

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE AKLI MOHAND OULHADJ de Bouira



Faculté des Sciences et des Sciences Appliquées
Département de Génie Civil

Mémoire de fin d'études

Présenté par :

Mr. Boulouza Oualid

Mr. Grine Abdelbasset

En vue de l'obtention du diplôme de **Master 2en :**

Filière : Génie Civil

Spécialité : Matériaux en Génie Civil

Thème :

Effet de l'ajout des déchets de brique sur les propriétés physicomécaniques des mortiers.

Devant le jury composé de :

Aribi Chouaib	MAA	UAMOB	Président
Kennouche Salim	MCB	UAMOB	Encadreur
Hami Brahim	MCB	UAMOB	Examineur
Nom et prénom	Grade	UAMOB	Examineur

Année Universitaire 2018/2019

Remerciements

Nous tenons à remercier tout d'abord mon encadreur, Monsieur KENNOUCHE Salim, pour sa patience, et surtout pour sa confiance, ses remarques et ses conseils, sa disponibilité et sa bienveillance.

Qu'il trouve ici le témoignage de ma profonde gratitude.

On voudrait également remercier les membres du jury pour avoir accepté d'évaluer ce travail et pour toutes leurs remarques et critiques.

On tient aussi à remercier les ingénieurs responsables de laboratoire matériaux pour leurs aides et disponibilité.

Nos vifs remerciements à tous mes enseignant(e)s, en signe d'un grand respect et d'un profond amour
!!!

Merci à vous tous

Dédicace

À mes parents.

À mon grand frère et oncle

À tous mes frères et sœurs, ainsi que leurs enfants

À mes beaux-parents et à toute ma famille

À tous mes amis et collègues

À tous les étudiants de la promotion 2018/2019

Spécialité : Matériaux en Génie Civil

A tous ceux qui, par un mot, m'ont donné la force de continuer

BOULOUZA OUALID

Dédicace

À mes parents.

À mon grand frère et oncle

À tous mes frères et sœurs, ainsi que leurs enfants

À mes beaux-parents et à toute ma famille

À tous mes amis et collègues

À tous les étudiants de la promotion 2018/2019

Spécialité : Matériaux en Génie Civil

A tous ceux qui, par un mot, m'ont donné la force de continuer

GRINE ABDELBASSET

Résumé :

Chaque année, des millions de tonnes de déchets de brique rouge constituent des problèmes environnementaux insupportables dans le monde entier dont l'Algérie fait partie. Les déchets de brique est principalement composé d'argile, son utilisation dans la construction comme élément de séparation dans le bâtiment, connue pour ses caractéristiques physicomécaniques, telle que la légèreté, l'isolation thermique et phonique, néanmoins le caractère fragile de ses brique est un paramètre qui favorise le taux de rebut en industrie ou lors de la manutention au niveau des chantiers et parc des matériaux de construction, la prise en charge de ce type de déchet pourrait constituer une solution appropriée vers le développement de systèmes d'infrastructure durables (respectueux de l'environnement, énergétiques et économiques). Dans cette recherche, les déchets de brique finement broyé (inférieur à 80 μm), sont introduits aux mortiers par addition et remplacement d'une quantité de ciment à des taux de 10 et 20 %, les résultats d'essais physiques confirment le caractère absorbant de la poudre de brique (54,64%), et l'effet positif de l'ajout de poudre de brique à 10 et 20 % par remplacement et addition au mortier sur les résistances mécaniques en compression.

Mots-clés : poudre de brique rouge, mortiers, essais physicomécaniques.

Abstract :

Every year, millions of tons red brick waste constitute unbearable environmental problems worldwide of which Algeria is part. The brick waste is mainly composed of clay, its use in the construction as element of separation in the building, known for its physico-mechanical characteristics, such as lightness, thermal and phonic insulation, but their fragile character constitute a parameter which favours the rate of scum in industry or during handling at the level in construction sites and park of building materials, the taking care of this type of waste product could constitute a solution towards the development of lasting systems (respectful of environment, energy and economic). This research, the brick waste finely crushed (inferior in 80 μm), is introduced in mortar by addition and replacement of a quantity of cement in 10 and 20 % rates, the results of physical test confirm the absorbing character of the brick powder (54,64 %), and the positive effect of the addition of powder of brick in 10 and 20 % by replacement and addition in the mortar by improving mechanical resistance in compression.

Key words: Powder of red brick, mortar, physico-mechanical test.

ملخص :

كل عام، تشكل ملايين الأطنان من نفايات الطوب الأحمر مشكلات بيئية لا تطاق حول العالم تشكل الجزائر جزءاً منه. تتكون نفايات مواد البناء الحمراء أساساً من الطين ، والمستخدم في قطاع البناء كعنصر فصل في المباني ، والمعروفة بخصائصها الفيزيائية والميكانيكية ، مثل الخفة والعزل الحراري والصوتي ، ومع ذلك فإن الطبيعة الهشة لهذه المواد يشكل عاملاً في زيادة نسبة النفايات في الميدان الصناعي وأثناء عملية النقل والترتيب في ورشات البناء وأماكن بيعها ، يمكن أن تشكل إعادة تدوير هذا النوع من النفايات حلاً مناسباً لتطوير مواد بناء تساهم في البنية التحتية المستدامة وتحترم البيئة وذات كلفة منخفضة واستهلاك طا قوي منخفض. (في هذا البحث ، يتم إضافة نفايات الطوب المطحون (أقل من 80 ميكرون) في ملاط إسمنتي عن طريق إضافة واستبدال كمية من الأسمنت بنسبة 10 ٪ و 20 ٪. نتائج التجارب الفيزيائية والميكانيكية تؤكد امتصاص مسحوق القرميد (54,64 ٪) ، وتأثير إيجابي بعد إضافة واستبدال مسحوق القرميد بنسبة 10 ٪ و 20 ٪ على قوى الضغط للملاط الإسمنتي .

الكلمات المفتاحية : مسحوق الأجر الأحمر ، ملاط إسمنتي ، التجارب الفيزيائية الميكانيكية.

Table des matières

Introduction Générale.....	1
<i>Chapitre I : Les produits rouges dans la construction</i>	2
I.1. Introduction.....	3
I.2. Les produits rouges dans la construction.....	3
I.3. Matière premier.....	4
I.3.1. L'argile.....	4
I.3.1.1. Terme argile.....	4
I.3.1.2. Définition.....	4
I.3.1.3. Origines géologiques d'argiles.....	4
I.3.1.3.1. L'héritage.....	4
I.3.1.3.2. La transformation.....	4
I.3.1.3.3. La néoformation.....	4
I.3.1.4. Structure minéralogique des argiles.....	5
I.3.1.4.1. Minéraux argileux.....	5
I.3.1.5. Classification des argiles.....	6
I.3.1.5.1. les argiles cationiques.....	6
I.3.1.5.1.1. Groupe de minéraux à 7Å.....	6
I.3.1.5.1.2. Groupe de minéraux à 10 Å.....	7
I.3.1.5.1.3. Groupe de minéraux à 14 Å.....	7
I.3.1.5.2. Les argiles anioniques.....	7
I.3.1.6. Types d'argiles.....	7
I.3.1.6.1. Argiles plastiques grésantes.....	7
I.3.1.6.2. Argiles plastiques réfractaires.....	7
I.3.1.6.3. Argiles réfractaires.....	7
I.3.1.6.4. Argiles rouges.....	7
I.3.2. L'adobe.....	7
I.3.2.1. La production.....	8
I.3.2.2. Modes de production de l'adobe.....	8
I.3.2.3. Les avantages de l'adobe.....	8
I.3.3. Kaolin.....	8
I.3.3.1. Définition.....	8
I.3.3.2. Propriétés des kaolins industriels.....	8
I.3.3.3. Propriétés thermiques.....	9
I.3.4. Boues rouges.....	9
I.3.5. Terre cuite.....	9
I.3.6. La silice.....	9
I.3.7. Les feldspaths.....	10
I.4. Classification et propriétés des produits rouges.....	10
I.4.1. La brique.....	10
I.4.1.1. Définition.....	10
I.4.2. Types des briques.....	10
I.4.2.1. Briques terre cuite.....	10
I.4.2.1.1. Caractéristique de brique terre cuite.....	10
I.4.2.2. Brique silico-calcaire.....	11
I.4.2.3. Avantages des briques silico-calcaires.....	12
I.4.2.3. Brique de l'adobe.....	12
I.4.2.4. Le pisé.....	12
I.4.2.5. Briques réfractaires.....	13
I.4.2.5.1. Définition.....	13

1.4.2.6. Types de briques réfractaires	13
I.4.3. La tuile	14
I.5. Procède de fabrication de brique et des tuiles	14
.5.1. La préparation des matières premières.....	14
I.5.2. La préparation pour le broyage et le malaxage.....	14
.5.3. Le façonnage	15
.5.4. Le Séchage	16
.5.5. La Cuisson	16
.5.6. Le stockage des produits finis.....	17
I.6. Conclusion.....	18
<i>Chapitre II : Mortiers et valorisation des déchets de brique</i>	19
Introduction	20
II.1. Les mortiers	20
II.1.1. Définition	20
II.1.2. Constituants des mortiers	21
II.1.2.1. Le Liant.....	21
II.1.2.2. Le sable.....	21
II.1.2.2.1. Origines de sable.....	21
II.1.2.2.2. Granulométrie	22
II.1.2.2.3. Rôle de sable dans le mortier	22
II.1.2.2.4. Exigences sur le sable d'usage général.....	23
II.1.2.2.5. Les essais sur sable	23
II.1.2.2.5.1. Analyse granulométrique	23
II.1.2.2.5.2. Module de finesse.....	23
II.1.2.2.5.3. Essai d'équivalent de sable.....	24
II.1.2.3. L'eau de gâchage	25
II.1.2.4. Les additifs	26
II.1.2.4.1. Les adjuvants	26
II.1.2.4.2. Additions minérales	26
II.1.2.4.2.1. Ajouts minéraux inertes	27
II.1.2.4.2.2. Ajouts minéraux actifs	28
II.1.3. Classification des mortiers	29
II.1.3.1. Classification générale des mortiers	29
II.1.3.2. Classes des mortiers.....	31
II.1.4. Préparation des mortiers.....	31
II.1.5. Les propriétés physicomécaniques des mortiers de ciment.....	32
II.1.5.1. La masse volumique	32
II.1.5.2. Porosité	32
II.1.5.3. Absorption d'eau	32
II.1.5.4. Résistances mécaniques.....	33
II.1.6. Le rôle et domaine d'utilisation des mortiers.....	34
II.2. Valorisation des déchets de brique	34
II.2.1. Définition des déchets	34
II.2.2. Origine de la production de déchets.....	35
II.2.3. Constitution chimique du déchet.....	35
II.2.4. Différents types des déchets (Norme de classements des déchets).....	35
II.2.5. Déchet utilisé en génie civil	36
II.2.5.1. Laitiers de haut fourneau	36
II.2.5.2. Laitier d'acier	36
II.2.5.3. Cendres volantes.....	36

II.2.5.4. Mâchefer	37
II.2.5.5. Boues rouges	37
II.2.5.6. Béton récupéré	38
II.2.5.7. Verre de récupération	38
II.2.5.8. Sciure de bois	39
II.2.5.9. Lin de textile	39
II.2.5.10. Marbre	40
II.2.5.11. Céramique	40
II.2.5.12. Carrelage	40
II.2.5.13. Brique concassée	41
II.2.6. Déchets de brique	41
II.2.6.1. Définition de déchet de brique	42
II.2.6.2. Composition chimique des déchets de briques	42
II.2.6.3. Valorisation des déchets de la brique	43
II.2.6.3.1. Réutilisation	43
II.2.6.3.2. Recyclage	43
II.2.6.4. Propriétés des bétons des déchets de brique	43
II.2.6.5. Utilisations des bétons des déchets de brique	44
II.2.6.6. Avantages et inconvénients d'utilisation des briques	45
II.2.6.6.1. Avantages	45
II.2.6.6.2. Inconvénients	46
II.2.7. Travaux de recherches sur la valorisation des poudres de brique	46
Conclusion	49
<i>Chapitre III : Partie expérimentale</i>	50
III.1. Introduction	52
III.2. Matériaux et méthodes	52
III.2.1. Sable	52
III.2.1.1. Analyse granulométrique	52
III.2.1.2. Module de finesse	53
III.2.1.3. Essai d'équivalent de sable	53
III.2.2. Le ciment	54
III.2.3. Eau de Gâchage	55
III.2.4. L'adjuvant utilisé	55
III.2.5. Les déchets utilisés	56
III.2.5.1. Masse volumique de la poudre de brique	56
III.2.5.2. L'absorption d'eau	57
III.3. Préparation des mélanges	57
III.3.1. La formulation des mortiers	57
III.3.2. Malaxage	58
III.4. Essais d'étalements	59
III.5. La masse volumique des mortiers à l'état frais et durcis	60
III.6. Essais de résistances mécaniques	61
III.6.1. Résistance à flexion	61
III.6.2. Résistance à la compression	62
III.7. Les Résultats	63
III.8. Discussion des résultats	65
<i>Conclusion Générale</i>	67
<i>Perspectives et Recommandations</i>	69
Références Bibliographiques	72
<i>Annexes</i>	77

Liste des Tableaux :

Tableau. I. 1: Les propriétés des briques creuses [18].	10
Tableau. I. 2 : La résistance thermique des briques creuses [18].	10
Tableau. I. 3 : Les propriétés des briques pleines [18].	11
Tableau. I. 4 : La résistance thermique des briques pleines [18].	11
Tableau. II. 3 : Valeurs du module de finesse des sables.	24
Tableau. II. 4 : La qualité sur sable en fonction des valeurs d'équivalent de sable.	25
Tableau. II. 5: Dosages des mortiers [39]	31
Tableau. II. 6: Valeurs Spécifiées Supérieures du Coefficient d'absorption d'eau	33
Tableau. II. 7: La composition chimique des déchets de briques	42
Tableau. III. 1 : Analyse granulométrique de sable de Sétif.	52
Tableau. III. 2 : Équivalent de sable pour le sable de Sétif (NF EN 933-8) [62].	54
Tableau. III. 3 : Composition chimique du ciment utilisé.	54
Tableau. III. 4 : Les caractéristiques physicomécaniques du ciment.	55
Tableau. III. 5 : Composition massique des variantes étudiées.	59
Tableau. III. 6 : Résultat de l'essai d'étalement.	59
Tableau. III. 7 : Résultat des masses volumiques des variantes étudiées.	60
Tableau. III. 8 : Résultats des essais mécaniques.	63

Liste des Figures

Figure .I. 1: Représentation schématique de l'empilement des feuillets unitaire dans une argile (cas d'une smectite) [5].	5
Figure .I. 2: Représentation des tétraèdres [6].	6
Figure .I. 3: Représentation des octaèdres [6]	6
Figure .I. 4: Briques creuses et pleines.	11
Figure .I. 5: Brique silico-calcaire.	11
Figure .I. 6: Brique adobe.	12
Figure .I. 7: Brique pisé.	13
Figure .I. 8 : Préparation des matières premières pour le broyage et le malaxage.	15
Figure .I. 9 : Le façonnage des produits rouge.	15
Figure .I. 10 : Le séchage des produits rouge.	16
Figure .I. 11 : La cuisson des produits rouge.	17
Figure .I. 12 : Le stockage et expédition des produits finis.	17
Figure .I. 13 : Fabrication des produits rouges [22].	18
Figure .II. 1: Constituants des mortiers.	20
Figure .II. 2 : Sable roulé (naturel).	22
Figure .II. 3 : Sable concassé (Artificiel).	22
Figure .II. 4 : Essais d'équivalent de sable.	25
Figure .II. 5 : Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion.	33
Figure .II. 6 : Dispositif de rupture en compression.	33
Figure .II. 7 : Laitier de haut fourneau	36
Figure .II. 8 : Laitier d'acier	36
Figure .II. 9 : Cendre volante	37
Figure .II. 10: Mâchefer	37
Figure .II. 11 : Boue rouge	37
Figure .II. 12 : Béton récupéré	38

Figure .II. 13 : Déchet de verre.....	38
Figure .II. 14 : Sciure de bois	39
Figure .II. 15: Lin de textile	39
Figure .II. 16 : Marbre	40
Figure .II. 17 : Céramique	40
Figure .II. 18 : Carrelage	41
Figure .II. 19 : Brique concassée	41
Figure .II. 20 : Déchets de briques	42
Figure .II. 21: Poudre de brique	42
Figure .II. 22: Effet de la poudre de brique sur les propriétés mécaniques des mortiers [58].	46
Figure .II. 23: Image MEB des mortiers témoins à (a) 7 Jours, (b) 60 jours et (c) 90 jours [58].	47
Figure .II. 24: Image MEB des mortiers avec 40 % de poudre de brique à (a) 7 Jours, (b) 60 jours et (c) 90 jours [58].	47
Figure .II. 25: Résultats du coefficient de diffusion des ions chlorures (CEM I, Mortiers PB10 et PB20)[60].	48
Figure .II. 26 : Résistance à la compression des mortiers étudiés [60].	48
Figure .II. 27 : Résistance à la flexion des mortiers étudiés [60].	49
Figure .III. 1: Tamiseuse de laboratoire.	52
Figure .III. 2: la courbe granulométrique de sable.	53
Figure .III. 3 : Essai d'équivalent de sable.	54
Figure .III. 4: Adjuvant SIKA VISCOCRETE 655.	55
Figure .III. 5 : Déchet de brique rouge.	56
Figure .III. 6 : Essai de masse volumique de la poudre de brique.	56
Figure .III. 7: Essai d'absorption d'eau.	57
Figure .III. 8: Malaxage des mortiers étudiés.	58
Figure .III. 9 : Essai d'étalement.	59
Figure .III. 10 : Résultats de l'essai d'étalement.	60
Figure .III. 11: Résultats des masses volumiques des différentes variantes.	61
Figure .III. 12: Dispositif d'essai de flexion trois points.	61
Figure .III. 13 : Schéma d'essai de la résistance à la flexion trois points.	62
Figure .III. 14 : Machine d'essai à la compression.	62
Figure .III. 15: Schéma d'essai à la compression.	63
Figure .III. 16 : Résultats des essais en flexion des différentes variantes en fonction de l'âge.	63
Figure .III. 17 : Résultats des essais en compression des différentes variantes en fonction de l'âge.	64
Figure .III. 18: Corrélation entre les résistances en compression et les masse volumique.	64

Introduction Générale

Introduction Générale

Avec l'accélération des activités de la construction et l'amélioration urbaines, engendre une grande quantité de déchets solides provenant de la démolition de vieux bâtiments, notamment les rebuts issus des activités des différents secteurs industriels des matériaux de construction en Algérie, de plus ceux en relation avec l'industrie des briques rouges pleines et creuses, selon les statistiques, la quantité de déchets solides est en croissance continue au niveau mondial, vue la demande croissante des besoins des population.

En Algérie, les déchets de brique de séparation, se sont accrus et ils ont un impact de plus en plus négatif sur l'environnement qui Ils peuvent être collectés de manière rentable dans des couleurs mélangées.

Le recours à l'utilisation des déchets de différentes industries, s'avère une solution attractive, vu son importance environnementale et écologique, tel que les déchets des produits rouges, car leurs introduction par addition ou remplacement dans les matériaux cimentaires, donne une amélioration des propriétés techniques, telles que les résistances en compression des matériaux cimentaires, par leurs effets positif résultant des réactions pouzzolaniques, qui produit des quantités supplémentaires des C-S-H dans les mélanges, permettant aussi lors de leurs introduction par substitution la réduction des quantités de ciments utilisées, contribuant ainsi de manière simple à réaliser des gains économiques.

L'objectif principal de ce travail est orienté dans ce contexte, il s'inscrit dans le thème très général de la recherche de l'amélioration des caractéristiques techniques des mortiers et la valorisation des déchets de briques sous forme de poudre, avec addition et substitutions d'une quantité de ciment, dont plusieurs variantes seront élaborées puis étudiées. Ce travail expérimental étudie les effets d'addition et de substitution des quantités de ciments par la poudre de brique avec des taux de 10 % et 20 % sur les propriétés physicomécaniques des mortiers.

Ce mémoire est organisé comme suit :

Chapitre 01 : Les produits rouges dans le secteur de la construction ;

Chapitre 02 : Mortiers et valorisation des déchets de brique ;

Chapitre 03 : La partie pratique, la présentation et la discussion des résultats obtenus.

Et enfin une conclusion, puis des perspectives seront présentées.

Chapitre I :
Les produits rouges dans la
construction

I.1. Introduction

À travers les âges, les humains utilisent encore des produits rouges dans la construction et le logement, qui sont consommés dans de nombreux domaines de la construction, tels que la décoration, l'isolation, la couverture,etc.

Les produits rouges sont obtenus à partir des matières premières (argile) qui viennent corriger la composition chimique ainsi que leurs caractéristiques minérales tout en éliminant les composantes nuisibles et en améliorant l'efficacité d'utilisation dans les divers procédés industriels.

Le mélange final est le résultat d'une attentive et continuelle recherche ainsi que de l'application des connaissances théoriques connues, mais aussi d'expériences directes qui bien souvent s'avèrent être les plus précieuses.

Dans la toute première phase du traitement des matières premières, issues directement des carrières, il faudra réduire la granulométrie par concassage et broyage. La poudre ainsi obtenue est par la suite mélangée et homogénéisée ; cette étape est d'une importance capitale pour l'obtention d'un futur produit avec des caractéristiques techniques et esthétiques supérieures en correspondance avec un contrôle absolu de la production au plus bas coûts possibles.

Les principaux éléments qui devront être considérés lors de la conception d'une unité de production sont :

- Caractéristiques minérales et chimiques des matières premières,
- Etat en nature et travail labilité des matières premières,
- Coupure maximale requise et courbe granulométrique,
- Produit final avec exigences à caractère technique et commercial,
- Procédé de production complet,
- Produits rouges dans la construction.

I.2. Les produits rouges dans la construction

Les produits rouges sont largement utilisés dans le domaine de la construction, qui sont utilisés depuis l'antiquité à ce jour, leurs caractéristiques physicomécanique nous permettent de les utiliser dans diverses fonctions, notamment : la séparation, l'isolation, tuile, carreaux céramique, et décoration.

I.3. Matière premier

I.3.1. L'argile

I.3.1.1. Terme argile

L'argile est une matière première utilisée depuis la plus haute antiquité. Le mot argile vient du grec "argilos" dérivé de "argos" qui veut dire blanc, ou du latin "argila"; c'est la couleur du matériau utilisé en céramique qui a conduit les anciens à lui donner ce nom.

