

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL
N° : 08



FILIERE : GENIE CIVIL
OPTION : MATERIAUX

**Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique**

Par: Boukhari Marwa

Louafi Nassira

Intitulé

***Etude des propriétés physico-mécaniques d'un mortier à
base de déchets de brique active mécaniquement***

Soutenu devant le jury composé de:

Mr .Belagraa Larbi	Université de M'sila	Encadreur
Mr .Benyahia Abdesslam	Université de M'sila	Co-Encadreur
Mr. Rahmouni Zine Elabidine	Université de M'sila	Président
Mr .Zitouni Salim	Université de M'sila	Examineur

Année universitaire : 2020 /2021



بِسْمِ اللَّهِ

الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Remerciement

Au mon dieu le clément et miséricordieux

*Je remercie avant tout mon dieu c'est grâce à lui seul que j'ai pu achevé ce
modeste travail.*

*Je remercie mes encadreurs : Mr. Belagraa Larbi et Mr. Ben Yahia
Abdeslam.*

*Je remercie Haddad Naoui: ingénieur de laboratoire physique (Lafarge
Holcime M'sila).*

Pour leurs aides jusqu'à l'aboutissement de ce travail.

- *Messieurs les membres de jury pour avoir accepté d'examiner ce
mémoire.*
- *Mes enseignants (es) du département de génie civil et les responsables
du laboratoire.*
 - *Tous les employés de CCR Lafarge Holcime (M'sila).*
- *Tous les gens qui nous ont aidés de près ou de loin dans la réalisation
de ce modeste travail.*



Dédicaces

Je dédie ce travail : aux fleurs de ma vie, à mes chers parents pour leur sacrifice et leurs encouragements durant toutes ces années scolaires, pour leurs conseils et orientations dans ma vie. A mes frères et sœurs aux familles : Boukhari et Louafi pour nous aider et rester avec nous

A tous ceux qui ont été directement ou indirectement impliqués dans la réalisation de ce projet à tous de promouvoir le Génie Civil 2 « Matériaux » 2021.

Marwa, Nassira

ملخص :

ان تدعيم استعمال الاضافات الاسمنتية هي حاليا جزء من التطورات الاخيرة في انتاج الاسمنت , مما يؤدي الى تحسين كبير للخصائص الميكانيكية للمواد الاسمنتية , وعلى ذلك ان استعمالها يؤدي الى انخفاض في استهلاك مادة الكلنكر وساهم في حل المشاكل البيئية بطريقة بسيطة واقتصادية .

الغرض من هذا العمل التجريبي هو دراسة مزايا وامكانية طريقة الاستبدال الجزئي للاسمنت ومتابعة تأثيره على سلوك الملاط , يمكن ان يساهم في تجاوز نقائص مكونات الملاط وتحسين خصائصه الميكانيكية والفيزيائية .

في هذا البحث يتم اضافة نفايات الطوب المسحوق (اقل من 80ميكرون) في الملاط الاسمنتي عن طريق اضافة واستبدال كمية الاسمنت بنسبة : 5% , 10% , 15% , 20% .

لإجراء هذه الدراسة , تم اجراء العديد من الاختبارات على تركيبات مختلفة في الحالة الطازجة (السيولة والكثافة) والمتصلبة مثل الامتصاص والسلوك الميكانيكي (اختبار الانضغاط وشد الانحناء) .

اظهرت النتائج التي تم الحصول عليها , التقييم الايجابي لمخلفات الطوب كبديل بنسبة تصل الى 10% , ومع ذلك سجلت نسبة الامتصاص اعلى نسبة 20% , فيما يتعلق بمتانة الخلائط المدمجة مع الاسمنت المقاوم .

الكلمات المفتاحية : الملاط الاسمنتي , الخصائص الميكانيكية والفيزيائية , مسحوق الطوب , الاسمنت المقاوم .

Résumé

Résumé

Le renforcement de l'utilisation des additifs pour ciment fait actuellement partie des développements récents de la production de ciment, ce qui conduit à une amélioration significative des propriétés mécaniques des matériaux cimentaires, et donc son utilisation conduit à une diminution de la consommation de clinker et a contribué à résoudre des problèmes environnementaux de manière simple et économique.

Le but de ce travail expérimental est d'étudier les avantages et la possibilité d'un remplacement partiel du ciment et de suivre son effet sur le comportement du mortier, ce qui peut contribuer à pallier les défauts des composants du mortier et à améliorer ses propriétés mécaniques et physiques.

Dans cette recherche, des déchets de briques (DB) concassées (moins de 80 microns) sont ajoutés au mortier de ciment en ajoutant et en remplaçant la quantité de ciment selon les dosage de 5 %, 10 %, 15 %, et 20 %.

Pour mener cette étude, plusieurs tests ont été menés sur différentes compositions à l'état frais (consistance, fluidité et temps de prise) et durcie, tels que l'absorption et le comportement mécanique (essais de traction et de compression en flexion).

Les résultats obtenus ont montré l'utilisation avantageuse des déchets de briques en remplacement jusqu'à un pourcentage optimal de 10 %. Cependant, le taux d'absorption est enregistré pour un pourcentage plus élevé de 20 % en ce qui concerne la durabilité des mélanges incorporés avec des déchets de briques en remplacement du ciment CRS.

Mots clés : Mortier, ciment CRS, déchets de brique, propriétés mécaniques et physiques,

Résumé

Abstract

The strengthening of the use of cement additives is currently part of recent developments in cement production, which leads to a significant improvement in the mechanical properties of cementitious materials, and therefore its use leads to a decrease in the consumption of clinker and has helped solve environmental problems in a simple and economical way.

The aim of this experimental work is to study the advantages and the possibility of partial replacement of cement and to follow its effect on the behavior of the mortar, which can help to overcome the defects of the components of the mortar and to improve its mechanical and physical properties.

In this research, crushed bricks waste (DB) (less than 80 microns) are added to the cement mortar by replacing the amount of cement according to the dosages of 5%, 10%, 15%, and 20%.

For the present study, several tests were carried out on different compositions in the fresh state (consistency, fluidity and setting time) and hardened state, such as absorption and mechanical behavior (tensile and compression strength tests).

The obtained results showed the advantageous use of brick waste as replacement up to an optimal percentage of 10 %. However, the absorption rate is registered for higher percentage of 20 % in regards to the durability of incorporated mixtures with brick wastes as substitution for CRS cement.

Key words: Mortar, brick waste, CRS cement, mechanical and physical properties,

Sommaire

Introduction general.....1

Objective.....1

Chapitre I

Etude bibliographique

I.1. Introduction 3

I.2. Les mortiers 3

I.2. 1.Définition 3

I.2.2. Constituants des mortiers 4

I.2.2.1. Le Liant 4

I.2.2.2. Le sable 4

I.2.2.3. L'eau de gâchage 5

I.2 .3. Différents types des mortiers 5

I.2.3.1. Les mortiers de ciment 5

I.2.3.2. Les mortiers de chaux 5

I.2.3.3. Les mortiers bâtards 6

I.2.3.4. Mortier réfractaire 6

I.2.3.5. Mortier rapide 6

I.2.3.6. Mortier industriel 7

I.2.4. Le rôle d'utilisation de mortier 7

I.2.5. Classification des mortiers 7

I.2.5.1. Classification générale des mortiers 7

I.2.6-Classes des mortiers 10

I.2.7. Caractéristiques des mortiers 10

I.2.8. Préparation des mortiers 11

<i>I.2.9. Application du mortier</i>	12
<i>I.3. Conclusion</i>	13

Chapitre II

DECHETS DE BRIQUE

<i>II.1 Histoire</i>	14
<i>II.2. Les Argiles</i>	16
<i>II. 3. Matière Première</i>	17
<i>II.3.1 Introduction</i>	17
<i>II.3.2 Brique de terre cuite</i>	17
<i>II.3.3 L'extraction</i>	18
<i>II.3.4 Façonnage</i>	18
<i>II.3.5 Séchage</i>	18
<i>II.3.6 Cuisson</i>	19
<i>II.4. Les propriétés et caractéristiques de brique de terre cuite</i>	20
<i>II.5 La valorisation des déchets</i>	21
<i>II.5.1 Introduction</i>	22
<i>II.5.2 Des solutions écologiques et pérennes</i>	22
<i>II.5.3 Le rôle actif de l'industrie du ciment et du béton</i>	23
<i>II.5.4 Le maintien de la qualité</i>	23
<i>II.5.5 Un double bénéfice pour l'environnement</i>	23
<i>II.6 Valorisation des déchets en Algérie</i>	23
<i>II.6.1 Des métiers de l'environnement à apprendre</i>	24
<i>II.6.2 La part de responsabilité des industriels</i>	24
<i>II.7 Les déchets inertes</i>	25
<i>II.7.1 Matériaux autorisés</i>	25
<i>II.7.2. Matériaux interdits</i>	25
<i>II.7.3 Le recyclage</i>	26

<i>II.8 Minéralogie et propriétés des argiles</i>	26
<i>II.8.1 Généralités et définition</i>	26
<i>II.8.2 Minéralogie des argiles</i>	26
<i>II.8.2.1 Minéraux argileux</i>	26
<i>II.8.2.2 Structure des argiles</i>	27
<i>II.9 Différents types des déchets</i>	27
<i>II.9.1 Déchets ménagers et assimilés (DMA)</i>	27
<i>II.9.2 Déchets encombrants (DE)</i>	27
<i>II.9.3 Déchets spéciaux (DS)</i>	27
<i>II.9.4. Déchets spéciaux dangereux (DSD)</i>	27
<i>II.9.5. Déchets inertes (DI)</i>	28
<i>II.9.6. Déchets ultimes (DU)</i>	28
<i>II.9.7. Déchets biodégradables</i>	28
<i>II.10. Classification des déchets</i>	28
<i>II.10.1 Selon l'origine</i>	28
<i>II.10.2 Selon leur mode de traitement</i>	28
<i>II.10.3 Selon leur effet sur l'environnement</i>	29
<i>II.11. Déchets utilisés en génie civil</i>	29
<i>II.11.1. Laitiers de haut fourneau</i>	29
<i>II.11.2 Laitier d'acier</i>	30
<i>II.11.3. Cendres volantes</i>	31
<i>II.11.4 .Mâchefer</i>	31
<i>II.11.5 Boues rouges</i>	32
<i>II.11.6 Béton récupéré</i>	33
<i>II.11.7 Verre de récupération</i>	33
<i>II.11.8 Sciure de bois</i>	34
<i>II.11.9 Lin de textile</i>	35

<i>II.11.10 Marbre</i>	35
<i>II.11.11 Céramique</i>	36
<i>II.11.12 Carrelage</i>	37
<i>II.11.13 Brique concassée</i>	37
<i>II.12 Conclusion</i>	38

Chapitre III

Caractérisation des matériaux utilisés et procédures expérimentale

<i>III .1 Introduction</i>	39
<i>III.2: Les matériaux utilisés</i>	39
<i>III.3.Sable d'oued souf</i>	39
<i>III.3. 1 .L'origine du sable</i>	39
<i>III.3.2 .Caractéristiques du sable</i>	39
<i>III.3. 3.Masse spécifique (absolue)</i>	39
<i>III.3. 3.1. Mode opératoire</i>	39
<i>III. 3.4.Masse volumique apparente : NF P 18-554</i>	41
<i>III.3.4.1. Masse volumique apparente à l'état lâche</i>	41
<i>III.3.5 Equivalent de sable : EN 933-8, (2002)</i>	42
<i>III.3.6.Analyse granulométrique</i>	46
<i>III.4 .Le choix de ciment</i>	49
<i>III.4 .1: Analyse chimique du ciment</i>	49
<i>III.4.2: L'analyse physico-mécaniques</i>	50
<i>III.4. 3: L'analyse minéralogique DRX</i>	51
<i>III.5. L'eau de gâchage</i>	53
<i>III.5.1. Caractéristiques chimiques de l'eau utilisée</i>	53
<i>III.6. Les ajouts</i>	53
<i>III.6.1 .Les déchets de brique</i>	53
<i>III .6. L'état frais</i>	54

<i>III.7.Consistance de ciment (CRS)</i>	<i>54</i>
<i>III.7.1.La prise (EN 196-3 & NA 230)</i>	<i>54</i>
<i>III.7.2.Le durcissement</i>	<i>56</i>
<i>III.7.3.Essai de consistance</i>	<i>56</i>
<i>III.8.Essais de prise</i>	<i>58</i>
<i>III.9.Fluidite du mortier</i>	<i>59</i>
<i>III.9.1.Caractérisation des différents mortiers à l'état frais</i>	<i>59</i>
<i>III.10.Etat durci</i>	<i>60</i>
<i>III.11.Préparation du mortier</i>	<i>60</i>
<i>III.11.1 .Composition du mortier</i>	<i>60</i>
<i>III.11.2. Propriétés mécaniques</i>	<i>63</i>
<i>III.11.3. Les propriétés physiques</i>	<i>66</i>
<i>III.12.Conclusion</i>	<i>67</i>

Chapitre IV

Interprétation des résultats

<i>IV.1 Introduction</i>	<i>68</i>
<i>IV.2 Les formulations des mortiers étudiés</i>	<i>68</i>
<i>IV.3 Présentation des résultats</i>	<i>68</i>
<i>IV .3.1. Consistance Normale</i>	<i>68</i>
<i>IV .3.2 Temps de prise</i>	<i>69</i>
<i>IV.3. 3 les propriétés physiques</i>	<i>71</i>
<i>IV.3.3.1 Le rapport E/C</i>	<i>71</i>
<i>IV .3.4 Propriétés mécaniques</i>	<i>72</i>
<i>IV.3 .4.1. La résistance mécanique à la flexion et la compression</i>	<i>72</i>
<i>IV.3.5. Absorption</i>	<i>74</i>
<i>Conclusion générale</i>	<i>76</i>

A decorative border resembling a scroll, with a black outline and grey shaded areas at the top and bottom corners, suggesting the scroll is unrolled.

Introduction

générale

Introduction générale

Introduction générale

Ces dernières années ont vu une révolution dans le domaine des bétons et de mortiers dans le monde et dans notre pays l'Algérie dans divers secteurs (bâtiments, grandes installations et installations privées, ...), généralement on l'appelle bétons innovants.

D'un autre côté, le besoin urgent de nouveaux bétons et mortiers a conduit à l'épuisement des ressources naturelles, et sa conscience en plus est qu'il s'agit du premier composé de ciment.

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

Les déchets industriels ont trouvé leur place comme matériaux cimentaires dans la fabrication des bétons ou des mortiers de ciment, afin de diminuer le coût de fabrication de ces bétons et d'utiliser d'autres ressources afin de minimiser l'utilisation du sable de mer (cas du nord de l'Algérie) et aussi de minimiser l'utilisation du ciment, vu que sa fabrication reste coûteuse et polluante. Les déchets minéraux sont actuellement utilisés dans les bétons et mortiers soit comme ajouts minéraux (par substitution partielle du ciment), soit comme granulats fins ou granulats grossiers (par substitution des granulats traditionnels) afin d'améliorer certaines propriétés à l'état frais (telles que la fluidité) ou à l'état durci (telle que la durabilité des bétons).

Les laboratoires de recherche de matériaux ont commencé à développer des composés de béton et de mortier à base de ces déchets, en raison de leurs avantages, d'un point de vue environnemental (réduction de la quantité de déchets) en termes économiques (réduction des coûts de production) techniquement (amélioration des propriétés mécaniques et physiques du béton et des mortiers). Parmi ces déchets, les déchets de briques peuvent être concassés et utilisés comme additifs pour fabriquer des mortiers et des bétons qui peuvent être exploités dans plusieurs domaines.

Objectif :

Notre sujet de recherche vise la valorisation des déchets comme la poudre de brique en différents pourcentage (0, 5, 10 et 20 %) par substitution du ciment dans la formulation d'un mortier à base de matériaux locaux (sable de Oued Souf et ciment CRS CEM I / 42.5 -MOKAIM). Les DB sont considérés comme activant suite à un broyage de la poudre à une finesse importante. Ce travail a

Introduction générale

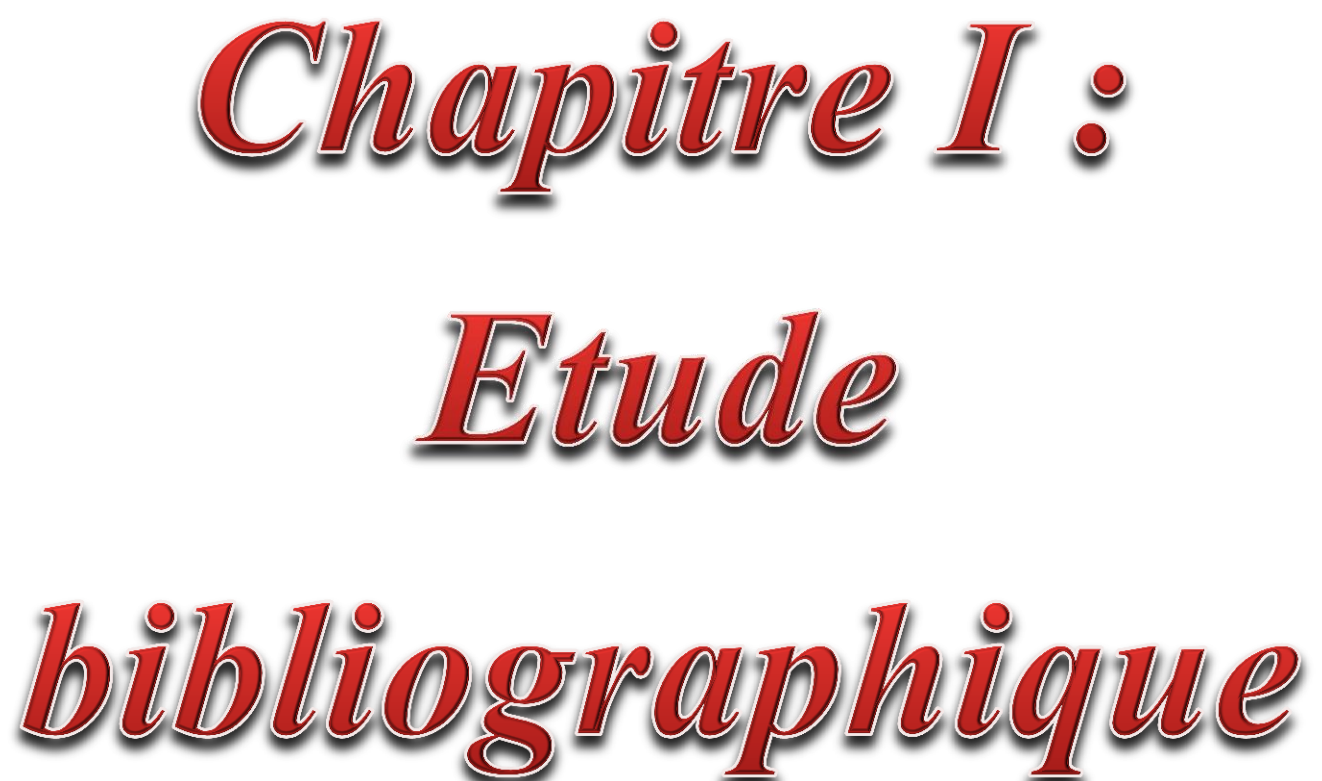
pour but l'amélioration de certains caractéristiques techniques de mortiers et générer les incitations économiques et les avantages environnementaux de telle utilisation de déchets de brique Entre autres, le but de cette recherche ;

- *Etude de l'amélioration des propriétés techniques (résistances mécaniques) par broyage poussée dite activation mécanique des déchets de brique(DB).*
- *Voir l'effet d'activation mécanique sur la durabilité (absorption) de remplacement de ciment par les déchets de briques (DB) avec des finesses différentes.*
- *Valorisation des déchets de brique pour des fins économiques et environnementales.*

Après une introduction générale, ce présent travail est subdivisé en quatre (04) chapitres :

- *Le premier chapitre présente une revue générale sur le comportement du mortier à l'état frais et durci.*
- *Le deuxième chapitre présente des notions générales sur déchet de brique.*
- *Le Troisième chapitre qui traite- la caractérisation des matériaux utilisés, à savoir les caractéristiques physico- mécaniques des matériaux utilisés (ciment, poudre de brique, sable).*
- *Le quatrième chapitre présente les résultats des propriétés physico-mécaniques des essais réalisés sur les différentes formulations des mortiers étudiés.*

Enfin, on conclue ce travail par une conclusion générale.

A decorative border resembling a scroll, with a black outline and grey circular accents at the corners, framing the text.

Chapitre I :
Etude
bibliographique

I.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.[1]

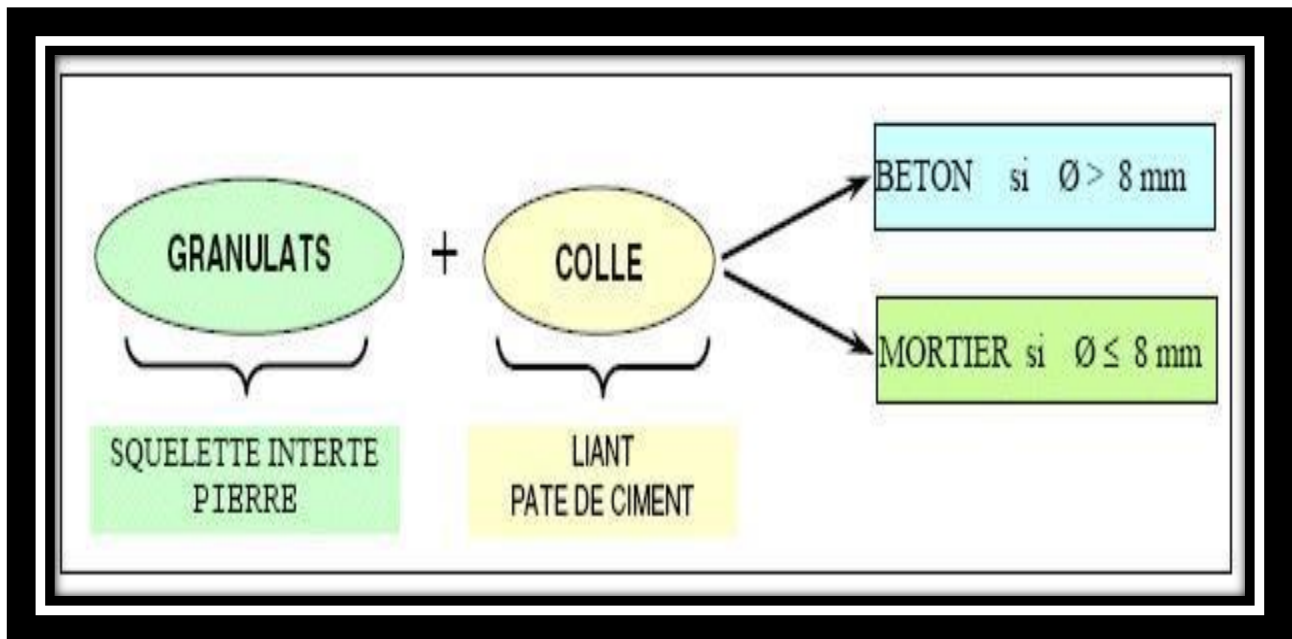


Figure.I.1. Constituants des mortiers.

