui la bonne solution qui peut offrir de nouvelles ressources renouvelables et durables qui contribuent dans le processus de la construction, dans le domaine de constructions et ainsi pour protéger l'environnement. Les déchets de brique constituent une alternative intéressant dans ce cas vu que ces déchets sont disponibles et sont abandonnés au niveau des chantiers, ainsi, la fabrication des briques génère une quantité non négligeable de briques de mauvaise qualité qui est rejetée [1]

Dans ce chapitre, nous allons présenter les résultats de quelque études ultérieures obtenus à partir des essais élaborés par certains chercheurs sur l'effet de l'incorporation des déchets de brique comme ajout cimentaires sur les performances des bétons et des mortiers, afin de sélectionner les mélanges qui peuvent produire des bétons avec des bonnes performances.

**II. VALORISATION DU DECHET DES BRIQUES DANS LES MATERIAUX
CIMENTAIRES COMME AJOUT CIMENTAIRES :**

Plusieurs travaux ont étudiés l'influence du déchet de brique broyé finement en tant qu'ajouts minéraux pouvant remplacer une partie du ciment, au sein des matériaux cimentaires.

**II.1. Influence du déchet de brique finement broyé sur les propriétés à l'état frais des
matériaux cimentaires :**

II.1.1. La masse volumique :

La masse volumique, est un paramètre important pour les composites cimentaires, caractérisés par leurs faibles masses volumiques, sa détermination est donc essentielle. Plusieurs

Chercheurs ont étudié l'influence de la substitution d'une partie du ciment par la poudre de déchet de briques sur la variation de la masse volumique à l'état frais des bétons et des mortiers, les résultats sont différents :

- ✓ D'après une étude réalisée par **Boulouza O. et Grine A. [2]**, les déchets de brique finement broyé (inférieur à 80 μm), sont introduits aux mortiers par remplacement d'une quantité de ciment à des taux de 0 %, 10 % et 20 %. Le ciment utilisé dans cet étude est le ciment CPJ-CEM II/A42, 5 N de la cimenterie de Sour el Ghozlane.

Les résultats de cette étude pour l'essai de la masse volumique à l'état frais sont présentés dans le tableau II.1 et la figure II.1.

Variantes	Témoins	10 % sub	20 % sub
Masse volumique à état frais (Kg/m^3)	1720	1820	1840

Tableau. II.1 : Résultat des masses volumiques à l'état frais d'après **Boulouza O. et Grine A. [2]**.

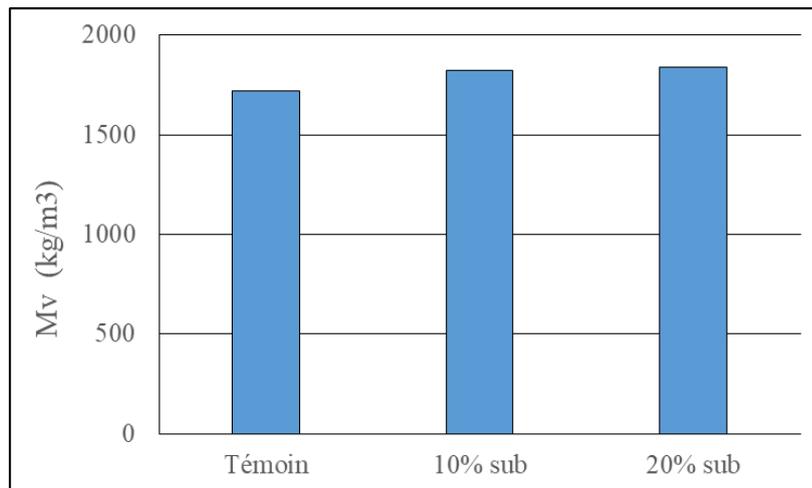


Figure II.1 : Résultats de l'essai de la masse volumique à l'état frais D'après l'étude de **Boulouza O. et Grine A. [2]**.

D'après les résultats de cette étude, **Boulouza O. et Grine A. [2]** ont remarqué que la masse volumique à l'état frais est presque stable dans toutes les variantes des mortiers étudiés.

- ✓ Une deuxième étude a été réalisée par **Laichi A. et Terki T. [3]** dont une partie du ciment portland CRS- CEM-I/A de classe 42.5 provient de la cimenterie de M'sila. a été substituée par la poudre de déchet de brique avec des taux de 10%, 15% et 20% pour la réalisation d'un béton de haute performance (BHP). D'après les résultats trouvés et présentés dans le

tableau II.2 et la figure II.2. **Laichi A. et Terki T. [3]** ont remarqué que plus le taux de substitution de ciment par du la poudre de déchet des briques augmente plus la masse volumique à l'état frais diminue par rapport au BHP(R).

✓

Désignation du béton	BHP (R)	BHP 10	BHP15	BHP 20
Masse volumique (Kg/m ³)	2501	2465	2348	2217

Tableau II.2 : Valeurs de la masse volumique à l'état frais selon l'étude De **Laichi A. et Terki T. [3]**.

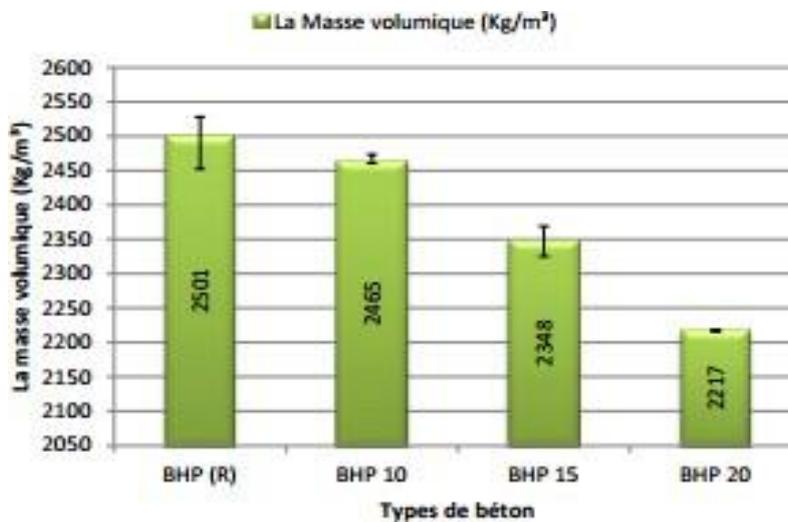


Figure II.2 : Variation de la masse volumique à l'état frais d'après l'étude de **Laichi A. et Terki T. [3]**.

- ✓ Une troisième recherche a été réalisée par **Derabla R. et Boumera M. [4]**, ou ils ont tenté de valoriser le déchet des briques rouges et d'exprimer sa rentabilité par son utilisation comme constituant dans les bétons à hautes performances (BHP). Le déchet des briques rouges est incorporé en remplaçant partiellement le ciment CPJ-CEM II/A 42.5 de la cimenterie de HADJAR ESSOUD par quatre taux : 0%, 10%, 15% et 20%. Concernant la masse volumique à l'état frais, les auteurs ont remarqué que plus le taux de substitution du ciment par le déchet des briques rouges augmente plus la masse volumique diminue par rapport au BHP(R). Les résultats sont présentés dans la figure II.3.

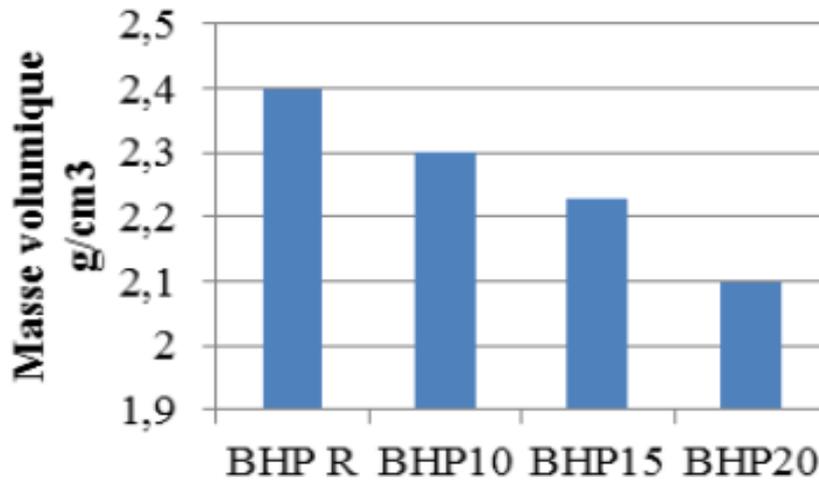


Figure II.3 : Variation de la masse volumique des BHP en fonction du taux de substitution d'après l'étude de **Derabla R. et Boumera M.** [4].

- ✓ Une autre étude réalisée par **Zhi G. et al.** [5]. Dans cette étude les auteurs ont remplacé une partie du ciment ordinaire par la poudre des dechet de brique avec des taux de 10%, 20% et 30% pour la formulation du béton ordinaire. Les resultats de l'essai de la masse volumique à l'état frais sont presentés dans la figure II.4.

Zhi G. et al. ont remarqué que la masse volumique à l'état frais est presque stable dans toutes les variantes des bétons étudiés. Elle est entre 2400–2500 kg/m³ pour tous les mélanges.

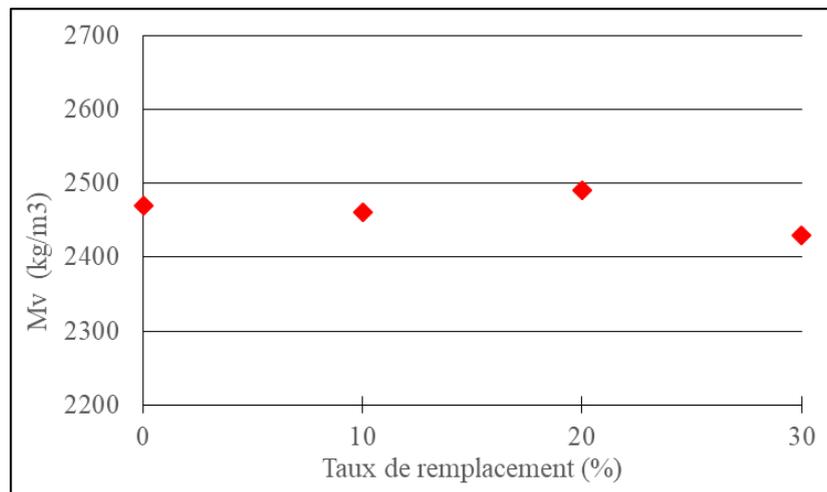


Figure II.4 : Masses volumiques des bétons d'après l'étude de **Zhi G. et al.** [5].

- ✓ Une autre étude réalisée par **Mansoor S.S. et al.** [6] dont les déchets de brique finement broyé (inférieur à 75 µm), sont introduits aux mortiers par addition et substitution d'une partie de ciment portland type I par la poudre de déchet de briques avec des taux de 10%,

15%, 20%, 25%, 30%, 35%, 40% et 50 %. Les résultats de l'essai de la masse volumique à l'état frais sont présentés dans la figure II.5.

D'après les résultats trouvés, **Mansoor S.S. et al. [6]** ont montré que la masse volumique à l'état frais du mortier diminue avec l'augmentation du taux du substitution de la poudre de déchet de briques. Les auteurs ont justifié cette diminution par le fait que le produit de substitution (poudre de déchet de briques) est beaucoup plus léger que le ciment (densité de 2.17 pour le déchet de briques contre 3.15 pour le ciment).

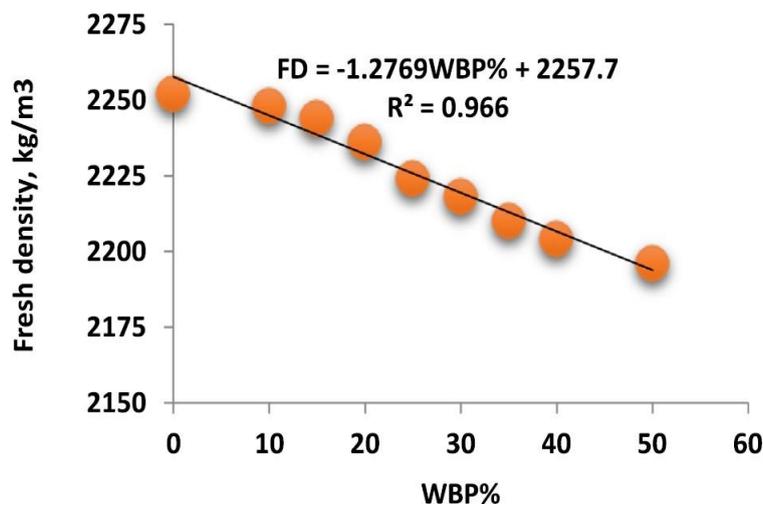


Figure II.5 : Variation de la masse volumique à l'état frais en fonction du taux de substitution
D'après l'étude de **Mansoor S.S. et al. [6]**.

II.1.2. L'ouvrabilité :

L'ouvrabilité est, en effet, la capacité du matériau à pouvoir être mis en œuvre facilement (remplissage des coffrages et enrobage des armatures) : elle caractérise, avant que le matériau ne durcisse. Parmi les travaux qui ont étudié l'influence de l'ajout de déchet de briques, on a :

- ✓ Dans le même travail de **Boulouza O. et Grine A. [2]** déjà cité, les auteurs ont étudié l'effet de l'ajout de déchet de brique rouge sur l'étalement du mortier. Ils ont remarqué que l'étalement diminue avec l'augmentation du taux de substitution. Les résultats sont présentés dans la figure II.6.

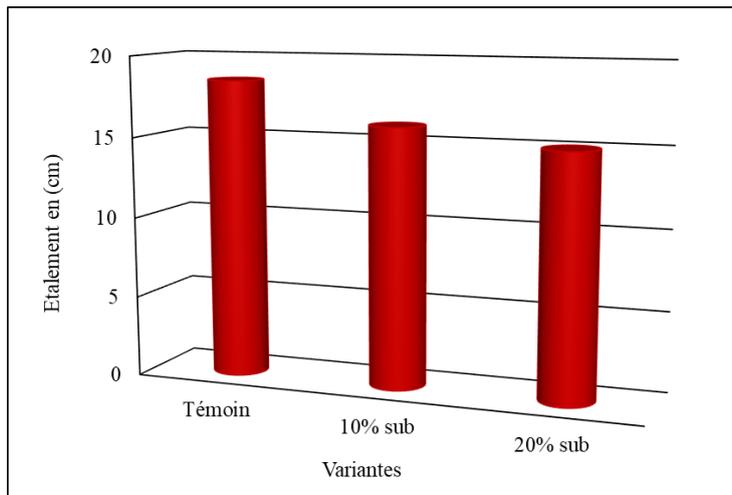


Figure II.6 : Résultat de l'essai d'étalement étudié par **Boulouza O. et Grine A.** [2].

- ✓ De même pour **Derabla R. et Bourema M.** [4] ont étudié aussi l'affaissement du béton à haute performance (BHP) à base de déchet des briques rouges et ils ont remarqué que l'affaissement du BHP (R) est supérieur à celui des BHP10, BHP15, et BHP20. L'augmentation du taux de substitution du ciment par le déchet des briques rouges a provoqué une diminution de l'affaissement. Les résultats de Derabla R. et Bourema M. sont présentés dans le tableau II.3.

Désignation du béton	BHP (R)	BHP 10	BHP15	BHP 20
Affaissement (cm)	4.0	3.7	3.5	3.0

Tableau II. 3 : Résultats des essais réalisés sur BHP (Affaissement) [4].

- ✓ De même pour **Zhi G. et al.** [5] dans leur étude ont montré que l'ajout de déchet de brique comme substituant du ciment réduit significativement l'affaissement du béton frais, Comme le montre la figure II.7.

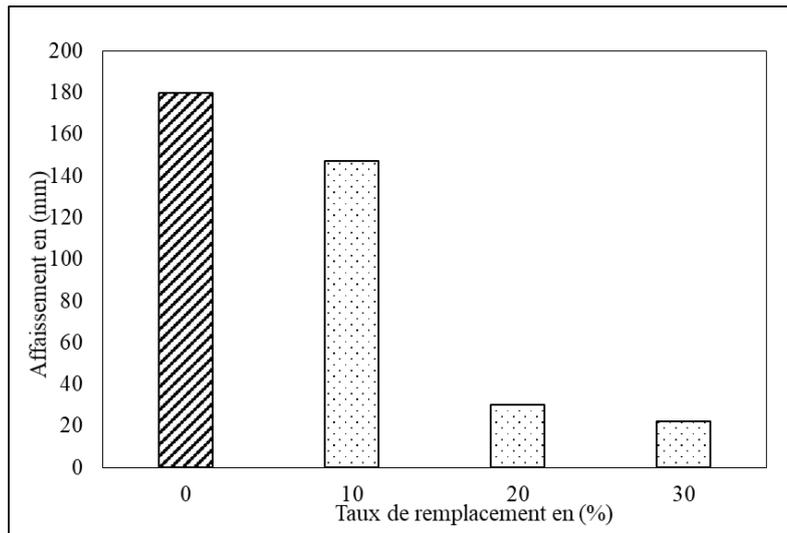


Figure II.7 : Résultat de l'essai d'affaissement étudié par **Zhi G. et al.** [5].

- ✓ Dans le même travail de **Mansoor S.S. et al.** [6], les auteurs ont étudié aussi l'effet de l'ajout de déchet de brique rouge sur l'étalement du mortier. Ils ont remarqué que l'étalement diminue avec l'augmentation du taux de substitution. Les résultats sont présentés dans la figure II.8.

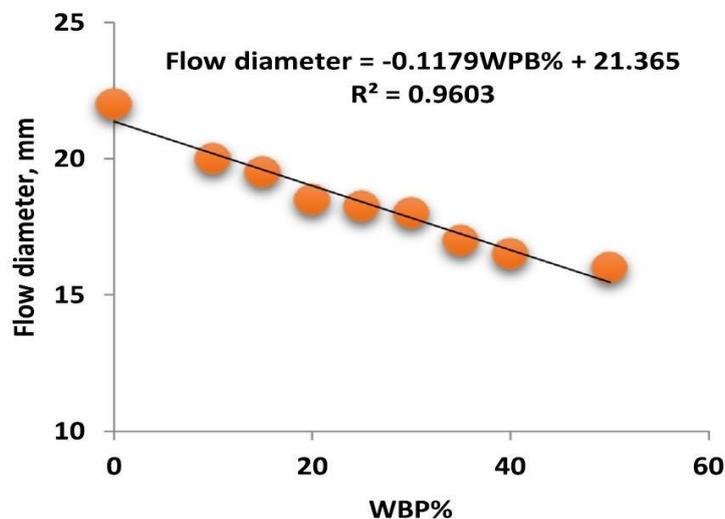


Figure II.8 : Variation de l'étalement en fonction du taux de substitution De la poudre de brique d'après l'étude de **Mansoor S.S. et al.** [6].