I.3.1.2. Définition

Les argiles sont des produits issus de la décomposition des roches siliceuses par désagrégation physique et mécanique puis par altération chimique. L'argile brute contient généralement des particules élémentaires dont le diamètre des grains n'excède pas 2 μ m. Ces particules sont sous la forme cristalline (phase minérale pure), et sont responsables des propriétés telles que le gonflement, la plasticité, et des phénomènes d'adsorption.

Dans le milieu naturel, ces particules élémentaires sont le plus souvent liées entre elles par des ciments de nature très diverse (carbonates, composés organique, composés minéraux amorphes ou oxydes et hydroxydes de fer et d'aluminium, quartz ...) pour former des agrégats de tailles beaucoup plus grandes. Les argiles sont constituées de minéraux dont les particules sont essentiellement des phyllosilicates empilés en feuillets bidimensionnels silicatés [1].

I.3.1.3. Origines géologiques d'argiles

I.3.1.3.1. L'héritage

Le minéral argileux est directement issu de la roche mère sans modification de ses caractéristiques cristallographiques. C'est un minéral argileux primaire (micas et illite de plusieurs dizaines de micro, chlorite trioctaédrique...).

I.3.1.3.2. La transformation

L'état et les conditions de surface entraînent des changements des propriétés cristallographiques du minéral argileux, néanmoins sa structure de base initiale reste conservée.

I.3.1.3.3. La néoformation

Les phénomènes de surface entraînent la dissolution des minéraux primaires contenus dans la roche mère (argileux et/ou non argileux). Les ions issus de cette dissolution passent dans la solution du sol. Si les conditions de germination et de croissance d'un minéral argileux sont réunies, un nouveau minéral argileux est formé dans le sol. Le minéral argileux est dans ce

cas un minéral argileux secondaire néoformé (kaolinite des sols latéritiques, smectite des vertisols en bas de toposéquence) [2].

I.3.1.4. Structure minéralogique des agriles

I.3.1.4.1. Minéraux argileux

Les minéraux argileux sont des silicates hydratés (il s'agit généralement de silicates d'aluminium mais parfois de silicates de magnésium) dont la structure feuilletée permet de les ranger dans la famille de phyllosilicate [3]. La plupart des phyllosilicates sont des minéraux aluminosilicates (oxydes de silicium et d'aluminium), ils sont classés en comme le sont les zéolites en fonction de leur structure microscopique obtenue par diffraction de rayon X [4].

La figure I.1 montre la structure d'une argile. On distingue quatre niveaux d'organisation :

- Les plans : sont constitués par les atomes.
- Les couches : association de deux plans d'atomes d'oxygène et/ou d'hydroxyle formant des couches de tétraèdre ou des couches d'octaèdre.
- Les feuillets correspondent à des combinaisons de couches.
- L'espace interfoliaire : c'est le vide séparant deux feuillets de même structure, il peut être occupé par des cations (éventuellement hydratés).
- Le cristal : résulte de l'empilement de plusieurs couches [5].

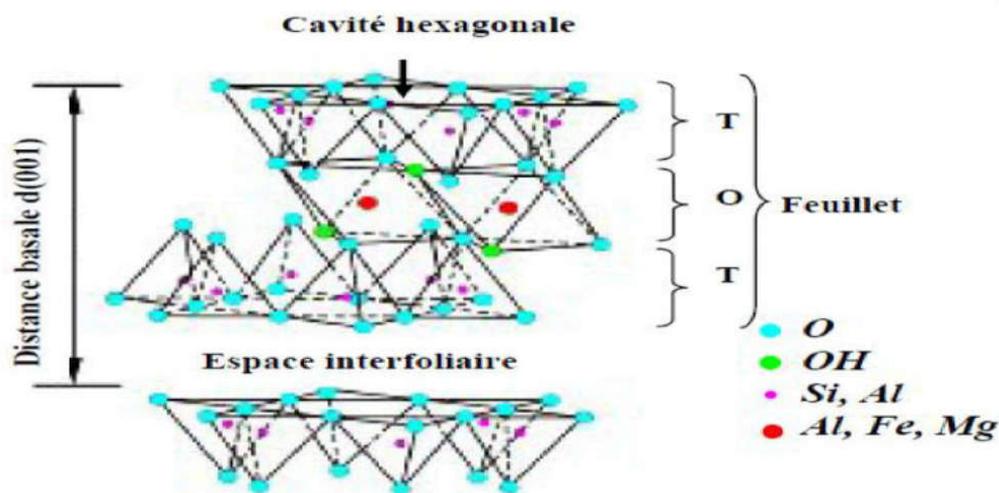


Figure .I. 1: Représentation schématique de l'empilement des feuillets unitaire dans une argile (cas d'une smectite) [5].

a-Couches tétraédriques

Sont constituées par un enchaînement de tétraèdres dont les centres sont occupés par des ions de silicium et les sommets par des oxygènes, et par des atomes de Si^{4+} , Al^{3+} , et Fe^{3+} (figure I.2)

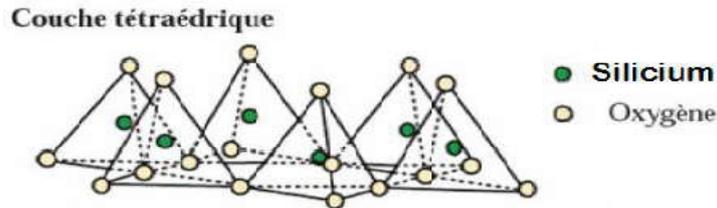


Figure .I. 2: Représentation des tétraèdres [6]

a- Couches octaédriques

Elle est constituée par un enchainement octaédrique, dont les sommets sont occupés par des atomes d'oxygène et des groupements hydroxyles, les centres sont occupés par les atomes Al^{3+} , Mg^{2+} , Fe^{3+} , Fe^{2+} (figure I.3).

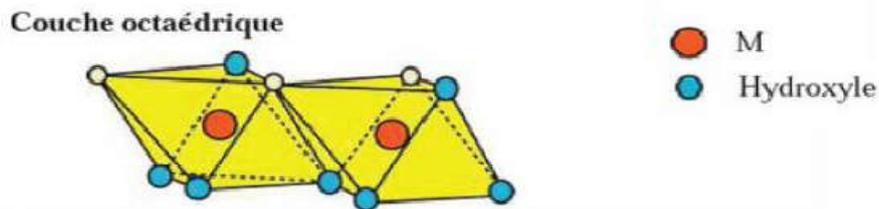


Figure. I. 3: Représentation des octaèdres [6]

I.3.1.5. Classification des argiles

La classification des minéraux argileux a fait l'objet de plusieurs théories en se basant sur des hypothèses comme on l'a déjà rappelé tel que la porosité, le gonflement, l'activité...etc. Les grandes classes sont définies par leurs épaisseurs de feuilles :

I.3.1.5.1. les argiles cationiques

I.3.1.5.1.1. Groupe de minéraux à 7Å

La famille de ce groupe se caractérise par un feuillet élémentaire de type (1/1). Ce dernier est constitué par une couche tétraédrique et une couche octaédrique T-O. On trouve dans cette classe d'argile à 7 Å [5] :

1) La Kaolinite

Formule : $Si_2O_5(Al, Fe^{3+})(OH)_4$

2) L'halloysite

Formule: $(Si_2)O_5(Al)_2 (OH)_4.nH_2O$.

3) L'antigorite

Formule : $Si_2O_5(Mg, Fe^{2+})(OH)_4$

I.3.1.5.1.2. Groupe de minéraux à 10 Å

Ce groupe de minéraux est caractérisé principalement par un feuillet constitué par une couche octaédrique comprise entre deux couches tétraédrique T-O-T, cette distance entre les feuillets est de type (2/1) [5]. Par exemple :

1) La pyrophyllite

Formule : $(\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{Al})_2(\text{OH})_2 \cdot \text{H}_2\text{O})$

2) La montmorillonite

Formule : $(\text{Na}, \text{Ca})_{0,3}(\text{Al}, \text{Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot n \text{H}_2\text{O}$

I.3.1.5.1.3. Groupe de minéraux à 14 Å

Le feuillet est constitué par deux couches tétraédriques et deux couches octaédriques T-O-T-O. cette famille est de type (2/1/1), la distance interarticulaire est de 14 Å [7].

I.3.1.5.2. Les argiles anioniques

Les argiles anioniques font actuellement l'objet d'un intérêt grandissant dans le traitement de la pollution de l'environnement, en particulier les eaux destinées à l'agriculture et à la consommation [8].

I.3.1.6. Types d'argiles

I.3.1.6.1. Argiles plastiques grésantes

Colorées. Très fines particules de kaolinite, de matière organique, d'oxydes de fer et de titane. Riche en silice Produit: Ball clay.

I.3.1.6.2. Argiles plastiques réfractaires

Riches en montmorillonites, en kaolinite et halloysite $(\text{Si}_2\text{Al}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O})$

I.3.1.6.3. Argiles réfractaires

Utilisées pour les très hautes températures, elles sont riches en alumine et très peu colorées

I.3.1.6.4. Argiles rouges

Ce sont des argiles contenant kaolinite et illite, du sable, du mica et des oxydes de fer, des composés organiques et des composés riches en alcalins.

I.3.2. L'adobe

Les premiers éléments de construction préfabriqués utilisés par l'homme étaient des briques moulées en terre crue appelées « adobes », on est une technologie utilisée depuis des millénaires partout à travers le monde. L'adobe est un matériau de construction fait d'un mélange de sable, d'argile, une quantité de paille hachée ou d'autre fibre. De nature assez argileuse (jusqu'à 30% de fraction fine), mais très sableuse, ajoutée d'eau jusqu'à obtenir un état de pâte semi ferme (15 à 30 % d'eau). Chaque élément du mélange joue son rôle. Le

sable réduit la probabilité de microfissures dans le bloc de terre, l'argile agglutine les particules et la paille haché, quant à lui, donne un certain grade de flexible [9,10,11].

I.3.2.1. La production

La production des blocs d'adobe doit prendre en compte des étapes successives depuis l'extraction de la terre jusqu'au stockage final du matériau prêt à être utilisé en construction [12].

I.3.2.2. Modes de production de l'adobe

On distingue deux principaux modes de production des adobes :

a. Le mode de production manuel

b. Le mode de production mécanisé

I.3.2.3. Les avantages de l'adobe

L'adobe possède plusieurs avantages par rapport aux matériaux industriels sont :

- Il a la capacité de régulariser l'humidité de l'air.
- D'emmagasiner la chaleur.
- Réduire la consommation d'énergie.
- De ne produire virtuellement aucune pollution.
- Construction peu couteux.
- N'entraîne pas la production de gaz [9].

I.3.3. Kaolin

I.3.3.1. Définition

Le terme kaolin, d'origine chinoise, vient de "Kao ling", qui signifie haute colline. Ce type d'argile, a été exploité à l'origine dans un terrain granitique altéré à proximité d'un village appelé Kauling [13]. Le kaolin est une roche composée essentiellement de kaolinite, résultant de la décomposition des granites et des feldspaths par hydrolyse sous un climat chaud et humide, ou par une action hydrothermale.

I.3.3.2. Propriétés des kaolins industriels

Les utilisations du kaolin sont fonctions de plusieurs paramètres incluant la composition minéralogique et les propriétés physiques et chimiques de l'ensemble. Ces caractéristiques étant déterminées par les conditions géologiques dans lesquelles le kaolin a été formé. Les caractéristiques importantes concernant les applications des minéraux argileux sont les suivantes :

La nature et les dimensions des particules formant l'argile, leurs formes, la cristallinité, la surface spécifique, la charge électrique de la surface et de la bordure.

D'autres propriétés qui en découlent, spécifiques aux applications particulières, telles que la viscosité, la plasticité, la résistance mécanique d'échantillon sec et cuit, l'absorption et l'adsorption, l'abrasivité et le PH.

I.3.3.3. Propriétés thermiques

La kaolinite est un minéral réfractaire (température de liquidus d'environ 1800°C), mais en association avec des minéraux comme les micas, les feldspaths ou les carbonates, la température d'apparition d'une phase liquide lors du frittage se trouve abaissée [14].

I.3.4. Boues rouges

Les boues rouges proviennent de l'extraction de l'alumine de la bauxite. Elles sont de consistance assez plastique pour être formées en boules. Chauffées à des températures de 1260 à 1310°C, elles sont transformées en granulats denses et résistants pouvant entrer dans la composition de bétons de résistances convenables.

I.3.5. Terre cuite

Les matériaux de terre cuite sont utilisés depuis plusieurs siècles dans le bâtiment.

Ils se sont adaptés à l'évolution de la construction et à ses impératifs, dans le domaine traditionnel, ils sont fabriqués à partir d'argiles communes devenant souvent rouges à la cuisson (sauf les argiles calcaires dont la couleur de cuisson varie du rose au jaune et au blanc) [15].

I.3.6. La silice

La silice " SiO_2 " est une matière première polymorphe rencontrée dans la nature sous forme amorphe (opale, galets de mer) ou cristallisée (quartz, cristobalite et tridymite). Le sable contient entre 95 et 100 % en masse de quartz.

C'est le dégraissant le plus utilisé dans l'industrie céramique. Pour contribuer significativement à la résistance mécanique des pièces crues, il doit être constitué de particules beaucoup plus grosses que celles de l'argile.

Au cours de la cuisson d'une céramique, le sable peut réagir, notamment avec les fondants. Cette réaction est rarement totale. La transformation de quartz résiduel en cristobalite peut alors commencer dès 1200 °C. Elle est favorisée par l'augmentation de la température, par l'utilisation de sable à grains fins, par la présence de certaines impuretés et par une atmosphère réductrice.

I.3.7. Les feldspaths

Un feldspath est un minéral à base de silicate double d'aluminium, de potassium, de sodium ou de calcium. Les feldspaths sont de la famille des tectosilicates. Il existe de nombreux feldspaths dont les principaux sont l'orthose (potassique), l'albite (sodique) et l'anorthite (calcique). Le mélange de ces deux derniers donne la série des plagioclases. HM

I.4. Classification et propriétés des produits rouges

I.4.1. La brique

I.4.1.1. Définition

La brique est un matériau de construction qui est fabriqué en portant une petite quantité d'argile, préalablement mise en forme, à une température appropriée-la température de frittage. Les particules d'argile commencent alors à fondre et s'agglomèrent pour former une masse à caractère pierreux. Après la cuisson, la brique conserve une certaine porosité, qui lui confère d'ailleurs des propriétés spécifiques et la distingue des autres matériaux de construction [16].

I.4.2. Types des briques

I.4.2.1. Briques terre cuite

Les matériaux de terre cuite ont été utilisés depuis plusieurs siècles, ils se sont adaptés à l'évolution de la construction et à ses impératifs. Dans le domaine traditionnel ou industriel, ils sont fabriqués à partir d'argile devenant souvent rouge à la Cuisson (sauf les argiles calcaires dont la couleur de cuisson varie du rose à jaune et blanc) [17].

I.4.2.1.1. Caractéristique de brique terre cuite

Les caractéristiques de la brique terre cuite sont indiquées dans les tableaux suivants :

Tableau. I.1: Les propriétés des briques creuses [18].

Masse volumique (kg /m³)	1750 à 2050
Absorption d'eau	< 15 %
Isolation acoustique	41 à 58 dB
Résistance à la compression	4 à 8 MPa

Tableau. I. 2: La résistance thermique des briques creuses [18].

Épaisseur (cm)	5	10	20	25
R (m². °C /W)	0,10	0,20	0,39	0,55

Tableau. I. 3 : Les propriétés des briques pleines [18].

Masse volumique (kg /m ³)	1650 à 2000
Absorption d'eau	30 à 80 %
Isolation acoustique	41 à 54 dB
Résistance à la compression	12,5 à 40 MPa

Tableau. I. 4 : La résistance thermique des briques pleines [18].

Épaisseur (cm)	5,5	10,5	22
R (m ² . °C /W)	0,05	0,09	0,2

La conductivité thermique des brique terre cuite est égale :

$$\lambda=1,15 \text{ W /m. } ^\circ\text{C}$$

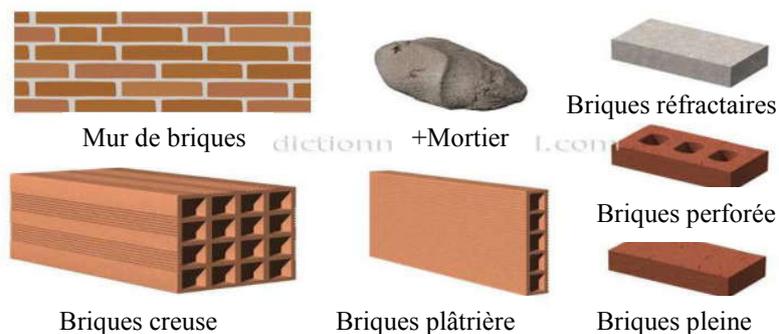


Figure. I. 4: Briques creuses et pleines.

I.4.2.2. Brique silico-calcaire

Les briques silico-calcaires sont essentiellement formés d'un mélange des matériaux siliceux finement broyés et de la chaux hydratée Ca(OH)_2 appelée chaux grasse ou de ciment portland soumis généralement à un traitement à l'autoclave[16] [19].

Il y a deux types de produit qui sont fabriqués et utilisés comme matériaux de construction.



Figure. I. 5: Brique silico-calcaire.

I.4.2.3. Avantages des briques silico-calcaires

Les briques silico-calcaires en général ont un très bon comportement au gel, leur non gélivité leur permet de bien résister à des températures pouvant atteindre 550°C.

- ✓ Les briques silico-calcaires ainsi que les briques cuites sont des matériaux de construction non inflammable [12].
- ✓ Les briques silico-calcaires sont en générale de même usage que les briques de terre cuite, mais avec certaine restriction, Il est interdit d'utiliser les briques silico-calcaires pour la pose des fondations et des socles parce qu'elles sont moins résistantes à l'eau que les briques de terre cuite [12].

I.4.2.3. Brique de l'adobe

L'adobe est un matériau de construction fait d'un mélange de sol, d'eau et de chaume. Le sol utilisé doit contenir une proportion déterminée d'argile et de sable. Chaque élément du mélange joue son rôle. Le sable réduit la probabilité de microfissures dans le bloc de terre, l'argile agglutine les particules et le chaume de blé, quant à lui, donne un certain grade de flexibilité à l'ensemble.

Il existe aujourd'hui des unités de production industrialisées qui produisent jusqu'à 20000 blocs par jour [18].

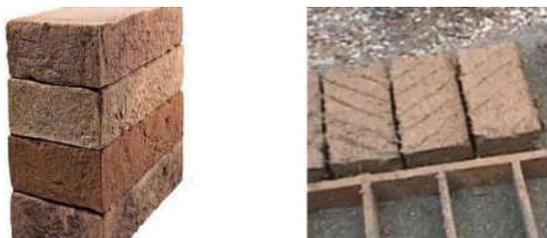


Figure. I. 6: Brique adobe.

I.4.2.4. Le pisé

De nature très sableuse et graviers et cailloux, à peine argileuse (10 à 20 %), la terre est plus souvent conservée à son d'humidité naturelle (teneur en eau modifiée si elle est trop sèche ou trop humide) puis déversée dans un coffrage et compactée (à l'aide d'un pilon manuel) jusqu'à constituer un béton maigre de terre qui durcit en séchant. Les coffrages traditionnels sont en bois [16] [18].



Figure. I. 7: Brique pisé.

I.4.2.5. Briques réfractaires

I.4.2.5.1. Définition

Les briques sont les produits céramiques, dont les matières premières sont des argiles, avec ou sans additifs. La forme des briques est généralement parallélépipède rectangle. Elles sont couramment utilisées dans la construction des bâtiments et des travaux publics. Par rapport aux autres matériaux, c'est l'un des plus anciens matériaux de construction. Les briques réfractaires se retrouvent de plus en plus souvent dans les dépliants des fournisseurs et des fabricants tant de cheminées que de barbecues et de fours. Il semble que ce mot soit magique et permette de réaliser toutes sortes de performances calorifiques. Mais de quoi s'agit-il exactement? La brique réfractaire est conçue pour résister à la chaleur. Selon son utilisation, elle sera composée de vermiculite, de ciment fondu et de coulis réfractaire dans différentes proportions. En plus de résister à la chaleur, la brique réfractaire a également la capacité de restituer la chaleur. C'est ce que l'on appelle la convection et c'est un élément majeur du succès de la brique réfractaire [20].

La brique réfractaire est utilisée principalement pour les constructions destinées à résister à une source de chaleur directe ou indirecte:

- Le barbecue fixe.
- Les foyers de cheminée.
- Les cheminées.
- Les fours (à cuisson clinker, à pain, à pizza ...).
- Les chaudières.
- Les forges.
- Les murs proches d'un poêle ou d'une source importante de chaleur.

I.4.2.6. Types de briques réfractaires

Les types des briques réfractaires sont [21]:

a. Briques ordinaires

b. Briques poreuses

c. Briques d'argiles creuses à perforations

I.4.3. La tuile

Une tuile est une pièce de couverture servant à recouvrir le toit d'un bâtiment ou d'une habitation. Les tuiles sont pour la plupart d'entre elles fabriquées en terre cuite, bien que l'on puisse également en trouver en béton.

I.5. Procède de fabrication de brique et des tuiles

La fabrication des briques et tuiles, rappelle l'importance primordiale des premières étapes que sont l'extraction de la terre et de sa préparation pour obtenir un produit de qualité. La matière de base des briqueteries c'est l'argile extrait d'une carrière. Celle-ci doit être proche, assez grande et fournir une argile, ni trop maigre ni trop grasse, qui sèche facilement avec un retrait limité. Elle doit cuire sans problème, et ne pas être pollués en soufre, fluor, chlore. En général la fabrication des briques se compose des cinq opérations principales comme indiquées sur le schéma ci-dessous.

I.5.1. La préparation des matières premières

Elle consiste à retirer les pierres, à mélanger intimement l'argile avec le sable dégraissant, à broyer les grains trop gros, à mouiller et à malaxer le mélange afin d'obtenir la plasticité voulue.

I.5.2. La préparation pour le broyage et le malaxage

Comprend deux opérations principales :

- **Broyage et malaxage** : pour homogénéiser le mélange argileux et de lui conférer la plasticité Nécessaire au moulage.
- **Dosage et mélange** : qui s'effectuent dans des machines constituées de réservoirs contenant les divers ingrédients. Ils alimentent régulièrement (et dans les proportions requises) un ou Plusieurs mélangeurs qui assurent la mixture homogène de la pâte. En fin, pour que l'argile soit de qualité optimale, elle sera stockée quelque temps dans un lieu humide appelé « Cave à terre ».