I.2. Les mortiers

I.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. [2]



Figure .I.2.Mortier. [3]

1.2.2. Constituants des mortiers :

1.2.2.1. 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. [4]

Généralement, on peut utiliser:

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

1.2.2.2. 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. [4]

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. [4]

I.2.2.3. L'eau de gâchage :

L'eau joue un rôle important, elle sert à hydrater le ciment, elle facilite aussi la mise en oeuvre 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. [4]

I.2 .3. Différents types des mortiers :

I.2.3.1. Les mortiers de ciment :

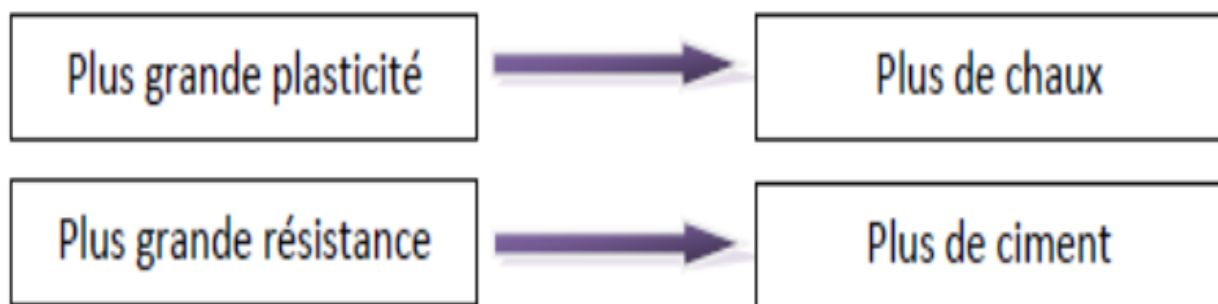
Les mortiers de ciment, très résistants, prennent et durcissent rapidement. De plus, un dosage en ciment suffisant les rend pratiquement imperméables. Les dosages courants sont de l'ordre de 300 à 400 kg de ciment pour un mètre cube de sable. [5]

I.2.3.2. Les mortiers 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. [6]

I.2.3.3. Les mortiers bâtards :

Le mélange de ciment et de chaux permet d'obtenir conjointement les qualités de ces deux liants. Généralement, on utilise la chaux et le ciment par parties égales ; mais on mettra une quantité plus ou moins grande de l'un ou de l'autre suivant l'usage et la qualité recherchée. [5]



Les sables utilisés sont généralement siliceux ou silico-calcaires ; leur granulométrie est de préférence continue. Les mortiers peuvent comporter différents types d'adjuvants selon la caractéristique recherchée : plastifiants, entraîneurs d'air, retardateurs de prise, hydrofuges. L'incorporation de fibres de métalliques ou de polypropylène permet d'obtenir des mortiers présentant une cohésion supérieure et moins fissurables. [5]

I.2.3.4. Mortier réfractaire :

Il est fabriqué avec du ciment fondu, qui résiste à des températures élevées. Il est utilisé pour la construction des cheminées et barbecues. [6]

I.2.3.5. Mortier rapide :

Il est fabriqué avec du ciment prompt, il est rapide et résistant pour les scellements. [6]

1.2.3.6. Mortier industriel :

Ce sont des mortiers que l'on fabrique à partir de constituants secs, bien sélectionnés, Conditionnés en sacs, prêts à l'emploi, 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. [6]

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

1.2.4. Le rôle d'utilisation de mortier :

La pâte plastique obtenue peut jouer plusieurs rôles essentiels :

- *Assurer la liaison, la cohésion des éléments de maçonnerie entre eux, c'est-à-dire la solidité de l'ouvrage, le rendre monolithique.*
- *Protéger les constructions contre l'humidité due aux intempéries ou remontant du sol.*
- *sous forme d'enduits aériens.*
- *sous forme d'écrans étanches.*
- *Constituer des chapes d'usure, un pour dallages en béton.*

Devenir la matière première dans la fabrication de blocs manufacturés, carreaux, tuyaux divers éléments moulés. [7]

1.2.5. Classification des mortiers

La classification des mortiers est comme suite:[8]

1.2.5.1. Classification générale des mortiers

- Selon leur domaine d'utilisation

Généralement les mortiers varient selon leur domaine d'application, on peut citer les catégories suivantes:

- Mortier de pose.
- Mortier de joints.
- Mortier pour les crépis
- Mortier pour le sol.
- Mortier pour les stucs.
- Pierres artificielles.

Support pour les peintures murales.

- Mortier d'injection.
- Mortier pour les mosaïques.
- Mortier de réparation pour pierres. [8]

- Selon la nature du liant

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

❖ Mortier de ciment portland :

Le ciment portland donne au mortier de maçonnerie sa résistance mécanique, en particulier la résistance initiale, qui est indispensable à une époque où la vitesse de construction est telle que l'on exige qu'un mur puisse supporter une charge importante le lendemain même de sa construction. Les mortiers de ciment portland manquent de plasticité, ont un faible pouvoir de rétention d'eau et sont difficiles à travailler. Le dosage du rapport entre le ciment et le sable est en général volumétrique de 1,3 et le rapport de l'eau sur ciment est environ 0,35. De plus, un dosage en ciment les rend pratiquement imperméables. [8]

❖ 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. [8]

❖ Mortiers bâtards :

Ce sont les mortiers, dont le liant est le mélange de ciment et de chaux, dans les proportions égales, suivant leur domaine d'utilisation éventuelle, les compositions de chaux et ciment peuvent être variées. [8]

❖ Mortier à base de ciment de maçonnerie :

C'est un produit déposé contenant du ciment portland et un filler minéral inerte (calcaire) et des adjuvants tels que des agents mouillants, des agents hydrofuges et des entraîneurs d'air, les adjuvants donnent la plasticité et le pouvoir de rétention d'eau que confère la chaux aux mortiers de ciment. Certains ciments de maçonnerie sont des mélanges de ciment portland et de chaux hydratée, avec des adjuvants. [8]

❖ Les Mortier réfractaire :

Il est fabriqué avec du ciment fondu, qui résiste à des températures élevées. Il est utilisé pour la construction des cheminées et barbecues. [9]

❖ Les Mortier rapide :

Il est fabriqué avec du ciment prompt, il est rapide et résistant pour les scellements. [9]

❖ Les Mortier industriel :

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

- *Mortiers pour enduits de couleur et d'aspect varié.*
- *Mortiers d'imperméabilisation.*
- *Mortier d'isolation thermique.*
- *Mortier de jointoiement.*
- *Mortier de ragréage.*
- *Mortier de scellement, mortier pour chapes.*
- *Mortier-colle pour carrelages, sur fond de plâtre ou de ciment.*
- *Mortier de réparation.* [9]

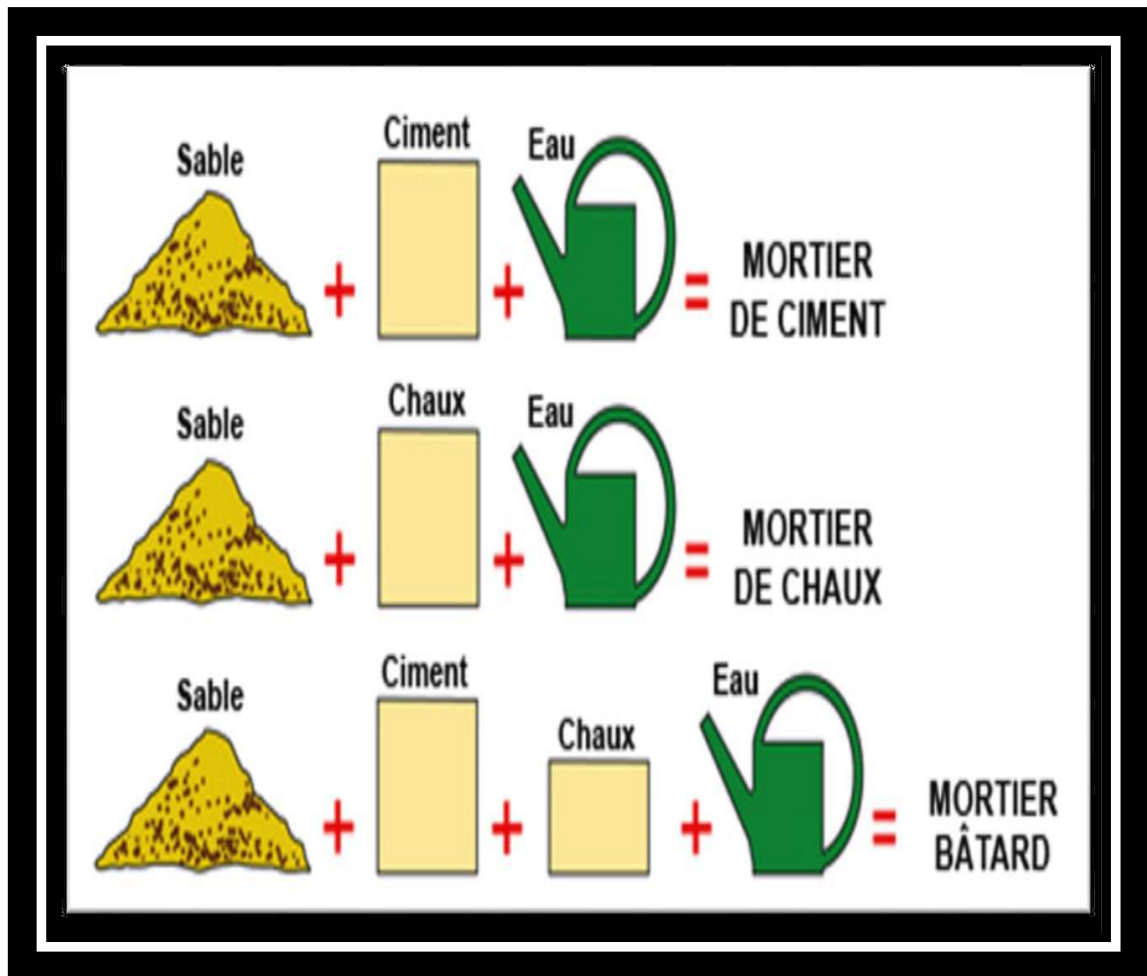


Figure. I. 3 Les différents types des mortiers. [10]

1.2.6-Classes des mortiers :

- **Classe 1:** Adjuvant modifiant les caractéristiques des mortiers, bétons et coulis à l'état frais.
- **Classe 2:** Adjuvant modifiant les caractéristiques des mortiers, bétons et coulis pendant la prise et le durcissement.
- **Classe 3:** Adjuvant modifiant la teneur en air ou en autre gaz.
- **Classe 4:** Adjuvant modifiant la résistance des mortiers, bétons et coulis.
- **Classe 5:** Adjuvant améliorant la durabilité des mortiers, bétons et coulis.
- **Classe 6:** Adjuvant modifiant des propriétés spéciales. [11]

1.2.7. Caractéristiques des mortiers :

Elles sont nombreuses .A savoir : [12]

- Résister à l'écrasement en répartissant régulièrement les pressions ;
- Etre compact : pour éviter l'infiltration des eaux dans les ouvrages, et accroître la résistance mécanique ;

- *Etre imperméable: pour obtenir un maximum d'étanchéité des joints de maçonnerie, et des enduits ;*
- *Adhérer aux matériaux: pour mieux transmettre les charges, ou créer un écran durable contre les intempéries;*
- *Conserver un volume constant pendant la prise et le durcissement pour éviter les tassements ou les dislocations des ouvrage;*
- *Résister aux agents agressifs d'une atmosphère ou d'un sol pollués ;*
- *Etre ouvrable, afin que l'exécutant puisse le mettre en place dans les meilleures conditions;*
- *Conserver toutes ses qualités, et notamment la permanence de la résistance. De quoi dépendront tous ces qualités des constituants: [12]*
- *de leur nature;*
- *de leur dosage ;*

1.2.8. Préparation des mortiers :

Les quantités nécessaires en fonction des dosages et des travaux à faire comme montrent tableaux ci-dessous : [13]

Tableau. I.1: Dosages des mortiers. [13]

<i>Sable</i>	<i>Ciment</i>	<i>Eau</i>
<i>Unité (g)</i>	<i>Unité (g)</i>	<i>Unité (ml)</i>
<i>1350</i>	<i>450</i>	<i>225</i>

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

- ✚ *Faire tomber peu à peu les bords du cratère dans l'eau pour humidifier le mélange.*
- ✚ *Mélanger le tas afin de répartir l'eau. Pour homogénéiser le mélange, le déplacer deux ou trois fois comme pour le mélange à sec.*
- ✚ *Couper le dessus du tas de mortier avec la pelle. S'il ne se forme pas de boudins, ajouter un peu d'eau et mélanger à nouveau.*
- ✚ *Le mortier est correctement humidifié lorsqu'on passe le plat de la pelle dessus, il se lisse et l'eau remonte en surface. [13]*

1.2.9. Application du mortier :

- *Dans la maçonnerie en fondation ou en élévation, on emploie normalement le mortier moyen de chaux hydraulique, de liant à maçonner ou de ciment à maçonner ou le mortier maigre de ciment de fer.*
- *Pour les maçonneries peu chargées, on pourra utiliser le mortier maigre de chaux de liant ou de ciment à maçonner ; en revanche, pour les maçonneries fortement chargées, le mortier moyen de ciment portland sera recommandé. Le mortier moyen de ciment de laitier ou de haut fourneau pourra être utilisé en fondation, il y a même été recommandé en présence d'eaux nocives, mais il ne devra pas être employé en élévation.*
- *Pour le jointoiement on utilisera un mortier gras du même liant qui a servi à hourder la maçonnerie.*
- *Pour les enduits aériens et crépis, le mortier moyen est recommandé, car il protégera mieux que le mortier maigre et il sera moins susceptible de décollement, fissuration et faïençage que le mortier gras. On utilise principalement le mortier de chaux hydraulique et de mortier portland.*
- *Pour les enduits mouillés ou enterrés, n'importe quel mortier moyen convient.*
- *Pour les enduits étanches, le mortier devra être gras on peut utiliser le ciment de laitier ou de haut fourneau, mais on emploie surtout le portland ou le ciment de fer. Pour les chapes ordinaires, on utilisera le même mortier que pour les enduits aériens, mais pour les chapes de dallages, soumise à une usure rapide, et pour les chapes étanches, il faudra un mortier gras de ciment de fer ou portland.*
- *Pour les enduits et chapes étanches, soumis à la forte sous-pression le mortier très gras de ciment de laitier ou de haut fourneau pourra être utilisé en fondation. [14]*

I.3. Conclusion :

Le mortier est le matériau le plus fréquemment utilisé dans le domaine de la construction. Il est composé de : liant, sable, chaux, eau et adjuvant, se différencient par leur compositions et leur consistances d'où la différence du domaine d'utilisation. Nous utilisons le mortier pour but de :

- *Solidariser les éléments entre eux.*
- *Assurer la stabilité de l'ouvrage.*
- *Comblent les interstices entre les blocs de construction, etc....*

A decorative border resembling a scroll or ribbon, with rounded corners and a slight shadow, framing the text. It is positioned around the central text area.

CHAPITRE II :
DECHETS DE
BRIQUE

II.1 Histoire :

L'argile appartient aux matériaux les plus anciens connus par l'homme pour différents usages. Cette terre, facile à mettre en forme, permet d'obtenir aisément des pots simples, des bols, des coupes, des carreaux, etc.

Mais on sait que depuis près de 10.000 ans, les hommes exploitent la terre et bâtissent des villes. Depuis l'antiquité, la terre cuite a été utilisée pour la décoration des temples et des palais de la Grèce Antique.

Les premières constructions en terre cuite et les premiers traitements datent du début de notre ère : il s'agit des casernes prétoriennes de Rome; il faudra attendre le VIII^e siècle en France pour utiliser les premières dalles et carreaux de terre cuite destinés à la construction des sols et des terrasses.

Les Grecs définissaient les parquets du nom "d'Apostrotom" : les sols de bois étaient cuits au four et formaient de très belles marqueteries. Les Grecs ont en quelque sorte inventé les premiers dallages au sol ainsi que le carrelage mural. Le carrelage, nommé aussi "Tesselatum" par les Grecs, était constitué de petites dalles carrées : "les Favi" étaient les carreaux hexagonaux et "les trigonas", les dalles triangulaires.

De nombreuses autres formes rectangulaires, arrondies ou personnalisées, étaient déjà connues des sculpteurs Grecs et furent utilisées en éléments de décoration.

Les Romains, à leur tour très créatifs, ont apporté les sublimes mosaïques de marbre représentant des scènes de la vie quotidienne ou imaginaires. Ils déclineront la terre cuite sous de multiples formes en passant par les briques, les tuiles, les contenants en tout genre: flacons de parfum, amphores, cruches à vin, dalles, figurines, sculptures et conduites d'eau chaude pour le chauffage au sol. L'Opus romain est un assemblage complexe de carrés et de rectangles qui rompent ainsi la monotonie d'un sol uniforme. A l'heure actuelle, on utilise encore cette technique d'assemblage qui donne un aspect esthétique remarquable et sophistiqué: on trouve actuellement les opus romains dans des finitions adoucies, brossées et patinées. La variété des formats renforce l'aspect ancien de votre dallage [15].

Chez les Romains, le sol était fait de terre battue, de bois, de mortier de briques rose (dans la maison romaine) ou de mosaïques d'argile, de pâte de verre ou de marbre d'excellente qualité, venant du monde entier, pour embellir sols et murs de fresques très ornementées (dans les Domus) pour les plus fortunés. Ils furent les grands précurseurs des traitements des sols et des murs : pour les sols, ils avaient élaboré de savants mélanges à bases d'huiles végétales et de catalyseurs à base de caséine

(blanc d'oeuf), des finitions à la cire d'abeille terminaient l'entretien de ceux-ci! Les traitements ont très peu évolué depuis les Romains, jusqu'à il y a environ trente ans.

Pour les murs des Thermes entre autre, des fresques représentant souvent des poissons, étaient appliquées "al fresco" (de l'italien fresco = frais) et peintes sur le crépi encore frais. En séchant, la couleur pénètre dans le crépi et forme un revêtement qui résiste à l'eau. Un principe de construction de la voie romaine est que partout où il y avait des risques de dégradation, à la fois par l'utilisation et par les intempéries, celle-ci était construite de manière à résister à ces risques en toute saison (creusement de l'emprise jusqu'à 60 ou 80 cm de profondeur; dépôt d'un lit constitué d'un mélange étudié de sable, cailloux et pierres concassées, et pose d'une couche de surface de dalles jointives de pierre non gélive).

Les premières dalles de carrelage ont fait leur apparition en France seulement à partir du VIII^e siècle. La première utilisation fut d'orner les édifices religieux (carrelages incrustés d'ornements précieux). L'usage domestique du carrelage est apparu en France à partir du XVIII^e siècle avec la fabrication des premiers sols en céramique dans les maisons bourgeoises. Il faudra attendre tardivement la fin du XIX^e siècle pour que le carrelage se répande plus généreusement.

Dès l'Antiquité, on en fait un usage très abondant en Mésopotamie et dans l'Egypte des Pharaons, en Afrique et au Moyen-Orient pour les civilisations romaines puis musulmanes, en Asie les

Moines Bouddhistes, ou les empereurs de Chine, en Amérique du Nord pour les indiens, au Mexique les Aztèques ou dans les Andes les Mochicas, en Europe au Moyen-âge, etc. Les civilisations les plus diverses ont construit des villes entières en terre. En dehors des villes, les cultures rurales ont perpétué des traditions d'une grande diversité. La terre cuite a supplanté la terre crue au cours des siècles et sous toutes les latitudes, grâce à ses qualités de solidité, de résistance aux intempéries, à sa souplesse dans toutes les utilisations et, depuis 150 ans grâce à son industrialisation [15].

4000 ans avant Jésus-Christ, les céramiques peintes restent le principal support de l'expression artistique. Témoins de l'histoire, elles étaient déposées dans les tombes.

Durant toute l'Antiquité, les terres cuites ont fait la réputation de la Grèce archaïque et de la civilisation étrusque ensuite.

Au seizième siècle, la Renaissance apporte en Europe un mouvement qui agite le milieu artistique et se manifeste sur toute la décoration (sur les reliures de livres, comme sur les parois peintes): les céramiques et les marbres. La recherche de la beauté pure conduit les artistes à privilégier la courbe,

la stylisation et la préciosité de la matière. Ils jouent avec cette terre, matière si malléable, pour raconter des scènes de la vie quotidienne ou religieuse, ou encore s'inspirent de la nature - tel Bernard Palissy qui trouvent sa source d'inspiration dans les fossiles, les animaux, les plantes, etc. Il produit des plats en terre vernissée, surchargés de figurations animales en relief et très colorées.

Au XVIIIe siècle, la technique de cuisson au petit feu est parfaitement maîtrisée. Elle est obtenue par plusieurs cuissons successives permettant de fixer un plus grand nombre de couleurs

(En particulier le rose qui n'est pas gardée à une température trop élevée).

Les dix-neuvième et vingtième siècles, avec l'apparition de l'ère industrielle, voient la fabrication des terres cuites révolutionnée. Actuellement, les techniques de chauffage par le sol nécessitent l'utilisation de carrelages. La terre cuite, comme complément indispensable à cette technique, est très appréciée des professionnels ainsi que des utilisateurs pour sa résistance, son confort et ses qualités thermiques.

La terre cuite est également très utilisée pour la fabrication de tuiles, faîtières, arêtières, noues, bardeaux, et tout élément de mise hors d'eau. Il est à noter que dans tous les pays méditerranéens, la terre cuite sous forme de carrelages fait partie intégrante de l'architecture: l'influence mauresque y est déterminante. Les carreaux s'affichent en façade, en signalétique, en intérieur au sol et sur les murs.

En extérieur, les carreaux aux couleurs variées, très gaies et lumineuses réfléchissent le soleil. En intérieur, ils conservent la fraîcheur et créent le décor. La terre cuite a été et demeure, à travers les traditions historiques et populaires un des principaux matériaux.

II.2. Les Argiles :

L'argile est une matière première utilisée depuis la plus haute antiquité. Le mot argile vient du grec "argiles" dérivé de "argos" qui veut dire blanc, ou du latin "argila"; c'est la couleur du matériau utilisé en céramique qui a conduit les anciens à lui donner ce nom [16].

Les argiles sont donc des aluminosilicates plus ou moins hydratés et la majorité des matériaux argileux appartiennent au groupe des silico -aluminates phylliteux. Ils sont organisés en couches planes infinies constituées d'unités structurales tétraédriques et octaédriques reliées par leurs sommets.

Ce type de structure à très grande surface spécifique associée à des caractéristiques physicochimiques très particulières, explique la capacité des argiles à admettre de nombreux échanges de cations et d'anions dans le réseau ou adsorbés en surface.

A l'état de fines particules, les minéraux argileux sont les constituants de nombreuses formations géologiques et des sols particulièrement recherchés pour certains types de cultures. En outre, les argiles ont un rôle dans le domaine des pesticides. [16]

II. 3. Matière Première :

Le matériau utilisé pour la terre cuite contient de l'argile ; il s'agit de plaquettes dont la surface est chargée négativement. Une plaquette peut donc attirer :

- une autre plaquette*
- des ions de charge opposée (cations)*
- les molécules polaires (H_2O).*

En Suisse, les terres argileuses sont pauvres en argile (30 - 50 %), elles contiennent du quartz et du calcite, ainsi que du feldspath ou de la dolomite comme éléments secondaires.

Les argiles sont des silicates d'alumine hydratés; minéraux cristallisés basés sur l'empilement de deux types de feuillets :

- Feuillet siliceux (silice SiO_2) : Couche de tétraèdres de silice.*
- Feuillet hydro alumineux ($Al(OH)_3$) : Couche d'octaèdres d'alumine hydratée [15].*

II.3.1 Introduction

Les briques, depuis longtemps, sont considérées parmi les éléments les plus importants dans le domaine de la construction. La fabrication des briques est passée par plusieurs étapes de développement dont la première est la brique crue, puis la brique cuite, enfin la brique stabilisée

La technologie actuelle permet de réaliser plusieurs types de briques avec des performances supplémentaires pour différentes destinations (Brique de verre, brique cellulaire, brique monobloc ...etc.).[15]

II.3.2 Brique de terre cuite :

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

II.3.3 L'extraction :

L'extraction peut se faire par des engins mécaniques : décapeuse, pelles chargeuses ...etc.

La matière première extraite, acheminée à l'usine par camions, voies ferrée, bandes transporteuses.