II.2. Influence du déchet de brique finement broyé sur les propriétés à l'état durci des matériaux cimentaires :

La caractérisation des matériaux cimentaires est essentielle pour le bon achèvement et le contrôle des constructions de tous genres, afin de prévenir les dégradations et éviter les ruines d'ouvrage. Dans cette partie on a basé sur les propriétés physiques et mécaniques.

II.2.1. La masse volumique à l'état durci :

- ✓ La masse volumique à l'état durci est traitée par **Boulouza O et Grine A. [2]**. Le résultat des essais physiques des différentes variantes élaborées, notamment les valeurs des masse volumiques à l'état frai et durci à 14 et 28 Jours sont illustrés dans le tableau II.4 et les histogrammes II.9.

Variantes	Masse volumique (Kg/m ³)	
	(14 Jours)	(28Jours)
Témoin	2200	2220
Mortier-Sub-10%	2210	2200
Mortier-Sub-20%	2330	2280

Tableau II.4 : Valeurs de la masse volumique à l'état durci d'après [2].

On remarque que la masse volumique des éprouvettes augmente en fonction de pourcentage d'addition et de substitution aussi en fonction des âges (14 et 28 jours)

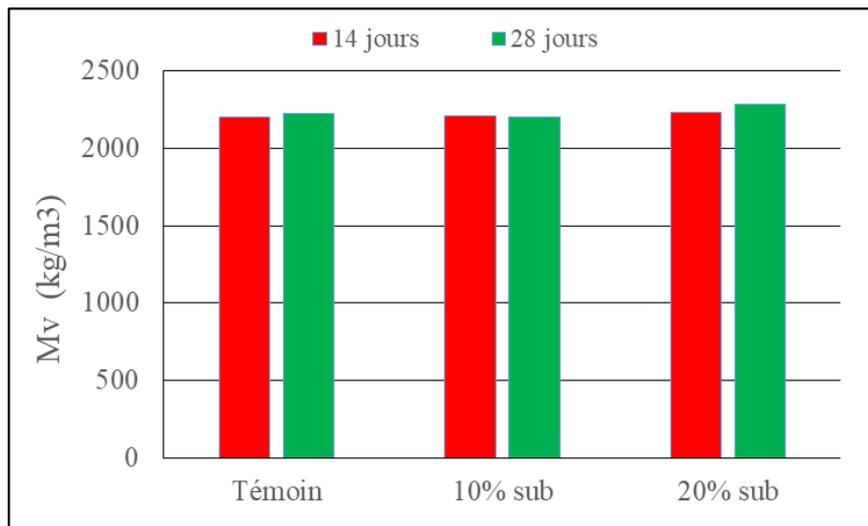


Figure II.9 : Résultats des masses volumiques des différentes variantes d'après l'étude **Boulouza O. et Grine A. [2]**.

- ✓ La masse volumique à l'état durci est étudié aussi par **Laichi A. et TERKI T. [3]**, d'ont les données ont déjà citée. Le résultat des essais de la masse volumique à l'état durci des différentes variantes à 7 et 28 Jours sont illustrés dans les histogrammes de la figure II.10.

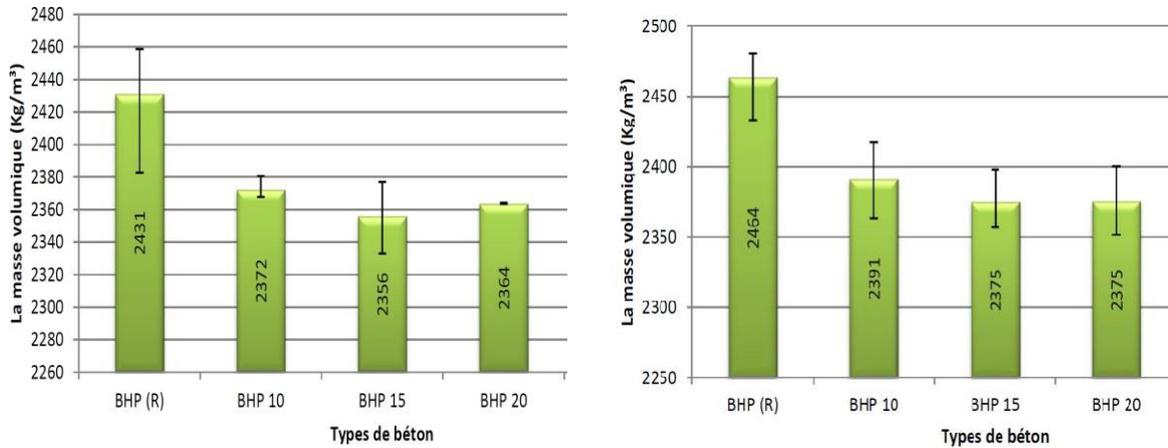


Figure II.10 : Résultats des masses volumiques des différentes variantes à 7 jours et 28 jours
D'après l'étude de **Laichi A. et TERKI T [3]**.

D'après **Laichi A. et TERKI T. [3]**, la masse volumique du BHP10, BHP15, et BHP20 diminue avec l'augmentation du taux de substitution du ciment par le déchet de la poudre de brique.

- ✓ Dans le même travail de **Mansoor S.S. et al. [6]**, les auteurs ont étudié aussi l'effet de l'ajout de déchet de briques sur la masse volumique à l'état durci du mortier. Ils ont remarqué qu'elle diminue avec l'augmentation du taux de substitution. Les résultats sont présentés dans la figure II.11. Les auteurs ont justifié cette diminution par le fait que le produit de substitution est beaucoup plus léger que le ciment (densité de 2.17 pour le déchet de briques contre 3.15 pour le ciment).

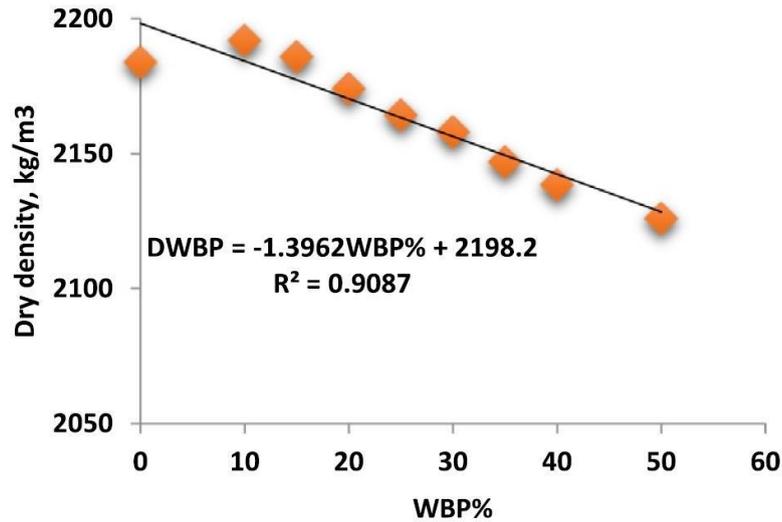


Figure II.11 : Résultats des masses volumiques des différentes variantes à 7 jours et 28 jours
D'après l'étude de **Mansoor S.S. et al. [6]**.

II.2.2. La résistance à la compression :

✓ La résistance à la compression est traitée par le même travail de **Boulouza O. et Grine A. [2]** à l'âge de 14 jours et 28 jours, et ils ont trouvé les résultats présentés dans le tableau II.5 et la figure II.12.

N°	Variantes	Résistance à la compression (14 Jours)	Résistance à la compression (28Jours)
01	Témoin	20.40	29.00
02	Mortier-Sub-10%	22.40	30.60
03	Mortier-Sub-20%	23.30	29.30

Tableau II.5 : Résultats des essais de la résistance à la compression à l'âge 14 et 28 jours.

Boulouza O. et Grine A. [2] ont constaté que la résistance à la compression augmente avec l'augmentation du taux de substitution du ciment par la poudre de déchet des briques.

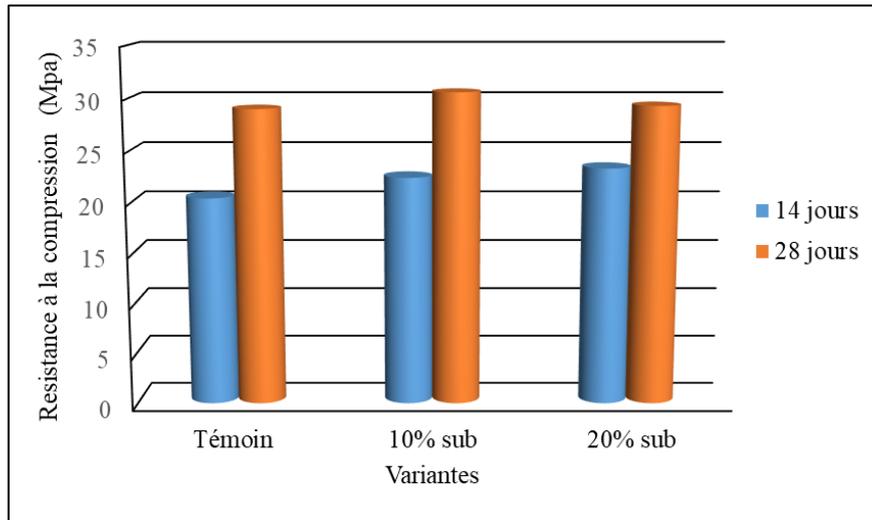


Figure II.12 : Variation de la résistance à la compression en fonction du taux de substitution à l'âge 14 jours et 28 jours d'après l'étude de **Boulouza O. et Grine A [2]**.

- ✓ La résistance à la compression est traitée par **Laichi A. et Terki T. [3]** dont les données ont déjà citée. D'après les résultats trouvés par les auteurs, la résistance à la compression des bétons BHP(R), BHP10, BHP15, et BHP20 diminuent en fonction de l'augmentation du taux de substitution du ciment par les déchets de brique rouge, cette diminution est due principalement à la résistance de compression faible des déchets de brique rouge par rapport à celle du ciment. La figure II.13 présente les valeurs de la résistance de compression à 7 et 28 jours des éprouvettes conservées dans l'eau.

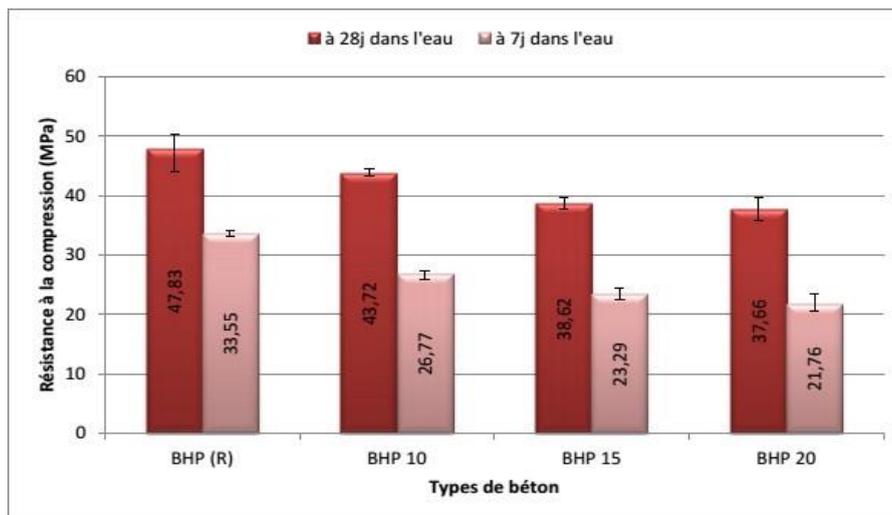


Figure II.13 : Evolution de la résistance de compression à 7j et 28j dans l'eau d'après l'étude de **Laichi A. et Terki T. [3]**.

- ✓ La résistance à la compression est traitée par **Derabla R. et Bourema M. [4]** à l'âge de 3 jours et 28 jours comme la montre la figure II.14. Ils ont remarqué que Les bétons BHP10, BHP15, et BHP20 sont moins résistants que le BHP(R) à 3 jours, leurs résistances sont respectivement de l'ordre de 11%, 16% et 29% par rapport à la résistance du BHP(R). La même constatation est notée pour l'âge de 28 jours. La résistance à la compression a diminué car la poudre de brique présente une faible densité apparente et une absorption d'eau plus élevée due à la porosité plus élevée [4].

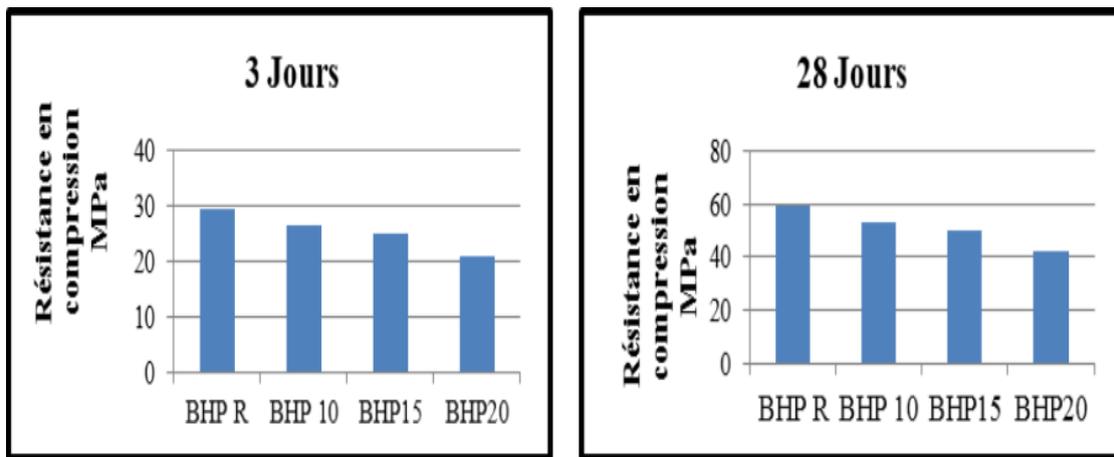


Figure II.14 : Variation de la résistance à la compression des BHP en fonction du taux de substitution d'après l'étude de **Derabla R. et Bourema M. [4]**

- ✓ **Zhi G. et al. [5]** ont aussi étudié la variation de la résistance à la compression en fonctions du taux de substitution du ciment par la poudre de déchet de briques. Comme le montre la figure II.15, **Zhi G. et al. [5]** ont étudié la variation de la résistance à la compression à l'âge de 7, 14, 28, 56 et 90 jours. Ils ont remarqué que, en général, le remplacement partiel du ciment par la poudre de dechet de briques a entraîné une diminution de la résistance. cette réduction augmente avec l'augmentation du taux de substitution. L'effet est maximal avant 28 jours. Par la suite, la résistance du béton de référence est devenue quasi stable, par contre elle continue a augmenté pour les béton de dechet de briques jusqu'à 90 jours. Les resultats sont présentés dans la figure II.15.

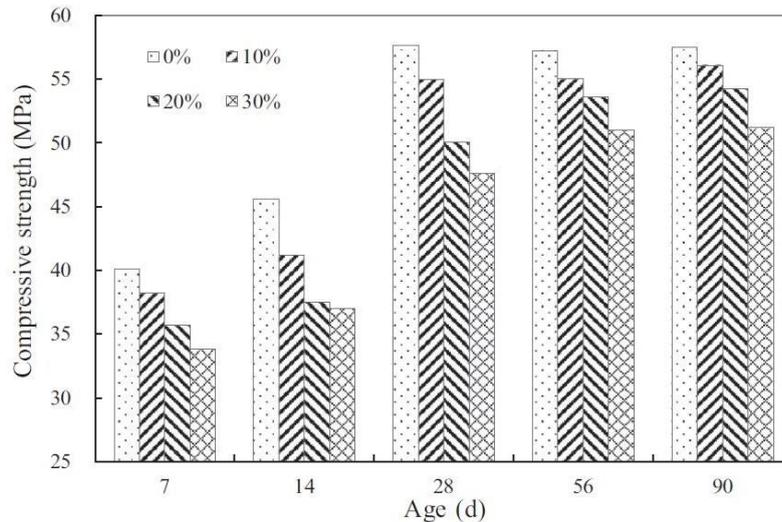


Figure II.15 : Variation de la résistance à la compression en fonction du taux de substitution à différentes âges selon l'étude de **Zhi G. et al.** [5].

- ✓ Un autre travail expérimental réalisé par **Messaoudene I. et al.** [7] dont ils ont étudié l'effet de l'incorporation du déchet des briques broyé comme substituant partiel du ciment sur la résistance à la compression du béton ordinaire, Dans cette étude le ciment CEMI/42.5 (Aine Lekbira) a été partiellement remplacé par la poudre de briques avec des taux de substitution 0%, 10% et 20%.

D'après les résultats trouvés montré sur la figure II.16, les auteurs ont observé que pour un taux d'ajout de 10 % de poudre de déchets de briques, la résistance à la compression est comparable à celle du béton ordinaire. Pour le taux de remplacement de 20 %, les auteurs notent des baisses de résistance pour toutes les échéances (7, 28 et 60 jours).

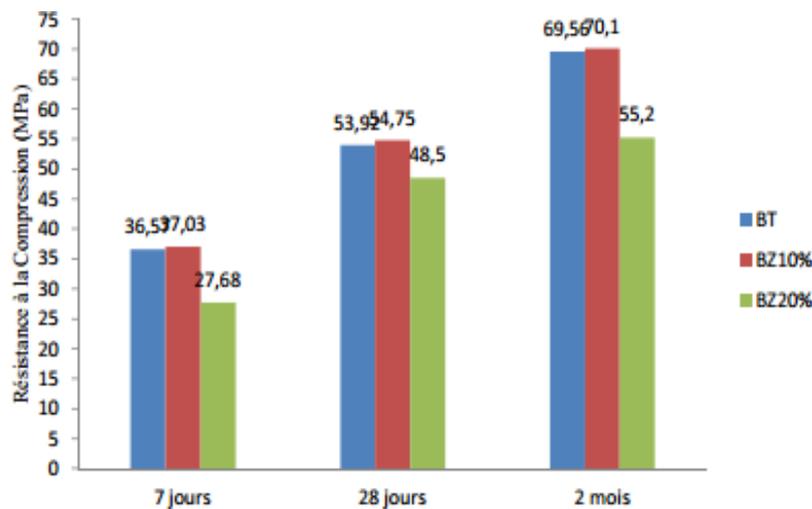


Figure II.16 : Evolution de la résistance à la compression des différents types de béton selon l'étude de **Messaoudene I. et al** [7].

