

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



Université de Ghardaïa

N° d'ordre :
N° de série :

**Faculté des Sciences et Technologies
Département D'hydraulique et de Génie Civil**

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de

MASTER

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Génie Civil

Spécialité : Structures

Par :

DECHACHE Kilani

Thème

**Effacité du remplacement partiel du ciment par la
poudre de brique rouge dans le mortier :
Effets de la température de cure.**

Membres de jury :

Mr LAROUI Abdelbaset

MAA

Université de Ghardaïa

Examineur

Mme AZZOUZ FZ

MAA

Université de Ghardaïa

Examineur

Mr AZIEZ Mohammed Nadjib

MAB

Université de Ghardaïa

Encadrant

Année universitaire 2021/2022

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

REMERCIEMENTS

Louange à Dieu, dont la bonne grâce est accomplie, gloire à Dieu, et grâce à Dieu qui m'a permis d'achever ce travail.

Je tiens à remercier le professeur superviseur, **Mr AZIEZ M, N** Muhammad Naguib, pour ses conseils, ses critiques et sa présence à mes côtés tout au long de la réalisation de ce mémoire.

Je remercie également, **Mr CHEIKHE DJGHAWA**, et tous les travailleurs du Laboratoire des Travaux Publics (**LTPS SUD**) pour leur aide et leur disponibilité, à mes amis et collègues qui m'ont accompagné tout au long de la période d'étude. Je remercie également les membres du jury qui ont accepté d'examiner mon travail.

Merci à tous...

DEDECACE

A ma maman et mon papa.

À ma famille.

À mes amis et collègues, à tous ceux qui
m'ont aidé et motivé à continuer.

DECHACHE Kilan

Résumé

Le développement de nouveaux matériaux de construction est devenu un problème, car les chercheurs tentent de trouver des matériaux peu coûteux, respectueux de l'environnement et adaptés à leur domaine d'utilisation. Ces dernières années, les déchets de construction sont devenus un défi et un problème environnemental.

Dans cette étude, mortiers des ciment a été ajouté et remplacé par des déchets de briques à des pourcentages de 5 %, 10 %, 15 %, 20 %, 25 % et 0 % comme échantillon témoin.

Cette étude vise à étudier l'efficacité de l'ajout partiel et du remplacement du ciment par des briques, et l'effet de la température sur les propriétés physiques et mécaniques, Lorsqu'une partie des éprouvettes a été soumise à une température de 45°, et d'autres ont été placées dans une chambre humide à 20°C.

Les résultats ont montré un changement significatif dans l'efficacité de l'ajout partiel et du remplacement du ciment par des déchets de briques en termes de propriétés physiques et mécaniques, et les résultats ont indiqué que la température avait un effet sur les propriétés physiques et mécaniques, car les échantillons contenant les briques exposées à une température de 45° ont donné une plus grande résistance mécanique (compression, traction) et de bonnes propriétés physiques par rapport à l'échantillon témoin et aux autres échantillons.

Mots clé : déchet de brique, température de cure, mortier, propriétés physico-mécaniques.

ملخص

لقد أصبح تطوير مواد بناء جديدة مشكلة، الوقت الذي يحاول فيه الباحثون العثور على مواد غير مكلفة وصديقة للبيئة تتناسب مع مجال الاستخدام.

في السنوات الأخيرة أصبحت نفايات البناء تمثل تحدياً ومشكلاً بيئياً.

في هذه الدراسة تم إضافة واستبدال الاسمنت بنفايات الطوب الأحمر بنسب 5%، 10%، 15%، 20%، 25%، و0% كملاطة شاهد.

تهدف هذه الدراسة إلى دراسة فاعلية إضافة واستبدال جزئي للاسمنت بالطوب الأحمر، وتأثير درجة الحرارة على الخصائص الفيزيائية والميكانيكية. حيث تم إخضاع جزء من عينات الاختبار إلى درجة حرارة 45°، وأخرى وضعت في غرفة الرطوبة.

أظهرت النتائج تغير محسوس لفاعلية الإضافة والاستبدال الجزئي للاسمنت بنفايات الطوب بالنسبة للخصائص الفيزيائية والميكانيكية، كما أشارت النتائج إلى أن لدرجة الحرارة تأثير على الخصائص الفيزيائية والميكانيكية، حيث أن العينات التي تحتوي على الطوب والمعرضة لدرجة حرارة 45° أعطت قوة ميكانيكية أكبر (انضغاط، شد) وخصائص فيزيائية جيدة مقارنة بالعينات الشاهد والعينات الأخرى.

كلمات مفتاحية: نفايات الطوب الأحمر الأجوري، درجة حرارة المعالجة، ملاط، الخصائص الفيزيائية الميكانيكية.

Abstract

The development of new building materials has become a problem, as researchers try to find inexpensive, environmentally friendly materials that are suitable for their field of use.

In recent years, construction waste has become a challenge and an environmental problem.

In this study, cement was added and replaced with brick waste at percentages of 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, and 0% as control sample.

This study aims to study the effectiveness of partial addition and replacement of cement with bricks, and the effect of temperature on the physical and mechanical properties. Where a part of the test samples was subjected to a temperature of 45° and others were placed in a humidity chamber.

The results showed a significant change in the effectiveness of the partial addition and replacement of cement with brick waste in terms of the physical and mechanical properties, and the results indicated that the temperature had an effect on the physical and mechanical properties, as the samples containing bricks exposed to a temperature of 45° gave greater mechanical strength (compression, tensile). And good physical properties compared to the control sample and other samples.

Keywords: bricks waste, curing temperature, mortar, physical-mechanical properties

TABLE DES MATIERES

REMECIEMENT	I
DEDICACES	II
RESUME	III
ملخص	IV
ABSTRACT	V
TABLE DES MATIERES	VI
LISTE DES FIGURES	X
LISTE DES PHOTOS	XI
LISTE DES GRAPHES	XII
LISTE DES TABLEAUX	XIII
INTRODUCTION GENERALE	1
CONTEXTE	3
CHAPTER 1 : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE	
I.1. Introduction	5
I.2. Définition de ciment	5
I.3. Les Constituants du ciment	6
I.3.1. Le clinker	6
I.3.2. Le gypse	7
I.4. Classification du ciment	7
I.4.1. En fonction de leur composition	7
I.4.2. En fonction de leur résistance normale	8
I.5. Propriétés des ciments	9
I.5.1. Caractéristique physiques	9
I.5.1.1. Comportement physico -chimique de la pâte	9
I.5.1.2. Prise	9
I.4.1-3. Durcissement	10
I.4.1.4. Chaleur d'hydratation	10
I.4.1.5. Finesse de mouture	10
I.4.1.6. Retrait	10
I.4.1.7. Gonflement	10

TABLE DES MATIERES

I.5.2. Caractéristiques chimiques du ciment	11
I.5.3. caractéristiques mécaniques des ciments courants	12
I.5. L'hydratation du ciment	13
I.5.1. Hydratation Des Silicates De Calcium, C3S Et C2S	13
I.5.2. Hydratation des Aluminates de Calcium C3A et C4AF	14
I.6. Les additions minérales	14
I.6.1. Les additions actives	15
I.6.1.1. Le laitier de haut fourneau	15
I.6.1.2. La fumée de silice	15
I.6.1.3. cendres volante	15
I.6.1.4. La pouzzolane naturelle	16
I.6.1.5. La pouzzolane artificielle	16
I.6.2. Les additions minérales inertes	16
I.6.2.1. Les fillers	16
I.6.2.2. Les schistes calcinés	17
I.6.2.3. Les calcaires	17
I.6.2.4. Les constituants mineurs du ciment	17
I.6.3. L'intérêt de l'utilisation des ajouts minéraux dans le génie civil	17
I.6.3.1. Intérêt du point de vue technique	17
I.6.3.2. Intérêt du point de vue économique	18
I.6.3.3. Intérêt du point de vue environnemental	18
I.7. Effets des ajouts sur les matériaux cimentaires	18
I.7.1. Amélioration de l'ouvrabilité	18
I.7.2. Chaleur d'hydratation	18
I.7.3. Développement des résistances	19
I.7.4. Durabilité	19
I.8. Conclusion	19
CHAPITER II : LES MORTIERS ET VALORISATION DES DECHETS	
II.1. Introduction	21
II.2. Les mortiers	21
II.2.1. Définition	21
II.2.2. Constituants des mortiers	21
II.2.2.1. Le lient	21

TABLE DES MATIERES

II.2.2.2. Le sable	22
II.2.2.3. L'eau	22
II.2.3. Différents types des mortiers	23
II.2.3.1. Les mortiers de ciment	23
II.2.3.2. Les mortiers de chaux	24
II.2.3.3. Les mortiers bâtards	24
II.2.3.4. Mortier industriel	24
II.2.3.5. Mortier rapide	25
II.2.3.6. Mortier réfractaire	25
II.2.4. Classification des mortiers	25
II.2.4.1. Classification générale des mortiers	25
II.2.5. Caractéristiques principales	26
II.2.6. Application du mortier	26
II.3. Valorisation des déchets de brique	28
II.3.1. Définition des déchets	28
II.3.2. Constitution chimique du déchet	29
II.3.3. Différents types des déchets	29
II.3.4. Déchet utilisé en génie civil	30
II.4. Déchets de brique	36
II.4.1. Définition de brique	36
II.4.1. Types de brique	36
II.4.2. Technique de la production de la brique	36
II.4.3. Valorisation des déchets de la brique	39
II.4.4. Avantages et inconvénients d'utilisation des briques	40
II.5. Effet de la température de cure	40
II.6. Influence de la température sur le comportement du béton	42
II.6.1. Influence de la température sur le développement microstructural	42
II.6.1.1. Développement microstructural	42
II.6.2. Effet de la température sur la résistance mécanique du béton	43
II.7. Conclusion	45
CHAPITER III : MATERIAUX ET PROCEDURES EXPERIMENTALES	
III.1. Introduction	47
III.2. Caractérisation des matériaux utilisés	47

TABLE DES MATIERES

III.2.1. Ciment	47
III.2.2. Sable	47
III.2.2.1. Analyse granulométrique	48
III.2.2.2. Equivalent de sable	49
III.2.2.3. La masse volumique apparente de sable	50
III.2.2.4. La teneur en eau	51
III.2.2.5. Caractérisation chimique de sable	51
II.2.3. Déchet De Brique	51
III.2.3.1. Préparation du déchet de brique	52
III.2.3.2. analyse chimique de déchet de brique	56
III.2.4. Eau de gâchage	57
III.3. Méthode de formulation de mortier cimentaire	57
III.4. Méthodes expérimentales	61
III.4.1. Variation de la masse	61
III.4.2. Essai de compression	62
III.4.3. Essais à la traction par de flexion	63
III.4.4. Absorption capillaire	64
III.4.5. Porosité accessible à l'eau	66
III.6. Conclusion	67
CHAPITER IV : RESULTATS EXPERIMENTAUX ET INTERPETATIONS	
IV.1. Introduction	69
IV.2. La masse volumique	69
IV.3. Résistance à la compression	70
IV.4. Résistance à la traction par flexion	71
IV.5. Porosité accessible à l'eau	73
IV.6. Absorption capillaire	74
IV.7. Conclusion	77
CONCLUSION GENERALE	79
PERSPECTIVES	80
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE	82
ANNEXES	

LISTE DES FIGURES

INRODUCTION GENERALE

Figure 1 : Émissions de CO2 d'une cimenterie.....	1
Figure 2 : déchet de brique.....	2

CHAPITER I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

Figure I.1 : Les constituants du ciment.....	6
Figure I.2 : Microphotographie d'un clinker.....	7
Figure I.3 : Pâte de ciment hydratée à 7 jours.....	13
Figure I.4 : Cristaux de Portlandite.....	14

CHAPITER II : LES MORTIERS ET VALORISATION DES DECHETS

Figure II.1 : composants du mortier.....	23
Figure II.2 : Mortier (sable et ciment).....	23
Figure II.3 : Type des mortiers.....	24
Figure II.4 : Pose de mortier de hourdage.....	27
Figure II.5 : Enduits isolants et enduits de façade.....	27
Figure II.6 : Les chapes fluides et chape ciment.....	28
Figure II.7 : Les scellements.....	28
Figure II.8 : Cendre volante.....	31
Figure II.9 : Mâchefer.....	32
Figure II.10 : Déchet de verre.....	32
Figure II.11 : Boue rouge.....	33
Figure II.12 : Béton récupéré.....	33
Figure II.13 : Sciure de bois.....	34
Figure II.14 : Lin de textile.....	35
Figure II.15 : Brique concassée.....	35
Figure II.16 : extraction et stockage de l'argile.....	37
Figure II.17 : Façonnage de la brique.....	38
Figure II.18 : séchage de brique.....	38
Figure II.19 : Emballage de briques.....	38
Figure II.20 : procédé général de fabrication de la brique.....	39
Figure II.21 : Déchet de brique.....	39
Figure II.22 : Micrographies caractéristiques après 1 jour et 1 an d'hydratation.....	43
Figure II.23 : Influence de la température de mûrissement du béton sur la résistance.....	44

CHAPITER III : MATERIAUX ET PROCEDURES EXPERIMENTALES

Figure III.1 : sable de oued M'Zi Laghouat.....	48
Figure III.2 : Dispositif de rupture en compression.....	62
Figure III.3 : Dispositif de flexion.....	63
Figure III.4 : Dispositif expérimental de l'essai d'absorption capillaire.....	65

LISTE DES PHOTOS

CHAPITER III : MATERIAUX ET PROCEDURES EXPERIMENTALES

Photo III.1 : Sac de ciment CEM I/A 42,5.....	47
Photo III.2 : Les tamis utilisé à LTPS	48
Photo III.3 : Le déchet brique utilisée dans cette étude.....	51
Photo III.4 : Remblai de déchets de briques dans une usine à Laghouat.....	52
Photo III.5 : La machine de concasseur des briques.....	53
Photo III.6 : Les granulons des briques que nous obtenus de la machine concasseur.....	53
Photo III.7 : Les granules des briques que nous obtenus de la machine los Anglos.....	53
Photo III.8 : Granulés de brique dans le Moule de la machine de Micro Duval avec granulés de fer.....	54
Photo III.9 : La Machine Micro Duval à LTPS	54
Photo III.10 : Les tamis que nous avons utilisés.....	55
Photo III.11 : Tamisage manuellement de la poudre et granulés des briques.....	55
Photo III.12 : Classification de la poudre de brique en fonction du diamètre des granulés....	55
Photo III.13 : La poudre finale de brique qui est passée sur le tamis 0.08 mm.....	56
Photo III.14 : Moule normalisé de 40x40x160 mm.....	58
Photo III.15 : Matériaux utilisés.....	58
Photo III.16 : Malaxeur électrique utilisée dans la fabrication du mortier [Labo Béton – LTPS].....	59
Photo III.17 : Le moule fixé sur la table d'impact.....	60
Photo III.18 : Le moule est rempli et installé sur la table d'impact.....	60
Photo III.19 : Le moules sont prêts et remplis.....	61
Photo III.20 : Démoulage les échantillons.....	61
Photo III.21 : Balance de 0.01g à LTPS	62
Photo III.22 : Dispositif de l'essai mécanique de Compression.....	63
Photo III.23 : Dispositif de l'essai mécanique de Compression.....	63
Photo III.24 : Dispositif de l'essai mécanique de rupture par flexion.....	64
Photo III.25 : Pourcentages du test d'absorption capillaire pour les échantillons qui ont été placés à 20°C.....	65
Photo III.26 : Pourcentages du test d'absorption capillaire pour les échantillons qui ont été placés à 45°C.....	65
Photo III.27 : Pourcentages du test d'absorption capillaire pour les deux échantillons.....	66
Photo III.28 : Montage pour la mesure de la porosité accessible à l'eau.....	66

LISTE DES GRAPHES

CHAPITER III : MATERIAUX ET PROCEDURES EXPERIMENTALES

Graphe III.1 : La courbe granulométrique de sable utilisé.....49

CHAPITER IV : RESULTATS EXPERIMENTAUX ET INTERPETATIONS

Graphe IV.1 : La masse volumique.....	70
Graphe IV.2 : Résistance de compression à 20°	70
Graphe IV.3 : Résistance de compression à 45°	70
Graphe IV.4 : Résistance à la traction par flexion à 20°	71
Graphe IV.5 : Résistance à la traction par flexion à 45°	72
Graphe IV.6 : La porosité accessible a l'eau à 20°	73
Graphe IV.7 : La porosité accessible à l'eau à 45°	73
Graphe IV.8 : Absorption capillaire à 24h à 20° (7j).....	74
Graphe IV.9 : Absorption capillaire à 24h à 20° (14j).....	74
Graphe IV.10 : Absorption capillaire à 24h à 20° (30j).....	75
Graphe IV.11 : Absorption capillaire à 24h à 45° (7j).....	75
Graphe IV.12 : Absorption capillaire à 24h à 45° (14j).....	75
Graphe IV.13 : Absorption capillaire à 24h à 45° (30j).....	76

LISTE DES TABLEAUX

CHAPITER I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

Tableau I.1 : Types de ciment et composition.....	8
Tableau I.2 : Spécification physiques et mécaniques	9
Tableau I.3 : caractéristique chimique de ciment courante.....	11
Tableau I.4 : Caractéristique mécanique des ciments courants.....	12
Tableau I.5 : Résistances garanties des ciments courants.....	13

CHAPITER III : MATERIAUX ET PROCEDURES EXPERIMENTALES

Tableau III.1 : Résultats d'analyse granulométrique du sable utilisé.....	49
Tableau III.2 : résultat de l'essai de l'équivalent du sable utilisé	50
Tableau III.3 : résultats de la masse volumique apparent de sable.....	50
Tableau III.4 : analyse chimique du sable utilisé	51
Tableau III.5 : analyse chimique de sable.....	56
Tableau III.6 : composition chimique de l'eau de gâchage.....	57
Tableau III.7 : pourcentage de remplacement de ciment par des briques.....	58

CHAPITER IV : RESULTATS EXPERIMENTAUX ET INTERPETATIONS

Tableau IV.1 : Résultat des masses volumiques des variantes étudiées.....	69
----------------------------------------------------------------------------------	-----------

INTRODUCTON GENERALE

Introduction générale

Le ciment est nécessaire à la fabrication du béton. En termes d'énergie nécessaire à sa production, le ciment se classe au troisième rang de tous les matériaux, devancé seulement par l'acier et l'aluminium. Selon certaines études, la fabrication d'une tonne de ciment génère environ une tonne de CO₂. Il est responsable d'environ 5% des émissions de ce gaz sur la planète. Cette situation doit être prise au sérieux car le béton est appelé à jouer un rôle de plus en plus important dans le développement et le maintien de l'activité humaine [1].



Figure 1 : Émissions de CO₂ d'une cimenterie [2].

Ces derniers temps, les activités de construction et d'aménagement urbain sont devenues un facteur essentiel de la vie humaine, qui génère une grande quantité de déchets solides, qu'ils proviennent de la fabrication de matériaux de base pour la construction ou de la démolition de bâtiments anciens, en particulier les déchets des activités de les différents secteurs industriels des matériaux de construction, en plus de ceux liés à l'industrie de la brique Rouge solide et déchargé, selon les statistiques, la quantité de déchets solides ne cesse d'augmenter partout dans le monde, en raison de la demande accrue pour les besoins de la population.



Figure 2 : déchet de brique [3].

L'utilisation de déchets industriels récupérés et recyclés, tels que les additifs du ciment et les dépôts de ressources naturelles telles que la pouzzolane et le calcaire, comme substituts partiels du ciment Portland dans le béton, réduit les émissions de gaz à effet de serre et aboutit à la production de matériaux respectueux de l'environnement, non polluants et béton durable. L'élimination de ces déchets industriels et la réduction des demandes en ressources se traduisent généralement par une durée de vie plus longue que le béton "conventionnel".

En particulier :

- Est-ce que L'utilisation des briques de rebut en les remplaçant partiellement par du ciment apporte-t-elle une efficacité en termes d'amélioration des propriétés mécaniques et physiques ?
- La température de traitement affecte-t-elle ces propriétés ?

Cette étude vise à étudier l'efficacité du remplacement partiel de la poudre de brique rouge dans le mortier avec les effets de la température de durcissement.

Contexte : ce mémoire divisée en 4 chapitre dont :

Introduction générale.

- 1. Le premier chapitre :** Ce chapitre est consacré à la étudier synthèse bibliographique présenté. Ciment, les additifs minéraux et l'effet de la température de cure.
- 2. Le deuxième chapitre :** Ce chapitre présente une synthèse bibliographique sur les mortiers, et la valorisation des déchets de brique.
- 3. Le troisième chapitre :** Dans ce chapitre expérimental, nous avons présenté une caractérisation des matériaux utilisés (poudre déchet de brique), et les méthodes d'essais réalisées sur les ciments et mortiers préparés.
- 4. Le quatrième chapitre :** Il affiche les résultats expérimentaux obtenus et les observations faites.