[15]



Figure II .1 Gisement d'argile de B .Amer à Ouargla. [17][18][19]

II.3.4 Façonnage :

Le façonnage des produits (pleins, perforés et creux), est réalisé par deux procédures : étirage et pressage. [17] [18] [19] Voir Figure (II.2 Fabrication des produits de terre cuite).

II.3.5 Séchage :

Les produits sont façonnés avec une teneur en eau de 15 à 30% (les chiffres exprimés en pourcentage par rapport au poids sec). Il est nécessaire avant la cuisson d'éliminer la plus grande partie de cette eau, par des séchoirs bien réglés Figure (2 .2). L'énergie consommée varie de 3.5×10^6 à 4.10×10^6 J/Kg d'eau évacuée, le séchage d'une tonne de produit nécessite une consommation d'énergie électrique de 6 à 13 KWh. [15]

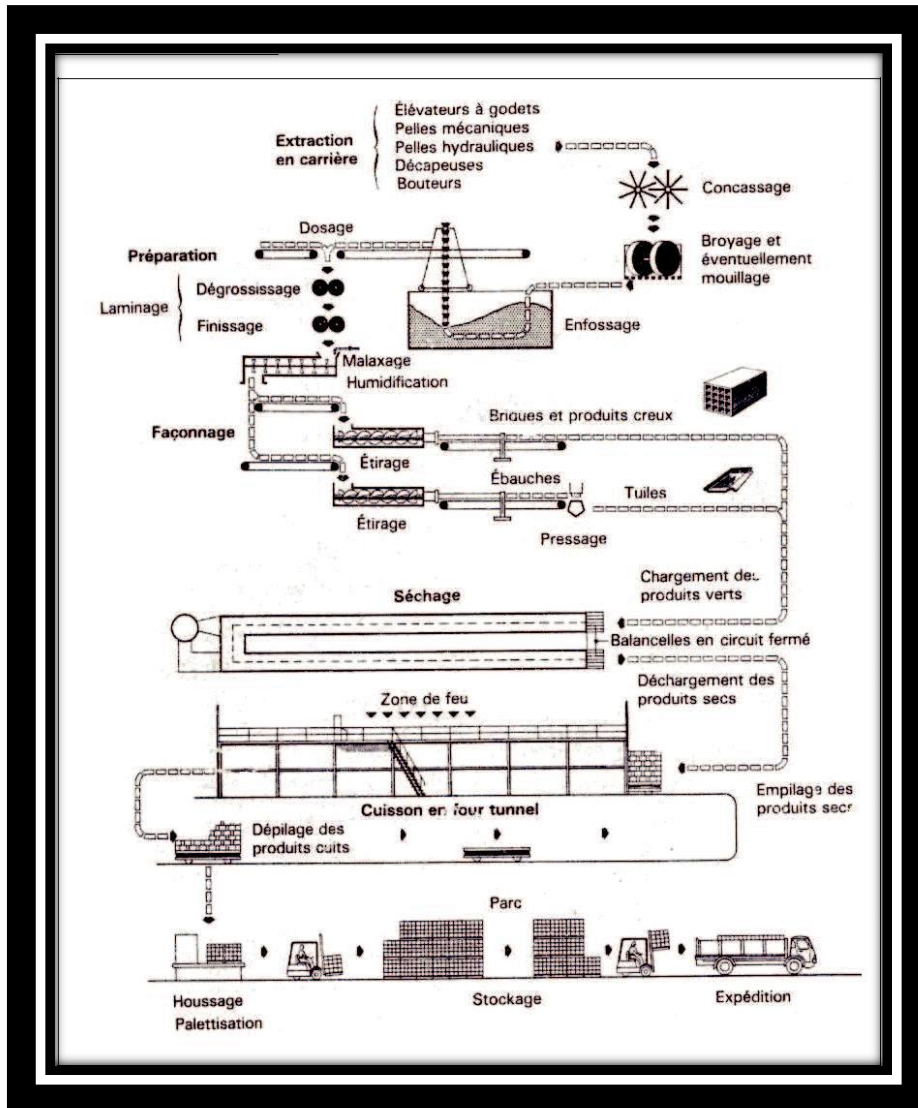


Figure.II.2.Fabrication des produits de terre cuite. [17]

II.3.6 Cuisson :

C'est la dernière opération que doit subir le bloc d'argile façonné et séché pour devenir ensuite une brique de terre cuite. C'est donc une phase extrêmement importante qui doit se dérouler très progressivement, c'est à dire. Que la fournée est soumise à un échauffement régulièrement croissant jusqu'à la température de cuisson (comprise entre 850° et 1200°C selon l'espèce d'argile utilisée), ensuite elle doit refroidir aussi graduellement.

Il existe une très grande variété de fours, qui peuvent être classé en deux catégories principales : les fours à fonctionnement discontinu et les fours à fonctionnement continu.

Dans le premier cas, le mode opératoire comprend le chargement du four, sa mise à feu, son extinction et refroidissement lorsque la cuisson est terminée. Dans un four du type continu, le feu ne s'éteint

jamais, et c'est le chargement qui est introduit et extrait du four suivant un cycle régulier et ininterrompu.

Concernent la réaction des matières premières à la cuisson, la chaleur provoque des modifications de masse volumique, de porosité, de dureté, dimensions. Elle provoque également des déshydratations, des décompositions et des combinaisons qui modifient les propriétés comme suit :

- *jusqu'à 200° C environ, évacuation de l'eau résiduelle courant le séchage;*
- *de 200 à 450° C, décomposition de matière organique;*
- *de 450 à 650° C, décomposition des minéraux argileux avec départ de l'eau de constitution ;*
- *de 650 à 750° C, décomposition du carbonate de chaux (cas des argiles calcaires);[17] [18] [19].*

II.4. Les propriétés et caractéristiques de brique de terre cuite :

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

Tableau.III.1 Caractéristiques des Briques creuses. [20]

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

Tableau II .2 Propriétés des briques pleines et perforé. [20]

<i>E : épaisseur en (cm)</i>	<i>5</i>	<i>10</i>	<i>20</i>	<i>25</i>
<i>R (m2. °C/W)</i>	<i>0.10</i>	<i>0.20</i>	<i>0.39</i>	<i>0.55</i>

** la Résistance thermique des briques de terre cuite égale 1.15 (W /m. °C)*

Briques pleines ou perforées en terre cuite selon la Norme XP P 13-305. [15]

On distingue trois types de produits :

➤ **Brique pleine :**

Brique ne comportant aucune perforation et dont le format d'appellation le plus courant est 6x11x22 cm Figure (II.3). [15]

➤ **Brique perforée :**

Brique comportant des perforations perpendiculaires à la face de pose, la somme des sections des perforations étant inférieure ou égale à 50% de la section totale, et de largeur inférieure à 14 cm Figure (II.3).[15]

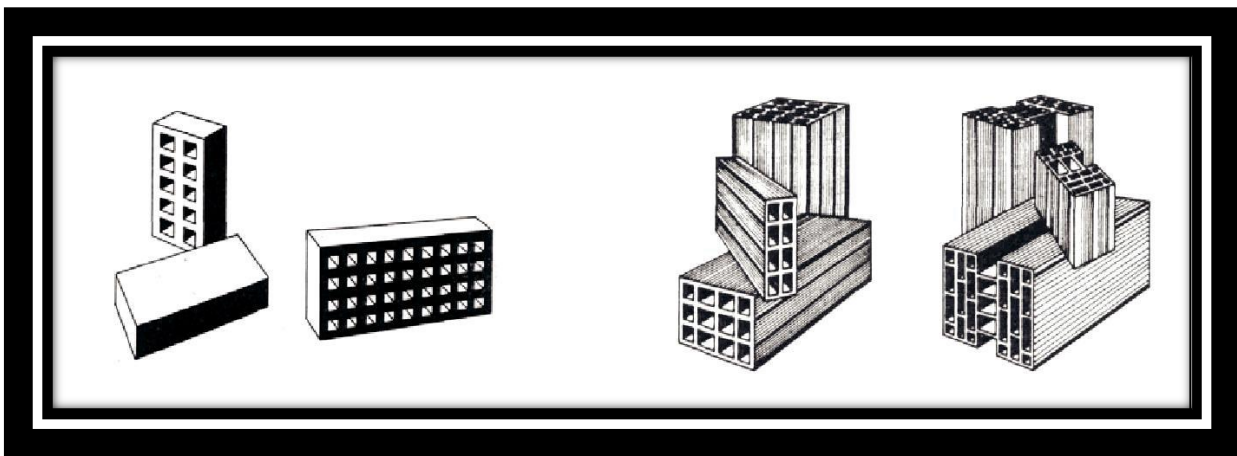


Figure II. 3 Brique pleine et perforée. [20]

II.5 La valorisation des déchets :

La valorisation est un terme générique qui recouvre le recyclage matière et organique, la valorisation énergétique des déchets, ainsi que le réemploi, la réutilisation et la régénération.

Exemples de filières de valorisation de matière :

- L'aluminium : récupéré, broyé, trié, fondu puis affiné pour refaire de l'aluminium liquide ou des lingots utilisés pour la fabrication de pièces moulées pour l'automobile. Gains d'énergie très importants avec l'aluminium de seconde fusion.
- Le verre : collecté, débarrassé de ses impuretés, broyé, fondu dans les fours en remplacement du sable, de la soude et de la chaux permet de substantielles économies d'énergie. Le taux d'incorporation peut dépasser 80 %.
- Les papiers-cartons : collectés, triés, traités (mise en suspension en milieu aqueux pour réduction à l'état de fibres, désancrés par flottaison), épurés, la feuille peut-être façonnée. Le taux d'incorporation

peut dépasser 80 % dans la fabrication de cartons d'emballages et 60 % dans la fabrication de papier-journal pour les journaux et magazines. [15]

- **L'acier** : il est recyclable à 30 % (remplacement minéral de fer + coke) dans les procédés à hauts-fourneaux et jusqu'à 100 % en fours électriques. [15]

- **Le plastique** : difficilement recyclable en raison de la diversité des résines et de leurs difficiles compatibilités. Se reporter au Guide concernant le recyclage des plastiques. [15]

II.5.1 Introduction :

La question des déchets est quotidienne et touche chaque individu tant sur le plan professionnel que familial. En tant que consommateur, jeteur, usager du ramassage des ordures ménagères, et trieur de déchets recyclables, citoyen ou contribuable, Chacun peut et doit être acteur d'une meilleure gestion des déchets. [15]

Des gestes simples permettent d'agir concrètement pour améliorer le cadre de vie et préserver le bien-être de chacun : chaque citoyen peut jeter moins et jeter mieux. Différentes lois, notamment celles du 15 juillet 1975 et du 3 juillet 1992, regroupées et inscrites dans le code de l'environnement, fixent les objectifs à respecter pour gérer correctement les déchets : [15]

- ✚ Prévenir ou réduire la production et la nocivité des déchets.
- ✚ Organiser le transport des déchets.
- ✚ Valoriser les déchets par réemploi, recyclage ou toute action visant à obtenir de matériaux réutilisables ou de l'énergie.
- ✚ Informer le public des effets pour l'environnement et la santé publique.
- ✚ Limiter le stockage définitif aux seuls **déchets résiduels, ultimes**.

II.5.2 Des solutions écologiques et pérennes :

Si la meilleure des politiques réside dans la réduction des déchets à la source, une quantité énormément élevée de déchets est produite chaque année à travers le monde. Le traitement de certains d'entre eux, dont le réemploi est impossible (pneus, huiles usagées et farines animales), est un enjeu majeur pour la collectivité, les pouvoirs publics et les industriels. Il est indispensable de mettre en place des solutions écologiques et pérennes pour les valoriser sans danger pour l'environnement et les riverains. A titre d'exemple près d'un million de tonnes de déchets par an sont ainsi valorisés par l'industrie cimentière en France. [15]

II.5.3 Le rôle actif de l'industrie du ciment et du béton :

Grâce à la valorisation des déchets dans les cimenteries et les centrales à béton, ces industries participent depuis de nombreuses années à l'effort collectif pour la préservation des ressources naturelles et le traitement des déchets. [15]

II.5.4 Le maintien de la qualité :

La valorisation de déchets s'effectue dans des conditions particulièrement strictes. Ne sont ainsi utilisés que des déchets sélectionnés pour leur compatibilité avec le procédé de fabrication et la qualité finale des produits (ciments et bétons). [15]

II.5.5 Un double bénéfice pour l'environnement :

Les déchets sont utilisés de deux façons: En remplacement partiel des constituants de base (calcaire, argile, sable,...): c'est la valorisation matière. En remplacement des combustibles fossiles (coke de pétrole, charbon, fioul lourd,...): c'est la valorisation énergétique. [15]

❖ La valorisation matière

L'industrie du ciment et du béton utilisent depuis longtemps des sous-produits issus d'autres industries comme les laitiers de hauts fourneaux ou les cendres volantes en remplacement de certains constituants du ciment ou du béton sans en modifier la qualité.

Traditionnellement, l'industrie cimentière emploie 80% de calcaire et 20% d'argile pour fabriquer le ciment. Or, cette argile peut être en partie remplacée par des cendres provenant de centrales thermiques au charbon. Ainsi, ces déchets n'ont pas à être éliminés par d'autres moyens. [15]

❖ La valorisation énergétique

Depuis une vingtaine d'années, les cimentiers réduisent leur consommation d'énergie d'origine fossile (charbon, fioul lourd, coke de pétrole,...) grâce à l'utilisation de déchets sélectionnés comme combustibles. L'industrie cimentière a été sollicitée par les pouvoirs publics pour la destruction des farines animales en raison de sa capacité à assurer une valorisation totale des déchets. [15]

II.6 Valorisation des déchets en Algérie :

La récupération des déchets en Algérie est une importante opportunité à saisir vis-à-vis l'environnement, les déchets ménagers représentent environ 13,5 millions de tonnes/an, soit un kilogramme par habitant par jour, dont près de la moitié peut être récupérée. Environ 45% de ces

déchets, soit 6,1 millions de tonnes sont recyclables. Parmi ces 6,1 millions de tonnes, il y a 1,8 million de tonnes de papiers, 1,22 millions de tonnes de plastiques, 1,6 millions de tonnes de textiles et 300.000 tonnes de métaux. Ceux-ci pour une valeur approximative de 23 milliards de DA. C'est un véritable gisement. Or, il n'existe que 247 micro-entreprises qui opèrent dans la récupération des déchets et qui ne valorisent à peine que 5 ou 6% de ce potentiel dont une partie est exportée. L'Etat mise beaucoup sur le développement d'une industrie de récupération et de recyclage. Elle est au coeur même du programme national de gestion des déchets municipaux (PROGDEM), qui constitue le principal cadre de référence en termes de gestion et de valorisation des déchets ménagers. Il existe deux (02) types de filières: classiques (plastiques, papiers, métaux, textiles, verres, bois et matières organiques) et complexes (pneus usagés, huiles usagées, piles et batteries et autres déchets d'équipements électriques et électroniques). [15]

II.6.1 Des métiers de l'environnement à apprendre :

La chaîne de valeur de ces filières comporte quatre niveaux à savoir, les études d'ingénierie, la logistique et transfert, le traitement et la valorisation, et enfin l'élimination. Les quatre niveaux nécessitent une expertise pour laquelle l'Algérie cumule d'immenses retards. Le développement durable pour lequel l'Algérie a pris des engagements internationaux favorise l'émergence de filières très porteuses (énergies renouvelables, la gestion des déchets ménagers, spéciaux ou des eaux usées, et les bâtiments à faible impact énergétique). [15]

Le programme des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique est ambitieux. Il prévoit une production électrique d'origine renouvelable (photovoltaïque, notamment) de 22.000 MW à l'horizon 2030 (5 MW actuellement). De même qu'on vise le recyclage de 70% des déchets (5% actuellement) en 2020, et à promouvoir la réutilisation des eaux épurées, mais il est nécessaire de réorienter la formation vers les métiers qui sont nécessaires au développement de telles filières. Ces filières nécessitent une expertise qui n'est pas disponible en Algérie. Elle est importée d'Allemagne, de France et de Suisse. Tout est à faire dans ce domaine (expertise et ingénierie des déchets spéciaux, gestion des stations d'épuration, traitement des eaux usées, en irrigation, système de traçabilité, management environnemental, qualité de l'air, transport) car, ce qui est constaté que les capacités actuelles du pays ne lui permettent pas de tenir ses engagements internationaux. [15]

II.6.2 La part de responsabilité des industriels :

Il convient de signaler que l'Algérie dispose de 16 centres de tri opérationnels, 16 autres sont en travaux ou en phase d'études, et 5 en voie de lancement. Des investissements ont été également engagés pour la réalisation de 48 déchetteries dont 13 sont désormais en exploitation, 9 en travaux, 8

en phase d'études et 11 en instance de lancement (choix de sites). Par ailleurs, selon la réglementation en vigueur, tout producteur de déchets est tenu d'en assurer l'élimination dans des conditions à éviter les effets préjudiciables pour l'environnement, à faciliter la récupération des matériaux, le recyclage des matières ou la valorisation énergétique. Aucune étude n'a été engagée pour quantifier les déchets industriels. L'état a pris à sa charge l'élimination des déchets produits avant la promulgation de la nouvelle loi et ce, dans le cadre d'un plan national de gestion des déchets spéciaux (mercure, cyanures). Désormais, les industriels sont tenus de le faire par leurs propres moyens. Des contrats de performances ont été signés avec eux et ils avaient le temps nécessaire pour s'y préparer. [15]

II.7 Les déchets inertes :

Il est utile de préciser que les déchets sont classés en trois catégories: les déchets dangereux, non dangereux et inertes. Pour être inerte, le déchet doit notamment être exempt de plastiques, plâtres, bois, amiante... Une formation du personnel affecté à la réception des matériaux doit donc être effectuée afin que la gestion du centre de tri et/ou recyclage soit conforme à la réglementation. [15]

II.7.1 Matériaux autorisés :

Les matériaux stériles issus du site d'extraction. Les matériaux de type argileux (si l'arrêté l'autorise) Les matériaux naturels, sables, graviers, blocs rocheux, résultant des travaux publics tels que le terrassement et n'ayant pas fait l'objet d'une quelconque contamination au cours de ces travaux. Les déchets triés issus du secteur du bâtiment (construction, démolition et réhabilitation), tels que: mortier, béton, béton cellulaire, rebus de ciment, briques (sauf briques réfractaires), tuiles, pierres, blocs, céramiques, carrelages, sanitaires, gravats, verre, déchets de minéraux. Ces matériaux ne doivent pas contenir de plâtre et ne doivent pas avoir été contaminés par une quelconque activité. [15]

II.7.2. Matériaux interdits :

Les matériaux provenant d'une installation classée pour la protection de l'environnement (ICPE) sauf s'ils ont fait l'objet d'une autorisation spécifique. Les terres suspectes ou considérées polluées lors de leur réception sur site. Les déchets industriels spéciaux et les déchets dangereux, comme par exemple les sous-produits générés par les activités de la métallurgie. Les briques réfractaires. Les déchets industriels banals. Les matériaux putrescibles et fermentescibles tels que bois, papiers, cartons, déchets verts, ordures ménagères. Les matières synthétiques tels que caoutchouc, plastiques, résines, ainsi que les métaux, quels qu'ils soient. [15]

Les matériaux solubles tels que les plâtres. Les enrobés et produits bitumineux, goudrons, asphalte, y compris ceux résultant du démantèlement d'une chaussée de route Les déchets non refroidis. Les

déchets susceptibles de s'enflammer spontanément et les explosifs. Les matériaux non pelletables, tels que liquides, effluents, produits de vidange, boues ne résultant pas du criblage mécanique des matériaux extraits du site lui-même. [15]

II.7.3 Le recyclage :

Il existe trois filières de valorisation pour les matériaux inertes: un réemploi direct sur les chantiers, un acheminement vers des plateformes de recyclage et une utilisation en remblais pour le réaménagement des carrières. [15]

II.8 Minéralogie et propriétés des argiles :

II.8.1 Généralités et définition :

Le terme argile vient du mot grec « argilos », dont la racine argos signifie blanc, ce sont des aluminosilicates dont la structure est formée d'un empilement de feuillets. Il n'existe pas de définition unique du terme « argile ». Ce mot englobe deux connotations, l'une liée à la taille des grains et l'autre à la minéralogie. [15]

Cette définition dépend de la discipline concernée: Le géologue ou le pédologue considèrent comme « argile » tout minéral de faible granulométrie, la limite étant fixée à 2 ou 4 microns selon les cas. Les ingénieurs s'attachent plutôt aux propriétés de plasticité des matériaux argileux quel que soit leur taille. Les céramistes regroupent les matériaux selon leurs comportements au chauffage. [15]

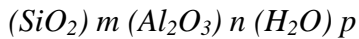
II.8.2 Minéralogie des argiles :

Les minéraux argileux sont de très petites particules très actives sur le plan électrochimique. Lorsque le pourcentage d'argile augmente, l'influence de la portion argileuse sur le comportement global du sol augmente proportionnellement. [15]

II.8.2.1 Minéraux argileux :

Les minéraux argileux sont des substances cristallines qui tirent essentiellement leur origine de l'altération chimique de certains minéraux composant les matériaux parents. La famille des minéraux argileux regroupe tous les silicates hydratés appartenant au groupe des phyllosilicates. Sur le plan chimique, ce sont des alumino-silicates hydreux ajoutés à d'autres ions métalliques. (Holtz et al, 1991, [21]).

Ils sont composés des particules de formes aplaties et de dimensions très petites qu'on ne peut voir qu'au microscope électronique, les cristaux ressemblent à de minces plaques ou plaquettes. Leurs formule chimique est de la forme suivante (cité par Hafsi, 1993, [22]):



II.8.2.2 Structure des argiles :

Les particules d'argile sont formées d'un empilement de feuillets qui sont constitués par l'association de deux unités structurales de base, ces feuillets sont formés par la juxtaposition des couches structurales tétraédriques (silice) et octaédriques (aluminium).