- ✓ Une autre recherche réalisée par **Raghda R. et al. [8]** dont ils ont étudié l'influence de la substitution d'une partie du ciment (5%, 10% et 15%) par la poudre de déchet des briques tamisée sur un tamis de 100 μ m sur la résistance à la compression du béton ordinaire à différents âges (7, 28, 90, 150 et 240) jours.

Les résultats trouvés sont illustrés sur la Figure II.17. D'après ces résultats, les auteurs ont remarqué que la résistance à la compression du béton de référence a été améliorée avec l'augmentation du taux de substitution jusqu'à le taux de 10 %, et ça pour les différentes échéances d'âge étudiés, au-delà de 10%, la résistance à la compression commence à diminuer.

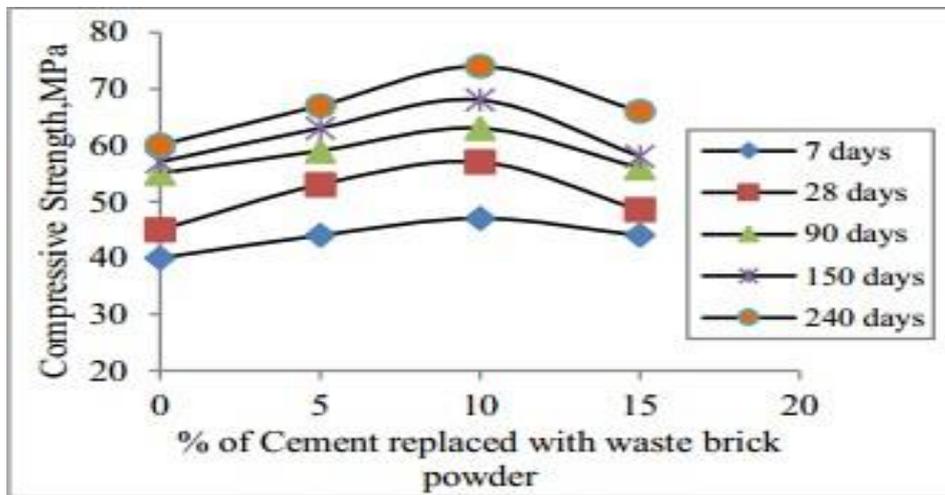


Fig. II.17 : Variation de la résistance à la compression par rapport aux taux de substitution à différents âges selon l'étude de **Raghda R. et al. [8]**.

- ✓ La résistance à la compression est traitée par **Mansoor S.S. et al. [6]** dont les données ont déjà été citées. D'après les résultats trouvés, **Mansoor S.S. et al. [6]** ont montré que les résistances à la compression des mortiers avec déchet de briques sont supérieures à celle du mortier témoin. Et la meilleure résistance à la compression a été atteinte par le mélange avec un taux de substitution de 15%. Les résultats de la variation de la résistance de compression à 28 jours sont présentés dans la figure II.18.

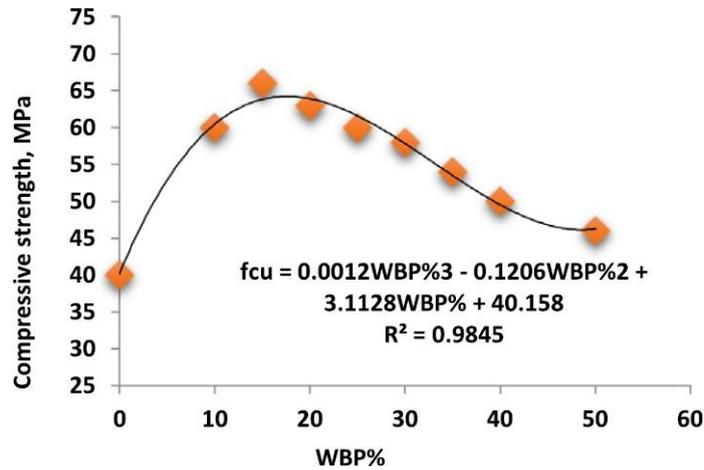


Figure. II.18 : Variation de la résistance à la compression à 28 jours en fonction du taux de substitution selon l'étude de **Mansoor S.S. et al** [6].

II.2.3. La résistance à la traction par flexion :

- ✓ La variation de la résistance à la traction par flexion à l'âge de 14 jours et 28 jours est traitée dans le même travail de **Boulouza O. et Grine A.** [2], Les résultats sont présentés dans le tableau II.6 et la figure II.19. Les auteurs ont montré qu'il y a une augmentation des résistances de traction par flexion en fonction de l'âge, et en fonction de l'augmentation des pourcentages de poudre de brique. Ils ont justifiés cette augmentation par le caractère pouzzolanique de la poudre de briques.

N°	Variantes	Résistance à la flexion (14 Jours)	Résistance à la flexion (28Jours)
01	Témoin	06.20	07.20
02	Mortier-Sub-10%	06.60	07.40
03	Mortier-Sub-20%	07.80	08.30

Tableau II.6 : Résultats des essais de résistance à la traction par flexion d'après [2].

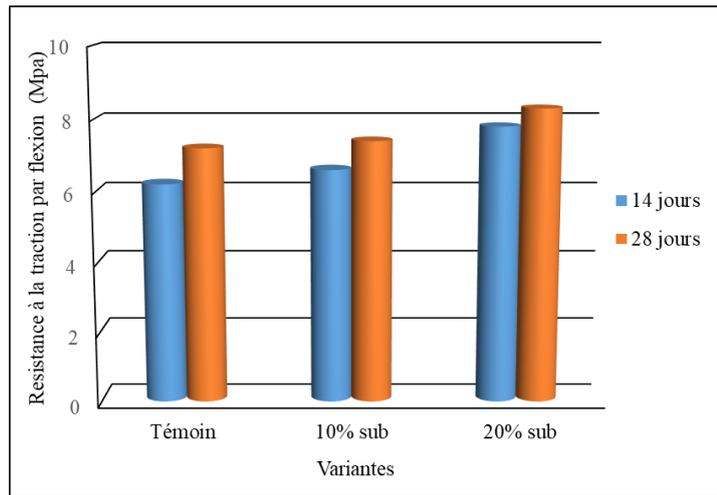


Figure II.19 : Résultats des essais de traction par flexion des différentes variantes selon l'étude de **Boulouza O. et Grine A. [2]**.

- ✓ La résistance à la traction par flexion est traitée par **Laichi A. et Terki T. [3]** d'ont les données ont déjà citée, ils ont remarqué que pour un taux de substitution de 10%, le béton de déchet de briques (BHP10) donne une résistance à la traction par flexion comparable à celle du béton témoin (BHP R). au-delà, la résistance à la traction par flexion des bétons BHP15 et BHP20 diminuent en fonction de l'augmentation du taux de substitution du ciment, cette diminution est due principalement à la résistance en traction par flexion faible du déchets des briques par rapport à celle du ciment. La figure II.20 présente les valeurs de la résistance en traction par flexion à 7 jours et à 28 jours dans l'eau pour les différents bétons à hautes performances étudiés.

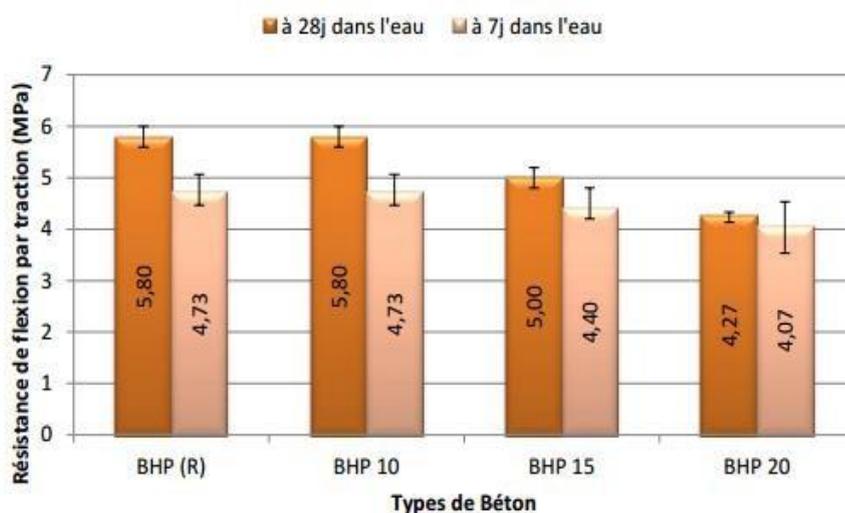


Figure II.20 : Evolution de la résistance en traction par flexion à 7j et 28j dans l'eau d'après l'étude de **Laichi A. et Terki T [3]**.

- ✓ La résistance à la traction par flexion est traitée par **Derabla R. et Bourema M. [4]**, ils remarqué qu'il y a une diminution de cette résistance pour les bétons BHP10, BHP15 et BHP20, elle diminue respectivement de 32%,15% et 45% par rapport à la résistance du BHP(R) à 3 jours. La même constatation est notée à l'âge 28 jours, où les résistances diminuent au fur et à mesure de la teneur du déchet des briques. Cette diminution de résistance est de l'ordre de 4%,11% et 13% par rapport à la résistance du BHP(R). Les résultats sont présentés dans la figure II.21.

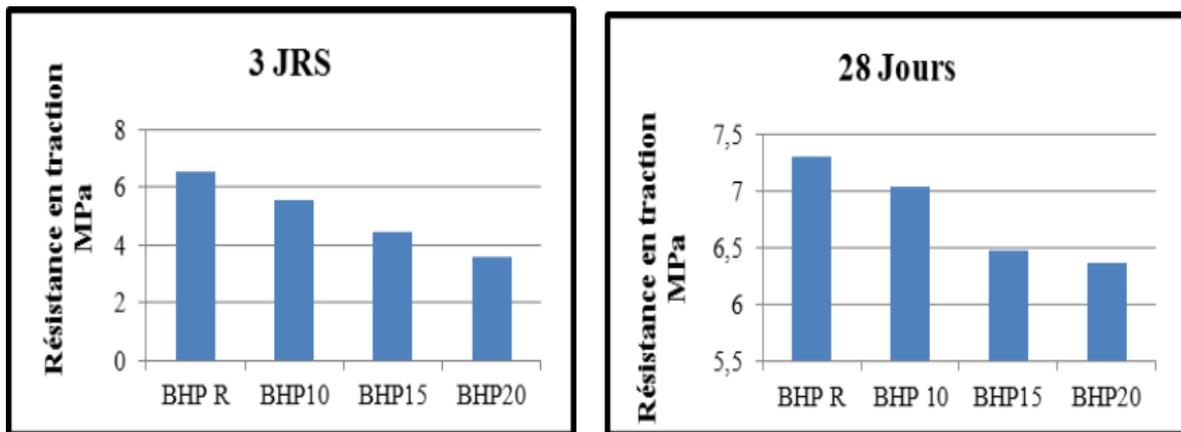


Figure II.21 : Résistance en traction par flexion des BHP d'après l'étude de **Derabla R. et Bourema M. [4]**.

- ✓ **Zhi G. et al. [5]** ont étudié l'influence de la substitution d'une partie du ciment par la poudre de déchet des briques sur la résistance à la traction par flexion à l'âge de 7 jours et 28 jours. D'après les résultats présentés dans la figure II.22 (a, b), **Zhi G. et al. [5]** ont montré que l'augmentation du taux de substitution du ciment par la poudre de déchet de briques a entraîné une diminution progressive de la résistance à la traction par flexion à 7 jours. Par contre, ils ont remarqué que l'ajout de la poudre de déchet de briques n'a pas un grand effet sur la résistance à la flexion pendant 28 jours.

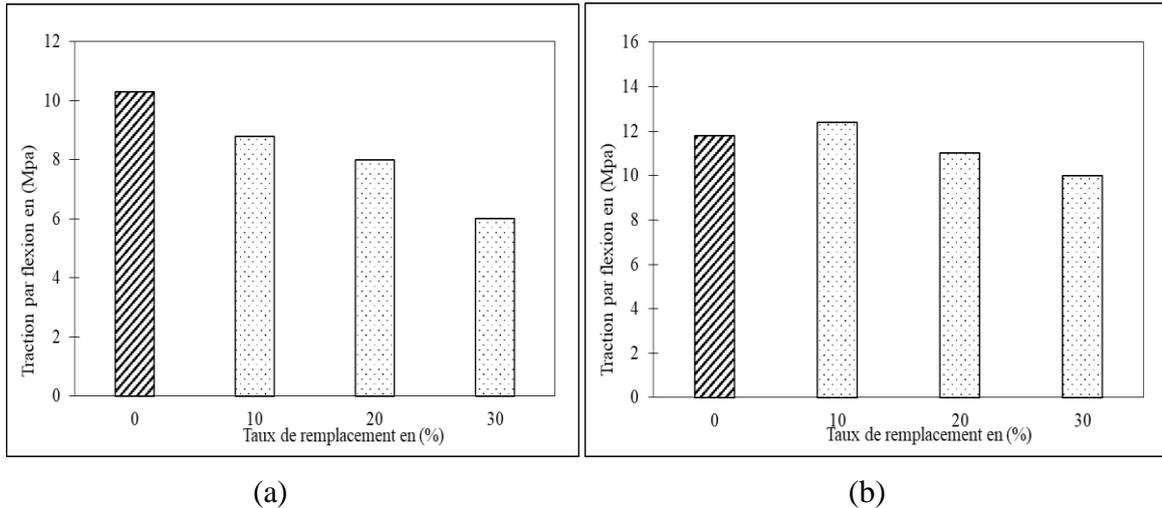


Figure II.22 : Variation de la résistance à la traction par flexion à 7 jours (a) et à 28 jours (b)
D'après l'étude de **Zhi G. et al. [5]**.

- ✓ Pour l'essai de la résistance à la traction par flexion **Raghda R. et al. [8]** ont limité l'étude au taux de 10%. Les résultats sont présentés dans le tableau II.7. les auteurs ont remarqué qu'à l'âge de 150 jours, le remplacement de 10 % du poids du ciment par le déchet de briques améliore la résistance à la traction par flexion du béton. La même tendance à a été observée pour la résistance de la traction par flexion pour l'âge de 240 jours. Ils ont justifié cette augmentation par le caractère pouzzolanique de la poudre de briques.

Durcissement âges (jours)	Référence béton	10% brique – béton
150	3,88	4,38
240	5,24	5,55

Tableau II.7 : Résistance à la flexion [8].

- ✓ La résistance à la traction par flexion est traitée par **Mansoor S.S. et al. [6]** dont les données ont déjà citée. pour les résultats trouvés, **Mansoor S.S. et al. [6]** ont remarqué la même tendance que les résistances à la compression. La résistance à la traction par flexion des mortiers avec déchet de briques sont supérieures à celle du mortier témoin. Et la meilleure résistance a été atteindre par le mélange avec un taux de substitution de 15%. Les résultats de la variation de la résistance à la traction par flexion à 28 jours sont présentés dans la figure II.23.

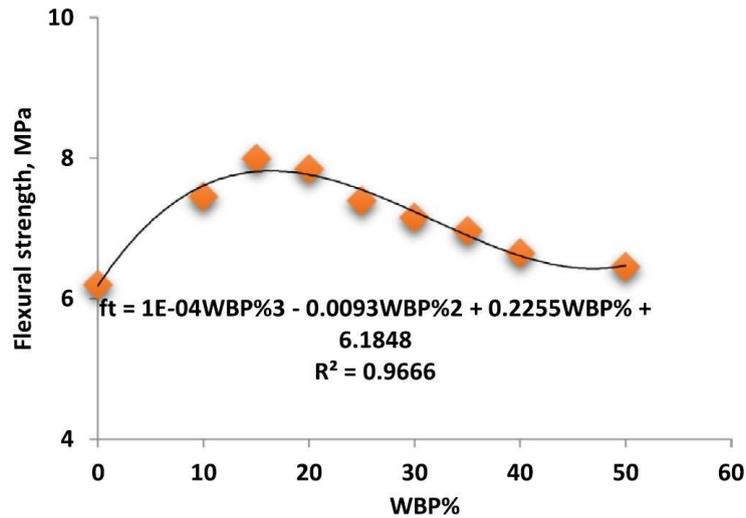


Figure II.23 : Variation de la résistance à la traction par flexion à 28 jours d’après l’étude de **Mansoor S.S. et al. [6]**.

III. SYNTHÈSE SUR LES TRAVAUX ETUDIÉS

III.1. Influence du déchet de brique finement broyé sur les propriétés à l’état frais des matériaux cimentaires :

III.1.1. La masse volumique :

La figure II.24 présente les résultats de la variation de la masse volumique à l’état frais pour les quatre études de [2], [3], [4], [5], et [6].

Pour l’étude de [2] réalisé sur mortier, on remarque que la masse volumique à l’état frais augmente en fonction de l’augmentation du taux de substitution du ciment par la poudre de déchet de brique.

Pour les autres études [3], [4], [5], et [6], on remarque une diminution la masse volumique avec l’augmentation du taux de substitution du ciment par la poudre de déchet de brique. Cette diminution est justifiée par la faible masse volumique du déchet de brique par rapport à celle du ciment. Le tableau II.8 présente les valeurs de la masse volumique selon les deux études de [4] et [6].

	DERABLA	MANSOOR
Masse volumique en (g/cm³) du ciment	3.1	3.15
Masse volumique en (g/cm³) du brique	2.56	2.17

Tableau II.8 : Valeurs de la masse volumique des matériaux ciment et déchet de briques selon [4] et [6].