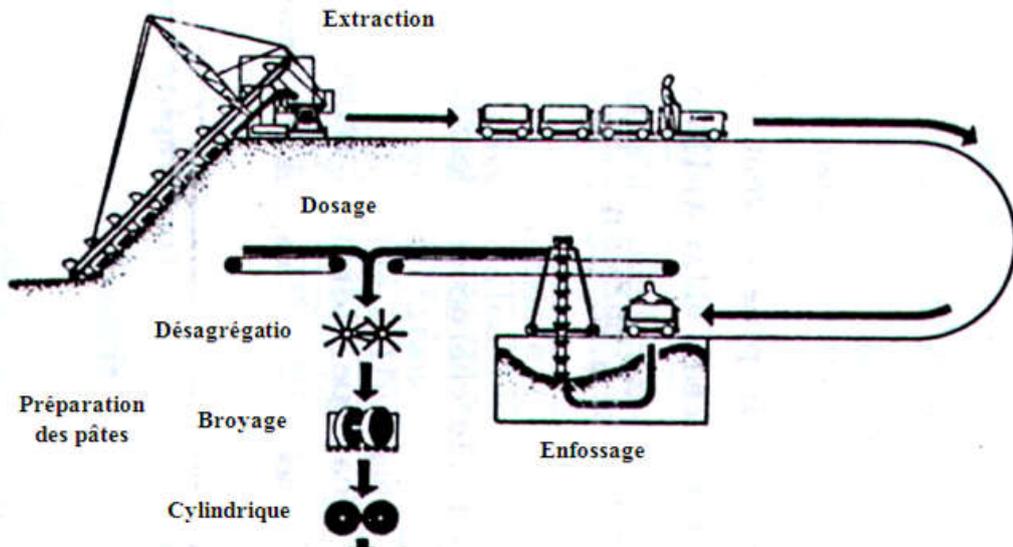


Figure. I. 8 : Préparation des matières premières pour le broyage et le malaxage.

I.5.3. Le façonnage

Une fois la pâte convenablement préparée il faut lui donner les formes désirées, c'est-à-dire celle des produits finis utilisée dans la construction. Cette opération s'appelle façonnage et est réalisée par deux grands types de machines :

- Les presses mécaniques ou hydrauliques.
- Les filières (deux rouleaux lamineur débitant une nappe de pate que nous allons découper à la longueur désirée).

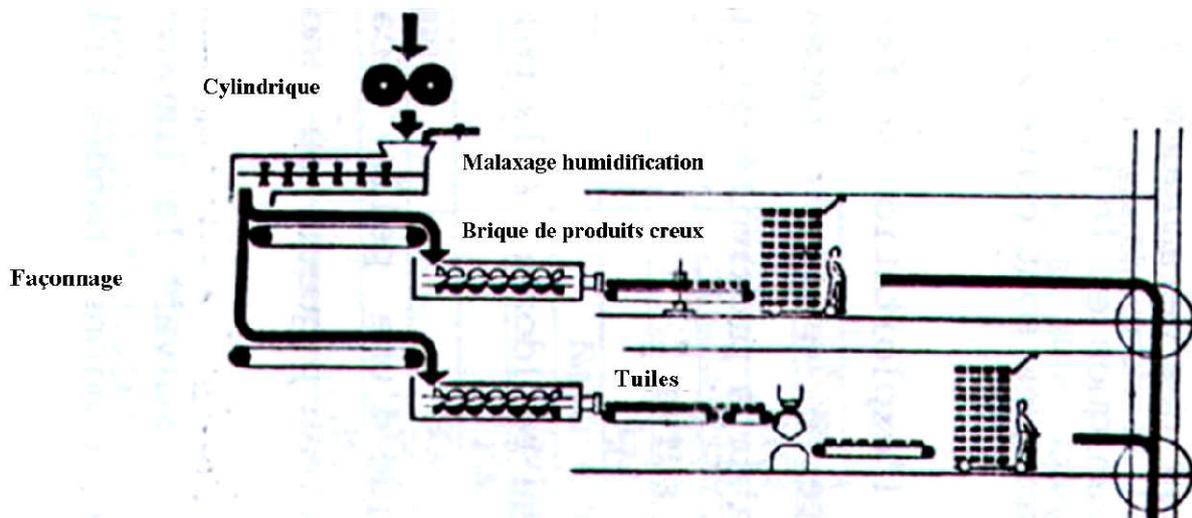


Figure. I. 9 : Le façonnage des produits rouge.

I.5.4. Le Séchage

Le séchage peut se faire à l'atmosphère ambiante. Ce procédé, lent et très sensible au climat, est encore utilisé dans des briqueteries artisanales. L'une des principales causes d'apparition des fissures ou de l'existence des casses dans les briques est une grande vitesse de séchage. Celle-ci est difficile à contrôler lorsque les briques sont exposées dans l'air atmosphérique. Une grande vitesse de séchage peut être due à l'action du soleil, ou à une faible humidité relative de l'air. Celle-ci peut être atténuée en protégeant les briques du contact direct des rayons du soleil. Le séchage se fait plus généralement dans des séchoirs artificiels, avec de l'air chaud dont on contrôle l'humidité. Les briques sont disposées sur des plateaux et séchées dans des séchoirs à chambres ou plus fréquemment dans des séchoirs continus. Ce dernier mode de séchage est habituel dans les nouvelles briqueteries industrielles, avec des séchoirs continus conventionnels qui sèchent en 24h et des séchoirs rapides qui le font en quelques heures.

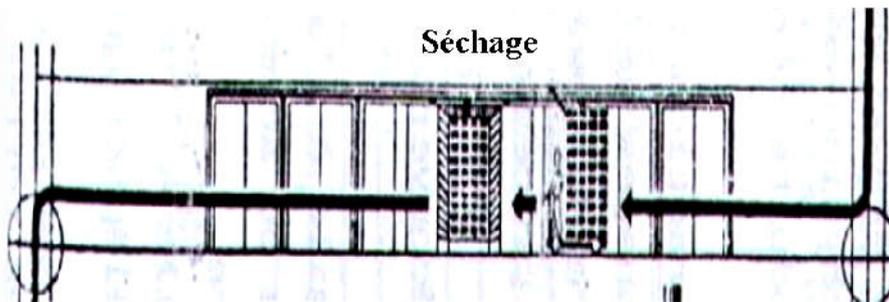


Figure. I. 10 : Le séchage des produits rouge.

I.5.5. La Cuisson

La cuisson est l'opération finale et décisive de la fabrication des produits céramiques préalablement façonnés. Pendant ce processus, il se développe un fluide visqueux, qui au refroidissement conduit à la consolidation et à la diminution de la porosité. La brique est transférée des plateaux des séchoirs dans le four. Elle y est alors chauffée et cuite. Elle doit rester quelques heures à la température maximale (de 800 à 950°C). La durée complète de la cuisson est de l'ordre d'une journée. Deux procédés existent en concurrence : le four Hoffmann et le four tunnel. Le four Hoffmann est un four continu dans lequel la charge de brique est fixe et où on fait tourner le feu. Le procédé est simple et efficace et l'investissement est limité, cependant il est abandonné à cause de sa capacité de pollution et de sa nuisance sur l'environnement. En Europe, les fours Hoffmann ont été abandonnés dans les années soixante-dix et remplacés par les fours tunnels (feu fixe et charge mobile placées sur des wagons qui traversent lentement le four) plus efficaces thermiquement et mécanisables, mais beaucoup plus complexes et coûteux. Aujourd'hui le four intermittent complet (four tunnel)

comprenant une structure métallique est souvent utilisé et comprends les éléments suivants : 2 portes guillotines, les matériaux réfractaires et isolants, 2 wagons, les équipements de combustion, de ventilation et de régulation automatique. Le four tunnel est composé d'une galerie droite très longue, pouvant atteindre une centaine de mètres, en maçonnerie réfractaire. Elle est parcourue d'une voie ferrée, sur laquelle circulent lentement un grand nombre de wagonnets chargés des produits à cuire.

Ce four comprend une zone de préchauffage, une zone de cuisson et une zone de refroidissement. Un tableau de commande régit un système de régulation automatique. Cette cuisson - entre 900°C à 1 200°C, confère aux produits leurs caractéristiques finales adaptées à leur utilisation pour la construction.

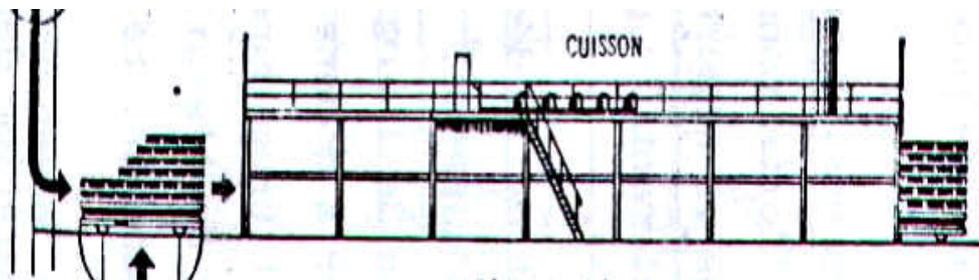


Figure. I. 11 : La cuisson des produits rouge.

I.5.6. Le stockage des produits finis

Les produits cuits sortant en intervalles réguliers sur wagons du four sont déchargés manuellement en zone de préparation palettes. Le cas habituel est la mise en stock sur palette, mode qui est plus confortable au chargement et qui permet de minimiser les déchets de la manutention et du transport. Des simples palettes en bois sont préparées avec un seul type de produit. Le cerclage des palettes se fait manuellement, avec un équipement simple, des bandes feuillardes de 12,7 mm de largeur et des cachets métalliques. Les produits qui, pour des raisons d'imperfections, ne peuvent être commercialisés sont recyclés pour le remblaiement des carrières ou la réfection des chemins de carrière. Ainsi, on ne génère pas de déchets de production.

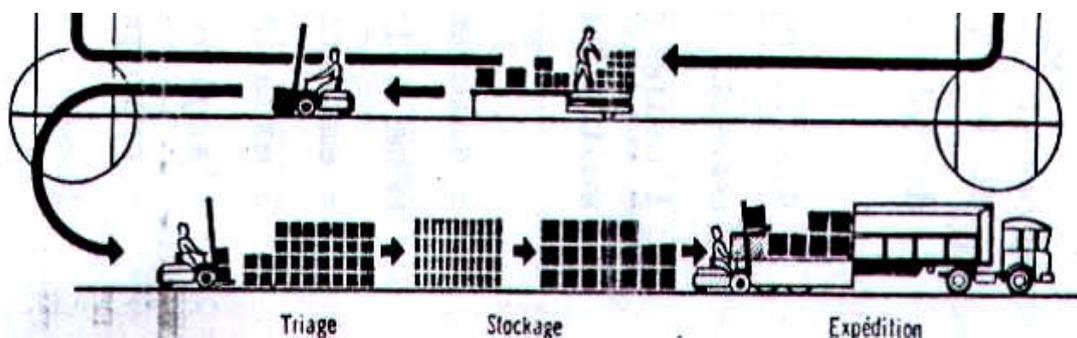


Figure. I. 12 : Le stockage et expédition des produits finis.

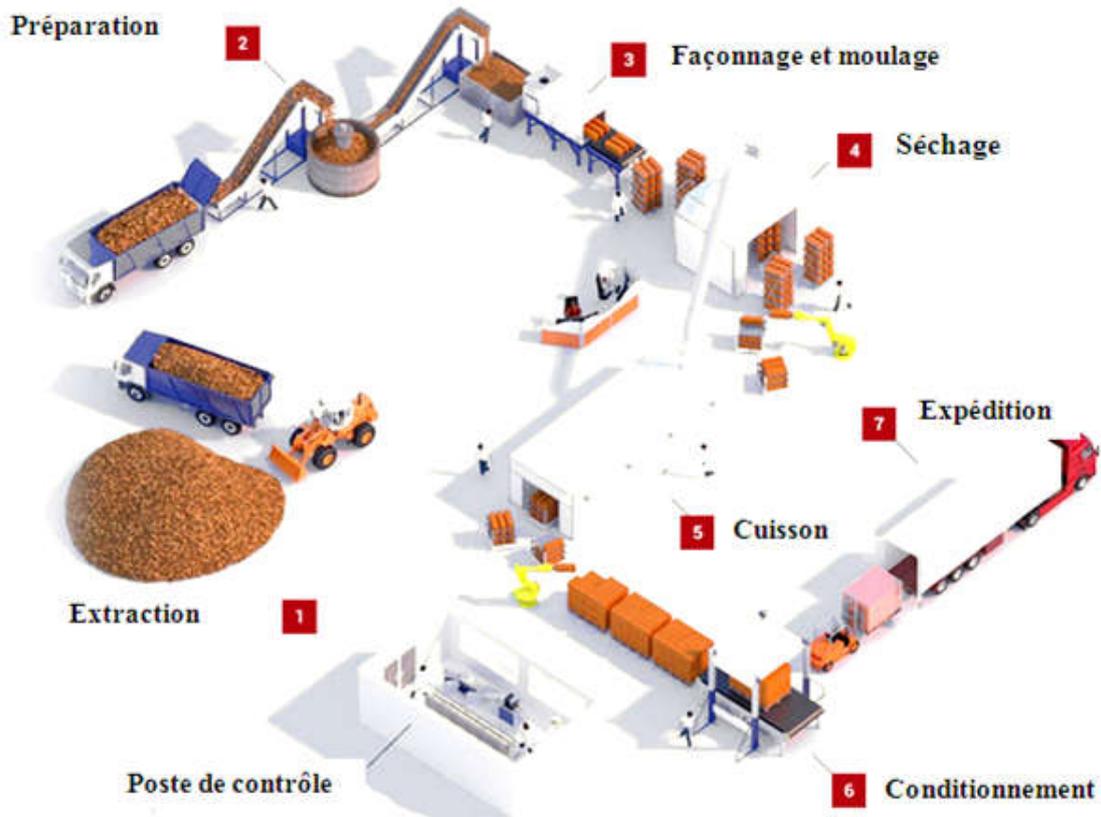


Figure. I. 13 : Fabrication des produits rouges [22].

I.6. Conclusion

Les produits rouges occupent une place importante dans l'industrie des matériaux de construction, vue la disponibilité des matières premières, néanmoins la qualité des produits rouges est liée à plusieurs paramètres, tels que la composition minéralogique des matières premières, le dosage selon le type de produit, aussi la technologie et la maîtrise du procédé de fabrication par l'optimisation des paramètres de production, qui seront déterminants pour la qualité technique de ses produits.

Chapitre II :
Mortiers et valorisation des
déchets de brique

Introduction

Les considérations économiques et environnementales affectent de plus en plus l'approvisionnement des déchets. Il y a des grands défis à la réalisation et au sens opposé des grandes objections à l'ouverture de nouveaux bancs de carrières. En même temps, on se heurte, des difficultés pour déposer à la décharge et de sous-produits inertes de l'industrie et, à l'existence des décharges sauvages qui affectent l'environnement.

Ces types de résidus peuvent être transformés en vue de leur utilisation dans la fabrication des matériaux de construction notamment les mortiers.

L'usage de déchet de brique pour la fabrication du béton ne trouve pas d'application, qui peut être due au manque des recherches dans leur application et utilisation dans le domaine de la construction, aussi comme la brique et vu les difficultés techniques, telles que ; sa faible résistance mécanique, son degré élevé d'absorption d'eau, qui rendent son utilisation limitée dans le mortier.

Le traitement nécessaire des déchets n'est pas simple, parfois s'est plus onéreux, et demande des connaissances spécialisées, puisque aucun de ces matériaux n'est normalisé.

Dans ce chapitre, nous présentons les différents types ainsi que les caractéristiques principales telles que l'ouvrabilité, la prise, le retrait,...

II.1. Les mortiers

Les mortiers sont très utilisés pour les travaux de tous types (finition, chapes, revêtement,.....etc), composé essentiellement de ciment, sable et additions, la figure II.1 suivante illustre les composants du mortier.

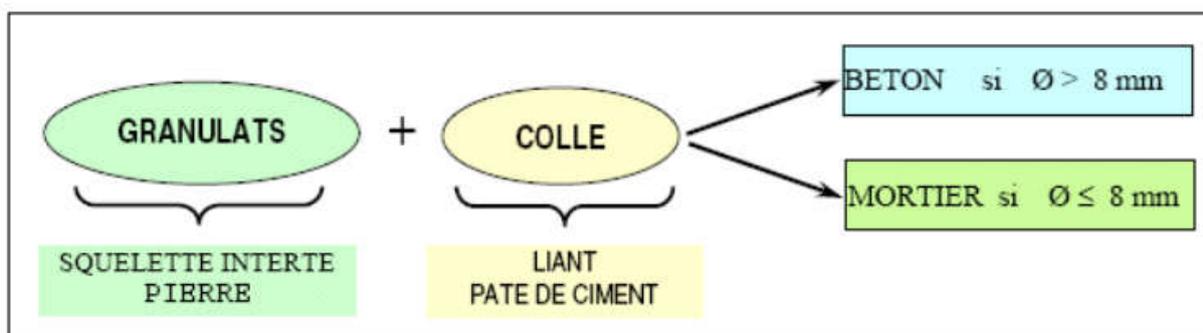


Figure .II. 1: Constituants des mortiers.

II.1.1. Définition

Le mortier est l'un des matériaux de construction que l'on utilise pour solidariser les éléments entre eux, assurer la stabilité de l'ouvrage, combler les interstices entre les blocs de

construction. En général le mortier est le résultat d'un mélange de sable, d'un liant (ciment ou chaux) et d'eau dans des proportions données, différant selon les réalisations et d'adjuvant.

II.1.2. Constituants des mortiers

II.1.2.1. Le Liant

On utilise généralement des liants hydrauliques qui peuvent être le ciment, ce dernier est une matière pulvérulente à base de silicate et d'aluminate, et de la chaux obtenue par la cuisson [23].

Généralement, on peut utiliser:

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

II.1.2.2. Le sable

C'est une matière minérale siliceuse ou calcaire qui se présente dans le sol sous la forme de grains ou de poudre, suivant qu'il s'agit de sable grossier ou de sable fin. Les sables proviennent de la désagrégation des roches qui constituent l'écorce terrestre; suivant leur composition, ils sont blancs, jaunes, gris ou rougeâtres. On peut encore classer les sables d'après leur origine et distinguer les sables de carrière, les sables de mer et les sables de rivière [24].

II.1.2.2.1. Origines de sable

●Sable d'origine naturelle

Le sable est une roche sédimentaire meuble, constituée principalement de quartz, provenant de la désagrégation des roches sous l'action de divers agents d'érosion et de l'altération des roches riches en quartz (granites, gneiss) sous l'action de processus physiques(vent, eaux courantes) ou chimiques (action dissolvante de l'eau). Les grains de sable qui se forment sont généralement gros et anguleux, difficilement transportables par le vent et les cours d'eau. Les plus gros grains de sable se retrouvent ainsi le long des cours d'eau, aux bords des mers, ou dans les régions désertiques. En milieu pluvial, les grains s'usent peu et restent donc gros et anguleux. En milieu continental, l'usure des grains de sable par le vent et l'eau entraîne une modification de leur forme (ou morpho-scopie) au cours des temps géologiques. Les grains de sable usés deviennent émoussés et luisants (milieu littoral), ou ronds et mats (milieu éolien). En s'arrondissant, les grains deviennent plus petits. Les sables peuvent également se consolider et se cimenter ultérieurement pour donner naissance à des grès (grès quartzeux,

grès calcaires). Ce type de sables est principalement constitué de quartz (silice), avec de faibles proportions de mica, de feldspath et de magnétite. La couleur du sable est d'autant plus claire que la teneur en silice est élevée. Les sables sont toujours définis en fonction des constituants (masses orbitaires), on parle ainsi de sable quartzeux, feldspathique, ferrugineux, micacé, calcaire, ou encore de sable coquillier. Toutefois, dans le langage courant, le sable est généralement associé au sable quartzeux [25].

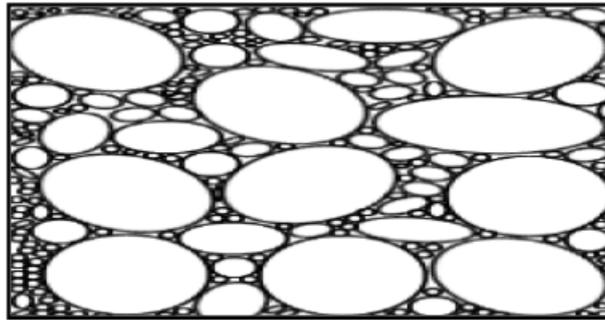


Figure .II. 2 : Sable roulé (naturel).

• Sable d'origine artificielle

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

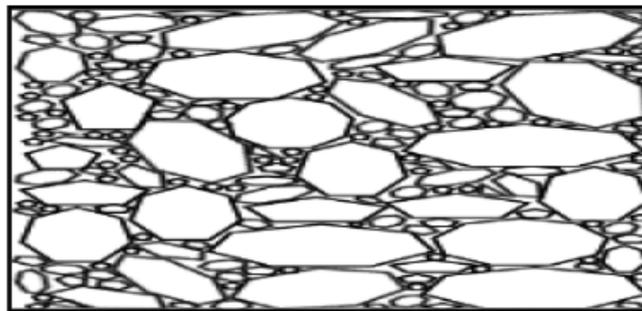


Figure .II. 3 : Sable concassé (Artificiel).

II.1.2.2.2. Granulométrie

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

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

II.1.2.2.3. Rôle de sable dans le mortier

L'introduction des sables permet de diminuer le retrait du liant (ossature mortier) en augmentant les résistances mécaniques, de plus, sa disponibilité et son aspect esthétiques (couleur). Les sables de bonne granulométrie doivent contenir des grains fins, moyens et gros. Les grains fins se disposent dans les intervalles entre les gros grains pour combler les vides.

Ils jouent un rôle important: Ils réduisent les variations volumiques, les chaleurs dégagées et même le prix. Les dosages se feront en poids plutôt qu'en volume comme c'est souvent le cas, afin d'éviter les erreurs de dosage, par suite de l'augmentation de volume de sable humide [25].