Les couches structurales sont à leur tour formées d'unités structurales de base par empilement d'ions ou d'hydroxydes en disposition hexagonale ou compacte. [15]

II.9 Différents types des déchets :

II.9.1 Déchets ménagers et assimilés (DMA) :

Correspondant à ceux produit par l'activité domestique des ménages, les déchets assimilés sont issus des commerces, de l'artisanat, des bureaux et des industries (verre, papiers, emballage, métal...etc.). Ils sont collectés par les municipalités. Il existe des déchets ménagers spéciaux (DMS) : ce sont des déchets toxiques ou dangereux produits en faible quantité par les ménages (Solvant, peintures, les huiles minérales) et ne peuvent pas être éliminé. [23]

II.9.2 Déchets encombrants (DE) :

Toutes déchets provenant des ménages qui par leur poids, leur dimension ou leur volume ne peuvent être chargés dans les véhicules de collecte avec les déchets ménagers ordinaires et qui doivent faire l'objet d'une collecte spéciale. [24]

II.9.3 Déchets spéciaux (DS) :

Tous déchets issus des activités industrielles, agricoles, de soins, de services et toute autres activités qui en raison de leur natures et de la composition des matières qu'ils contiennent ne peuvent pas être collectés, transportés et traités dans les même conditions que les déchets ménagers et assimilés et les déchets inertes.[25]

II.9.4. Déchets spéciaux dangereux (DSD) :

Tous déchets spéciaux qui par constituants ou par les caractéristiques des matières nocives qu'ils contiennent sont susceptibles de nuire à la santé publique et /ou à L'environnement. [25]

II.9.5.Déchets inertes (DI) :

Ce sont des déchets qui ne subissent aucune modification en cas de stockage, ne se décomposent pas, ne se brûlent pas et ne produisent aucune réaction physique ou chimique ne sont pas biodégradables et ne détériorent pas d'autres matières avec lesquelles ils entrent en contact, d'une manière susceptible de nuire à la santé humaine et d'entraîner une pollution de l'environnement. [26]

II.9.6.Déchets ultimes (DU) :

Est ultime un déchet, résultant ou non du traitement d'un déchet, qui n'est plus susceptible d'être traité dans les conditions techniques et économiques du moment, notamment par extraction de la part valorisable ou par réduction de son caractère polluant ou dangereux. Le caractère ultime d'un déchet n'est pas fonction des caractéristiques "physicochimiques" du déchet mais s'apprécie en fonction du système global de collecte et de traitement. Cette notion est locale et doit normalement être précisée dans le cadre des plans départementaux d'élimination des déchets ménagers et assimilés. [27]

II.9.7. Déchets biodégradables :

Ce sont les déchets pour lesquels les facteurs abiotiques assurent seuls leur Décomposition ; dans le cas où la décomposition est assurée par les micro-organismes (bactéries ou champignons), on parle des déchets biodégradables. Exemple la matière Organique. [28]

II.10. Classification des déchets :

II.10.1 Selon l'origine :

On a deux classes :

- *Déchets industriels ;*
- *Déchets urbains ;*

Après le tri et le traitement on adoptera une étape cruciale dans le processus de valorisation de ces déchets .La bonne gestion nous permettra de mieux exploiter ces déchets et ainsi réduire leurs nuisances et leurs impacts environnementaux, leur réutilisation devient ainsi profitable et conduit à un résultat très positif sur le plan économique. [29]

II.10.2 Selon leur mode de traitement :

Les professionnels et les chercheurs s'accordent à regrouper les déchets en quatre grandes familles. [29]

- *Les déchets inertes ;*
- *Les déchets banals ;*
- *Les déchets spéciaux ;*
- *Les déchets dangereux.*

II.10.3 Selon leur effet sur l'environnement :

- *A ce titre on distingue :*
- *Les déchets inertes*
- *Les déchets fermentescibles*
- *Les déchets toxiques. [29]*

II.11. Déchets utilisés en génie civil :

II.11.1. Laitiers de haut fourneau :

Le laitier de haut fourneau est un sous-produit de la transformation du minerai de fer en fonte brute. Le laitier est ensuite refroidi lentement à l'air libre et donne un matériau cristallin et compact connu sous le nom de «laitier refroidi à l'air» ou bien il est refroidi rapidement et traité au moyen de jets d'eau pour obtenir un matériau léger désigné sous le nom «laitier expansé».

Le laitier refroidi à l'air est approprié comme granulats pour le béton. La stabilité volumique, la résistance aux sulfates et la résistance à la corrosion par les solutions de chlorure font que le béton de laitier armé convient pour plusieurs applications. [30]



Figure.II.4 Laitier de haut fourneau. [31]

II.11.2 Laitier d'acier :

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

L'utilisation de ces laitiers est assez peu répandue en raison des problèmes de stabilité dimensionnelle. Des procédés de vieillissement/maturation se sont développés afin de maîtriser cette instabilité et des initiatives de valorisation, notamment en génie civil. Aussi, les risques environnementaux associés à l'utilisation des laitiers dans certaines filières sont encore peu connus.
[30]



Figure.II.5.Laitier d'acier. [31]

II.11.3. Cendres volantes :

Les cendres volantes pourraient constituer de très bons granulats légers, mais elles ne sont pas beaucoup utilisées. Elles sont issues de la combustion du charbon pulvérisé et poussé dans la chambre de combustion d'un four par des gaz d'échappement. Et sont préférables à beaucoup d'autres granules légers étant donné qu'elles donnent une combustion plus efficace, du fait que le carbone contenu dans les cendres produit la quantité de chaleur nécessaire pour éliminer l'humidité des boulettes et pour amener les boulettes à la température de frittage.

Les cendres volantes sont classifiées selon leurs teneurs en CaO et du type du charbon brûlé.

[30]

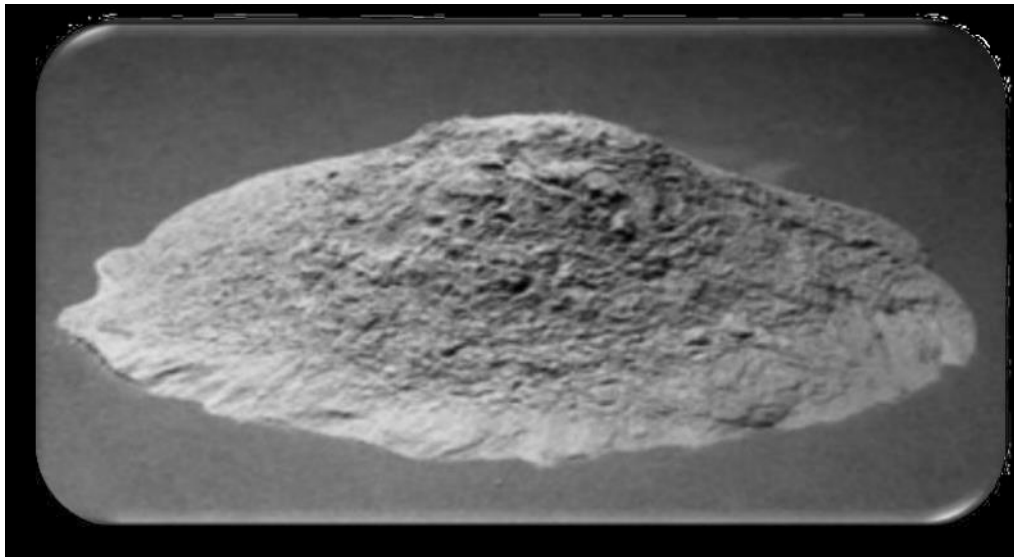


Figure .II.6 Cendre volante. [31]

II.11.4 .Mâchefer :

Le mâchefer contient une proportion considérable de charbon non brûlé et d'autres impuretés.

Il est utilisé principalement pour la fabrication de blocs de béton. Etant 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.

A la sortie du four d'incinération les mâchefers sont généralement humides et contiennent des éléments grossiers (ex : verre, ferrailles, gros imbrûlés). Ils sont classés en fonction de leurs caractéristiques physico chimiques en 3 catégories :

- *Mâchefers de catégorie « V » à faible fraction lixiviable (fraction d'éléments solubles dans un solvant).*
- *Mâchefers intermédiaires de catégorie « M ».*
- *Mâchefers avec forte fraction lixiviable de catégorie « S ».* [30]

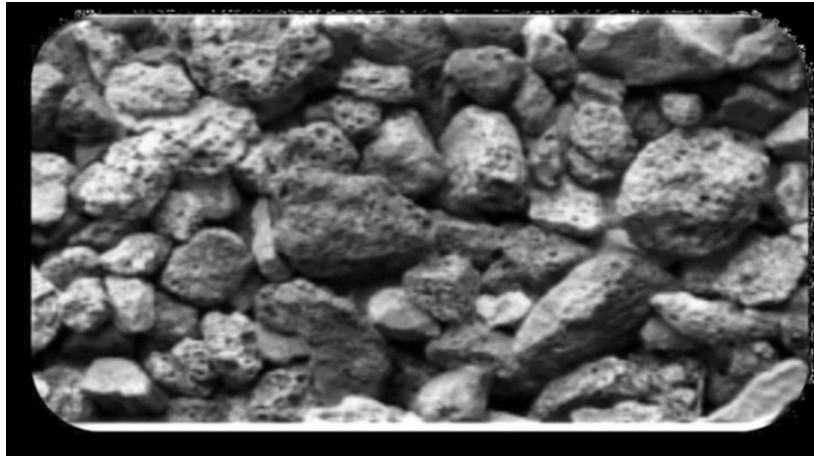


Figure.II.7 Mâchefer. [31]

II.11.5 Boues rouges :

Les boues rouges sont des résidus industriels issus du processus d'extraction d'aluminium à partir de la bauxite (procédé de Bayer). Elles sont stockées soit au fond des océans (en France, en Allemagne), soit près des usines comme au Canada. 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 .[30]



Figure.II.8 Boues rouges. [31]

II.11.6 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. [32]



Figure.II.9 Béton récupéré.

II.11.7 Verre de récupération :

Des millions de tonnes de verre sont récupérées chaque année et une voie de recyclage du verre consiste à l'utiliser dans les matériaux de construction. Il est utilisé sous deux formes principale : les granulats (taille > 4 mm) et les poudres (taille < 4 mm). Les granulats sont utilisés en remplacement des graves dans les bétons et lui procurent une résistance moindre.

Les poudres (sables et fines) sont utilisées dans les mortiers en remplacement du sable mais aussi dans l'industrie du ciment pour fines. [30]



Figure.II.10 Déchet de verre. [31]

II.11.8 Sciure de bois :

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

Le béton à base de sciure de bois est très peu utilisé à cause de sa faible résistance. On peut augmenter cette dernière en ajoutant du sable. Le béton à base de sciure de bois a de bonnes propriétés isolantes, une bonne souplesse et une faible conductivité thermique et peut être scié et cloué. [33]



Figure.II.11 Sciure de bois. [31]

II.11.9 Lin de textile :

Le développement industriel et économique de ces dernières décennies a entraîné une forte production de déchets agricoles. Parmi ces déchets, on distingue ceux issus de l'industrie textile de lin fibre, notamment les poussières extraites par aspiration lors teillage. Ces déchets, peu ou pas valorisés, constituent une source potentielle de problèmes environnementaux majeurs. L'exploitation des déchets agricoles dans les matériaux de construction est une alternative très intéressante qui présente un double objectif. Elle permet d'une part, de répondre aux besoins en matériaux nouveaux, présentant des propriétés particulières ou améliorées par rapport aux matériaux classiques. D'autre part, de pallier les contraintes économiques et environnementales par le réemploi et le recyclage de ces déchets. [34]



Figure.II.12 Lin de textile. [31]

II.11.10 Marbre :

Le marbre est une roche métamorphique dérivée du calcaire existant dans une grande diversité de coloris pouvant présenter des veines, ou marbrures (veines et colorie sont dus à des inclusions d'oxydes métalliques le plus souvent). Le déchet du marbre a été recyclé avec succès dans la confection des bétons hydrauliques en substitution du sable ou du gravier et ce à des différentes proportions. Les résistances obtenues restent raisonnables à celles données par les granulats naturels. [31]



Figure.II.13 Marbre. [31]

II.11.11 Céramique :

Un matériau céramique est solide à température ambiante et n'est ni métallique, ni organique. Les objets en céramique sont réalisés par solidification à haute température d'une pâte humide plastique (verre minéraux), ou frittage (agglutination par chauffage) d'une poudre sèche préalablement comprimée, sans passer par une phase liquide (céramique poly cristalline) ; par assimilation, on désigne sous le terme «céramique» les objets ainsi fabriqués. [31]



Figure .II.14 Céramique. [31]

II.11.12 Carrelage :

Le carrelage est un revêtement de sol et de mur formé de carreaux de céramique, terre cuite ou ciment, juxtaposés et collés. Il est couramment utilisé pour la finition et la décoration des sols et des murs pour les habitations et autres locaux, aussi bien à l'intérieur qu'en extérieur. Le terme désigne à l'origine l'action de poser des carreaux, puis, par métonymie, le résultat de cette action. [34]

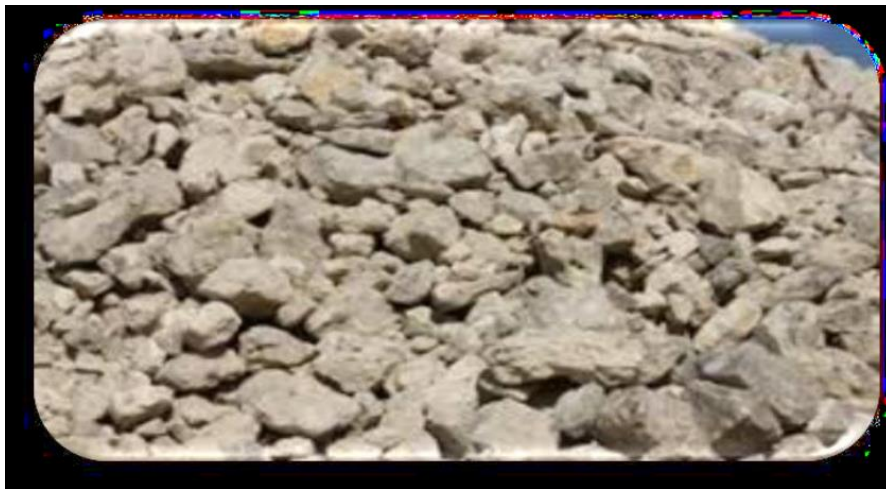


Figure.II.15 Carrelage. [31]

II.11.13 Brique concassée :

Les débris de terre cuite sont, généralement, classés parmi les déchets de démolition, que ce soit du point de vue recyclage ou réutilisation comme granulats légers. Les débris de briques contenus dans les déchets de démolition, sont désignés sous le nom collectif de « débris de terre cuite ». [35]

Le béton contenant de tels granulats est plus perméable et si les briques contiennent de sels solubles, il peut y avoir corrosion et efflorescence dans le béton. Le béton contenant de l'argile cuite comporte une résistance au feu beaucoup plus élevée que celle du béton à base de gravier naturel. [33]

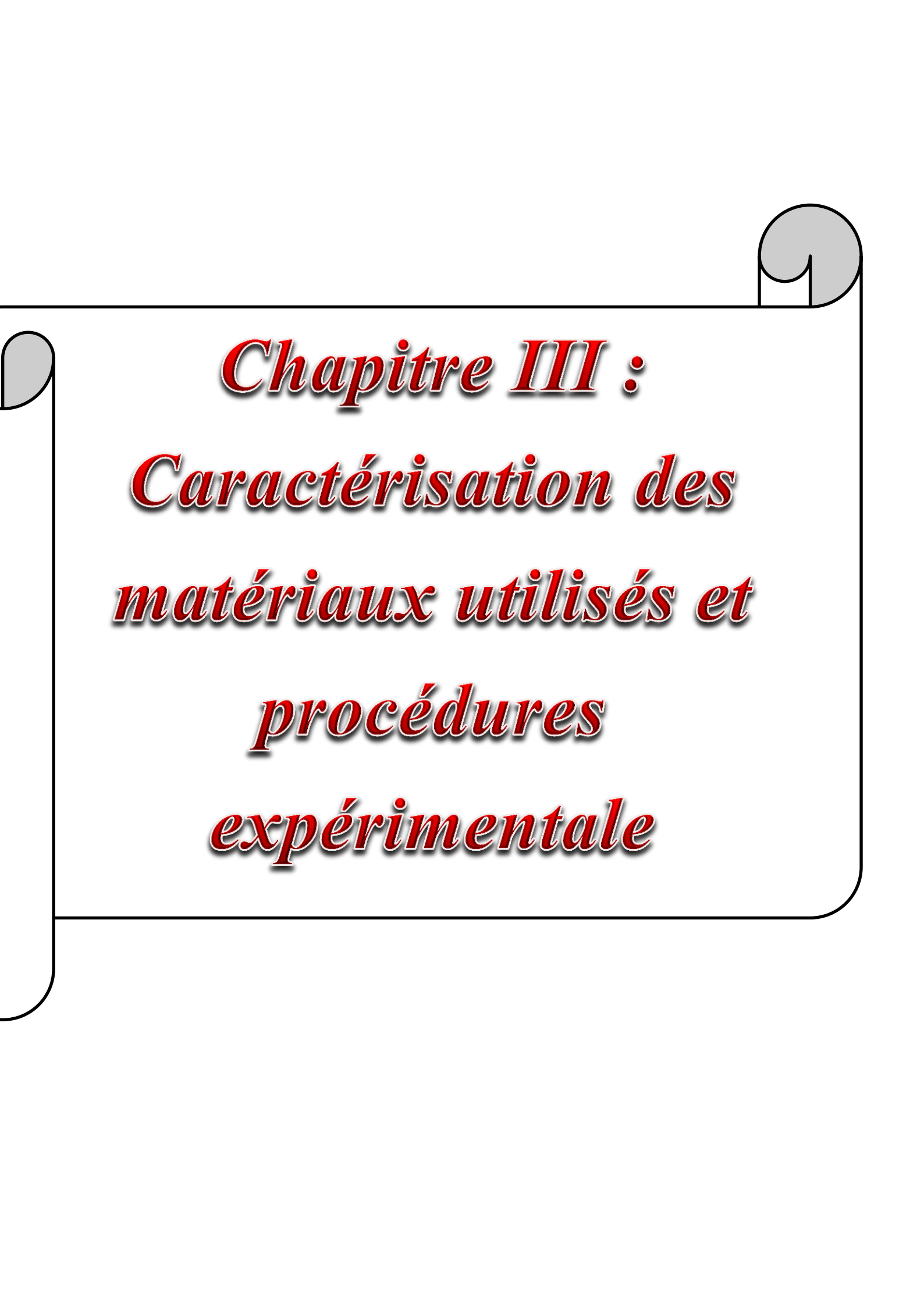


Figure.II.16 Brique concassée. [31]

II.12 Conclusion :

Dans notre étude nous concluons que les déchets est un grand problème, à toute vie biologique et à toutes activités, et à ce titre, la recherche de solutions est une vraie nécessité pour les êtres vivants (les personnes, les plantes, les animaux.... etc.). Cela ne peut être que réduire le déchet, où nous utilisons dans beaucoup de cas de figures importances surtout le domaine de génie civil.

Nous pouvons également utiliser les déchets comme solution pour les régions où les granulats naturels font défaut dans le domaine de construction. Dans le présent chapitre, on a donné un aperçu sur les différents déchets entre autre les déchets de brique et leur valorisation.



Chapitre III :
Caractérisation des
matériaux utilisés et
procédures
expérimentale

III.1 Introduction :

Dans ce chapitre, nous présentons les différents matériaux utilisés; Ainsi que leur Propriétés, entrant dans la formation du mortier à fabriquer avec lui Tests en laboratoire, ces matériaux sont locaux.

III.2: Les matériaux utilisés :

- ❖ *Sable préparé selon la norme [EN 196-1].*
- ❖ *Eau de gâchage (eau de robinet).*
- ❖ *L'ajout : déchets de brique (DB) Groupe Souyeh de Hammam Dhalàa wilaya de M'SILA.*
- ❖ *Le ciment CRS de la cimenterie LAFARGE de Hammam Dhalàa wilaya de M'SILA.*

III.3.Sable d'oued souf :

III.3. 1 .L'origine du sable :

Les sables de recherche de base proviennent de la pointe du désert de saouf, connu sous le nom de golden Sand, qui est situé au milieu du désert du nord-est algérien.

III.3.2 .Caractéristiques du sable :

Sable Oued Souf a subi de nombreux tests au laboratoire de génie civil de l'université de M'sila selon les normes françaises AFNOR. [36]

III.3. 3.Masse spécifique (absolue):

C'est la masse de l'unité de volume de la substance, c'est-à-dire le rapport entre sa masse et son volume absolu.

III.3. 3.1. Mode opératoire:

La densité absolue du sable est déterminée à l'aide d'un récipient de 200 cm³. Nous prélevons 3 échantillons d'une masse de 100 g.

a- But de l'essai :

Cet essai a pour but de permettre de connaître la masse d'une fraction granulaire lorsque par exemple on élabore une composition de bétons. Ce paramètre permet, en particulier, de déterminer la masse

ou le volume des différentes classes granulaires malaxées pour l'obtention d'un béton dont les caractéristiques sont imposées.

b-Mode opératoire :

On détermine la masse volumique absolue du sable à l'aide du récipient de capacité 1000 ml. On prend 03 échantillons de masse 100g.

On place l'échantillon dans le récipient de capacité 1000 ml et on y verse 200 ml d'eau préparé préalablement dans 2ème récipient gradué, puis on malaxe soigneusement le contenu pour chasser l'air qui y existe. Après cette opération, on détermine le volume final occupé par le mélange sable - eau. Soit (V2) ce volume Sachant que le volume (V)d'eau versé est 200 ml, il serait facile de déterminer le volume occupé par le sable seul.

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

$$\rho_{abs} = M / V_2 - V$$

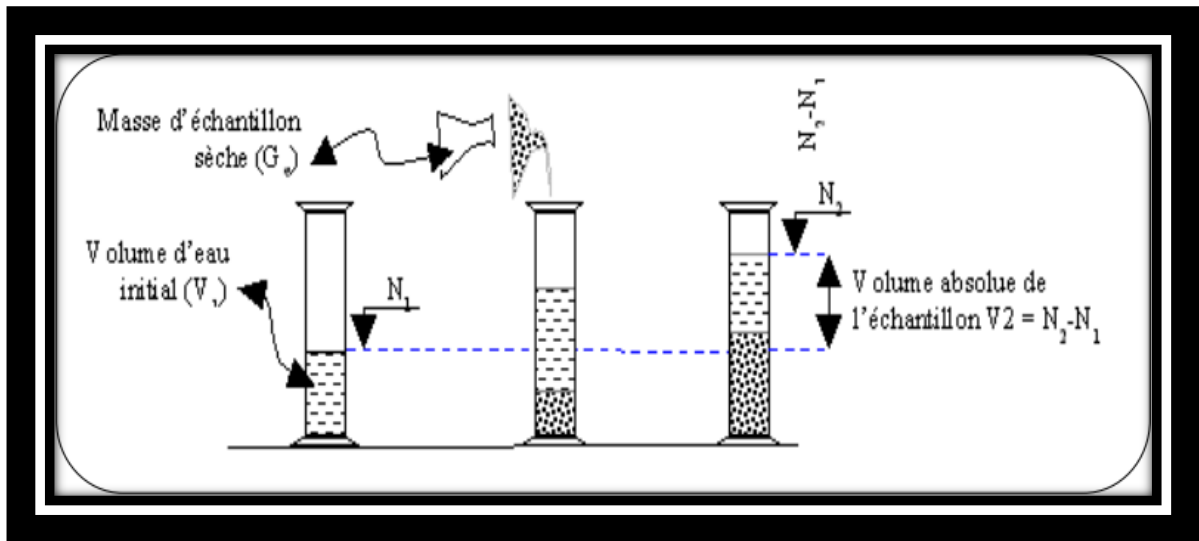


Figure. III .1. La masse volumique absolue d'un matériau. [37]

Les résultats obtenus sont présentés au tableau suivant :

Tableau.III.1: Masse volumique absolue du sable D'OUAD SOUF.

<i>N°=</i> <i>D'essais</i>	<i>M(g)</i>	<i>V1</i> <i>(cm³)</i>	<i>V2</i> <i>(cm³)</i>	<i>V1-V2</i> <i>(cm³)</i>	<i>ρ</i> <i>(g/cm³)</i>	<i>ρabsmoy</i> <i>(g/cm³)</i>
<i>1</i>	<i>100</i>	<i>200</i>	<i>240</i>	<i>40</i>	<i>2.5</i>	<i>2.5</i>
<i>2</i>	<i>100</i>	<i>200</i>	<i>240</i>	<i>40</i>	<i>2.5</i>	
<i>3</i>	<i>100</i>	<i>200</i>	<i>240</i>	<i>40</i>	<i>2.5</i>	

- ✓ *M* : masse du sable.
- ✓ *V2* : volume d'eau + sable.
- ✓ *V* : volume d'eau.

III. 3.4.Masse volumique apparente : NF P 18-554

a- But de l'essai :

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

III.3.4.1. Masse volumique apparente à l'état lâche :

C'est la masse du matériau par unité de volume y compris des vides existant entre les grains.

b-Mode opératoire :

- ✓ On détermine la masse volumique apparente du sable à l'aide d'un entonnoir standardisé de capacité 2 à 2,5 litres.
- ✓ On remplit l'entonnoir avec du sable sec.
- ✓ On pèse le récipient vide *M1*.
- ✓ On place le récipient sous l'entonnoir à une distance de 10 à 15 cm et on le remplit avec du sable.
- ✓ Une fois le récipient est rempli, on nivelle la surface du sable et on pèse le tout. Soit *M2* ce poids.
- ✓ Volume de récipient *Vr = 900cm³*.

La masse volumique apparente du sable est donnée par la formule suivante :

$$\rho_{app} = (M_2 - M_1) / V$$



Figure.III.2. .La masse volumique apparente (labo de génie civil).