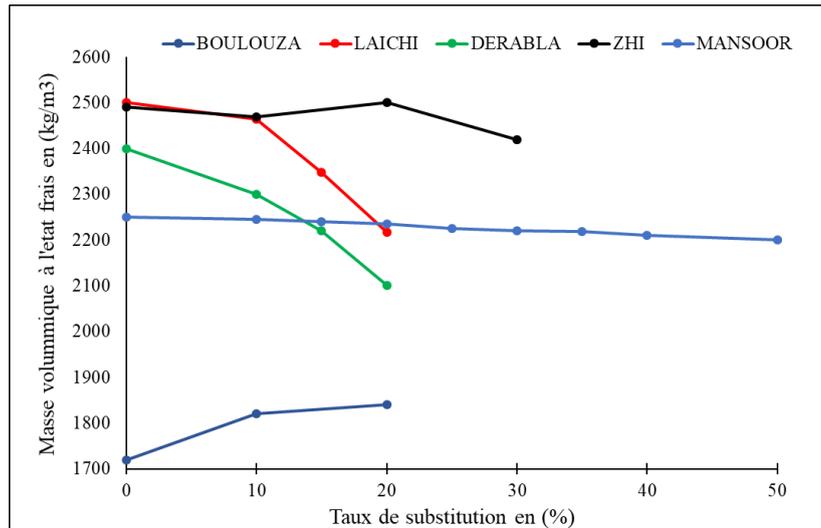


Figure II.24 : Résultats des masses volumiques à l'état frais des différents matériaux cimentaires On fonction de Toux de substitution.

III.1.2. L'ouvrabilité :

La figure II. 25 présente les résultats de la variation de la masse volumique à l'état frais pour les quatre études [2], [4], [5] et [6]. Pour les quatre études, on remarque que quel que soit le type du matériau cimentaire, l'ouvrabilité diminue avec l'augmentation du taux de substitution. Cette diminution est principalement justifiée par la forte absorption d'eau, l'angularité et la surface rugueuse des grains de la poudre de brique [5].

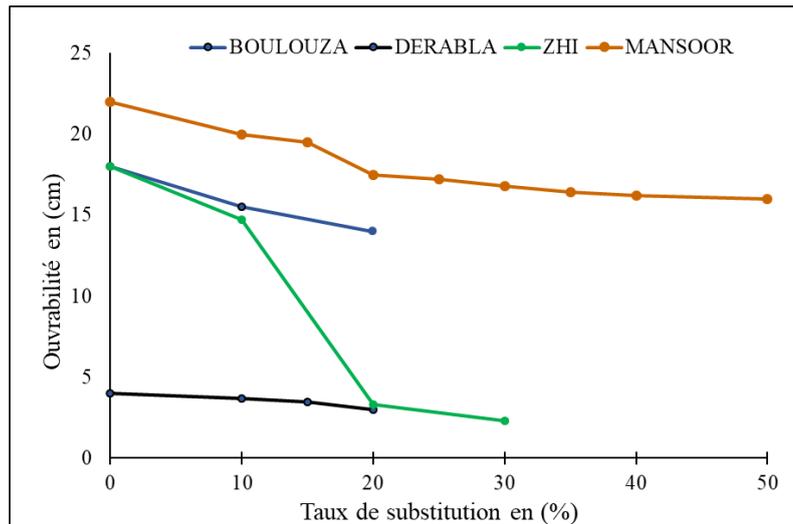


Figure II.25: Résultats de l'essai d'ouvrabilité pour les 4 études comparés.

III.2. Influence du déchet de brique finement broyé sur les propriétés à l'état durci des matériaux cimentaires :

III.2.1. La masse volumique à l'état durci :

Pour la masse volumique à l'état durci, on a comparé les résultats des trois études [2], [3] et [6]. Les résultats sont présentés dans la figure II.26. Pour les 03 études, on remarque que quel que soit le type du matériau cimentaire, la masse volumique diminue avec l'augmentation du taux de substitution. Cette diminution est principalement justifiée Cette diminution est justifiée par la faible masse volumique du déchet de brique par rapport à celle du ciment.

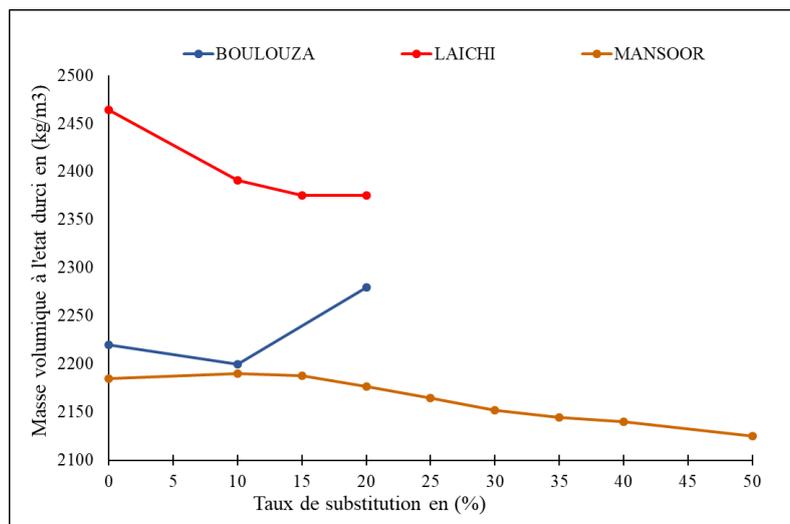


Figure II.26 : Résultats des masses volumiques à l'état durci des différents matériaux cimentaires on fonction de Toux de substitution.

III.2.2. La résistance à la compression :

La plupart des travaux qu'on a, ont étudié la variation de la résistance à la compression des matériaux cimentaires avec ajout de déchet de brique à l'âge de 7 jours et 28 jours.

Pour la résistance à la compression à 7 jours, les résultats des quatre études [3], [5], [7] et [8] sont présentés dans la figure II.27.

D'après la figure II.27, on peut remarquer que pour les 02 études [3] et [5] la résistance à la compression diminue avec l'augmentation du taux de substitution.

Pour les 02 autres études [7] et [8], on remarque jusqu'à un taux de substitution de 10%, la résistance à la compression augmente. Au-delà, on remarque que la résistance à la compression diminue avec l'augmentation du taux de substitution.

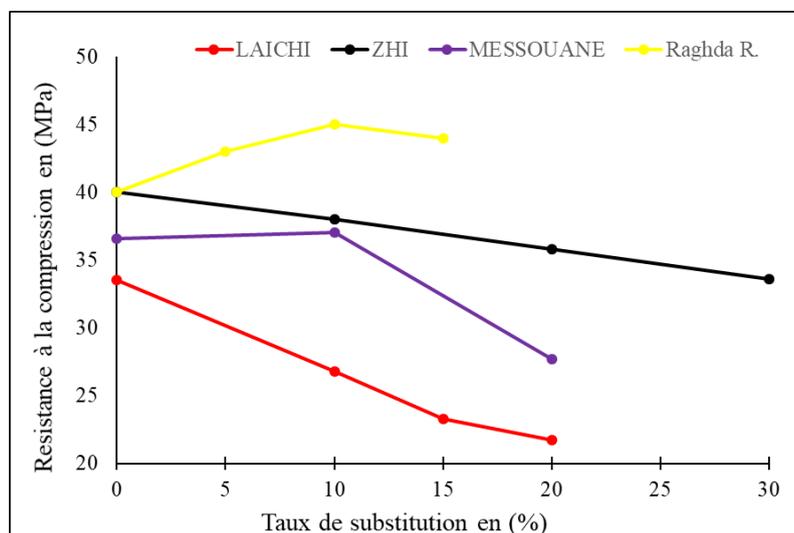


Figure III.27 : Résistance à la compression à 7 jours.

Pour la résistance à la compression à 28 jours, les résultats de 07 études [2], [3], [4], [5], [6], [7] et [8] sont comparée et présentés dans la figure II.28.

D'après la figure II.27, on peut remarquer que pour les 03 études [4], [5] et [3] la résistance à la compression diminue avec l'augmentation du taux de substitution. Cette diminution reste acceptable pour un taux de substitution de 10%.

Pour les 04 autres études [6], [8], [7] et [2], on remarque que jusqu'à un taux de substitution de 10%, la résistance à la compression augmente. Cette augmentation est justifiée par la finesse et le caractère pouzzolanique de la poudre de briques. Au-delà, on remarque que la résistance à la compression diminue avec l'augmentation du taux de substitution. La

résistance à la compression a diminué car la poudre de brique présente une faible densité apparente et une absorption d'eau plus élevée due à la porosité plus élevée [4].

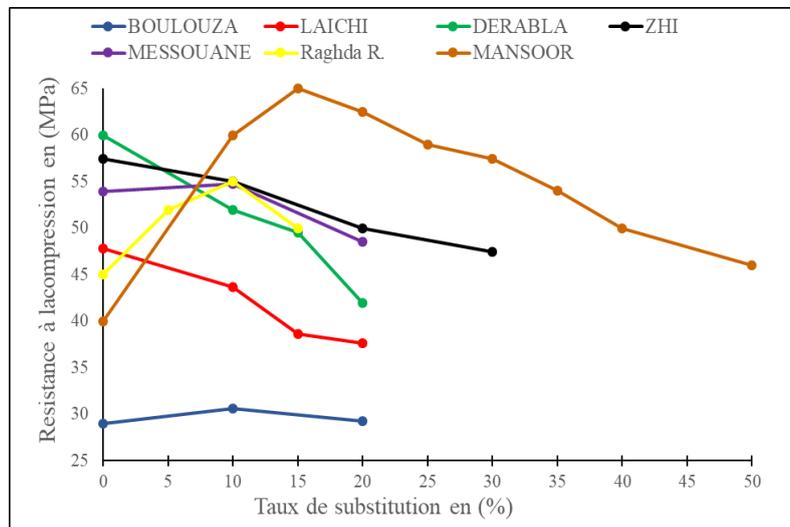


Figure III.28 : Résistance à la compression à 28 jours.

III.2.3. La résistance à la traction par flexion :

La variation de la résistance à la traction par flexion en fonction du taux de substitution du ciment par la poudre de déchet de briques à l'âge de 28 jours a été étudiée par [2], [3], [4], [5] et [6]. Les résultats sont présentés la figure II.29.

D'après la figure II.28, on remarque que comme dans le cas de la résistance à la compression, une substitution du ciment par la poudre de déchet de briques donne des résistances à la traction acceptables, même supérieures à celles des bétons et mortiers témoins. Au-delà de 10%, les résistances des différents matériaux diminuent.

La résistance en traction diminue à cause d'une faible liaison entre la poudre de brique broyée et la pâte de ciment, qui pourrait donc influencer les performances de résistance à la flexion [4].

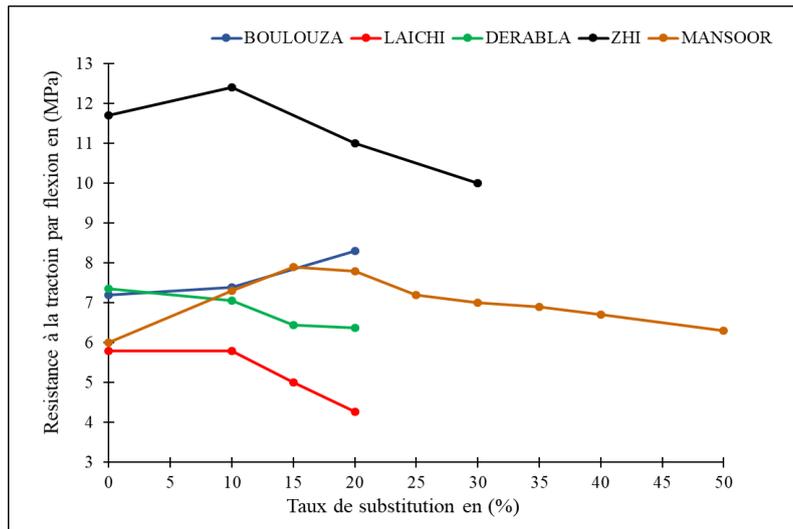


Figure II.29 : Résistance à la traction par flexion à 28 jours.

IV. CONCLUSION :

Suite aux travaux expérimentaux rapportés dans ce chapitre sur la valorisation de déchet de brique comme ajout dans les matériaux cimentaires, les conclusions suivantes sont tirées :

- L'ajout de déchet de brique diminue l'ouvrabilité et la masse volumique des matériaux cimentaires.
- L'ajout de déchet de briques diminue la résistance à la compression et à la traction par flexion. Plus le taux de substitution du ciment par le déchet de brique est élevé plus les valeurs des propriétés mécaniques diminuent.
- Un taux de substitution de 10% a donné des caractéristiques mécaniques acceptables, même supérieures des matériaux témoins.

REFERENCES :

[1] **LAHMADI A. ZEGHICHI L. et BENGHAZI Z. :** « L'influence de la substitution des granulats naturels par les déchets de brique sur le comportement mécanique du béton », Conférence ACMA - MAROC-.2012.

[2] **BOULOUZA O. et GRINE A. :** « Effet de l'ajout des déchets de brique sur les propriétés physicomécaniques des mortiers», Mémoire de Master, Université de BOUIRA, 2019.

[3] **LAICHI A. et TERKI T. :** « Etude du comportement d'un béton à hautes performances à base de déchets de brique », Mémoire de Master, Université de M'SILA. 2019.

[4] **DERABLA R. BOUREMA M. :** « Valorisation des déchets de brique rouge dans le béton à haute performance », Academic Journal Of Civil Engineering, - Spécial Issue Volume 34 - 2016.

[5] **ZHI G. YUANYUAN W. RENJUAN S. XINSHENG W. YANHUA G. :** « Construction and Building Materials », Construction and Building Materials, 2015.

[6] **MANSOOR S.S. SHEELAN M.H. DHIFAF N.H. :** « Effectiveness of replacing cement partially with waste brick powder in mortar », Journal of King Saud University – Engineering Science, 2022.

[7] **MESSAOUDENE I. EZZIANE M. BOUCENNA I. ET MADJI A. :** « Effet De L'ajout De Déchets De Brique Sur La Rhéologie Des Bétons Aux Etats Frais Et Durci », SIGC, Oran, 2018.

[8] **RAGHDA R. ABEER A. SUHAIRA L.H. :** « Utilization of brick waste as pozzolanic material in concrete mix », MATEC Web of Conferences, 2018.

CHAPITRE III :
VALORISATION DE DECHET
DE BRIQUES COMME
GRANULAT DANS LES
MATERIAUX CIMENTAIRES

**CHAPITRE 3 :
VALORISATION DE DECHET DE BRIQUES COMME
GRANULAT DANS LES MATERIAUX CIMENTAIRES**

I. INTRODUCTION

Les granulats forment le squelette du béton, ils occupent les 75% de son volume conditionnant ainsi ses propriétés à l'état frais et durci. Les granulats naturels obtenus par criblage parfois avec concassage sont satisfaisants (calcaire dur et silico-calcaire). Les roches éruptives ou sédimentaires concassées conviennent également (quartzites, granites, ...etc.).

Le recours aux granulats recyclés, déchets de démolition (brique concassée) et les déchets industriels (laitier granulé ou cristallisé), permet de formuler des bétons moins coûteux et présentant des propriétés améliorées.

Les granulats de briques concassées issus de produits de démolition ou de construction présentent un intérêt particulier, ils sont largement utilisés en Inde et au Bangladesh pour la confection des bétons [1].

II. QUELQUES ETUDES REALISEES SUR LA SUBSTITUTION PARTIEL DE LA FRACTION GRANULAIRE PAR LE DECHET DE BRIQUES :

Dans cette partie, on va présenter les résultats de quelques chercheurs qui ont étudiés l'influence de la substitution d'une partie des granulats par le déchet de briques sur les propriétés mécaniques (résistance à la compression, résistance à la traction par flexion et la résistance à la traction par fendage) des matériaux cimentaires.

II.1. Résistance à la compression :

- ✓ **Harbi R. et Benmalek. [2]**, dans leur recherche expérimentale sur l'influence de la substitution d'une partie du sable par un sable de déchet de briques dans le mortier ont

étudié la variation de la résistance à la compression en fonction du taux de substitution. Les taux choisis dans cette étude sont 0%, 33.33%, 50%, 66.67% et 100%. Les résultats de l'essai de résistance en compression à 28 jours sont présentés dans la figure III.1. Les auteurs ont constaté que la résistance à la compression des mortiers avec déchet de brique est plus faible que celle du mortier témoin et elle diminue avec l'augmentation du taux de substitution.

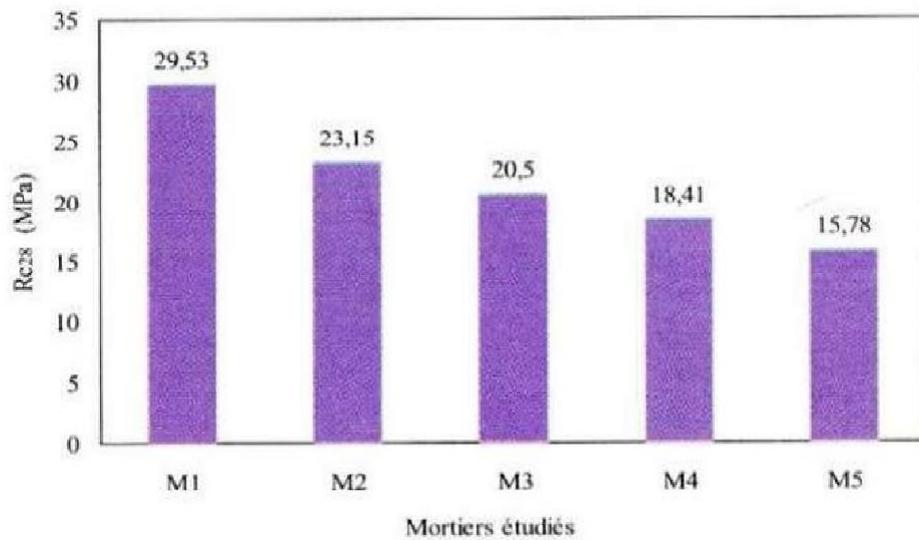


Figure III.1 : Résistances à la compression à 28 jours des mortiers étudiés par **Harbi R. et Benmalek. [2]**

- ✓ Une autre étude expérimentale réalisée par **Bourmatte N. et Houari H. [3]** sur les mortiers, dont une partie du sable normalisé a été remplacé par un sable de déchet de brique. Les taux de substitution sont : 0%, 25%, 50%, 75% et 100%. La variation de la résistance à la compression a été étudiée à l'âge de 2 jours, 7 jours et 28 jours et les résultats trouvés sont présentés dans la figure III.2. D'après les résultats, les auteurs ont remarqué que les résistances à la compression des différents mortiers augmentent dans le temps.

Le mortier à base de sable normalisé et de déchets de briques M25 présente les meilleures résistances à la compression. Ils ont observé aussi qu'au-delà d'un taux de substitution de 25%, la résistance à la compression chute d'une façon considérable, cela peut être attribué à la faible adhérence entre la pâte de ciment et les grains de sable de déchets de briques et à la résistance et la dureté des particules de sable c'est-à-dire sa capacité à résister aux contraintes qui lui sont appliquées [3].