II.1.2.2.4. Exigences sur le sable d'usage général

Le sable doit être siliceux, silico-calcaire ou même calcaire à condition que les grains ne soient pas friables. Il doit être propre, c'est-à-dire dépourvu d'impuretés susceptibles de compromettre la qualité du mortier en œuvre (argile, vase, terre végétale, plâtre, sels minéraux, matières organiques). Le degré de propreté du sable est mesuré par l'essai d'équivalent de sable, L'indice fourni par cet essai (ESV) doit être inférieur à 75%. Il est préférable d'utiliser des sables roulés de rivière. Les sables de carrière conviennent s'ils ne renferment pas d'impuretés nocives. Les sables de mer doivent être lavés (sinon ils sèchent mal et peuvent donner lieu à des efflorescences en raison des sels qu'ils contiennent). La granulométrie des sables doit être limitée à 4mm. En général, les dosages du mortier sont exprimés en poids de liant par m³ de sable sec. Or, le plus souvent, sur le chantier, le sable renferme un certain pourcentage d'eau (pouvant varier de 0% à 20 %) et il suffit de très peu d'eau pour que le poids du m³ de sable soit modifié, c'est le phénomène bien connu du foisonnement du sable [25].

II.1.2.2.5. Les essais sur sable

II.1.2.2.5.1. Analyse granulométrique

But de l'essai :

L'analyse granulométrique a pour but de déterminer la répartition d'un matériau suivant leurs dimensions.

- **Principe de l'essai :**

- ✓ L'essai consiste à fractionner au moyen d'une série de tamis un matériau en plusieurs classes granulaires de tailles décroissantes.
- ✓ Les masses des différents refus et tamisâtes sont rapportées à la masse initiale du matériau. Les pourcentages ainsi obtenus sont exploités sous forme graphique.

II.1.2.2.5.2. Module de finesse

C'est une caractéristique importante surtout en ce qui concerne les sables. Un bon sable pour béton doit avoir un module de finesse **M_f** compris entre **2,2 et 2,8** ; au-dessous, le sable à une majorité d'éléments fins et très fins, ce qui nécessite une augmentation du dosage en eau ; au-dessus, le sable manque de fines et le béton y perd en ouvrabilité, l'effet du module de finesse sur la qualité du mortier est illustré dans le tableau II.1 ci-après.

Le module de finesse peut être exprimé selon plusieurs formules selon les normes suivantes :

Norme Française [NFP 18-540]

Le module de finesse est égal au $1/100^e$ de la somme des refus cumulés exprimée en pourcentages sur les tamis de la série suivante : 0,16 - 0,315 - 0,63 - 1,25 - 2,5 - 5 mm, selon la norme

$$MF = \frac{1}{100} \sum \text{Refuscumulés en \% destamis} \{0,16 ; 0,315 ; 0,63 ; 1,25 ; 2,5 ; 5 \}$$

Norme Européenne [EN 12620]

$$MF = \frac{1}{100} \sum \text{Refuscumulés en \% destamis} \{0,125 ; 0,25 ; 0,5 ; 1 ; 2 ; 4 \}$$

Pour $1,8 < \mathbf{Mf} < 2,2$: le sable est à utiliser si l'on recherche particulièrement la facilité de mise en œuvre au détriment probable de la résistance.

Pour $2,2 < \mathbf{Mf} < 2,8$: le sable est à utiliser si l'on recherche une ouvrabilité satisfaisante et une bonne résistance avec des risques de ségrégation limités.

Pour $2,8 < \mathbf{Mf} < 3,2$: le sable est à utiliser si l'on recherche des résistances élevées au détriment de l'ouvrabilité et avec des risques de ségrégation.

Pour $\mathbf{Mf} > 3,2$: le sable est à rejeter.

- Les sables doivent présenter une granulométrie telle que les éléments fins ne soient ni en excès, ni en trop faible proportion.
- Le caractère plus ou moins fin d'un sable peut être quantifié par le calcul du module de finesse (**Mf**).
- Le module de finesse est d'autant plus petit que le granulat est riche en éléments fins.

Tableau. II. 1 : Valeurs du module de finesse des sables.

Modules de finesse	Qualité de sable
1,8 - 2,2	Le sable est à majorité de grains fins
2,2 - 2,8	On est en présence d'un sable préférentiel
2,8 - 3,3	Le sable est un peu grossier, Il donnera des bétons résistants mais moins maniables.

II.1.2.2.5.3. Essai d'équivalent de sable

a-But de l'essai

Cet essai est effectué pour évaluer la propreté des sables entrant dans la composition des mortiers, il consiste à séparer les particules fines des gros éléments.

Une procédure normalisée (**Norme NF EN 933-8**) permet de déterminer un coefficient d'équivalent de sable qui quantifie la propreté de celui-ci. Ceci dit, la présence d'éléments fins argileux diminue l'adhérence (Liant/Granulats).

b-Principe de l'essai

Chapitre II : Mortiers et valorisation des déchets de brique

L'essai est effectué sur la fraction 0/4 mm du sable, qui consiste à plonger un poids défini de sable dans une éprouvette normalisée, remplie par une solution flocculante; après agitation, on laisse décanter le mélange pendant 20 minutes, ensuite on mesure la hauteur du sédiment (H_2) et du sédiment+ flocculant (H_1), comme l'indique la figure II.4.

La valeur de l'équivalent de sable est donnée par la relation suivante: $ES = \left(\frac{H_2}{H_1}\right) \times 100$

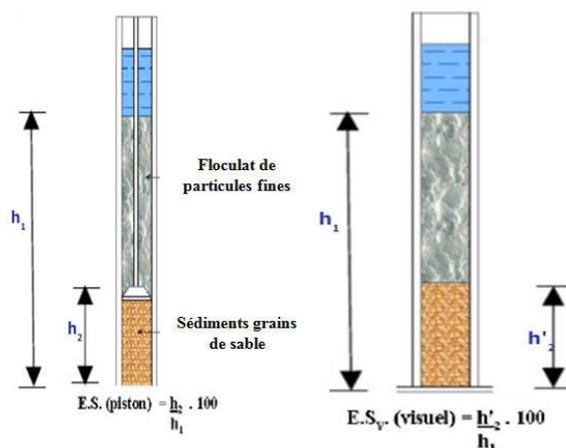


Figure .II. 4 : Essais d'équivalent de sable.

Les valeurs d'équivalent de sable nous donnent une indication sur la qualité des sables, comme l'illustre le tableau II.4 suivant :

Tableau. II. 2 : La qualité sur sable en fonction des valeurs d'équivalent de sable.

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

II.1.2.3. L'eau de gâchage

L'eau joue un rôle important, elle sert à hydrater le ciment, elle facilite aussi la mise en œuvre du béton ou du mortier, ainsi elle contribue à son ouvrabilité. L'eau doit être propre et ne pas contenir d'impuretés nuisibles (matières organiques, alcalis). L'eau potable convient toujours

le gâchage à l'eau de mer est à éviter, surtout pour le béton armé. Les caractéristiques des eaux requises pour la confection des mortiers et des bétons sont précisées dans la norme **NA-442**.

Les mortiers devraient contenir la quantité d'eau maximale compatible avec une ouvrabilité optimale.

II. 1.2.4. Les additifs

II.1.2.4.1. Les adjuvants

Ce sont des produits chimiques organiques ou inorganiques, incorporés en faible quantité moins de 5 % de la masse du ciment sous forme de poudre ou de solution avant ou pendant le malaxage. Dans le but de modifier certaines propriétés du béton, qu'il soit à l'état frais. Pendant la prise et le durcissement ou à l'état durci. Les adjuvants sont classés par la norme **NF EN 934-2 [26]**. Suivant leurs actions principales, même s'ils ont plusieurs actions secondaires en :

- Plastifiant/réducteur d'eau ;
- Superplastifiant/haut réducteur d'eau ;
- Rétenteur d'eau ;
- Entraîneur d'air ;
- Accélérateur de prise ;
- Accélérateur de durcissement ;
- Retardateur de prise ;
- Hydrofuge de masse ;
- Plastifiant/réducteur d'eau/retardateur de prise ;
- Superplastifiant/haut réducteur d'eau/retardateur de prise.

Il existe aussi d'autres adjuvants comme : les raidisseurs pour béton projeté, les adjuvants pour coulis d'injection, les adjuvants pour mortier stabilisé, les colorants, les inhibiteurs de corrosion, les générateurs de gaz [27 ; 28 ; 29].

II.1.2.4.2. Additions minérales

Un béton doit contenir un certain volume de fines, pour assurer sa stabilité à l'état frais.

Lorsque ce volume est occupé intégralement par du ciment Portland, il fournit au matériau durci un niveau de performance excessif par rapport aux spécifications, il est naturel de l'occuper en partie avec des matériaux fins, moins réactifs que le clinker mais d'un coût inférieur, notamment sur les plans énergétiques et environnementaux. Ces additions minérales

peuvent être mélangées au ciment lors de sa fabrication (ciments composés) ou ajoutées directement dans le malaxeur à béton [30].

On distingue plusieurs types d'additions (inertes, actives et autres), à savoir:

II.1.2.4.2.1. Ajouts minéraux inertes

Selon certains chercheurs, les particules de clinker de dimension supérieure à 60 μm ne subissent pas une hydratation complète même au cours du durcissement à long terme, pour cette même raison les particules de clinker de telle dimension pourraient être remplacées par celles de matériaux inertes (NF P 18-305) [31].

En outre, les particules les plus fines d'un ajout inerte servent à remplir les pores de la pâte de ciment, ils jouent le rôle de micro agrégats, à savoir:

A. Fillers

Les produits désignés dans le commerce comme fillers sont des poudres fines à granulométrie contrôlée, dont les plus gros grains ne dépassent pas 80 microns obtenus par broyage ou par pulvérisation de certaines roches (calcaires, basalte...). Les fillers se différencient les uns des autres par [32].

- Leur origine, leurs compositions chimiques et minéralogiques, leurs défauts de structure, les impuretés qu'ils contiennent.
- Leur finesse, la forme des grains, leur état de surface.
- Leur dureté, leur porosité.

Un filler est dit calcaire s'il contient au moins 90% de carbonate de calcium. Dans les autres cas, le filler est désigné par le nom de sa roche d'origine.

Les différents résultats montrent que les fillers calcaires ajoutés à un CPA peuvent jouer plusieurs rôles:

- Un rôle de remplissage en substitution du ciment dans les éléments fins de la courbe granulométrique (bétons ouvrables retenant mieux l'eau).
- Un rôle rhéologique par leur pouvoir fluidifiant sur la pâte interstitielle.
- Un rôle chimique et physique conduisant à l'accélération de l'hydratation du C_3S et du C_3A et à la formation de carboaluminates : germes de cristallisation et points d'ancrage des hydrates.
- Un rôle physique en permettant un arrangement initial différent ce qui réduit l'épaisseur entre la pâte et le granulat.

B. Poussière

La poussière est une matière à particules fines, récupérée à la sortie du four, lors de son passage avec la fumée, sa finesse est comprise entre 7000 et 9000 cm^2/g .

Le ciment composé avec la poussière a des caractéristiques mécaniques et une résistance au gel-dégel comparable à celle du ciment sans ajouts. Le temps de prise, le fluage et le retrait augmente avec l'augmentation du pourcentage d'ajout [32].

II.1.2.4.2.2. Ajouts minéraux actifs

On distingue deux types (ajouts à hydraulicité latente et ajouts pouzzolaniques) à savoir:

A. Ajouts à hydraulicité latente

En présence d'eau et en milieu alcalin suite à la libération de la chaux lors de l'hydratation du clinker, les ajouts à hydraulicité latente réagissent en formant des composés semblables aux hydrates de clinker, durcissant de manière plus lente que le ciment type CEM I [33].

A.1. Laitiers de haut fourneau

Les laitiers sont des sous-produits de la fabrication de la fonte dans les hauts fourneaux des usines sidérurgiques. Ce sont des silico-aluminates de chaux traités de différentes façons à la sortie du haut fourneau :

-Par refroidissement brusque dans l'eau ou dans l'air : ceci empêche la cristallisation et permet son utilisation dans les ciments et les bétons comme pouzzolane,

-Par refroidissement lent à l'air : ceci donne un matériau cristallisé sans aucun pouvoir liant qui est utilisé comme granulats pour les travaux routiers et dans les bétons [34].

B. Ajouts pouzzolaniques

Les ajouts pouzzolaniques peuvent être naturels comme les pouzzolanes, ou artificiels comme les cendres volantes et la fumée de silice.

Dans une première phase de l'hydratation, ces ajouts sont inactifs et retardent plus ou moins la montée en résistance du béton. Dans une deuxième phase, ils réagissent lentement avec l'hydroxyde de calcium pour former des composés insolubles, analogues aux hydrates de ciment [33].

B.1. Cendres volantes

Les cendres volantes utilisées dans les ciments et les bétons sont produites dans les centrales thermiques utilisant du charbon pulvérisé. Elles se présentent sous forme d'une poudre de couleur plus ou moins foncée suivant sa teneur en carbone et en impureté. Les cendres volantes sont sous forme de particules sphériques vitreuses, pleines ou creuses. La granulométrie s'échelonne de 1 à 200 μ m et, en général, 50% des particules ont un diamètre inférieur à 30 μ m. Leur surface spécifique Blaine varie entre 250 et 400 m²/Kg (domaine analogue à celui des ciments) [34].

B.2. Fumée de silice

Ce sont des sous-produits de la fabrication du silicium ou de ferrosilicium. Ils se présentent sous forme de microsphères de silice ayant des diamètres moyens de 0,1 μ m. La surface spécifique varie de 20 à 25 m²/g. Les fumées de silice se caractérisent par une structure vitreuse (produit très réactif) avec une haute teneur en silice (de 75 à 95%).

Les fumées de silice agissent de trois façons dans les bétons : action physique, physicochimique et pouzzolanique [34], [35].

II.1.3. Classification des mortiers

II.1.3.1. Classification générale des mortiers

Selon leur domaine d'utilisation

Généralement les mortiers varient selon leur domaine d'application, on peut 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.
- ✓ Mortier de réparation pour pierres [36].

Selon la nature du liant utilisé

Aussi Les mortiers peuvent être classés selon la nature du liant utilisé, qui peut être résumé comme suit.

➤ Mortier de ciment portland

Le ciment portland donne au mortier de maçonnerie sa résistance mécanique, en particulier la résistance initiale, qui est indispensable à une époque où la vitesse de construction est telle que l'on exige qu'un mur puisse supporter une charge importante le lendemain même de sa construction. Les mortiers de ciment portland manquent de plasticité, ont un faible pouvoir de rétention d'eau et sont difficiles à travailler. Le dosage du rapport entre le ciment et le sable est en général volumétrique de 1/3 et le rapport de l'eau sur ciment est environ 0,35. De plus, un dosage en ciment les rend pratiquement imperméables [36].

➤ **Mortier de chaux**

C'est le composant traditionnel du mortier, il possède une plasticité et un pouvoir de rétention d'eau excellent, mais sa résistance mécanique est faible et sa cure est lente. La chaux grasse, obtenue par extinction de la chaux vive en la laissant vieillir, est le produit de qualité que l'on devrait utiliser, mais le vieillissement prend beaucoup de temps et le travail de la chaux grasse est très salissant. C'est pourquoi il est plus pratique d'utiliser la chaux hydratée sèche. La cure des mortiers de chaux s'effectue lentement par carbonatation sous l'effet du gaz carbonique de l'air; ce processus peut être fortement ralenti par un temps froid et humide [36].

➤ **Mortiers bâtards**

Ce sont les mortiers, dont le liant est le mélange de ciment et de chaux, dans les proportions égales, suivant leur domaine d'utilisation éventuelle, les compositions de chaux et ciment peuvent être variées [36].

➤ **Mortier à base de ciment de maçonnerie**

C'est un produit déposé contenant du ciment portland et un filler minéral inerte (calcaire) et des adjuvants tels que des agents mouillants, des agents hydrofuges et des entraîneurs d'air, les adjuvants donnent la plasticité et le pouvoir de rétention d'eau que confère la chaux aux mortiers de ciment. Certains ciments de maçonnerie sont des mélanges de ciment portland et de chaux hydratée, avec des adjuvants [36].

➤ **Les 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 [37].

➤ **Les Mortier rapide**

Il est fabriqué avec du ciment prompt, il est rapide et résistant pour les scellements [37].

➤ **Les Mortier industriel**

Ce sont des mortiers que l'on fabrique à partir de constituants secs, bien sélectionnés, conditionnés en sacs, contrôlés en usine et parfaitement réguliers. Pour utiliser ce type de mortier, il suffit de mettre la quantité d'eau nécessaire et malaxer pour ensuite les mettre en œuvre. Les fabricants de mortiers industriels proposent une gamme complète de produits répondant à tous les besoins:

- ✓ Mortiers pour enduits de couleur et d'aspect varié.
- ✓ Mortiers d'imperméabilisation.
- ✓ Mortier d'isolation thermique.
- ✓ Mortier de jointoiement.
- ✓ Mortier de ragréage.

- ✓ Mortier de scellement, mortier pour chapes.
- ✓ Mortier-colle pour carrelages, sur fond de plâtre ou de ciment.
- ✓ Mortier de réparation [37].

II.1.3.2. Classes des mortiers

Les mortiers comme les bétons, sont additionnés par des adjuvants qui modifient les propriétés physicomécaniques, et qui sont classés en six (06) classes, en fonction de l'adjuvant utilisé, les différentes classes sont mentionnées comme suit :

- **Classe 1:** Adjuvant modifiant les caractéristiques des mortiers, bétons et coulis à l'état frais.
- **Classe 2:** Adjuvant modifiant les caractéristiques des mortiers, bétons et coulis pendant la prise et le durcissement.
- **Classe 3:** Adjuvant modifiant la teneur en air ou en autre gaz.
- **Classe 4:** Adjuvant modifiant la résistance des mortiers, bétons et coulis.
- **Classe 5:** Adjuvant améliorant la durabilité des mortiers, bétons et coulis.
- **Classe 6:** Adjuvant modifiant des propriétés spéciales [38].

II.1.4. Préparation des mortiers

Les quantités nécessaires en fonction des dosages et des travaux à faire comme le montre tableaux ci-dessous: [39]

Tableau. II. 3:Dosages des mortiers [39]

Sable	Ciment	Eau
Unité(g)	Unité(g)	Unité(g)
1350	450	225

- ❖ Prévoir une surface de gâchage plate et assez grande, balayer cette aire de gâchage au balai de chantier, elle doit être propre et surtout sans débris végétaux.
- ❖ Installer la bétonnière ou le seau de maçon à proximité des produits.
- ❖ Prévoir un tuyau d'alimentation en eau muni d'un robinet d'arrêt.
- ❖ Déposer sur l'aire prévue à cet effet la quantité de sable.
- ❖ Verser le ciment (ou la chaux) sur le sable.
- ❖ Commencer à mélanger à la pelle le sable et le ciment. Afin d'obtenir un bon mélange, déplacer le tas deux ou trois fois. Le mélange doit être de couleur homogène.
- ❖ Creuser le tas en cratère et verser 2/3 de l'eau prévue.
- ❖ Faire tomber peu à peu les bords du cratère dans l'eau pour humidifier le mélange.
- ❖ Mélanger le tas afin de répartir l'eau. Pour homogénéiser le mélange, le déplacer deux ou trois fois comme pour le mélange à sec.

- ❖ Couper le dessus du tas de mortier avec la pelle. S'il ne se forme pas de boudins, ajouter un peu d'eau et mélanger à nouveau.
- ❖ Le mortier est correctement humidifié lorsqu'on passe le plat de la pelle dessus, il se lisse et l'eau remonte en surface [39].

II.1.5. Les propriétés physicomécaniques des mortiers de ciment

II.1.5.1. La masse volumique

La masse volumique sèche d'une éprouvette donnée de mortier durci est déterminée par le quotient de sa masse à l'état sec en étuve par le volume qu'elle occupe lorsqu'elle est immergée dans l'eau, à l'état saturé

II.1.5.2. Porosité

La porosité des granulats contribue à la porosité globale du béton, vu qu'ils représentent environ les trois quarts du volume du béton [40].

La porosité est le rapport du volume des vides contenus dans les grains et accessibles à l'eau, au volume réel de l'échantillon : porosité ouverte [41].

Selon la norme française P 18 - 557 [42], la porosité ne se détermine que pour les classes de grains supérieures à 4 mm. En dessous de cette dimension, la porosité tend vers zéro et joue un rôle moins important dans l'ensemble du granulat.

D'après René Lesage [43], la méthode de détermination de la porosité n'est guère applicable aux sables à cause des difficultés expérimentales. Par ailleurs, la porosité qu'il faut prendre en compte dans les études de formulation de béton, est généralement très faible dans les cas des sables. Le seul cas particulier est celui des sables de granulats légers, pour lesquels on est tenu de prendre en compte la porosité totale.

II.1.5.3. Absorption d'eau

Certains matériaux granulaires peuvent présenter une porosité interne qui est préjudiciable, en particulier, à la résistance au gel des bétons. En effet, la présence de l'eau dans les pores des granulats provoque l'éclatement de ces derniers, donc du béton lorsque celui-ci est soumis de manière prolongée à des basses températures [44].

Selon Dreux et Festa [45], les différents textes réglementaires, pour définir la qualité des granulats, prennent en considération leur coefficient d'absorption d'eau, plutôt que d'imposer des valeurs limites de porosité.

Le coefficient d'absorption d'eau « A_b » est défini comme étant le rapport de l'augmentation de masse de l'échantillon entraînée par une imbibition partielle en eau pendant 24 h, à la masse sèche de l'échantillon [46]. En effet, il permet de mesurer le volume des pores

accessibles à l'eau. Plus sa valeur est élevée, moins la durabilité du béton est assurée dans un milieu agressif [45].

La norme **XP P 18 - 540**[47] indique les valeurs spécifiées supérieures du coefficient d'absorption d'eau « A_b » en fonction de la catégorie des granulats :

Tableau. II. 4 : Valeurs Spécifiées Supérieures du Coefficient d'absorption d'eau

Catégorie	Vss en %
A	2.5
B	5
C	6
D	Pas de spécifications

II.1.5.4. Résistances mécaniques

Les essais sont souvent effectués sur les éprouvettes prismatiques de $(4 \times 4 \times 16) \text{ cm}^3$ conservés dans l'eau à $20 \text{ }^\circ\text{C}$. Les éprouvettes sont rompues en traction par flexion puis en compression. Les résistances, aussi bien en traction par flexion qu'en compression, progressent à peu près comme logarithme du temps (entre 1 et 28 jours).

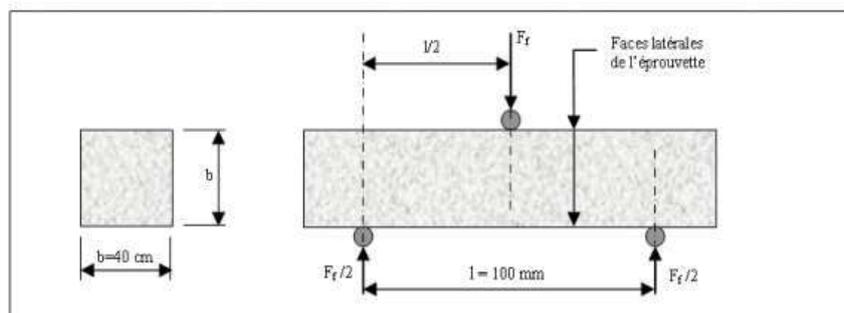


Figure .II. 5 : Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion

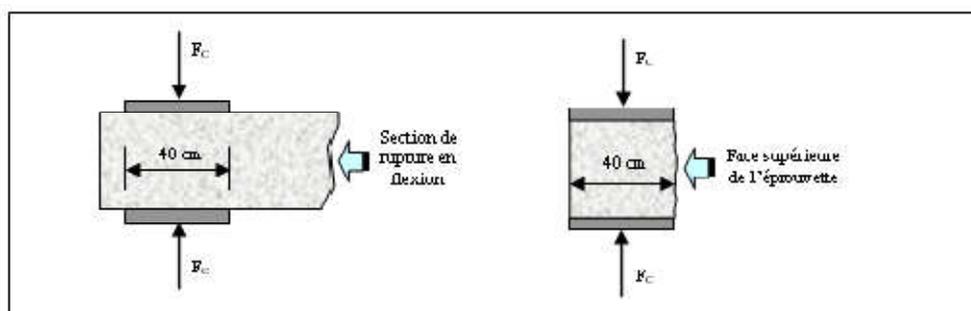


Figure .II. 6 : Dispositif de rupture en compression.

Les résistances des mortiers (comme dans le cas des bétons) dépendent de très nombreux facteurs:

- Nature et dosage en ciment;
- Rapport C/E;

- Granulométrie et nature du sable;
- Energie de malaxage et mise en œuvre;
- Protection les tous premiers jours [25].

II.1.6. Le rôle et domaine d'utilisation des mortiers

La pâte plastique obtenue peut jouer plusieurs rôles essentiels :

- ❖ Assurer la liaison, la cohésion des éléments de maçonnerie entre eux, c'est-à-dire la solidité de l'ouvrage, le rendre monolithique.
- ❖ Protéger les constructions contre l'humidité due aux intempéries ou remontant du sol.
- ❖ Sous forme d'enduits aériens.
- ❖ Sous forme d'écrans étanches.
- ❖ Constituer des chapes d'usure, un pour dallages en béton.
- ❖ Devenir la matière première dans la fabrication de blocs manufacturés, carreaux, tuyaux divers éléments moulés.

Après avoir fait la recherche sur les études menées sur les propriétés et caractéristiques physicomécanique des mortiers, il été constaté que l'amélioration, ainsi que la prise en compte des aspects environnementaux est devenue une nécessité, car il permet une innovation d'une part et de participer au développement durable d'autre part, c'est pour cela que la recherche de valorisation des déchets tels ceux de brique rouge, qui peut être une solution par substitution ou addition des poudre de brique rouge dans les mortiers, avec des pourcentages qui assurent les caractéristiques techniques exigées par les normes en vigueur.

II.2. Valorisation des déchets de brique

II.2.1. Définition des déchets

Les déchets peuvent être abordés de manière différente en fonction de leurs propriétés. Leur classification peut notamment se faire en fonction de leur état physique (solide, liquide, gazeux), de leur provenance (déchets ménagers, déchets industriels, déchets agricoles), de leur traitement (primaires, secondaires, ultimes) ou encore de leur dangerosité (déchets inertes, déchets banals, déchets spéciaux).

La variété de ces propriétés et des points de vue que l'on peut adopter lorsque l'on s'intéresse aux déchets amène la plupart des auteurs à dire qu'il n'existe pas de définition satisfaisante du

déchet. Cette définition est différente en fonction du point de vue réglementaire, environnemental, économique ou encore fonctionnel.

II.2.2. Origine de la production de déchets

La production des déchets est inéluctable pour les raisons suivantes :

- Biologiques : tout cycle de vie produit des métabolites ;
- Chimiques : toute réaction chimique est régie par le principe de la conservation de la matière et dès que veut obtenir un produit à partir de deux autres on en produira un quatrième ;
- Technologiques : tout procédé industriel conduit à la production de déchet ;
- Economiques : les produits en une durée de vie limitée ;
- Ecologiques : les activités de la dépollution (eau, air) génèrent inévitablement d'autres déchets qui nécessiteront une gestion spécifique ;
- Accidentelles : les inévitables dysfonctionnements des systèmes de production et de consommation sont eux aussi à l'origine de déchets.

II.2.3. Constitution chimique du déchet

Les déchets sont pour la plupart constitués des mêmes molécules chimiques que celles des produits. Ce qui différencie les déchets des autres produits provient d'un certain nombre de particularités. Certains déchets résultent du traitement involontaire de molécules usuelles avec production de sous-produits de composition, a priori inconnu. Par ailleurs, le déchet peut se retrouver dans un milieu dont il n'est pas issu en tant que produit et de ce fait auquel il n'est pas destiné. Enfin, le mélange au hasard des déchets peut conduire à la formation de produits nouveaux [48].

II.2.4. Différents types des déchets (Norme de classements des déchets)

- ✓ Déchets ultimes
- ✓ Déchets inertes
- ✓ Déchets assimilés
- ✓ Déchets verts :
- ✓ Déchets organiques :
- ✓ Déchets industriels banals (DIB)
- ✓ Déchets industriels spéciaux (DIS)
- ✓ Déchets ménagers spéciaux (DMS)

II.2.5. Déchet utilisé en génie civil

II.2.5.1. Laitiers de haut fourneau

C'est un résidu issu de la fabrication de la fonte au haut fourneau, où il correspond au minerai de fer, isolée de la fonte liquide où il flotte par différence de densité.

Sont utilisés comme matériaux de construction depuis assez longtemps. Les laitiers granulés sont utilisés dans l'industrie du ciment, dans la construction des couches de base, dans la fabrication des briques. Les laitiers expansés sont utilisés pour la production des granulats légers et les laitiers refroidis à l'air, sont concassés et utilisés comme granulats pour les bétons. Les fines du laitier peuvent être utilisées pour remplacer sans inconvénient le sable.



Figure .II. 7 : Laitier de haut fourneau

II.2.5.2. Laitier d'acier

Ce laitier est formé par l'élimination des impuretés contenues dans la fonte brute .Il est riche en phosphate ou en calcium et contient du silicate bicalcique métastable ; il est donc utilisé uniquement comme matériau de remblai pour les routes. Normalement, ce laitier est stocké en piles pendant une période allant jusqu'à un an avant d'être utilisé [49].



Figure .II. 8 : Laitier d'acier

II.2.5.3. Cendres volantes

Est un produit provenant de la combustion des charbons dans les centrales thermiques, peuvent être utilisées à la fabrication des ciments, à l'exécution des bétons, où elles remplacent en partie le ciment portland, à la production des granulats légers et d'autres matériaux de construction, ainsi qu'à l'exécution des remblais dont elles ont un effet favorable grâce à leur faible poids.

Notant que les cendres volantes sont sensibles au gel, du fait de leur composition granulométrique [50].



Figure .II. 9 : Cendre volante

II.2.5.4. Mâchefer

C'est les résidus de la combustion de la houille, dans les centrales électriques anciennes. Il contient une proportion considérable de charbon non brûlé et d'autres impuretés. Il est utilisé principalement pour la fabrication de blocs de béton. Étant donné que le mâchefer contient des sulfates et des chlorures, il n'est pas recommandé pour le béton armé. Ce matériau risque de devenir de plus en plus rare à mesure que les centrales électriques anciennes passent à la combustion de charbon pulvérisé [51].

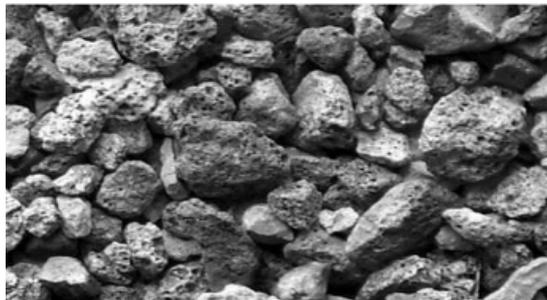


Figure .II. 10: Mâchefer

II.2.5.5. Boues rouges

Les boues rouges proviennent de l'extraction de l'alumine de la bauxite. Elles sont de consistance assez plastique pour être formées en boules. Chauffées à des températures de (1260 à 1310 °c), elles sont transformées en granulats denses et résistants pouvant entrer dans la composition de bétons de résistances convenables.



Figure .II. 11 : Boue rouge

II.2.5.6. 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 [52].



Figure .II. 12 : Béton récupéré

II.2.5.7. Verre de récupération

Des millions de tonnes de verre sont récupérées chaque année. En général, la résistance du béton contenant du verre est inférieure à celle du béton contenant du gravier. La résistance est particulièrement faible lorsqu'un ciment à teneur alcaline élevée est utilisé. On remarque la même tendance dans le cas de la résistance à la flexion. En remplaçant le ciment par des cendres volantes dans une proportion de 20 à 30%, on parvient à compenser cette perte de résistance.

La réutilisation du verre dans divers domaines s'est accrue. Les déchets de verre sont utilisés comme matières premières pour la production d'abrasifs au jet de sable, comme substitut d'agrégat dans le béton, les chaussées et les parkings. Quant à la poudre de verre, elle peut être utilisée comme lubrifiant, additifs de la base dans la fabrication de fonderie de métaux et dans l'industrie céramique. En agriculture, une incorporation du verre pilé, apporte des modifications chimiques, physiques et biologiques au sol [53].



Figure .II. 13 : Déchet de verre.

II.2.5.8.Sciure de bois

Le bois est utilisé dans l'industrie, la menuiserie, les charpentes ou le chauffage. Dans tous les cas, il génère une grande quantité de déchets. Ces matériaux ne peuvent être mis en décharge directement à cause de la pollution que cela engendrerait. C'est pourquoi, l'utilisation de copeaux de bois dans la fabrication de bétons légers contribue à valoriser certains sous-produits de l'industrie du bois.

Le béton à base de sciure de bois est très peu utilisé à cause de sa faible résistance. On peut augmenter cette dernière en ajoutant du sable. Le béton à base de sciure de bois a de bonnes propriétés isolantes, une bonne souplesse et une faible conductivité thermique et peut être scié et cloué [52].



Figure .II. 14 : Sciure de bois

II.2.5.9.Lin de textile

Le développement industriel et économique de ces dernières décennies a entraîné une forte production de déchets agricoles. Parmi ces déchets, on distingue ceux issus de l'industrie textile de lin fibre, notamment les poussières extraites par aspiration lors teillage. Ces déchets, peu ou pas valorisés, constituent une source potentielle de problèmes environnementaux majeurs. L'exploitation des déchets agricoles dans les matériaux de construction est une alternative très intéressante qui présente un double objectif. Elle permet d'une part, de répondre aux besoins en matériaux nouveaux, présentant des propriétés particulières ou améliorées par rapport aux matériaux classiques. D'autre part, de pallier les contraintes économiques et environnementales par le réemploi et le recyclage de ces déchets [49].



Figure .II. 15: Lin de textile

II.2.5.10. Marbre

Le marbre est une roche métamorphique dérivée du calcaire, existant dans une grande diversité de coloris, pouvant présenter des veines, ou marbrures (veines et colorie sont dus à des inclusions d'oxydes métalliques, le plus souvent).

Le déchet du marbre a été recyclé avec succès dans la confection des bétons hydrauliques en substitution du sable ou du gravier et ce à des différentes proportions.

Les résistances obtenues restent raisonnables à celles données par les granulats naturels.



Figure .II. 16 : Marbre

II.2.5.11.Céramique

Un matériau céramique est solide à température ambiante et n'est ni métallique, ni organique. Les objets en céramique sont réalisés par solidification à haute température d'une pâte humide plastique (verre minéraux), ou frittage (agglutination par chauffage) d'une poudre sèche préalablement comprimée, sans passer par une phase liquide (céramique polycristalline); par assimilation, on désigne sous le terme «céramique» les objets ainsi fabriqués.



Figure .II. 17 : Céramique

II.2.5.12.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 [49].



Figure .II. 18 : Carrelage

II.2.5.13. Brique concassée

Les débris de terre cuite sont, généralement, classés parmi les déchets de démolition, que ce soit du point de vue recyclage ou réutilisation comme granulats légers.

Les débris de briques contenus dans les déchets de démolition, sont désignés sous le nom collectif de « débris de terre cuite » [54].

Le béton contenant de tels granulats est plus perméable et si les briques contiennent de sels solubles, il peut y avoir corrosion et efflorescence dans le béton.

Le béton contenant de l'argile cuite comporte une résistance au feu beaucoup plus élevée que celle du béton à base de gravier naturel [52].



Figure .II. 19 : Brique concassée

II.2.6. Déchets de brique

L'objectif de ce paragraphe est de donner quelques renseignements sur les déchets de brique qu'on appelle « briquillons », « chamotte » ou « brique concassée ». Vu leur emploi

occasionnel, il y a peu des données sur ces matériaux et leur utilisation comme granulats du béton, malgré la consommation universel de leur matière première « brique » en grande masse, en conséquence, leur génération en quantités énormes.

En Algérie, selon les informations disponibles, la recherche sur ces matériaux est presque Négligeable.

On appelle « briquillons »: des briques morcelées provenant généralement de la démolition ou d'une mauvaise cuisson de briques (briques trop cuites) .On appelle « chamotte »: brique cuite broyée ou concassée [54].

II.2.6.1. Définition de déchet de brique

Les déchets de briques sont des sous-produits de l'industrie des produits rouges. Ils se trouvent en grande quantité au niveau national à cause du nombre élevé de briqueteries et des taux de rejets (briques non conformes où cassées) qu'elles génèrent et qui représentent 10 à 15 % de leurs productions [55].

Par ailleurs des études ont montré un caractère pouzzolanique de ces déchets, raison pour laquelle nous avons décidé de substitué une partie du clinker par ce sous-produits, les déchets ont fait l'objet d'un broyage, pour les transformer en poudre fine.

II.2.6.2. Composition chimique des déchets de briques

La composition chimique est indiquée dans le Tableau I.7. Elle a été déterminée par l'essai de Spectrométrie à Fluorescence aux rayons X au laboratoire de la cimenterie de Lafarge HAMMAM DALAA. L'analyse s'effectue sur un échantillon finement broyé, afin de déterminer sa composition chimique [56].

Tableau. II. 5: La composition chimique des déchets de briques

Eléments	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	MnO	P.F
Teneurs de déchets de briques	6.06	66.52	14.20	5.45	2.35	0.73	2.09	0.73	/	1.0



Figure .II. 20 : Déchets de briques



Figure .II. 21: Poudre de brique

II.2.6.3. Valorisation des déchets de la brique

Il existe peu d'informations disponibles sur le devenir des déchets de briques qui constituent la plus grande partie des déchets de démolition et de décombres. D'une part, techniquement, les déchets de briques sont pratiquement recyclés comme composant d'un matériau type maçonnerie. D'autre part, l'absence quasi-totale des textes réglementaires qui régissent la fabrication et l'utilisation des déchets de briques.

La valorisation de la matière est un mode d'exploitation des déchets qui vise à leur mise en valeur afin de les réintroduire dans le circuit économique. Elle couvre le réemploi, la réutilisation, la régénération et le recyclage de la matière [57].

II.2.6.3.1. Réutilisation

Lors de travaux de démolition, les briques récupérées peuvent être nettoyées et réutilisées sur le même chantier ou ailleurs. Par ailleurs, certaines briques anciennes ont une grande valeur architecturale et sont recherchées pour les rénovations historiques [57].

II.2.6.3.2. Recyclage

Le recyclage est un procédé qui consiste à réintroduire le déchet dans le cycle de production en remplacement total ou partiel d'une matière première naturelle. Il se distingue de la réutilisation par la nécessité de nouveau traitement que la matière subisse.

La brique, peut être concassés et utilisés comme granulats dans la couche de fondation routière, comme matériaux de remblai, pour l'aménagement paysager et pour d'autres applications dans le domaine de la construction textes réglementaires qui régissent la fabrication et l'utilisation des déchets de brique [57].

II.2.6.4. Propriétés des bétons des déchets de brique

Les briques sont utilisées pour la fabrication du béton et la performance de tel béton a été assez satisfaisante.

Et l'usage de briques comme déchet est d'intérêt particulier.

Bien que largement usagé, il n'y avait pas d'études systématiques des différentes propriétés du béton du déchet de brique.

Parmi les différentes propriétés, on peut citer :

- ✓ L'absorption déchet de brique est estimée entre 5 et 15 % par rapport au poids de la matière dans son état sec. C'était nécessaire, par conséquent, il faut saturer les déchets de brique avant tout mélange.

- ✓ La masse volumique apparente du béton de brique varie de 2000 à 2080 kg/cm³
- ✓ L'ouvrabilité peut être appréciée à partir des mesures de consistance par affaissement au cône d'Abrams ou par essai VeBe .
- ✓ Il est nécessaire de procéder au maintien prolongé à l'état humide de tous les bétons de briques, pour empêcher le dessèchement des liants et la ségrégation de surface du béton.
- ✓ L'utilisation du déchet de brique peut produire un béton de structure de haute résistance avec une économie de poids allant jusqu'à 15 %.
- ✓ Le béton contenant de l'argile cuite comporte une résistance au feu beaucoup plus élevée.
- ✓ Le béton contenant des déchets de brique est plus perméable que le béton normal. Si les briques contiennent des sels solubles, il peut y avoir corrosion et efflorescence dans le béton [57].

II.2.6.5. Utilisations des bétons des déchets de brique

Les déchets de briques, surtout, ceux qu'on trouve en quantités énormes dans les tas de décombres de nos villes, ainsi que les incuits et surcuits de briqueterie, peuvent être concassés pour produire des granulats d'un béton léger :

- ✓ De structure pour semelles de fondation, pour parois de caves et éléments de construction en béton armé d'un poids spécifique de 1600 à 2100 kg/m³, d'une résistance à l'écrasement de 50 à 320 kg /cm², présentant une élasticité remarquable à la pression et à la flexion composée, de faibles coefficients de retrait et des indices de conductibilité et de dilatation relativement bas.
- ✓ Isolant poreux pour les parois, les parpaings et les carrelages, avec des poids spécifiques de 1000 à 1600 kg /m³, une résistance à l'écrasement de 20 à 50 kg /cm², une résistance à la traction de 5 à 10 kg /cm², des coefficients de retrait de 0,20 à 0,30 mm m (sans durcissement à la vapeur) et une faible conductibilité de la chaleur
- ✓ Mono granulométrique du groupe granulométrique 1/3 mm, avec lequel on peut produire des bétons poreux de déchet de briques présentant une isolation thermique particulièrement poussée.
- ✓ Damé (béton non armé) nécessaire aux fondations massives, fondations de murs et soubassements ainsi que lors de la fabrication du béton de remplissage.
- ✓ Le béton de déchet de briques a déjà trouvé, il y a longtemps, son utilisation dans les revêtements de routes sur les ponts, suite de sa faible densité.

- ✓ Les déchets de brique sont utilisés dans la construction d'assises routières, comme matériaux de remblaiement, pour l'aménagement paysager.

Le béton à base de briques présente, particulièrement, une bonne résistance au feu. Les bétons classiques, confectionnés avec des ciments courants, en général, ne résistent pas à des températures supérieures à 300 °C.

Les bétons réfracteurs sont des bétons confectionnés avec du ciment alumineux et qui sont non armés, capables de résister non seulement à des températures élevées mais à certaines corrosions chimiques, et aux chocs thermiques répétés.

Les déchets de brique conviennent bien pour les bétons réfractaires, qui sont, en général, utilisés pour la confection d'ouvrages soumis à des températures élevées tels que revêtements des chaudières, cheminées, carnaux de cheminées, conduites de fumées, de sols d'usines sidérurgiques, de parties de fours... .

A nos jours, la très grande majorité des déchets inertes est éliminée en mélange, en particulier ceux du secteur du bâtiment, ce qui limite les possibilités de valorisation. Par ailleurs, les déchets de brique de l'industrie sont eux aussi éliminés dans des décharges qui sont parfois sauvages sans valorisation significative.

Des cas de déchet de brique gênant dont le détenteur se défait, trouvent parfois des utilisations locales occasionnelles sous une forme assez dépourvue d'orthodoxie scientifique. Parmi les exutoires utilisés comme remède de la situation vivante et d'après les sources des briqueteries:

- Plates formes en béton,
- Chapes en mortier du ciment,
- Étanchéité : forme de pente en isolation de toiture,
- Réfection de planchers anciens,
- Béton réfracteur utilisé pour revêtement des wagons de brique,
- Remblaiement des fouilles et de site, etc....[54].

II.2.6.6. Avantages et inconvénients d'utilisation des briques

II.2.6.6.1. Avantages

Les avantages du point de vue technique et écologique sont :

- L'argile absorbe et restitue l'humidité.
- Régule la température par inertie thermique.
- C'est un très bon isolant phonique.

- Besoin en eau faible durant la phase de transformation
- L'argile est une ressource locale abondante et renouvelable.
- La construction en terre crue n'utilise que 3% de l'énergie employée dans une construction en béton.

II.2.6.6.2. Inconvénients

La main d'œuvre nécessaire à toute construction en terre est souvent importante même une petite structure représente 15 tonnes de terre à travailler.

Il faut aussi bien avoir conscience que le financement de ce type de maison n'est pas conventionnel, en effet il vous sera difficile d'obtenir un prêt hypothécaire pour ce genre d'habitation [29].

II.2.7. Travaux de recherches sur la valorisation des poudres de brique

L'effet de l'introduction de la poudre de brique issue des déchets de brique, est étudié par JiahuShao et al, 2019 [58], qu'a introduit cette poudre par remplacement partiel de ciment à des pourcentage (0 %, 10 %, 20 %, 30 % et 40 %), les résultats de ses travaux montrent que la résistance à la compression des mortiers contenant la poudre de brique diminue progressivement avec l'augmentation des pourcentage de remplacement au jeune âge, la figure suivante présentent les résultats d'essai mécanique de ses travaux [58].