Les résultats obtenus sont classés dans le tableau suivant :

Tableau.III.2: Masse volumique apparente du sable D'OUAD SOUF.

<i>N°=</i>	<i>M1</i>	<i>M2</i>	<i>M1-M2</i>	<i>V</i>	ρ	ρ_{appmoy}
<i>D'essais</i>	<i>(g)</i>	<i>(g)</i>	<i>(g)</i>	<i>(cm³)</i>	<i>(g/cm³)</i>	<i>(g/cm³)</i>
<i>1</i>	<i>115</i>	<i>1 54.5</i>	<i>143</i>	<i>0.9</i>	<i>1 .59</i>	<i>1.59</i>
<i>2</i>	<i>115</i>	<i>154.5</i>	<i>142.7</i>	<i>0.9</i>	<i>1.59</i>	
<i>3</i>	<i>115</i>	<i>154 .5</i>	<i>142.9</i>	<i>0.9</i>	<i>1.59</i>	

III.3.5 Equivalent de sable : EN 933-8, (2002) [44]

a- Le but d'essai :

Ce test vise à isoler les fines particules présentes dans le sol des éléments sableux Rugueu Qui en détermine la propreté x. La procédure standard permet de spécifier un coefficient équivalent de Sable.

b-Mode opératoire :

- ✓ *Tamiser une quantité de sable (masse supérieure à 500 g).*
- ✓ *Prendre une pesée de 120 g.*
- ✓ *Remplir l'éprouvette de solution la vente jusqu'au premier repère (10cm).*

- ✓ A l'aide de l'entonnoir verser la prise d'essai (120g) dans l'éprouvette et taper fortement à plusieurs reprises avec la paume de la main afin de chasser toutes les bulles d'air et favoriser le mouillage de l'échantillon.
- ✓ Laisser reposer pendant 10 minutes.
- ✓ Fermer l'éprouvette à l'aide du bouchon en caoutchouc et lui imprimer 90 cycles de 20cm de cours horizontale en 30 secondes à la main à l'aide d'un agitateur mécanique.
- ✓ Retirer ensuite le bouchon, le rincer avec la solution la vante au-dessus de l'éprouvette, Rincer ensuite les parois de celle-ci.



Figure. III. 3. Agitateur mécanique. [38]

- Faire descendre le tube laveur dans l'éprouvette, le rouler entre le pouce et l'index en faisant tourner lentement le tube, l'éprouvette et en imprimant en même temps au tube un léger piquage. Cette opération a pour but de laver le sable et de faire monter les éléments fins et argileux. Effectuer cette opération jusqu'à ce que la solution la vante atteigne le 2^{ème} repère. Laisser ensuite reposer pendant 20 minutes.

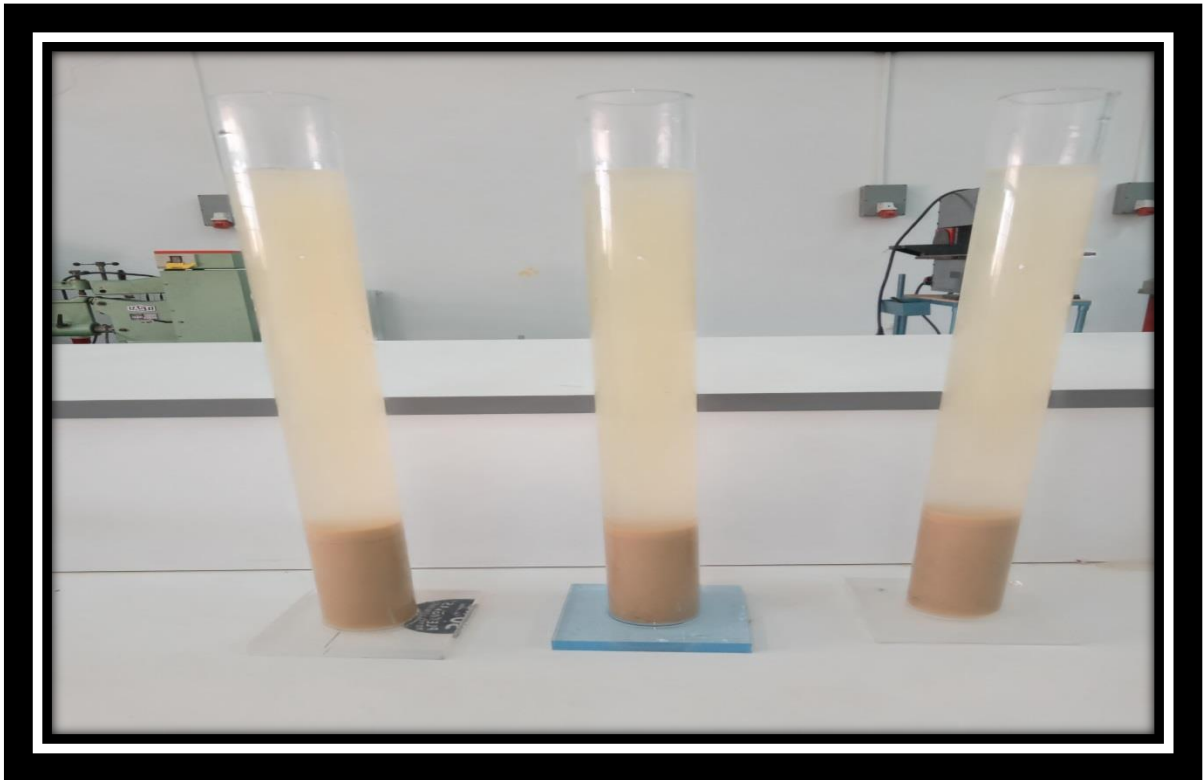


Figure.III.4 Repos de 20 min pour les éprouvettes.

Equivalent de sable visuel (ESV) :

- Après 20 minutes de dépôt de sable, lire la hauteur h_1 du niveau supérieure du floculant jusqu'au fond de l'éprouvette à l'aide d'une réglette.
- Mesurer également avec la règle la hauteur h_2 comprise entre le niveau supérieur de la partie sédimentaire et le fond de l'éprouvette.

$$ESV = H_2 / H_1 \times (100)$$

Equivalent de sable visuel (ESP) :

- Introduire le piston dans l'éprouvette et laisser descendre doucement jusqu'à ce qu'il repose sur le sédiment. A cet instant bloquer le manchon du piston et sortir celui-ci de l'éprouvette.
- Introduire le réglet dans l'encoche du piston jusqu'à ce que le zéro vienne buter contre la face intérieure de la tête du piston. Soit h_2 la hauteur lue et correspondant à la hauteur de la partie sédimentée.

$$ESP = H_2 / H_1$$

Tableau. III. 3 Equivalent de sable D'OUAD SOUF.

N°= D'essai	H1 (mm)	H2 (mm)	ESV(%)	H' (mm)	ESP (%)
1	9.9	9	90.9	8.9	89.89
2	9.7	8.8	90.72	8.4	86.59
3	9.5	8.6	90.52	8.6	90.52

Danc :

ESVmoye=90%

ESPmoye=89 %

Tableau.III.4 Comparaisons des résultants : [39]

E.S.V	E.S.P	Nature et qualité du sable
ES < 65	ES < 60	Sable argileux: Risque de retrait ou de gonflement à rejeter pour des bétons de qualité.
65 ≤ ES ≤ 75	65 ≤ ES ≤ 70	Sable légèrement argileux de propriété admissible pour des bétons de qualité courante quand on ne craint pas particulièrement le retrait.
75 ≤ ES ≤ 85	70 ≤ ES ≤ 80	Sable propre à faible pourcentage de farine argileux convient parfaitement pour des bétons de hautes qualité.
85 ≥ ES	80 > ES	Sable très propre : L'absence totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau

D'après le tableau on constate que : 75 ≤ ESV ≤ 85 et 70 ≤ ESP ≤ 80

Pour le sable d'oued souf : C'est un Sable propre à faible pourcentage de farine argileux convient parfaitement pour des bétons de hautes qualité.

III.3.6. Analyse granulométrique : NF P 18-304. NF P 18-560

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

L'analyse granulométrique permet de déterminer les dimensions des grains et les proportions de grains de même dimension (% pondéral).

Elle comprend deux opérations :

- ✓ *Tamisage*
- ✓ *Sédimentation*

La granularité est exprimée par une courbe granulométrique qui donne la répartition de la dimension moyenne des grains, exprimée sous forme de pourcentage du poids total du matériau.

a-Mode opératoire :

- *Prélever (1 kg) de matériau (sable sec).*
- *Peser chaque tamis à vide à 1 g près, soit m_i la masse du tamis.*
- *Constituer une colonne de tamis propres et secs dont l'ouverture des mailles est respectivement de haut en bas : 5-2,5-1,25-0,63-0,315-0,125 et éventuellement 0,08 mm.*

La colonne est coiffée par un fond pour recueillir les éléments passant au dernier tamis et un couvercle pour éviter la dispersion des poussières. On commence par peser les tamis ainsi que le fond.

- *Verser le matériau (sable sec) sur la colonne et la fixer soigneusement sur la machine d'agitation mécanique. Agiter pendant 5 minutes. Arrêter l'agitateur, puis séparer avec soin différents tamis.*
- *Peser chaque tamis séparément à 1 g près. Soit M_i la masse du tamis (I) + le sable.*

La différence entre M_i et m_i (tamis de plus grandes mailles) correspond au refus partiel R_1 du tamis 1.

- *Reprendre l'opération pour le tamis immédiatement inférieur.*
- *Ajouter le refus obtenu sur le sixième tamis à R_1 , soit R_2 la masse du refus cumulé du tamis 2 ($R_2 = R_1 + \text{Refus partiel sur tamis}$)*

- Poursuivre l'opération avec le reste des tamis pour obtenir les masses des différents refus cumulés R_3, R_4, \dots

Le tamisât cumulé est donné par la relation suivante : $T = 100 - RC$

Où :

T : Tamisât en %

RC : Refus cumulés en %



Figure. III. 5 Analyse granométrique. (Labo de génie civil)

Les résultats obtenus sont présentés au tableau suivant :

Tableau .III. 5 Composition granulométrique du sable préparé.

<i>Dimensions des mailles carres (mm)</i>	<i>Refus partiels Ri en g</i>	<i>Refus cumulés Rn en g</i>	<i>Refus cumulés en %(réf. M1)</i>	<i>Tamisats cumulés en %</i>
5	1	1	0.05	99.95
2.5	43	44	2.2	97.8
1.25	178	222	11.1	88.9
0.63	559	781	39.05	60.95
0.315	903	1684	84.2	15.8
0.16	255	1939	96.95	3.05
0.08	53	1992	96.1	3.9
Fond	8	2000	100	0

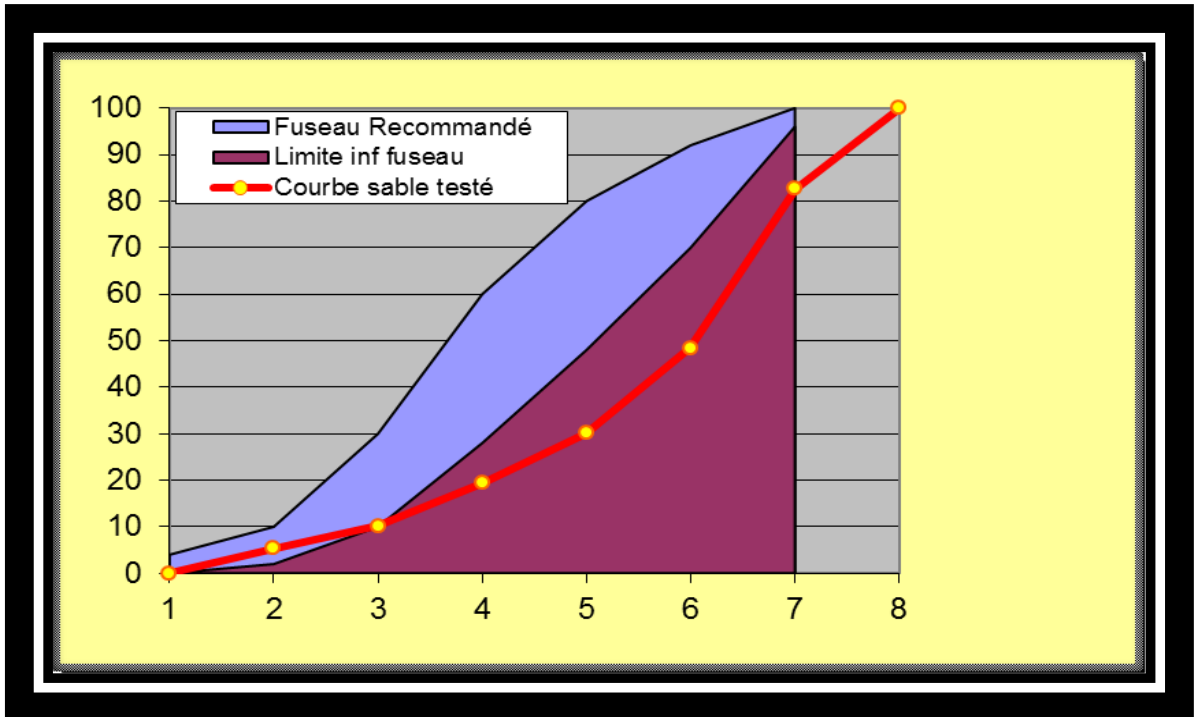


Figure III.6. Courbe d'Analyse granulométrique.

Module de finesse :

C'est un facteur très important qui nous permet de juger la grosseur du sable. Il est exprimé par le rapport de la somme des refus cumulés sur les tamis de mailles sur cent (100), il est donné par la relation suivante.

$$MF = \sum R_c / 100$$

Où: **Rc**: refus cumulés.

Où :

RC : Refus cumulé.

Les normes soviétiques spécifient le **Mf** des sables comme suit :[40]

- ✓ Sable gros : $Mf > 2.5$
- ✓ Sable moyen : $2 < Mf < 2.5$
- ✓ Sable fin : $1.5 < Mf < 2$
- ✓ Sable très fin : $1 < Mf < 1.5$

Pour le sable d'Oued Souf : **Mf = 3.83**

Donc, c'est un sable gros.

Ciment :

III.4 .Le choix de ciment :[41]

On a utilisé le ciment Portland conforme au norme (NA 442 - CEM I 42,5 N-SR3) ;est un ciment gris résistant aux sulfates, résultat de la mouture d'un clinker contenant. un faible taux d'aluminates de calcium avec une proportion de gypse inférieure à celle d'un ciment portland composé. Selon la (NA 442 v 2013) et la (EN 197-III) est conforme à la norme nationale (NA 442 v) 2013 et à la norme Européenne EN 197-1 avec un taux en C3A < 3%.

III.4 .1: Analyse chimique du ciment :(EN 196-2) :

Tableau III.6: Composition chimique de ciment. (Lafarge Holcime M'sila)

<i>Essais chimiques</i>	
<i>SiO₂</i>	<i>20,84</i>
<i>Al₂O₃</i>	<i>3,90</i>
<i>Fe₂O₃</i>	<i>4,84</i>
<i>CaO</i>	<i>63,89</i>
<i>MgO</i>	<i>1,99</i>
<i>SO₃</i>	<i>2,38</i>
<i>K₂O</i>	<i>0,55</i>
<i>Na₂O</i>	<i>0,06</i>
<i>Na²O_{eq}</i>	<i>0,42</i>
<i>Cl</i>	<i>0,02</i>
<i>LOI à 950</i>	<i>1,61</i>
<i>LOI à 550</i>	<i>0,68</i>
<i>fCaO_{Man}</i>	<i>1,04</i>

III.4.2: L'analyse physico-mécaniques : (EN 196-1 & NA 234)

Tableau III.7: Essais physico-mécaniques. (Lafarge Holcime M'sila)

<i>Essais phusico-mécaniques</i>	
<i>R45μ</i>	<i>8,71</i>
<i>R 90μ</i>	<i>0,83</i>
<i>SSB (cm2/g)</i>	<i>3287,51</i>
<i>M,V app (g/l)</i>	<i>1039,52</i>
<i>Exp</i>	<i>1,00</i>
<i>F2J</i>	<i>4,40</i>
<i>F7J</i>	<i>6,65</i>
<i>F28J</i>	<i>8,66</i>
<i>C2J</i>	<i>21,12</i>
<i>C7J</i>	<i>35,25</i>
<i>C28J</i>	<i>49,23</i>
<i>Prism Weight 02j</i>	<i>589,71</i>
<i>Prism Weight 07j</i>	<i>589,32</i>
<i>Prism Weight 28j</i>	<i>589,51</i>

III.4. 3: L'analyse minéralogique DRX :

Tableau III.8: Essais minéralogique DRX. (Lafarge Holcime M'sila)

<i>Essais minéralogique DRX</i>	
<i>Alite_Sum</i>	<i>55,52</i>
<i>Belite_Sum</i>	<i>20,88</i>
<i>Alum_cubic</i>	<i>1,07</i>
<i>Alum_ortho</i>	<i>0,15</i>
<i>Alum_Sum</i>	<i>1,23</i>
<i>Ferrite</i>	<i>14,62</i>
<i>Lime</i>	<i>0,42</i>
<i>Portlandite</i>	<i>0,65</i>
<i>fCaO_XRD</i>	<i>0,91</i>
<i>Periclase</i>	<i>0,55</i>
<i>Quartz</i>	<i>0,08</i>
<i>Arcanite</i>	<i>0,42</i>
<i>Langbeinite</i>	<i>0,22</i>
<i>Aphthitalite</i>	<i>0,06</i>
<i>Gypsum</i>	<i>0,46</i>
<i>Hemi-hydrate</i>	<i>1,96</i>
<i>Anhydrite</i>	<i>0,06</i>
<i>Calcite</i>	<i>1,19</i>
<i>Dolomite</i>	<i>0,53</i>
<i>SO3_XRD</i>	<i>1,69</i>
<i>BFS_amorphous</i>	<i>1,36</i>
<i>BFSslag_total</i>	<i>1,36</i>
<i>Gypsum_XRD</i>	<i>3,12</i>

III.5. L'eau de gâchage :

Généralement dans l'utilisation du béton ou du mortier, nous pouvons utiliser tous les types d'eau (l'eau de rivière, l'eau de barrage, l'eau potable etc....), mais certains peuvent contenir des impuretés, ce qui conduit à la détérioration des propriétés du béton ou du mortier, et pour cette raison nous avons recours à l'analyse de l'eau. [42]

III.5.1. Caractéristiques chimiques de l'eau utilisée :

La composition chimique d'eau du laboratoire de département du génie civil est établie au laboratoire de département de la chimie (M'sila). Les résultats sont regroupés dans le tableau suivant :

Tableau.III.9. Caractéristiques Chimique de l'eau de gâchage. [43]

<i>Les caractéristiques</i>	<i>La valeur</i>
PH	7.71
Conductibilité	1745
Chlore Cl -	236.30 mg/l -
Sulfate SO4	349.60 mg/l
Magnésium Mg+	115.30 mg/l 2
Sodium Na+	Na néant 2

III.6. Les ajouts :

Les deux types d'additions récupérées de déchets de construction au cours de cette étude sont:

III.6.1 .Les déchets de brique :

Ces déchets proviennent de la briqueterie de m'sila. Ils ont été concassés manuellement au niveau du laboratoire de génie civil Université de M'sila, puis broyés jusqu'à la fraction granulaire inférieure à 80µm.

Les caractéristiques des déchets de brique sont indiquées dans les tableaux suivants:



Figure.III.7.Déchets des briques utilisés.

Tableau.III.10. Composition chimique des déchets de brique broyés. [44]

Composant	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃
Teneur (%)	53.78	16.61	12.88	6.22	2.20	2.13	0.87	0.65

Tableau.III.11.Caractéristiques des déchets de brique broyés. [44]

Caractéristiques	Forme	Couleur	Finesse	Dosage recommandé
Résultats	Poudre	Rouge brique	3000 cm ² /g	10% à 50%

III .6. L'état frais

III.7.Consistance de ciment (CRS) :

III.7.1.La prise (EN 196-3 & NA 230) :

Dès que le ciment anhydre a été mélangé avec de l'eau, l'hydratation commence et les propriétés de la pâte ainsi obtenue sont évolutives dans le temps. Tant que cette hydratation n'est pas trop avancée la pâte reste plus ou moins malléable, ce qui permet de lui faire épouser par moulage la forme désirée. Mais au bout d'un certain temps, les cristaux d'hydrates prenant de plus en plus d'importance, le mélange a changé de viscosité et se raidit, on dit qu'il se fait priser. [46]

Le début de prise correspond au moment où l'on observe une augmentation de la viscosité, ou raidissement de la pâte, ce qui, dans la pratique, se mesure au moyen de l'aiguille normalisée (appareil de Vicat) et correspond au temps écoulé depuis le gâchage de la pâte jusqu'au moment où l'aiguille s'arrête à une distance ($d = 6 \text{ mm} \pm 3 \text{ mm}$) du fond de l'anneau de 40 mm de hauteur remplie de pâte pure de ciment. [46]

De même, la fin de prise correspond au moment où l'aiguille ne s'enfonce plus dans l'anneau (voir figure III.8

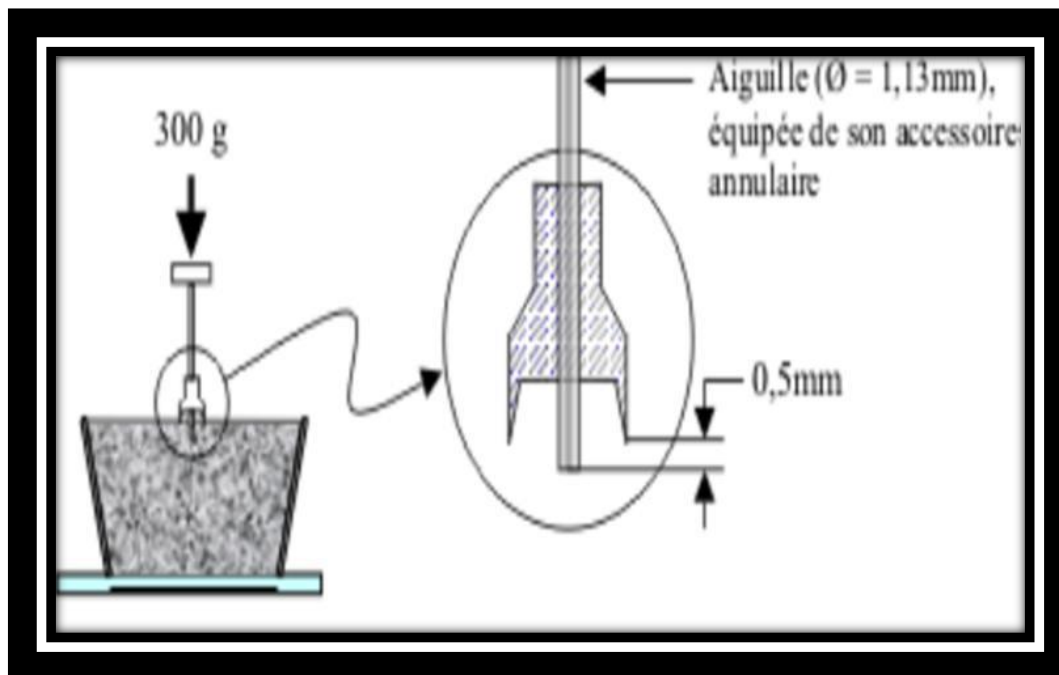


Figure III. 8. Détermination du temps de fin de prise. [46]

Le phénomène de prise du ciment est lié à de nombreux paramètres tels: [46]

- ✚ la nature du ciment
- ✚ la finesse de mouture du ciment; plus son broyage a été poussé, plus le temps de prise est court.
- ✚ la température; alors qu'à zéro degré la prise est stoppée, plus la température ambiante est élevée plus la prise est rapide, pour un ciment donné le début de prise sera de 18 heures à 2 °C, de 5 heures à 10 °C, de 3h 30 à 20 °C et de 30 min à 35 °C (figure),
- ✚ la présence de matières organiques dans l'eau ou dans l'un des autres constituants du béton qui ralentit la prise,
- ✚ l'excès d'eau de gâchage qui a, entre autres inconvénients, une action retardatrice sur la prise (figure).