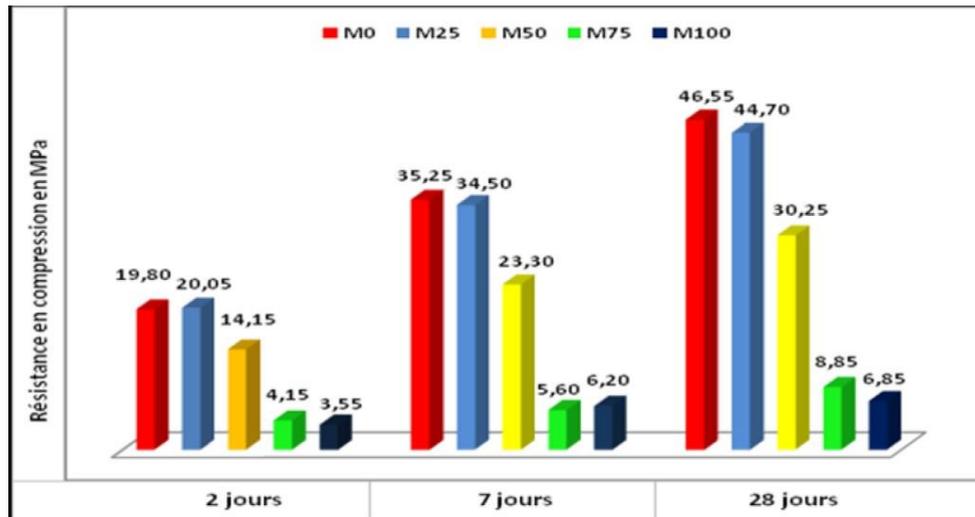


Figure III.2 : Influence du taux de substitution sur la résistance en compression des mortiers à base de déchets de briques d'après l'étude de **bourmatte N. et Houari H.** [3]

- ✓ Une autre étude expérimentale réalisée par **Marouf H. et al.** [4] sur le mortier auto plaçant, dont une partie du sable naturel a été remplacé par un sable de déchet de brique. Les taux de substitution varient de 0% à 25%. La variation de la résistance à la compression a été étudiée à l'âge de 7 jours et 28 jours et les résultats trouvés sont présentés dans la figure III.3. D'après les résultats, les auteurs ont remarqué que le remplacement du sable par des déchets de brique a réduit la résistance à la compression par rapport au mortier de référence (0 %). Et cette réduction augmente avec l'augmentation du taux de substitution. Cette diminution est principalement due à la grande porosité des déchets de brique.

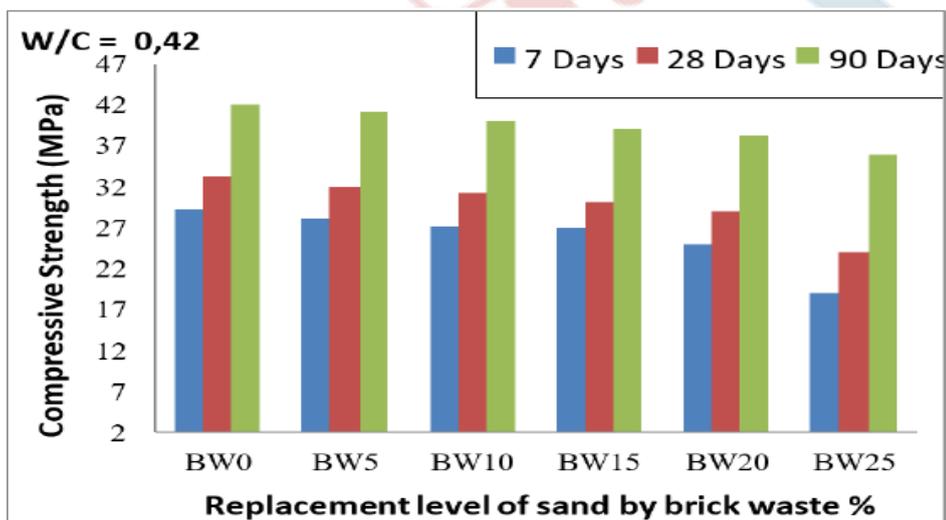


Figure III.3 : Influence de l'incorporation de déchet de briques sur la résistance à la compression d'après l'étude de **marouf H. et al.** [4]

- ✓ Une autre étude expérimentale réalisée par **Olofinnade O.M. et al. [5]** sur le béton ordinaire, dont une partie du sable naturel a été remplacé par un sable de déchet de brique. Les taux de substitution sont 10%, 15%, 20%, 30% et 40%. La variation de la résistance à la compression a été étudiée à l'âge de 7 jours, 14 jours et 28 jours et les résultats trouvés sont présentés dans la figure III.4. D'après les résultats, les auteurs ont remarqué que pour un taux de substitution de 20%, la résistance du béton de brique est supérieur à celle du béton ordinaire. au-delà, la résistance à la compression du béton diminue avec l'augmentation du taux de substitution.

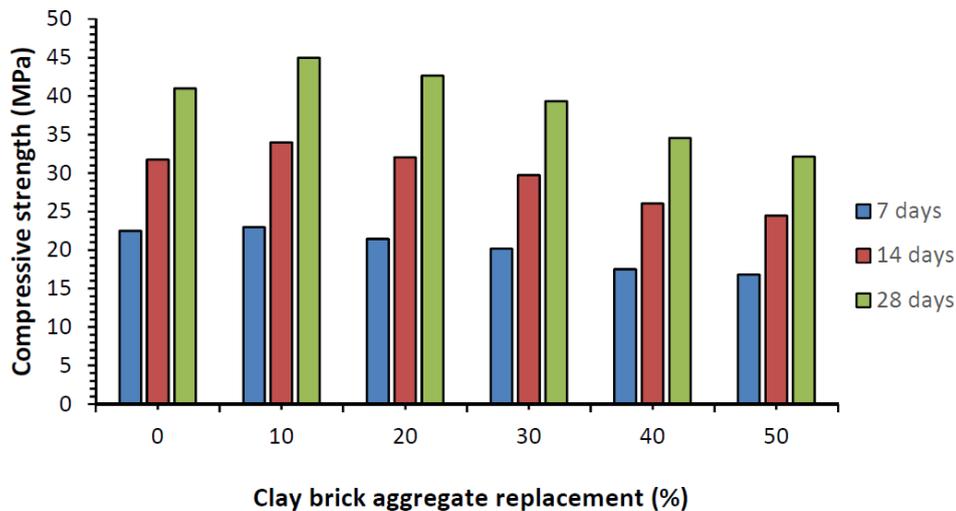


Figure III.4 : Variation de la résistance à la compression du béton à différentes âges d'après l'étude de **Olofinnade O.M. et al. [5]**

- ✓ Une autre étude expérimentale réalisée par **Lahmadi A. et al. [1]** sur le béton ordinaire. Dans cette recherche les auteurs ont étudié l'influence de la :
- substitution partielle et totale (30% - 50% - 100%) du sable naturel par celui de déchets de briques (sable recyclé),
 - substitution partielle et totale (30% - 50% - 100%) du gravier naturel par celui de déchets de briques (gravier recyclé),
 - substitution partielle et totale (50% - 100%) du squelette granulaire naturel par celui des déchets de briques, sur la résistance à la compression du béton étudié.

La variation de la résistance à la compression a été étudiée à l'âge de 3 jours, 7 jours et 28 jours et les résultats trouvés sont présentés dans la figure III.5, III.6 et III.7 respectivement. D'après les résultats, les auteurs ont remarqué que la substitution partielle des gros granulats par les déchets de briques soit à 30% ou à 50% est bénéfique, les résistances sont comparables

à celles d'un béton ordinaire. La substitution des granulats fins affecte, la résistance en compression une fois le taux de remplacement dépasse 30%. La résistance à la compression est inférieure à celle du béton ordinaire dans le cas de la substitution des granulats fins est grossiers par les granulats recyclés pour les différents âges de durcissement.

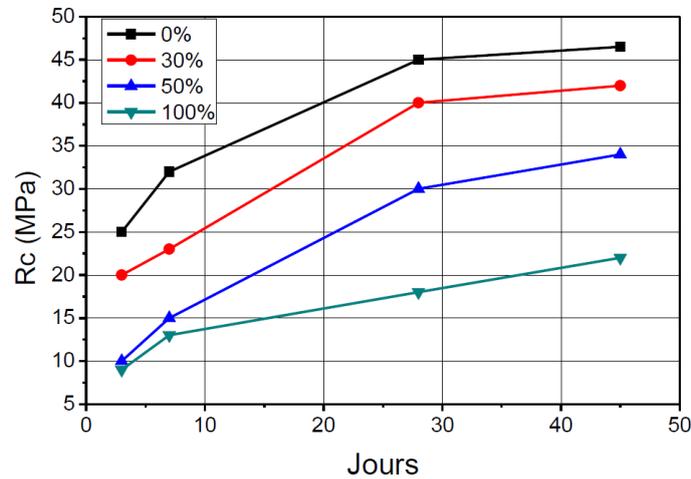


Figure III.5 : Variation de la résistance à la compression du béton à différentes âges en fonction du taux de substitution du sable nature par un sable de déchet de briques d'après l'étude de **Lahmadi A. et al. [1]**

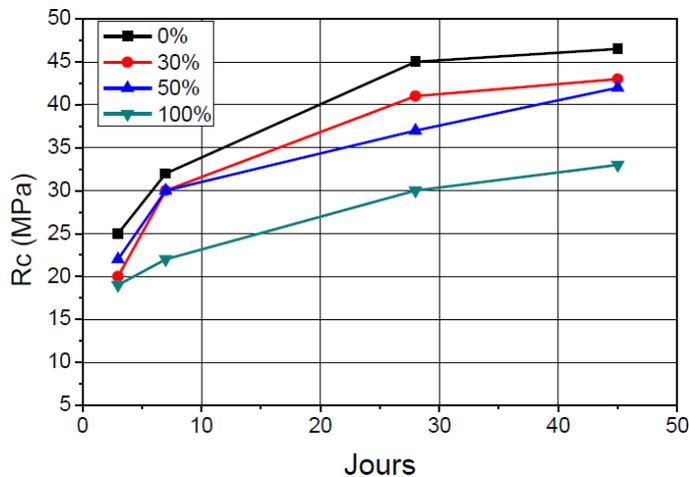


Figure III.6 : Variation de la résistance à la compression du béton à différentes âges en fonction du taux de substitution du gravier par un gravier de déchet de briques d'après l'étude de **Lahmadi A. et al. [1]**

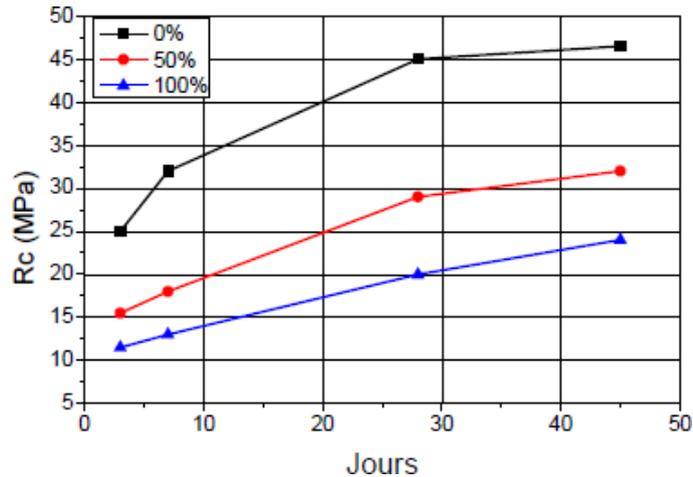


Figure III.7 : Variation de la résistance à la compression du béton à différents âges en fonction du taux de substitution du gravier par un gravier de déchet de briques. d'après l'étude de **Lahmadi A. et al. [1]**

- ✓ La figure III.8 montre la variation de la résistance à la compression à l'âge de 28 jours des blocs du béton (parpaing) en fonction du taux de substitution du sable par le déchet de briques réalisée par **Ghernouti Y. et al. [6]**. Dans cette étude, les auteurs ont remplacé le sable naturel par un sable de déchet de briques avec des taux de substitution variant de 0% à 50%. Ils ont remarqué que jusqu'à un taux de substitution de 30%, la substitution d'une partie du sable par le déchet de briques augmente la résistance à la compression. Au-delà la résistance à la compression diminue.

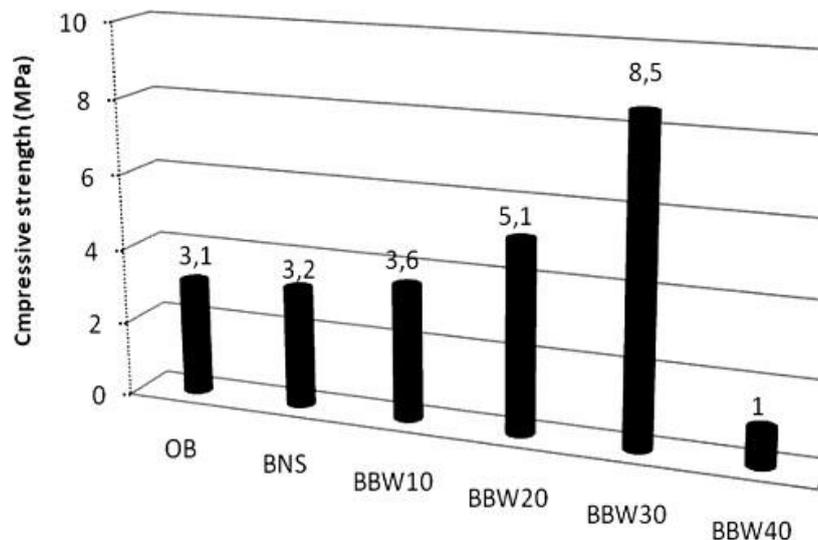


Figure III.8 : Variation de la résistance à la compression des blocs de béton (parpaing) en fonction du taux de substitution d'après l'étude de **Ghernouti Y. et al. [6]**

- ✓ Une autre étude expérimentale réalisée par **Debieb F. et Kenai S. [7]** sur le béton ordinaire. Dans cette recherche les auteurs aussi ont étudié l'influence de la :
- substitution partielle et totale (25% - 50% - 75% - 100%) du sable naturel par celui de déchets de briques (sable recyclé),
 - substitution partielle et totale (25% - 50% - 75% - 100%) du gravier naturel par celui de déchets de briques (gravier recyclé),
 - substitution partielle et totale (50% - 100%) du squelette granulaire naturel par celui des déchets de briques, sur la résistance à la compression du béton étudié (C9 et C10).

La variation de la résistance à la compression a été étudiée à l'âge de 3 jours, 7 jours, 28 jours et 90 jours et les résultats trouvés sont présentés dans la figure III.9, III.10 et III.11. D'après les résultats, les auteurs ont remarqué que quel que soit le type de substitution, la résistance à la compression du béton de briques est inférieure à celle du béton ordinaire : plus le taux de substitution augmente, plus la résistance à la compression diminue.

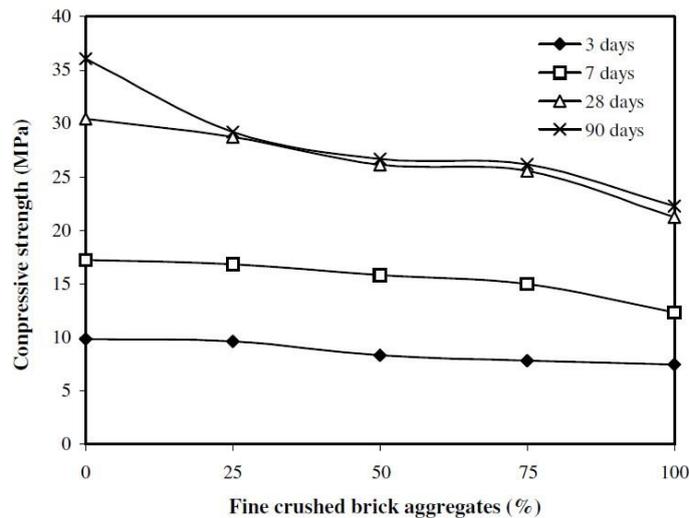


Figure III.9 : Variation de la résistance à la compression du béton à différents âges en fonction du taux de substitution (cas du sable) d'après l'étude de **Debieb F. et Kenai S [7]**

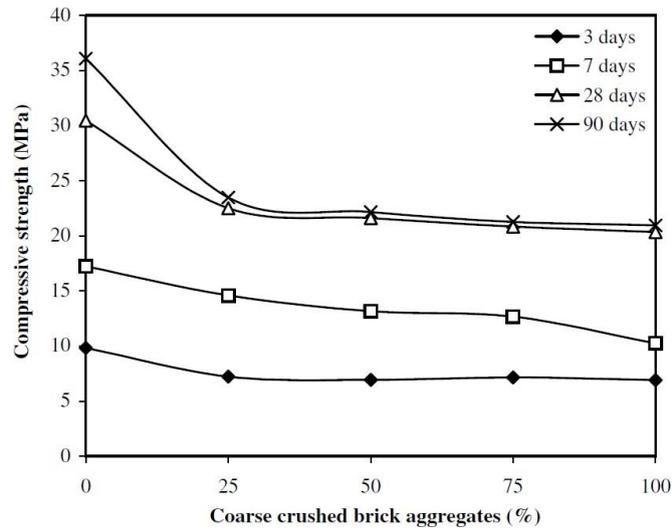


Figure III.10 : Variation de la résistance à la compression du béton à différentes âges en fonction du taux de substitution du gravier d’après l’étude de **Debieb F. et Kenai S.** [7]

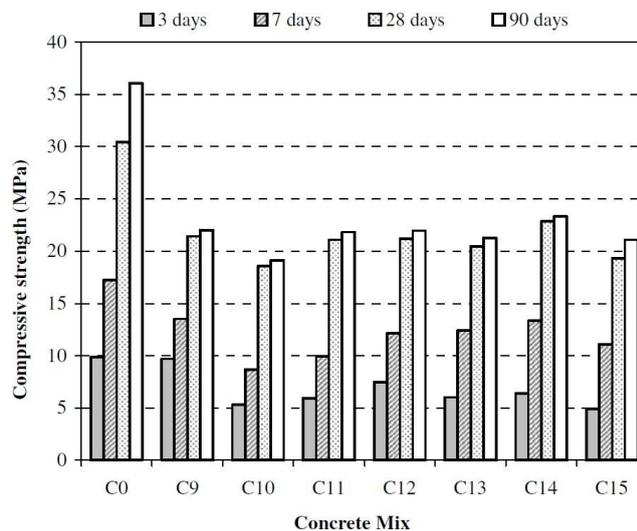


Figure III.11 : Variation de la résistance à la compression du béton à différentes âges en fonction du taux de substitution des granulats d’après l’étude de **Debieb F. et Kenai S.** [7]

- ✓ Un autre travail réalisé par **Fadia S. Kallak** [8] sur les bétons ordinaire, dont une partie gravier a été substitué par le déchet de briques; dont les taux de substitution sont 25%, 50% et 75%. Les résultats de l’essai de résistance à la compression à 28 jours sont présentés dans la figure III.12. D’après ces résultats, l’auteur a constaté que l’utilisation de briques concassées dans le béton réduit sa résistance à la compression surtout lorsque le pourcentage de briques concassées est (75 % et 100 %).