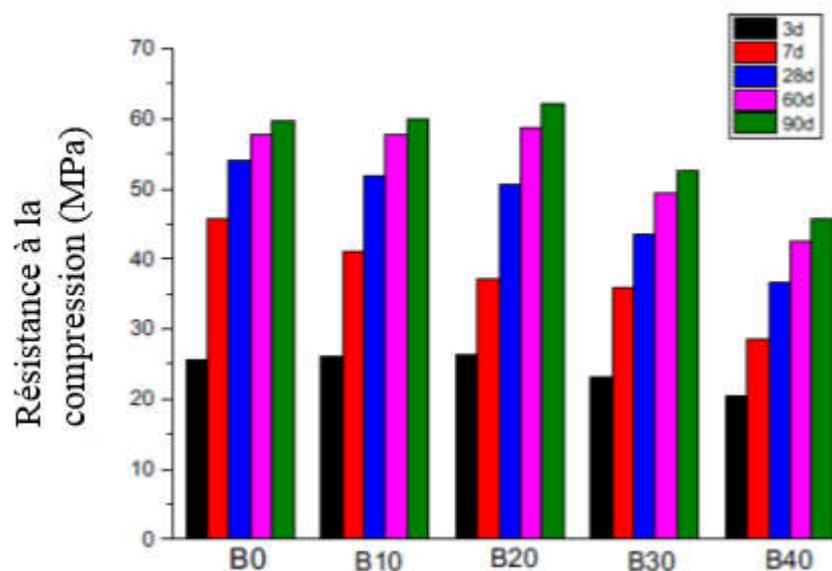


Figure .II. 22 : Effet de la poudre de brique sur les propriétés mécaniques des mortiers [58].

Dans le même travail de recherche cité, la résistance à la compression des mortiers additionnés par la poudre de brique s'est développée progressivement en fonction de l'âge, et

le mortier élaboré avec 20% de poudre de brique a donné une résistance en compression la plus élevée estimée à 62,2 MPa à 90 jours [58].

Les analyses aux DRX ont montré que l'ajout de la poudre de brique, favorise la formation de gel C-S-H dans les pâtes mélangées après 28 jours. Les images au MEB ont également révélé que la microstructure des pâtes mélangées devenait plus compacte à mesure que le temps de durcissement augmentait, les C-S-H ont été produits en raison de la réaction pouzzolanique de la poudre de brique et que la microstructure des éprouvettes est devenue plus compacte, ce qui a entraîné une augmentation progressive de la résistance à la compression [58].



Figure II. 23 : Image MEB des mortiers témoins à (a) 7 Jours, (b) 60 jours et (c) 90 jours [58].

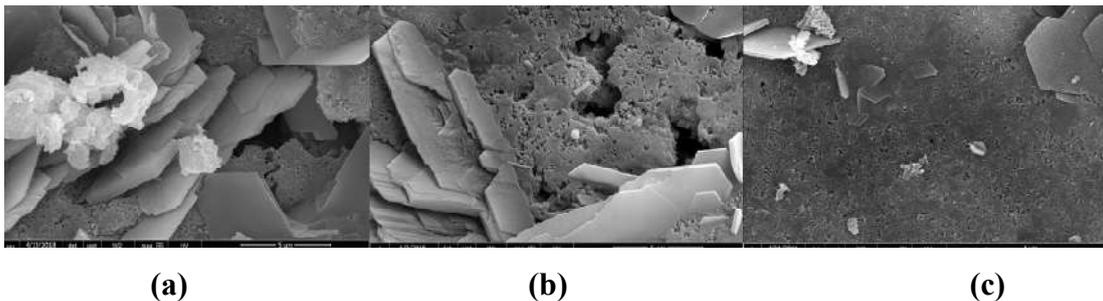


Figure II. 24 : Image MEB des mortiers avec 40 % de poudre de brique à (a) 7 Jours, (b) 60 jours et (c) 90 jours [58].

L'effet de l'introduction de la poudre de brique dans les bétons a été étudié par Heidari et al (2013) [59], les résultats des essais de la résistance à la compression du béton avec 20 % de poudre de brique étaient de 39,9 MPa.

La possibilité de valorisation des déchets de brique dans l'industrie du ciment est étudiée par José Marcos Ortéga et al (2018), dont l'objectif de son travail de recherche est d'analyser l'influence à long terme (jusqu'à 400 jours) des déchets de poudre de brique sur la microstructure, la durabilité et les propriétés mécaniques des mortiers incorporer jusqu'à 20% de poudre de brique en remplacement du clinker. Selon les résultats obtenus, les mortiers avec 10% et 20% de poudre de brique, ont montré de bonnes propriétés mécaniques à long terme, même meilleures que celles élaborée avec du ciment Portland ordinaire [60].

Les paramètres étudié afin de mettre en exergue l'effet de a poudre de brique dans les travaux de José Marcos Ortéga et al (2018), est le coefficient de diffusion k des ions chlorures, aux

âges (28, 200 et 400 jours) montrent que la diminution du coefficient de diffusion des ions chlorure dans les cas des variantes avec introduction de 10 et 20 % de poudre de brique par comparaison à la variante témoins [60] (figure II.25), ce qui confirme l'effet pouzzolanique de l'introduction de la poudre de brique dans les mortiers, favorisant ainsi la production d'une quantité supplémentaire des C-S-H, qui réduit la porosité des mortiers étudiés.

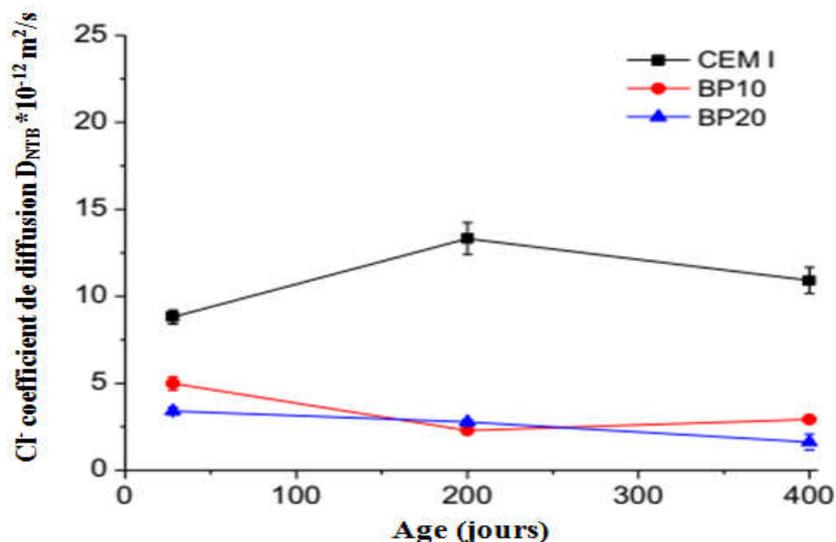


Figure .II. 25 : Résultats du coefficient de diffusion des ions chlorures (CEM I, Mortiers PB10 et PB20)[60].

Les résultats des résistances à la compression et à la flexion obtenus pour les mortiers étudiés sont représentés sur les figures II.26 et 27.

Les résultats de cette étude confirment une augmentation en fonction de l'âge de durcissement pour tous les mortiers étudiés, bien que le taux de croissance est plus notable dans le cas d'éprouvettes CEM I et BP10 [60].

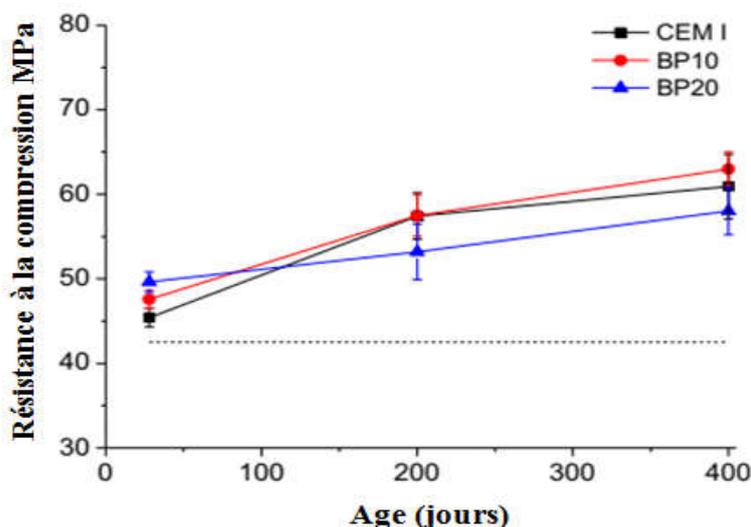


Figure .II. 26 : Résistance à la compression des mortiers étudiés [60].

Pour les résistances à la flexion, les auteurs Ortéga et all (2018), notent que ces dernières restent pratiquement constantes sur la période de 400 jours, avec une légère augmentation dans le cas des mortiers à poudre de brique par rapport à ceux de CEM I.

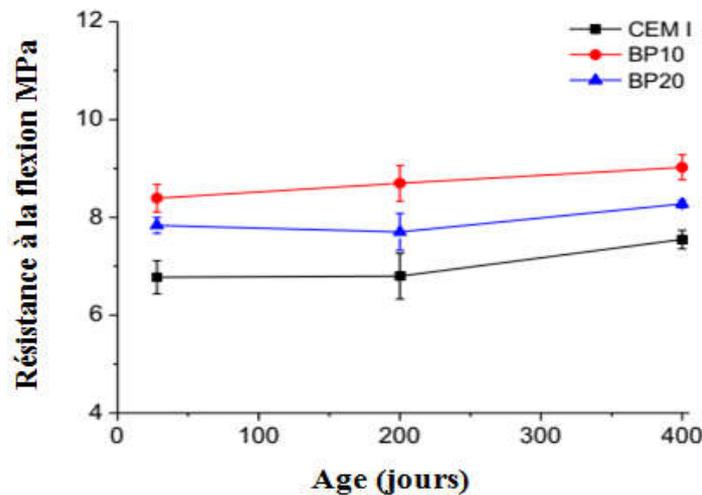


Figure .II. 27 : Résistance à la flexion des mortiers étudiés [60].

Conclusion

Le bon traitement et la bonne gestion des déchets permettent de limiter les impacts nuisibles sur les plans environnemental et sanitaire et d'offrir de nouvelles ressources renouvelables et durables qui contribuent à l'innovation dans le domaine des matériaux de construction, notamment par la valorisation des déchets de brique sous forme de poudre dans les mortiers, et une utilisation dans le domaine de génie civil, qui peuvent être une solution par apport à la réduction du poids des structures, néanmoins leurs utilisations doit être conforme aux exigences techniques prescrites par les normes.

Cependant, afin de valoriser ce type de déchets, d'apporter des améliorations aux caractéristiques techniques des mortiers par addition ou substitution des quantités de ciment, un compromis doit être recommandé pour ce type de déchet, en terme de pourcentage et finesse, qui assurent de bonnes qualités techniques aux mortiers.

Chapitre III :
Partie expérimentale

III.1. Introduction

Dans ce chapitre on présente les résultats expérimentaux des matériaux utilisés dans ce travail (sable), ainsi que, les propriétés des différentes variantes étudiées (avec addition et substitution à 10 et 20 %) de ciment par les déchets de brique, à l'état frais et durcies, puis cette partie est suivie d'une analyse et interprétation des résultats, cette partie est réalisée au niveau du laboratoire pédagogique du département Génie Civil et le Laboratoire National de l'Habitat et de la Construction de la Wilaya de Bouira.

III.2. Matériaux et méthodes

III.2.1. Sable

Le sable utilisé dans notre travail est issu d'une carrière sise à Sétif, afin de contre-pôler la qualité du sable, plusieurs essais ont été effectués à savoir :

III.2.1.1. Analyse granulométrique

Cet essai est effectué selon la norme (NF P 18-560)[61], avec la prise d'un échantillon de sable de 1000 g, qui sera tamisé à travers une série de tamis (Figure III.1).



Figure .III. 1: Tamiseuse de laboratoire.

Les résultats de cette analyse sont résumés dans le tableau suivant:

Tableau. III. 1 : Analyse granulométrique de sable de Sétif.

Ouverture des tamis (mm)	Masse(g)	Teneur(%)		MF
	Refus cumulés	Refus cumulés	Tamisât cumulé	
5	00,00	00,00	100,00	2,90
4	04,00	00,40	99,60	
2,5	103,00	10,30	89,70	
1,25	314,00	31,40	68,60	
0,63	725,00	78,70	27,50	
0,315	843,00	84,30	15,70	
0,16	930,00	93,00	07,00	
0,08	978,00	97,80	02,20	
FT	1000,00	100,00	00,00	

La figure suivante représente la courbe granulométrique du sable utilisé dans notre travail

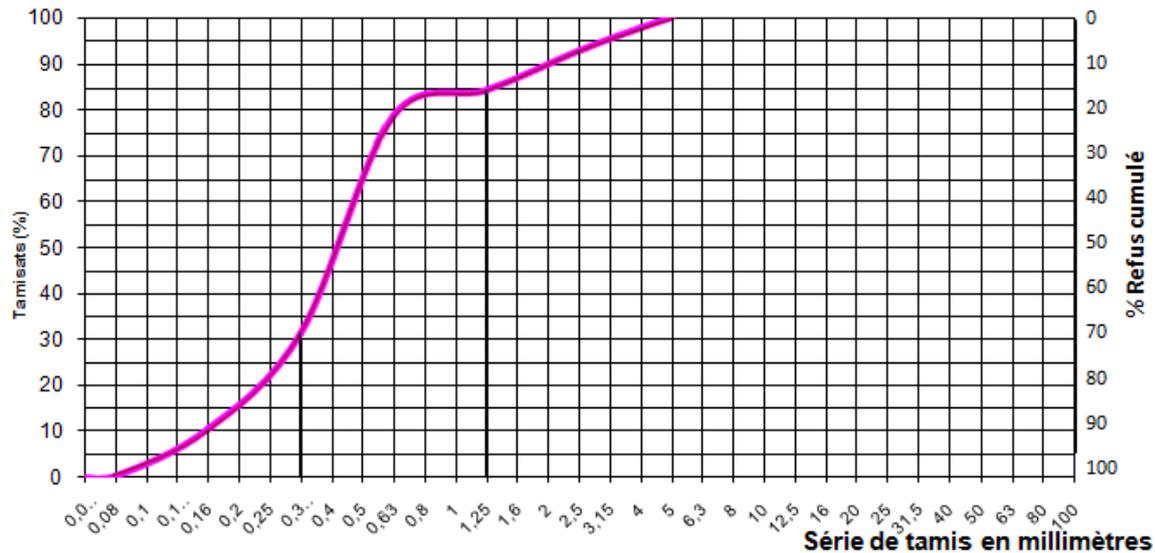


Figure .III. 2: la courbe granulométrique de sable.

III.2.1.2. Module de finesse

Le module de finesse est déterminé selon la norme (NF P 18-540), qu'est égal au 1/100^e de la somme des refus cumulés exprimée en pourcentages sur les tamis de la série suivante : 0,16 - 0,315 - 0,63 - 1,25 - 2,5 - 5 mm,

$$MF = \frac{1}{100} \sum \text{Refus cumulés en \% des tamis } \{0,16 ; 0,315 ; 0,63 ; 1,25 ; 2,5 ; 5 \}$$

Remarque :

On remarque que le sable de Sétif a un module de finesse égale « **Mf = 2,90** », ce qui permet de classer le sable utilisé dans ce travail comme un sable moyen à grossier.

III.2.1.3. Essai d'équivalent de sable

L'essai s'effectue sur un échantillon de sable humide afin d'éviter les pertes d'argile selon la norme (NF EN 933-8) [62], Il faut vérifier que les grains de sable ont bien un diamètre inférieur à **5mm** par tamisage et vérifier que la masse sèche de l'échantillon soit de **120 g**, cet essai est effectué selon deux méthodes, l'une est visuelle, l'autre par piston, effectué au niveau du Laboratoire-National de l'Habitat et de la Construction de la Wilaya de Brouira.



Figure .III. 3 : Essai d'équivalent de sable.

Tableau. III. 2 : Équivalent de sable pour le sable de Sétif (NF EN 933-8) [62].

	1 ^{ère} prise	2 ^{ème} prise
Hauteur totale H_1 (cm)	10,30	10,10
Hauteur H_2' (cm)	35,30	35,50
Hauteur de sable H_{2p} (FSP=43- H_2')	07,70	07,50
Hauteur de sable H_{2v} (ESV) (cm)	08,30	08,10
ESP=100*(H_{2p}/H_1)	74,75 %	74,25 %
Moyenne	74,50%	
ESP=100*(H_{2v}/H_1)	80,58 %	80,18 %
Moyenne	80,38 %	

Remarque :

On remarque que le sable de Sétif est un sable propre, à faible proportion de fines argileuses convenant parfaitement pour les bétons de haute qualité.

III.2.2. Le ciment

Le ciment utilisé est un ciment portland composé CPJ-CEMII / A42,5N, de provenance de la cimenterie de Sour el Ghoulane, dont les caractéristiques techniques sont données par la fiche technique de contrôle de qualité du ciment récupérée du laboratoire de contrôle de qualité de l'entreprise (Voir l'annexe), les propriétés essentielles du ciment sont résumées dans les tableaux suivants :

Tableau. III. 3 : Composition chimique du ciment utilisé.

Composés	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	Cl-	CaOl	PAF à 1000 C°
%	20,06	03,99	03,04	61,57	01,62	00,54	00,26	00,06	< 0,001	1,56	7,16

Tableau. III. 4 : Les caractéristiques physicomécaniques du ciment.

Désignations		Unité	Exigences	Moyenne
Poids spécifique		g/cm ³		03,09
SSB		cm ² /g		4000
Consistance Normale		% H ₂ O		26,11
Temps de pise	Début	min	≥ 60%	151
	Fin	min		322
Expansion à chaud		mm	≤ 10%	02,79
Chaleur d'hydratation à (41 h)		J/ g	270	238,8
Refus sur tamis 45 µm		%		15,58
Résistance à la flexion	02 J	MPa		04,56
	07 J	MPa		06,12
	28 J	MPa		06,92
Résistance à la compression	02 J	MPa	≥ 10	19,94
	07 J	MPa		34,92
	28 J	MPa	Li ≥ 42,50 Ls ≤ 62,50	43,53

III.2.3. Eau de Gâchage

L'eau utilisée dans ce travail est celle du robinet de la ville de Bouira.

III.2.4. L'adjuvant utilisé

Afin d'assurer une fluidité aux mélanges étudiée, on a utilisé un adjuvant de type Superplastifiant / Haut réducteur d'eau polyvalent (figure III.4), pour bétons prêts à l'emploi, issu de la boîte « SIKA-Algérie » (Voir l'annexe), le pourcentage du superplastifiant est choisie selon les essais préliminaires sur mortiers ayants donner une meilleures fluidité, on a retenu le pourcentage de 0,5 % par apport au dosage du ciment, il est important de signalé que l'adjuvant est rajouté après dilution dans l'eau durant cinq minutes, afin d'assurer une bonne dissolution et une meilleurs homogénéisation.



Figure .III. 4: Adjuvant SIKA VISCOCRETE 655.

III.2.5. Les déchets utilisés

Le déchet de brique utilisé dans cette partie, est issu de la récupération de débris de brique d'un parc de vente de matériaux de construction sis à Bouira (figure III.5), puis broyé jusqu'à une granulométrie inférieure à 80 μm , avec une finesse de 3800 cm^2/g .



Figure .III. 5 : Déchet de brique rouge.

La poudre de brique a subi un contrôle des propriétés physiques (masse volumique apparente et absorption d'eau), afin de prévoir l'effet de l'introduction de cette dernière dans nos mélanges.

III.2.5.1. Masse volumique de la poudre de brique

La masse volumique de la poudre de brique a été déterminé au niveau du laboratoire (figure III.6), en prenant une quantité de 100 g de cette poudre.



Figure .III. 6 : Essai de masse volumique de la poudre de brique.

La masse volumique apparente de la poudre de brique est estimée à : $Mv_{app} = 0,76543 \text{ g/cm}^3$
La masse volumique absolue de cette poudre est estimée à : $Mv_{abs} = 3,11538 \text{ g/cm}^3$

III.2.5.2.L'absorption d'eau

La brique est connue pour son caractère absorbant, on a jugé important de déterminer cette propriété (absorption d'eau) de la poudre de brique utilisée dans notre étude, cet essai est effectué au niveau du laboratoire (figure III.7), par l'immersion d'une quantité de 100 g de poudre de brique dans l'eau durant 24 heures, puis séchée jusqu'à une masse constante, l'absorption de l'eau est donnée par la formule suivante :

$$\text{Abs} = ((M_{\text{humide}} - M_{\text{sèche}}) / M_{\text{sèche}}) * 100\%$$

$$\text{Abs} = 54,64 \%$$



Figure .III. 7: Essai d'absorption d'eau.

NB : On remarque que la masse volumique absolue est faible, ce qui peut être avantageux de point de vue légèreté, aussi l'absorption importante de la poudre de brique estimée à 54,64 %, est expliquée par la structure poreuse de l'argile.

III.3. Préparation des mélanges

Afin de cerner notre étude, concernant l'effet de la poudre de brique sur les propriétés physicomécaniques des mortiers, on a procédé à l'élaboration de deux variantes de mortiers, la première est réalisée par addition de poudre de brique, et la deuxième par substitution de cette dernière d'une quantité de ciment, ces deux variantes sont comparées à une variantes témoins, afin de comprendre et d'évaluer l'effet de la poudre de brique à des pourcentages de 10 et 20 %.

III.3.1. La formulation des mortiers

Les mortiers sont préparés selon les modalités de la norme **NF P15-403**, qui prend en considération une partie de liant et trois parties de sable, avec un rapport (E/C = 0,5).

III.3.2. Malaxage

Le malaxage est effectué au moyen d'un malaxeur spécifié par la norme **EN 196-1**, ce dernier est muni d'un axe vertical, à trois vitesses et de capacité de cinq (5) litre, les mélanges sont préparés selon le protocole suivant :

- ✓ Verser le ciment, le sable et la poudre de brique,
- ✓ Mettre le malaxeur en marche sur la première vitesse pendant 30 secondes,
- ✓ Verser la quantité d'eau (80% de quantité d'eau),
- ✓ Malaxer une minute et verser la quantité d'adjuvant +20% quantité d'eau qui reste dans les 30 dernières secondes,
- ✓ Arrêter le malaxage et racler les côtés,
- ✓ Reprendre le malaxage à grande vitesse pendant 2 minutes,
- ✓ Arrêter et terminer le malaxage
- ✓ Après le malaxage de mortier, les mélanges sont versés dans les moules normalisés (4×4×16) cm³,
- ✓ Utiliser la table vibrante (table des chocs) pendant 10s, afin d'avoir des éprouvettes compactes,
- ✓ Après la finition, les moules sont conservés dans les conditions du laboratoire.



Figure .III. 8: Malaxage des mortiers étudiés.

Dans notre partie pratique, on a formulé cinq variantes de mortier (témoins, par addition (10 et 20 %, et par substitution à 10 et 20 %), avec un rapport « E/C = 0,5 », le choix des pourcentages est fait selon la littérature et les travaux réalisés antérieurement [58-60], les compositions des différentes variantes étudiées sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau. III. 5 : Composition massique des variantes étudiées.

N°	Variantes	Composants				
		Sable (g)	Ciment (g)	Eau (g)	PB (g)	Adjuvants (g)
01	Témoin	1350	450	225	0	2,3
02	Mortier-Sub-10%	1350	405	202,5	45	2
03	Mortier-Sub-20%	1350	360	180	90	1,8
04	Mortier-Add-10%	1350	450	225	45	2,3
05	Mortier-Add-20%	1350	450	225	90	2,3

*Sub : Substitution, *Add : Addition, *DB : Déchet de brique

III.4. Essais d'étalements

Pour réaliser l'essai d'étalement, on place le mini-cône sur une plaque en verre, puis on le remplit avec le mortier, puis on lève le mini-cône vers le haut pour laisser le mortier s'étaler librement sur la plaque en verre, le diamètre est mesuré, après stabilisation du mortier, comme l'indiquent les photos de la figure III.9 ci-après.



Figure .III. 9 : Essai d'étalement.

Les résultats des essais des mortiers à l'état frais, à savoir l'essai d'étalement réalisé avec le mini-cône sont donnés dans le tableau III.6 suivant :

Tableau. III. 6 : Résultat de l'essai d'étalement.

N°	Variantes	Valeurs d'étalement (cm)
01	Témoin	18,5
02	Mortier-Sub-10%	16
03	Mortier-Sub-20%	15
04	Mortier-Add-10%	11
05	Mortier-Add-20%	10

Les résultats des essais d'étalement, montrent un effet différent par addition que par substitution par la poudre de brique, les histogrammes suivants illustrent les valeurs d'essais d'étalement des différentes variantes étudiées.

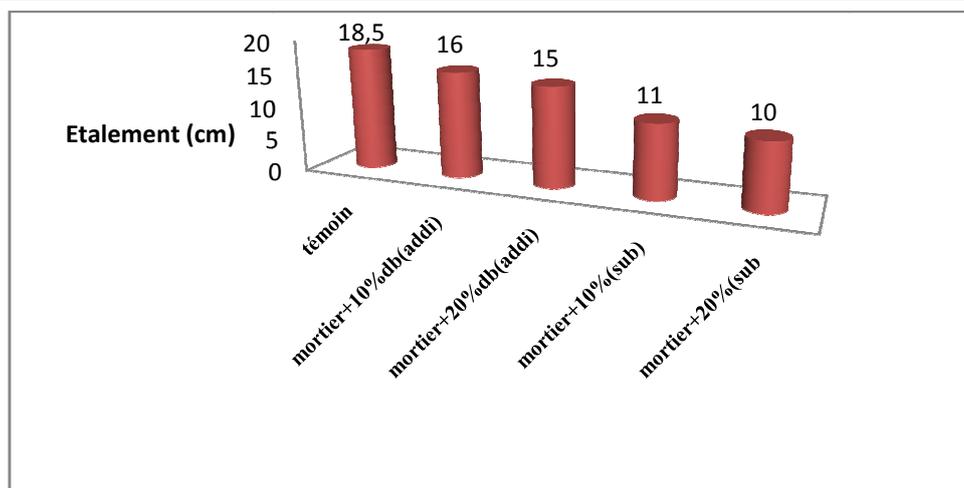


Figure .III. 10 : Résultats de l'essai d'étalement.

NB : Les valeurs d'étalement sont affectées par l'augmentation du pourcentage de substitution et d'addition par la poudre de brique.

Conservation des éprouvettes

- ✓ Après le démoulage des éprouvettes, elles seront conservées dans un milieu humide (eau) à 20 °C,
- ✓ Après cette période de conservation on tire après chaque période de 14 et 28 jours les éprouvettes qui vont être soumises aux essais mécaniques (flexion et compression).

III.5. La masse volumique des mortiers à l'état frais et durcis

La masse volumique apparente des mortiers étudiés sont déterminées par la pesée des masses correspondantes par rapport à leurs volumes, en utilisant la loi suivante :

$$M_v = \frac{m}{v} (\text{kg/m}^3)$$

Où : **m** : La masse en (Kg), **v** : Le volume en (m³)

Le résultat des essais physiques des différentes variantes élaborées, notamment les valeurs des masses volumiques à l'état frais et durcis à 14 et 28 Jours sont illustrés dans le tableau et les histogrammes suivants :

Tableau. III. 7 : Résultat des masses volumiques des variantes étudiées.

Variantes	Masse volumique (Kg/m ³)		
	Etat frais	14 Jours	28 Jours
Témoins	1720	2200	2220
10 % sub	1820	2210	2200
20 % sub	1840	2230	2280
10 % add	1740	2340	2330
20 % add	1770	2360	2400

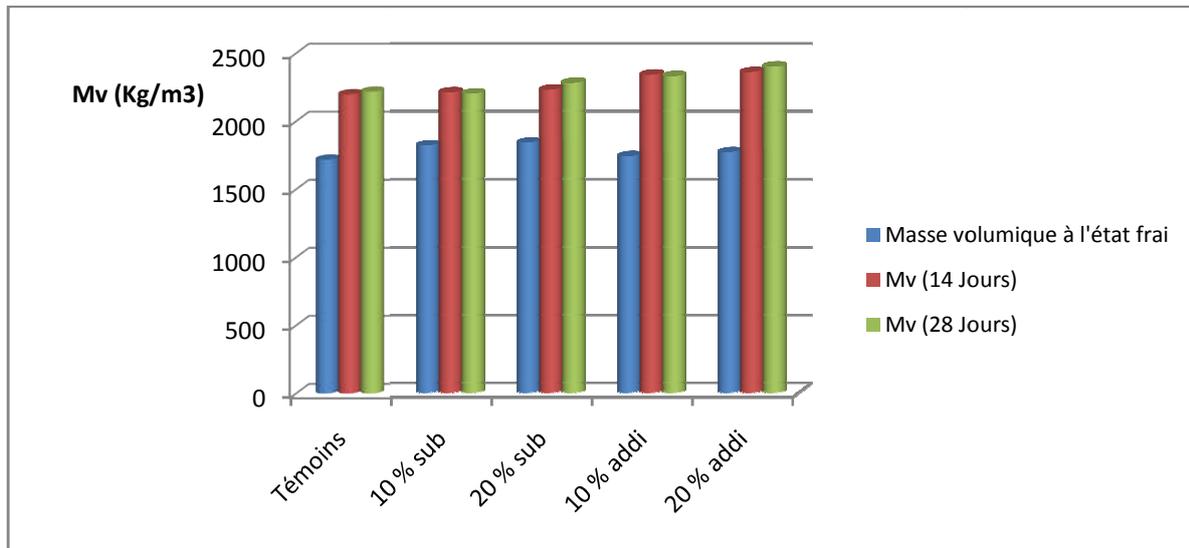


Figure .III. 11: Résultats des masses volumiques des différentes variantes.

NB :

- On remarque que la masse volumique à l'état frais est inférieure à la masse volumique de l'état durci ;
- Les valeurs de la masse volumique à l'état frais est presque stable dans toutes les variantes ;
- 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).

III.6. Essais de résistances mécaniques

I11.6.1. Résistance à flexion

Cet essai est basé sur le placement des prismes dans le dispositif de flexion (figure III. 12), avec une face latérale de moulage sur les rouleaux d'appui et son axe longitudinal perpendiculaire à ceux-ci, une charge verticalement est appliquée sur la face latérale opposée du prisme et l'augmenter de 50 N/s \pm 10 N/s, jusqu'à la rupture de l'éprouvette.



Figure .III. 12: Dispositif d'essai de flexion trois points.

Chapitre III : Partie expérimentale

Les demi-prismes sont soumis à l'essai de compression, la résistance en flexion $R_{flexion}$ (en N/mm^2) est calculée par la formule ci-après :

$$R_f = \frac{1,5 P \times l}{b^3}$$

Où :

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

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

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

l : est la distance entre les appuis, en millimètres,

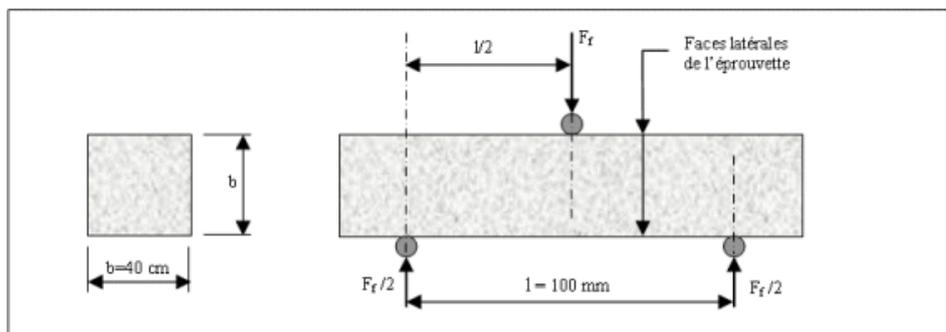


Figure .III. 13 : Schéma d'essai de la résistance à la flexion trois points.

III.6.2. Résistance à la compression

Cet consiste à appliquer sur les demis-prismes latéralement par rapport aux plateaux de la presse, la machine applique des efforts perpendiculaire à la surface des éprouvettes des différentes variantes étudiées avec une vitesse constante jusqu'à l'écrasement de l'éprouvette testée.



Figure .III. 14 : Machine d'essai à la compression.

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

$$R_c = \frac{F_c}{b^2}$$

Chapitre III : Partie expérimentale

R_c : Résistance à la compression en (MPa),

F_c : Charge de rupture en (N),

b^2 : Côte de l'éprouvette est égale à 40 mm,

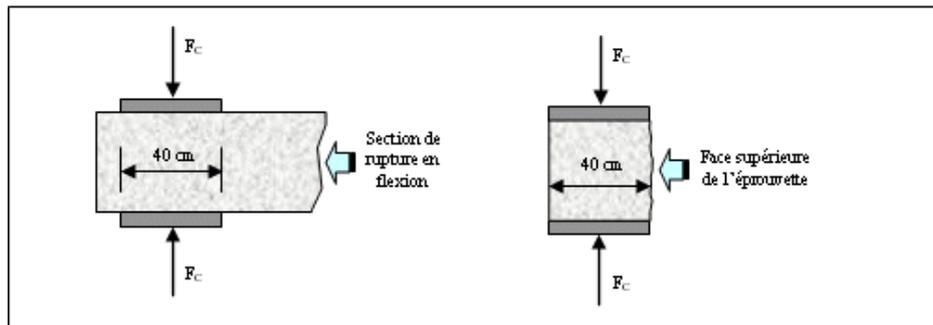


Figure .III. 15: Schéma d'essai à la compression.

III.7. Les Résultats

Les résultats obtenus lors des essais mécaniques en flexion et compression des différentes éprouvettes issues des variantes étudiées dans ce travail, il y'a lieu de signaler que les valeurs présentées dans le tableau et les histogrammes ci-après présentent les valeurs moyennes de chaque essais.

Tableau. III. 8 : Résultats des essais mécaniques.

N°	Variantes	Résistance à la flexion (MPa) (14 Jours)	Résistance à la compression (MPa) (14 Jours)	Résistance à la flexion (MPa) (28 Jours)	Résistance à la compression (MPa) (28 Jours)
01	Témoin	06,20	20,40	07,20	29,00
02	Mortier-Sub-10%	06,60	22,40	07,40	30,60
03	Mortier-Sub-20%	07,80	23,30	08,30	29,30
04	Mortier-Add-10%	06,40	25,00	08,70	32,10
05	Mortier-Add-20%	07,80	25,90	09,25	33,80

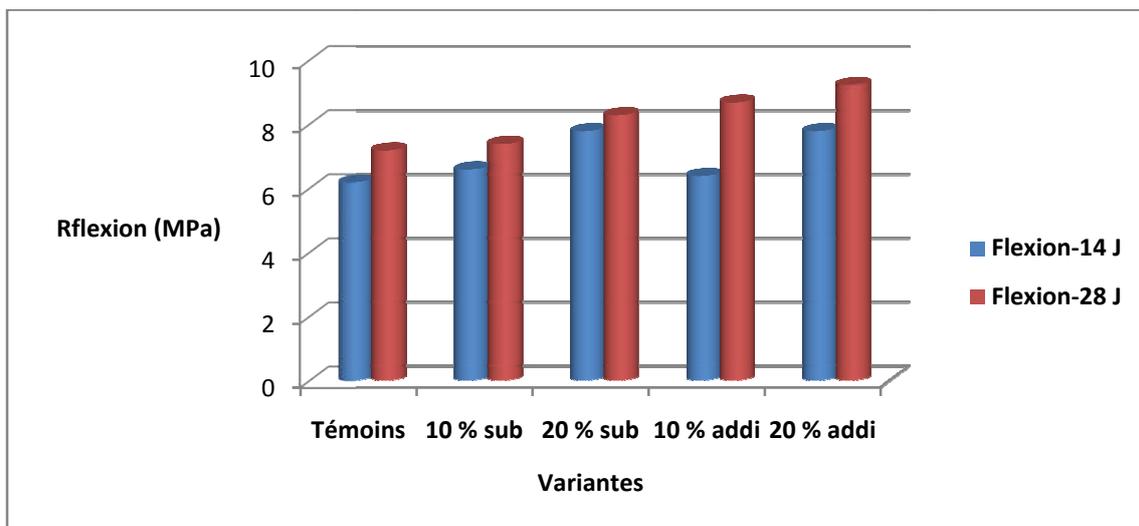


Figure .III. 16 : Résultats des essais en flexion des différentes variantes en fonction de l'âge.

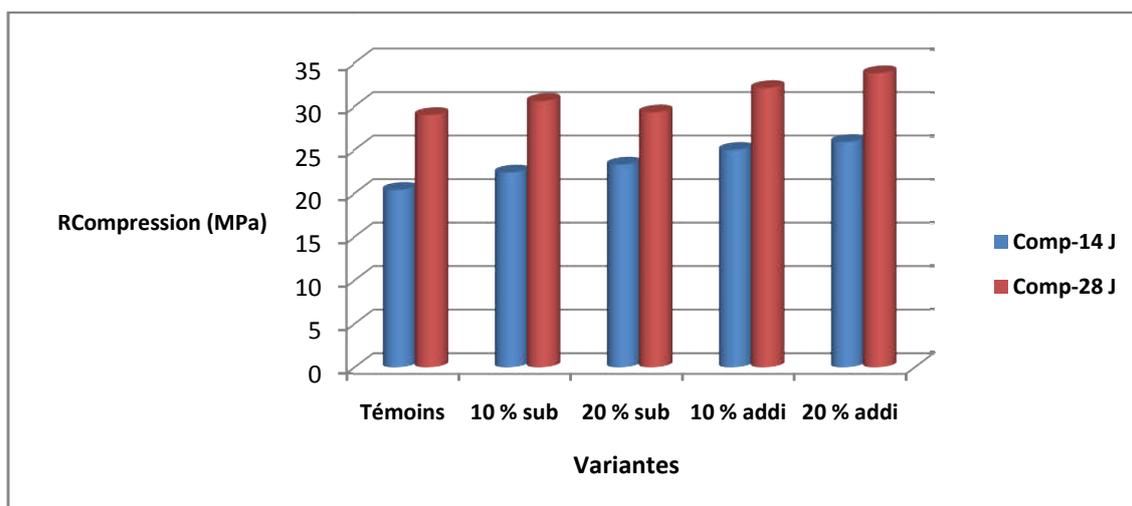


Figure .III. 17 : Résultats des essais en compression des différentes variantes en fonction de l'âge.

Les courbes suivantes présentent les résultats de corrélation entre les propriétés physiques et mécaniques à savoir les masses volumique et les résistances mécaniques en compression des différentes variantes étudiées dans ce travail.

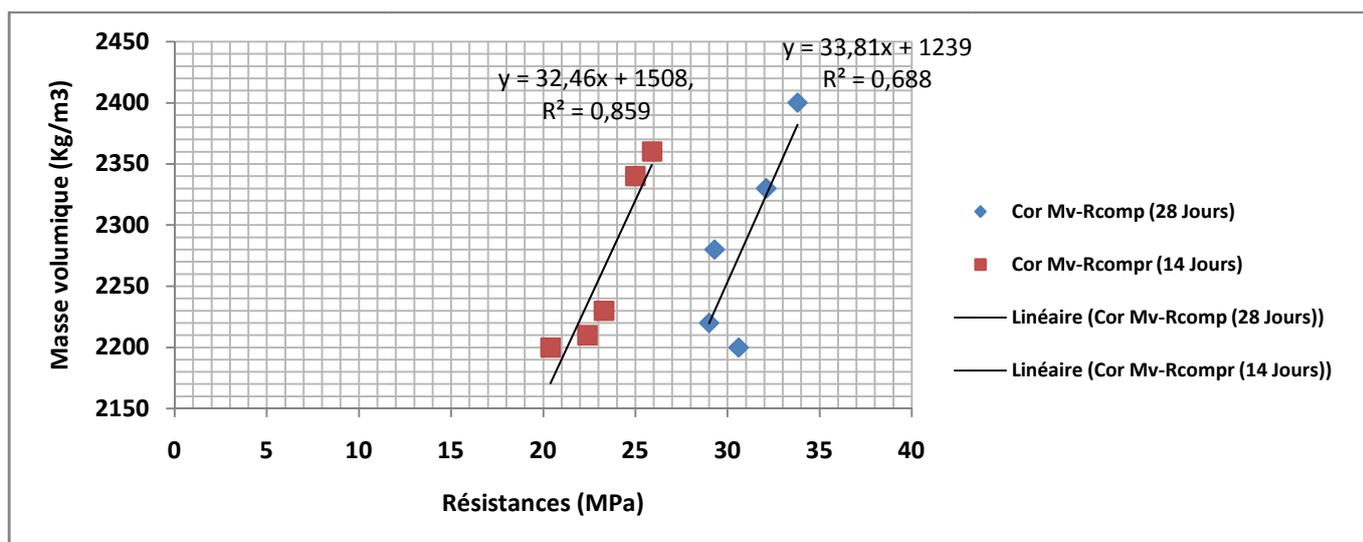


Figure .III. 18: Corrélation entre les résistances en compression et les masse volumique.

Remarques :

- Une augmentation des résistances mécaniques en flexion, en fonction des pourcentages d'addition de la poudre de brique et de substitution des quantité de ciment par la poudre de brique, notamment en fonction des âges à 14 et 28 jours.
- Une augmentation des résistances mécaniques en compression, en fonction des pourcentages d'addition et de substitution, notamment en fonction des âges à 14 et 28 jours.

- Dans le cas des essais mécaniques en compression les résultats révèlent que ces dernières sont plus importantes dans le cas de l'addition que ceux par substitution.
- Les coefficients de corrélation entre les masses volumiques et les résistances en compression à 14 et 28 jours sont estimés à $R^2 = 0,85$ et $R^2 = 0,68$ respectivement.

III.8. Discussion des résultats

La courbe d'analyse granulométrique du sable utilisé dans ce travail, montre une continuité, mais une fraction faible dans l'intervalle de dimensions 1,25 mm et 0,63 mm, ce qui peut affecter les résistances mécanique des mortiers, cette analyse est complété par la détermination le module de finesse, ce dernier s'avère acceptable ($M_f = 2,9$), sable moyen et grossier, cette valeur de module de finesse est expliquée par la distribution granulométrique des grains de sable constituant le sable, néanmoins le sable utilisé est propre $ES = 80,38\%$, ce qui peut être avantageux pour les propriétés mécaniques des mortiers.

La valeur importante d'absorption de la poudre de brique utilisée dans ce travail, est estimée à $54,64\%$, expliquée par la nature poreuse des argiles, et sa finesse qu'est inférieure à $80\ \mu\text{m}$, notamment par sa masse volumique absolue et apparente, qu'est estimée à ($765,43$ et $3115,38$) Kg/m^3 respectivement.

Les variantes étudiées, ont montré des valeurs d'essais d'étalement, qui diminuent en fonction des pourcentages des déchets de brique sous forme de poudre à 10% et 20% , par substitution et remplacement dans les mélanges étudiés, ceci peut être expliqué par l'absorption de quantité d'eau par la poudre de brique et sa finesse.

Les masses volumiques des mélanges préparés sont variables, en fonction des variantes et les âges (14 et 28 Jours), ceci est attribué à l'évolution des réactions d'hydratation de ciment, qui produisent les C-S-H remplissant ainsi les pores dans les mélanges, aussi cette variation peut être expliquée par le pourcentage d'introduction de la poudre de brique, soit par addition ou substitution, les mêmes constats sont mentionnés dans les travaux de JiahuShao et al, 2019 [58].

La caractérisation mécanique des éprouvettes élaborées issues des différentes variantes étudiées, montrent une augmentation des résistances mécaniques en compression notamment celles en flexion, en fonction de l'augmentation des pourcentages de poudre de brique, et en fonction de l'âge, ceci est attribué aux réactions d'hydratation des différents mélanges, aussi cette augmentation peut être expliquée par la finesse de la poudre de brique et son caractère

pouzzolanique (citée dans les travaux de JiahuShao et all, 2019 [58], aussi les masses volumiques des éprouvettes ont un effet sur les résistances mécaniques en compression, ceci est illustré par les coefficients de corrélations établis (entre les masses volumiques et les résistances en compression à 14 et 28 jours sont estimés à $R^2 = 0,85$ et $R^2 = 0,68$ respectivement.

Conclusion Générale

La valorisation des déchets de briques sous forme de poudre dans les matériaux de construction, peut être envisagée notamment dans les mortiers, étant donnée des avantages technico-économiques et environnementaux, telles que l'amélioration des résistances mécaniques, par l'activité pouzzolanique de la poudre de brique en produisant des quantités supplémentaires de C-S-H dans le mortier, de plus, des gains économiques dans les cas d'introduction de la poudre de brique par remplacement de quantités de ciment, participant ainsi à la réduction des impacts environnementaux de ce type de déchet.