Enfin, une conclusion générale reprend les résultats dégagés lors de cette étude. Elle ouvre également de nouvelles perspectives en termes d'expérimentation pour une meilleure caractérisation du mortier de briques (ciment + déchets de briques).

CHAPTER I
SYNTHESE
BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I : SYNTHÈSES BIBLIOGRAPHIQUES

I.1. Introduction :

Dans ce chapitre, nous avons traité une introduction complète au ciment ainsi qu'aux additifs pour ciment.

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

Le ciment est un composant essentiel des matériaux cimentaires comme le béton. Il assure une fonction mécanique, car il lie le squelette granulaire, mais il est aussi en grande partie responsable de la tenue à long terme du matériau béton. La conception d'un béton est extrêmement liée à l'environnement dans lequel va être exposé durant sa durée de vie [4].

I.2. Définition de ciment :

Le ciment est un liant hydraulique, une matière inorganique finement moulue qui, gâchée avec de l'eau, forme une pâte qui fait prise et durcit en réaction au processus d'hydratation.

Après durcissement, cette pâte conserve sa résistance et sa stabilité, même sous l'eau. Le ciment est un constituant de base du béton [5].

Le ciment ordinaire anhydre est constitué de clinker Portland, de gypse et éventuellement d'additions telles que les cendres volantes, le laitier granulé de haut fourneau, la fumée de silice, pouzzolanes naturelles..., etc.

Une notation cimentière a été établie pour simplifier l'écriture des phases solides.

Les équivalences sont les suivantes :



I.3. Les Constituants du ciment :

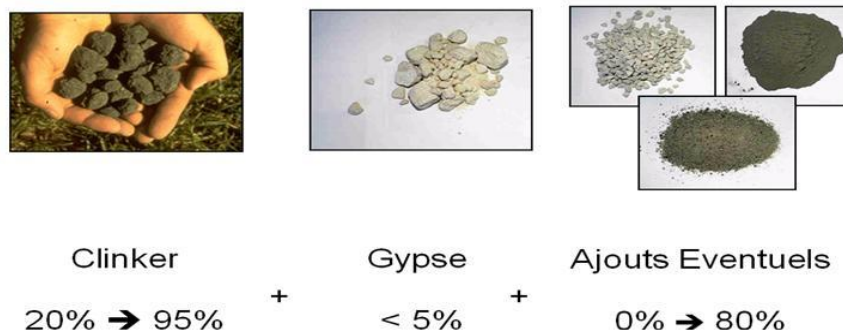


Figure I.1 : Les constituants du ciment [4].

Le ciment est produit par broyage des composants suivants : clinker, gypse et les ajouts minéraux actifs.

I.3.1. Le clinker : C'est un mélange fritté de calcaire et d'argile. Ce mélange après cuisson forme des grains dont les dimensions vont jusqu'à 40mm et s'appelle : Clinker, Le calcaire est composé principalement de CaO et CO₂, et l'argile de diverses matières contenant surtout trois oxydes : SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃. La matière première destinée à la production doit contenir 75 à 78% de CaCO₃ et de 22 à 25% de matière argileuse. Les roches qui satisfont aux conditions indiquées ci dessus ne se rencontrent que très rarement. C'est ainsi que pour la production du ciment Portland sans ou avec ajout pouzzolanique, il faut employer à côté des calcaires et des argiles, des additions que l'on appelle adjuvants qui contiennent une grande quantité de celui des oxydes qui manque dans le mélange des matières premières. Parmi ces adjuvants corrigeant, on cite le minerai de fer, argile très alumineux, ...etc.

Les oxydes indiqués plus haut (CaO, SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃) ne se trouvent pas à l'état libre dans le clinker mais au cours de la cuisson du cru (calcaire + argile) quatre minéraux se forment (figure I.2).

- C₃S (3CaO. SiO₂) Alite.
- C₂S (2CaO. SiO₂) Belite.
- C₃A (2CaO. Al₂O₃) Aluminate tricalcique.
- C₄AF..... (4CaO.Al₂O₃.Fe₂O₃) Célide.

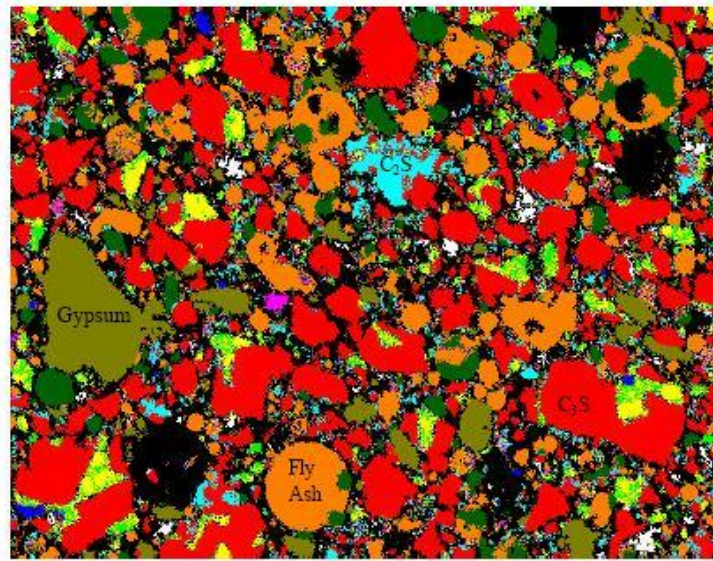


Figure I.2 : Microphotographie d'un clinker [4].

Les couleurs sont les suivantes : noir = porosité, rouge = C3S, bleu clair = C2S, vert = C3A, orange = C4AF, vert = sulfates de calcium, jaune = K_2SO_4 et blanc = CaO.

I.3.2. Le gypse : Le sulfate de calcium est un corps composé chimique minéral anhydre, solide de structure ionique, formé simplement d'un anion sulfate et d'un cation de calcium, de formule chimique $CaSO_4$ et de masse molaire 136,14 g/mol.

Il correspond en réalité le plus souvent à un corps minéral naturel, nommé anhydrite, typique des évaporites, assez abondant, quoique caché car il se dégrade en gonflant à l'eau, en engendrant en surface le plus souvent un composé di hydraté, $CaSO_4 \cdot 2H_2O$, minéral emblématique des roches évaporites, encore plus abondant, connu par les minéralogistes ou géologues sous le nom de « gypse ». Il peut aussi former le plus souvent par transformation thermique un corps minéral héli hydraté, $CaSO_4 \cdot 1/2H_2O$, il s'agit de la basanite ou plus communément un des composés majeurs du « plâtre », poudre blanche obtenue par cuisson du gypse et pilage [5].

I.4. Classification du ciment :

I.4.1. En fonction de leur composition :

Les ciments sont classés, en fonction de leur composition, en cinq types principaux selon la norme Algérienne NA442. Ils sont notés CEM et numérotés de 1 à 5 en chiffres romains. Ils sont regroupés dans le Tableau (Tableau I.1).

Tableau I.1 : Types de ciment et composition [5].

Désignations	Types de ciments	Teneur en clinker	Teneur en % de l'un de constituants suivants : laitier, pouzzolanes, cendres, calcaires, schistes, fumées de silice	Teneur en constituants secondaires (filler)
CPA-CEM I/A	Ciment portland	95 à 100%		0 à 5%
CPJ-CEM II/A	Ciment portland composé	80 à 94%	<ul style="list-style-type: none"> - De 6 à 20% de l'un quelconque des constituants. Sauf dans les cas où le constituant est des fumées de silice au quel cas la proportion est limitée à 10%. - De 21 à 35% avec les mêmes restrictions que ci-dessus. 	0 à 5%
CPJ-CEM II/B		65 à 79%		0 à 5%
CHF-CEM III/A CHE-CEM III/B CLK-CEM III/C	Ciment de haut-fourneau	35 à 64%	<ul style="list-style-type: none"> - 35 à 65% de laitier de haut-fourneau. - 66 à 80% de laitier de haut-fourneau. - 81 à 95% de laitier de haut-fourneau. 	0 à 5%
		20 à 34%		0 à 5%
		5 à 19%		0 à 5%
CPZ-CEM IV/A	Ciment pouzzolanique	65 à 90%	<ul style="list-style-type: none"> - 10 à 35% de pouzzolanes, cendres siliceuses ou fumées de silice, ces dernières étant limitées à 10%. - 36 à 55% comme ci-dessus. 	0 à 5%
CPZ-CEM IV/B		45 à 64%		0 à 5%
CLC-CEM V/A	Ciment au laitier et aux cendres	40 à 64%	<ul style="list-style-type: none"> - 18 à 39% de laitier de haut-fourneau et 18 à 30% de cendres siliceuses ou de pouzzolanes. - 31 à 50% de chacun des 2 constituants comme ci-dessus. 	0 à 5%
CLC-CEM V/B		20 à 39%		0 à 5%

I.4.2. En fonction de leur résistance normale :

Trois classes sont définies en fonction de la résistance normale à 28 jours : des sous-classes «R» sont associées à ces 3 classes principales pour désigner des ciments dont les résistances au jeune âge sont élevées. Ces classes sont notées classe 32.5, classe 42.5 et classe 52.5. Elles doivent respecter les spécifications et valeurs garanties du Tableau (Tableau I.2).

Tableau I.2 : Spécification physiques et mécaniques [1].

Classe	Résistance à la compression (MPa)				Retrait à 28 jours ($\mu\text{m/m}$)	Début de prise (min)	Stabilité (mm)
	Au jeune âge		A 25 jours				
	2 jours	7 jours	Min	Max			
32,5	-	-	$\geq 32,5$	$\leq 52,5$	≤ 800	≥ 90	≤ 10
32,5R	$\geq 13,5$	-					
42,5	$\geq 12,5$	-	$\geq 42,5$	$\leq 62,5$	≤ 1000	≥ 60	
42,5R	≥ 20	-					
52,5	≥ 20	-	$\geq 52,5$	-	-		
52,5R	≥ 30	-					

I.5. Propriétés des ciments :

I.5.1. Caractéristique physiques :

I.5.1.1. Comportement physico-chimique de la pâte :

Comme cela a été étudié précédemment, le ciment est essentiellement constitué de:

- Silicate tricalcique C3S.
- Silicate bicalcique C2S.
- Aluminate tricalcique C3A.
- Ferro-Aluminate tétracalcique C4AF.

Une fois la poudre de ciment mélangé à l'eau, les réactions d'hydratation se développent, il se produit alors une cristallisation qui aboutit à un nouveau système de constituants hydratés avec formation de cristaux en aiguilles plus ou moins enchevêtrées produisant la prise. Les réactions chimiques d'hydratation s'accompagnent d'un dégagement de chaleur plus ou moins important selon le ciment et la rapidité de prise [6].

I.5.1.2. Prise : C'est un phénomène physique et chimique lorsque le ciment anhydre est mélangé avec de l'eau. La prise commence grâce à l'hydratation et aux changements des propriétés de la pâte dans le temps. Tant que cette hydratation n'est pas trop avancée, la pâte reste plus ou moins malléable, ce qui permet de lui faire épouser par moulage la forme désirée. Mais au bout d'un certain temps, les cristaux d'hydrates prennent de plus en plus d'importance parce que le mélange a changé de viscosité. On dit qu'il se fait priser.

Le norme spécifie, suivant les ciments, un temps de prise minimal de :

1h30 : pour les ciments des classes 32,5 et 32,5R.

1h : pour les ciments des classes 42,5 ; 42,5R ; 52,5 ; 52,5R.

D'une façon générale les temps de prise sont supérieurs à ces valeurs minimales, l'ordre de grandeur étant de 2h 30 à 3h30 pour la grande majorité des ciments, ces valeurs s'entendant pour une température ambiante de 20°C.

I.4.1-3. Durcissement : Une fois la prise amorcée, le phénomène d'hydratation se poursuit, C'est la période de durcissement rapide qui se poursuit pendant des mois au cours des quelles les résistances mécaniques continuent décroître.

Lorsqu'on désire un durcissement rapide, on choisit des ciments de classe élevé et de préférence de classe « R » c'est-à-dire ayant la caractéristique complémentaire « Rapide ».il est également possible d'utiliser du ciment alumineux fondu CA, qui après quelques jours a atteint la quasi-totalité de sa résistance [5].

I.4.1.4. Chaleur d'hydratation : La dissolution des différents constituants est exothermique et, selon leur pourcentage relatif, le dégagement de chaleur est donc plus au moins important. Suivant le type de ciment, cette chaleur est comprise à 12h, approximativement, entre 65j/g pour certain CPA-CEMI.

I.4.1.5. Finesse de mouture : La finesse de mouture, également appelée finesse de Blaine, exprimée en m^2/kg , représente la surface spécifique ou surface développée d'une masse de 1kg de ciment. Elle est d'une façon générale, comprise entre 300 et 350 (la finesse s'exprimait auparavant en cm^2/g et il existe de nombreux utilisateurs continuent à l'exprimer ainsi (il ressort qu'une finesse de 300 m^2/kg correspond à 3000 cm^2/g). Plus la finesse est grande, plus les résistances sont précoces et élevées, mais par contre, plus les risques de retrait qui accroissent par conséquent la fissuration ainsi que d'évènement du ciment.

I.4.1.6. Retrait : C'est la diminution du volume apparent de la matière. On le mesure sur des éprouvettes prismatiques de mortier de 4x4x16 cm, conservées dans l'air à une température de 20°C et une hygrométrie de 50%. La norme impose les valeurs limites à 28 jours de :

- 800 $\mu m/m$ pour les ciments portland CPA-CEM I et CPJ-CEM II de la classe 32.5.
- 1000 $\mu m/m$ pour des types de ciment identiques mais de classes 32.5R-42.5 et 42.5R.

I.4.1.7. Gonflement : Bien que non normalisé, il est utile de rappeler qu'alors qu'il se rétracte dans l'air, le ciment augmente de volume lorsqu'il est immergé dans l'eau, sa variation dimensionnelle étant environ 1/10ème de celle constatée dans l'air [6].

I.5.2. Caractéristiques chimiques du ciment :

De manière générale, les ciments doivent respecter un certain nombre d'exigences, résumées dans le tableau ci-dessous, concernant leur composition chimique.

Tableau I.3 : caractéristique chimique de ciment courante.

propriétés	Type de ciment	Classe de résistance	Valeur maximale en % de la masse
Perte au feu	CP-CEM I CHF-CEM III CLK-CEM III	Touts classes	≤ 5
Oxyde de magnesium MgO	CPA-CEM I	Touts Classe	≤ 5
Résidu insoluble	CPA-CEM I CHF-CEM III CLK-CEM III	Touts classe	≤ 5
Sulfates SO³ limit supérieure	CPA-CEM I Et CPJ-CEM II (*)	32,5 32,5R 42,5	≤ 3.5
	CPZ-CEM IV et CLC-CEM V CHF-CM III	42,5 52,5 52,5R Touts classe	≤ 4 ≤ 4
chlorure	Touts type de ciment (**)	52,5R tous les autres	≤ 0.05
		classes	≤ 0.10

(*) : Valable pour les CPJ-CEM II/A et B à l'exception des ciments ne contenant que des schistes calcinés comme constituant, autre que le clinker, pour lesquels la limite est de 4.5% pour toutes les classes de résistance.

(**) : Les CHF-CEM III/A et B et les CLK-CEM III/C peuvent contenir plus de 0.10 % de chlorures mais dans ce cas la teneur réelle doit être déclarée [7].

I.5.3. caractéristiques mécaniques des ciments courants :

Les ciments courants sont classés en fonction de leurs résistances mécaniques à la compression exprimées en MPa à 28 jours, la norme spécifiant une limite inférieure et une limite supérieure dont les valeurs sont les suivantes :

Tableau I.4 : Caractéristique mécanique des ciments courants.

Classe de ciments	Résistance à 2 jours (MPa)	Résistance minimale à 28 jours (MPa)	Résistance maximale à 28 jours (MPa)
32,5	-	$\geq 32,5$	$\leq 52,5$
32,5R	$\geq 13,5$	$\geq 32,5$	$\leq 52,5$
42,5	$\geq 12,5$	$\geq 42,5$	$\leq 62,5$
42,5R	≥ 20	$\geq 42,5$	$\leq 62,5$
52,5	≥ 20	$\geq 52,5$	-
52,5R	≥ 30	$\geq 52,5$	-

Classes « R », rapides, présentent aux jeunes âges des caractéristiques mécaniques plus élevées et leur intérêt particulièrement dans certaines circonstances telles que bétonnage trouvent par temps froid, décoffrage rapide, préfabrication.

Il y a lieu de distinguer les valeurs spécifiées pour chaque classe de ciment par la norme (tableau précédent), la probabilité étant statistiquement de 95 % pour les résistances minimales et de 90 % pour les résistances maximales, et les valeurs garanties que le fabricant doit respecter à 100 % et qui sont indiquées dans le tableau ci-dessous.

Tableau I.5 : Résistances garanties des ciments courants [5].

Classe des ciments	Résistances garanties à 2 jours (MPa)	Résistances garanties à 7 jours (MPa)	Résistances garanties à 28 jours (MPa)
32,5		17,5	30
32,5R	12	-	30
42,5	10	-	40
42,5R	18	-	40
52,5	18	-	50
52,5R	28	-	50

I.5. L'hydratation du ciment :

I.5.1. Hydratation Des Silicates De Calcium, C3S Et C2S :

Lors de l'hydratation du ciment, la réaction chimique des deux silicates avec l'eau produit un gel de silice hydraté : Le Silicate tricalcique hydraté C-S-H (Tobermorite) (C-S-H) et l'hydroxyde de calcium ou portlandite (C-H) selon les réactions.

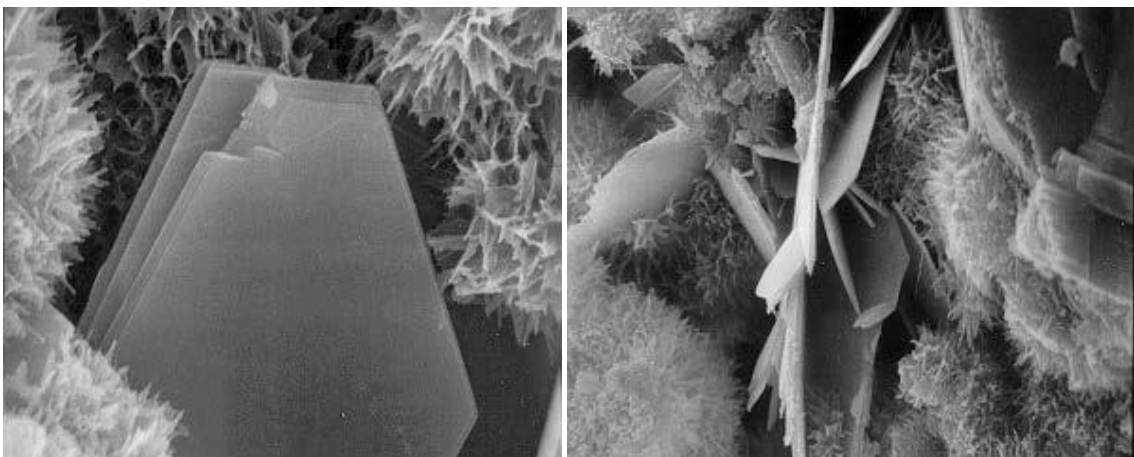
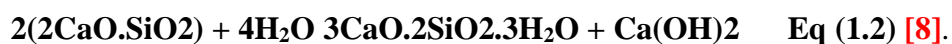


Figure I.3 : Pâte de ciment hydratée à 7 jours [8].

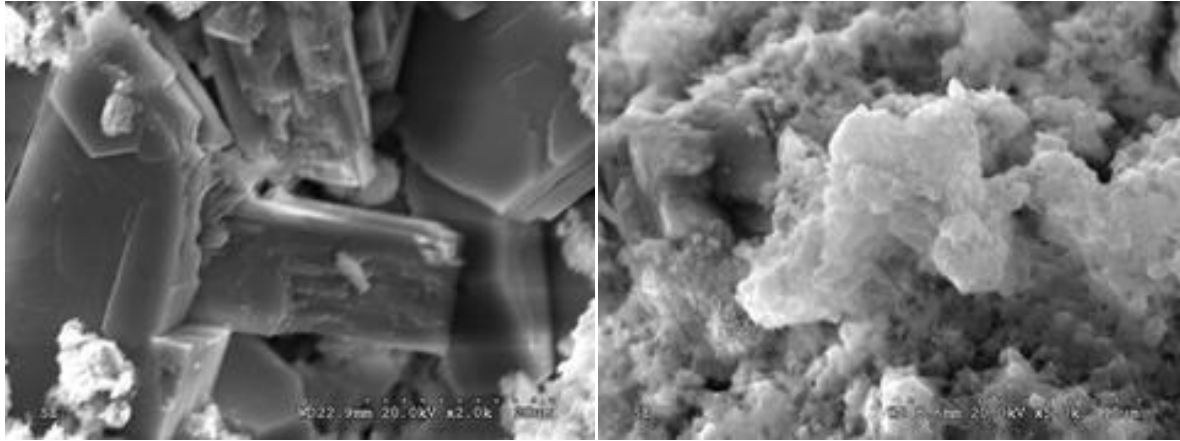
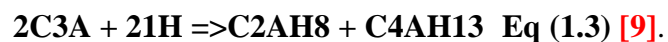


Figure I.4 : Cristaux de Portlandite [8].