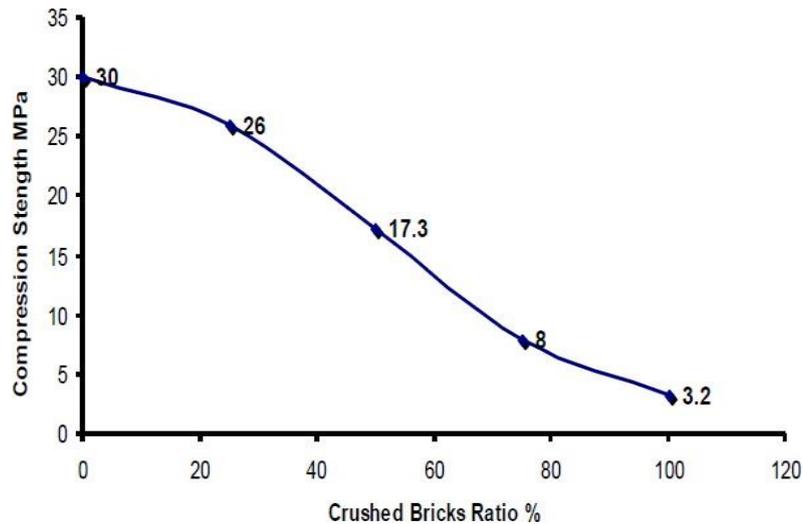


Figure III.12 : Variation de la résistance à la compression du béton à 28 jours en fonction du taux de substitution du gravier d'après l'étude de **Fadia S. Kallak [8]**

- ✓ Un autre travail réalisé par **Lina X. et al. [9]** sur les bétons ordinaire, dont une partie gravier a été substitué par le déchet ; dont les taux de substitution sont 10%, 20%, 30% 40% et 50%. Les résultats de l'essai de résistance à la compression à 28 jours sont présentés dans la figure III.13. D'après ces résultats, les auteurs ont constaté que l'utilisation de briques concassées dans le béton réduit sa résistance à la compression.

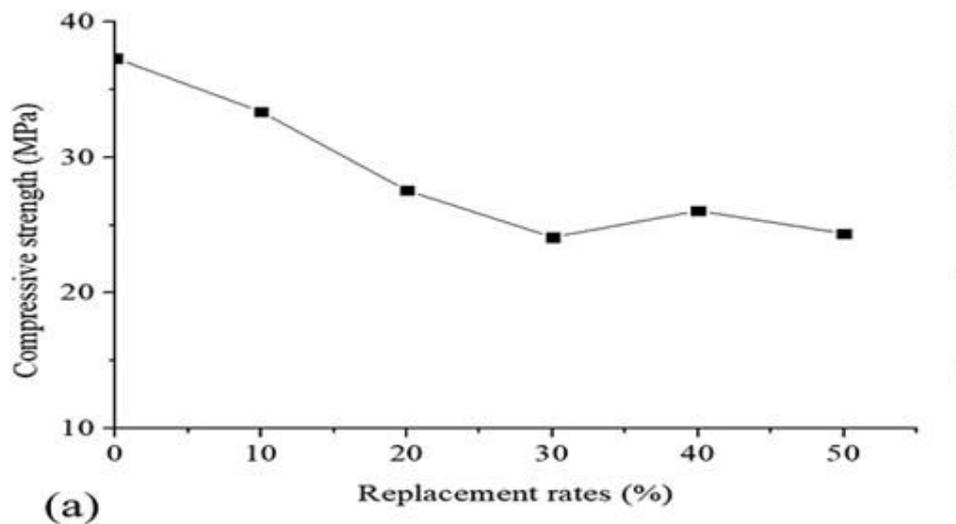


Figure III.13 : Variation de la résistance à la compression en fonction du taux de remplacement du gravier par le gravier de déchet de brique d'après l'étude de **Lina X. et al [9]**

- ✓ Une autre étude sur la substitution des granulats (sable 0/4 et gravier 4/16 par les déchets de briques de même classe) réalisée par **Ben Achour W. et al. [10]** Les taux de substitutions sont 10% 20% 30% 60% et 100%. Les résultats trouvés sont illustrés sur la figure III.14. les auteurs ont montré que l'utilisation de briques dans le béton réduit sa résistance à la compression. Pour un pourcentage de substitution de 10 %, la baisse de la résistance à la compression à 28 jours est non significative. Pour la formule contenant 30 % de déchets de briques, la baisse de la résistance reste faible de l'ordre de 9 % à 28 jours. Au-delà, la résistance à la compression marque une réduction considérable.

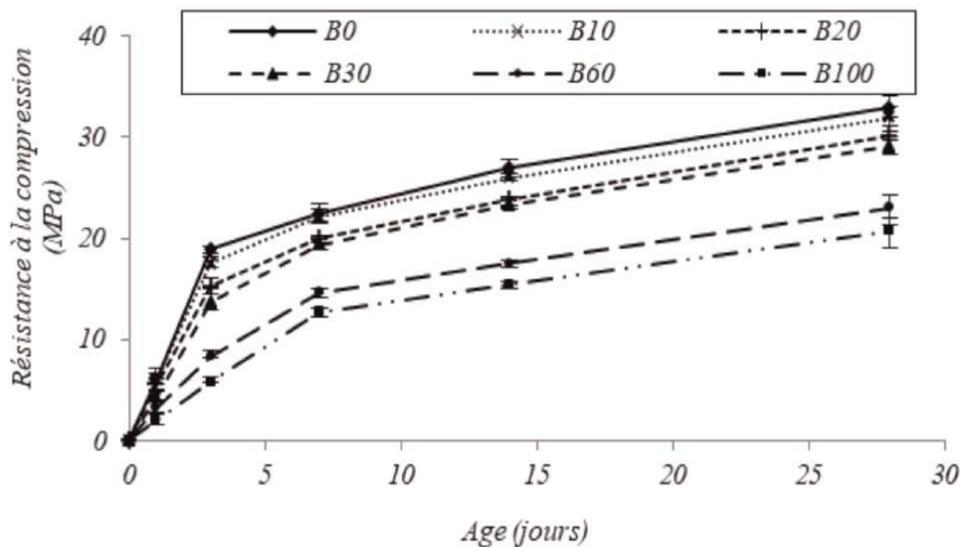


Figure III.14 : Évolution de la résistance à la compression du béton de brique en fonction de son âge d'après l'étude de **Ben Achour W. et al. [10]**

II.2. La résistance à la traction :

- ✓ Dans leur recherche expérimentale **Harbi R. et Benmalek [2]**, ils ont aussi étudié l'influence de la substitution d'une partie du sable par un sable de déchet des brique sur de la résistance à la traction par flexion. Les résultats de l'essai de résistance à la traction par flexion à 28 jours sont présentés dans la figure III.15. La même constatation que la résistance à la compression a été observée, une diminution de la résistance à la traction par flexion avec l'augmentation du taux de substitution.

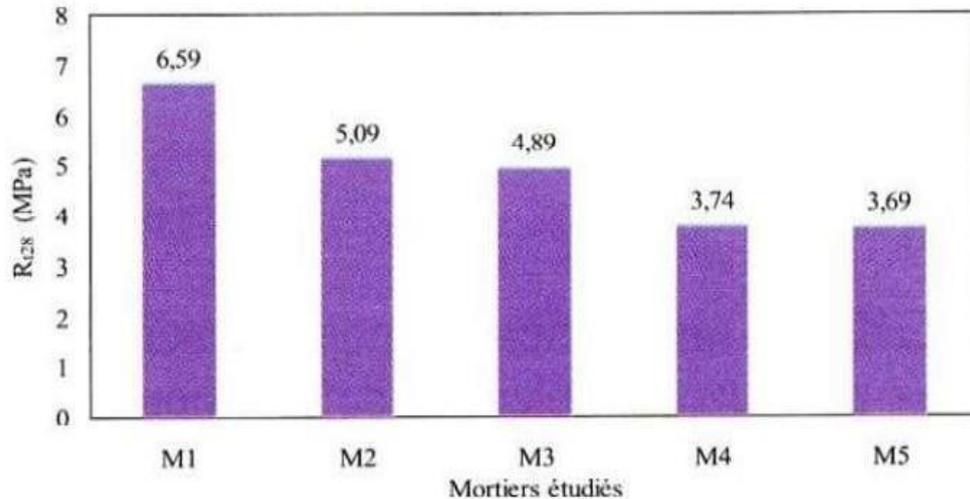


Figure III.15 : Histogramme des Résistances à la traction par flexion à 28 jours des mortiers étudiés d'après l'étude de **Harbi R. et Benmalek [2]**

✓ Dans la même étude, **Bourmatte N. et Houari H. [3]** ont étudié aussi la variation de la résistance à la traction par flexion. Les résultats trouvés sont présentés dans la figure III.16. D'après les résultats, les auteurs ont remarqué que la résistance à la traction par flexion est inversement proportionnelle au taux de substitution en sable de déchets de briques.

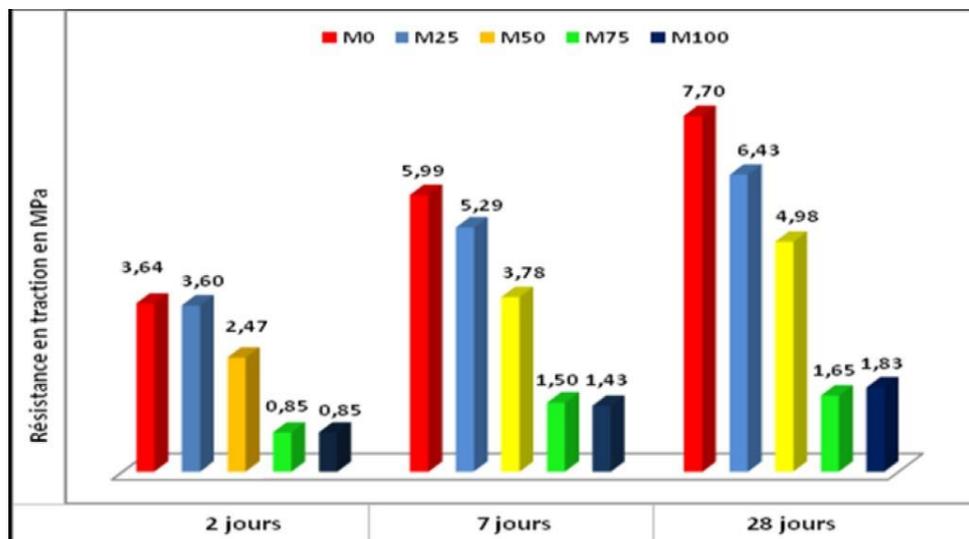


Figure III.16 : Influence du taux de substitution sur la résistance en Traction des mortiers à base de déchets de briques d'après l'étude de **Bourmatte N. et Houari H. [3]**

✓ **Marouf H. et al. [4]** dans leurs recherches ont étudié aussi la variation de la résistance à la traction par flexion. Les résultats trouvés sont présentés dans la figure III.17. D'après les résultats, les auteurs ont remarqué que le remplacement du sable par des déchets de brique

a réduit la résistance à la traction par flexion par rapport au mortier de référence (0 %). Et cette réduction augmente avec l'augmentation du taux de substitution.

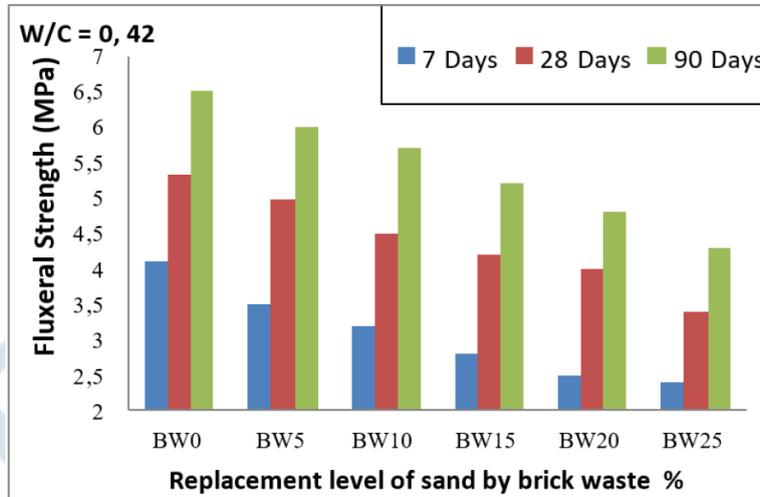


Figure III.17 : Influence de l'incorporation de déchet de briques sur la résistance à la traction par flexion d'après l'étude de **Marouf H. et al.** [6]

- ✓ **Olofinnade O.M. et al.** [5] dans leurs recherches ont étudié la variation de la résistance à la traction par flexion et la traction par fendage en fonction du taux de substitution du sable par le déchet de briques. Les résultats trouvés sont présentés dans les figures III.18 et III.19 respectivement. Pour les essais de traction, les auteurs ont constaté la même remarque que la résistance à la compression, pour un taux de substitution de 10%, la résistance à la traction du béton de brique est supérieure à celle du béton ordinaire. au-delà, la résistance à la traction du béton diminue avec l'augmentation du taux de substitution.

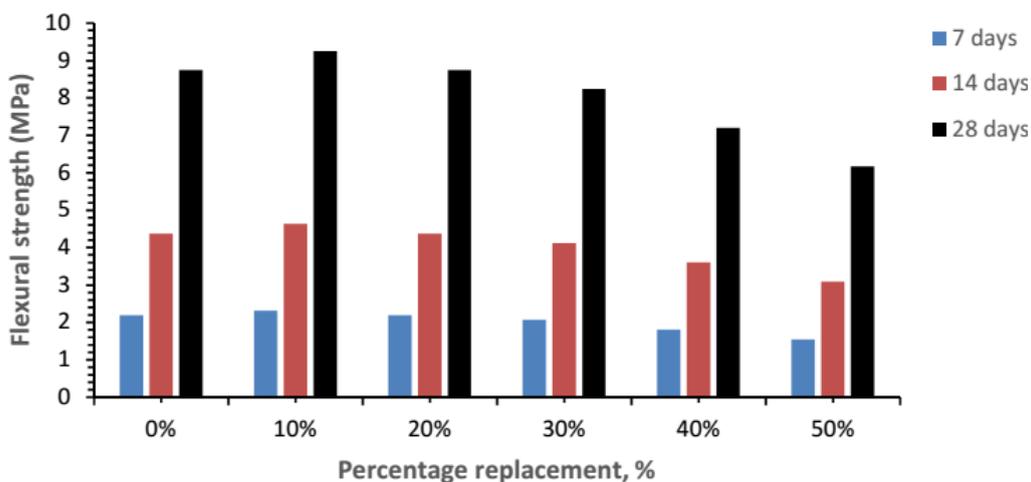


Figure III.18 : Variation de la résistance à la traction par flexion en fonction du taux de substitution en sable de déchet de briques d'après l'étude de **Olofinnade O.M. et al.** [5]

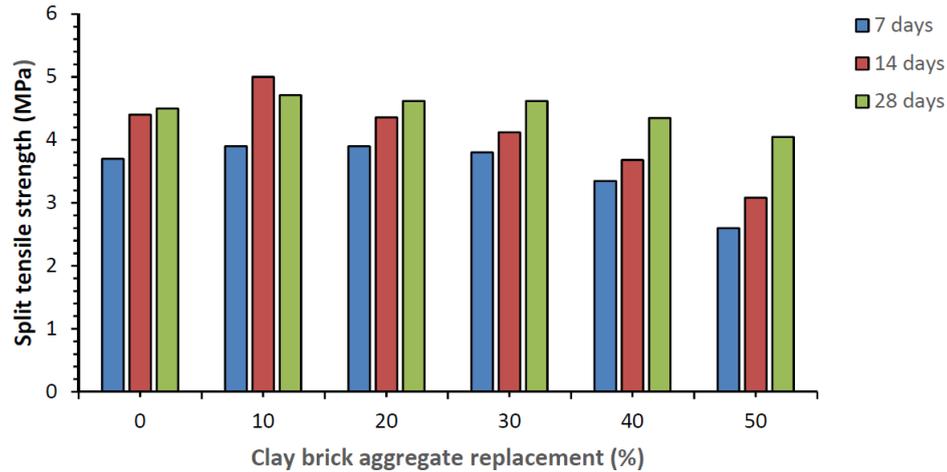


Figure III.19 : Variation de la résistance à la traction par fendage en fonction du taux de substitution en sable de déchet de briques d’après l’étude de **Olofinnade O.M. et al. [5]**

- ✓ Dans la même étude expérimentale, **Lahmadi A. et al. [1]** ont étudié l’influence de la :
- substitution partielle et totale (30% - 50% - 100%) du gravier naturel par celui de déchets de briques (gravier recyclé),
 - substitution partielle et totale (50% - 100%) du squelette granulaire naturel par celui des déchets de briques, sur la résistance à la traction par fendage du béton étudié.

La résistance à la traction par fendage a été étudiée à l’âge de 28 jours et les résultats trouvés sont présentés dans la figure III.20 (a et b). D’après les résultats, les auteurs ont remarqué que L’utilisation des granulats grossiers recyclés améliore la résistance à la traction d’un béton ordinaire.