En fonction de leur classe de résistance, les normes spécifient un temps de prise minimum qui est, à la température de 20 °C, de:

1 h 30 pour les ciments de classes 35 et 45.

1 h pour les ciments des classes 55 et HP.

Il est à noter que pratiquement tous les ciments ont des temps de prise largement supérieurs à ces valeurs minimales, l'ordre de grandeur étant de 2 h 30 à 3 h pour la majorité des ciments.

III.7.2. Le durcissement :

C'est la période qui suit la prise et pendant laquelle se poursuit l'hydratation du ciment, Sa durée se prolonge pendant des mois au cours desquels les résistances mécaniques continuent à augmenter. Comme le phénomène de prise, le durcissement est sensible à la température, ce qui conduit notamment en préfabrication, à chauffer les pièces pour lesquelles on désire avoir des résistances élevées au bout de quelques heures.

La prise et durcissement des constituants du clinker :

Pour mieux comprendre les propriétés des ciments portland, il est intéressant d'étudier comment réagit en présence d'eau chacun des constituants anhydres du ciment pris isolément.

Le graphique ci-dessous montre le développement des résistances dans le temps des constituants purs du ciment portland. [46]

III.7.3. Essai de consistance :

La consistance de la pâte de ciment (pourcentage d'eau/pâte pure) caractérise sa fluidité.

Pour apprécier la consistance des trois types de ciments composés utilisés avec leurs finesses de mouture différentes, on a effectué l'essai avec l'appareil de Vicat conformément à la norme EN-196-3.

- **Objectif de l'essai :**

Déterminer la quantité optimale d'eau de gâchage qui définit une telle consistance dite «Consistance normalisée».

La consistance de la pâte de ciment est une caractéristique qui évolue au cours du temps.

- **Principe de l'essai :**

La consistance est évaluée en mesurant l'enfoncement, dans la pâte, d'une tige

Cylindrique sous l'effet d'une charge constante. L'enfoncement est d'autant plus important que la consistance est plus fluide.

- **Equipement nécessaire utilisé :**

Une salle maintenue de manière continue à $20^{\circ}\pm 2^{\circ}\text{C}$ et à une humidité relative supérieure ou égale à 50%;

Un malaxeur décrit dans la norme EN 196-1 ;

Un appareil de Vicat muni d'une sonde d'un diamètre $\varnothing = 10$ mm d'un moule tronconique de 40 mm de hauteur et de diamètres 70 et 80 mm ; d'une tige coulissante équipée sur laquelle vient se placer la sonde (la masse totale « tige + sonde » est de 300 g). une plaque en verre qui sert comme base pour le moule ;

Une graduation (réglable en hauteur) permet de mesurer la distance qui sépare le dessous de la sonde de la plaque de base.

Une balance précise à 1 g près.

- **Conduite de l'essai :**

Peser 500 g de ciment 125 g d'eau

Verser l'eau dans le récipient du malaxeur puis ajouter le ciment en un temps compris entre 5 et 10. La fin du versement du ciment donne le temps 0;

Ajouter 500 g de ciment à l'eau, en un temps compris entre 5 et 10 s. La fin du versement du ciment donne le temps 0 ;

Mettre immédiatement le malaxeur en marche à vitesse lente pendant 90 s ;

Arrêter le mouvement, démonter le batteur et récipient, racler les parois du récipient puis remonter le tout en une durée d'environ 15 s;

Remettre le malaxeur en marche pour une durée de 90 s à vitesse lente;

Remplir le moule tronconique de la pâte fabriquée et agrafer la face supérieure ;

Placer le moule et son support sur le socle de l'appareil ;

Immobiliser la sonde au contact de la pâte ;

Régler l'index des graduations au point 0

Libérer la partie mobile sans vitesse initiale. La sonde s'enfoncera plus ou moins profondément dans la pâte alors dans la pâte.

Noter l'indication de l'index sur la graduation après immobilisation de la partie mobile

Si l'épaisseur mesurer est supérieure à 7 mm ; il n'y a pas assez d'eau

Si l'épaisseur mesurer est inférieure à 5 mm ; il y a trop d'eau

La pâte sera de consistance normalisée si l'épaisseur $d = 6 \text{ mm} \pm 1$,



Figure .III.9. L'essai de consistance de ciment.

III.8.Essais de prise :

- **Objectif de l'essai :**

Déterminer les temps de début et de fin de prise des pâtes pures des ciments étudiés conformément à la norme EN 196 3.

- **Principe de l'essai :**

Le début de prise correspond au moment où l'on constate une augmentation relativement brusque de la viscosité de la pâte de consistance normalisée avec échauffement. l'appareil utilisé est l'appareil de Vicat équipée d'une aiguille de Vicat. Quand la partie mobile est libérer l'aiguille s'arrête à une distance d du fond du moule telle que $d = 4 \text{ mm} \pm 1$ mm. La fin de prise correspond au moment où la pâte est devenue un bloc rigide, le moment où l'aiguille ne s'enfonce plus dans la pâte que de 0,5 mm.

- **Equipement nécessaire utilisé :**

Une salle maintenue de manière continue à $20^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$ et à une humidité relative supérieure ou égale à 50%;

Un malaxeur décrit dans la norme EN 196-1 ;

Un appareil de Vicat muni d'une sonde d'un diamètre $\varnothing = 10\text{ mm}$ d'un moule tronconique de 40 mm de hauteur et de diamètres 70 et 80 mm ; d'une tige coulissante équipée sur laquelle vient se placer la sonde (la masse totale « tige + sonde » est de 300 g).

Une plaque en verre qui sert comme base pour le moule ;

Une graduation (réglable en hauteur) permet de mesurer la distance qui sépare le dessous de la sonde de la plaque de base.

Une balance précise à 1 g près.

III.9.Fluidite du mortier :

III.9.1.Caractérisation des différents mortiers à l'état frais :

Les essais qui ont été réalisés sur le mortier à l'état frais dans ce travail sont: Essai d'affaissement et la masse volumique.



Figure.III.10 Cône d'affaissement du mortier

(Laboratoire de génie civil M'sila).

III.10.L'Etat durci

III.11.Préparation du mortier :

III.11.1 .Composition du mortier :

Ce mortier est réalisé conformément à la norme (EN196-1).

- *Les proportions en masse doivent être les suivantes : une partie de ciment ; trois parties de sable Préparé et une demi partie d'eau (rapport eau/ciment=0.50).*
- *Un gâchage pour trois éprouvettes doit être constituée de (450±2) g de ciment, (1350±5) g de sable et (225±1) g d'eau.*

1 - Malaxage du mortier:

- ❖ *On Pesse le ciment et l'eau au moyen de la balance. Lorsque l'eau est mesurée en volume. Elle doit être introduite avec une précision de±1 ml.*
- ❖ *on malaxe chaque gâchage de mortier mécaniquement au moyen du malaxeur.*
- ❖ *le chronométrage des différentes étapes du malaxage s'inscrit entre les moments de la mise en marche et de l'arrêt du malaxeur et il doit être respecté à ±2s.*
- ❖ *Le mode opératoire de malaxage doit être le suivant :*

1. introduire l'eau et le ciment dans le récipient. En prenant soin d'éviter toute perte d'eau ou de ciment.

2. dès que l'eau et le ciment entre en contact. On met le malaxeur en marche à petite vitesse tout en lançant le chronométrage des étapes du malaxage de plus.

Enregistrer le temps de démarrage à la minute près.comme étant le temps zéro ; après 30s de malaxage, introduire régulièrement tout le sable pendant les30seconde suivant.

Dans le cas de la préparation des trois éprouvettes 4 x 4 x 16, les quantités sont respectivement les suivantes :



Figure. III.11 Malaxeur semi-automatique de mortier (Laboratoire de Lafarge M'sila).

Tableau III.12. Les différents types du mortier et leurs composants.

<i>Mortier</i>	<i>Sable (g)</i>	<i>Ciment (g)</i>	<i>Eau (g)</i>	<i>Déchets de brique (g)</i>	<i>E/C (eff)</i>	<i>d'affaissement du mortier (cm)</i>
<i>MT⁻</i>	<i>1350</i>	<i>450</i>	<i>210</i>	<i>0</i>	<i>0.46</i>	<i>3</i>
<i>MFI₅</i>	<i>1350</i>	<i>427.5</i>	<i>213</i>	<i>22.5</i>	<i>0.5</i>	<i>3</i>
<i>MFI₁₀</i>	<i>1350</i>	<i>405</i>	<i>215</i>	<i>45</i>	<i>0.53</i>	<i>3</i>
<i>MFI₁₅</i>	<i>1350</i>	<i>382.5</i>	<i>220</i>	<i>67.5</i>	<i>0.58</i>	<i>3</i>
<i>MFI₂₀</i>	<i>1350</i>	<i>360</i>	<i>225</i>	<i>90</i>	<i>0.63</i>	<i>3</i>

2-Préparation d'éprouvette :

Les éprouvettes doivent être de forme prismatique et mesurer (40x40x160) mm.

3- Moulage des éprouvettes :

Nous avons moulé l'éprouvette immédiatement après la préparation du mortier. Le moule et la hausse étant solidement sur la table à chocs.

- Préparer les moules des dimensions 40x40x160mm convenables, avec la quantité du mortier.
- Huiler les moules et vérifier leurs serrages ;
- Placer les moules sur une table vibrante ;
- Remplir les moules par le mortier, l'exécuter en deux couches ;
- Compacter le mortier à l'aide d'une table chocs. Il faut qu'elle soit bien arasée à l'aide d'une règle métallique et placée lentement sur la face du moule ;
- Conserver les moules dans l'humidité jusqu'au démoulage ;
- Démouler les moules après 24 heures de leur confection ;

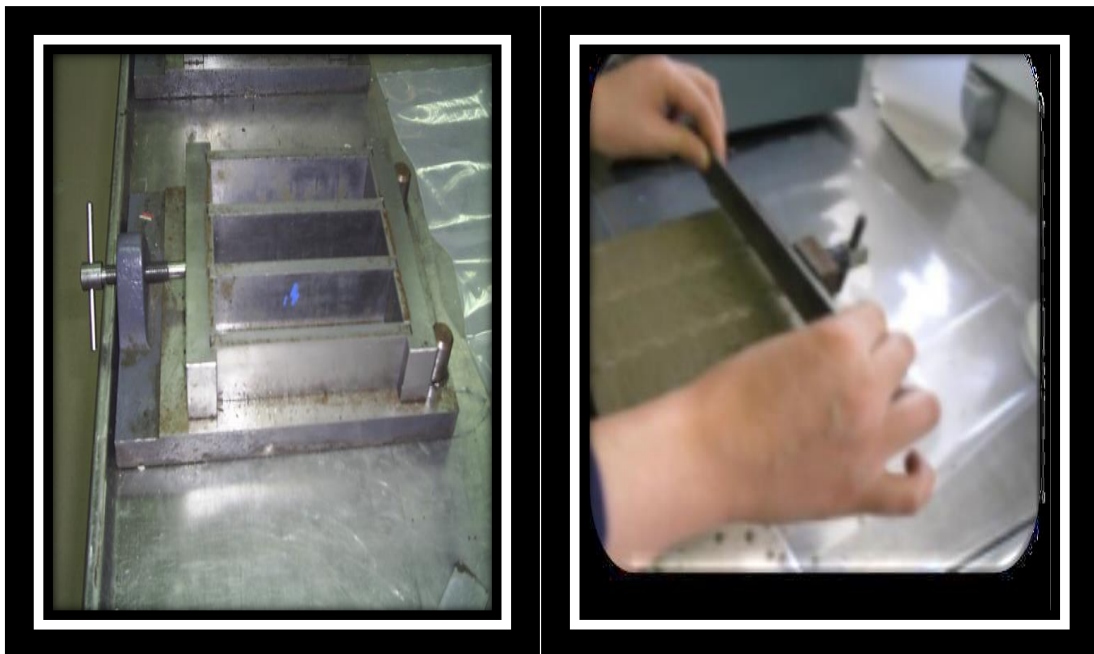


Figure .III.12 a: Eprouvette prismatique (4*4*16) cm³ b : Aplanissement des éprouvettes
(Laboratoire de Lafarge M'silla)



Fig.III.13 Table vibrante (table à choc).

4-Conservation des éprouvettes :

Après 24 h de la confection des éprouvettes et après le décoffrage on les conserve dans l'eau. Le temps de conservation dans l'eau est 7 jours, 14 jours et 28 jours.

III.11.2. Propriétés mécaniques :

1. Essai de rupture par flexion : (EN 196- 1, 2006).

Le dispositif de flexion comporte deux appuis à section semi-cylindrique de 10mm de diamètre, distant de 100 ou 106.7 mm, sur lesquels repose l'éprouvette prismatique suivant une force latérale de moulage, et un troisième appui de même diamètre, équidistant de deux premiers et transmettant de la charge F, pour faire une répartition uniforme des efforts sur l'éprouvette, deux des appuis doivent pouvoir légèrement tournés autour de leur centres, dans le plus vertical perpendiculaire aux axes des éprouvettes .

La résistance à la flexion est calculée suivant la formule

- ❖ $R_f = 3PL / 2bh^2$ [KgF/cm²].
- ❖ P : force appliquée en [Kgf].
- ❖ b : largeur de l'éprouvette.

- ❖ h : hauteur de l'éprouvette.
- ❖ L : distance entre les appuis (cm).



Figure .III.14 L'appareil de résistance à la flexion.

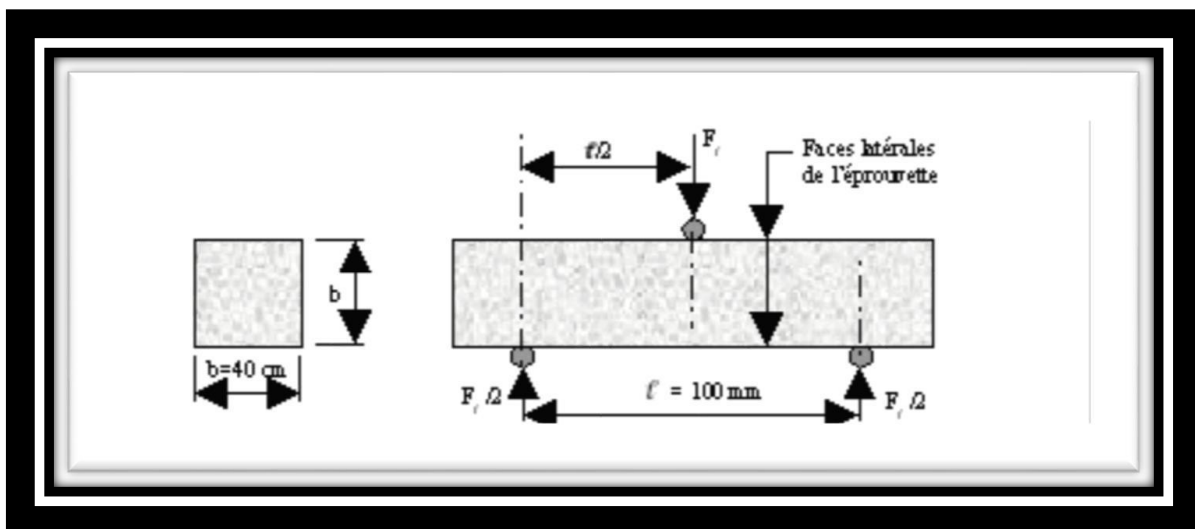


Figure III.15 Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion.

2-Essai de rupture par compression : (EN 196- 1, 2006) [2,5] :

Chaque demi-échantillon est essayé en compression sur ces faces latérales de moulage, sous une section de $4 \times 4\text{ cm}^2$, entre deux plaques de métal dur d'au moins 10 mm d'épaisseur, de $40\text{ mm} + -0.1\text{ mm}$ de largeur, ces plaques sont en carbure de tungstène, la demi-échantillon est placée entre elle de manière que son extrémité intacte dépasse d'au moins 1 cm et que les arrêtes longitudinaux d'échantillons soient perpendiculaires à celle des plaques. Les plaques

sont guidées sans frottement appréciable au cours de l'essai , de manière à avoir la même projection horizontale, l'une d'elles peut s'incliner légèrement pour permettre le contact parfait, plaque – faces d'éprouvette.[37] La résistance à la compression et calculer suivant la formule :

$$R_c = F/S \text{ [KgF/ cm}^2\text{]}.$$

F : charge appliquée en KgF. S : section latérale de l'éprouvette égale à 16 cm².

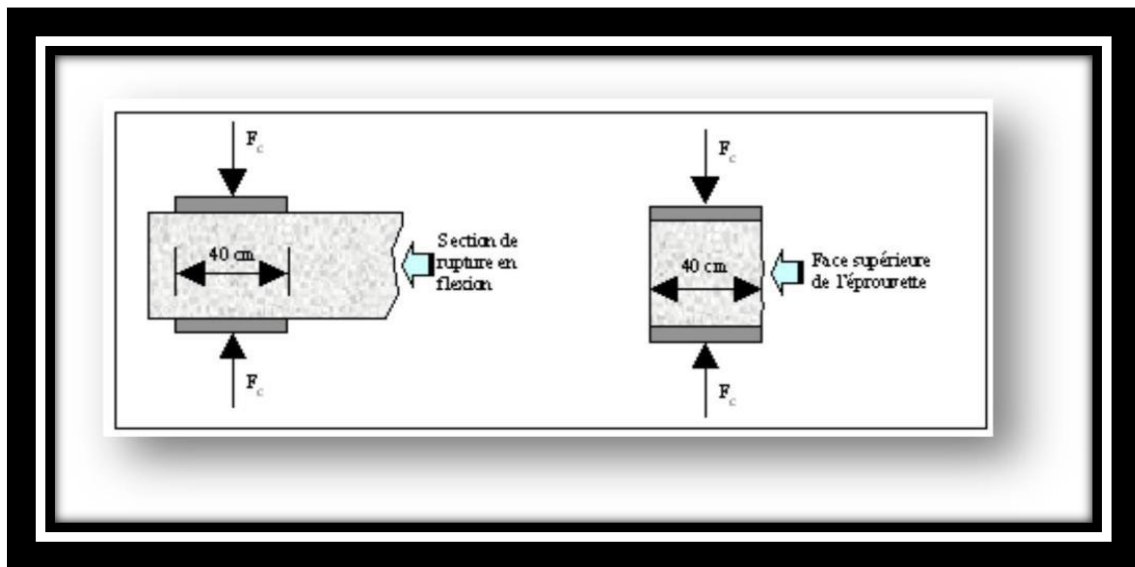


Figure.III.16 Dispositif de rupture en compression.



Figure .III.17 L'appareil de résistance à la compression.

III.11.3. Les propriétés physiques :

1-Mesure le taux d'absorption d'eau: [EN 1097-6] Mesure du coefficient d'absorption d'eau».

a. Objet :

La présente norme a pour objet d'exposer la technique de la mesure du coefficient d'absorption d'eau des pierres calcaires.

b. Méthode d'essai :

b.1- Préparation des éprouvettes :

- ✚ Les éprouvettes sont de forme cylindrique, cubique ou prismatique.
- ✚ Dans le cas des carottes, le diamètre minimal doit être de 50mm, et l'élanement de 1 à 4.

- ✚ Avant tout essai, les éprouvettes sont séchées à la température de 80°C jusqu'à masse constante.
- ✚ On considère que cette masse est atteinte lorsque l'écart entre deux pesées effectuées à une heure d'intervalle est au plus égale à 1/1000 (Généralement, il suffit de 15heures à l'étuve pour éteindre cette masse). Par la suite la précision admise sur les pesées est de 1/1000.

b.2- Mode opératoire :

- ✚ On note la masse $M1$ (en gramme) de chaque éprouvette sèche.
- ✚ Au temps t , on place les éprouvettes dans l'eau potable jusqu'au quart de leur hauteur de façon que l'eau remonte perpendiculairement au lit de carrière.
- ✚ à $[t+1 \text{ heures}]$, on ajoute la quantité d'eau nécessaire pour que le niveau atteigne la moitié de la hauteur des éprouvettes.
- ✚ à $[t+22 \text{ heures}]$ on ajoute de l'eau jusqu'à ce que les éprouvettes soient complètement immergées.
- ✚ à $[t+48 \text{ heures}]$, les éprouvettes sont sorties de l'eau, rapidement essuyées à l'aide d'un chiffon ou d'une peau de chamois humide, puis pesées, soit $M2$ la masse (en grammes) de chaque éprouvette saturée d'eau à la pression atmosphérique.

b.3- Expression des résultats :

- ✚ L'absorption d'eau à la pression atmosphérique est $M2 - M1$.
- ✚ Alors le taux d'absorption sera calculer a partir cette formule :

$$Abs = (M2 - M1) / M1$$

- ✚ Abs : taux d'absorption.
- ✚ $M1$: masse d'éprouvette après l'étuvage.
- ✚ $M2$: masse d'éprouvette saturée d'eau.

III.12. Conclusion :

Les essais physiques, les analyses chimiques et les analyses minéralogiques effectués dans les différents laboratoires donnent une idée générale sur les caractéristiques principales des matériaux servant à la formulation des mortiers qui seront étudiés au chapitre suivant du point de vue mécanique et durabilité. La connaissance de ces caractéristiques nous aide d'une façon significative à commenter les résultats des essais expérimentaux.

A decorative border resembling a scroll, with a black outline and grey circular accents at the corners.

Chapitre IV :
Interprétation
des résultats

IV.1 Introduction :

Dans ce chapitre, nous présentons une combinaison des essais, physiques et mécaniques réalisés sur un mortier équipé de sable de dune en combinant un type d'additifs (déchets de briques comme remplacement au ciment CRS CEM I/ 42.5) selon les différentes proportions de 5% ,10%,15% et 20%.

IV.2 Les formulations des mortiers étudiés :

- MT_0 → mortier témoin (sans ajout).
- MFI_5 → mortier déchets de briques 5%.
- MFI_{10} → mortier déchets de briques 10%.
- MFI_{15} → mortiers déchets de briques 15%.
- MFI_{20} → mortier de déchets de briques 20%.

IV.3 Présentation des résultats :

A/ Etat frais :

IV .3.1. Consistance Normale :

Tableau IV.1 Propriétés physiques des ciments préparés (consistance normale).

Type de ciment	CEM01 0%	CEM02 5%	CEM03 10%	CEM04 15%	CEM05 20%
Consistance Normale E/C (%)	28.6	27.8	29	29	29

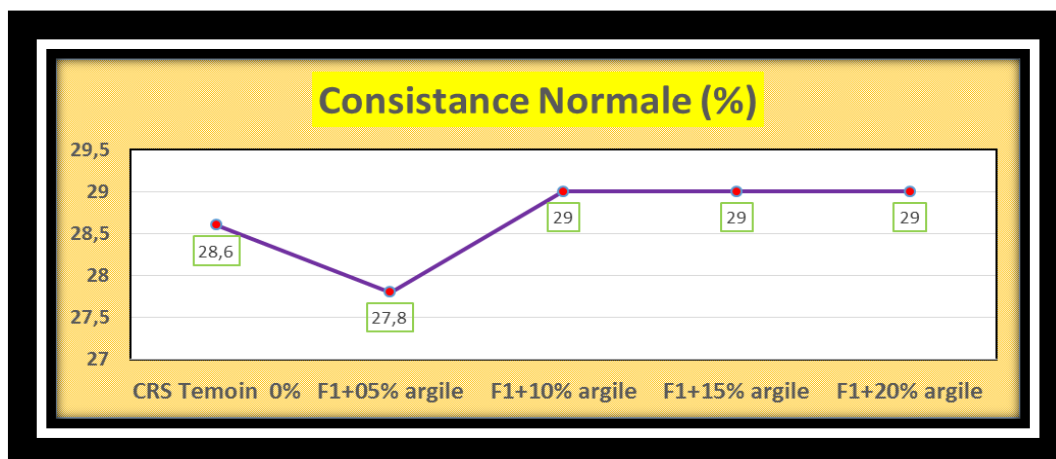


Figure. IV .1 Consistance normale E/C (%).