I.5.2. Hydratation des Aluminates de Calcium C3A et C4AF :

L'hydratation du ciment est un processus très complexe qui fait intervenir tous les composés cités précédemment pour former des hydrates, l'hydratation du ciment provoque le durcissement de la pâte, qui se transforme ensuite en un matériau solide et résistant. Dans le cadre de ce sujet de stage l'étude sera axée particulièrement sur l'hydratation de la phase C3A.



L'aluminate tricalcique est la phase la plus réactive dans le ciment, son hydratation est fortement exothermique et sa vitesse de réaction très grande. Cette hydratation est différente selon qu'il existe ou non des sulfates de calcium dans le milieu.

Le produit d'hydratation en absence de sulfates conduit à la formation d'aluminates de calcium hydratés (C-A-H).



Ces hydrates contiennent une grande quantité d'eau, leur structure est hexagonale et sous forme de feuillets. Leur formation entraîne une prise immédiate de la pâte de ciment, et après plusieurs jours d'hydratation, ces hydrates vont former des cristaux cubiques C3AH6.

La présence de sulfates de calcium dans le ciment permet de réguler l'hydratation du C3A et d'éviter ce phénomène, la réaction d'hydratation se produit alors plus lentement [9].

I.6. Les additions minérales :

Les additions sont des matériaux minéraux finement divisés pouvant être partiellement substitués au ciment pour améliorer certaines de ses propriétés ou pour lui conférer des propriétés particulières. Les additions peuvent être réactives ou inertes.

I.6.1. Les additions actives :

I.6.1.1. Le laitier de haut fourneau :

Dans le procédé de production de fonte dans les hauts fourneaux, le laitier qui surnage au dessus de la fonte est tout de suite refroidi après la coulée et par conséquent rapidement vitrifié. La majorité des éléments tels que : Ca, Mg, Si, et Al sont sous forme de phase non cristalline. Une fois broyé à environ 400 à 500m²/kg, ce produit développe de bonnes propriétés cimentaires.

La composition minéralogique d'un laitier dépend de son mode de refroidissement. Plus le refroidissement est rapide, plus le laitier est vitreux. Le laitier se refroidi sous forme de granules ou boulettes et nécessite un broyage pour être utilisé comme ajout minéral. Les particules de laitier dont la taille est inférieure à 10µm contribuent à la résistance au jeune âge (jusqu'à 28 jours), tandis que les particules dont le diamètre est compris entre 10 et 45µm contribuent au développement des résistances ultérieures. Les particules > 45µm ont de la difficulté à s'hydrater.

I.6.1.2. La fumée de silice :

Les fumées de silice sont un sous-produit de la fabrication du silicium ou de différents alliages de ferrosilicium. Elles sont produites lors de la réduction d'un quartz très pur par du charbon dans un four à arc, à la température de 2000°C.

Les fumées de silice se présentent sous forme de fines particules sphériques d'un diamètre moyen d'environ 0,1µm. Leur surface spécifique est de l'ordre de 20 à 25m²/g. Leur teneur en silice vitreuse varie de 75 à 95%. La finesse et la forme vitreuse des fumées de silice leur donnent des propriétés pouzzolaniques [8].

I.6.1.3. cendres volante :

Il s'agit de poudres finement divisées de nature silico-alumineuse ou silico-calcaire: les premières ont des propriétés pouzzolaniques, les secondes peuvent, en outre, posséder des propriétés hydrauliques. Elles sont obtenues par dépoussiérage électrostatique ou mécanique de particules pulvérulentes provenant du courant de gaz des chaudières, alimentées au charbon pulvérisé. On distingue les cendres volantes silicoalumineuses et les cendres volantes silicocalciques, Les cendres volantes silicoalumineuses sont constituées principalement de particules sphériques vitrifiées ayant des propriétés pouzzolaniques. Elles contiennent essentiellement de la silice réactive (au moins 25 % en

masse, D50 ~ 50 μm) et de l'alumine Al_2O_3 , mais aussi de l'oxyde de fer Fe_2O_3 et d'autres oxydes.

I.6.1.4. La pouzzolane naturelle :

La pouzzolane est une roche naturelle correspondante à des projections volcaniques, scoriacées, essentiellement stromboliennes et basiques, c'est à dire d'une composition basaltique. Sa couleur est généralement noire ou rouge selon le degré d'oxydation du fer, présent respectivement sous forme de magnétite ou d'hématite. Elle est essentiellement composée de silice (SiO_2), d'alumine (Al_2O_3) et d'oxyde ferrique (Fe_2O_3). La somme des trois oxydes ($\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$) doit être supérieure à 70% selon la norme ASTM C 618 [10].

I.6.1.5. La pouzzolane artificielle :

Les pouzzolanes artificielles sont toute matière essentiellement composés de silice, d'alumine et d'oxyde de fer ayant subi un traitement thermique pour lui assurer des propriétés pouzzolaniques. Elles sont des déchets des différentes industries. On distingue : soit des résidus de fabrication industrielle (tel que les machfers, cendre de bois ou d'houille), soit des débris de brique et de tuile fabriqués avec des argile pures calcinés à des températures modérées. On distingue aussi le schiste cuit, et les déchets de l'industrie à base de métakaolinite.

I.6.2. Les additions minérales inertes :

Ce sont des matériaux quasiment inertes, organiques, naturelles ou synthétiques spécialement sélectionnées qui, par leur composition granulométrique améliorent les propriétés physiques du ciment portland (ouvrabilité, pouvoir de rétention d'eau...). Parmi ces additifs on distingue la poussière, les fillers les additions calcaires [8].

I.6.2.1. Les fillers :

Ce sont des produits obtenus par broyage ou par pulvérisation de certaines roches, naturelles ou non (calcaires, Basaltes, laitiers, Bentonites, ...etc.), agissant surtout grâce à une granulométrie appropriée par leurs propriétés physiques sur certaines qualités du ciment (amélioration de l'ouvrabilité, diminution de la perméabilité et réduction de la fissurabilité) [10].

I.6.2.2. Les schistes calcinés :

Sont des schistes produits dans un four à 800°C, ils contiennent des phases de clinker, des petites quantités de chaux libre CaO, de sulfates de calcium, ainsi que des oxydes en quantités plus importantes. Finement broyés, ils présentent de fortes propriétés hydrauliques et aussi pouzzolaniques.

I.6.2.3. Les calcaires :

Lorsqu'ils sont utilisés dans une proportion excédent 5% en masse (constituant principal), le calcaire doit satisfaire aux exigences suivantes :

- Teneur en calcaire : $\text{CaCO}_3 \geq 75\%$ en masse.
- Teneur en argile : Adsorption de bleu de méthylène ≥ 1.20 g/100g.
- Teneur en matières organiques : (TOC) 0.50% en masse.

I.6.2.4. Les constituants mineurs du ciment :

Les oxydes mineurs les plus importants dans le ciment sont : MgO, Na₂O, K₂O et SO₃, L'oxyde de magnésium (MgO) provient de la dolomite, souvent présente avec le calcaire, Les oxydes alcalins K₂O et Na₂O proviennent en général, de l'argile et des feldspaths. L'anhydride sulfurique (SO₃) dans le clinker provient de la pyrite (FeS₂), du calcaire ou de l'argile et surtout des combustibles utilisés tels que le charbon, le fuel ou de gaz naturel [8].

I.6.3. L'intérêt de l'utilisation des ajouts minéraux dans le domaine de génie civil :

L'utilisation d'ajouts minéraux dans les industries du ciment et du béton présente des avantages techniques, économiques et écologiques.

I.6.3.1. Intérêt du point de vue technique :

L'incorporation de particules très fines dans un mélange de béton permet d'améliorer sa maniabilité et de réduire le besoin en eau à une consistance donnée (sauf pour les matériaux de très grande surface active, comme les fumées de silice). Les ajouts cimentaires améliorent généralement la résistance mécanique, l'imperméabilité et la ténacité aux attaques chimiques.

Enfin, parce qu'ils permettent une faible chaleur d'hydratation des ciments composés, les ajouts minéraux améliorent la résistance à la fissuration.

I.6.3.2. Intérêt du point de vue économique :

Le ciment Portland est le composant le plus onéreux au cours de la production du béton, puis qu'il est un matériau à forte intensité d'énergie. La plupart des ajouts susceptibles de remplacer le ciment dans le mortier ou le béton sont des sous-produits, et à ce titre, nécessite relativement moins d'énergie, si non aucune, et sont moins coûteux que le ciment Portland.

I.6.3.3. Intérêt du point de vue environnemental :

La production d'une tonne de ciment Portland libère dans l'atmosphère une quantité quasi équivalente de gaz carbonique (CO_2). En effet, la substitution d'une fraction de clinker permet d'obtenir des ciments aux propriétés mécaniques exploitables, ce qui permet une diminution de rejets de CO_2 . Le taux de substitution de clinker est du même ordre que la diminution de rejet de CO_2 [5].

I.7. Effets des ajouts sur les matériaux cimentaires :

I.7.1. Amélioration de l'ouvrabilité :

Si nous ajoutons une quantité d'une fine poudre à un béton, nous diminuons le ressuage et la ségrégation dans ce béton, en diminuant le volume des vides. L'utilisation des cendres volantes ou du laitier diminue le besoin en eau d'un béton pour obtenir une certaine consistance.

Pour cette même consistance, l'utilisation de poudres ayant une très grande surface spécifique, comme les fumées de silice, tend à augmenter la quantité d'eau nécessaire. La demande en eau et la maniabilité d'un béton contenant des ajouts minéraux dépendent de leur forme et de la granulométrie des particules. La norme ASTM C 618 limite la quantité des particules $> 45 \mu\text{m}$ à un maximum de 34 %.

I.7.2. Chaleur d'hydratation :

Le remplacement du ciment par une pouzzolane diminue de façon significative la chaleur d'hydratation du ciment, et par conséquent la fissuration d'origine thermique du béton. La chaleur d'hydratation des ajouts pouzzolaniques est égale à environ la moitié de celle du ciment Portland.

I.7.3. Développement des résistances :

Bien que le développement des résistances soit lent, les résistances à long terme dépassent quelques fois celles du ciment Portland sans ajouts, à condition d'optimiser la quantité d'ajouts. Cette augmentation des résistances est due à l'affinage des pores et des grains ainsi qu'à l'augmentation de la quantité de C-S-H.

I.7.4. Durabilité :

Par rapport au ciment Portland, les ciments aux ajouts pouzzolaniques ont une meilleure résistance aux acides et aux sulfates. Cela est dû à l'effet combiné d'une meilleure imperméabilité pour un même rapport E/L, et à une diminution de la quantité de CH. Les sulfates peuvent détruire le béton en se combinant avec les aluminates du ciment pour former de l'ettringite expansive.

Les conditions pour que cette réaction se passe sont : la perméabilité du béton, la quantité de CH et la quantité d'aluminate dans le mélange.

À cause de leur bonne imperméabilité et surtout d'une faible quantité de CH, des bétons faits à partir de ciment au laitier résistent très bien à l'attaque des sulfates, malgré une quantité importante de C3A dans le ciment.

Les ajouts pouzzolaniques tels que le laitier diminuent l'expansion des bétons qui se produit par réactions entre les alcalis du ciment et les granulats réactifs. Les alcalis sont piégés dans le C-S-H formé par l'ajout [11].

I.8. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons pu savoir que la réaction de l'eau avec le ciment combine les réactions de l'eau des composants principaux du clinker et les réactions de ses composants secondaires.

Et nous avons pu obtenir des informations importantes sur les différents types d'additifs minéraux, de sorte que nous pouvons déduire un bénéfice tridimensionnel de l'utilisation des additifs dans l'industrie du ciment. La norme classe les additifs selon leurs activités en deux groupes: les additifs inertes et les additifs actifs qui se différencient selon la nature de leurs activités : pouzzolanique et/ou hydraulique.

On distingue également les additifs minéraux, qu'ils soient naturels ou synthétiques. L'effet des additifs dépend des compositions chimiques et minérales, de leur activité de la phase vitreuse et du mode d'hydratation, tous ces facteurs variant d'un ajout à l'autre. C'est ce qui détermine le contenu de la substitution et les domaines de son utilisation.

CHAPITRE II
VALORISATION
DECHETS DE BRIQUE DANS
LES MOTIERS CIMENTAIRES

CHAPITRE II : VALORISATION DECHETS DE BRIQUE DANS LES MORTIERS CIMENTAIRES

II.1. Introduction :

Les mortiers et les bétons ont connu un essor important ces dernières années en Algérie dans de divers domaines à savoir: bâtiments, ouvrages d'arts, constructions spéciales,... Composés essentiellement à partir de liants hydrauliques, ce sont des systèmes rendus complexes par l'incorporation de nombreux adjuvants, sous-produits et déchets issus des industries de fabrication des matériaux de construction, dont les effets, bénéfiques et parfois antagonistes ne sont pas encore totalement compris [12].

II.2. Les mortiers :

II.2.1. Définition :

Le mortier est un mélange de ciment, de sable et d'eau, utilisé notamment dans les maçonneries et les enduits. Selon les performances souhaitées, on utilise des formulations variées, notamment en ce qui concerne les liants.

Des compositions multiples de mortiers peuvent être obtenues en jouant sur les différents paramètres : liant (type et dosage), adjuvants et ajouts, dosage en eau. En ce qui concerne le liant, tous les ciments et les chaux sont utilisables, leur choix et le dosage sont en fonction de l'ouvrage à réaliser et de son environnement.

II.2.2. Constituants des mortiers :

II.2.2.1. Le liant :

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

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

L'introduction des sables permet de diminuer le retrait du liant (ossature mortier) en augmentant les résistances mécaniques, ajoutant à cela, 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 [13].

II.2.2.3. L'eau :

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 [13].



Figure II.1 : composants du mortier [13].

II.2.3. Différents types des mortiers :

Les types de mortiers sont choisis selon l'application. Il existe de multiples types de mortiers avec différentes propriétés et applications, plus ou moins adaptés en fonction des usages. Les mortiers les plus fréquemment utilisés sur les chantiers sont :

II.2.3.1. Les mortiers de ciment :

Le mortier-ciment est le produit le plus basique qui soit, indispensable pour construire un mur et lier les pierres ou briques entre elles. Il s'agit d'un mélange classique de ciment, de sable et d'eau.

Le mortier de ciment est très résistant et étanche à l'eau mais sujet à la fissuration : convient pour l'assemblage de blocs béton, Pour les jointements et les scellements, on peut envisager de se passer de sable.



Figure II.2 : Mortier (sable et ciment) [14].

II.2.3.2. Les mortiers de chaux :

C'est un type de mortier où la chaux (chaux grasse ou chaux hydraulique) est utilisée comme liant et le sable est utilisé comme granulat fin. Ce mélange est couramment utilisé pour enduire les murs intérieurs et extérieurs.

Les mortiers de chaux sont gras et onctueux. Ils durcissent plus lentement que les mortiers de ciment, surtout lorsque la chaux est calcique. il a de la souplesse mais il a moins d'imperméabilité que le ciment.

II.2.3.3. Les mortiers bâtards :

Le mélange de ciment et de chaux permet d'obtenir conjointement les qualités de ces deux liants. Le ciment lui procure de la résistance, tandis que la chaux lui apporte de la souplesse. L'usage de ces deux liants donne un mortier résistant, une prise plus rapide grâce au ciment, suffisamment gras et onctueux grâce à la chaux. Le tout lui procure une facilité de prise en main. Généralement, on utilise la chaux et le ciment par parties égales, mais on mettra une quantité plus ou moins grande de l'un ou de l'autre suivant l'usage et la qualité recherchée [14].

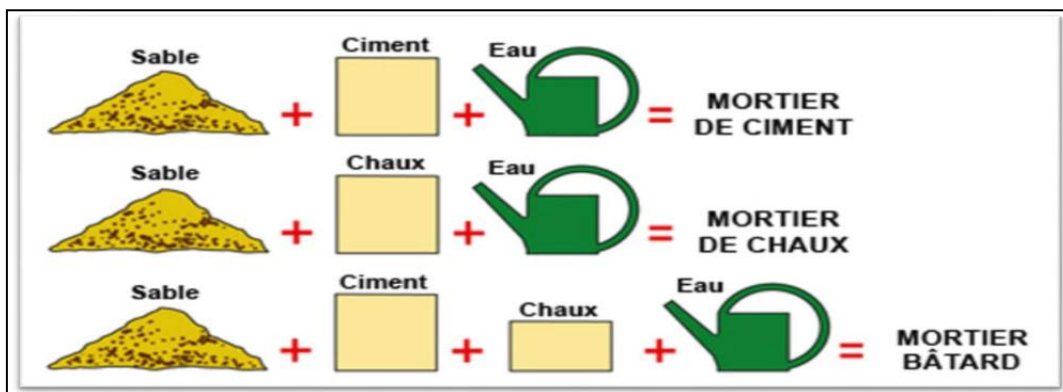


Figure II.3 : Type des mortiers [14].

II.2.3.4. 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 jointoiment.
- Mortier de ragréage.
- Mortier de scellement, mortier pour chapes.
- Mortier-colle pour carrelages, sur fond de plâtre ou de ciment ... [7].

II.2.3.5. Mortier rapide : Il est fabriqué avec du ciment prompt, il est rapide et résistant pour les scellements.

II.2.3.6. 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 ... [7].

II.2.4. Classification des mortiers : Les mortiers sont classés comme suit :

A. Classification générale des mortiers 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.
- Mortier d'injection.

B. La nature du liant : On peut classer les mortiers selon la nature du liant en :

➤ **Le mortier de ciment :**

Les mortiers de ciments sont très résistants, prennent et durcissent rapidement. Le dosage du rapport entre le ciment et le sable est en général volumétrique de 1/3 et le rapport de l'eau sur ciment est environ 1/2. De plus, un dosage en ciment les rend pratiquement imperméables. En revanche, il est davantage sujet au retrait.

➤ **Le 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.

On trouve deux types de chaux :

- **La chaux aérienne** : Elle a l'avantage de durcir lentement, et uniquement au contact de l'air.
- **La chaux hydraulique** : Elle durcit au contact de l'eau, puis de l'air. L'usage de chaux dans un mortier permet généralement une application plus facile, grâce à un temps de séchage un peu plus long. Ces mortiers sont cependant plus complexes à doser que le ciment.

➤ **Le mortier bâtard :**

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

Les chaux apportent leur plasticité, les ciments apportent la résistance mécanique et un durcissement plus rapide [15].

II.2.5. Caractéristiques principales des mortiers :

Les caractéristiques principales des mortiers sont:

- Ouvrabilité.
- Prise.
- résistances mécaniques.
- retraits et gonflements, etc [16].

II.2.6. Application du mortier :

1. Le hourdage de maçonnerie :

La construction réalisée en éléments maçonnés (blocs de béton, pierre de taille, briques), nécessite leur assemblage avec un mortier qui doit présenter des caractéristiques mécaniques suffisantes pour assurer la transmission des charges et une compacité suffisante pour être étanche.



Figure II.4 : Pose de mortier de hourdage [17].

2. Les enduits :

Ce domaine d'application constitue l'un des plus vastes débouchés des mortiers. à côté des enduits traditionnels en trois couches décrites dans la norme NF P 15 201-1 et 2 (DTU 26.1), se développent aujourd'hui des enduits monocouches épais, ainsi que des enduits isolants [17].



Figure II.5 : Enduits isolants et enduits de façade [17].

3. Les chapes :

Les chapes ont pour fonction d'assurer la mise à niveau du dallage et la régularité de sa surface.

Les chapes peuvent constituer la finition. Elles peuvent aussi constituer le support d'un revêtement de sol. Elles doivent présenter une résistance suffisante pour assurer la transmission des charges au support, et parfois résister à l'abrasion ou au poinçonnement (sols industriels). Adhérente ou flottante, elles peuvent également avoir une fonction thermique ou acoustique.



Figure II.6 : Les chapes fluides et chape ciment [17].

4. Les scellements et les calages :

La multiplicité des problèmes de scellement et de calage a conduit les producteurs de mortiers industriels à mettre au point des produits spécifiques adaptés aux travaux à réaliser les scellements d'éléments de couverture, d'éléments de second œuvre, de mobiliers urbains, de regards de visite et assemblage d'éléments préfabriqués [18].



Figure II.7 : Les scellements [18].

II.3. Valorisation des déchets de brique :

II.3.1. Définition des déchets :

On définit le déchet comme un produit ou n'importe quel résidu issu métabolisme ou d'une activité humaine : domestiques, industrielles et agricoles, quand il ne peut plus être utilisé à d'autres fins par celui qui l'a fabriqué.

Un déchet correspond à tout matériau, substance ou produit qui a été jeté ou abandonné car il n'a plus d'utilisation précise.

Un déchet est, selon la loi du 15 juillet 1975 relative à l'élimination des déchets et à la récupération des matériaux du code l'environnement français : « tout résidu d'une processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau produit ou plus généralement tout bien meuble abandonné ou que son détenteur densité à l'abandon » [18].

II.3.2. Constitution chimique du déchet :

Les déchets sont pour la plupart constitués des mêmes molécules chimiques que celles de 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 [19].

II.3.3. Différents types des déchets (Norme de classements des déchets) :

Les déchets au sens de la présente loi comprennent trois grandes catégories :

- A. Les déchets ménagers et assimilés.
- B. Les déchets spéciaux (industriels, agricoles, soins, services,...).
- C. Les déchets inertes.

A. Les déchets ménagers et assimilés :

Il s'agit de tous les déchets issus des ménages, des activités industrielles, commerciales, artisanales et autres, qui sont assimilables aux déchets ménagers par leur nature et leur composition, tels que les déchets de cuisine, emballages...

B. Les déchets spéciaux :

Cette catégorie de déchets ne sont pas assimilés aux déchets ménagers et nécessitent un mode spécifique de traitement en raison de leur nature et de leur composition. L'origine de ces déchets est l'activité industrielle, agricole, les soins, les services et toutes autres activités, qui ne peuvent être collectés, transportés et traités dans les mêmes conditions que les déchets ménagers et assimilés. Il existe un cas particulier de déchets spéciaux, qui sont susceptibles de nuire à la santé publique et à l'environnement via leurs constituants ou par leurs matières nocives. On parle ici de déchets spéciaux dangereux.

1. Les déchets d'activités de soins :

On désigne sous ce terme les déchets venant des hôpitaux et cliniques et des métiers de la santé, mais aussi de divers établissements de soins tels que maisons de retraite, les dispensaires, les services vétérinaires... La responsabilité de l'élimination de ces déchets incombe au producteur.

2. Les déchets agricoles :

Ils proviennent de l'agriculture, de la sylviculture et de l'élevage. Beaucoup de ces déchets sont liquides et à ce titre, peuvent être considérés comme des effluents. Certains d'entre eux sont utilisés sur place en raison de leur richesse en matières organiques. Dans cette catégorie, nous pouvons citer les déjections d'élevage et les déchets des cultures et de la forêt.

C. Les déchets inertes :

Ce sont notamment, les déchets qui ne subissent aucune modification physique, chimique ou biologique lors de leur mise en décharge. Ces déchets proviennent de l'exploitation des mines, des carrières, des travaux de démolition, de construction ou de rénovation. Ils ne sont pas contaminés par des substances dangereuses ou autres éléments générateurs de nuisances et susceptibles de nuire à la santé et à l'environnement [20].

II.3.4. Déchet utilisé en génie civil :

1. Cendres volantes :

Les cendres volantes sont le résidu finement divisé résultant de la combustion du charbon pulvérisé. Elles constituent un produit minéral pulvérulent, consécutif du dépoussiérage des fumées rejetées par les centrales thermiques, qui utilisent du charbon broyé comme combustible en présence ou non de matériaux de Co-combustibles. Ces cendres sont obtenues par précipitation électrostatique ou mécanique de particules pulvérulentes contenues dans les gaz de fumée des chaudières.

Les cendres volantes constituent une matière première intéressante pour la fabrication de certains ciments, voire pour la formulation de bétons. Elle appartient alors à la famille des additions pour béton. [21].



Figure II.8 : Cendre volante [21].

2. Les 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.

En Europe, les laitiers sont en général ajoutés au ciment. On parle de ciment au laitier.

En Amérique du nord, ils sont incorporés directement dans le béton [22].

3. Mâchefer :

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 [23].

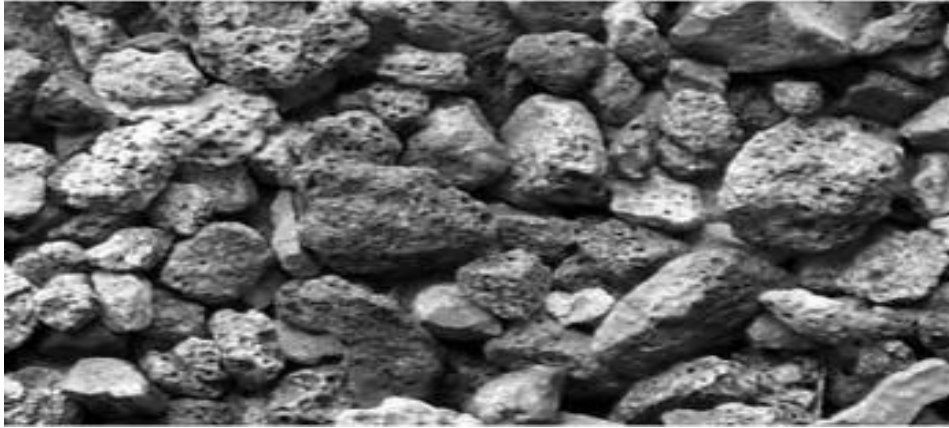


Figure II. 9 : Mâchefer [23].

4. 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.



Figure II.10 : Déchet de verre [24].

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 [24].

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 [24].



Figure II.12 : Béton récupéré [24].

7. 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 [24].

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.



Figure II.13 : Sciure de bois [24].

8. 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 [24].



Figure II.14 : Lin de textile [24].

9. 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 granulat léger.

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

Le béton contenant de tels granulats est plus perméable et si les briques contiennent de ses solubles, il peut y avoir corrosion e 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 gravie naturel.



Figure II.15 : Brique concassée [25].

II.4. Déchets de brique :

II.4.1. Définition de brique :

La brique est un parallélépipède rectangle, de terre argileuse crue et séchée au soleil ou cuite au four, utilisé comme matériau de construction. L'argile est souvent mêlée de sable.

II.4.1. Types de brique :

Il existe différents types de briques pleines avec des aspects de surface variée.

On distingue différents types de briques :

- la brique de terre crue, qui peut aussi contenir des fibres (pailles, lin, crin...).
- la brique de terre compressée.
- la brique cuite pleine, matériau traditionnel très ancien, avec une variante appelée brique pleine perforée (les perforations sont perpendiculaires au plan de pose).
- la brique légère et isolante (qui flotte sur l'eau) utilise une terre silico-magnésienne sans consistance mais qui mélangée à un vingtième environ d'argile plastique produisait des briques aussi résistantes que des briques ordinaires, mais très poreuses, conduisant mal la chaleur ou le froid et flottant sur l'eau.
- la brique cuite creuse, plus légère (et donc moins coûteuse à transporter) et plus isolante, est devenue la plus utilisée, Ses perforations sont parallèles au plan de pose de manière à ne pas diminuer sa résistance à la pression.
- la brique de chanvre, ayant de très bonnes propriétés d'isolation thermique.
- la brique non gélive.
- la brique réfractaire, pour la construction des fours, chaudières, foyers, cheminées, etc.

Selon le type, elles peuvent connaître différents usages :

- briques de parement : destinées à rester apparentes et sont purement décoratives.
- briques pleines : destinées à la construction de murs extérieurs, porteurs.
- briques plâtrières : servent à construire les cloisons intérieures et les murs de refend [25].

II.4.2. Technique de la production de la brique :

La production de la brique fonctionne généralement en flux continu et chaque phase génère un stock intermédiaire. Son procédé est représenté comme suit :

1. Extraction : La matière première naturelle de la brique de terre cuite est l'argile. Elle est extraite dans des argilières situées en zone, d'extraction (Figure II.15).



Figure II.16 : extraction et stockage de l'argile [6].

2. Préparation de l'argile : La préparation comprend deux opérations principales: le broyage et le malaxage d'une part, le dosage et le mélange des matières premières d'autre part. Le but est d'obtenir une masse argileuse bien homogène et plastique qui sera facilement transformée en produit fini.

3. Broyage et malaxage : Ces opérations ont pour but de rendre la masse d'argile homogène et de lui conférer la plasticité nécessaire au moulage des briques. Cette opération a également pour but de réduire les inclusions solides éventuellement présentes dans l'argile pouvant influencer négativement la structure du produit en terre cuite.

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

- Briques moulées main.
- Briques pressées.
- Briques étirées.



Figure II.17 : Façonnage de la brique [6].

5. Séchage : est en effet indispensable de faire sécher doucement la brique de terre crue, avant de la cuire. Ce séchage se fait actuellement en séchoir artificiel, mais autrefois, la brique était mise à sécher sous de vastes hangars à l'air libre [6].



Figure II.18 : séchage de briques [6].

6. La cuisson : est l'opération la plus délicate, la brique est mise à cuire dans un four.

7. Emballage : Après la cuisson, les briques sont prêtes à être transportées et livrées sur chantier. Pour des raisons de facilité et de sécurité, elles sont préalablement empilées sur des palettes et emballées de façon à minimiser la quantité d'emballage utilisé [26].



Figure II.19 : Emballage de briques [6].

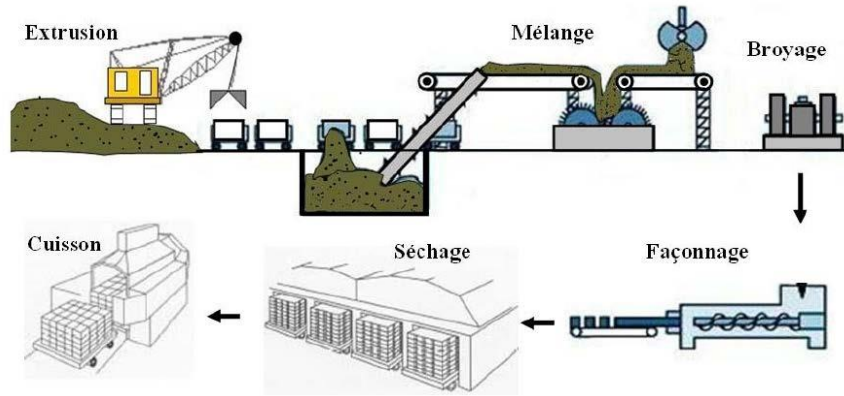


Figure II.20 : procédé général de fabrication de la brique [6].

II.4.3. 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 [27].

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 [27].



Figure II.21 : Déchet de brique [27].

- **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.

- **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. Les briques, peuvent être concassées et utilisées 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.

II.4.4. Avantages et inconvénients d'utilisation des briques :

A. Avantages :

Les avantages du point de vue environnement sont :

- La terre absorbe et restitue l'humidité.
- La terre régule la température par inertie thermique.
- La terre est un très bon isolant phonique.

Les Avantages écologiques sont :

- La terre utilise peu d'eau en phase de transformation.
- La terre 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.

B. 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 [27].

II.5. Effet de la température de cure :

Il est bien connu que la vitesse d'une réaction chimique augmente sous l'effet de la température. Un traitement thermique accélère l'hydratation initiale des ciments hybrides de la même manière que les CPO et la dissolution des espèces actives (silice et alumine) du précurseur aluminosilicate [28]. Garcia-Lodeiro et al. ont indiqué que le gel C-S-H formé lors de l'hydratation de CPO à des températures supérieures à 65°C est plus polymérisé que lorsqu'il se forme à température ambiante [29].

Escalante-Garcia et al. Et Komljenovic ont montré la forte influence de la température de cure sur le développement de la résistance d'un mortier à base de laitier activé par un alcali [30,31]. Un retard de développement de résistance significatif pour les échantillons conservés à 5°C a été relevé. Une augmentation de la température de cure de 20 à 40°C est accompagnée d'un accroissement de résistance. Pour leur part, Qu et al. ont indiqué que des échantillons à base de ciment hybride pré-industrialisé (issu d'un co-broyage de 30% de clinker, 32.5 % de laitier, 32.5 de cendres volantes et 5% d'activant solide) conservés à 25°C ont montré des résistances de 35 et 40 MPa à 28 et 90 jours alors que les échantillons conservés à 85°C présentaient une résistance à la compression de 30MPa à seulement 3 jours. Une très faible augmentation a été enregistrée avec le temps. Ainsi, l'effet bénéfique de la température est atténué avec le temps. Les produits qui se forment rapidement dans les pâtes conservées à 85°C font une barrière autour des particules n'ayant pas réagi, retardant leur hydratation [32]. D'autres études ont toutefois relevé l'existence de seuil de température au-delà duquel un effet négatif sur les résistances du matériau peut être enregistré. A cet effet, Li Ndjock et al. ont indiqué qu'à l'exception de la phase amorphe déjà dissoute, un milieu hautement alcalin (hydroxyde de sodium 8 M) et une température de cure élevée (80°C) ont peu d'effets sur la dissolution de la silice et de l'alumine de cendres volantes [28], alors que Komljenovic a lié l'arrêt du développement des résistances avec une grande température à la perte irréversible de l'eau présente dans le système et nécessaire à la poursuite de la réaction [31].

A noter Escalante-Garcia et al. que la combinaison d'une température et d'une alcalinité élevées favorise la réactivité et la résistance de mortiers de laitier de haut fourneau et de ciment Portland [30].

Des travaux menés par [Tan et Gjorv, 1996] ont montré que l'effet de la température de mûrissement sur la résistance à la compression exprime en pourcentage de diminution, est plus petit dans le cas de BHP que dans le cas du béton usuel. La figure II.7 montre que la résistance à la compression à 28 jours diminue de 11 %, 15 % et 23 % lorsque la température augmente de 20 à 50, 65 et 80 °C respectivement pour le béton usuel (Mix N3). Tandis que, elle est de 2 %, 6 % et 7 % dans le cas de béton léger à haute performance (HSLWC) [33]. Relient cela, au fait que, les grains de ciment sont tellement proches de façon que la quantité des hydrates formes dans la période initiale de mûrissement, sera suffisante pour remplir tous les espaces inters granulaires. Par conséquent, la diminution du taux d'hydratation dans la période qui suit, cause par l'augmentation de la température de mûrissement, n'affecte pas la résistance à long terme. Toutefois, l'influence de la température de mûrissement sur la

résistance à la compression à long terme des BHP dépend du type de liant [34].

Enfin, dans une étude antérieure sur des cendres volantes, Palomo et al. ont trouvé qu'à une température élevée était plus influente que le temps de cure [35]. Pour leur part, Reig et al. ont rapporté qu'en générale, il est admis que la cure à des températures supérieures à 65°C améliore les résultats de résistance à la compression et réduit la formation d'efflorescences, qui sont attribuées au développement plus important des réactions d'activation alcaline des matériaux aluminosilicates [36].

II.6. Influence de la température sur le comportement du béton :

Lorsque le béton est exposé à des variations de température, sa microstructure subit des modifications physico-chimiques tout au long du chauffage entraînant une déshydratation du gel de ciment (CSH). Cette déshydratation induit une évolution de la microstructure du matériau, donc une évolution des propriétés mécaniques, thermiques et de transport. Elle induit aussi la création d'eau libre à l'intérieur du matériau et donc une augmentation de pression inertielle [37].

II.6.1. Influence de la température sur le développement microstructural :

II.6.1.1. Développement microstructural :

La Figure II.22 présente des micrographies caractéristiques des bétons étudiés à différentes températures (variantes de 5°C à 60°C) à 1 jour et à 1 an. À basse température, après un jour d'hydratation, la réaction d'hydratation est moins avancée qu'à haute température. À température plus élevée, on observe pour le béton à 60°C, de nombreux (petits grains totalement hydratés). À 40°C, la matrice cimentaire semble être remplie de manière plus homogène qu'à 60 °C [37].

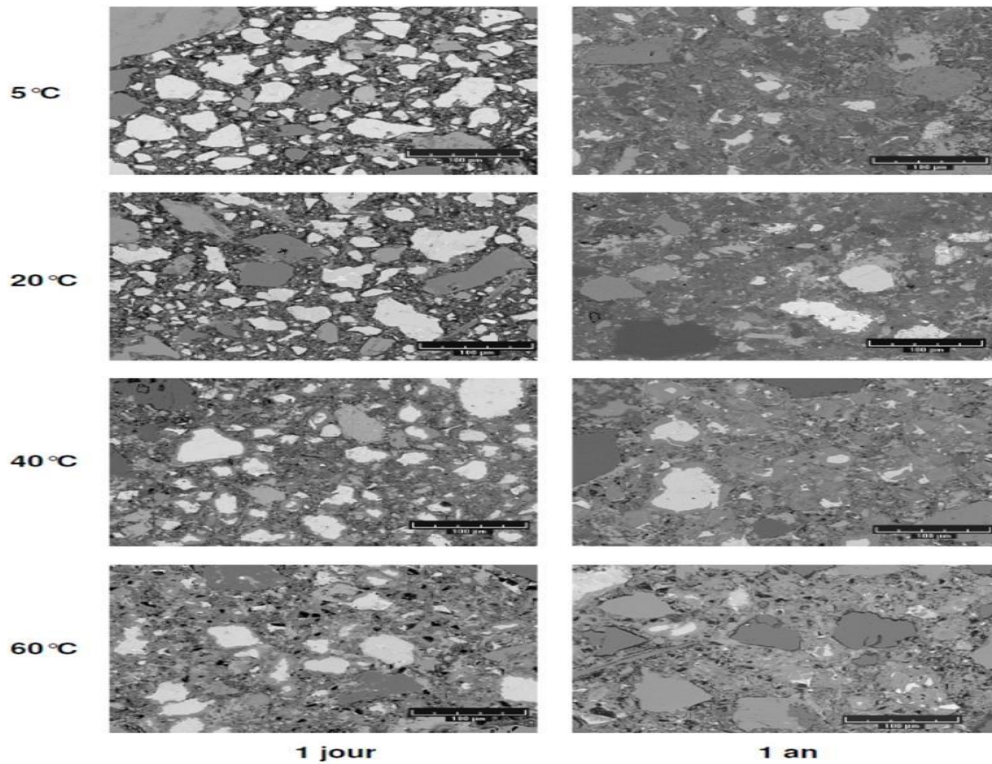


Figure II.22 : Micrographies caractéristiques après 1 jour et 1 an d’hydratation [37].

Après 1 an d’hydratation, quelle que soit la température, la microstructure des bétons est plus dense. L’hydratation est très avancée dans tous les cas. L’homogénéité des matrices est en revanche significativement différente : plus la température augmente plus les différentes phases sont distribuées de manière hétérogène. À 60°C, la microstructure a peu évolué depuis 1 jour, particulièrement en ce qui concerne la porosité capillaire. À basse température, la matrice est remplie de façon plus homogène par les produits d’hydratation alors que plus la température augmente, plus ces produits se concentrent autour des grains de ciment laissant un réseau de pores capillaire plus large [37].

II.6.2. Effet de la température sur la résistance mécanique du béton :

La température est une variable clé des conditions de durcissement des bétons, car il influe sur l’hydratation et les propriétés de la pâte de ciment ou du béton durci. La température d’hydratation a un impact significatif sur l’hydratation de la pâte de ciment et du béton [38].

- **À court terme** : selon [39], du fait de cette croissance accélérée des produits d’hydratations au sein de la matrice cimentaire, l’augmentation de la température de mûrissement accélère la prise et le durcissement du béton ce qui permet un décoffrage rapide à court terme, se traduisant par un gain accéléré de résistance. La résistance en compression à 28 jours peut être atteinte en seulement 24 heures.

- **À long terme** : Cet effet sur la résistance s'inverse entre 7 et 15 jours d'hydratation du fait qu'une hydratation rapide présente une structure physique moins compacte [39]. En effet, une vitesse d'hydratation initiale rapide due à des températures élevées retarde l'hydratation subséquente et conduit à une distribution non uniforme des produits hydratés. Selon, plus la température de mûrissement est élevée, plus la résistance à court terme est élevée. Alors qu'à long terme, l'influence de la température est inversée, c'est-à-dire que plus la température initiale est élevée, moins bonnes sont les résistances [38].

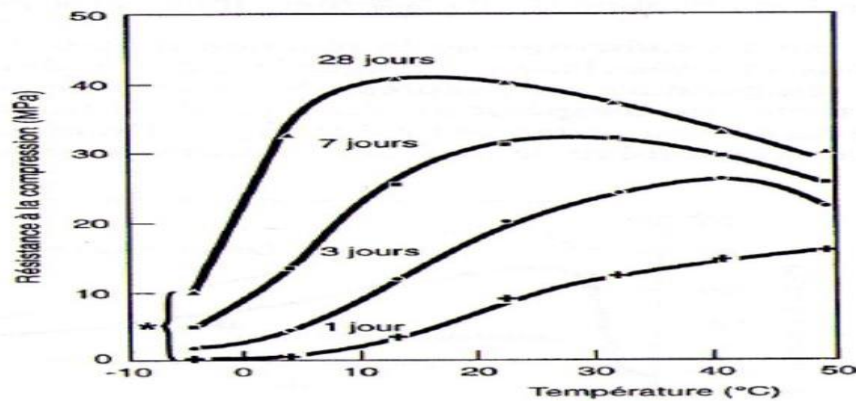


Figure II.23 : Influence de la température de mûrissement du béton sur la résistance à la compression d'un béton à différentes échéances [40].

La figure II.23 montre que plus la température de mûrissement du béton est élevée, plus la résistance à un jour de ce béton est élevée ; alors que pour les âges de trois à vingt-huit jours l'influence de la température change radicalement. En effet, pour chacun des âges étudiés à partir de trois jours, il existe une température optimale à laquelle correspond le maximum de résistance. En fait, cette température optimale de mûrissement diminue lorsque l'échéance considérée augmente. Cependant, les causes à l'origine des réductions de résistances observées à long terme pour les bétons mûris à des températures élevées sont beaucoup plus complexes et suscitent encore l'intérêt des chercheurs jusqu'à ce jour [40].

II.7. Conclusion :

Cette chapitre parle sur Les mortiers sont composés de : liant, sable, chaux, eau, se différent par leur composition et leur consistances d'où la différence du domaine d'utilisation.

Et sur généralité de brique et l'emploi de déchet de brique dans le domaine de génie civil aussi on considérer dans cette partie que les habitations on brique offrent ainsi les meilleures conditions pour un climat intérieur sain. le brique est une matière n'est pas banale. Elle à une vie, elle a souvent muté au cours de son existence pour se retrouver dans les poubelles et les décharges. Avec une telle diversité moléculaire, qu'il est nécessaire de trouver les moyens pour en extraire les fractions valorisables ou pour atténuer les capacités de nuisances .Le brique soit visible ou crépie , elle rayonne d'une atmosphère qui nous est bénéfique. Notre recherche dans les déchets, nous montre la possibilité d'utilisation des briques (dits inertes) dans le domaine de génie civil.

CHAPITRE III
MATERIAUX ET
PROCEDURES
EXPERIMENTALES

CHAPITRE III : MATERIAUX ET PROCEDURES EXPERIMENTALES

III.1. Introduction :

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

Le ciment est un composant essentiel des matériaux cimentaires comme le béton. Il assure une fonction mécanique, car il lie le squelette granulaire, mais il est aussi en grande partie responsable de la tenue à long terme du matériau béton. La conception d'un béton est extrêmement liée à l'environnement dans lequel va être exposé durant sa durée de vie.

III.2. Caractérisation des matériaux utilisés :

III.2.1. Ciment :

Nous avons choisi dans cette mémoire le ciment spécialement utilisé ciment portland CPA CEM I/42,5, dans la réalisation des structures en béton armé, cette ciment provenant de la cimenterie de LAFARJ qu'il répond à la norme Algérienne NA 442 (NA 442, 2013) et à la norme européenne EN 197-1 avec un taux en C3A < 3% (cf. [fiche technique Annexe](#)).



Photo III.1 : Sac de ciment CEM I/A 42,5.

III.2.2. Sable :

Dans cette étude, nous avons utilisé le sable de oued M'Zi (Laghouat).



Figure III.1 : sable de oued M'Zi Laghouat [41].

III.2.2.1. Analyse granulométrique [NF P- 560 Septembre 1990] :

On peut définir l'analyse granulométrique par tamisage c'est un ensemble des opérations aboutissant à la séparation selon leur grosseur des éléments constituant échantillon, en utilisant des tamis, emboîtés les uns sur les autres, dont les dimensions des ouvertures sont décroissantes du haut vers le bas.

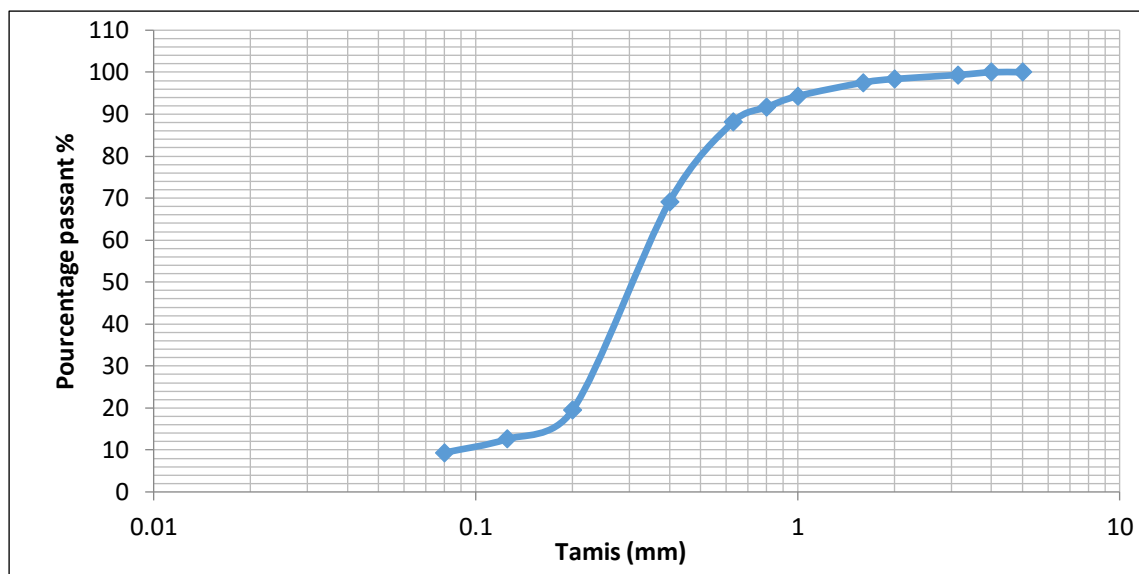
L'essai granulométrique permet de déterminer les pourcentages des grains selon leurs diamètres, en tamisant un sol sec sur une série de tamis de diamètres connus.



Photo III.2 : Les tamis utilisé à LTPS.

Tableau III.1 : Résultats d'analyse granulométrique du sable utilisé.

Les tamis	Refus partiel (g)	Refus cumulé (g)	Pourcentage refus %	Pourcentage passant %	Observation
5	0	0	0	100	100%
4	13,8	0	0,00	100	100%
3,15	13	13	0,65	99,35	99%
2	19,2	32,2	1,61	98,39	98%
1,60	17,3	49,5	2,48	97,53	98%
1	64,3	113,8	5,69	94,31	94%
0,80	53,7	167,5	8,38	91,63	92%
0,63	70	237,5	11,88	88,13	88%
0,40	379,5	617	30,85	69,15	69%
0,20	993,3	1610,3	80,52	19,49	19%
0,125	137,7	1748	87,40	12,60	13%
0,08	64,5	1812,5	90,63	9,36	9%



Graphé III.1 : La courbe granulométrique de sable utilisé.

III.2.2.2. Equivalent de sable [NF EN 933-8] :

L'essai s'effectue sur un échantillon de sable humide afin d'éviter les pertes d'argile il faut vérifier que les grains de sable ont bien un diamètre inférieur à 5 mm par tamisage et vérifier que la masse sèche de l'échantillon soit de 120g, cet essai est effectué selon deux méthodes, l'une est visuelle, l'autre par piston, cet essai consiste à séparer les particules plus grossier.

Une procédure normalisée permet de déterminer un coefficient d'équivalent de sable qui quantifie la propreté de celui.

$$ES = \frac{h_1}{h_2} \times 100$$

Où :

Hauteur h_1 : sable propre + éléments fins.

Hauteur h_2 : sable propre seulement.

Selon que la hauteur h_2 mesurée visuellement ou à l'aide du piston en déterminer :

ESV (équivalent de sable visuel), et ESP (équivalent de sable par piston).

Tableau III.2 : résultat de l'essai de l'équivalent du sable utilisé.

Paramètre	unité	Equivalent de sable visuel	Equivalent de sable par piston
H₁	cm	12.5	12.6
H₂	cm	7.6	7.8
ES	%	61	60
ES moyenne	%	60.5 %	

III.2.2.3. La masse volumique apparente de sable [NF P18-555] :

Déterminer les masses volumiques apparentes du matériau, c'est-à-dire sa densité à l'état naturel (en présence des pores).

Tableau III.3 : résultats de la masse volumique apparent de sable.

N° d'essai	M (g)	ρ_{app} (g/cm ³)	ρ_{app} (g/cm ³)
Essai 1	2855	1,4275	1,4438
Essai 2	2883	1,442	
Essai 3	2923	1,462	

M : la masse de l'échantillon sans poids du récipient.

La masse volumique apparente du sable est déterminée par la formule :

$$\rho_{app} = \frac{M}{V} \text{ (g/cm}^3\text{)}$$

Où :

ρ_{app} : la masse volumique apparente.

V : volume de récipient est connu 2000 cm³.

III.2.2.4. La teneur en eau [NF P18-554]:

L'essai de teneur en eau permet de déterminer quel est le pourcentage massique (W%) d'eau dans le sable étudié.

La teneur en eau donnée par la formule :

$$W = \frac{M_h - M_s}{M_s} \times 100 (\%)$$

Où :

M_h : la masse de sable humide (g).

M_s : la masse de sable sec (g).

III.2.2.5. Caractérisation chimique de sable [EN P 15-461] :

Les essais de caractérisation du sable sont effectués au laboratoire de travaux publics du sud Ghardaïa (LTPS) et sont regroupée sur le tableau :

Tableau III.4 : analyse chimique du sable utilisé.

Echantillon	Sable
Insolubles %	92.6
Carbonate CaCO_3 %	05

II.2.3. Déchet De Brique :

Le déchet de brique rouge, le broyage de brique faite au niveau du laboratoire MDC de l'université de Ghardaïa par le broyeur. La figure représente la brique utilisée dans cette étude.



Photo III.3 : Le déchet brique utilisée dans cette étude.

III.2.3.1. Préparation du déchet de brique :

1. Le processus de collecte des déchets de briques :

La première chose est que nous collectons les déchets de briques impropres et cassées dans les usines de fabrication de briques, car il est normal que lors de la fabrication de superbes briques, il y ait de gros déchets dans chaque processus de fabrication, et nous collectons également les déchets de briques des gravats des maisons démolies [42].



Photo III.4 : Remblai de déchets de briques dans une usine à Laghouat.

2. Processus de concassage de brique :

Après le processus de collecte, nous mettons les chutes de briques dans la machine de concassage de pierre (concasseur) et nous obtenons de petits granules des briques.

Et après l'avoir écrasé dans la machine concasseur, nous l'écrasons également et le broyons dans une machine Los Angeles, nous mettons 5 kg de granulés de brique avec 12 granulés de fer ... nous les mettons dans une machine de Los Angeles pour qu'ils tournent 1500 tours ,d'obtenir des granulés plus petits que les précédents.



Photo III.5 : La machine de concasseur des briques.



Photo III.6 : Les granules des briques que nous obtenus de la machine concasseur.



Photo III.7 : Les granules des briques que nous obtenus de la machine los Anglos.

Et le dernier processus de craquage a lieu dans une machine micro-Duval ... où nous avons mis les dernières briques que nous avons retirées de la machine de Los Angeles et mis 2 kilogrammes Des briques avec 500 grammes de granulés de fer, Puis il tourne 2000 tours.

Et enfin, nous obtenons de la poudre et des granulés très fins à partir de brique d'argile hétérogène.



Photo III.8 : Granulés de brique dans le Moule de la machine de Micro Duval avec granulés de fer.



Photo III.9 : La Machine Micro Duval à LTPS.

3. Tamisage de poudre de brique :

Dans ce processus, nous tamisage la poudre et les granulés hétérogènes, nous utilisons un certain nombre de tamis Dans ce processus, nous avons utilisé Les dimensions de la série des tamisages d'ouverture (en mm) : 0,08 - 0,16 - 0,32 - 0,63 -1,25 - 2,5 - 5,0.

Et nous effectuons le processus de tamisage manuellement jusqu'à ce que nous obtenions une poudre qui est passée sur l'ouverture du tamis 0,08mm.



Photo III.10 : Les tamis que nous avons utilisés.



Photo III.11 : Tamisage manuellement de la poudre et granulés des briques.



Photo III.12 : Classification de la poudre de brique en fonction du diamètre des granulés.



Photo III.13 : La poudre finale de brique qui est passée sur le tamis 0.08 mm.

III.2.3.2. analyse chimique de déchet de brique [EN P 15-461] :

Les essais de caractérisation du sable sont effectués au laboratoire de travaux publics du sud Ghardaïa (LTPS) et sont regroupée sur le tableau :

Tableau III.5 : analyse chimique de sable.

Echantillon	Déchet de brique
Insolubles (%)	82.5
Carbonate CaCO_3 (%)	0
Sulfate SO_3 (%)	0.95

III.2.4. Eau de gâchage :

L'eau utilisée pour la confection du mortier est celle du robinet de laboratoire des travaux publics du sud (LTPS) Ghardaïa, l'analyse chimique de l'eau a été effectuée à L'algérienne Eaux (unité Ghardaïa).

Tableau III.6 : composition chimique de l'eau de gâchage.

Tur	0.840
Count	2070
Sol	1.1
TDS	1178
TC (25°C)	20.4
PH $\geq 6.5 \leq 9$	7.34
TH (mg/l)	772
TAC (mg/l)	273.28
Ca²⁺ (mg/l)	176.352
Mg²⁺ (mg/l)	80.672
Cl⁻ (mg/l)	385.728
NO₃⁻ (mg/l)	21.28
Fe²⁺ (mg/l)	0.034
HCO₃⁻ (mg/l)	183
K⁺ (mg/l)	14.54
Na⁺ (mg/l)	190
SO₄⁻ (mg/l)	455.585
R.S (mg/l)	2125

III.3. Méthode de formulation de mortier cimentaire :

Pour la préparation des mortiers on a à chaque fois répété le protocole suivant :

1. Huiler l'intérieur des moules d'une légère couche pour faciliter le démoulage, Une attention particulière doit être donnée à la couche d'huile à mettre, car une présence trop prononcé d'huile peut affecter le mélange de mortier en s'infiltrant dans le mélange nuisant à la réaction d'hydratation et diminuant sa résistance à la compression.
2. Préparer tout le matériel et matériau nécessaire pour la confection des mortiers.
3. Préparer les pesées des matériaux à utilisés (sable, ciment, eau, déchet de brique).

L'eau : 270 ml, E/C : 0.6, Sable : 1350 g.

Tableau III.7 : pourcentage de remplacement de ciment par des briques.

Pourcentage de brique	Ciment (g)	Brique (g)
0%	450	0
5%	427.5	22.5
10%	405	45
15%	382.5	67.5
20%	360	90
25%	337.5	112.5



Photo III.14 : Moule normalisé de 40x40x160 mm.



Photo III.15 : Matériaux utilisés.

1. Le malaxage :

Le malaxage joue un rôle précieux dans la fabrication des mortiers, d'où la nécessité de maîtriser et respecter son mode et son temps.

Le mélange (ciment déchet de brique) et-eau est mélangé pendant 30 secondes à vitesse lente à l'aide d'un Malaxeur à mortier normalisé. Le sable est ensuite introduit graduellement pendant 30 secondes, on reprend le malaxage pendant 30 secondes à vitesse rapide puis un arrêt pour racler les parois et le fond de la cuve pendant 15 Secondes. On reprend ensuite le malaxage pendant 1.30 minute à vitesse rapide afin d'homogène la pâte. La mise en moule doit se faire immédiatement après l'essai de maniabilité dans notre cas dans des moules normalisés.

Le malaxage de nos mortiers a été réalisé avec un malaxeur de laboratoire pour mortier à axe vertical, constitué d'une cuve et d'une palette centrale tournante à deux vitesses lente et rapide, de capacité de 5 litres.



Photo III.16 : Malaxeur électrique utilisée dans la fabrication du mortier [Labo Béton – LTPS].

2. Moulage des éprouvettes :

Nous Moulent les éprouvettes immédiatement après la préparation du mortier. Le moule et la hausse étant solidement fixés sur la table à chocs, introduire, à l'aide d'une cuiller appropriée, en une ou plusieurs fois, la première des deux couches de mortier (chacune d'environ 300 g) dans chacun des compartiments du moule, directement à partir du bol de malaxage.

Nous Étaler la couche uniformément à l'aide de la grande spatule , tenu presque verticalement, avec ses épaulements en contact avec la partie supérieure de la hausse, et mue en avant et en arrière, une fois, sur toute la longueur de chaque compartiment du moule. Ensuite, nous serrer la première couche de mortier par 60 chocs de l'appareil à chocs. Et nous Introduire la seconde couche de mortier, en veillant à assurer un surplus, niveler à l'aide de la petite spatule et serrer à nouveau par 60 chocs [42].

Et nous Retirer doucement le moule de la table à chocs et ôter la hausse. Nous Enlever immédiatement l'excès de mortier à l'aide de la règle métallique.

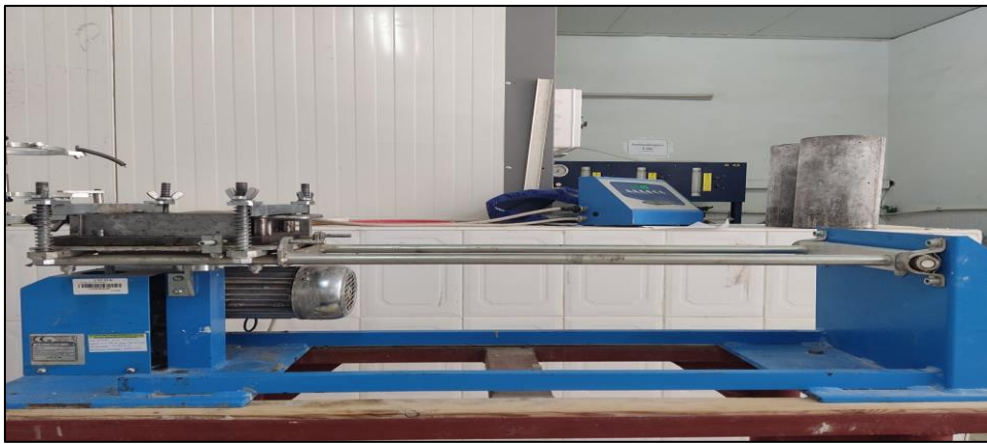


Photo III.17 : Le moule fixé sur la table d'impact.

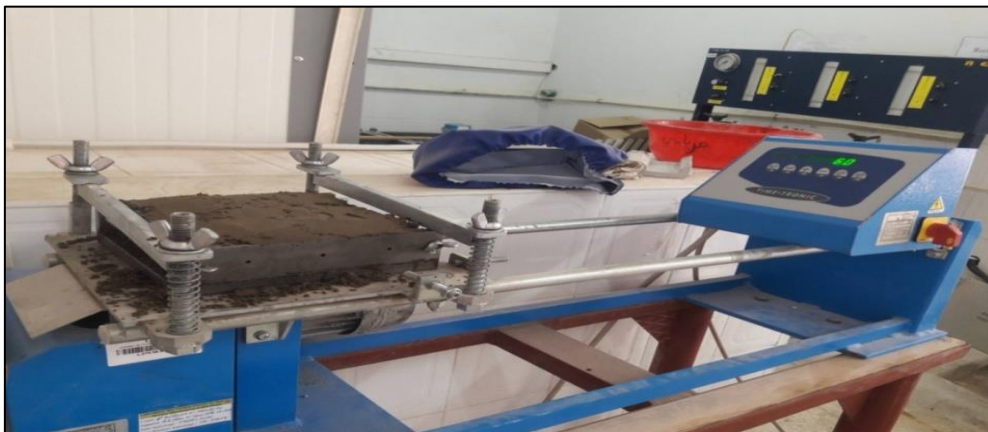


Photo III.18 : Le moule est rempli et installé sur la table d'impact.



Photo III.19 : Le moules sont prêts et remplis.

3. Démoulage des éprouvettes :

Après 24 heures, les échantillons sont retirés du moule, et une partie d'entre eux est placée dans la salle de stockage climatisée à une température de 20 ± 5 ° C et une humidité relative de $97 \pm 5\%$ et l'autre partie est placée dans récipients en plastique, immergés dans l'eau et placés dans un four à une température de 45 ± 5 ° pendant 7 jours, puis 14 jours et 30 jours.



Photo III.20 : Démoulage les échantillons.

III.4. Méthodes expérimentales :

III.4.1. Variation de la masse :

La masse est mesurée à partir de tests en laboratoire, le principe de ce test est Mesurer la masse d'un échantillon de chaque lot d'échantillons placés à 20 ± 5 ° Et 45 ± 5 ° Pèse sur une balance avec une précision de 0,01g.



Photo III.21 : Balance de 0.01g à LTPS.

III.4.2. Essai de compression :

Des tests de pression simples ont été réalisés au laboratoire LTPS sur un piston Programmé pour les tests de pression (éprouvette), et Les demi-prismes d'éprouvettes obtenues après la rupture en flexion qui seront rompus en compression.

Nous mettons l'échantillon Entre deux plateaux de la presse, le plateau inférieur est place Fixe, plaque supérieure mobile.

Tomber écrase un corps l'échantillon par rapport au panneau inférieur, la tension est appliquée progressivement vitesse de téléchargement constant, l'essai de compression est ainsi terminé, et la charge maximale est donnée dès que la panne est déclenchée, cette charge maximale sera utilisée pour déterminer la résistance qui il a été reçu.

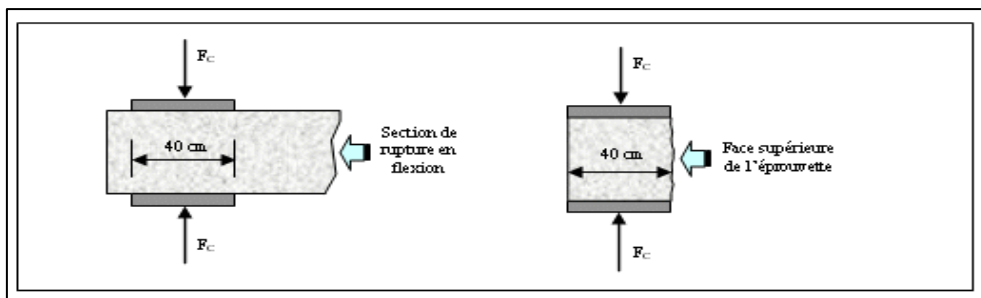


Figure III.2 : Dispositif de rupture en compression [42].



Photo III.22 : Dispositif de l'essai mécanique de Compression.



Photo III.23 : Dispositif de l'essai mécanique de Compression.

III.4.3. Essais à la traction par de flexion :

L'essai de flexion permet également de mesurer la résistance à la rupture d'un matériau. Une barrette du matériau à tester est placée sur deux appuis et l'on applique au centre de la barrette une force croissante jusqu'à rupture.

C'est l'essai généralement le plus utilisé dans la caractérisation des matériaux. L'essai est réalisé sur des éprouvettes prismatiques, a l'âge 7 et 14 et 30 jours.

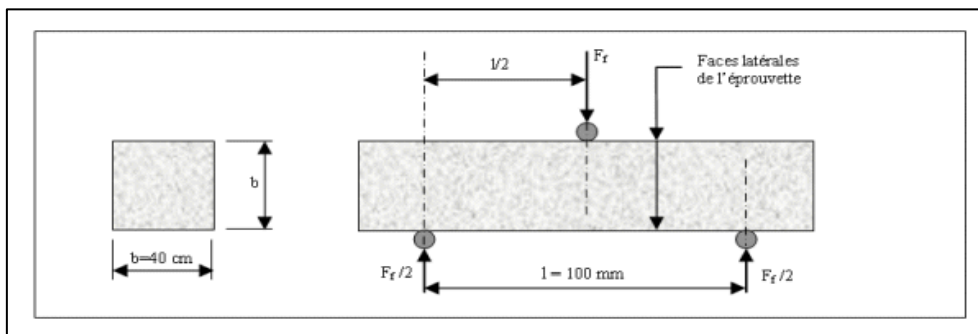


Figure III.3 : Dispositif de flexion [42].

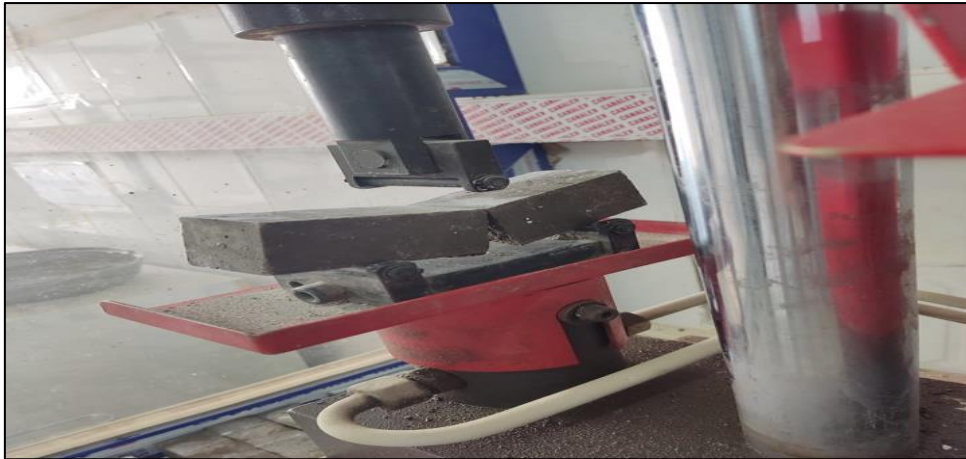


Photo III.24 : Dispositif de l'essai mécanique de rupture par flexion.

III.4.4. Absorption capillaire :

Les mesures de capillarité sont réalisées selon les prescriptions de la norme AFPCAFREM sur éprouvettes de dimensions 40x40 mm.

Les échantillons sont d'abord séchés à l'étuve à la température de 55 °C jusqu'à la stabilisation de la masse, puis laissés à l'air libre et pesés à l'aide d'une balance de précision 0.01 g, afin de déterminer leur poids à l'état sec M_0 . Les échantillons sont ensuite placés sur un lit de gravier dans des récipients en plastique peu profonds, contenant de l'eau.

La profondeur d'immersion des surfaces d'échantillon pendant le test d'absorption est de 2 à 3 mm.

Après chaque échéance de submersion, les échantillons sont prélevés de l'eau, essuyés et séchés superficiellement pour enlever l'excès d'eau présente sur la surface puis pesés (M_t).

Les mesures de masse et pénétration d'eau sont prises à des intervalles : 5, 10, 15, 30, 45, 60, 75, 90 min et 24.heurs.

Le coefficient d'absorption capillaire est défini par la relation suivante :

$$C = \frac{M_t - M_0}{A}$$

Où :

C : Coefficient d'absorption capillaire (kg/m²).

M_t : Masse de l'éprouvette à l'instant t (kg).

M₀ : Masse initiale de l'éprouvette (kg).

A : Section immergée de l'éprouvette (m²).

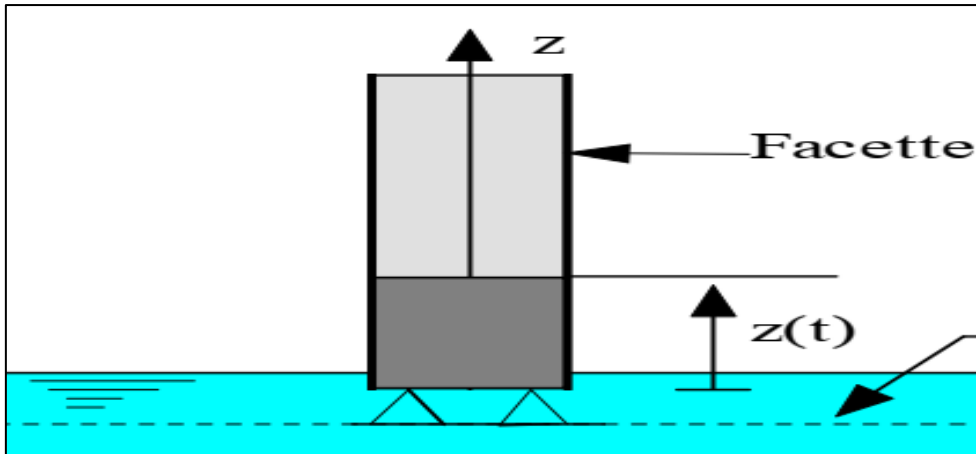


Figure III.4 : Dispositif expérimental de l'essai d'absorption capillaire [42].

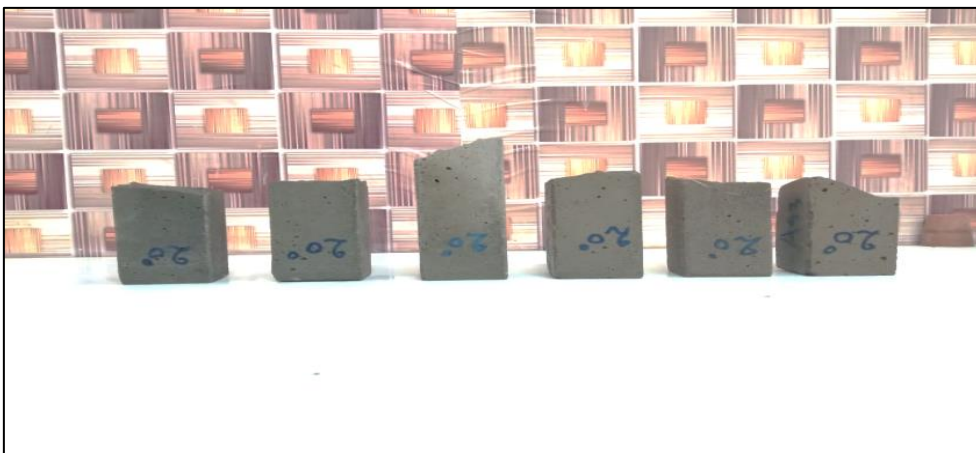


Photo III.25 : Pourcentages du test d'absorption capillaire pour les échantillons qui ont été placés à 20°C.

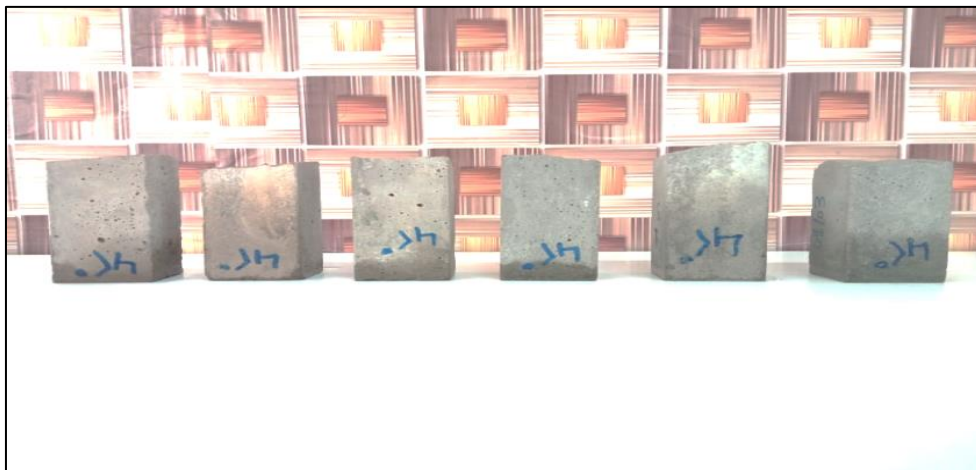


Photo III.26 : Pourcentages du test d'absorption capillaire pour les échantillons qui ont été placés à 45°C.



Photo III.27 : Pourcentages du test d'absorption capillaire pour les deux échantillons.

III.4.5. Porosité accessible à l'eau :

La porosité accessible à l'eau a été mesurée selon la recommandation de l'AFC-AFAM cette porosité a été estimée en faisant la moyenne de trois valeurs.

Les échantillons ont d'abord été séchés dans une étuve à 55°C, jusqu'à stabilisation de la masse (M_d). Puis l'air présent dans les pores de mortier a été évacué à l'aide d'une pompe à vide.

La masse des cubes de mortier entièrement saturés a été calculée en utilisant l'équation suivante :

$$P = \frac{(M_{SA} - M_d) * 100}{(M_{SA} - M_{SW})} \%$$

Où :

M_{SA} : la masse saturée d'eau dans l'air.

M_d : la masse sèche.

M_{SW} : la masse saturée d'eau sous l'eau.

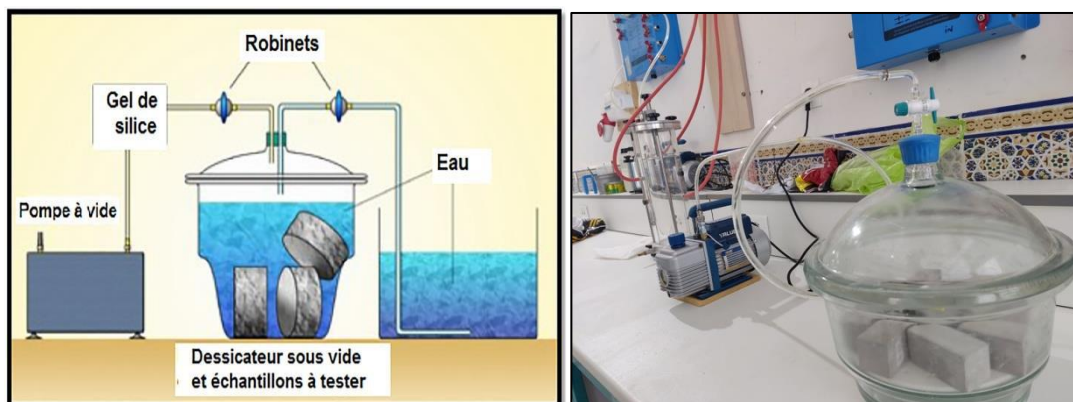


Photo III.28 : Montage pour la mesure de la porosité accessible à l'eau à LTPS.

III.6. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté le matériel et les méthodes expérimentales utilisées dans cette étude.

De plus, nous avons discuté en détail des différentes méthodes de préparation appliquées aux briques rouges.

Nous avons également démontré les protocoles de test utilisés dans cette étude pour déterminer les propriétés physiques (densité, porosité, absorption capillaire) et mécaniques (résistance à la compression, résistance à la traction par flexion) des composés et de remplacement du ciment par différents pourcentages de déchets de briques rouges.

CHAPITRE IV
RESULTATS
EXPERIMENTAUX ET
INTERPETATIONS

CHAPITRE IV : RESULTATS EXPERIMENTAUX ET INTERPETATIONS

IV.1. Introduction :

Dans ce chapitre nous présentons les résultats de différents essais effectués sur mortier Qui a été préparé en remplaçant le ciment par des déchets de briques rouges dans des proportions différentes.

Ces résultats portent sur la résistance mécanique (compression et traction par flexion). Et sur les propriétés physiques (d'absorption capillaire et de porosité).

IV.2. La masse volumique :

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 :

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

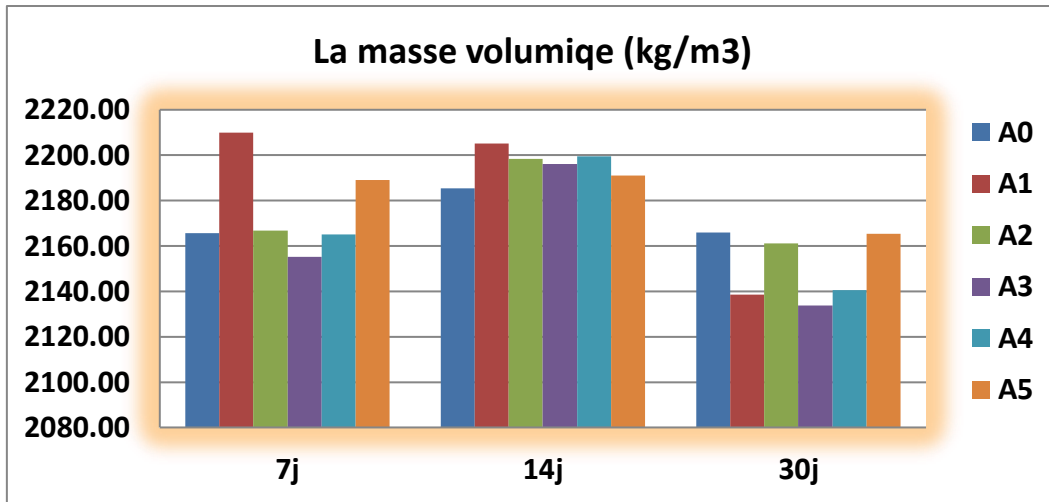
m : La masse en (kg),

v : Le volume en (m³).

Le résultat des essais physiques des différentes variantes élaborées, notamment les valeurs de la masse volumique à l'état durci à 7 et 14 et 30 Jours sont illustrées dans le tableau et les histogrammes suivants :

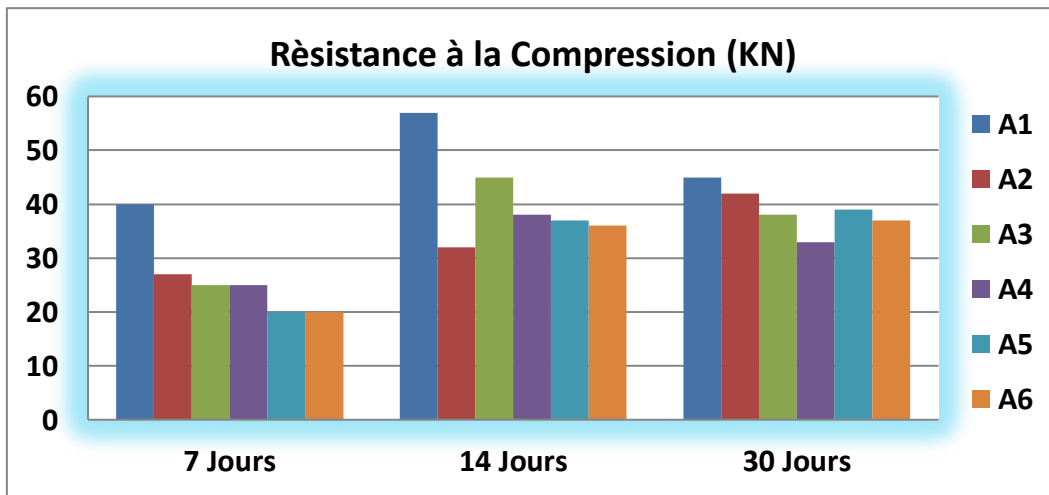
Tableau IV.1 : Résultat des masses volumiques des variantes étudiées.

Masse volumique (Kg/m ³)			
Echantillons	7 jours	14 jours	30 jours
A0	2165.87	2185.38	2165.65
A1	2138.50	2205.17	2209.92
A2	2160.99	2198.40	2166.73
A3	2133.65	2196.24	2155.18
A4	2140.61	2199.58	2164.93
A5	2165.23	2191.03	2188.92

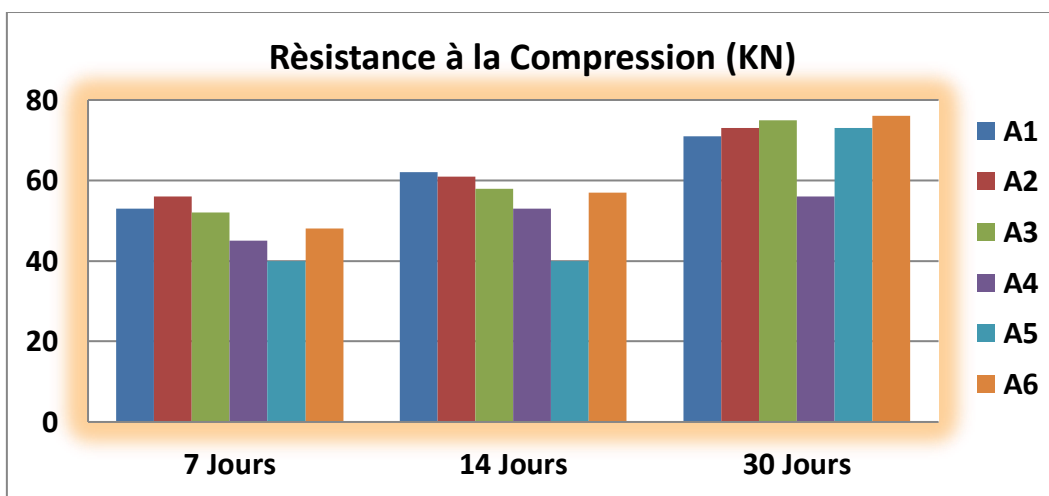


Graphe IV.1 : La masse volumique de mélange d'étudier.

IV.3. Résistance a la compression :



Graphe IV.2 : Résistance de compression à 20°.



Graphe IV.3 : Résistance de compression à 45°.

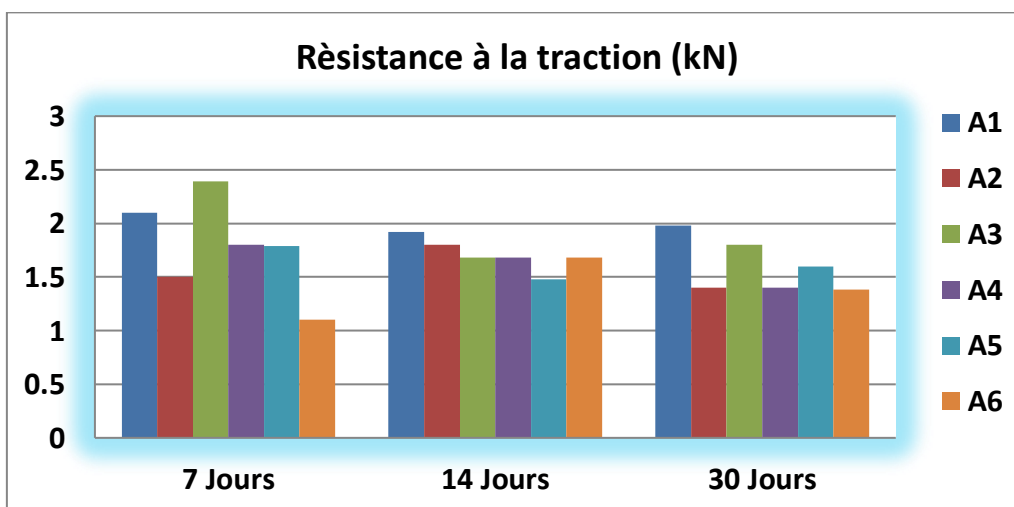
Les deux Graphes (IV.2 et IV.3) nous montrent les différents résultats de résistance à la compression, ce qui nous a permis de faire les observations suivantes :

Pour les échantillons qui ont été placés dans une chambre humide à une température de référence de 20°C :

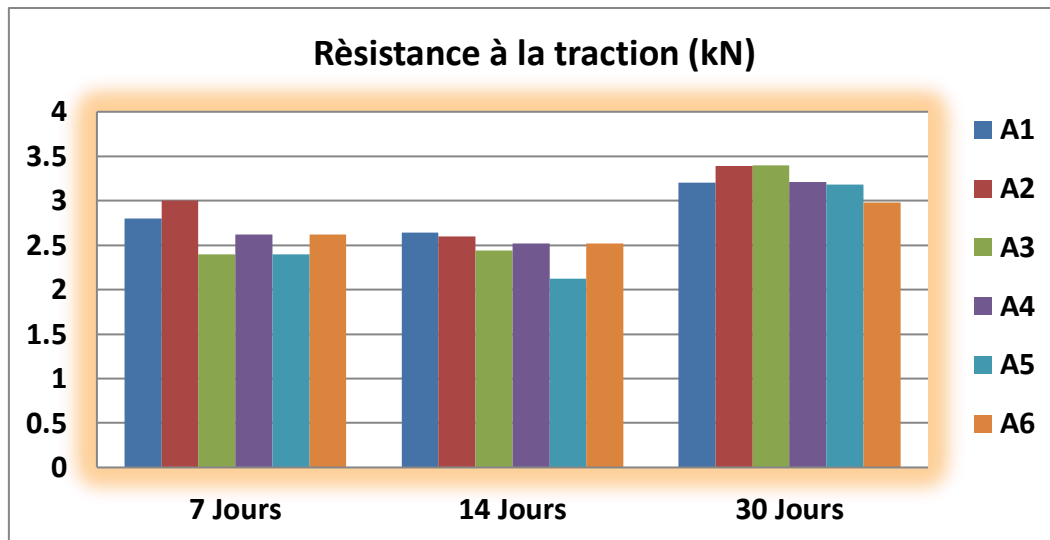
Il a montré que l'échantillon contenant 0% des briques rouges a donné le meilleur résultat pendant la période de traitement de 7 jours à 30 jours, similaire au reste des échantillons dont les résultats étaient proches les uns des autres et augmentaient avec l'augmentation de la période de traitement. Nous notons également que l'échantillon contenant 0% de briques rouges a donné la valeur la plus élevée de résistance à la compression pendant 14 jours. Comme pour les échantillons qui ont été placés dans l'étuve à une température de 45°C. Nous avons remarqué que la valeur la plus élevée a été enregistrée dans les 30 jours, à partir de cinq échantillons contenant respectivement 25 %, 10 %, 20 %, 5 % et 0 % de briques rouges, de sorte que les résultats étaient proches de la durée de la période de traitement à partir de 7 jours à 30 jours. Nous notons également que la résistance à la compression augmente progressivement avec l'augmentation de la durée de vie de l'échantillon.

En comparant les deux Graphes, on remarque que les valeurs de résistance à la compression de la Graphe (IV.3) sont bien meilleures que celles de la Graphe (IV.2). Nous notons également que plus la température n'est élevée, plus la résistance à la compression n'est élevée.

IV.4. Résistance a la traction par flexion:



Graphe IV.4 : Résistance à la traction par flexion à 20°.



Graphe IV.5 : Résistance à la traction par flexion à 45°.

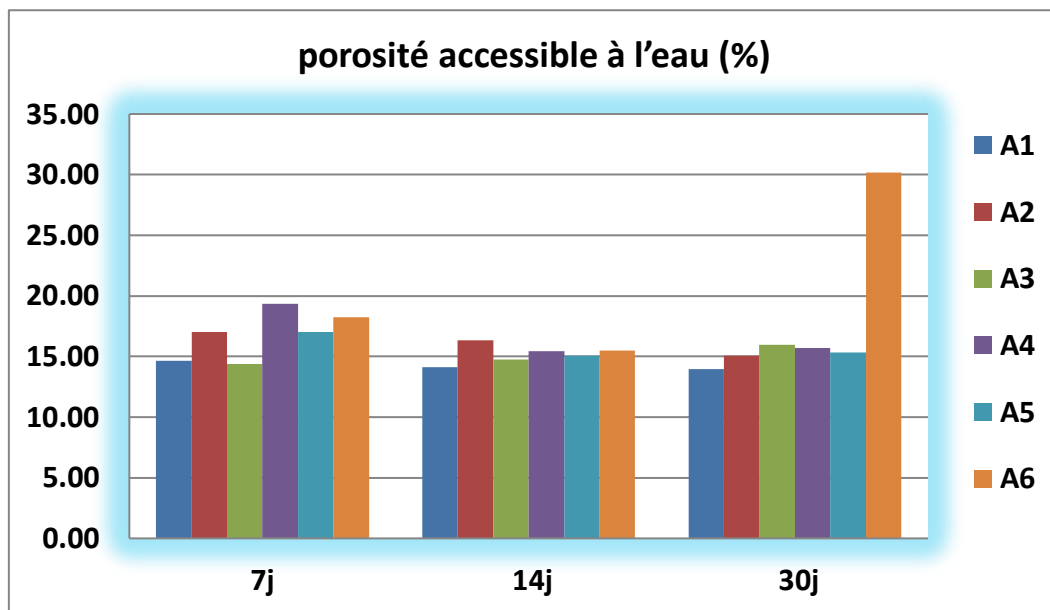
Les Graphes (IV.4 et IV.5) nous présentent les résultats de différentes résistances à la traction, ce qui nous a permis de faire les constats suivants :

Pour les échantillons qui ont été placés dans une chambre humide à une température de référence de 20°C.

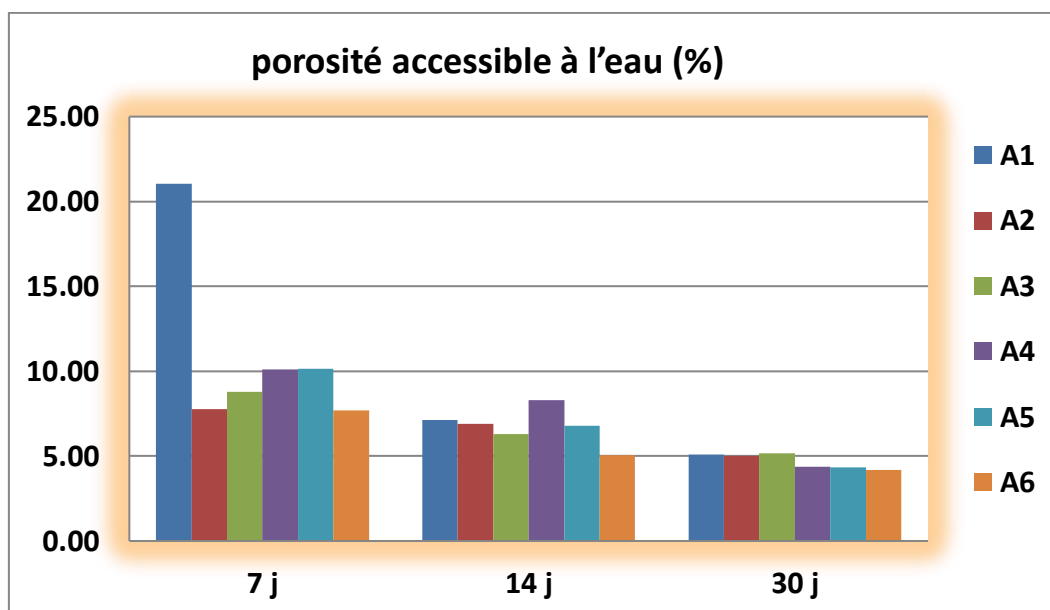
Et cela a montré que l'échantillon de contrôle donnait le meilleur résultat pour les échantillons âgés de 14 et 30 jours, similaire au reste des échantillons dont les résultats étaient proches les uns des autres. Nous notons également que l'échantillon contenant 10 % de déchets de brique a donné la valeur la plus élevée de résistance à la traction à 7 jours. Quant aux échantillons qui ont été placés dans le four à une température de 45 degrés Celsius. L'échantillon contenant 5% de déchets de briques a donné la meilleure valeur en 7 jours, et sur 14 jours les pourcentages étaient presque égaux, mais sur 30 jours les deux échantillons 5% et 10% ont donné la meilleure valeur, car on note que plus le période de traitement, plus la résistance à la traction n'est élevée.

En comparant les deux Graphes, on remarque que les valeurs de résistance à la traction de la Graphe (IV.5) sont bien meilleures que les valeurs de la Graphe (IV.4). Nous notons également que plus la température n'est élevée, plus la résistance à la traction n'est élevée.

IV.5. Porosité accessible a l'eau :



Graphe IV.6 : La porosité accessible a l'eau à 20°.



Graphe IV.7 : La porosité accessible à l'eau à 45°.

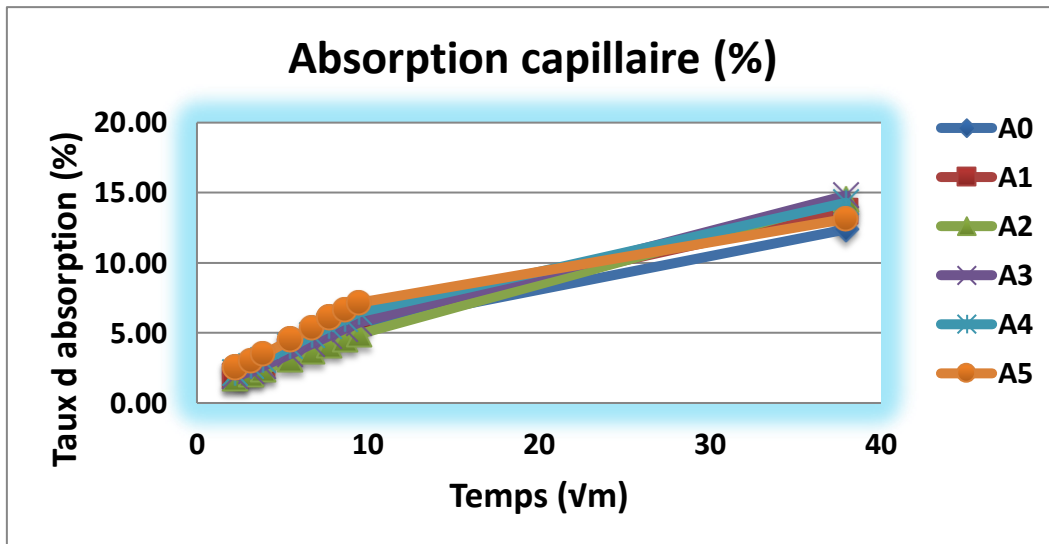
Pour les échantillons placés dans une chambre humide à 20°. Qui représente la forme Graphe (IV.6).

Nous notons que l'échantillon de 15% a donné le pourcentage de porosité le plus élevé par rapport au reste des échantillons environ 19%, avec une légère différence entre les autres échantillons en 7 jours, et en 14 jours il est devenu proche d'environ 15% pour tous les échantillons, et dans 30% les pourcentages sont restés proches de tous les échantillons, sauf pour l'échantillon de 25% augmenté Un pourcentage important est d'environ 30%.

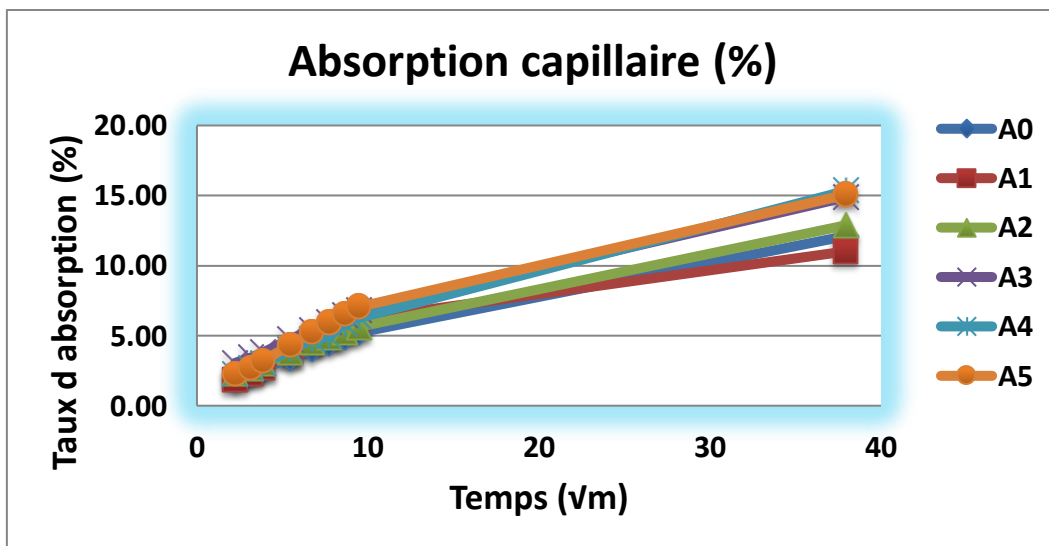
Pour les échantillons qui ont été placés dans l'étuve à 45 %. Qui représente la forme Graphe (IV.7).

On note que l'échantillon 0% a donné le taux le plus élevé d'environ 22% en 7 jours. Et que les proportions de porosité diminuent progressivement avec le temps.

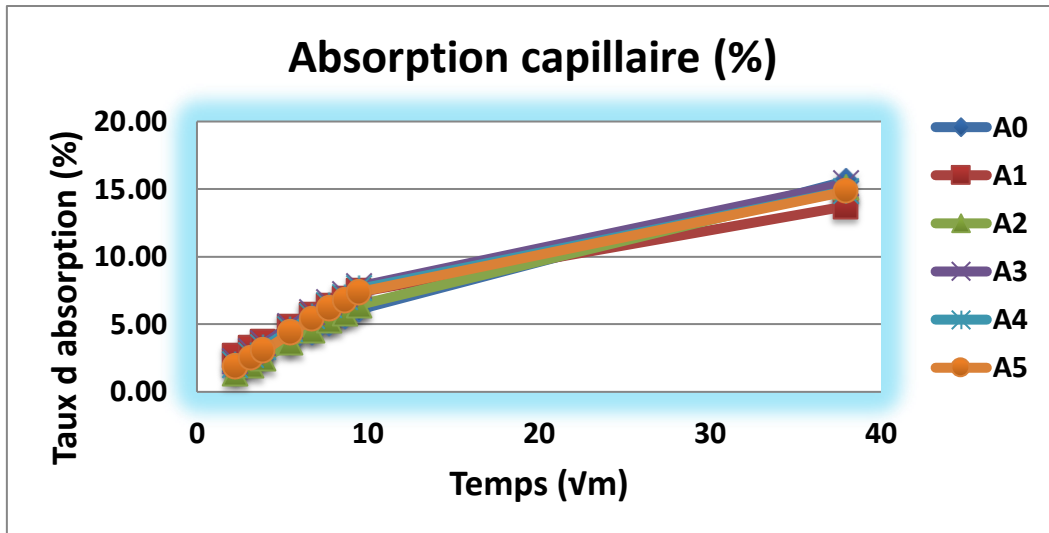
IV.6. Absorption capillaire :



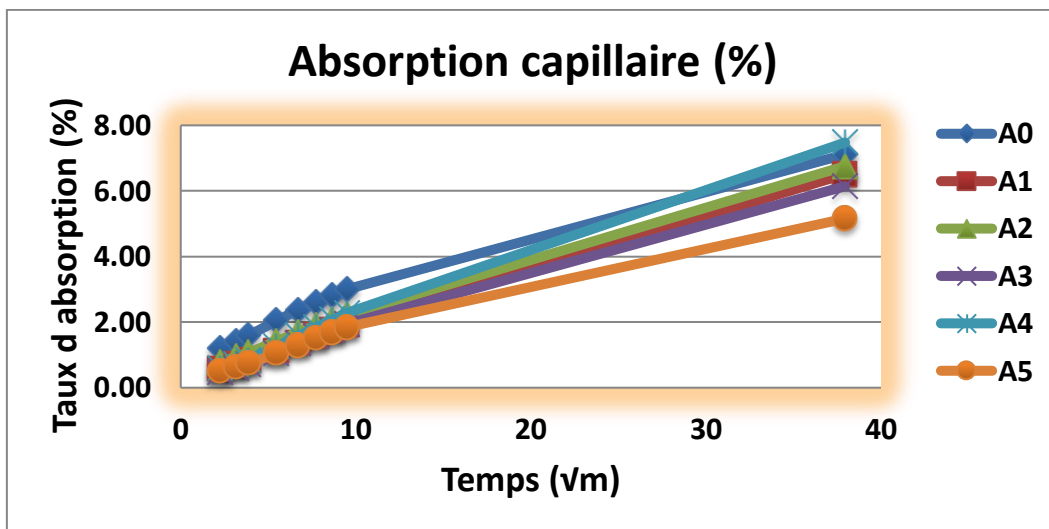
Graph IV.8 : Absorption capillaire à 24h à 20° (7j).



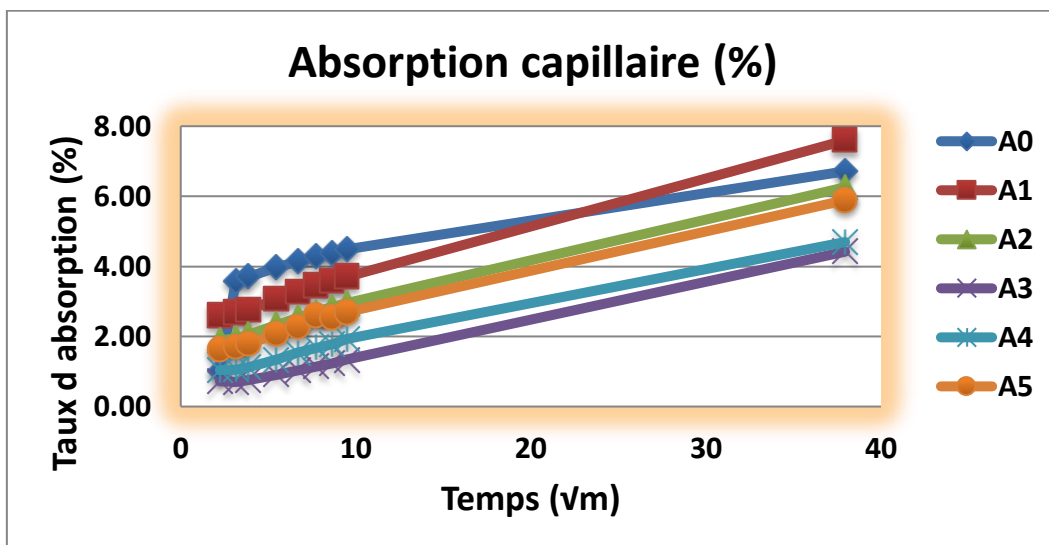
Graph IV.9 : Absorption capillaire à 24h à 20° (14j).



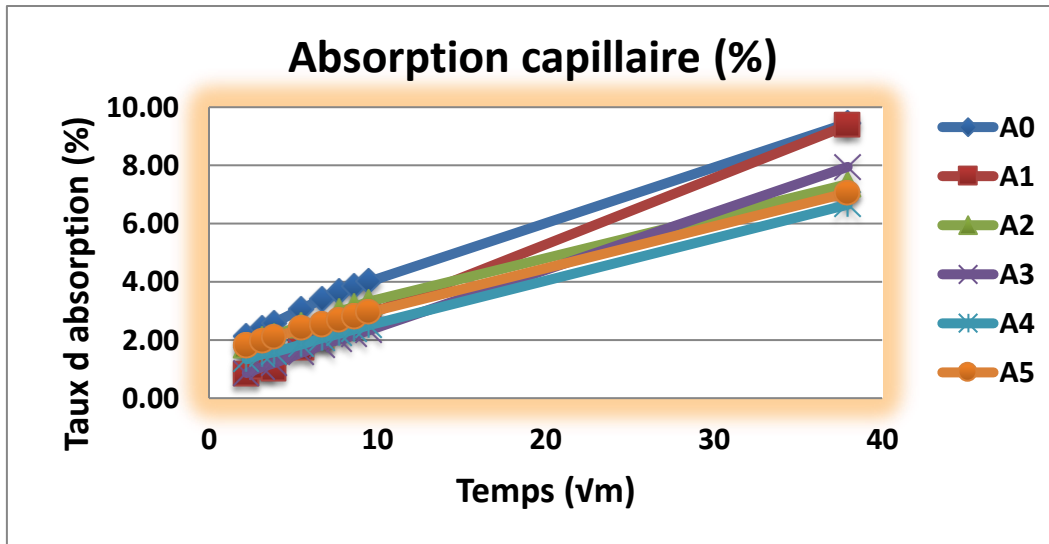
Graphe IV.10 : Absorption capillaire à 24h à 20° (30j).



Graphe IV.11 : Absorption capillaire à 24h à 45° (7j).



Graphe IV.12 : Absorption capillaire à 24h à 45° (14j).



Graphe IV.13 : Absorption capillaire à 24h à 45° (30j).

Les échantillons ont été placés dans une chambre humide à 20°. Leurs résultats, qui ont été obtenus après 24 heures de sélection par absorption capillaire, sont représentés par des graphe histogrammes.

On constate que la quantité d'eau absorbée par tous les échantillons est proche et augmente avec le temps et dans tous les délais.

Et les échantillons qui ont été placés dans le four à 45°, comme indiqué sur les graphes (IV.11, IV.12, IV.13).

Nous constatons que la quantité d'absorption d'eau augmente avec le temps, mais ses pourcentages sont faibles par rapport aux échantillons qui ont été placés à 20°, le pourcentage le plus élevé enregistré était de 9,5 % en 24 heures et dans les trois délais.

IV.7. Conclusion :

Dans ce chapitre, on a présenté les résultats des travaux expérimentaux sur l'effet de la température sur les mortiers formulés du point de vue :

- Caractéristiques mécaniques en compression et en traction par flexion.
- La porosité.
- l'absorption capillaire.

Pour la résistance à la compression :

- ✓ Le rapport de résistance à la compression des échantillons hybrides est proche du rapport de résistance à la compression de l'échantillon témoin.
- ✓ La résistance mécanique des échantillons stockés à 20° est inférieure à celle stockée à 45°.
- ✓ L'échantillon témoin a donné une bonne résistance à la compression à 20°.
- ✓ Les quatres formulations, à 5%, 10%, 15% et 25%, sont les plus efficaces en termes de résistance de compression à 45°.

Pour la résistance à la traction :

Plus la durée de vie de l'échantillon est longue avec l'augmentation de la température, plus la résistance à la traction est élevée.

Pour la porosité des mortiers :

Lorsque la température augmente, la porosité diminue progressivement.

L'échantillon témoin a donné un grand pourcentage de porosité comparé à d'autres échantillons qui ont été placés dans le four à 45°, et l'échantillon à 25% a donné un grand pourcentage de porosité comparé à d'autres échantillons qui ont été placés dans la chambre humide à 20°.

Pour l'absorption capillaire :

Lorsque la température augmente, le taux de réabsorption capillaire diminue.

*CONCLUSION GENERALE ET
PERSPECTIVES*

Conclusion générale :

D'après les résultats obtenus, il semble que l'ajout de briques avec la température de durcissement améliore surtout ces propriétés, et donc le traitement prolongé permet également d'augmenter ces propriétés,

L'effet combiné de ces deux facteurs améliore les propriétés mécaniques et physiques du mortier, ce qui est confirmé par les résultats obtenus.

L'élévation de la température de durcissement a pour effet d'augmenter la résistance à la compression du ciment pouzzolanique à un âge précoce, et la température optimale nécessaire au développement de la résistance se situe autour de 45 °C. Cette mesure permet aux constructeurs de choisir une température de béton appropriée en faveur du développement souhaité des résistances.

L'argile cuite (déchet de briques) est un matériau à caractère pouzzolanique, car il n'entre en réaction avec les composants du ciment Portland qu'après l'hydratation et la formation Du portlandien $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

La température de cuisson a une grande influence sur la réactivité pouzzolanique des argiles cuite (déchet de briques).

La résistance à la compression est une fonction croissante des additifs de poudre de brique lorsque l'échantillon est exposé à certaines températures.

Plus la durée de vie de l'échantillon est longue avec l'augmentation de la température, plus la résistance à la traction est élevée.

La porosité du mortier a progressivement diminué avec l'augmentation de la proportion de déchets de briques et de la température de cure. Par conséquent, plus le pourcentage de briques et la température de cure sont élevés, plus la porosité n'est faible.

Lorsque la température augmente, le taux de réabsorption capillaire diminue.

Les déchets de briques produisent généralement un coulis dont la résistance est acceptable à une température donnée.

L'utilisation des déchets de différentes industries est une solution efficace, en raison de son importance environnementale, telle que les déchets de briques rouges, car l'offre en ajoutant

ou en remplacement du ciment fonctionne pour améliorer les propriétés physiques et mécaniques, comme elle est autorisée lors de l'insertion par le remplacement, Pour réduire les quantités de ciment utilisées, et ainsi contribuer modestement dans les gains économiques, pour améliorer les caractéristiques physiques et mécaniques afin d'obtenir un mortier satisfaisant.

Enfin, la possibilité d'utiliser des déchets de briques dans le domaine du génie civil pour améliorer le mortier ou le béton, d'une part et réduire les matériaux de ciment d'une part, est possible en fonction des résultats de ce travail.

Perspectives :

Il serait intéressant de poursuivre les recherches sur cet axe, notamment sur le développement de nouvelles méthodes de formulation des mortiers et bétons.

Il est également intéressant de travailler à l'amélioration de cette étude à travers :

- Étude sur la durabilité dans différents environnements agressifs.
- Étude de l'effet de la chaleur élevée.
- Étudiez l'efficacité du remplacement partiel de l'eau par du silicate de sodium.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

DOCUMENTS

- [1]. Redadaa fayza et Mahamdi samira. Caractérisation physique et de durabilité des ciments composés à de brique. mémoire de master, université 08 mai 1945 de Guelma, 2018
- [4]. Debih. A. durabilité d'un béton exposé à un milieu agressive (acide sulfurique), influence de la forme des granulats (concassé-roulées). mémoire de master, université Mohamed Boudiaf - M'sila, 2015/2016
- [5]. Almaleki. A. caractérisation expérimentale des mortiers a base des déchets de briques. mémoire de master, université Mohamed Boudiaf - M'sila, 2017/2018
- [6]. Bouali. K « élaboration et caractérisation thermomécanique des mortiers à base d'ajoute de déchets de briques réfractaire », mémoire de magistère, université Mohamed Bougara-Boumerdes, 2013/2014
- [7]. Rezki Ahlem et Messouadi Zahia. Etud de la formulation et caractérisation d'un matériau cimentaire renforcé par des fibres de plastique. mémoire de master, université Akli Mohand Oualhdj-Bouira, 2020/2021
- [8]. Nigri.G, « nouvelle élaboration d'un liant hydraulique », thèse doctorat, université 08 mai 1945 de Guelma, 2018
- [9]. Derouich.H. réactivité de deux variété cristallines de la phase aluminat tricalcique C_3A du ciment en présence ou non de superplastifiant. Rapport de stage master, université Henri Poincaré Lorrain, 2018
- [10]. Mohamed Said. M, « influence du metakaolin sue le comportement reologique et mécanique des bétons a haut performance », thèse doctorat, université Saad Dahleb de blida-Algerie, 2010
- [11]. Bougalada Mohamed. S, « caractérisation physico-chimique et microstructurale des ajouts minéraux », thèse doctorat, université Mostefa Ben Boulaid-Batna 2, 2019
- [12]. Boukhari Marwa et Louafi Nasira. etude des propriétés physico-mécaniques d'un mortier à base de déchets de brique active mécaniquement. mémoire de master, université Mohamed Boudiaf - M'sila, 2020/2021
- [13]. Herizi Boudjmaa et Achour Mohamed. Effet combiné des déchets de brique et de céramique sur le comportement de mortier. mémoire de master, université Mohamed Boudiaf - M'sila, 2019/2020
- [14]. Document : les mortiers – TMC1

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

- [15]. Ben Mostefa Fatima et Bouhafs Kheira. etude de la durabilité des mortiers à base de pouzolone. mémoire de master, contre universitaire Belhadj Bouchaib d'Ain - Temouchent, 2016/2027
- [16]. Chapitre iv ; les mortiers et les betons
- [17]. Zane Messaouda et Djemaa Nabila. Elaboration et caractérisation d'un mortier léger introduction de billes polystyrène. mémoire de master, université Akli Mohand Oualhdj-Bouira, 2018/2019
- [18]. Ilham Hireche. Effets des hautes températures sue le comportement du béton de poudre réactive à base des déchets de brique rouge. mémoire de master, université Mohamed khider-Biskra, 2019/2020
- [19]. Habeta Fouzia et Kaddour Imane. L'utilisation de la brique recyclée et de la céramique dans formulation des mortiers. mémoire de master, université Mohamed Boudiaf - M'sila, 2018/2019
- [20]. Kheniche Lamia. « recyclage et valorisation des déchets », cours, université A. Mira-Bejaia, session janvier
- [22]. Benchiheub Djihan, « contribution de l'étude de la compréhension des phénomènes et mécanismes d'action des effets des additions sur le comportement matrices cimentaires », thèse doctorat, université 20 Aout 1955-Skikda, 2018/2019
- [23]. Stambouli Mohamed.S. « valorisation de débris de verre les infrastructures routières : application au verre industriel, verre ménafe et verre mixt », mémoire de master, université Mouloud Mammeri-Tizi-ouzou, 2015/2016
- [24]. Boulouza Oualid et Grine Abdelbasset. « effet de l'ajout de déchet de brique sur les propriétés physicomécaniques des morters », mémoire de master, université Akli Mohand Oualhdj-Bouira, 2018/2019
- [25]. Bourema Moufida, « etude des caractéristique d'un BHP à base de déchet de brique rouge à l'état frais et durci », mémoire de master, université 20 Aout 1955-Skikda, 2015
- [26]. Zerrouki Ishak. « Effets de déchet de brique rouge sur la stabilisation des briques de terre crue ». mémoire de master, université Mohamed khider-Biskra, 2019
- [27]. Bounoua Sami. « valorisation des matériaux locaux ». mémoire de master, université Larbi Ben M'hidi Oum El-Bouaghai, 2020/2021
- [28]. [Li Ndjock et al., 2017] Li Ndjock D., Elimbi A., Cyr M., "Rational utilization of volcanic ashes based on factors affecting their alkaline activation", *Journal of Non-Crystalline Solids* 463: 31–39.

- [29]. [Garcia-Lodeiro et al., 2013b] Garcia-Lodeiro I., Fernández-Jiménez A., Palomo A., "Hydration kinetics in hybrid binders: Early reaction Stages", *Cement and Concrete Composites*, 39: 82– 92.
- [30]. [Escalante-Garcia et al., 2014] Escalante-Garcia, J.I., Castro B.P., Gorokhovskiy, A., "Portland cement-blast furnace slag mortars activated using waterglass : Effect of temperature and alkali concentration", *Construction and Building Materials* 66 : 323–328.
- [31]. [Kojic, 2015] Kojic M., "Mechanical strength and Young's modulus of alkali activated cement-based binders", *Handbook of Alkali-activated Cements Mortars and Concretes University of Belgrade, Serbia*.
- [32]. [Qu et al., 2016] Qu B., Martin A., Pastor J.Y., Palomo A., Fernandez-Jimenez A., "Characterisation of pre-industrial hybrid cement and effect of curing temperature", *Cement and Concrete Composites* 73 : 281-288.
- [33]. K. TAN ET O.E. GJORV (1996): Performance of concrete under different curing conditions. *Cement and Concrete Research*, 26(3) : p.355-361.
- [34]. S.L. MAK ET K. TORI I (1995): Strength development of high strength concretes with and without silica fume under the influence of high hydration temperatures. *Cement and Concrete Research*, 25(8) : p1791-1802.
- [35]. [Palomo et al., 2014] Palomo A., Krivenko P., Garcia-Lodeiro I., Kavalerova E., Maltseva O., Fernández-Jiménez A., "A review on alkaline activation: new analytical perspectives", *Materiales de Construcción* 64, 1-24.
- [36]. [Reig et al., 2017] Reig L., Sanz M.A., Borrachero M.V., Monzó J., Soriano L., Payá J., "Compressive strength and microstructure of alkali-activated mortars with high ceramic waste content", *Ceramics International* 43 : 13622-13634.
- [37]. E. GALLUCCI., XINYU ZHANG., K.SCRIVENER (2006) : influence de la température sur le développement microstructural des bétons.
- [38]. BERRABAH, ABDELBAKI (2016): l'effet de durcissement à la vapeur initiale par l'énergie solaire sur la résistance en compression des bétons contenant le sable de dune broyé : Effet de la température à l'état mécanique chapitre 2 pg3.
- [39]. NEVILLE A-M (2000) : « Propriétés des bétons ». Paris, Editions Eyrolles, p345-350.
- [40]. BOUKLI HACENE S.M.A., (2010) « Contribution à l'étude de la résistance caractéristique des bétons de la région de Tlemcen ». Thèse de doctorat, Université de Tlemcen, Algérie, 2010.

[42]. Hamel D eddine et Ben hammadi ilyes. « Étude physico-mécanique d'un mortier ç base de sable de dune et déchets industrielles (déchet de brique et déchet de plastique PET) » mémoire de master, université de Ghardaïa, 2020/2021.

SITE

[2]. <https://www.escri-net.org/sites/default/files/attachments/photo- c http-bit.ly2ahat3j.jpg>.

[3]. https://st3.depositphotos.com/1031551/14651/i/450/depositphotos_146510605-stock-photo-rubble-on-building-site.jpg.

[21]. <https://www.acpresse.fr/les-cendres-volantes/>.

[41]. <https://mapio.net/pic/p-3063397/>.

ANNEXES

ANNEXE



50kg

Mokaouem
مقاوم بلوس **Plus**

| ALGÉRIE

**Ciment Portland**

NA 442 - CEM I 42,5 N-SR 3

Mokaouem est un ciment gris résistant aux sulfates, résultat de la mesure d'un clinker contenant un faible taux d'aluminates de calcium avec une proportion de gypse inférieure à celle d'un ciment portland composé.

Mokaouem
NA 442 - CEM I 42,5 N-SR3

Mokaouem NA 442 - CEM I 42,5 N-SR3 selon la NA 442 v 2013 et la EN 197-10 est conforme à la norme nationale NA 442 v 2013 et à la norme Européenne EN 197-1 avec un taux en C3A < 3%.

AVANTAGES PRODUIT 😊

- Tout en étant un ciment de haute performance, **Mokaouem** protège la structure contre les agressions chimiques de l'environnement externe.
- Une meilleure durabilité pour les structures en béton.
- Une faible chaleur d'hydratation.

APPLICATIONS RECOMMANDÉES ✓

- Les fondations et les structures à réaliser dans un milieu agressif
- Les travaux maritimes
- Les stations de dessalement et d'épuration
- Les travaux hydrauliques
- Les barages et les digues de soutènement collinaire



FORMULATION CONSEILLÉE 🗑️

	Ciment 50	Sable (sec) 0/5	Gravillons (sec) 0/15, 15/25, 25/40	Eau (litres)
Dosage pour béton C25/30	X 1	17	15	25 L

Remarque: un bidon = 10 Litres

Formulation de béton à suivre dans le cas de l'absence d'une étude dérivée par un laboratoire*

CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES 🔍

Analyses chimiques	Valeur
Perte au feu (%) (NA5042)	0,5 à 3 %
Teneur en sulfates (S03) (%)	1,8 à 3
Teneur en oxyde de magnésium MgO (%)	1,2 à 3
Teneur en Chlorures(NA5042) (%)	0,01 à 0,05

Temps de prise à 20° (NA 230)	Valeur
Début de prise (min)	> 60
Fin de prise (min)	240 à 400

Composition minéralogique	Valeur
Taux d'aluminate C3A	<3.0%

Résistance à la compression	Valeur
2 jours (MPa)	≥10
28 jours (MPa)	≥42,5

Propriétés physiques	Valeur
Consistance Normale (%)	25 à 28
Finesse suivant la méthode de Blaine (cm ² /g) (NA231)	3200 à 3800
Retrait à 28 jours (µm/m)	< 1000
Expansion (mm)	≤2,0
Chaleur d'hydratation	<270J/g

Ces valeurs sont données à titre indicatif et ne peuvent être considérées comme absolues

CONSIGNES DE SÉCURITÉ ⚠️

1- PROTÉGEZ VOTRE PEAU : Portez les équipements adaptés dans vos chantiers: casques, lunettes, gants, genouillères, chaussures et vêtements de sécurité.

2- MANUTENTION : levez le sac en pliant les genoux et en gardant le dos droit.



A member of LafargeHolcim

Conditionnement: 📦 / 🚚

LAFARGE ALGÉRIE
Bureau n°02, Téléma Étage, Tour Centre,
les Pins maritimes, Mohammadia, Alger.
Tél: + 213 (0) 21 98 54 54
Fax: + 213 (0) 23 92 42 94
www.lafargealgerie.com
ds.satisfaction-clients@lafargeholcim.com
Tél: 021 98 55 55



LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD

ANALYSE CHIMIQUE
 DOSAGE EN RETOUR DES CARBONATES
 NF P 15-461

Structure :
 N°Dossier interne :
 Echantillon :
 Equipements utilisés:

Lieu de travail :
 Date :
 Opérateur :
 N°D'inventaire:

Echantillon	brique	filler calcaire	Sable	Bentonite				
Prise d'essai : m_0 (g)	0,5g	0,5g	0,5g	0,5g				
Volume HCl : V_a (cm^3)	10	10	10	10				
Chute de NaOH : V_b (cm^3)	10	3,3	9,5	9,6				
Volume d'acide réagissant $X = V_a - V_b$ (cm^3)	0	6,7	0,5	0,4				
Teneur en $CaCO_3$ $\frac{5 \cdot X}{m_0}$	00	67	05	04				

L'Opérateur

Visa du responsable

LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD

ANALYSE CHIMIQUE
DETERMINATION DES SULFATES
BS 1377: 1990

Structure :
N° Dossier interne :
Echantillon :
Équipements utilisés :

Lieu de travail :
Date :
Opérateur :
N° D'inventaire :

Echantillon		Bentonite	bruyère						
Prise d'essai : m ₃ (g)		1,08	1,08	1,08	1,08				
Creuset+précipité : a (g)		29,909	30,039						
Creuset vide : b (g)		29,902	30,018						
m ₄ = a - b (g)		0,007	0,021						
SO ₃ (%) = 0.343 x (m ₄ /m ₃) x 100		0,24	0,95						

L'Opérateur

Visa du responsable

LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD

ANALYSE CHIMIQUE
DETERMINATION DES INSOLUBLES
NF P 15-461

Structure : Lieu de travail :
 N° Dossier interne : Date :
 Echantillon : Opérateur :
 Équipements utilisés : N° D'inventaire :

Echantillon	Bentonite brisque	filler Calcaire	Sable				
Prise d'essai : m_0 (g)	1g	1g	1g	1g			
Creuset+précipité : m2 (g)	29,483	26,485	30,869	29,827			
Creuset vide : m1 (g)	28,718	25,66	30,831	28,901			
% Insolubles : $\frac{(m2 - m1) \times 100}{m_0}$	76,5	82,5	3,4	92,6			

L'Opérateur

Visa du responsable