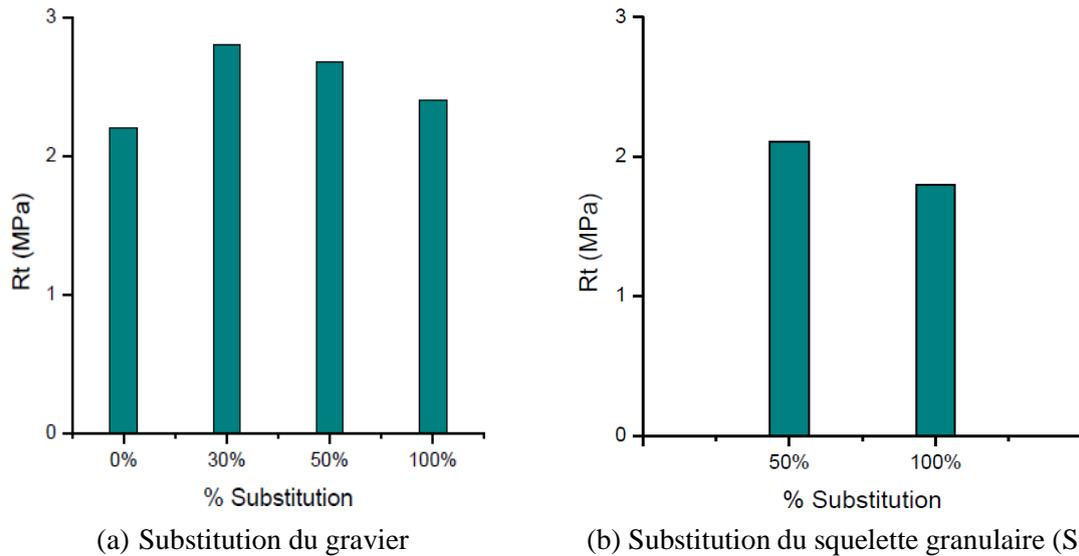


Figure III.20 : Résistance à la traction par fendage à 28 jours de durcissement d'après l'étude de Lahmadi A. et al. [1]

- ✓ Dans la même étude expérimentale, **Debieb F. et Kenai S. [7]** ont étudié l'influence de la :
- substitution partielle et totale (25% - 50% - 75% - 100%) du sable naturel par celui de déchets de briques (sable recyclé),
 - substitution partielle et totale (25% - 50% - 75% - 100%) du gravier naturel par celui de déchets de briques (gravier recyclé),
 - substitution partielle et totale (50% - 100%) du squelette granulaire naturel par celui des déchets de briques, sur la résistance à la traction par flexion du béton étudié (C9 et C10).

La résistance à la traction par flexion a été étudiée à l'âge de 7 jours, 28 jours et 90 jours et les résultats trouvés sont présentés dans le tableau III.1. D'après ces résultats, les auteurs ont remarqué que quel que soit le type de substitution, la résistance à la traction par flexion du béton de briques est inférieure à celle du béton ordinaire : plus le taux de substitution augmente, plus la résistance à la compression diminue.

Concrete mixes	Rt (MPa)		
	7 days	28 days	90 days
C _{0/0}	2.21	2.99	3.18
C _{25/0}	1.47	2.40	2.81
C _{50/0}	1.77	2.03	2.27
C _{75/0}	1.68	2.18	2.38
C _{100/0}	1.49	2.00	2.21
C _{0/25}	2.14	2.43	2.59
C _{0/50}	2.03	2.24	2.77
C _{0/75}	2.37	2.24	2.64
C _{0/100}	1.92	1.92	2.13
C _{50/50}	1.36	2.30	2.52
C _{100/100}	1.34	1.62	1.83

Tableau III.1 : Variation de la résistance à la traction par flexion en fonction du taux de substitution en déchet de briques d’après l’étude de **Debieb F. et Kenai S.** [7]

✓ **Fadia S. Kallak [8]** dans leur recherche a étudié aussi la variation de la résistance à la traction par fendage en fonction du taux de substitution du gravier par le gravier de déchet de briques. Les résultats trouvés sont présentés dans les figures III.21. L’auteur a constaté la même observation que la résistance à la compression. L’utilisation de briques concassées dans le béton réduit sa résistance à la traction par fendage surtout lorsque le pourcentage de briques concassées sont (75 % et 100 %).

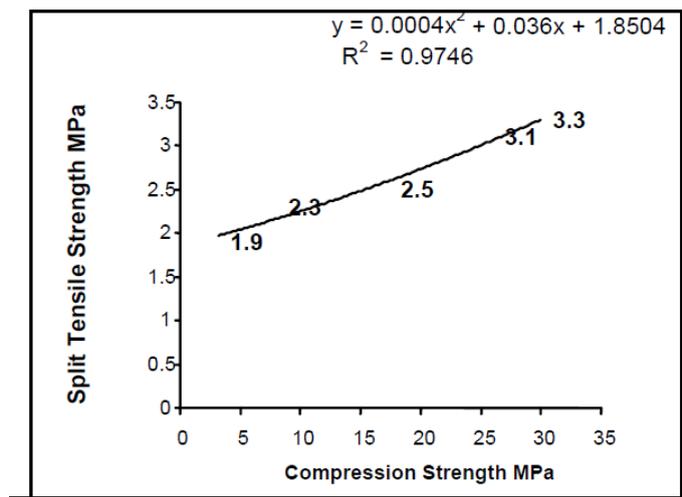


Figure III.21 : La relation entre la résistance à la compression et la résistance à la traction par fendage à 28 jours d’après l’étude de **Fadia S. Kallak [8]**

- ✓ Dans leur recherche expérimentale **Lina X. et al. [9]**, ils ont aussi étudié l'influence de la substitution d'une partie du gravier par un gravier de déchet de briques sur de la résistance à la traction par fendage. Les résultats de l'essai de la résistance à la traction par fendage à 28 jours sont présentés dans la figure III.22. D'après ces résultats, les auteurs ont constaté que l'utilisation de briques concassées dans le béton réduit sa résistance à la traction par fendage. Cette diminution reste non significative par rapport à la diminution de la résistance à la compression.

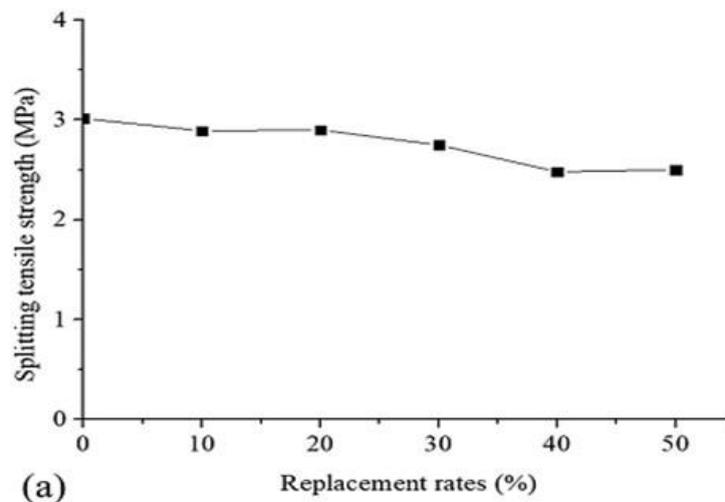


Figure III.22 : Variation de la résistance à la traction par fendage en fonction des taux de remplacement d'après l'étude de **Lina X. et al. [9]**

- ✓ La résistance à la traction par fendage a été aussi traitée par **Ben Achour W. et al. [10]** d'ont les données ont déjà citée. Les résultats trouvés sont illustrés sur Figure III.23. les auteurs ont remarqué que la résistance à la traction par fendage augmente avec l'âge du béton et diminue avec le pourcentage de déchets de briques. Mais ces résistances du béton de brique sont acceptables, car les valeurs déterminées restent dans l'intervalle des exigences normatives.

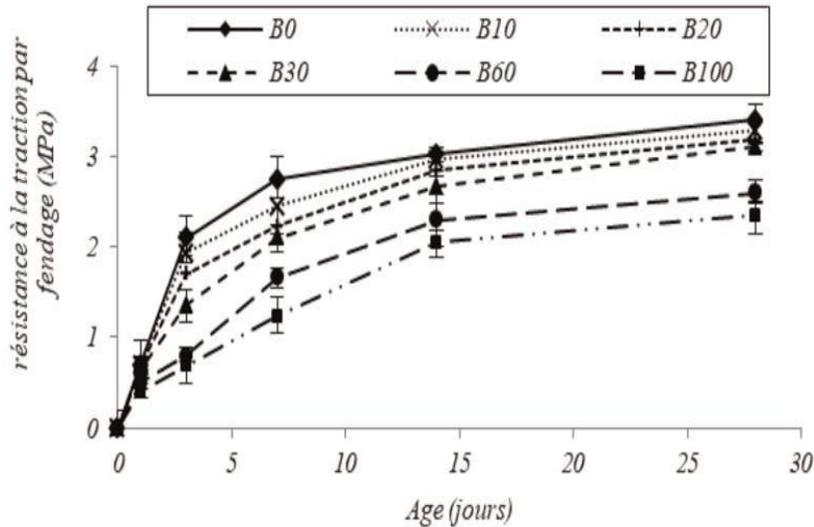


Figure III.23 : Résistances à la traction par fendage du béton de brique en fonction de son âge d'après l'étude de **Ben Achour W. et al. [10]**

III. SYNTHESE SUR LES TRAVAUX ETUDIES

III.1. Substitution d'une partie du granulat fin (sable) :

III.1.1. Dans le mortier

a) La résistance à la compression :

La figure III.24 présente les résultats de la variation de la résistance à la compression à 7 jours et 28 jours pour les trois études [2], [3] et [4] réalisées sur trois mortiers différents : la première étude sur des mortiers avec une consistance constante, la deuxième sur des mortiers normaux avec un rapport E/C constant et la troisième sur des mortiers auto-plaçant. D'après la figure, on remarque que quel que soit le type du mortier, les résistances à la compression augmentent dans le temps. La substitution d'une partie de sable par le déchet de briques diminue la résistance à la compression. Cette baisse est très considérable lorsque le taux de substitution est supérieur à 25%. Cette diminution est justifiée par la grande porosité du brique et leur grande capacité absorption d'eau par rapport au sable naturel [2] [4] et la faible adhérence entre la pâte de ciment et les grains de sable de déchet de briques et à la résistance et la dureté des particules de sable c'est-à-dire sa capacité à résister aux contraintes qui lui sont appliquées [3].

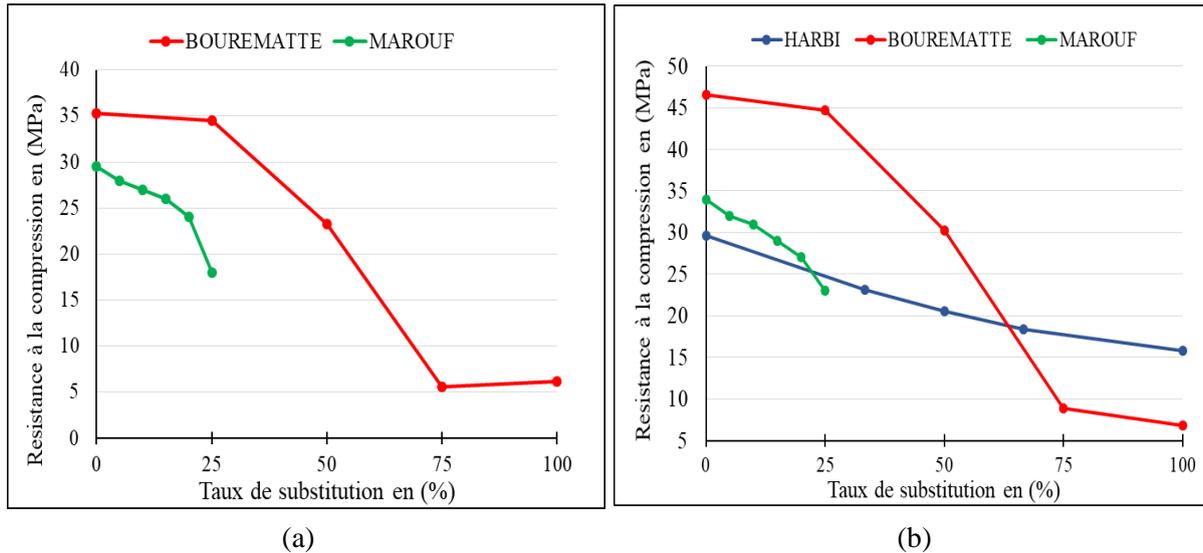


Figure III.24 : Variation de la résistance à la compression des mortiers en fonction du taux de substitution du sable par le déchet de briques à l'âge de 7 jours (a) et 28 jours (b).

b) La résistance à la traction par flexion :

La figure III.25 présente les résultats de la variation de la résistance à la traction par flexion à 7 jours et 28 jours pour les trois études [2], [3] et [4]. D'après la figure, on peut constater les mêmes remarques que la résistance à la compression. Les résistances à la traction par flexion augmentent dans le temps et la substitution d'une partie de sable par le déchet de briques diminue la résistance à la traction par flexion.

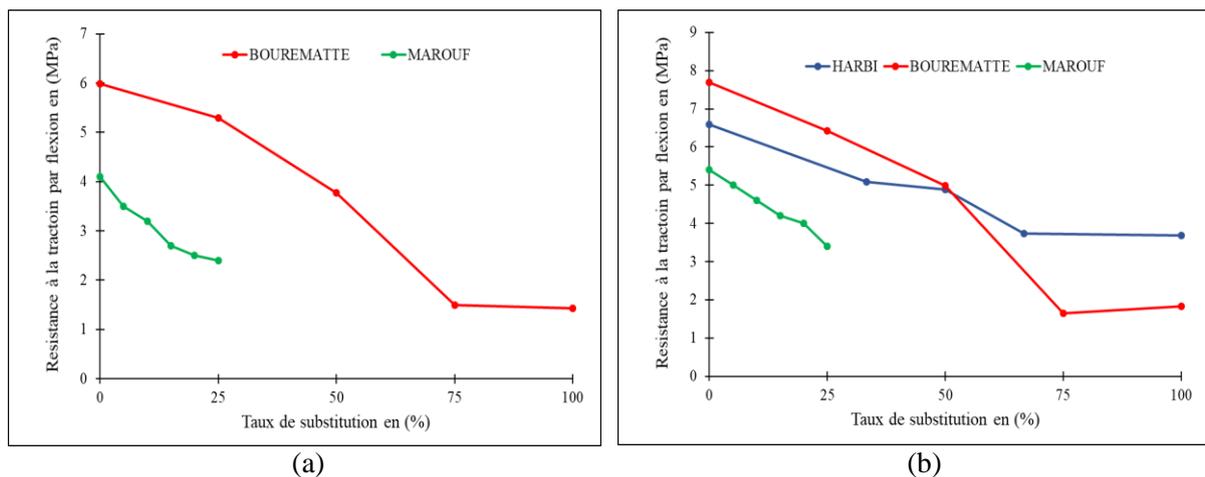


Figure III.25 : Variation de la résistance à la traction par flexion des mortiers en fonction du taux de substitution du sable par le déchet de briques à l'âge de 7 jours (a) et 28 jours (b).

III.1.2. Dans le béton

a) La résistance à la compression :

La figure III.26 présente les résultats de la variation de la résistance à la compression à 7 jours (a) et 28 jours (b) pour les quatre études [1], [5], [6] et [7] réalisées sur quatre bétons de différentes formulations. D'après les figures on remarque que quel que soit le type de béton, jusqu'à un taux de substitution 30%, les bétons avec déchets de briques donnent des résistances à la compression acceptable, même supérieures à celle des bétons témoins. Par exemple, à l'âge de 28 jours et pour un taux de substitution 30%, l'étude de [5] a donné une résistance à la compression de 41MPa pour le béton de référence (BO) contre une résistance de 40MPa pour le béton de briques. Au-delà, on remarque une chute de la résistance. Cette baisse est justifiée par le degré d'absorption élevé du sable de déchet de briques par rapport au sable naturel [1], [7].

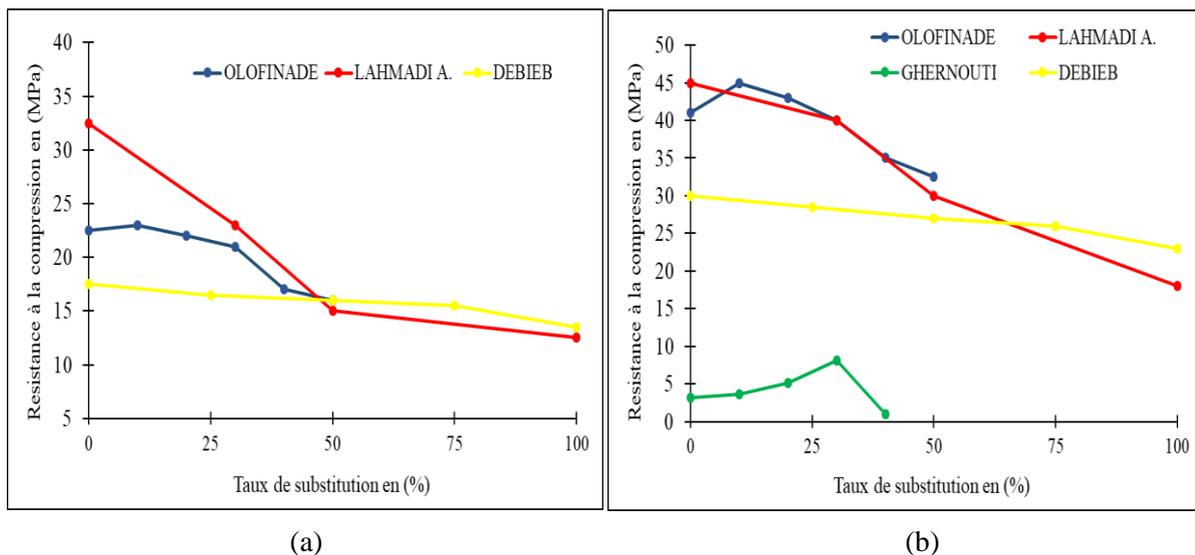


Figure III.26 : Variation de la résistance à la compression des bétons en fonction du taux de substitution du sable par le déchet de briques à l'âge de 7 jours (a) et 28 jours (b).

b) La résistance à la traction par flexion :

La figure III.27 présente les résultats de la variation de la résistance à la traction par flexion à 7 jours et 28 jours pour les deux études [5] et [7]. D'après la figure, on peut constater les mêmes remarques que la résistance à la compression.

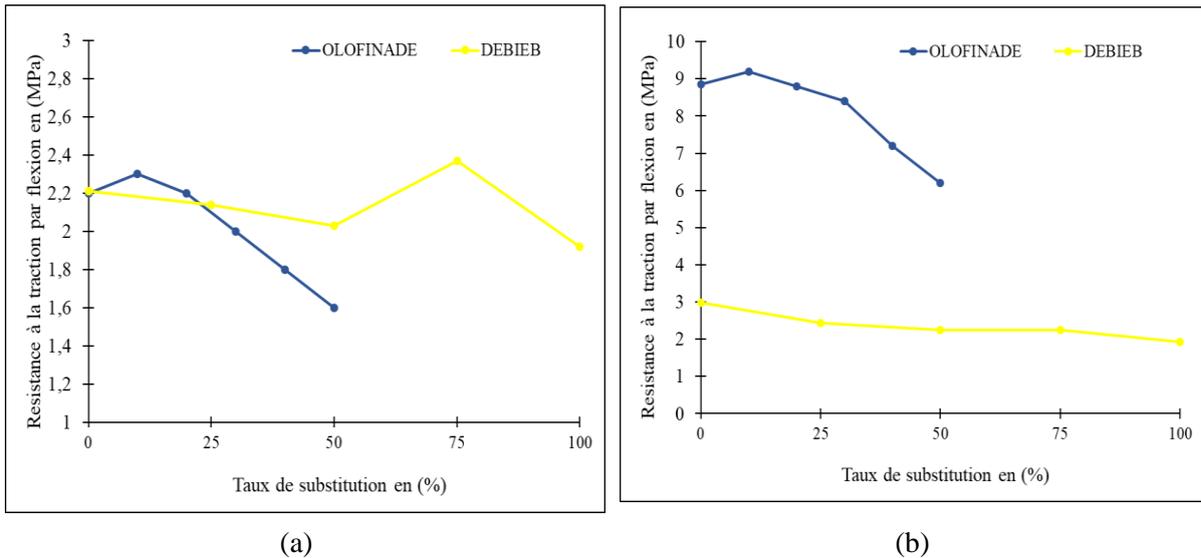


Figure III.27 : Variation de la résistance à la compression des bétons en fonction du taux de substitution du sable par le déchet de briques à l'âge de 7 jours (a) et 28 jours (b).

c) La résistance à la traction par fendage :

La figure III.28 présente les résultats de la variation de la résistance à la traction par fendage à 28 jours pour les deux études [1] et [5]. D'après la figure, on remarque que quel que soit le type du béton, les valeurs de la résistance à la traction par fendage des bétons de déchet de briques sont acceptable, même supérieure à celle des bétons témoins. Par exemple, pour l'étude [1] on remarque une résistance à la traction par fendage de 2.2MPa pour le béton témoin contre une résistance à la traction par fendage de 2.4MPa pour le béton de brique (100% de substitution du sable).

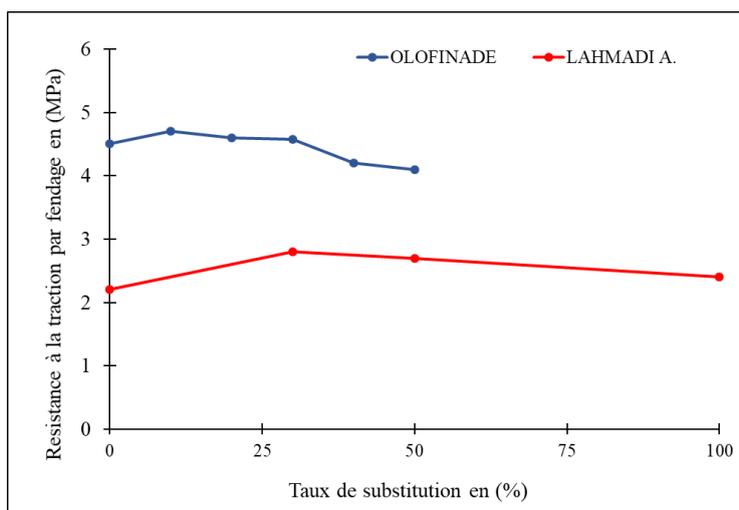


Figure III.28 : Variation de la résistance à la traction par fendage des bétons en fonction du taux de substitution du sable par le déchet de briques à l'âge de 28 jours.

III.2. Substitution d'une partie du gros granulat (gravier)

a) La résistance à la compression :

La figure III.29 présente les résultats de la variation de la résistance à la compression à 7 jours (a) et 28 jours (b) pour les quatre études [1], [7], [8] et [9] réalisées sur quatre bétons de différentes formulations dont une partie de gravier a été substituée par le déchet de briques. D'après les figures, on remarque que quel que soit la formulation du béton, les résistances à la compression des bétons de déchets de briques sont inférieures à celles des bétons témoins. Elles diminuent avec l'augmentation du taux de substitution, surtout pour les taux de 75% et 100%. Pour un taux de substitution de 25%, les résistances restent comparables à celles d'un béton ordinaire. Cette diminution est justifiée par la faible adhérence entre la pâte de ciment et les grains de gravier de déchet de briques et à la porosité élevée de déchet de briques concassées [8].

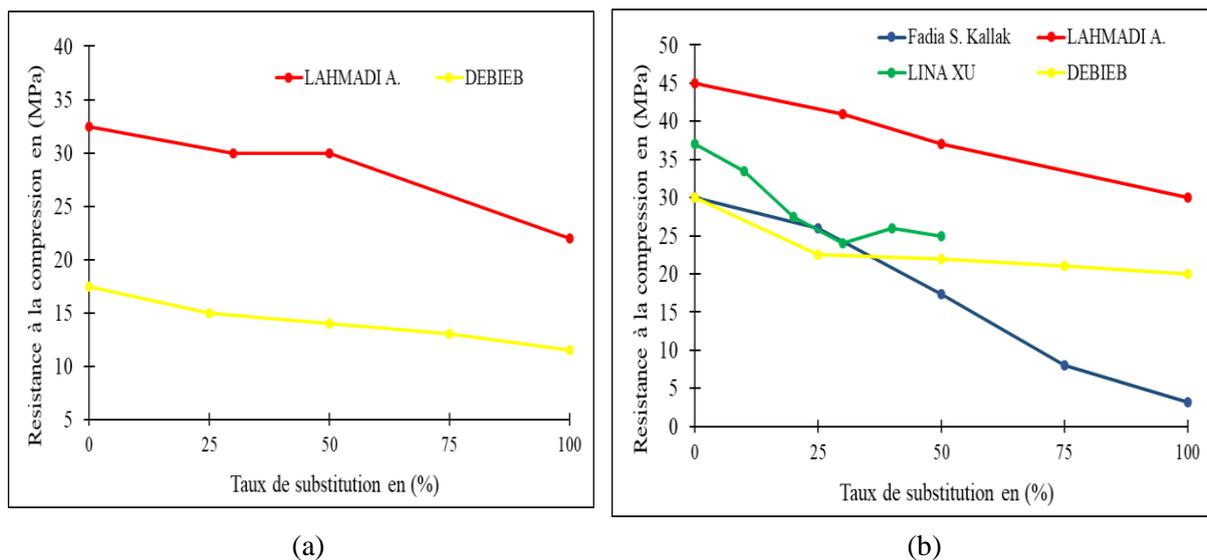


Figure III.29 : Variation de la résistance à la compression des bétons en fonction du taux de substitution du gravier par le déchet de briques à l'âge de 7 jours (a) et 28 jours (b).

b) La résistance à la traction par fendage :

La figure III.30 présente les résultats de la variation de la résistance à la traction par fendage à 28 jours pour les trois études [1], [8] et [9]. D'après la figure, on remarque que pour les deux études [1] et [9], L'utilisation des granulats grossiers recyclés améliore la résistance à la traction, en comparaison avec celle d'un béton ordinaire. La texture et la forme des granulats de brique concassée favorisent l'adhérence entre les granulats et la matrice cimentaire [1]

Pour la troisième étude, la résistance à la traction par fendage du béton avec déchet de briques est inférieure à celle du béton témoin, cette diminution est très faible et n'est pas significatif [8].

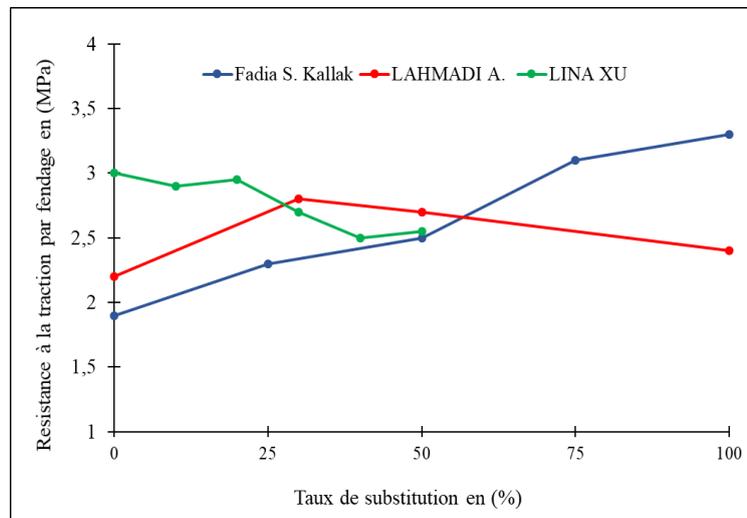


Figure III.30 : Variation de la résistance à la traction par fendage des bétons en fonction du taux de substitution du gravier par le déchet de briques à l'âge de 28 jours.

III.3. Substitution d'une partie du squelette granulaire (sable + gravier)

a) La résistance à la compression :

La figure III.31 présentent les résultats de la variation de la résistance à la compression à 7 jours (a) et 28 jours (b) pour les trois études [1], [7], et [10] réalisées sur quatre bétons de différentes formulations dont une partie des granulats (sable + gravier). D'après la figure, on remarque que quel que soit la formulation du béton, la substitution d'une partie des granulats par le déchet de briques diminue la résistance à la compression. Cette baisse est considérable lorsque le taux de substitution est supérieur à 25%.

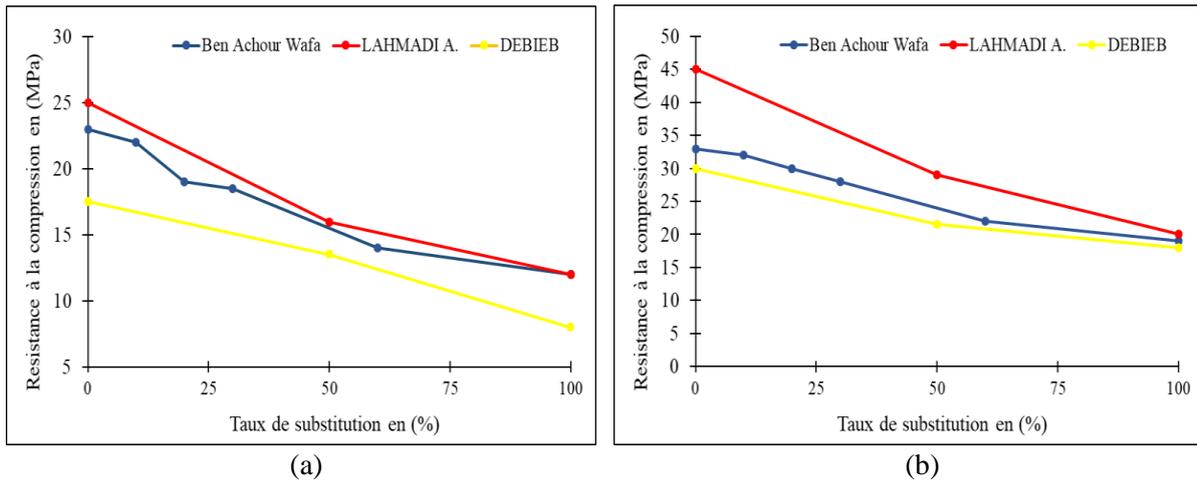


Figure III.31 : Variation de la résistance à la compression des bétons en fonction du taux de substitution des granulats (sable + gravier) par le déchet de briques à l'âge de 7 jours (a) et 28 jours (b).

b) La résistance à la traction par fendage :

La figure III.32 présente les résultats de la variation de la résistance à la traction par flexion à 28 jours pour les deux études [1] et [10] réalisées sur des bétons de différentes formulations dont une partie des granulats (sable + gravier).

La résistance à la traction par fendage diminue avec l'augmentation du pourcentage de déchets de briques. Cette diminution reste faible. Pour un taux de substitution de 100%, cette baisse est de l'ordre de 30% pour l'étude de **Ben Achour W. [10]** et de 18% pour l'étude de **Lahmadi A. [1]**

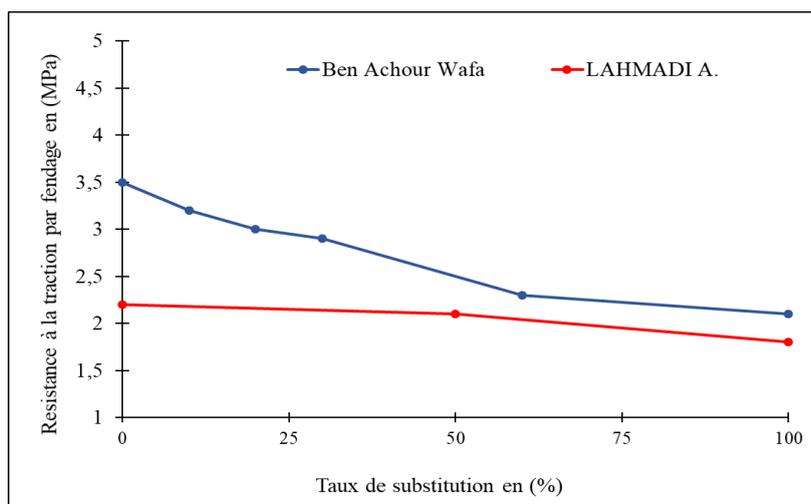


Figure III.32 : Variation de la résistance à la traction par fendage des bétons en fonction du taux de substitution des granulats (sable + gravier) par le déchet de briques à l'âge de 28 jours.

IV. CONCLUSION :

Suite aux travaux expérimentaux rapportés dans ce chapitre sur la valorisation de déchet de brique comme granulats dans les matériaux cimentaires, et quel que soit le type de substitution : substitution du sable ou bien du gravier ou des deux, les conclusions suivantes sont tirées :

- L'utilisation de briques concassées dans les matériaux cimentaires réduit sa résistance à la compression et à la résistance à la traction par flexion. Ces diminutions des résistances du béton de brique sont acceptables pour une substitution ne dépasse pas 25%, car les valeurs déterminées restent dans l'intervalle des exigences normatives.
- La substitution d'une partie de granulats par des granulats de déchets de briques donne des résultats acceptables, même une amélioration de la résistance de traction par fendage.

REFERENCE

- [1] **LAHMADI A. ZEGHICHI L. et BENGHAZI Z.** : « L'influence de la substitution des granulats naturels par les déchets de brique sur le comportement mécanique du béton », Conférence : ACMA, -MAROC-, 2012.
- [2] **HARBI R. et BENMALEK M.L.** : « Propriétés physico-mécanique et durabilité des mortiers à base de déchets de briques », Algérie équipement, N° 51, 2012.
- [3] **BOURMATTE N. HOUARI H.** : « Caractérisation expérimentale des bétons et mortiers a base de granulats recycles : béton de démolition et déchets de briques », Sciences et Technologie B – N°38, 2013.
- [4] **H. MAROUF. O. CHAALAL. F. MESSAOUDI. W. MAHERZI. CHANDRA. H. MUHAMAD.** : « Impact of Fine Brick Waste Aggregate Addition on Workability and Compressive Strength of Self-Compacting Mortar », International Journal of Engineering Research in Mechanical and Civil Engineering (IJERMCE), Vol 9, Issue 9, 2022.
- [5] **OLOFINNADE O.M. OGARA J.I. OYAWOYE T.I. EDE A.N. NDAMBUKI J.M. OYAYEMI K.D. ET NDUKA O.D.** : « Mechanical properties of high strength eco-concrete containing crushed waste clay brick aggregates as replacement for sand »,1st International Conference on Sustainable Infrastructural Development, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 640, 2019.
- [6] **GHERNOUTI Y. RABEHI B. BOUZIANI T. CHAID R.** : « Valorisation of brick wastes in the fabrication of concrete blocks », Materials and technology 50 (6), 2016.
- [7] **DEBIEB F. KENAI S.:** « The use of coarse and fine crushed bricks as aggregate in concrete », Construction and Building Material, 22, 2008.
- [8] **FADIA S. KALLAK,** « Use Of Crushed Bricks As Coarse Aggregate In Concrete Tikrit » Journal of Eng. Sciences/Vol.16/No.3, 2009.
- [9] **LINA X. WEI SU. AND TIAN SU.** : « Influence of recycled clay brick aggregate on the mechanical properties of concrete », Reviews on Advanced Materials Science, 2022.
- [10] **BEN ACHOUR W. SALOUA EL EUCH KHAY. NEJI J.** : « Characterisation et modélisation du béton à base de déchets de briques concassés », Revue des composites et des matériaux avancés–n° 1-2 , 2017.

CONCLUSION
GÉNÉRALE

CONCLUSION GENERALE

Le recyclage des déchets est devenu aujourd'hui une bonne solution qui peut offrir de nouvelles ressources renouvelables et durables contribuent dans le processus de la construction dans le domaine du génie civil et ainsi protéger l'environnement. Les déchets de briques rouges constituent une alternative intéressante dans ce cas vue que ces déchets sont disponibles et sont abandonnés au niveau des chantiers.

Le travail présenté dans ce mémoire s'articule principalement autour d'une synthèse bibliographique entreprise sur la valorisation de déchet de briques, en vue de le recycler dans le domaine du génie civil et plus précisément dans l'élaboration des mortiers et des bétons ou sous formes d'ajouts cimentaires.

D'après les résultats de plusieurs recherches étudiées dans le deuxième et le troisième chapitre, les conclusions suivantes sont tirées :

- ✓ L'ajout de déchet de brique diminue l'ouvrabilité et la masse volumique des matériaux cimentaires.
- ✓ La formulation des matériaux cimentaires à base de ciment avec ajout de 10% de déchet de brique permet de fabriquer des matériaux économiques et écologiques tout en améliorant les propriétés mécaniques.
- ✓ L'utilisation de briques concassées dans les matériaux cimentaires réduit sa résistance à la compression et à la résistance à la traction par flexion. Ces diminutions sont acceptables pour des taux de substitution ne dépasse pas 25%.
- ✓ La substitution d'une partie de granulats par des granulats de déchets de briques donne des résultats acceptables, même une amélioration de la résistance de traction par fendage.