- ✓ Les résultats expérimentaux obtenus (Tableau et Figures) présentent l'effet du taux d'ajout (déchet de brique) sur la consistance normale de ciment.
- ✓ La demande de l'eau des pâtes de ciments préparées avec les différents pourcentages d'ajout déchet de brique : (0%, 5%, 10%,15% et 20%,) est mesurée en utilisant l'essai d'aiguille de Vicat manuel. L'influence de la quantité de l'ajout (déchet de brique) sur la pâte de ciment est exprimée par les variations du rapport de demande en eau pour obtenir une consistance normale.
- ✓ Selon les résultats obtenus (Figures IV.1) et le tableau IV.2, on note que l'augmentation du pourcentage de l'ajout (déchet de brique) incorporé dans le ciment a l'effet suivant:
- ✓ Diminution de la quantité d'eau requise pour avoir une consistance normale de la pâte de ciment pour le dosage de 5 % déchets de brique. Cependant ; cette demande en eau est avec une légère augmentation pour les dosages 10, 15 et 20 % qui avoisine 29 % du poids du ciment par apport au témoin (sans déchets de brique) 29 % et 28,6 %, respectivement. Ceci, peut être expliqué par la finesse de déchets de brique avec un nombre important de grain qui demande une quantité supplémentaire d'eau pour mouiller cette pâte avec un ciment remplacé par Les DB. La formation de nouveau produit des hydrates suite à des réactions chimiques de la poudre de à finesse importante de DB peut à elle seule générer est conduit à une telle augmentation afin d'avoir l'effet pouzzolanique souhaité de cette incorporation de DB comme substitution au ciment.

IV.3.2 Temps de prise :

Tableau IV.2 Propriétés physiques des ciments préparés (Temps de Prise).

Type de ciment	MT ₀	MFI ₅	MFI ₁₀	MFI ₁₅	MFI ₂₀
Consistance Normale (%)	28.6	27.8	29	29	29
Début de prise DP (min)	240	240	235	240	215
Fin de prise FP (min)	320	315	310	310	320

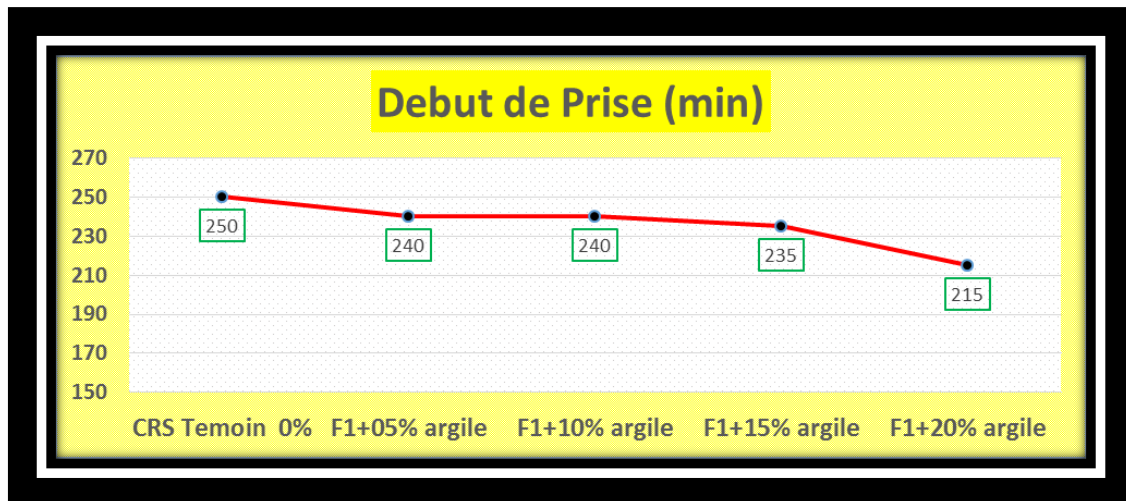


Figure. IV.2 Début de prise (min).

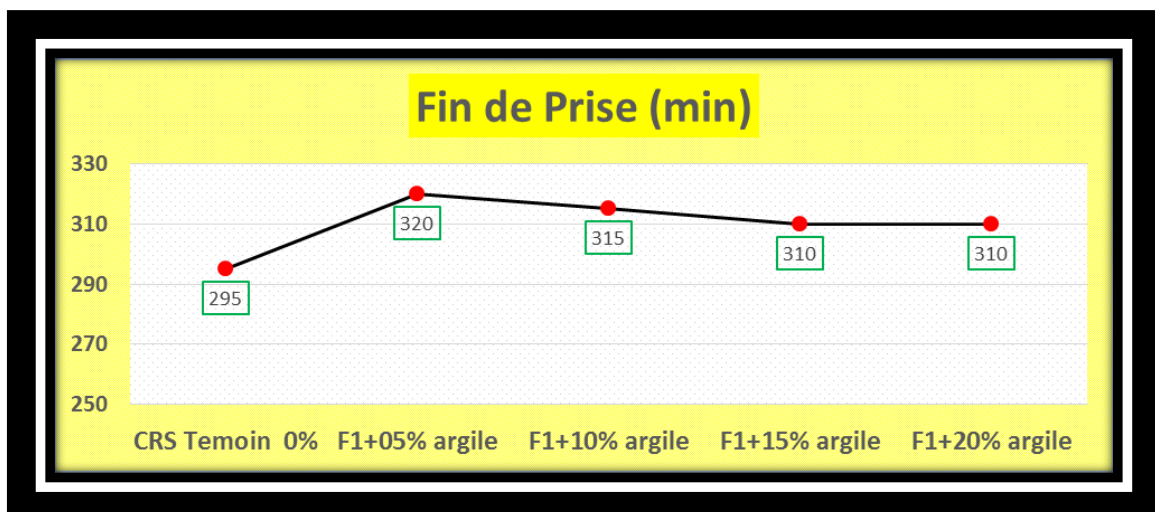


Figure .IV.3 Fin de prise (min).

- ✓ Selon les résultats obtenus (Figures IV.2) et le tableau IV.3, on note que l'augmentation du pourcentage de l'ajout (déchet de brique) incorporé dans le ciment a l'effet suivant:
- ✓ On constate une amélioration du temps de début de prise DP pour les ciments avec incorporation de DB de 35 minutes pour un CEM₂₀ avec un pourcentage de 20 % (DB par apport au témoin (0 % DB). Une réduction de temps de prise d'environ (10 min) est noté pour les dosages en DB de 5, 10 et 15 % par rapport au ciment de référence.
- ✓ Une durée de fin de prise est remarquée pour les ciments avec ajout de DB Qui est de 30 minutes environ pour 5 % de DB en comparaison au CEM0 témoin. Cependant ; cette fin de prise connaît un prolongement de 15 minutes pour les autres mélanges avec un pourcentage de DB supérieurs 10 15 t 20 % par rapport au témoin.

IV.3. 3 Les propriétés physiques :

IV.3.3.1 Le rapport E/C :

Tableau IV.3 .Le rapport E/C des mortiers.

Les types du mortier	Le rapport E/C
<i>MT₀</i>	0 ,46
<i>MFI₅</i>	0 ,50
<i>MFI₁₀</i>	0,53
<i>MFI₁₅</i>	0 ,58
<i>MFI₂₀</i>	0,63

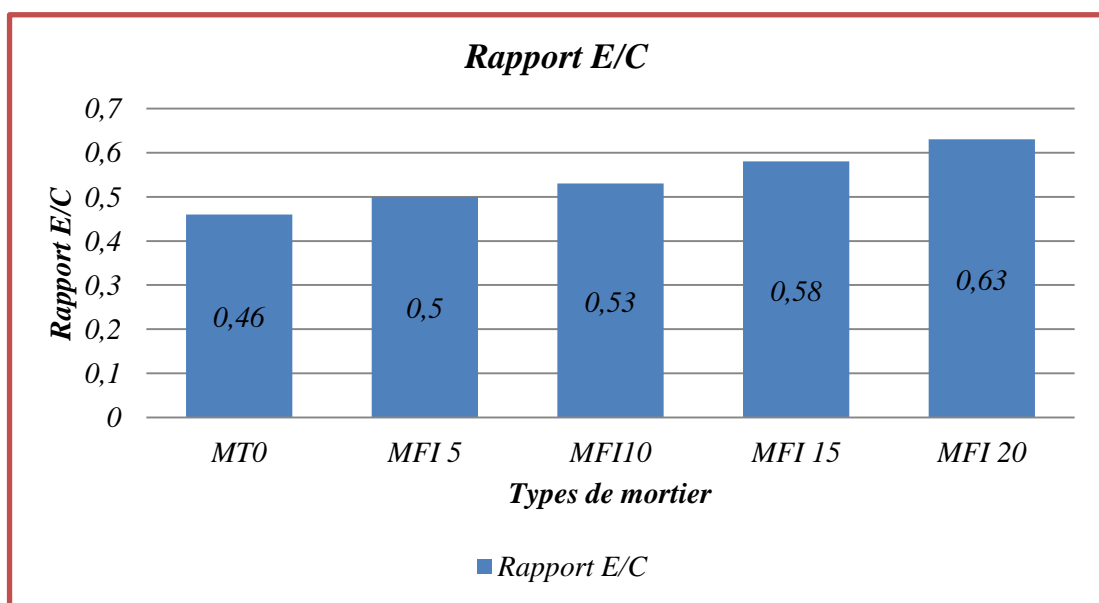


Figure .IV.4 Le rapport E/C des mortiers étudiés selon dosage en déchets de Brique.

- ✓ Les résultats expérimentaux obtenus présentent l'effet du taux d'ajout déchet de brique sur la consistance normale de ciment.
- ✓ La demande en eau des pâtes de ciments préparées avec les différents pourcentages d'ajout déchet de brique: (0%, 5% ,10%, 15% et 20%) est mesurée en utilisant l'essai d'aiguille de Vicat manuel.
- ✓ L'influence de la quantité de l'ajout (déchet de brique) sur la pâte de ciment est exprimée par les variations du rapport de demande en eau pour obtenir une consistance normale.

- ✓ Selon les résultats obtenus (Figure IV.4), on note que l'augmentation du pourcentage de l'ajout incorporé dans le ciment a l'effet suivant:
- ✓ augmentation de la quantité d'eau requise pour avoir une consistance normale de la pâte de ciment.

B/ Etat durci :

IV .3.4 Propriétés mécaniques :

IV.3 .4.1. La résistance mécanique à la flexion et la compression:

Les résultats des essais effectués sur les différents types des mortiers sont enregistrés dans le tableau (IV.4) :

Tableau IV.4. La résistance mécanique à la Flexion.

Les types des mortiers	Résistance à la Flexion (MPa)		
	7 Jours	14 Jours	28 Jours
<i>MT₀</i>	3.92	3.53	3.66
<i>MFI₅</i>	3.23	3.67	4.38
<i>MFI₁₀</i>	3.42	3.69	4.70
<i>MFI₁₅</i>	2.98	3.28	4.13
<i>MFI₂₀</i>	3.03	3.28	4.87

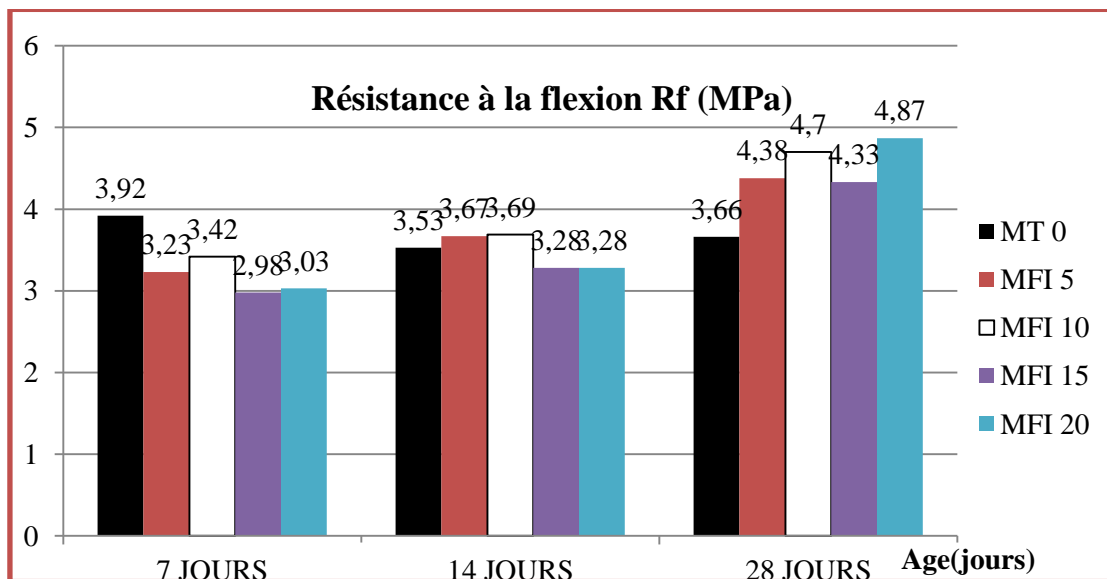


Figure. IV.5 la variation de la résistance à la flexion en fonction du pourcentage de déchets de brique au cours du temps.

- ✓ L'histogramme ci-dessous présente l'évolution de la résistance à la flexion en fonction du pourcentage de (déchet de brique) au cours du temps : 7 ,14 et 28jours.
- ✓ Les résistances à la flexion diminuent légèrement en général à jeune âge 7 et 14 avec l'augmentation du pourcentage d'ajout déchet de brique. Cependant, à 28j la résistance à la flexion enregistrant amélioration pour les mélanges à base de (DB) ; cette augmentation est de envrant de 30% pour le mortier avec un dosage de 20%[(DB) (MFI₂₀)] par apport au témoin(MT).
- ✓ Ces résistances mécaniques sont meilleures pour les mortiers avec ajout indépendamment du taux d'ajout (DB) en comparaison avec le mélange témoin (MT).
- ✓ La tendance vers une valeur maximale de la résistance mécanique à la flexion se confirme pour tous les composite préparé à base de DB (MFI₅, MFI₁₀, MFI₁₅ et MFI₂₀).
- ✓ Les résistances mécaniques (flexion) augmentent avec la teneur des ajouts jusqu'à une valeur maximale égale à 4 .87MPa(MC1).

Tableau IV.5 La résistance mécanique à la Compression.

Types de mortiers	Résistance mécanique à la Compression R _c (MPa)		
	7 Jours	14 Jours	28 Jours
MT ₀	20.46	21.77	31.00
MFI ₅	12.84	21.03	22.27
MFI ₁₀	13.00	15.95	26.65
MFI ₁₅	14.33	15.91	22.07
MFI ₂₀	12.69	14.87	18.76

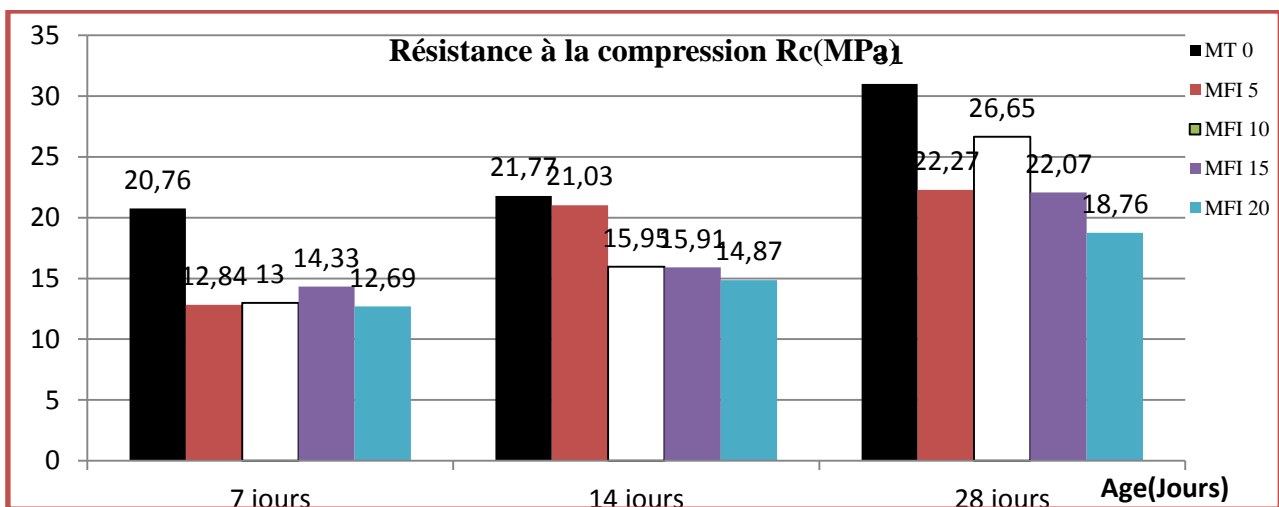


Figure .VI.6 la variation de la résistance à la compression en fonction du pourcentage de déchets de brique au cours du temps.

- ✓ Les mortiers contenant 10% de dosage de déchets de brique ont des résistances mécaniques la compression supérieures à celles d'un mortier témoin (31 MPa) et 26.46 MPa, respectivement.
- ✓ Les résistances mécaniques à la compression croient en fonction de l'âge du composite d'une manière croissance quel que soit le taux de ajout(DB).
- ✓ Les résultats obtenus montrent d'une façon pratique que l'augmentation de la teneur d'ajout (DB) entraîne une réduction des résistances mécaniques par apport MT. Ceci, peut être expliqué par le fait que les composantes chimiques de ces ajouts influent directement et négativement sur la vitesse de mécanisme d'hydratation. Ce qui contribue à la démunissions de la réponse mécanique de la matrice cimentaire avec ajout de déchets de brique en remplacement au ciment.
- ✓ Il s'avère donc d'après ce qu'on vient de voir que la meilleure solidité des hydrates est enregistrée pour une teneur en déchets de brique optimal égale à 10% pour les mélanges composites. La valeur maximale de la résistance mécanique pour le mélange à base de DB 26.65 MPa.
- ✓ La poudre de déchets de brique, tout comme d'autres ajouts cimentaires classiques, modifie la cinétique de développement de la résistance à la compression des mortiers. Elle entraine ainsi un développement lent de la résistance, qui à 28 jours est plus faible que celle des témoins sans DB.
- ✓ Le pourcentage élevé de 20 % de DB comme substitution donne des résistance à la compression Rc faibles en comparaison avec le mélanges de dosage inférieur 5, 10 et 15 % et qui reste avec un taux de réduction maximale par apport au témoin de l'ordre de 40 % avec des valeurs de 18, 76 et 31 MPa, respectivement à l'âge de 28 jours.
- ✓ Cette observation peut s'expliquer par les modifications de l'hydratation des de la matrice induites par la substitution de ciment par la DB qui absorbe moins d'eau que le ciment. [47]

IV.3.5. Absorption A_{bs} (%) : (EN 1097-6)

Tableau IV.6.Capacité d'absorption d'eau des mortiers étudiés.

Les types des mortiers	Absorption (%)		
	M1(g)	M2(g)	A_{bs} %
MT	520.16	561.77	8.11
MFI ₅	512.73	554.33	8.00
MFI ₁₀	531.83	574.37	7.99
MFI ₁₅	513.33	554.27	7.97
MFI ₂₀	523.3	564.2	7.81

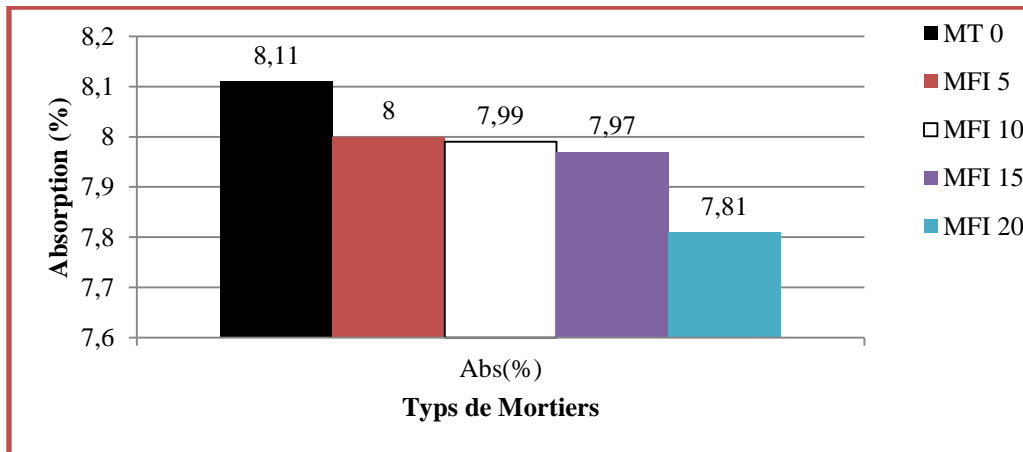


Figure IV.7 Absorption des mortiers étudiés (combinée) en fonction du temps.

- ✓ *Leger réduction de l'absorption des mélanges à base de déchets de brique (DB) par apport au témoin MT.*
- ✓ *Les mortiers de DB se comportent d'une façon favorable vis-à-vis de la durabilité en comparaison avec un mortier de référence MT_0 (sans déchets de brique).*
- ✓ *Le mélange avec MFI_{20} enregistre le taux le plus faible d'absorption en comparaison avec les autres types de mortiers d'un pourcentage inférieure en déchets de brique comme remplacement au ciment CRS, et avec une valeur minimale de 7,81 % par rapport au mortier témoin MT_0 d'un taux d'absorption de 8,11 %.*

A decorative border resembling a scroll, with a black outline and grey shaded areas at the top and bottom corners, framing the central text.

Conclusion
générale

Conclusion générale

Le mortier est l'un des matériaux les plus importants utilisés dans la construction.

L'accumulation de déchets de toutes sortes est un défi, et leur exploitation est la solution Meilleur.

Dans le présent travail, une étude a été menée sur la valorisation des déchets de briques dans l'industrie du mortier.

L'objectif principal de ce travail était d'étudier l'effet combiné des résidus de briques sur le comportement du mortier.

L'étude est basée sur la comparaison du comportement du mortier ordinaire avec comportement du mortier de brique concassée en production mortiers avec des taux de substitution allant de 5% à 20 % selon le poids du ciment et comparer ses performances à l'état neuf et durci avec un mortier ordinaire en tant que témoin.

Les résultats de recherches antérieures ont montré des commentaires sur cette étude qui comprend les éléments suivants :

Etat Frais :

- *Diminution de la quantité d'eau requise pour avoir une consistance normale de la pâte de ciment pour le dosage de 5 % déchets de brique. Ce pendant ; cette demande en eau est avec une légère augmentation pour les dosages 10, 15 et 20 % qui avoisine 29 % du poids du ciment par apport au témoin (sans déchets de brique) 29 % et 28,6 %, respectivement.*
- *Le début de prise DP pour les ciments avec incorporation de DB de 35 minutes pour un CEM₂₀ avec un pourcentage de 20 % (DB par apport au témoin (0 % DB). Une réduction de temps de prise d (environ (10 min) est noté pour les dosages en DB de 5, 10 et 15 % par rapport au ciment de référence.*
- *Une durée de fin de prise FP est remarquable pour les ciments avec ajout de DB Qui est maximal de 30 minutes environ pour 5 % de DB en comparaison au CEM0 témoin.*

Etat durci :

- *à 28j les résistances à la flexion enregistrant amélioration pour les mélanges à base de (DB) ; cette augmentation est de enivrante de 30% pour le mortier avec un dosage de 20%[(DB) (MFI 20)] par apport au témoin(MT).*

Conclusion générale

- Les résistances mécaniques (flexion) augmentent avec la teneur des ajouts jusqu'à une valeur maximale égale à 4.87MPa(MC1).
- La meilleure résistance est enregistrée pour une teneur en déchets de brique(DB) optimal égale à 10% pour les mélanges composites MFI₁₀. La valeur maximale de la résistance mécanique pour les mélanges à base de DB est de 26.65 MPa.