Les résultats obtenus au cours de ce travail nous ont permis de tirer les conclusions suivantes :

- Une amélioration des résistances mécaniques en compression et en flexion, en fonction des pourcentages d'addition à des taux de 10 % et 20 % de poudre de brique fine (inférieure à 80 μm), notamment par substitution des quantités de ciment par la poudre de brique.
- Un gain économique lors du remplacement des quantités de ciment par la poudre de brique, ce qui va influencer positivement les coûts de réalisation des projets.
- L'introduction de la poudre de brique dans les différentes variantes étudiées a montré un effet réducteur d'écoulement des mortiers étudiés d'une manière non significative, ce qui ne va pas influencer les propriétés rhéologiques des mortiers.
- Une participation réelle au développement durable, avec la valorisation des déchets de produits rouge sous forme de poudre, réduisant ainsi les quantités de ce type de déchet.
- Une possible amélioration de la durabilité des mortiers, sous l'effet d'activité pouzzolanique des poudres de brique, qui produisent des C-S-H supplémentaires.

Perspectives et Recommandations

Perspectives et Recommandations

A la lumière des conclusions énumérées précédemment, ce travail nous a permis de positionner un certain nombre de questionnement qui méritent d'être exposés telles que :

- ✓ L'étude de l'effet de l'ajout en tenant compte de la finesse des poudres de brique.
- ✓ La réalisation des caractérisations poussées sur la microstructure par MEB et DR-X.
- ✓ Une étude sur la durabilité dans différents milieux agressifs.
- ✓ Une étude de faisabilité économique de la valorisation des déchets de brique sous forme de poudre.

Références Bibliographiques

Références Bibliographiques

- [1] BOUZIANE Nouzha. Elimination du 2-mercaptobenzothiazole par voie photochimique et par adsorption sur la bentonite et le charbon actif en poudre. Université Mentouri de CONSTANTINE., 2007.
- [2] HUBERT Fabien. Modélisation des diffractogrammes de minéraux argileux en assemblages complexes dans deux sols climat tempère. Implications minéralogique et pédologique. Université de POITIERS. P.35, 2008.
- [3] MRAD Mohamad. Modélisation de comportement hydromécanique des sols gonflants non saturés. Institut national polytechnique de LORRAINE. P .6, 2005.
- [4] ROTENBERG Benjamin. Modélisation multi-échelles du comportement de l'eau et des ions dans l'argile. Université pierre et marie curie PARIS .P .9, 2007.
- [5] BOUDCHICHA Mohamed Réda. Etude de la cristallisation et des propriétés mécaniques et diélectriques de céramiques préparés à partir de kaolin-dolomite. Université El-HadjLakhder–BATNA .P .3-4-5-8-9-10-12-13-14, 2010.
- [6] GAUTIER Mathieu. Interactions entre argile ammoniée et molécules organiques dans le contexte du stockage des déchets. Cas de molécules à courtes chaînes. Université D'ORLÉANS. P .24, 2008.
- [7] AMIROUCHE Leila. Etude de pouvoir de sorption du cuivre II, du zinc II et des polyphénols par les bentonites sous l'effet des irradiations micro-onde. Université de Mouloud Mammeri de TIZI-OUZOU, 2011.
- [8] K. Djedid, N. Rezak, N. Bettahar et A. Bahmani. Utilisation de matériaux macroporeux dans le traitement des eaux polluées. Revue des Energies Renouvelables ICESD'11 Adrar (2011) p 249 –260.
- [9] RICHARD P., «Adobe », mémoire Maître en environnement, Université de Sherbrooke Canada, Octobre 2010.
- [10] MAKRI M., «Projet GE12 Construction en terre » Technologie Compiègne, 2010.
- [11] CRA Terre EAG« Bloc de terre comprimée volume I » Manuel de production.
- [12] DJOUHRI M., «Confection d'une brique à base de sable de dune» mémoire magister, Université de Ouargla, 2007.
- [13] Schneider, H., "Transition metal distribution in mullite". Ceram. Trans., 6, 135-158. 1990
- [14] Holm J.L., (2001), « Kaolinites-mullite transformation in different Al₂O₃-SiO₂ systems : Thermo-analytical studies », Phys. Chem. Chem. Phys., N° 3, pp.1362-1365.
- [15] AVLISSET I., «Matériaux de terre cuite» Technique de l'ingénieur, 1994

-
- [16] Giovanni piers la brique fabrication et traductions constructives Edition EYROLLES (édition EYROLLES) 2005.
- [17] Collection Mémento Technique, tuiles et brique de terre cuite Edition moniteur paris 1998.
- [18] Djouhri Mohamed mémoire magister 2007 : confection d'une brique à base de sable de Dunes (université de Ouargla).
- [19] Collection Mémento Rechnique ; Tuiles et briques de terre cuite (édition le moniteur Paris) 1998.
- [20] Références Jean Peyroux (Arts et métiers), Dictionnaire des mots de la technique et des métiers, Librairie Blanchard, Paris, 1985.
- [21] A.JOURDIN, « la technologie des produits céramique réfractaires », Paris Gauthier-Villard. p315-329, 1966.
- [22] RHONE A.; «Le pisé » www .ageden.org, Edition Décembre2010.
- [23] WILLIAM.D, CALLISTER.JR «Science et génie des matériaux» modulo Editeur, 2001.
- [24] R.DUPAIN, R.LANCHON, J-C.SAINT-ARROMAN «Granulat, sols, ciment et béton» Edition CASTEILLA-PARIS-2004.
- [25] BOUALI Khaled «Elaboration et caractérisation thermomécanique des mortiers à base d'ajouts de déchets de briques réfractaires», mémoire de magister (spécialité: Génie des Matériaux) Option Physique et Mécanique des Matériaux UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA- BOUMERDES 2013/2014 p 108.
- [26] NF EN 934-2 (Sep 2002) adjuvants pour béton, mortier et coulis-adjuvants pour béton- Définition, exigences, conformité, marquage et étiquetage (indice de classement P_p(18-342).
- [27] NF P 15-317(Sep 1995) Liants Hydrauliques- ciment pour travaux à la mer.
- [28] XP P 15-319 (Sept 1995) Liants Hydraulique- ciment pour travaux en eaux à haute teneur en sulfates.
- [29] NF EN 480-5 (Nov 1996) adjuvants pour béton mortier coulis-Méthodes d'essai-détermination de l'absorption capillaire (indice de classement P 18-314).
- [30] DeLarrardF.,2002, Construire en béton l'essentiel sur les matériaux, thèse de doctorat, Presses de l'Ecole National Des Ponts et Chaussées, p 199.
- [31] NF P 18-305 (Déc 1981), Bétons de construction. Bétons prêts à l'emploi préparés en usine.

-
- [32] Kerbouche A., 2009, Influence des ajouts minéraux sur les résistances mécaniques et la durabilité des mortiers, thèse de doctorat, Ecole Normale Supérieure de l'Enseignement Technologique (Enset) Oran, 110 p.
- [33] Guide pratique, Holcim (Belgique), 2007, Auteurs : Materials & Applications Center, Holcim Western Europe, 1ère édition, 91 p.
- [34] Amouri C., 2009, Contribution à l'étude de l'influence des différents ajouts sur les propriétés des matrices cimentaires (Caractérisation, Performances, Durabilité), thèse de doctorat, Université Mentouri Constantine, 168 p.
- [35] Manai K., 1995, Etude de l'effet d'ajouts chimiques et minéraux sur la maniabilité, la stabilité et les performances des bétons autonivelants, Mémoire de maîtrise des sciences appliquées, Sherbrooke, Canada, 162 p.
- [36] SYLVER P. « science des matériaux », université pierre et marie curie 2005, 2006.
- [37] GCI712 « Durabilité ET réparation du béton », département Génie civil, Université de Sherbrooke-Canada, Avril 2009
- [38] Mr. BERRAIH MIMOUN « Etude des mortiers contenant de la pouzzolane naturelle et des déchets de verre » mémoire pour l'obtention du diplôme de magister en Génie Civil, option géomatériaux (ENSET Oran 2009/2010).
- [39] SAMAI SOUMIA, 2015-2016, « Formulation d'un mortier avec ajout de pouzzolane naturelle soumis à températures élevées », Master en génie civil, Filière : Matériaux : Université Mohamed Boudiaf, M'sila p 8.
- [40] Neville Adam. M., « propriété des bétons », Editons Eyrolles, Paris, 2000 p. 103 - 726
- [41] Norme Française P 18-554, Dés 1990, « Granulats - Mesures des Masses volumiques, de la porosité, du coefficient d'absorption et de la teneur en eau des gravillons et cailloux », Editions AFNOR, Paris, 1990.
- [42] Norme Française P 18-554, Sept 1990, « Granulats – éléments pour l'identification des granulats », Editions AFNOR, Paris, 1990.
- [43] Baron J. Et Sauterey R., « Le Béton Hydraulique, Connaissance et Pratique », Presses ENPC, Paris, 1995, p. 39 -57.
- [44] Dupain R., Lanchon R. Et Saint-Arroman J.-C., « Granulats, Sols, Ciments et Bétons – caractérisation des matériaux de génie civil par les essais de laboratoire » Éditions Casteilla, 2^{ème} Édition, Paris, 2000, p. 26 – 394.
- [45] Dreux G. Et Festa J., « Nouveau Guide du Béton et de ses Constituants », Editons Eyrolles, 8^{ème} Edition, Paris, 1998, p. 26 - 394
- [46] Norme Française P 18-555, Dés 1990, « Granulats - Mesures des Masses volumiques, coefficient d'absorption et de la teneur en eau des sables », Editions AFNOR, Paris, 1990.

-
- [47] Norme Française XP P 18-540, Oct 1997, « Granulats - définitions, Conformité et Spécifications», Editions AFNOR, Paris, 1997.
- [48] SPERANDIO K : identification des facteurs mobilisateurs des stratégies de gestion des déchets ménagers mises en œuvre par les collectivités locales, thèse de doctorat, l'institut national des sciences appliquées de Lyon, 2001.
- [49] Boussaoui. W. : «Valorisation des sous-produits Caractérisation de bétons à base des granulats issus de recyclage des matériaux de construction». Master en génie civil Option: Structures et Matériaux .Constantine : Université Mentouri, 2010-2011.
- [50] Nicolescu L, « Généralités : Rapport Général Colloque International sur l'utilisation des sous-produits et Déchets dans le Génie Civil», Recueil des communications, Volume III,ENPC, Paris,1978,p15.
- [51] MEKHERMECHE Abdessalam. « Contribution à l'étude des propriétés mécaniques et thermiques des briques en terre en vue de leur utilisation dans la restauration des Ksours sahariennes». Magister en Génie Civil Option : Géo-Matériaux. Ouargla : université kasdimerbah, 2012.
- [52] Utilisation des déchets et sous-produits comme granulats du béton, CBD -215-F, juin 1981.
- [53] N.de Louvigny, «Conséquences de l'apport de verre pilé à la surface du champ et de son incorporation dans la couche travaillée». Thèse de doctorat, université Montpellier II,2001.
- [54] BARKAT ABDEREZZAK. : «Valorisation des déchets de brique dans la réalisation des ouvrages en béton». Magister en génie civil Filière : Aménagement Hydraulique et Génie Civil. Ouargla : Université KASDI MERBAH ,05/11/2006
- [55] HARBIR., 2009. Comportement mécanique et durabilité des mortiers à base de déchets de briques. Mémoire de Magister, Université 08Mai 45, Guelma, Algérie.
- [56] Djaballah A et Djourdikh Z, 2016-2017«Valorisation des déchets (Verre et Brique) dans le coulis de ciment», Master en génie civil, Filière : Matériaux de construction: Université AKLI MOHAND OULHADJ, BOUIRA, p 17.
- [57] Bourema M, «Etude des caractéristiques d'un BHP à base de déchet de brique rouge à l'état frais et durci», Master en génie civil, Filière : Matériaux de construction: Université du 20 Aout 1955 skikda, 11 Juin 2015, p 68-69
- [58] JiahuShaoet all, 2019 « Study on the pozzolanic reaction of clay brick powder in blended cement pastes », Construction and Building Materials Volume 213, pp 209-215.
- [59] A. Heidari, B. Hasanpour, Effects of waste bricks powder of gachsaran company as a pozzolanic material in concrete, Asian J. Civ. Eng. 14 (5) (2013) 755–763.

[60] José Marcos Ortega et al, 2018 « Long-term effects of waste brick powder addition in the microstructure and service properties of mortars », *Construction and Building Materials* Volume 182 (2018) 691–702.

[61] NF P18 – 560 norme française, analyse granulométrique par tamisage, septembre 1990.

[62] NF EN 933 – 8, équivalent de sable, août 1999.

Annexes

Les quantités des constituants de mortier

❖ **Pour le mortier Témoin :**

Sable : 1350g

Ciment : 450g

Eau : 225ml

E/C= 0,5

Adjuvant : 0,5 % de poids de ciment

450g \longrightarrow 100%

X \longrightarrow 0,5% $X = (0,5 \cdot 450) / 100 = 2,3g$

❖ **Pour mortier avec poudre de brique (par addition) :**

a- pour 10% de poudre de brique :

Sable : 1350g

Ciment : 450g

Eau : 225ml

E/C= 0,5

Adjuvant : 0,5 % de poids de ciment

450g \longrightarrow 100%

X \longrightarrow 0,5% $X = (0,5 \cdot 450) / 100 = 2,3g$

Poudre de brique :

450g \longrightarrow 100%

X \longrightarrow 10% $X = (10 \cdot 450) / 100 = 45g$

b- pour 20% de poudre de brique :

Sable : 1350g

Ciment : 450g

Eau : 225ml

E/C= 0,5

Adjuvant : 0,5 % de poids de ciment

450g \longrightarrow 100%

X 0,5% \longrightarrow $X = (0,5 \cdot 450) / 100 = 2,3g$

Poudre de brique :

450g \longrightarrow 100%

X \longrightarrow 20%

$$X = (20 \cdot 450) / 100 = 90\text{g}$$

❖ **Pour mortier avec poudre de brique (par substitution) :**

a- pour 10% de poudre de brique :

Sable : 1350g

Ciment : $450 - 45 = 405\text{g}$

Eau : $E/C=0,5$ alors $E/405=0,5$

$$E = 0,5 \cdot 405 = 202,5\text{ml}$$

Adjuvant : 0,5 % de poids de ciment

405g \longrightarrow 100%

X \longrightarrow 0,5%

$$X = (0,5 \cdot 405) / 100 = 2\text{g}$$

Poudre de brique :

450g \longrightarrow 100%

X \longrightarrow 10%

$$X = (10 \cdot 450) / 100 = 45\text{g}$$

b- pour 20% de poudre de brique :

Sable : 1350g

Ciment : $450 - 90 = 360\text{g}$

Eau : $E/C=0,5$ alors $E/360=0,5$

$$E = 0,5 \cdot 360 = 180\text{ml}$$

Adjuvant : 0,5 % de poids de ciment

360g \longrightarrow 100%

X \longrightarrow 0,5%

$$X = (0,5 \cdot 360) / 100 = 1,8\text{g}$$

Poudre de brique :

450g \longrightarrow 100%

X \longrightarrow 20%

$$X = (20 \cdot 450) / 100 = 90\text{g}$$

Réf	Numéro	Mvf (g/cm ³)	étl (cm)	14 Jours					28 Jours				
				Ms (g)	V (cm ³)	MV (g/cm ³)	flex	comp	Ms (g)	V (cm ³)	MV (g/cm ³)	flex	Com
Témoins	1	1,72	18,5	568	256	2,22	6,2	20,8	//	256	/////	//	//
							20						
	2				256	/////	//	///	559	256	2,2	7,4	34,4
3	256	/////		///	567	256	7	23,6					
10 % sub	1	1,82	11	566	256	2,21	6,6	20,1	//	256	/////	//	//
							24,7						
	2				256	/////	//	///	570	256	2,2	7,9	34,9
3	256	///		///	556	256	6,9	26,3					
20 % sub	1	1,84	10	570	256	2,23	7,8	27,8	//	256	/////	//	//
							18,8						
	2				256	/////	//	///	578	256	2,28	8,8	35,8
3	256	/////		///	589	256	7,8	22,8					
10 % addi	1	1,74	16	600	256	2,34	6,4	27,2	//	256	///	//	//
							22,8						
	2				256	/////	//	///	628	256	2,4	9,1	33,5
3	256	/////		///	600	256	8,3	30,7					
20 % addi	1	1,77	15	604	256	2,36	7,8	27,1	//	256	/////	//	//
							24,7						
	2				256	/////	//	///	589	256	2,33	9,6	37,2
3	256	/////		///	603	256	8,9	30,4					



المجمع الصناعي لإسمنت الجزائر

GRUPE INDUSTRIEL DES CIMENTS D'ALGERIE
SOCIETE DES CIMENTS DE SOUR EL GHOZLANE

« S.C.S.E.G. »

ش.ذ.أ. - رأس مالها الاجتماعي : 1.900.000.000 D.A



N° Identification Fiscale : 099 610 028 210 584 - N° Article d'Imposition : 10 38 52 58 011 - N° Registre de Commerce : 10/00-0282105898

Produit Commercialisé :
Ciment CEM II /A-M (P-L) 42.5 N

Fiche technique

Période D'expédition :

Avril -Mai 2019 -

Conformément à la norme NA 442 édition 2013

Caractéristique physico-mécaniques				Composition chimique		
Désignations	Unités	Exigence	Moyenne	Composé	Exigence	Moyenne (%)
Poids spécifique	Gr/cm ³		3.09	SiO ₂		20.06
Surface spécifique Blaine	Cm ² /gr		4000	Al ₂ O ₃		3.99
Consistance normale	% H ₂ O		26.11	Fe ₂ O ₃		3.04
Temps de prise	Début	Min.	≥ 60	CaO		61.57
	Fin	Min.	322			
Expansion à chaud	mm	≤ 10	2.79	MgO		1.62
Chaleur d'hydratation à (41h)	(j/g)	270	238.8	K ₂ O		0.54
Refus sur tamis 45 μm	%		15.58	Na ₂ O		0.26
Résistance à la flexion	02 jours	Mpa	4.56	SO ₃	≤ 3.50	2.06
	07 jours	Mpa	6.12	Cl ⁻	≤ 0.10	< 0.01
	28 jours	Mpa	6.92	P.A.F à 1000 ° C		7.16
Résistance à la compression	02 jours	Mpa	≥ 10.00	CaO _{libre}		1.56
	07 jours	Mpa				
	28 jours	Mpa	Li ≥ 42.5 Ls ≤ 62.5			

Observation : c'est un ciment portland composé, dont les caractéristiques physico-mécaniques et chimiques satisfont aux exigences du ciment CEM II / A-M (P-L) 42.5N Selon la norme NA 442/2013.

Société des Ciments Sour El Ghozlane
Siège : Col de Becouche BP 61, Sour El Ghozlane
(W) de Bouira, 10004 Algérie
E-Mail : bodg-scseg@scseg.dz

Le chef de Département

Notice produit
Edition Août 2016
Numéro 1.23
Version n° 108.2016
SIKA® VISCOCRETE® 665

SIKA® VISCOCRETE® 665

Superplastifiant/Haut Réducteur d'eau polyvalent pour bétons prêts à l'emploi.

Conforme à la norme NF EN 934-2 Tab 3.1 et 3.2.

Présentation	Le Sika Viscocrete 665 est un superplastifiant/haut réducteur d'eau polyvalent de nouvelle génération non chloré à base de copolymère acrylique. Le Sika Viscocrete 665 est compatible avec tous les ciments même avec un taux C3A faible.
Domaines d'application	Le Sika Viscocrete 665 permet la fabrication : <ul style="list-style-type: none"> ■ de bétons plastiques à autoplacants transportés sur de longues distances et pompés. ■ de bétons à longs maintiens de rhéologie (>2h30), sans reprise de fluidité dans le temps.
Caractères généraux	Le Sika Viscocrete 665 est un superplastifiant qui confère aux bétons les propriétés suivantes : <ul style="list-style-type: none"> ■ Longue rhéologie (>2h30) ■ Evolution rapide des résistances à court et à long terme ■ Réduction de la viscosité ■ Amélioration de la stabilité du béton frais et limitation de la ségrégation avec des granulats concassés ■ Pas de reprise de fluidité dans le temps ■ Qualité de parement
Agréments, essais de laboratoire	PV CNERIB : DTEM : 396/2016.
Caractéristiques	
Aspect	Liquide marron
Conditionnement	<ul style="list-style-type: none"> ■ Fût de 200 Kg ■ Conteneur perdu de 1000 Kg ■ Vrac
Stockage	A l'abri du gel. En cas de gel accidentel, le produit retrouve ses qualités d'origine une fois dégelé lentement et réhomogénéisé.
Conservation	12 mois dans son emballage d'origine intact



Données techniques

densité 1,085 ± 0,015

pH 5 ± 1,0

Teneur en Na₂O Eq. ≤ 1,0%

Extrait sec 33,0 ± 1,1% (méthode halogène selon NF 085)

Teneur en ions Cl⁻ ≤ 0,1%

Conditions d'application

Dosage Plage de dosage : 0,4 à 2% du poids du liant ou du ciment selon la fluidité et les performances recherchées.

Mise en œuvre

Le Sika Viscocrete 665 est ajouté, soit en même temps que l'eau de gâchage, soit en différé dans le béton préalablement mouillé avec une fraction de l'eau de gâchage.

Précautions d'emploi

En cas de contact avec la peau, laver abondamment à l'eau.
Consulter la fiche de données de sécurité accessible sur Internet.

Mentions légales

Produit réservé à un usage strictement professionnel
Nos produits bénéficient d'une assurance de responsabilité civile.
«Les informations sur la présente notice, et en particulier les recommandations relatives à l'application et à l'utilisation finale des produits SIKA, sont fournies en toute bonne foi et se fondent sur la connaissance et l'expérience que la Société SIKA a acquises à ce jour de ses produits lorsqu'ils ont été convenablement stockés, manipulés et appliqués dans des conditions normales. En pratique, les différences entre matériaux, substrats et conditions spécifiques sur site sont telles que ces informations ou toute recommandation écrite ou conseil donné n'impliquent aucune garantie de qualité marchande autre que la garantie légale contre les vices cachés. Nos agences sont à votre disposition pour toute précision complémentaire. Notre responsabilité ne saurait d'aucune manière être engagée dans l'hypothèse d'une application non conforme à nos renseignements. Les droits de propriété détenus par des tiers doivent impérativement être respectés. Toutes les commandes sont acceptées sous réserve de nos Conditions de Vente et de Livraison en vigueur. Les utilisateurs doivent impérativement consulter la version la plus récente de la notice correspondant au produit concerné, qui leur sera remise sur demande.»



Sika El Djazair
08 route de l'Arbaa, 16111 Eucalyptus
Alger/ ALGERIE
Web : dza.sika.com

Tel.: 213 (0) 21 50 21 84
213 (0) 21 50 16 92 à 95
Fax: 213 (0) 21 50 22 08