Enfin, on peut conclure à l'issue de cette étude que l'introduction des déchets de brique (DB) donne des résultats acceptables pour les propriétés à l'état frais :consistance et délai de prise. Cependant à l'état durci le pourcentage optimale de 10 % demeure plus avantageux vis-à-vis du comportement mécanique des mortiers à base de DB avec des performances jugées adéquates pour un remplacement du ciment CRS ; ceci afin de concrétiser de objectifs environnementaux pour l'économie du clinker et la limitation des émissions CO₂.

Perspectives/

- Il est préférable de parfaire cette étude de l'incorporation des déchets de brique (DB) comme substitution au ciment CRS à pourcentage optimale de 10 % par des essais sur la microstructure des hydrates formés à l'aide des tests ATD, ATG et DRX pour une meilleure compréhension de l'effet de cet ajout actif et cerner son influence par l'activation mécanique à des finesses plus importantes au-delà de 3000 cm²/g.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1]. **BEN MOSTEFA FATIMA, BOUHAFS KHEIRA** « Etude de la Durabilité des mortiers à base de pouzzolane » Mémoire de Master, Universitaire Belhadj Bouchaib d'Ain-Temouchent, Année 2016/2017.

[2]. **Houssam BELKHIRI, Ahmed DERRAGUI** « Contribution à l'étude des comportements mécaniques de mortier à base de sable de dune et fines siliceuses » mémoire de master académique, Université Ziane Achour de Djelfa, Année 2015/2016.

[3]. **WILLIAM.D, CALLISTER.JR** « Science et génie des matériaux » modolu Editeur, 2001.

[4]. **R.DUPAIN, R.LANCHON, J-C.SAINT-ARROMAN** «Granulat, sols, ciment et béton» Edition CASTEILLA-PARIS-2004.

[5]. **Melle DAD Celia** «Etude comparative de l'utilisation du sable de dune en substitution du sable de rivière : cas des mortiers normalisés » Mémoire de Master, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, Année 2018/2019.

[6]. **BENCHIHEUB Djihen** « Contribuion a l'étude de la comprehension des phénomènes et mécanismes d'action des effets des additions sur le comportement des matris cimentaires » thèse de doctorat, Université 20 Août 1955-Skikda, Année 2018/2019.

[7]. **Mounir Bellem** « Valorisation des déchets plastiques pour l'amélioration des performances mécaniques des mortiers »mémoire de master, université de M'sila, juin 2013.

[8]. **SYLVER.P** «science des matériaux», université pierre et marie curie 2005 ,2006.

[9]. **GCI712** « Durabilité ET réparation du béton », département Génie civil, Université de Sherbrooke-Canada, Avril 2009.

[10]. <https://www.systemed.fr/conseils-bricolage/maconnerie-materiaux-produitsmelanges-et-proportions,6087.html>.

[11]. **BRIKI.Leila. Mr. Belagraa Larbi** « Contribution à l'étude expérimentale et théorique des mortiers confectionnés avec un sable local et préparé à base d'additions minérales ». Université Mohamed Boudiaf - M'sila, 2019.

[12]. **Ahmed Abdo Al-Eyani** «Valorisation du déchet de marbre et de verre comme additif dans la production du mortier »Mémoire de Master, Université Mohamed Boudiaf-M'sila,Année 2016 /2017.

[13]. **PDF réalisé par Zile-Marie Durosier Richard Bonneville.**

[14]. **M. Nicot Pierre,** « Interactions mortier-support : éléments déterminants des performances et de l'adhérence d'un mortier ». Thèse de doctorat, Université de Toulouse 7 octobre 2008.

[15]. **Raid Farid Alsobihi, Ben Yahia Abdesalam**, « Influence de la substitution du clinker par l'argile cuite sur le comportement mécanique du mortier ». mémoire de master, université de M'sila, juin 2016.

[16]. **Barakat Abderrezak**, « valorisation des déchets de briques dans la réalisation des Ouvrages en béton ». Mémoire de magister en génie civil, Université d'Ouargla 05/11/2006.

[17]. **FRACHEBOURG J.** Contribution à l'étude de quelques pouzzolanes naturelles et Artificielles en vue de la fabrication des ciments de pouzzolanes. Thèse Lausanne .1965, p134.

[18]. **CHINJE MELO, U. et BILLONG N.** Activité pouzzolanique des déchets de briques et tuiles cuites. African journal of science and technology 2004. n° 1.vol 5.p92-100.

[19]. **BARONIO G, BINDA L.** Study of the pouzzolaniqueity of some bricks and clays, Construction and Building Materials, Vol. 11, (1997), 70-78.

[20]. **F.DE LARRARD, PACKER et al.** Module Matériau béton et armatures. ENTP, Paris 1993

[21]. **HERMAN K**, les ajouts, bulletin du ciment, n° 04, Paris 1995.

[22]. **PELRIER R, PASQUET A.** bulletin de liaison des laboratoires routiers spécial O. LCPC, juin 1970.

[23]. **Koller**, 2004- Traitement des pollutions : Eau, Air, Déchets, Sols, Boues, Ed. Dunod, Paris, 424p.

[24]. **A.D.E.M.E.**, 2000-Le traitement biologique : Enquête sur les installations de traitement des déchets ménagers et assimilés en 2000, Ed. A.D.E.M.E. Paris.13p.

[25]. **législation Algérienne.** «La loi N 01-19 du 12 décembre 2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets».

[26]. **S.P.E**, 1997- Société pour la protection de l'environnement, les déchets dangereux, histoire, gestion et prévention édition GEORG, dossier de l'environnement, paris 1997. 125p.

[27]. **Gestion des déchets : Catégories des déchets et leur nomenclature - Modifié le 10/12/2012 visé le 25/04/2016**, <http://www.wikiterritorial.cnfpt.fr/xwiki/wiki/econnaissances/view/NotionsCles/LagestiondesdechetsLescategoriesdesdechetsleurnomenclature#H1.LesdiffE9rentescatE9goriesdedE9chets>.

[28]. **Paradis O, Poirier M, saint-pierre L**, 1983. Ecologie un monde à découvrir. Ed. HRW. Itée Montréal.371p.

[29]. **Abderrezak S. (2000).** «Gestion des déchets solides en Algérie. Séminaire sur la gestion intégrée des déchets solide». Alger.31-34p.

- [30]. **Bourmatte Nadjoua**, «*Granulats recyclés de substitution pour bétons hydrauliques* ». Thèse de Doctorat, Université des frères Metouri Constantine 12 Mars 2017.
- [31]. **Bourema Moufida**, «*Etude des caractéristiques d'un BHP à base de déchet de brique rouge à l'état frais et durci*», Mémoire de master en génie civil, Université de 20 Aout 1955-Skikda, 11 Juin 2015.
- [32]. **M. Nicot Pierre**, «*Interactions mortier-support : éléments déterminants des performances et de l'adhérence d'un mortier* ». Thèse de doctorat, Université de Toulouse 7 octobre 2008.
- [33]. **R. Delebecque**, «*Éléments de Construction "Bâtiment"* ». Edition Delagrave 1990.
- [34]. **L. Alviset**, «*Matériaux de Terre Cuite* ». Techniques de l'Ingénieur" 1994.
- [35]. **Ajroun Redouane**, «*Effet de l'incorporation de briques réfractaires dans le ciment portland* ». Mémoire de fin d'études pour l'obtention du Diplôme de licence p. 40 2013- 2014.
- [36] : Recueil de Normes Françaises –AFNOR, Béton et constituants du béton, Paris 1991.
- [37] : **Georges Dreux, Jean Festa**, «*Nouveau guide du béton et de ses constituants*». Paris.
- [38] : **Herizi Boudjmaa Achour Mohamed Pr. RAHMOUNI Zine-El-Abidine** , «*Effet combiné des déchets de brique et de céramique sur le comportement du mortier*». Université Mohamed Boudiaf - M'sila,
- [39] : <http://www.univ-setif.dz/facultes/ft/externe/departements/gc/Chapitre-IIProduits-ceramiques.pdf>.
- [40] : **A. Komar**, «*Matériaux et Elément de Construction* ». Edition MIR 1978.
- [41] : **Fiche technique du ciment Portland NA 442 - CEM I 42,5 N-SR3**.
- [42] : **Maanane Nafissa, Belagraa larbi**,« *Effet de l'activation chimique et mécaniques sur les ciment fabriqués en Algérie, aux moyens de plan d'expérience* »,Mémoire Master 2 Université Mohamed Boudiaf - M'sila,
- [43]:**Belouadah MESSAOUDA**, «*Etude de l'influence de la nature des fillers sur le propriétés des bétons à base des matériaux locaux à l'état frais et à l'état durci et soumis aux hautes températures*». Thèse de Doctorat en génie civil, Université de M'sila, 18/12/2018.
- [44] : **Bourmatte Nadjoua**, «*Granulats recyclés de substitution pour bétons hydrauliques* » . Thèse de Doctorat, Université des frères Metouri Constantine 12 Mars 2017.
- [46] : **Bitar Zeyneb Pr Rahmouni Zine El Abidine**, «*Influence de la surface spécifique des ciments aux ajouts minéraux (calcaire) sur le comportement mécanique du mortier*» Université Mohamed Boudiaf - M'sila 2015/2016.

[47]. BRIKI Leila. Mr. BELAGRAA Larbi, « Contribution à l'étude expérimentale et théorique des mortiers confectionnés avec un sable local et préparé à base d'additions minérales». Université Mohamed Boudiaf - M'sila 2018/2019.

Liste des Tableaux

Chapitre I

Tableaux I.1 Dosages des mortiers.....	11
--	----

Chapitre II

Tableaux II.1 Caractéristiques des Briques creuses.	20
Tableaux II.2 Propriétés des briques pleines et perforé.....	20

Chapitre III

Tableaux III.1 Masse volumique absolue du sable D'OUAD SOUF.....	41
Tableaux III.2 Masse volumique apparente du sable D'OUAD SOUF.	42
Tableaux III.3 Equivalent de sable D'OUAD SOUF.	45
Tableaux III.4 Comparaisons des résultants.....	45
Tableaux III.5 Composition granulométrique du sable préparé.	48
Tableaux III.6 Composition chimique de ciment. (Lafarge Holcime M'sila).....	50
Tableaux III.7 Essais physico-mécaniques. (Lafarge Holcime M'sila).....	51
Tableaux III.8 Essais minéralogique DRX. (Lafarge Holcime M'sila).....	52
Tableaux III.9 Caractéristiques Chimique de l'eau de gâchage.	53
Tableaux III.10 Composition chimique des déchets de brique broyés.....	54
Tableaux III.11 Caractéristiques des déchets de brique broyés.....	54
Tableaux III.12 Les différents types du mortier et leurs composants.	61

Chapitre IV

Tableaux IV.1 Propriétés physiques des ciments préparés (consistance normale).	68
Tableaux IV.2 Propriétés physiques des ciments préparés (Temps de Prise).	69
Tableaux IV.3 Le rapport E/C des mortiers.	71
Tableaux IV.4 La résistance mécanique à la Flexion.	72
Tableaux IV.5 La résistance mécanique à la Compression.	73
Tableaux IV.6 Capacité d'absorption d'eau des mortiers étudiés.	74

Liste des figures

Chapitre I

Figure I.1 Constituants des mortiers.	3
Figure I.2 Mortier.	4
Figure I.3 Les différents types des mortiers.	10

Chapitre II

Figure II.1 Gisement d'argile de B .Amer à Ouargla.	18
Figure II.2 Fabrication des produits de terre cuite.	19
Figure II.3 Brique pleine et perforée.	21
Figure II.4 Laitier de haut fourneau.	30
Figure II.5 Laitier d'acier.	30
Figure II.6 Cendre volante.	31
Figure II.7 Mâchefer.	32
Figure II.8 Boues rouges.	32
Figure II.9 Béton récupéré.	33
Figure II.10 Déchet de verre.	34
Figure II.11 Sciure de bois.	34
Figure II.12 Lin de textile.	35
Figure II.13 Marbre.	36
Figure II.14 Céramique.	36
Figure II.15 Carrelage.	37
Figure II.16 Brique concassée.	38

Chapitre III

Figure III.1 La masse volumique absolue d'un matériau.	40
Figure III.2 La masse volumique apparente (labo de génie civil).	42
Figure III.3 Agitateur mécanique.	43
Figure III.4 Repos de 20 min pour les éprouvettes.	44
Figure III.5 Analyse granométrique. (Labo de génie civil).	47
Figure III.6 Courbe d'Analyse granulométrique.	48
Figure III.7 Déchets des briques utilisés.	54
Figure III.8 Détermination du temps de fin de prise.	55

Figure III.9 L'essai de consistance de ciment.....	58
Figure III.10 Cône d'affaissement du mortier (Laboratoire de génie civil M'sila).	59
Figure III.11 Malaxeur semi-automatique de mortier (Laboratoire de Lafarge M'sila).	61
Figure III.12 a: Eprouvette prismatique (4*4*16) cm ³ b :Aplanissement des éprouvettes (Laboratoire de Lafarge M'silla)	62
Figure III.13 Table vibrante (table à choc).....	63
Figure III.14 L'appareil de résistance à la flexion..	64
Figure III.15 Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion.....	64
Figure III.16 Dispositif de rupture en compression..	65
Figure III.17 L'appareil de résistance à la compression... ..	66

Chapitre IV

Figure IV.1 Consistance normale E/C (%).	68
Figure IV.2 Début de prise (min).	70
Figure IV.3 Fin de prise (min).	70
Figure IV.4 Le rapport E/C des mortiers étudiés.	71
Figure IV.5 la variation de la résistance à la flexion en fonction du pourcentage de déchets de brique au cours du temps.	72
Figure IV.6 la variation de la résistance à la compression en fonction du pourcentage de déchets de brique au cours du temps.	73
Figure IV.7 . Absorption des mortiers étudiés (combinée) en fonction du temps.	75

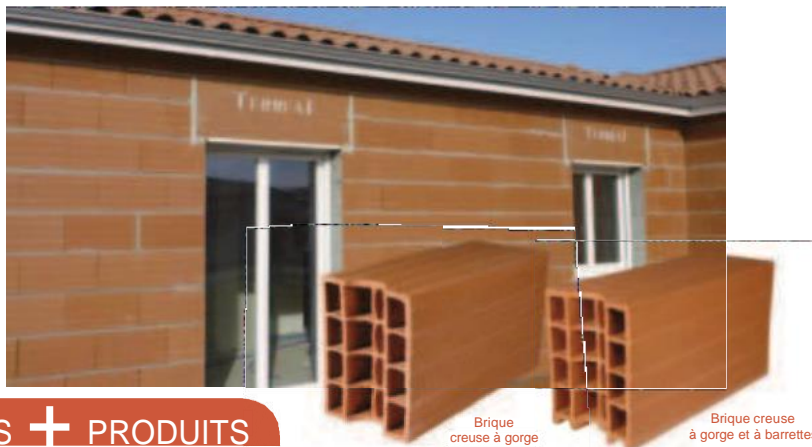


Brique creuse à pose traditionnelle

Brique de structure à pose traditionnelle, la brique creuse est équipée d'une gorge verticale pour réaliser le clavetage entre briques tout en supprimant le joint vertical de façade.

La brique creuse à barrettes facilite, grâce à ses barrettes horizontales en sous-face des briques, la réalisation de l'arase au mortier pour un mur mieux fini.

Maçonnerie courante 20 cm à isolation rapportée (maçonnerie isolante de type B).



LES + PRODUITS

5 Gain de temps

Plusieurs dimensions de briques (de 200 x 270 x 50, plus haute et plus grande, jusqu'à 200 x 200 x 50) permettent : 3 angles de joints (un à l'angle, un à l'horizontal, un à l'vertical) ; la brique creuse à gorge et à barrettes permet de réaliser l'arase au mortier.

5 Meilleure finition

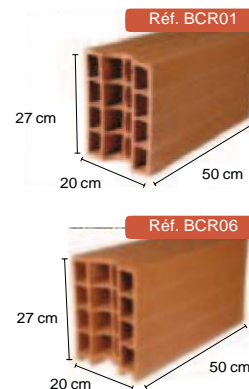
La gorge verticale et les barrettes horizontales de la brique creuse à gorge et à barrettes permettent de réaliser l'arase au mortier et de réaliser les joints horizontaux et verticaux en façade.

Domaine d'emploi

Système complet de maçonnerie traditionnelle (brique creuse à gorge et à barrettes) et brique creuse à gorge, conformément à la norme NF EN 771-1 (brique creuse) et NF EN 771-2 (mortier).

- maisons individuelles,
- logements collectifs,
- bâtiments à usage commercial, industriel ou agricole.

Caractéristiques



Référence Produit	Dimension en cm	Poids unitaire (kg)	Quantité au m ²	Quantité par palette
BRIQUE CREUSE À GORGE ET À BARRETTES				
BCR06	20 x 27 x 50	15,9	7,2	60
BRIQUE CREUSE À GORGE				
BCR01	20 x 27 x 50	15,4	7,2	60
BCR02	20 x 20 x 50	11,8	9,2	80
BRIQUE CREUSE SANS GORGE				
BCR04	15 x 20 x 50	10	9,2	100





→ pour connaître l'ensemble des accessoires du système brique traditionnelle, consultez les pages 16 et 17.

Performances techniques

La mise en œuvre et la stabilité au feu de la brique traditionnelle sont conformes à la norme NF EN 771-1 (brique creuse) et NF EN 771-2 (mortier).

Certification

Le système brique creuse à gorge et à barrettes est certifié conformément à la norme NF EN 771-1 (brique creuse) et NF EN 771-2 (mortier) par le fabricant. Le système est certifié pour une utilisation en maçonnerie traditionnelle.

	au feu ⁽¹⁾ mur chargé	Charge centrée 13 T/ml } REI 240
	Affaiblissement acoustique ⁽¹⁾	Brique seule → Rw 52 (-1 ; -3) dB ⁽³⁾
	Résistance à l'arrachement (Enduits)	Support classe RT3
	Pose	Traditionnelle au mortier hydraulique

Tous les PV d'essais et documentations de certifications sont disponibles sur demande auprès de l'assistance technique.

(1) 1 face enduite plâtre 10 mm

(2) Les résistances thermiques de la paroi intègrent les résistances superficielles intérieures et extérieures ($R = 0,17$) et les résistances des enduits (enduit hydraulique $R = 0,01$) et complexe isolant 100 + 10 Th 32.

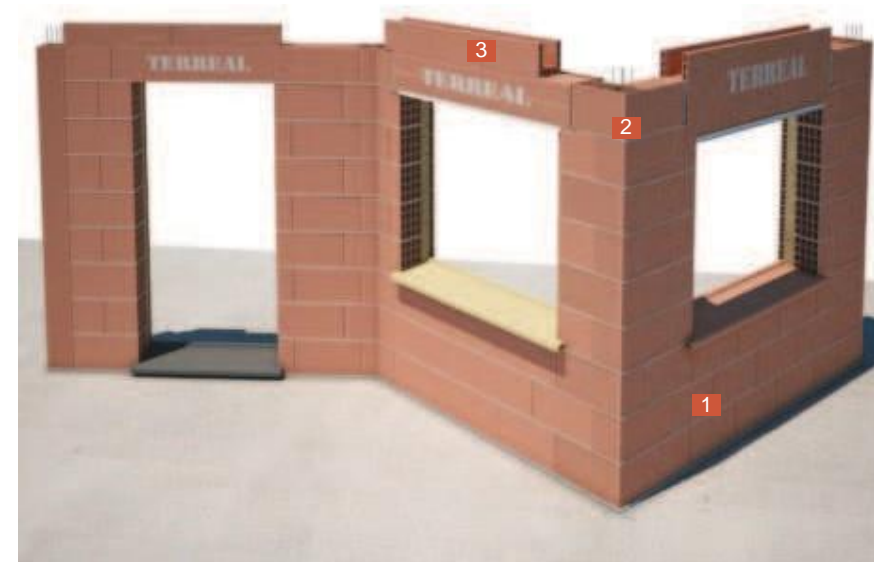
(3) Avec 1 face enduite plâtre et 1 face enduite ciment 1,5 cm.

(4) Valeurs calculées du CTMNC (rapport d'essai).

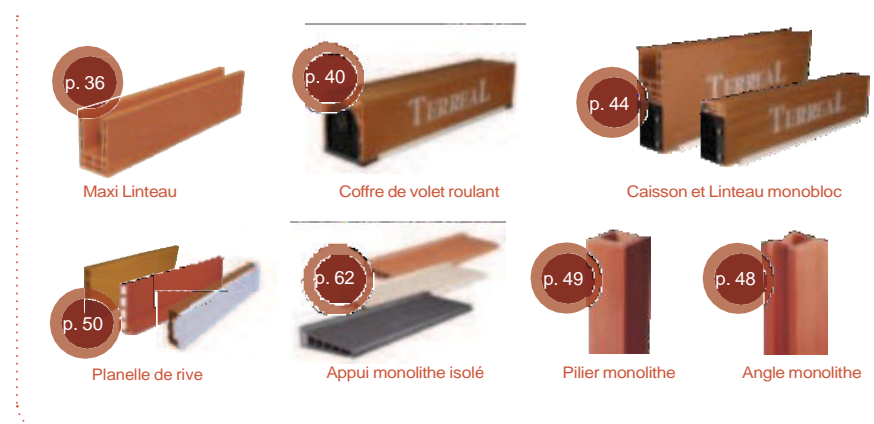


Brique creuse : système complet avec accessoires

		Référence produit	Dimensions en cm (ép. x h x L)	Poids unitaire (kg)	Quantité au m ² ou ml	Section béton en cm	Quantité de mortier au m ² ou ml (litres)	Quantité par palette
BRIQUE EN PARTIE COURANTE	 1	BCR06	20 x 27 x 50	15,9	7,2/m ²	-	22/m ²	60
	 1	BCR01	20 x 27 x 50	15,4	7,2/m ²	-	22/m ²	60
	 1	BCR02	20 x 20 x 50	11,8	9,2/m ²	-	23/m ²	80
	 1	BCR04	15 x 20 x 50	10,0	9,2/m ²	-	16/m ²	100
CHAÎNAGES VERTICAUX	 2	BCR23	20 x 27 x 50	16,4	3,7/ml	12 x 12	17/ml	64
	 2	BCR24	20 x 20 x 50	12,5	5/ml	12 x 12	17/ml	80
CHAÎNAGES HORIZONTAUX	 3	BCR11	20 x 27 x 50	18,0	2/ml	16 x 12	19,2/ml	60
	 3	BCR12	20 x 20 x 50	13,8	2/ml	16 x 12	19,2/ml	80



Produits associés : les accessoires monolithes





Mokaouem Plus

مقاوم بلوس Plus



Ciment Portland

NA 442 - CEM I 42,5 N-SR3

Mokaouem est un ciment gris résistant aux sulfates, résultat de la mouture 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 197-1II 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 barrages et les digues de soutènement collinaire



FORMULATION CONSEILLÉE

	Ciment 	Sable (sec) 	Gravillons (sec) 	Eau (litres) 
Dosage pour béton C25/30	X 1 	+ X7 	+ X5  + X4 	+ 25 L

Remarque: un bidon = 10 Litres

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

CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES

Analyses chimiques

	0,5 à 3 %
	1,8 à 3
	1,2 à 3
	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

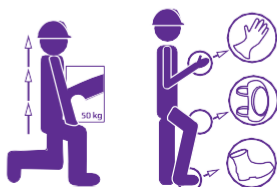
	25 à 28
	3200 à 3800
	< 1000
Expansion (mm)	≤2,0
Chaleur d'hydratation	<270j/g

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.



Conditionnement:

