

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Université A. MIRA-BEJAIA



Faculté de Technologie  
Département Génie Civil

**Mémoire**  
**EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE**  
**Master**

**Domaine : Science et Technologie      Filière : Génie Civil**  
**Spécialité : Structures**

**Présenté par**  
**BOUDRIES Abderezak**  
**SAIFI Melissa**

*Thème*

**Influence de la granulométrie des sables par différent matériaux sur  
les performances des mortiers cimentaires**

**Soutenue le :26/06/2024**

**Devant le Jury composé de :**

**Nom et prénom**

**Grade**

N. CHELOUAH		Univ. de Bejaia	Président
SLIMANOU Houssam	MCB	Univ. de Bejaia	Rapporteur
A.BOUKELOUDA		Univ. de Bejaia	Examineur

**Année Universitaire : 2023/2024**

# Remerciements

*On remercie dieu le tout puissant de nous avoir donné la santé et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire.*

*Ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu avoir le jour sans l'aide et l'encadrement de Mr **SLIMANOU Houssam**, on le remercie pour la qualité de son encadrement exceptionnel, pour sa patience, sa rigueur et sa disponibilité durant notre préparation de ce mémoire.*

*Nos remerciements s'adressent à tous les employés du laboratoire LTP de l'est et les employés de laboratoire de génie civile de construction et architecture (LGCA) ainsi que les membres du plateau technique des analyses physico-chimiques (PTAPC) et évidemment à tous les membres du laboratoire de génie civile de notre université.*

*Nos remerciements s'adressent également à tous nos professeurs qui ont su faire preuve de patience et de soutien durant notre parcours académique.*

# Dédicace

*Je dédie ce modeste travail*

*À mes très chers parents **Ourida** et **Arezki**, Aucun hommage ne pourra être à la hauteur de votre sacrifices, amour et affection dont vous n'avez jamais cessé de m'entourer tout au long de ces années d'étude. J'espère que vous trouvez dans ce travail un vrai témoignage de mon profond amour éternel reconnaissance.*

*À mes chers frères **Nassim** et **Fahem**.*

*À ma belle-sœur **Aya**.*

*À ma précieuse nièce **sérina**.*

*À tous mes amis et tous ceux que j'aime.*

*Pour finir je tiens à remercier ma binôme **Melissa** pour son soutien, son courage et sa compréhension tout au long de ce projet.*

***Abderezak***

# Dédicace

*Je dédie ce modeste travail accompagné d'un profond amour.*

*À celle qui m'a arrosée de tendresse et d'espoir, à la source d'amour incessible, à la mère des sentiments fragiles qui m'a béni par ces prière ma chère mère **Nadia**.*

*À mon support dans la vie, qui m'a montré le chemin de la gloire, à toi mon chère papa **Lounis**.*

*À mes chères sœurs : **Amina, Nour El Houda, Sarah** et ma princesse **Nihad**.*

*À vous mes grands-parents **Fatima** et **Belkacem**, ceci est ma profonde gratitude pour votre amour éternel que ce travail soit le meilleur cadeau que je puisse vous offrir.*

*À mes chères tantes : **Khadidja, Djida, wahida, Zina, saida, Samia**.*

*À mes chers oncles : **Foudil, Moussa, Brahim, Ahmed**.*

*À mes précieuses amies : **Sarah, Hayette, Kahina, Meriem, chahinez** et **sabrine**.*

*Pour finir je tiens à remercier mon binôme **Abderezak** pour son soutien, son courage et sa compréhension tout au long de ce projet.*

***Melissa***

## Table des matières

Table des figures .....	IV
Liste des tableaux.....	VI
<b>INTRODUCTION GENERALE :</b> .....	<b>1</b>
<b>I. CHAPITRE I : LA RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE.....</b>	<b>3</b>
I.1 INTRODUCTION :.....	3
I.2 MORTIER :.....	3
I.2.1 Définition : .....	3
I.2.2 Les types de mortiers : .....	4
<b><i>I.2.2.1 SELON LA NATURE :</i></b> .....	<b>4</b>
<b><i>I.2.2.2 EN FONCTION DE LEUR MASSE VOLUMIQUE :</i></b> .....	<b>5</b>
I.2.3 Les composant de mortier : .....	6
I.2.4 Caractéristiques principales de mortier :.....	13
I.2.5 Le rôle de l'utilisation de mortier :.....	14
I.3 LA BRIQUE : .....	15
I.3.1 <i>Définition</i> :.....	15
I.3.2 Les types de briques : .....	15
<b><i>I.3.2.1.1 FACE BRIQUE :</i></b> .....	<b>15</b>
<b><i>I.3.2.1.2 BRIQUE DE CONSTRUCTION :</i></b> .....	<b>16</b>
<b><i>I.3.2.1.3 BRIQUE VERNISSEE :</i></b> .....	<b>16</b>
<b><i>I.3.2.2.1 BRIQUE PLEINE :</i></b> .....	<b>16</b>
I.3.3 Les principales constructions de brique : .....	17
I.3.4 Le rôle des constructions de la brique :.....	17
I.3.5 Processus de fabrication : .....	18
<b><i>I.3.5.1 EXTRACTION DE MATIERE PREMIERE :</i></b> .....	<b>18</b>
I.3.6 Utilisations des déchets de brique dans le mortier : .....	19
I.4 CONCLUSION .....	20
<b>II. CHAPITRE II : METHODE D'ANALYSE ET DE CARACTERISATION</b>	<b>21</b>
II.1 INTRODUCTION :.....	21

II.1.1	Matériaux utilisés : .....	21
II.1.2	Le sable : .....	21
II.1.3	Les déchets de brique : .....	21
II.1.4	Le ciment : .....	22
II.1.5	L'eau gâchage : .....	22
II.1.6	Adjuvant : .....	22
II.2	LES ESSAIS DE CARACTERISATION PHYSIQUE SUR LE SABLE : .....	22
II.2.1	Echantillonnage : .....	22
II.2.2	La teneur en eau (NF EN 1 97 5) : .....	23
II.2.3	Analyse granulométrique (NF EN 933-1) : .....	24
II.2.4	Equivalent de sable (NF EN 933-8) : .....	25
II.2.5	Essai de bleu de méthylène (NF 933-9) : .....	27
II.2.6	La masse volumique: .....	29
II.2.7	Mesure du coefficient d'absorption des sables (NF P 18-555) : .....	31
II.3	LES ESSAIS DE CARACTERISATION SUR LE CIMENT : .....	32
II.3.1	Essai de consistance de la pâte de ciment (EN 196-3) : .....	32
II.3.2	Essai de prise de ciment (EN 196-3) : .....	33
II.4	LES ESSAIS DE CARACTERISATION CHIMIQUE DES DIFFERENTS MATERIAUX : ....	34
II.4.1	L'analyse Chimique (FRX) : .....	34
II.5	LES ESSAIS DE CARACTERISATION SUR LES MORTIERS : .....	35
II.5.1	A l'état Frais : .....	35
II.5.2	A l'état durci : .....	36
II.5.3	Essai de traction par flexion : .....	37
II.5.4	Essai de compression (NF EN 206-1) : .....	38
II.6	CONCLUSION : .....	39
 <b>III. CHAPITRE III : CARACTERISATION PHYSICO-CHIMIQUE DES MATIERES PREMIERES .....</b>		<b>40</b>
III.1	INTRODUCTION : .....	40
III.2	CARACTERISATION DE MATIERE PREMIERE DU MORTIER : .....	40
III.2.1	Caractérisation physique : .....	40
III.3	LES ESSAIS DE CARACTERISATION CHIMIQUE DES DIFFERENTS MATERIAUX : ....	50
III.3.1	L'analyse chimique : .....	50
III.4	FORMULATION DE MORTIER : .....	51
III.5	CONCLUSION : .....	53
 <b>IV. CHAPITRE IV : : LES RESULTATS PHYSIQUES ET MECANIQUE.....</b>		<b>55</b>

IV.1 INTRODUCTION :.....	55
IV.2 CONFECTION DES MORTIERS :.....	55
IV.2.1 Préparation des gâchées : .....	56
IV.2.2 Conservation des éprouvettes :.....	56
IV.3 ESSAIS SUR LES MORTIERS :.....	57
IV.3.1 Essais effectués sur les mortiers frais :.....	57
IV.3.2 Essais effectués sur les mortiers durci : .....	58
IV.4 CONCLUSION :.....	71
<b>V. CONCLUSION GENERALE :.....</b>	<b>72</b>
<b>VI. REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE .....</b>	<b>73</b>
<b>VII. LES NORMES.....</b>	<b>76</b>
<b>ANNEXE .....</b>	<b>I</b>

**Table des figures :**

<b>Figure I-1:</b> Mortier .....	3
<b>Figure I-2:</b> Différents types de mortiers .....	4
<b>Figure I-3:</b> Mortier de plâtre.....	5
<b>Figure I-4:</b> Ciment.....	6
<b>Figure I-5:</b> Constituent du ciment. ....	7
<b>Figure I-6:</b> Les étapes de fabrication du ciment [11]. ....	8
<b>Figure I-7:</b> Le Principe de fabrication de ciment [12].....	9
<b>Figure I-8:</b> Les différentes dimensions de sable [15].....	10
<b>Figure I-9:</b> Sable de rivière. ....	11
<b>Figure I-10:</b> Sable de concassage. ....	11
<b>Figure I-11:</b> Sable de mer.....	12
<b>Figure I-12:</b> Sable de dune. ....	12
<b>Figure I-13:</b> Adjuvants. ....	13
<b>Figure I-14 :</b> La forme de la brique .....	15
<b>Figure II-1:</b> Les différents types de sable .....	21
<b>Figure II-2:</b> poudre de déchet de brique.....	21
<b>Figure II-3 :</b> Opération de quartage. ....	22
<b>Figure II-4:</b> échantillonneur. ....	23
<b>Figure II-5:</b> Série des tamis.....	24
<b>Figure II-6:</b> Principe d'équivalent de sable.....	26
<b>Figure II-7:</b> Appareil d'essai de bleu de méthylène.....	27
<b>Figure II-8:</b> La masse volumique absolue par la méthode de pycnomètre .....	30
<b>Figure II-9:</b> : La masse volumique absolue par la méthode de l'éprouvette gradué... 30	30
<b>Figure II-10 :</b> La masse volumique apparente .....	31
<b>Figure II-11:</b> Appareil de Vicat.....	32
<b>Figure II-12:</b> principe d'essai de prise de ciment.....	34
<b>Figure II-13:</b> L'appareil de spectromètre de fluorescence des rayons X (FRX).....	35
<b>Figure II-14:</b> essai de la masse volumique fraîche.....	36
<b>Figure II-15:</b> (A) La pesée hydrostatique ; (B) La masse humide. ....	37
<b>Figure II-16:</b> Essai de traction.....	38
<b>Figure II-17:</b> Appareil de flexion (traction) compression.....	38
<b>Figure III-1:</b> La masse volumique absolue par la méthode de pycnomètre.....	40
<b>Figure III-2:</b> La masse volumique apparente.....	41
<b>Figure III-3:</b> Courbe de l'analyse granulométrique de sable carrière.....	42



## Table des figures

---

<b>Figure III-4:</b> Courbe de l'analyse granulométrique du sable d'oued zhour.....	43
<b>Figure III-5:</b> Courbe de l'analyse granulométrique du sable de Boussaâda .....	44
<b>Figure III-6:</b> Courbe de l'analyse granulométrique du sable de brique.....	45
<b>Figure III-7:</b> Essai d'équivalent de sable. ....	47
<b>Figure III-8:</b> Résultat d'essai de VB.....	47
<b>Figure III-9:</b> Essai de consistance.....	48
<b>Figure III-10:</b> Début de la prise .....	49
<b>Figure III-11:</b> Fin de la prise.....	49
<b>Figure III-12:</b> Caractéristiques de superplastifiant .....	50
<b>Figure III-13:</b> Les résultats d'analyse FRX .....	51
<b>Figure IV-1:</b> Malaxeur .....	55
<b>Figure IV-2:</b> Les éprouvettes de dimensions 4 x 4 x 16 cm <sup>3</sup> .....	55
<b>Figure IV-3:</b> Remplir le moule et le mettre dans l'appareil à chocs .....	56
<b>Figure IV-4:</b> La porosité des différents mortiers à base de sable carrière a 7 jours.....	61
<b>Figure IV-5:</b> La porosité des différents mortiers à base sable de carrière à 28 jours...	62
<b>Figure IV-6:</b> La porosité des différents mortiers à base de sable d oued zhour et Boussaâda substituée par sable de brique a 7 jours .....	63
<b>Figure IV-7:</b> La porosité des différents mortiers à base de sable d oued zhour et Boussaâda substituée par sable de brique a 28 jours .....	64
<b>Figure IV-8:</b> La résistance à la compression de mortier à base de sable carrière substituée par différents sables à 7 jours. ....	67
<b>Figure IV-9:</b> La résistance à la compression de mortier à base de sable carrière substituée par différents sables à 28 jours. ....	67
<b>Figure IV-10:</b> Résistance à la compression de mortier à base de sable oued zhour substituée par sable de brique à 7 jours.....	68
<b>Figure IV-11:</b> Résistance à la compression de mortier à base de sable oued zhour substituée par sable de brique à 28 jours.....	68
<b>Figure IV-12:</b> La résistance à la flexion de mortier à base de sable carrière substituée par différents sables à 7 jours .....	69
<b>Figure IV-13:</b> La résistance à la flexion de mortier à base de sable carrière substituée par différents sables à 28 jours .....	69
<b>Figure IV-14:</b> Résistance à la flexion de mortier à base de sable oued zhour et Boussaâda substituée par sable de brique à 7 jours.....	70
<b>Figure IV-15:</b> Résistance à la flexion de mortier à base de sable oued zhour et Boussaâda substituée par sable de brique à 28 jours.....	71

**Liste des tableaux**

<b>Tableau I-1:</b> La composition des principaux composants [10].....	8
<b>Tableau I-2 :</b> Les composants chimiques de brique terre cuite (rouge) [24] .....	17
<b>Tableau II-1:</b> Classement de sable .....	25
<b>Tableau II-2:</b> Nature et qualité du sable. ....	26
<b>Tableau II-3:</b> Classification de sol.....	29
<b>Tableau III-1:</b> les résultats de la masse volumique absolue .....	40
<b>Tableau III-2:</b> Les résultats de la masse volumique apparente.....	41
<b>Tableau III-3 :</b> D'analyse granulométrique de sable 0/4. ....	42
<b>Tableau III-4:</b> Analyse granulométrique de sable d oued zhour .....	43
<b>Tableau III-5:</b> Analyse granulométrique de sable Boussaâda .....	44
<b>Tableau III-6:</b> Analyse granulométrique de sable de brique .....	45
<b>Tableau III-7:</b> Le module de finesse des diffèrent sable .....	46
<b>Tableau III-8:</b> L'équivalent de sable de différent sable.....	46
<b>Tableau III-9:</b> Résultat d'essai bleu de méthylène des diffèrent sable .....	47
<b>Tableau III-10:</b> Résultat d'absorption d'eau des différents sables .....	48
<b>Tableau III-11:</b> Résultat d'essai de consistance du ciment .....	48
<b>Tableau III-12:</b> Résultat d'essais de prise .....	49
<b>Tableau III-13:</b> Résultat d'analyse chimique (FRX) des diffèrent matériaux .....	51
<b>Tableau III-14:</b> Les différents types de mortier pour la correction de sable carrière .	52
<b>Tableau III-15:</b> Les différents types de mortiers on substitue sable d oued zhour par sable de brique.....	53
<b>Tableau III-16:</b> Les différents types de mortiers on substitue sable de Boussaâda par sable de brique.....	53
<b>Tableau IV-1:</b> La masse volumique fraiche de mortier a base du sable carrière substitue par diffèrent sable.....	57
<b>Tableau IV-2:</b> La masse volumique fraiche de mortier à base sable Boussaâda substitue par sable de brique.....	58
<b>Tableau IV-3:</b> La masse volumique fraiche de mortier à base sable oued zhour substitue par sable de brique.....	58
<b>Tableau IV-4:</b> Résultat d'absorption du mortier à base de sable carrière substitue par différents sables.....	59
<b>Tableau IV-5:</b> Résultat d'absorption du mortier à base de sable oued zhour substitue par sable de brique.....	60

<b>Tableau IV-6:</b> Résultat d'absorption du mortier à base de sable Boussaâda substituée par sable de brique.....	60
<b>Tableau IV-7:</b> Résultat des mesures de la porosité de mortier à base sable carrière substituée par différents sables.....	61
<b>Tableau IV-8:</b> Résultat des mesures de la porosité de mortier à base sable de Boussaâda substituée par sable de brique .....	62
<b>Tableau IV-9:</b> Résultat des mesures de la porosité de mortier à base sable d oued zhour substituée par sable de brique .....	63
<b>Tableau IV-10:</b> Résultat des mesures de la masse volumique de mortier à base sable de carrière substituée par différents sables .....	65
<b>Tableau IV-11:</b> Résultat des mesures de la masse volumique de mortier à base sable de Boussaâda substituée par sable de brique .....	65
<b>Tableau IV-12:</b> Résultat des mesures de la masse volumique de mortier à base de sable oued zhour substituée par sable de brique.....	66

## Liste des abréviations

---

W : La teneur en eau.

$M_w$  : Masse d'eau dans matériaux.

$M_s$  : Masse de matériaux sec.

MF : Module de finesse.

ES : Equivalent de sable.

VB : Valeur de bleue de méthylène.

pab : la masse volumique absolue

pap : la masse volumique apparente

Ab : Coefficient d'absorption.

E/C : Rapport eau / ciment.

FRX : Fluorescence des rayons X.

Mh : Masse humide

Mhyd : Masse hydrostatique

PAF : Perte au feu.

Mct : Mortier sable carrière témoin.

Mcz : Mortier sable carrière et oued zhour.

Mz : Mortier sable oued zhour.

Mcs : Mortier carrière et Boussaâda.

Mcb : Mortier carrière sable brique.

Mb : Mortier sable de brique.

Mzb : Mortier sable oued zhour et sable de brique.

Msb : Mortier sable Boussaâda et sable de brique.

# Introduction générale

### Introduction générale :

L'industrie de la construction utilise divers matériaux, des naturels comme la pierre, le bois et le sable aux synthétiques comme le béton, l'acier et les polymères, chacun avec ses caractéristiques et applications spécifiques. Malgré les progrès technologiques, des défauts comme les fissures dans le béton, la pourriture du bois ou la corrosion des métaux persistent. Ces problèmes peuvent découler d'erreurs de conception, de conditions environnementales, de mise en œuvre défectueuse ou de matériaux de qualité inférieure, nécessitant une gestion rigoureuse pour garantir la durabilité et la sécurité des structures construites

Le mortier, un matériau essentiel dans la construction. Il remplit plusieurs fonctions essentielles, notamment en fournissant une liaison structurelle solide entre les matériaux de construction. Cependant, comme tout matériau de construction, le mortier présente certains défauts qui peuvent poser des défis lors de sa mise en œuvre et de sa durabilité. Parmi les problèmes couramment rencontrés, on note les fissurations dues à un mauvais dosage des composants ou à un séchage trop rapide. L'humidité peut également pénétrer dans le mortier, entraînant des efflorescences ou des dégradations par le gel-dégel. Par ailleurs, l'utilisation de sables de mauvaise qualité peut affaiblir la résistance du mortier. Il est donc crucial de respecter les proportions et les méthodes de préparation pour assurer la performance optimale du mortier dans la construction [1].

Les matières premières du mortier comprennent le ciment, le sable et l'eau parfois complétés par des additifs chacun ayant un rôle spécifique. Le ciment agit comme liant principal, conférant résistance et durabilité au mortier en durcissant après hydratation. Le sable, en tant qu'agrégat, donne consistance et texture, tandis que l'eau initie le processus de prise et de durcissement, déterminant la consistance finale. Les additifs tels que plastifiant et retardateur modifient les propriétés du mortier selon les besoins spécifiques du projet. Ensemble, ces composants créent un mortier équilibré, essentiel pour lier les matériaux de construction et garantir des structures solides et durables.

Les sables sont des matériaux granulaires naturels formés par la désintégration et l'érosion de roches et de minéraux. Ces processus commencent dans les montagnes, où les roches sont fragmentées et transportées par l'eau, le vent et la glace vers des plages, des déserts et des lits de rivières. En route, les particules sont polies et arrondies. Les conditions géologiques et climatiques spécifiques de chaque région influencent la composition minérale et la couleur des sables, les rendant uniques à chaque environnement [2].

Dans le domaine du génie civil, les déchets comprennent les matériaux de construction démolis, excédents de béton, d'asphalte, et résidus de fouilles. La gestion efficace de ces déchets est cruciale pour minimiser l'impact environnemental et favoriser le recyclage. Les déchets de briques, souvent générés lors de la démolition ou de la construction, peuvent être réutilisés comme agrégats dans de nouveaux mélanges de béton et mortier ou pour le remblayage, contribuant ainsi à la durabilité des projets de construction [3].

L'objectif de notre étude est d'ajuster la granulométrie du sable de carrière en utilisant différents types de sable : le sable de Boussaâda, le sable d'Oued Zhour et le sable de brique, tout en évaluant le comportement du sable de brique dans les différents mortiers. Cela se fait en remplaçant le sable d'Oued Zhour et le sable de Boussaâda par des déchets de brique (sable de brique) afin d'examiner les effets de cette substitution sur la granulométrie du mélange. Toutes ces expérimentations sont réalisées sur des mortiers à l'âge de 7 et 28 jours et comparées à un échantillon témoin pour déterminer la résistance des matériaux obtenus.

Ce travail est composé de quatre chapitres, répartis comme suit :

Le premier chapitre de ce mémoire a été consacré à une recherche bibliographique sur les mortiers, les différents sables ainsi que la brique cuite.

Le deuxième chapitre porte sur l'étude des caractéristiques variées et des méthodes d'analyse des matériaux utilisés dans l'expérimentation.

Le troisième chapitre présente la caractérisation des matériaux utilisés, en détaillant les propriétés chimiques, physiques et mécaniques du ciment et des différents types de sable, ainsi que la formulation de mortier.

Le quatrième chapitre : Présente les résultats expérimentaux et les discussions obtenues dans cette étude.

Enfin, une conclusion générale récapitule les principaux résultats obtenus au cours de cette étude.

# Chapitre I : la recherche bibliographique



## Chapitre I : la recherche bibliographique

### I.1 Introduction :

La recherche bibliographique constitue une étape essentielle dans toute démarche scientifique, offrant un cadre méthodologique rigoureux pour explorer et comprendre un domaine spécifique. Dans ce chapitre, nous nous pencherons sur la recherche bibliographique relative aux mortiers, différents sables et briques cuites.

A travers cette recherche bibliographique, nous chercherons à explorer les multiples facettes des matériaux de construction, notamment leurs compositions, leurs propriétés physiques et mécaniques, leurs techniques de fabrication, ainsi que leurs applications dans différents contextes environnementaux et culturels à travers le monde.

### I.2 Mortier :

Le mortier, souvent considéré comme la "colle" des structures de génie civil, revêt une importance cruciale dans la construction. En tant que matériau de liaison entre les briques, les pierres ou les blocs de béton, le mortier assure la solidité, la durabilité et la stabilité des ouvrages. Son choix et sa qualité sont déterminants pour garantir la résistance et la longévité des infrastructures, faisant ainsi du mortier un élément indispensable dans le domaine du génie civil.

#### I.2.1 Définition :

Le mortier est un simple mélange d'un liant (ciment ou chaux) et de sable, mélangé avec de l'eau (éventuellement un agent auxiliaire). Il diffère du béton par l'absence de gravier. Le mortier est l'un des matériaux de construction utilisés pour assembler les éléments, assurer la stabilité des travaux et combler les espaces entre les blocs de construction. Selon la nature et le pourcentage des ingrédients, le mélange, la mise en œuvre et le durcissement, ils peuvent être différents considérablement les uns des autres [4].



**Figure I-1:** Mortier

## I.2.2 Les types de mortiers :

Il existe une multitude de mortiers, que l'on obtient en faisant varier le liant (type et dosage), le sable (nature et granularité), les adjuvants et ajouts (plastifiant, entraîneur d'air, hydrofuge, agent d'adhérence, fibres ...) et les quantités d'eau.

### I.2.2.1 Selon la nature :

D'après la nature du liant, on distingue :

- **Mortier de ciment** : (figure I-2-A) Les mortiers de ciment, très durables, durcissent rapidement. De plus, une dose suffisante de ciment les rend quasiment étanches. Les dosages habituels sont de l'ordre de 300 à 400 kg de ciment par mètre cube de sable [5].
- **Mortier de chaux** : (figure I-2-B) Les mortiers de chaux sont gras et crémeux. Ils durcissent plus lentement que les mortiers de ciment, surtout si la chaux est riche en calcium [5].
- **Mortier de bâtard** : (figure I-2-C) Le mélange du ciment et de la chaux permet à ces deux liants d'entrer en contact. Généralement, des quantités égales de chaux et de ciment sont utilisées ; mais on met plus ou moins l'un ou l'autre selon le but d'utilisation et la qualité recherchée [5].
- **Mortier de plâtre** : (figure I-3) confectionné à partir de liants gypseux, tels que les plâtres et les liants d'anhydrite.

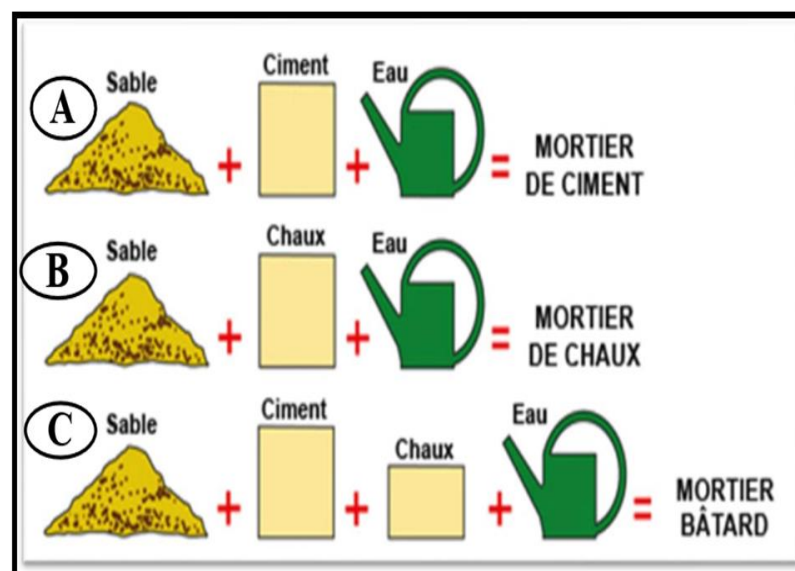


Figure I-2: Différents types de mortiers



**Figure I-3:**Mortier de plâtre

### *I.2.2.2 En fonction de leur masse volumique :*

A l'état sec les mortiers sont divisés en [6] :

- **Mortier lourd** : avec une masse volumique supérieure à  $1500 \text{ kg/m}^3$  sont préparés en utilisant des sables lourds quartzeux et autres.
- **Mortier léger** : à masse volumique inférieure à  $1500 \text{ kg/m}^3$  dont les agrégats sont dessablés poreux et légers de pierre ponce, de tuf, laitiers, céramiques et autres fins agrégats légers.

La norme NBN-EN 998-2 définit le mortier léger comme un mortier ayant une densité sèche inférieure à  $1300 \text{ kg/m}^3$  après durcissement. Certains additifs rendent ces mortiers plus légers et donc plus isolants. Leur tâche est d'améliorer la résistance thermique de la maçonnerie.

A titre d'exemple de comparaison en termes de masses volumiques :

- Le mortier de ciment :  $1900 \text{ kg/m}^3$
- Le mortier bâtard :  $1600 \text{ kg/m}^3$

### *I.2.2.3 Selon leur emploi :*

- **Mortiers de maçonnerie** : sont utilisés pour la construction de murs en pierre ou de gros éléments.
- **Mortiers de finissage** : sont utilisés pour les enduits, la fabrication des éléments d'architecture et la reconnaissance des couches décoratives sur les blocs et les panneaux de murs.
- **Mortiers spéciaux** : possédant certaines propriétés (acoustique, tampon, protection contre les rayonnements X, etc.) ; ils ne sont que rarement utilisés.

- **Les mortiers de maçonnerie industrielle ou mortiers préparés en usine** : sont utilisés car ils présentent l'avantage d'une qualité certifiée, qui garantit la stabilité du rapport entre les éléments du mortier, ce qui est un peu difficile à obtenir avec une bétonnière traditionnelle.
- **Les mortiers de maçonnerie normalisés** : En ce qui concerne les mortiers de maçonnerie normalisés, la norme NBN-EN 998-2 précise les types suivants :
  - Le type de mortier selon le projet (art. 3.2 de la NBN-EN 998-2) : mortier livré pour des prestations et des exigences d'utilisation spécifique.
  - Le type de mortier selon l'usage (art. 3.3 de la NBN-EN 998-2) : mortier pour usage ordinaire, mortier-colle et mortier de ciment léger.
  - Le type de mortier selon la méthode de fabrication (art. 3.4 de la NBN-EN 998-2) : mortier humide industriel, mortier sec industriel et mortier partiellement préparé en usine.
  - L'ancienne norme belge NBN B 14-001 distinguait les mortiers de maçonnerie normalisés en mortiers de ciment et mortiers bâtards, selon leur résistance moyenne à la compression après 28 jours.

### I.2.3 Les composants de mortier :

Les composants principaux des mortiers sont :

#### I.2.3.1 Le ciment :

##### I.2.3.1.1 Définition :

Le ciment est un liant, un matériau pulvérulent qui forme une pâte plastique uniforme avec de l'eau ou des solutions salines qui peuvent s'agglutiner en durcissant. Une fois durcie, la pâte conserve sa résistance et sa stabilité même sous l'eau. Il est le plus souvent utilisé sous forme de poudre (figure I-4), mélangé avec de l'eau, du sable fin, du gravier et produire des mortiers et même du béton [7].



**Figure I-4:** Ciment

## I.2.3.1.2 Constituant de ciment :

- **Clinker** : Le « clinker » (figure I-5) est le résultat d'un processus de cuisson jusqu'à ce qu'un mélange de calcaire et d'argile soit partiellement fondu (éteint), pré-mesuré, homogénéisé et se compose principalement de chaux (CaO), de dioxyde de silicium (SiO<sub>2</sub>) et d'alumine (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Le mélange est généralement constitué de matériaux naturels extraits de carrières, comme du calcaire, de l'argile, de la marne, etc. [8].
- **Gypses (CaSO<sub>4</sub> 2H<sub>2</sub>O)** : Il s'agit d'une roche de CaSO<sub>4</sub> 2H<sub>2</sub>O sulfate de calcium hydraté, très répandue à l'état naturel, qui se déshydrate à environ 100 °C [5]. Lors du broyage, il est ajouté au clinker (qui se distingue par des délais de prise courts (3 à 5 minutes), ce qui le rend presque inutilisable) afin de ralentir sa prise. La quantité à ajouter doit être en adéquation avec la quantité de C<sub>3</sub>A présente dans le liant, car la prise rapide est causée par la rapidité avec laquelle la C<sub>3</sub>A s'hydrate, tandis que ses hydrates se compactent et se cristallisent [9].



**Figure I-5:** Constituent du ciment.

## I.2.3.1.3 Principe de fabrication de ciment Portland :

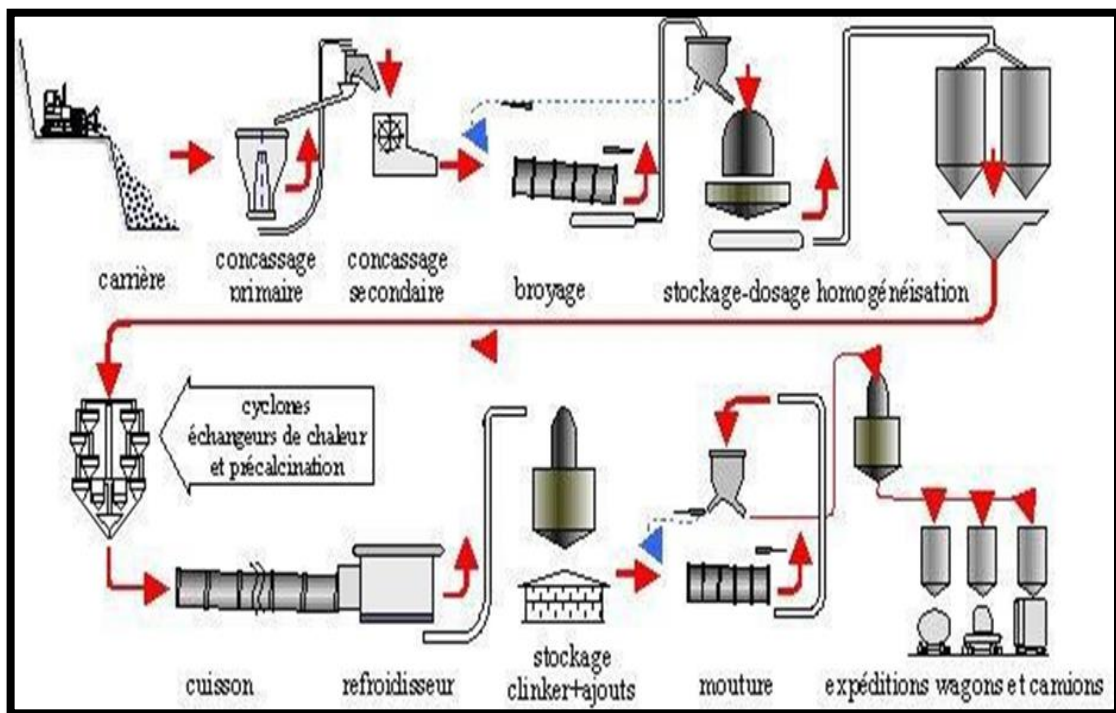
Le clinker est fabriqué en cuisant à une température de 1450° un mélange approprié de calcaire (environ 80%) et d'argile (environ 20%), mais d'autres matériaux peuvent également être utilisés. Il est préférable que la composition des principaux composants (tableau I-1) soit située dans les limites indiquées dans le tableau ci-dessous :

**Tableau I-1:** La composition des principaux composants [10].

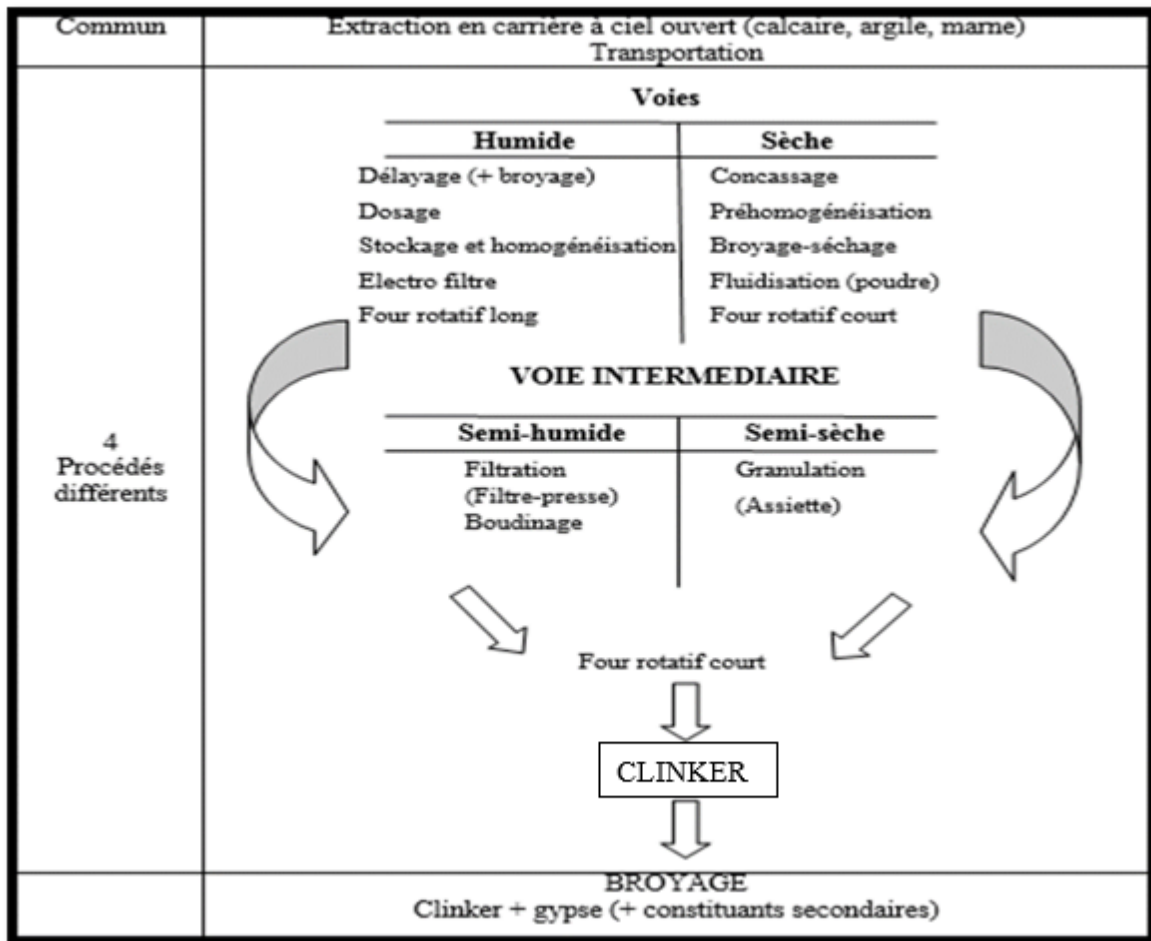
Matières Compositions	Calcaire	Marne	Pourcentage (%)
SiO <sub>2</sub> %	<5=0	5-30	5-8
CaO%	47-55	30-50	04-10
MgO%	<2.5	0.5-2.5	1-2.5
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	<1.5	1.5-7	1-2
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	<1.5	1.5-3	6.5-10

Le procédé de fabrication (figure I-6) approprié et choisi parmi les méthodes courantes de fabrication, à savoir : voie humide, voie semi-humide, voie sèche, voie semi- sèche. La fabrication se réduit aux trois opérations suivantes (figure I-7) :

- Préparation des matériaux.
- Cuisson.
- Broyage.



**Figure I-6:** Les étapes de fabrication du ciment [11].



**Figure I-7:** Le Principe de fabrication de ciment [12].

#### I.2.3.1.4 Les différents type de ciment :

La norme européenne NF EN 197-1 donne 5 ciments courants, qui sont regroupés et classés en fonction de leur composition [13]. Ils sont notés CEM et numérotés de 1 à 5 en chiffres romains (CEM I, CEM II, CEM III, CEM IV, CEM V) dans leur notation européenne : (la notation française est indiquée entre parenthèses) :

- **CEM I : Ciment Portland Ordinaire (CPO) ou CPA en Algérie :** Il est composé de 95 % de clinker et 5 % de constituants secondaires, Il est utilisé pour la confection de béton armé ou précontraint.
- **CEM II : Ciment Portland composé (CPJ) :** il est composé de 65 % de clinker et de 35% de constituants secondaires, Il est utilisé pour les travaux courants en béton armé.
- **CEM III : Ciment de Haut fourneau (CHF) :** Il est composé de 5 à 64 % de clinker et de 36 à 80 % de laitier, Il est utilisé pour les fondations ; les travaux souterrains ou milieux agressifs

- **CEM IV : Ciment pouzzolanique (CPZ) :** Il est composé de 45 à 89 % de clinker et de 10 à 55 % de pouzzolane, cendres volantes et fumée de silice. Il est utilisé pour le béton armé dans les travaux maritimes.
- **CEM V : Ciment au laitier et aux cendres (CLC) :** Il est composé de 20 à 64 % de clinker, 18 à 50 % de laitier et 18 à 50 % de cendres volantes. Il est utilisé pour le béton en milieu agressif.

### **I.2.3.2 Le sable :**

Le sable, matériau omniprésent dans le domaine du génie civil, joue un rôle essentiel dans la construction des structures. En tant que composant principal du mortier, il assure la cohésion et la résistance des structures. De la préparation des fondations au revêtement des routes, le sable est une ressource fondamentale dans la réalisation de projets d'ingénierie civile.

#### **I.2.3.2.1 Définition :**

Selon la définition des matériaux granulaires en géologie, le sable est composé de petites particules issues de la désagrégation d'autres roches, avec une taille comprise entre 0.063 mm (limon) et 2 mm (gravier). Il peut contenir jusqu'à 180 minéraux différents (quartz, micas, feldspaths) ainsi que des débris calcaires de coquillage et de coria [14].

#### **I.2.3.2.2 Les types de sables :**

- **Selon les grosseurs des grains minimales et maximales (figure I-8) :**
  - Sable fin : de 0.08 à 0.135 mm
  - Sable moyen : de 0.135 à 2 mm
  - Sable gros : de 2 à 5 mm



**Figure I-8:** Les différentes dimensions de sable [15]



- Selon leurs provenances :

- Sable de rivière [16] : Il est obtenu en draguant le lit de la rivière(figureI-9). Pour être utilisé dans le béton, il doit être dur et propre.



**Figure I-9:** Sable de rivière.

- Sable de concassage [17] : Également appelé sable de carrière(figureI-10), il est obtenu par concassage de calcaire, d'andésite, de granit, de dolomite et de basalte. Il a des dimensions de 0 à 6 mm en raison du processus de broyage, le sable concassé diffère du sable naturel en termes de taille, de forme et de composition des particules et contient généralement 10 à 20 % de fines (particules passant à travers un tamis de 80  $\mu\text{m}$ ). Les fines sont généralement les fractions ayant la plus petite granulométrie de pierre concassée, la proportion de fines doit être limitée. Les sables naturels peuvent contenir de l'argile fine ou d'autres particules nocives.



**Figure I-10:** Sable de concassage.

- Sable de mer [16] : Il est originaire des rives de la mer(figureI-111). Afin de l'utiliser dans les bétons, il est nécessaire de ne pas être trop fin et de le laver de son sel.



**Figure I-11:** Sable de mer.

- Sable de dune : C'est un sable marin (figure I-12), donc très fin. Le sable des dunes se trouve dans le sud du pays. Ils sont situés dans la région présaharienne. Ces dunes sont constituées de nombreux amas de sable fin qui s'accumulent dans certaines zones du désert du Sahara.



**Figure I-12:** Sable de dune.

### ***1.2.3.3 Les adjuvants :***

Ils sont liquides ou en poudre (figure I-13) et ajoutés en petites quantités (0,5 litre pour 35 kg de ciment utilisé) dans le mélange d'eau, de sable et de liant. Ils augmentent la solidité et apportent certaines caractéristiques au mortier. Les différents types d'adjuvants que nous pouvons rencontrer sont [18] :

- Les plastifiants qui favorisent l'uniformité et la résistance du mortier.
- Les fluidifiants qui permettent de rendre les grains de ciment plus humides
- Les colorants qui modifient complètement la teinte du mortier en fonction de vos préférences.
- Les entraîneurs d'air offrent une amélioration de la résistance au gel, aux conditions météorologiques et aux eaux agressives.

- Les dispositifs de prise accélérée qui provoquent une hydratation rapide des grains de ciment. Ils doivent être employés pendant les périodes froides afin de favoriser la prise et garantir un durcissement total du mortier.
- Les retardateurs de prise qui ont l'effet inverse de celui de l'accélérateur. Ils doivent être employés pendant les périodes extrêmement chaudes et sèches.



**Figure I-13:** Adjuvants.

### ***1.2.3.4 Eau de gâchage :***

L'eau joue un rôle important comme agent mouillant du ciment, elle facilite également la mise en place du béton ou du mortier, ce qui contribue à sa maniabilité. L'eau doit être propre et ne doit pas contenir d'impuretés nocives (substances organiques, bases). L'eau potable est toujours adaptée, notamment en mélangeant le béton armé avec l'eau de mer. Les propriétés de l'eau nécessaires à la fabrication des mortiers et bétons sont définies dans la norme NA-442. Le mortier doit contenir le plus d'eau possible, compatible avec une ouvrabilité optimale [19].

## **1.2.4 Caractéristiques principales de mortier :**

Les caractéristiques principales des mortiers sont les suivants [6] :

### ***1.2.4.1 La fluidité :***

Selon les composants, une pâte de mortier peut présenter des consistances variées, allant de la sèche au fluide. Les travaux de maçonnerie, de finissage des bâtiments et autres se déroulent de manière assez fluide. La viscosité d'une pâte de mortier est mesurée par la profondeur d'enfoncement dans la pâte d'un cône métallique de 300 g avec un angle au sommet de 30°c.

### *1.2.4.2 La maniabilité :*

La fluidité est caractérisée par sa capacité à se fixer sur une surface, avec une consommation d'énergie minimale, sous forme d'une couche de densité uniforme qui adhère fortement à la surface de base. Par exemple, une composition préparée en utilisant peu de pâte de ciment est sèche et difficile à manipuler. Dans cette situation, on utilise des adjuvants plastifiants minéraux ou organiques qui sont actifs sur la surface.

### *1.2.4.3 Le pouvoir de retentions d'eau :*

La particularité de cette caractéristique réside dans le fait que la pâte ne se stratifie pas pendant le transport et conserve suffisamment d'eau. Lorsqu'on la pose sur une surface poreuse (brique, d'argile, béton, bois), une pâte de mortier à basse hydrophilie se stratifie au cours de transport et lui restitue rapidement l'eau. On peut accroître la capacité de rétention de l'eau en ajoutant des plastifiants minéraux et organiques.

### *1.2.4.4 La résistance mécanique d'un mortier :*

Une fois que le mortier est durci, sa résistance mécanique est influencée par l'activité du liant et le rapport ciment-eau [20], la formule empirique suivante

Permet d'exprimer la résistance des mortiers à ciments Portland :

$$R_m = 0,25 R_c (C/E - 0,5)$$

Avec : **R<sub>c</sub>** : la résistance du ciment en Pa.

**C/E** : le rapport ciment-eau.

Cette formule est valable pour les mortiers posés sur une base compacte ; si la base est poreuse, elle aspire l'eau du mortier en le rendant compact. La résistance mécanique des mortiers dépend aussi de la consommation du ciment et de la qualité de sable.

## **1.2.5 Le rôle de l'utilisation de mortier :**

La pâte plastique obtenue peut jouer plusieurs rôles essentiels [21] :

- Garantir la connexion et la cohérence des éléments de maçonnerie entre eux, ce qui garantit la solidité de l'ouvrage et le rend unifié.
- L'utilisation d'enduits aériens en tant qu'écrans étanches. Garantir la protection des constructions contre les intempéries ou la remontée du sol sous forme d'humidité.
- Préserver les bâtiments des humidités causées par les conditions météorologiques ou le remontant du sol en utilisant des enduits aériens sous forme d'écrans étanches.

## I.3 La brique :

La brique, véritable moment de l'histoire architecturale de l'humanité, transcende les époques de polyvalence et de durabilité. Depuis les réalisations civilisations, jusqu'aux contemporaines, ce matériau de terre cuite a façonné des paysages urbains emblématiques à travers le monde. Son héritage dépasse les simples murs pour symboliser la fiabilité et la santé humaine dans la construction.

### I.3.1 Définition :

Les briques (figure I-14) sont des produits céramiques fabriqués à partir d'argiles, éventuellement avec des additifs, et ont généralement une forme de parallélépipède rectangle. Elles sont largement utilisées dans la construction de bâtiments et d'ouvrages publics, étant l'un des matériaux de construction les plus anciens. De nos jours, on les retrouve de plus en plus dans les brochures des fournisseurs et fabricants de cheminées, barbecues et fours, vantant leurs performances thermiques [22].



Figure I-14 : La forme de la brique

### I.3.2 Les types de briques :

#### I.3.2.1 Selon leur utilisation:

##### I.3.2.1.1 Face brique :

Les briques de parement sont spécialement conçues pour embellir l'extérieur des bâtiments. Etant les plus exposées, elles sont de qualité supérieure et plus durables. Un exemple de briques de parement est la brique découpée au fil : fabriquées à partir d'argile, elles sont texturées puis coupées à l'aide d'un fil. Leur processus de fabrication permet une production moins coûteuse à grande échelle. Elles sont disponibles dans une variété de couleurs et de textures [23].

### **I.3.2.1.2 Brique de construction :**

Les briques de construction, fabriquées à partir d'argile et durcies dans des fours, sont les briques les plus répandues. Elles sont principalement utilisées dans la construction de murs et d'autres surfaces, mais pas pour les extérieurs, ce qui limite leur variété de textures et de couleurs. Leur solidité et leur durabilité en font un choix populaire [23].

### **I.3.2.1.3 Brique vernissée :**

Les briques vernissées se distinguent par un revêtement vitré, souvent en céramique, appliqué sur une face. Cette apparence lisse et brillante résulte de la fusion de divers minéraux et ingrédients pendant la cuisson des briques. Leur surface vitrée les rend particulièrement adaptées aux environnements nécessitant des normes sanitaires strictes, tels que les hôpitaux, les laboratoires et les installations laitières [23].

### ***I.3.2.2 Selon leur forme :***

#### **I.3.2.2.1 Brique pleine :**

La brique pleine ordinaire, mesurant 6x11x22 cm (hauteur, largeur, longueur), est largement utilisée et constitue un excellent matériau pour les murs porteurs. Fabriquée spécialement pour les éléments visibles tels que les façades, elle offre une large gamme de teintes. Ces briques sont assemblées avec un mortier à joints épais, généralement de 1,5 cm pour les joints horizontaux (assises) et de 1 cm pour les joints verticaux [23].

#### **I.3.2.2.2 Brique perforée et bloc perforé :**

La maçonnerie de briques perforées est réputée pour sa robustesse à la compression, grâce à des perforations verticales à l'intérieur du mur. Elle offre également une isolation légèrement meilleure que la brique pleine. Certains de ces types de briques sont traités sur une face pour offrir une surface à la fois esthétique et résistante, tandis que d'autres sont enduits. Pour accroître la résistance à la compression et simplifier la mise en œuvre, il existe des blocs perforés qui permettent de construire toute l'épaisseur du mur avec un seul élément [23].

#### **I.3.2.2.3 Brique creuse :**

Les briques creuses, caractérisées par leur légèreté et leurs dimensions plus grandes, sont idéales pour la construction de murs offrant une isolation thermique efficace. Ces briques, ouvertes aux deux extrémités, sont dotées de cloisonnements intérieurs longitudinaux continus sur toute leur longueur. Cependant, leur résistance à la compression est relativement faible. Elles sont généralement enduites ou recouvertes de crépi, et sont principalement utilisées dans la construction de maisons individuelles ou comme remplissage pour les séparations intérieures des bâtiments [23].

### I.3.3 Les principales constructions de brique :

La brique est formée à partir d'un mélange d'argile, principalement composé de (tableau I-2) feldspaths, de quartz, de carbonate et d'oxyde de fer. Le choix de l'argile est déterminé par les propriétés du matériau avant et après cuisson. La plasticité de l'argile permet de lui donner différentes formes lors du façonnage et du moulage. Lors de la cuisson, le réarrangement des minéraux confère aux briques une résistance mécanique et thermique remarquable.

**Tableau I-2** : Les composants chimiques de brique terre cuite (rouge) [24]

Natures des éléments	Formulations	Pourcentage (%)
Silice	SiO <sub>2</sub>	35 – 85
Alumine	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9 – 25
Chaux	CaO	0 – 25
Magnésie	MgO	0 – 5
Oxydes alcalins	Na <sub>2</sub> O + K <sub>2</sub> O	1 – 5
Oxyde de fer	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3 – 9
Oxyde de titan	TiO <sub>2</sub>	0.3 – 2
Anhydride sulfurique	SO <sub>3</sub>	0 – 3

### I.3.4 Le rôle des constructions de la brique :

#### *1.3.4.1 L'alumine :*

Dans l'argile, l'alumine joue le rôle principal en tant que constituant majeur. Elle agit comme un agent de cimentation dans la brique brute. Cependant, un excès d'alumine dans l'argile peut entraîner le rétrécissement, la déformation ou la fissuration des briques lors du séchage et de la cuisson, comme c'est le cas pour tout autre matériau de cimentation. [25].

#### *1.3.4.2 La silice :*

Les briques de qualité supérieure contiennent généralement entre 50 et 60 % de silice, présente à la fois sous forme libre et combinée. Lorsqu'elle est libérée du sable, elle reste mélangée mécaniquement à l'argile, et lorsqu'elle est combinée, elle réagit avec l'alumine pour former des aluminosilicates. La silice joue un rôle crucial en empêchant les briques brutes de se fissurer, de rétrécir et de se déformer. Une proportion plus élevée de sable confère à la brique une texture galbée et uniforme. Cependant, un excès de silice peut compromettre la cohésion entre les particules d'argile de la brique, la rendant cassante et fragile. Ainsi, la durabilité des briques dépend en grande partie d'un équilibre approprié entre silice et alumine [25].

### *1.3.4.3 Oxyde de fer :*

Les briques renferment une faible quantité d'oxyde de fer. Celui-ci agit comme un flux similaire à la chaux, facilitant ainsi la fusion de la silice à des températures relativement basses. Lors de la cuisson, il confère aux briques leur couleur rouge caractéristique. De plus, le fer contribue à accroître la durabilité et l'imperméabilité des briques [25].

### *1.3.4.4 La chaux :*

Les briques doivent contenir une petite quantité de chaux finement pulvérisée. Cela permet à une partie nécessaire de la silice de fondre à la température du four, environ 1650 °C, et lie les particules de brique ensemble, produisant ainsi des briques solides et durables. A environ 1100 °C, la chaux agit comme un catalyseur pour élever la température du four jusqu'à 1650 °C, au moment où la silice commence à fondre. Cette silice légèrement fondue agit alors comme un agent de cimentation solide. Cependant, un excès de chaux dans les briques d'argile entraînera leur vitrification. Cela fait fondre les briques car une quantité excessive de silice fondra. Les briques perdent alors leur forme et se déforment [25].

### *1.3.4.5 Magnésium :*

Une petite quantité de magnésium dans les briques contribue à réduire le retrait et leur donne une teinte jaunâtre caractéristique. Cependant, un excès de magnésium peut entraîner la décomposition des briques [25].

### *1.3.4.6 Matière organique :*

La présence de matière organique dans les briques les rend poreuses, ce qui se traduit par une densité réduite et une diminution de la résistance [25].

## **1.3.5 Processus de fabrication :**

Le processus de fabrication de la brique comprend les différentes étapes suivantes :

### *1.3.5.1 Extraction de matière première :*

Le processus de fabrication de la brique commence par l'extraction de l'argile dans des carrières situées dans des zones d'extraction. L'argile est principalement présente dans le sous-sol et ses propriétés varient en fonction de son origine géologique. Les briqueteries sont généralement situées à proximité des carrières d'argile [26].

### *1.3.5.2 Préparation de l'argile :*

Préparation de l'argile comprend deux étapes principales : Le broyage et le malaxage. Ces opérations visent à donner à la masse d'argile l'homogénéité et la plasticité nécessaires au moulage des briques. Elles ont également pour rôle de réduire au minimum les inclusions



solides présentes dans l'argile, qui pourraient avoir un impact négatif sur la structure du produit final [26].

### ***1.3.5.3 Façonnage :***

Dans le processus de fabrication, une fois la masse argileuse obtenue et prête à être façonnée, elle est introduite dans la mouleuse à vis cane fin. À travers une filière, cette masse est pressée, lui donnant ainsi sa forme et ses perforations spécifiques [26].

### ***1.3.5.4 Séchage :***

Avant d'être cuites, les briques crues doivent perdre une grande partie de leur teneur en eau. La stabilité dimensionnelle du produit n'est obtenue qu'après la dessiccation. Le séchage se déroule dans des chambres ou des tunnels, où il se poursuit de manière régulière et rapide pendant deux à quatre jours. Tout au long du processus de séchage, la température et le taux d'humidité sont contrôlés à l'aide d'un système dédié [26].

### ***1.3.5.5 Cuisson :***

Lors de la cuisson à haute température du sol argileux pour la production de briques, des déformations se produisent au sein de la matrice argileuse. Ces déformations sont influencées par les différents niveaux de température auxquels l'argile est exposée [26].

- À 100 °C, la matière première subit une déshydratation, avec évaporation de l'eau libre et perte de l'eau colloïdale.
- Entre 200 et 250 °C, se produit une déshydratation supplémentaire, avec perte de l'eau interstitielle, c'est-à-dire entre les feuillets de l'argile.
- De 250 à 500/800 °C, il y a un changement dans la structure de l'argile, avec une modification du réseau cristallin.
- Au-delà de 800 °C, en fonction des types d'argile, une partie du minéral peut subir une amorphisation et une vitrification.

### ***1.3.5.6 Emballage :***

Une fois la cuisson terminée, les briques de terre cuites sont prêtes à être transportées et livrées sur le chantier [26].

## **1.3.6 Utilisations des déchets de brique dans le mortier :**

L'utilisation de déchets de brique dans les mortiers a été étudiée pour son impact sur les propriétés des matériaux de construction. Les recherches montrent que l'incorporation de déchets de brique peut améliorer diverses caractéristiques des mortiers. Par exemple, des études ont démontré que l'ajout de jusqu'à 10% de déchets de brique peut conduire à des mortiers présentant une résistance comparable à ceux traditionnels après 3 mois en remplaçant une

quantité de ciment. De plus, la substitution du ciment par des déchets de brique à différents pourcentages a montré des résultats prometteurs en termes de performances des bétons, tant à l'état frais qu'à l'état durci [27]. L'incorporation de déchets de brique dans les mortiers présente des avantages potentiels en termes de résistance et de durabilité, en faisant une option viable pour améliorer les performances du béton et la durabilité des projets de construction.

### **I.4 Conclusion**

Ce chapitre propose un état des lieux des connaissances sur les mortiers, ainsi sur le différent sable existe dans notre région, ensuite une recherche sur la brique cuite. En abordant leurs compositions, leurs différentes variétés, leurs propriétés physiques et mécaniques, ainsi que les techniques utilisées pour leur fabrication.

# Chapitre II : méthode d'analyse et de caractérisation

### Chapitre II : méthode d'analyse et de caractérisation

#### II.1 Introduction :

Dans ce chapitre nous allons présenter et définir les différentes techniques expérimentales utilisées pour la cratérisation des matériaux utilisés dans cette étude en justifiant leur utilité ainsi que leur propriété. Les différentes analyses présentées ci-dessous ont été réalisées au laboratoire LTP.EST de Bejaia.

##### II.1.1 Matériaux utilisés :

##### II.1.2 Le sable :

Nous avons utilisé 3 différents types de sables (figureII-1) :

- Sable de carrière 0/4
- Sable dune 0/1 de Boussaâda
- Sable de rivière 0/1 d'oued zhour



**Figure II-1:**Les différents types de sable

##### II.1.3 Les déchets de brique :

Ils ont été concassés manuellement au niveau du laboratoire de génie civil université de Bejaia puis broyés (figureII-2) jusqu'à la fraction granulaire inférieure à 2mm.



**Figure II-2:**Poudre de déchet de brique

### II.1.4 Le ciment :

Le ciment utilisé dans notre recherche est le CEM II de classe 42,5 provient de la cimenterie Ain Kbeira de Sétif.

### II.1.5 L'eau gâchage :

Eau potable du robinet.

### II.1.6 Adjuvant :

On a utilisé un adjuvant superplastifiant s'appelant Sika.

## II.2 Les essais de caractérisation physique sur le sable :

### II.2.1 Echantillonnage :

Les essais en laboratoire se font sur des quantités réduites de matériaux appelés "échantillons". On prélèvera toujours une quantité de matériau nettement plus grande que celle nécessaire pour l'essai, et l'échantillon doit représenter l'ensemble du matériau dans lequel on effectue le prélèvement. il est possible de passer de l'échantillon total prélevé sur le tas à l'échantillon réduit par quartage ou à l'aide d'un échantillonneur. L'échantillon doit être séché à l'étuve à 105 degrés Celsius s'il n'est pas composé de minéraux argileux, ou à 60 degrés Celsius s'il est composé de minéraux argileux.

#### II.2.1.1 Quartage (NF EN 932-2) :

L'échantillon (figure II-3) est divisé en quatre parties égales dont on ne retient que la moitié, en réunissant deux quarts opposés, cette sélection est homogénéisée et un nouveau quartage est effectué, pour avoir un échantillon représentatif du matériau final.

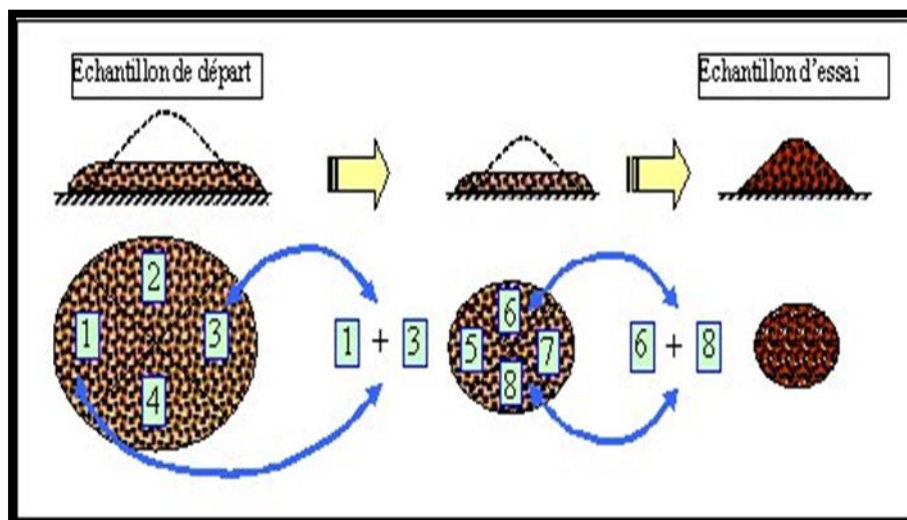


Figure II-3 : Opération de quartage.

### II.2.1.2 Echantillonneur (NF EN 16479) :

Cet appareil de laboratoire (Figure II-4) permet de diviser facilement en deux parties représentatives la totalité d'un échantillon initial, chaque moitié étant recueillie dans un bac de manière séparée.



Figure II-4: Echantillonneur.

### II.2.2 La teneur en eau (NF EN 1 97 5) :

Cet essai permet la détermination de la quantité d'eau existant d'un matériau (échantillon).

#### II.2.2.1 Principe de l'essai :

La teneur en eau d'un granulat ou d'un sol est le pourcentage d'eau (en masse) par rapport au matériau sec.

$$W\% = \frac{M_w}{M_s} * 100$$

**M<sub>w</sub>** : masse d'eau dans le matériau (M<sub>2</sub>-M<sub>3</sub>)

**M<sub>s</sub>** : masse de matériau sec (M<sub>3</sub>-M<sub>1</sub>)

#### II.2.2.2 Mode opératoire :

- Peser le récipient muni du couvercle (M<sub>1</sub>). Identifier le avec une étiquette.
- Placer l'échantillon à l'état naturel dans le récipient et peser l'ensemble (échantillon + récipient), (M<sub>2</sub>).
- Placer l'ensemble (échantillon + récipient) dans l'étuve avec température réglée à (110 ±5) °C, une fois le récipient dans l'étuve, à ne pas oublier d'enlever le couvercle.
- Après 24h retirer le récipient avec l'échantillon sec. Après remettre le couvercle et peser (M<sub>3</sub>) en utilisant la même balance.

- Déterminer la teneur en eau W exprimée en pourcentage.

### II.2.3 Analyse granulométrique (NF EN 933-1) :

L'analyse granulométrique permet de déterminer la grosseur et les pourcentages des différentes familles du grain constituant l'échantillon.

#### II.2.3.1 Principe de l'essai :

L'essai consiste à classer les différents grains constituant l'échantillon en utilisant une série de tamis (figure II-5), emboîtés les uns sur les autres, dont les dimensions des ouvertures sont décroissantes du haut vers le bas. Le matériau étoilé est placé en partie supérieure des tamis et le classement des grains s'obtient par vibration de la colonne de tamis.



**Figure II-5:** Série des tamis

Pour les échantillons soumis à l'essai en fonction de la dimension maximale D des éléments les plus gros qu'il contient :  $200D < P < 600 D$

On appelle refus le matériau qui est retenu sur un tamis.

P : étant le poids de l'échantillon en g

D : la dimension maximum exprimée en un des plus gros éléments.

#### II.2.3.2 Mode opératoire :

Avant de commencer l'essai, on place l'échantillon à étudier à l'étuve à 105°C pendant 24h. Ensuite on prélève une quantité M1 moins de 3 kg de matériau. Le matériau prélevé est lavé dans un tamis de 0.063mm Jusqu'à ce que l'eau qui passe à travers le tamis soit claire, puis étuvé pendant 24h. Une fois que le matériau est séché, on le laisse refroidir, après on le pèse en

masse M2. On le verse sur une série de tamis choisis de telle manière que la progression des ouvertures soit croissante du bas vers le haut.

Le refus ayant la plus grande maille est pesé, soit R1 et le refus de tamis immédiatement inférieur est pesé soit R2, la somme de R1 et R2 représente le refus cumulé sur le deuxième tamis. Cette opération est poursuivie pour l'ensemble des tamis afin de pouvoir calculer les refus cumulés Rn de l'un à un autre.

### II.2.3.3 Module de finesse MF (NF P 18-540) :

Le caractère plus ou moins fin d'un sable peut être quantifié par le calcul du module de finesse MF. Celui-ci correspond à la somme des pourcentages des refus cumulés, ramenés à l'unité pour les tamis de modules. Plus le module de finesse est élevé, plus le sable est grossier.

$$MF = \frac{1}{100} \sum \text{refus cumulés en pourcentage}\%$$

Tableau II-1: Classement de sable

Qualité de sable	Module de finesse
Sable fin	$1.80 \leq Mf \leq 2.20$
Sable moyen	$2.20 \leq Mf \leq 2.80$
Sable grossier	$2.80 \leq Mf \leq 3.30$

### II.2.4 Equivalant de sable (NF EN 933-8) :

L'équivalent de sable (ES) est un essai qui permet de mettre en évidence ou non d'impuretés dans un granulat. L'essai consiste à séparer les particules fines contenues dans le sable. Cet essai est très important en ce qui concerne la fabrication du béton ou mortier.

#### II.2.4.1 Principe de l'essai :

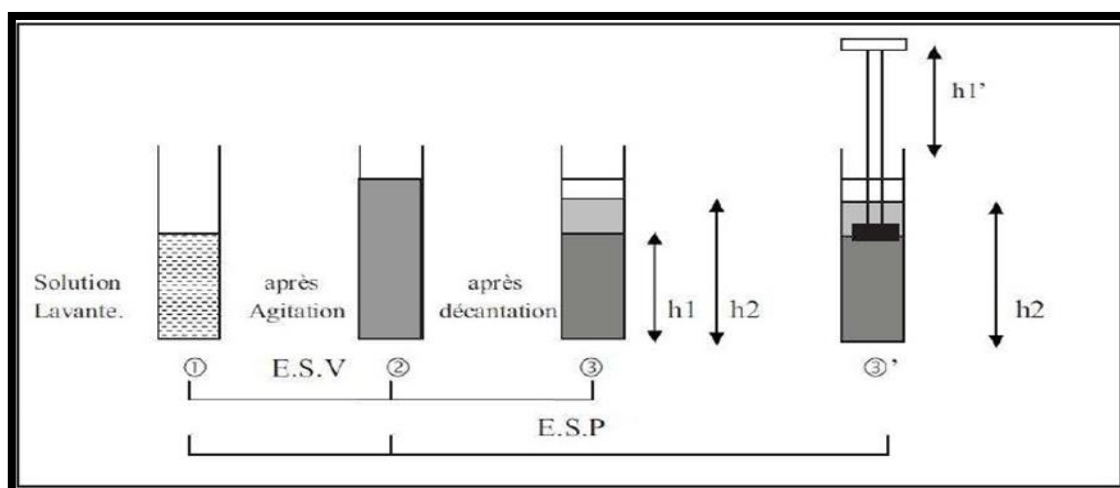
Cet essai a pour principe de mesurer la propreté d'un sable dans un état standard 10% de fines maximums. Il est réalisé de façon classique après avoir réduit la teneur en fine du sable à la valeur de 10% lorsque celle-ci, à l'état naturel, est supérieure à 10%.

A partir de l'essai équivalent sable ES (figure II-6), il est possible selon le résultat obtenu, de catégoriser le sable selon l'état de propreté (sa qualité) et donc d'en définir les possibles applications telles que montrées dans le tableau suivant :



**Tableau II-2:** Nature et qualité du sable.

E. S	Nature et qualité du sable
<b>E. S &lt; 56</b>	Sable argileux : risque de retrait de gonflement, problème d'adhérence, à rejeter pour les bétons de qualité
<b>65 ≤ E.S ≤ 75</b>	Sable légèrement argileux de propreté admissible pour les bétons de qualité courante quand on ne craint particulièrement pas le retrait.
<b>75 ≤ E.S ≤ 85</b>	Sable propre à faible pourcentage de fines argileuse convenant parfaitement pour des bétons de haut qualité
<b>E. S ≥ 85</b>	Sable très propre : l'absence presque totale de fines argileuse risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau



**Figure II-6:** Principe d'équivalent de sable.

### II.2.4.2 Mode opératoire :

- Premièrement, on réduit l'échantillon de laboratoire conformément à EN 932-2 (quartage) afin d'obtenir deux sous-échantillons. A partir du premier sous-échantillon, on prend deux prises d'essai, qui serviront pour la détermination des teneurs en eau et en fines.
- On sèche la première prise d'essai dans une étuve à  $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$ , afin de déterminer la teneur en eau  $W$ . On pèse et on enregistre la masse de la seconde prise d'essai  $M_1$ , puis on la lave sur tamis de 0,063mm, on met sécher les particules retenues après on la pèse en  $M_2$ . Et on détermine la teneur en eau en

fin, si cette dernière est supérieure à 10%, les particules lavées retenues sur le tamis 0,063mm sont utilisées comme sable correcteur.

- On réduit le second sous échantillon afin d'obtenir deux éprouvettes de masse Mt. On remplit les deux éprouvettes avec la solution jusqu'au premier trait.
- On verse une prise de sable Mt dans chaque éprouvette et on tapote la base de cylindre pour délayer les boules d'air afin de favoriser le mouillage du matériau.
- Après 10 mn de repos, on bouche l'éprouvette à l'aide du bouchon et on le passe à l'agitateur électrique pendant 30 secondes pour 90 coups. Puis on enlève le bouchon, on le rince ainsi que les parois du cylindre tout en descendant le tube laveur au fond de l'éprouvette en la complétant de solution jusqu'au second repère.
- On prend les résultats après 20 minutes à partir de la règle graduée et on mesure les éléments suivants (figure II-6) : **h<sub>1</sub>** : éléments propres + les éléments fins. **h<sub>2</sub>** : éléments propres seulement. L'ES s'obtient par la formule suivante :  
$$ES = \frac{h_1}{h_2} \times 100$$
- Selon que h<sub>2</sub> est lu visuellement ou par le piston on a : ESV (équivalent de sable piston), Mais la formule reste la même sauf que h<sub>2</sub> seul varie selon qu'il est visuellement ou par piston.

### II.2.5 Essai de bleu de méthylène (NF 933-9) :

Cet essai utilisé de manière courante pour caractériser l'activité des argiles contenues dans les sols, et également utilisé pour évaluer l'influence des fines d'origines argileuses contenues dans le sable et graviers d'origine naturelle ou artificielle.

#### II.2.5.1 Principe d'essai :

Cet essai est performant pour quantifier de manière sûre et simple la propreté des granulats. L'essai consiste à doser la quantité de bleu de méthylène absorbée par la fraction 0/2mm du matériau mise en suspension dans l'eau distillé.



Figure II-7: Appareil d'essai de bleu de méthylène

### II.2.5.2 Mode opératoire :

- Les échantillons de laboratoire doivent être réduits conformément à l'EN 933-2 (quartage) pour obtenir deux sous échantillons de 200 g minimum de la fraction 0/2 mm ou de 30 g de la fraction 0/0,125 mm
- On sèche le sous échantillon 1 à  $110 \pm 5$  °C. et on calcule la teneur en eau.
- On pèse une masse  $M_0$  du sous échantillon 2 de plus 200 g pour la fraction 0/2 mm et plus de 30 g pour la fraction 0/0,125 mm et on détermine la masse  $M_1$ .
- On place la masse  $M_1$  dans un bêcher contenant  $500 \pm 5$  ml d'eau déminéralisée. Cas d'un matériau pauvre en éléments fins, on ajoute dans le bêcher 30g de kaolinite séchée à  $110 \pm 5$  °C de valeur de bleu  $MBK \ v' = 30MBK$   $v'$  exprime en ml de la solution de bleu adsorbée par la kaolinite.
- Ensuite on met en agitation à 600 tr/min pendant 5 minute l'ensemble (eau+ $M_1$ ) ou (eau+ kaolinite). On introduit dans un bécher une dose de 5 ml de solution de colorant et l'agiter à  $400 \pm 40$  tr/min pendant au moins une minute puis on va effectuer un test à la tache (on le prélève à l'aide d'une baguette de verre une goutte en suspension et la déposer sur le papier filtre pour obtenir un dépôt qui doit avoir un diamètre 8 à 12 mm)
- Si après l'ajout des 5 ml de solution, l'auréole n'apparaît pas, on effectue encore une fois des additions de 5 ml tout en agitant pendant 1 min et on fait des tests à la tache jusqu'à apparition de l'auréole. Si l'auréole reste présente pendant les cinq tâches, le test est positif. Sinon, si l'auréole disparaît après la cinquième tâche, on ajoute 2 ml de colorant et on effectue le test à la tâche. Si l'auréole disparaît après la quatrième tâche, on ajoute 5 ml de colorant et on effectue le test à la tâche.
- La quantité totale de colorant  $V_1$  ajoutée doit être enregistrée afin d'obtenir une auréole visible pendant 5 minutes à 1 ml près.
- On calcule la valeur bleue de méthylène avec la formule suivante :

$$VB = \frac{V_1 - V'}{M_1} * 10 \text{ (g/kg)}, \text{ telle que :}$$

$V_1$  : volume de bleu introduit

$V'$  : volume de bleu adsorbé par la kaolinite

$M_1$  : la masse de la prise d'essai

Tableau II-3: Classification de sol

La valeur de VB	Type de sol
$VB > 8$	Sol très argileux
$6 < vb \leq 8$	Sol argileux
$2,5 < VB \leq 6$	Sol limoneux -argileux
$0,2 \leq vb < 2,5$	Sol limoneux (sensible à l'eau)
$VB \leq 0,2$	Sol sableux (insensible à l'eau)

### II.2.6 La masse volumique:

La masse volumique d'un corps est la masse de l'unité de volume de ce corps. Comme il existe le volume apparent et le volume absolu (ou réel), on distinguera :

#### II.2.6.1 Masse volumique absolue ou réelle :

C'est le quotient de la masse sèche de l'échantillon par le volume de sa matière (volume absolu, tous vides déduits ou volume réel). Les masses volumiques s'expriment en fonction des unités courantes des masses et des volumes :  $t/m^3$ ,  $kg/dm^3$ ,  $g/cm^3$ .

Ce paramètre permet, en particulier, de déterminer la masse ou le volume des différentes classes granulaires malaxées pour l'obtention d'un béton ou un mortier dont les caractéristiques sont imposées.

##### II.2.6.1.1 Méthode de pycnomètre (NF EN 1097-6) :

Immerger la prise d'essai dans pycnomètre (figure II-8) rempli d'eau jusqu'au premier trait et place le dans un bain d'eau, après 24 h retire le, note la température d'eau soit  $\rho_w$ . sèche extérieure de pycnomètre et pèse-le soit  $M_2$ . Vide la prise d'essai qui est à l'intérieur d'un récipient et met la sécher dans l'étuve. Remplit à nouveau le pycnomètre avec l'eau seulement et pèse le soit  $M_3$ . Calcule la masse volumique avec la formule suivante :

$$\rho_a = \rho_w \times \frac{M_4}{M_4 - (M_2 - M_3)} \quad (T/m^3)$$

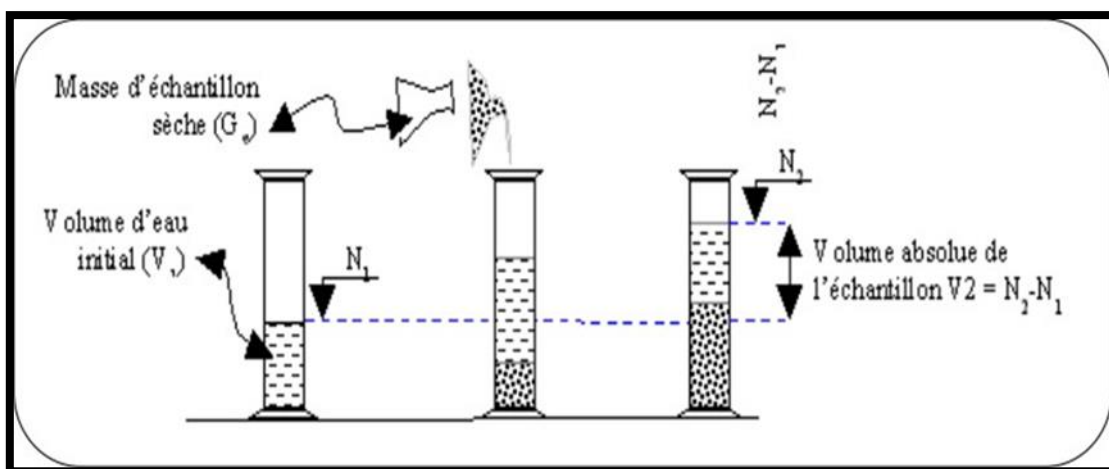
Avec :  $M_4$  : la masse dans l'aire de la prise d'essai séchée à l'étuve



**Figure II-8:** La masse volumique absolue par la méthode de pycnomètre

### **II.2.6.1.2 Méthode de l'éprouvette graduée (NF P 18-555) :**

Remplir une éprouvette graduée (figure II-9) avec un volume  $V_1$  d'eau. Peser un échantillon sec  $M$  de granulats et l'introduire dans l'éprouvette en prenant soins d'éliminer toutes les boules d'air. Lire le nouveau volume  $V_2$ . Calcule la masse volumique  $\rho = \frac{m}{v}$



**Figure II-9:** La masse volumique absolue par la méthode de l'éprouvette gradué.

### **II.2.6.2 Masse volumique apparente (NF P 18-554) :**

C'est le quotient de la masse sèche de l'échantillon par le volume occupé par la matière solide du corps et les vides contenus dans les grains (volume apparent).

#### **II.2.6.2.1 Principe d'essai :**

Déterminer les masses volumiques apparentes (figure II-10) du matériau, c'est - à - dire sa densité à l'état naturel (en présence des pores).

### II.2.6.2.2 Mode opératoire :

- Peser un récipient vide de masse  $M_v$  et de volume connu  $V$ . Verser à l'intérieur le matériau par couches successives, en le répartissant sur toute la surface et sans tassement.
- Araser avec soin la couche supérieure à l'aide d'une réglette plate. Peser le récipient rempli soit  $M_p$  on calcule selon la formule suivante :  $\rho = \frac{M_p - M_v}{v}$ .



Figure II-10 : La masse volumique apparente

### II.2.7 Mesure du coefficient d'absorption des sables (NF P 18-555) :

Certains matériaux granulaires peuvent présenter une porosité interne qui est préjudiciable, en particulier, à la résistance au gel des bétons et des mortiers. En effet l'eau incluse dans le granulat provoque l'éclatement du béton et du mortier lorsque celui-ci est soumis de manière prolongée à des basses températures.

#### II.2.7.1 *Principe d'essai :*

On détermine un coefficient d'absorption, qui est défini comme le rapport de l'augmentation de la masse de l'échantillon après imbibition par l'eau, à la masse sèche de l'échantillon. Cette imbibition est obtenue par immersion de l'échantillon dans l'eau pendant 24 heures à 20°C.

#### II.2.7.2 *Mode opératoire :*

Après imbibition dans l'eau pendant 24 heures, étaler l'échantillon sur une surface plane non absorbante et soumettre à un flux d'air chaud, tout en le remuant afin que la surface externe des grains sèche. Ce séchage doit être effectué de manière douce afin de ne pas éliminer l'eau qui pourrait être piégée à l'intérieur du granulat. Veiller également à ne pas perdre de grains de sable au cours de l'opération. Les grains sont alors libres de toutes forces d'attraction capillaire.

Le coefficient d'absorption ( $A_b$ ) est défini par la relation :  $A_b = \frac{M_a - M_s}{M_s} * 100$

Avec :  $M_s$  : masse de l'échantillon sec après passage à l'étuve à 105°C.

$M_a$  : masse de l'échantillon imbibé, surface sèche

### II.3 Les essais de caractérisation sur le ciment :

#### II.3.1 Essai de consistance de la pâte de ciment (EN 196-3) :

La consistance de la pâte de ciment (figure II-11) est une caractéristique, qui évolue au cours de temps. Pour pouvoir étudier. L'évolution de la consistance en fonction des différents paramètres, il faut partir d'une consistance qui soit la même pour toutes les pâtes étudiées.

##### II.3.1.1 Principe de l'essai :

L'essai de consistance permet de déterminer la quantité d'eau optimale pour gâcher un liant afin d'obtenir une pâte normale en fonction de rapport E/C. Pour réaliser cet essai on utilise l'appareil de Vicat.

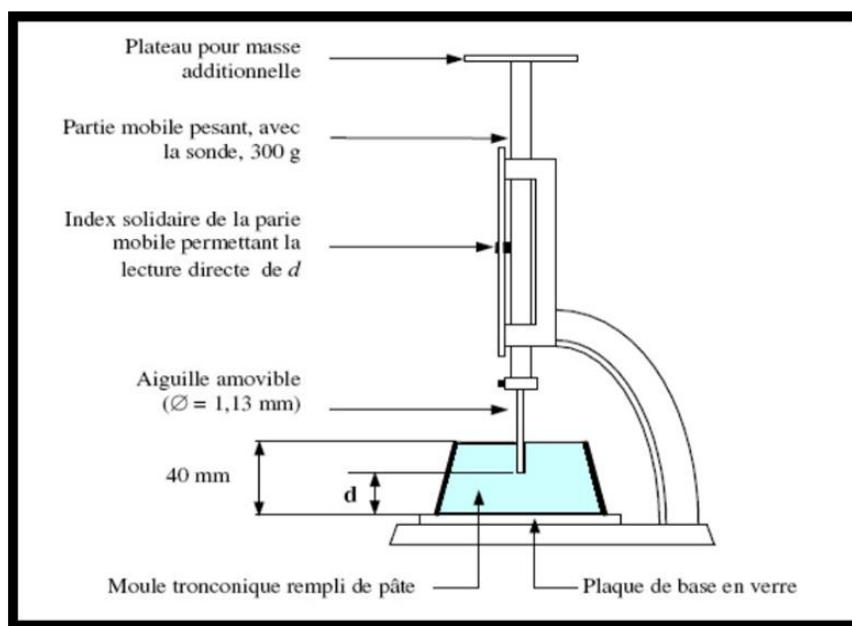


Figure II-11: Appareil de Vicat.

##### II.3.1.2 Mode opératoire :

- Préparer 500g de ciment, une pâte pure de rapport E/C=0,32 Verser l'eau dans la cuve du malaxeur contenant le ciment, mettre le malaxeur en marche.
- Une fois le mélange est bien mélangé introduire rapidement la pâte

dans le moule tronconique posé sur la plaque sans tassement ni vibration excessive, enlever l'excès de pâte en effectuant un mouvement de va et vient avec la spatule en la maintenant verticalement sur le bord du moule puis place le dans l'appareil de Vicat.

- Quatre minutes après le début du malaxage, la sonde est amenée à la surface supérieure de l'échantillon (moule tronconique) et relâchée sans élan. La sonde alors s'enfonce dans la pâte. Lorsqu'elle est immobilisée (ou après 30s d'attente), on mesure la distance « d » séparant l'extrémité de la sonde et de la plaque de base.
  - La pâte sera à consistance normale si «  $d = 6\text{mm} \pm 1\text{mm}$  » : si «  $d > 7\text{mm}$  » : il n'y a pas assez d'eau, si «  $d < 5\text{mm}$  » : il y a trop d'eau.

### II.3.2 Essai de prise de ciment (EN 196-3) :

Il est nécessaire de connaître les début et fin de prise des pâtes de ciment (des liants hydrauliques) afin de pouvoir évaluer le temps disponible pour la mise en place correcte des mortiers et des bétons qui seront ensuite confectionnés.

#### II.3.2.1 Principe de l'essai :

L'essai de prise (figure II-12) à suivre l'évolution de la consistance d'une pâte de consistance normalisée ; l'appareil utilisé est appareil de Vicat équipé d'une aiguille de 1,13 mm de diamètre. Lorsque sous l'effet d'une charge de 300 g l'aiguille s'arrête à une distance  $d$  du fond du moule telle que  $d = 4\text{mm} \pm 1\text{mm}$ , on dit que le début de prise est atteint. Ce moment, mesure à partir du début du malaxage, est appelé « temps de début de prise ». Le « temps de fin de prise » est celui au bout du que l'aiguille ne s'enfonce plus que de 0,5 mm.

#### II.3.2.2 Mode opératoire :

Introduire la quantité du ciment et d'eau choisi dans la cuve du malaxeur et met le on marche. Une fois le mélange est bien mélangé introduit rapidement la pâte dans le moule tronconique sans tassement, araser la surface de l'échantillon pour enlever le surplus de pâte puis placer le moule et la plaque plane dans l'appareil de Vicat. Abaisser l'aiguille avec précaution jusqu' elle arrive au contact de la pâte ensuite lâcher l'aiguille sur la pâte et noter ce temps comme étant le temps zéro  $T_0$  (le temps de début de prise). Noter la distance  $d$  entre l'extrémité de l'aiguille et la base du moule, répéter l'opération à intervalles réguliers (de 10 à 15 min), jusqu'à obtention  $d = 4\text{mm} \pm 1\text{mm}$ .



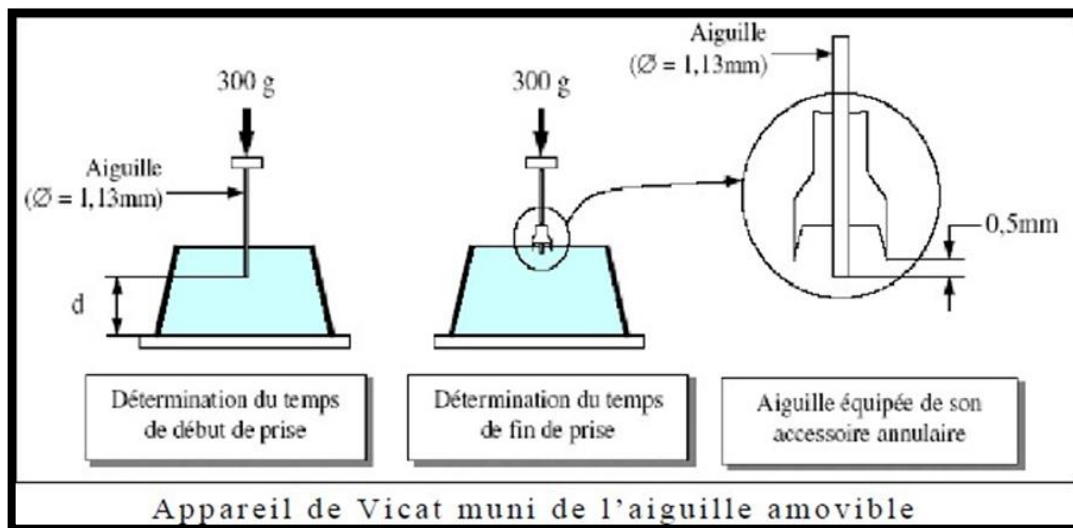


Figure II-12: Principe d'essai de prise de ciment.

### II.4 Les essais de caractérisation chimique des différents matériaux :

Ces essais sont effectués à laboratoire de recherche de l'université de Bejaïa Abderrahmane Mira.

#### II.4.1 L'analyse Chimique (FRX) :

L'analyse chimique par fluorescence des rayons X (FRX) est une technique d'analyse élémentaire globale (figure II-13) permet de déterminer la composition chimique des échantillons. Cette méthode permet d'identifier et de quantifier la plupart des éléments présents dans un échantillon, Elle offre des résultats précis, ce qui en fait une technique essentielle en caractérisation des matériaux [28].

##### II.4.1.1 Mode opératoire :

Cette analyse est réalisée par l'appareil de spectromètre suivant les étapes suivantes :

- Broyer l'échantillon pour obtenir une poudre fine et homogène jusqu'à ce que l'ensemble passe au travers d'un tamis d'ouverture  $\Phi=05\text{mm}$ . Récupérer la poudre dans un récipient étanche et inerte. Environ 10 grammes sont nécessaires.
- Apporter l'échantillon au laboratoire d'analyse à l'aide de sacs stériles. Ensuite Placer le porte-échantillon rempli dans le diffractomètre. Lancer l'analyse FRX selon les paramètres appropriés (tension, courant, temps de comptage, etc.).



**Figure II-13:** L'appareil de spectromètre de fluorescence des rayons X (FRX).

## II.5 Les essais de caractérisation sur les mortiers :

### II.5.1 A l'état Frais :

#### II.5.1.1 La masse volumique (NF EN 1015-6) :

La masse volumique du mortier frais peut être mesurée en réalisant des essais spécifiques, tels que la mesure de la masse des moules avant et après remplissage (figure II-14), permettant de déterminer la masse volumique à l'état frais. La formule de calcul est la suivante :

$$\rho = \frac{M2 - M1}{V}$$

Où :

- $\rho$  : est la masse volumique relative à l'état de l'échantillon, en  $\text{kg/m}^3$
- $M2$  : est la masse de moule plein
- $M1$  : est la masse de moule vide
- $V$  : est le volume de l'échantillon en  $\text{m}^3$



**Figure II-14:** Essai de la masse volumique fraîche

### II.5.2 A l'état durci :

#### II.5.2.1 La caractérisation physique :

##### II.5.2.1.1 La masse volumique (NF EN 1015-10) :

La masse volumique à état sec, souvent notée  $\rho_{sec}$  est calculée en divisant la masse sèche de l'échantillon par différence entre la masse de l'éprouvette humide et la masse hydrostatique de l'éprouvette.

La formule de calcul est la suivante :

$$\rho_{\text{échant}} = \frac{M_{\text{sec}}}{M_h - M_{\text{hyd}}} \rho_{\text{eau}} \qquad \rho_{\text{eau}} = 1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

Où :

$M_{\text{sec}}$  : est la masse de l'éprouvette sèche.

$M_h$  : est la masse de l'éprouvette humide (figure II-16-B)

$M_{\text{hyd}}$ : est la masse hydrostatique de l'éprouvette (figure II-16-A)

##### II.5.2.1.2 La porosité (NF P 18-459) :

La porosité est faite sur des échantillons des éprouvettes après 28 jours et 7 jours. La détermination de la porosité se conduit comme suit :

- On immerge l'éprouvette dans l'eau et on la pèse masse hydrostatique  $P_{\text{hyd}}$
- Ensuite on essuie l'éprouvette superficiellement puis on la pèse masse humide  $P_h$

- Après avoir laissé l'échantillon 24 heures dans l'étuve on pèse sa masse sèche  $P_{sèche}$ .

$$P (\%) = \frac{P_h - P_s}{P_h - P_{hy}} * \rho_{eau}$$



**Figure II-15:** (A) La pesée hydrostatique ; (B) La masse humide.

### **II.5.2.1.3 L'absorption de l'eau (NF EN 1015-18) :**

La capacité d'absorption d'eau est déterminée par une méthode simple qui consiste à peser des éprouvettes de mortier à l'état humide et état sec.

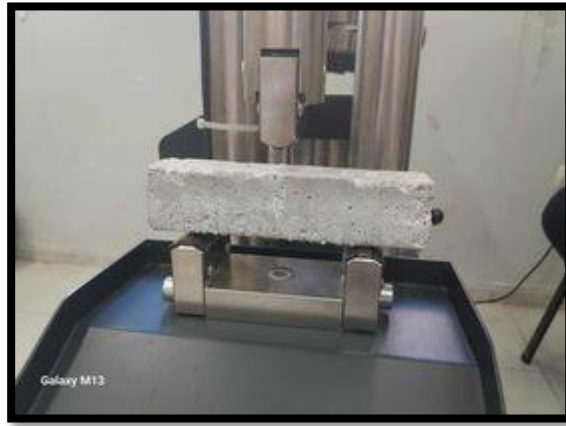
$$A(\%) = \frac{P_h - P_s}{P_s} * 100$$

### **II.5.2.2 Caractérisation mécanique**

#### **II.5.3 Essai de traction par flexion :**

Des essais de traction en flexion (figure II-16) trois points ont été réalisés sur des éprouvettes prismatiques de 4x4x16 cm<sup>3</sup> selon la norme NF EN 196-1. L'essai consiste à placer un prisme dans un dispositif de pliage avec ses côtés moulés sur un rouleau support et son axe longitudinal perpendiculaire au rouleau support, à appliquer une charge verticalement sur le côté du prisme et à l'augmenter de 50 N/s  $\pm$  10 N. /s jusqu'à la fracture de l'échantillon.

Le demi-prisme doit être conservé jusqu'au moment de l'essai de compression, c'est à dire la résistance à la flexion  $R_f$  (en MPa). Les mortiers étudiés ont été testés à 7 et 28 jours, et la résistance à la flexion représente la moyenne de trois éprouvettes. La résistance à la flexion est calculée suivant la formule :  $\sigma = \frac{M}{I} * y$ , avec :  $M$  : moment et  $I$  : inertie de la section.



**Figure II-16:**Essai de traction

### II.5.4 Essai de compression (NF EN 206-1) :

Chaque demi-épreuve est essayée en compression (figure II-17) sur ces faces latérales de moulage, sous une section de 4 x 4 cm<sup>2</sup>, entre deux plaques de métal dur d'au moins 10 mm d'épaisseur, de 40 mm + -0.1 mm de largeur, la demi-épreuve est placée entre elle de manière que son extrémité intacte dépasse d'au moins 1cm et que les arrêtes longitudinaux d'éprouvettes soient perpendiculaires à celle des plaques. La résistance à la compression est calculée suivant

la formule  $R_c = \frac{F_c}{b^2}$  Avec :

**R<sub>c</sub>** : Résistance à la compression en (MPa)

**F<sub>c</sub>** : Charge de rupture en (N)

**b<sup>2</sup>** : Cote de l'éprouvette est égale à 40 mm.



**Figure II-17:**Appareil de flexion (traction) compression.

### II.6 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons exposé les principaux matériaux utilisés ainsi que les divers tests physiques et chimiques employés pour caractériser les mortiers à différents stades, qu'ils soient frais ou durcis.

Chapitre III :  
Caractérisation physico-  
chimique des matières  
premières

### Chapitre III : Caractérisation physico-chimique des matières premières

#### III.1 Introduction :

Dans la première partie de ce chapitre, nous allons exposer les différents résultats obtenus à partir des nombreux essais expérimentaux, réalisés sur les différents matériaux qui compose le mortier. Dans la deuxième partie nous allons montrer la formulation de mortier qui est constitué le plus souvent d'un mélange de ciment, sable, adjuvant et d'eau.

#### III.2 Caractérisation de matière première du mortier :

##### III.2.1 Caractérisation physique :

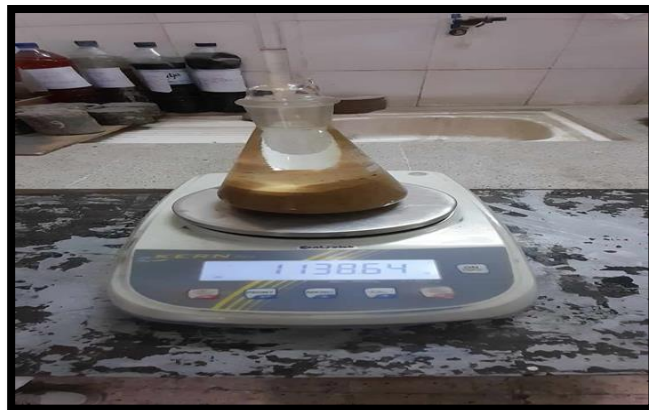
###### III.2.1.1 Les sable :

###### III.2.1.1.1 Masse volumique absolue :

Grâce à la méthode du pycnomètre (NF EN 1097-6) et de l'éprouvette graduée (NF P 18-555). Nous avons obtenu les résultats (Tableau III-1). Le sable de brique est plus dense que celui de Boussaâda mais moins dense que celui de carrière ou d'Oued Zhour.

**Tableau III-1:** les résultats de la masse volumique absolue

Matériau	Sable carrière	Sable Boussaâda	Sable d oued zhour	Sable de brique
$\rho_{ab}$ (g/cm <sup>3</sup> )	2,631	1,960	2 ,778	2,410



**Figure III-1:** La masse volumique absolue par la méthode de pycnomètre



### III.2.1.1.2 Masse volumique apparente (NF P 18-554) :

Le tableau III-2 donne les résultats de la masse volumique apparente des différents sables (figure III-2). On observe que la masse volumique apparente des différents sables (sable Boussaâda ; sable oued zhour, sable carrière) plus élevés que celle de sable de brique. Cela signifie que les différents sables utilisés sont plus compacts que le sable de brique pour un même volume.

**Tableau III-2:** Les résultats de la masse volumique apparente

Matériau	Sable carrière	Sable Boussaâda	Sable d'oued zhour	Sable de brique
$\rho_{ap}$ (g/cm <sup>3</sup> )	1,190	1,140	1,250	1,040



**Figure III-2:** La masse volumique apparente

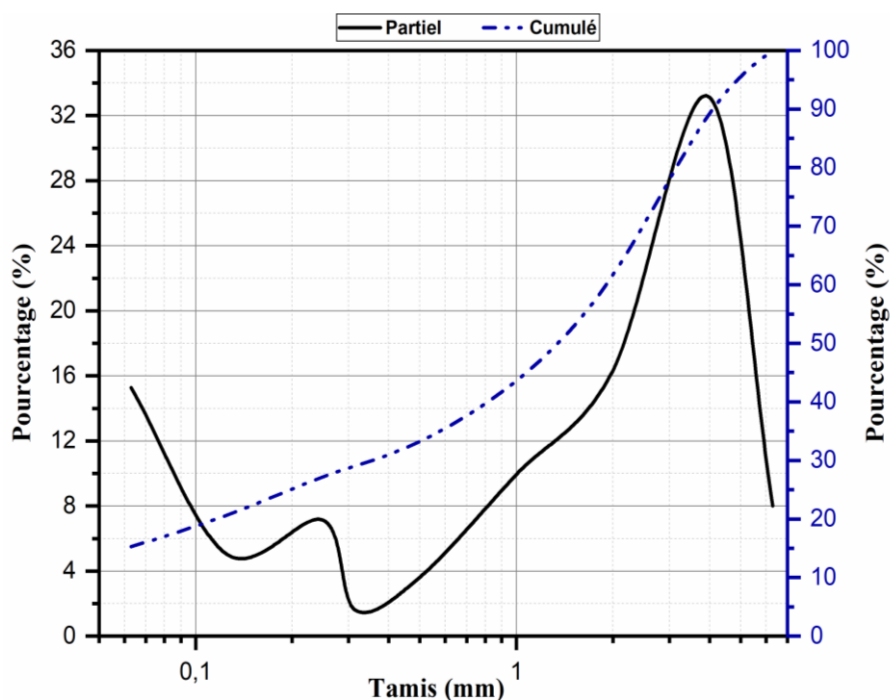
### III.2.1.1.3 Analyse granulométrique (NF EN 933-1) :

Les résultats d'analyse granulométrique de : sable carrière ; sable oued zhour ; sable Boussaâda ; sable de brique sont représentées dans les tableaux (tableau III-3 ; tableau III-4 ; tableau III-5 ; tableau III-6) :

**Tableau III-3 : D'analyse granulométrique de sable 0/4.**

	Ouverture des tamis(mm)	Pourcentage partiel des Tamisât %	Masse des refus cumulés Ri(g)	Pourcentage des refus cumulé (Rn/M1) x100
	6,3	8	0	0
<b>Masse sèche</b>	4	33,12	100	8
<b>M1=1250g</b>	2	16,32	514	41,12
<b>Masse sèche</b>	1	9,92	718	57,44
<b>après lavage</b>	0,5	3,6	842	67,36
<b>M2=1060g</b>	0,315	1,6	887	70,96
	0,25	7,12	907	72,56
	0,125	5,04	996	79,68
	0,063	15,28	1059	84,72

La figure III-3 présente l'analyse granulométrique de sable carrière on observe deux grand pic (deux population) pour le pourcentage partiel des tamisât, la première population est de 15,28 % pour un tamis 0.063 mm ce qui indique qu'il contient des particules fines par contre la deuxième population donne 33.12 % pour un tamis 4 mm qui contient des éléments grossiers. On conclue que la majorité des particules sont des éléments grossier.

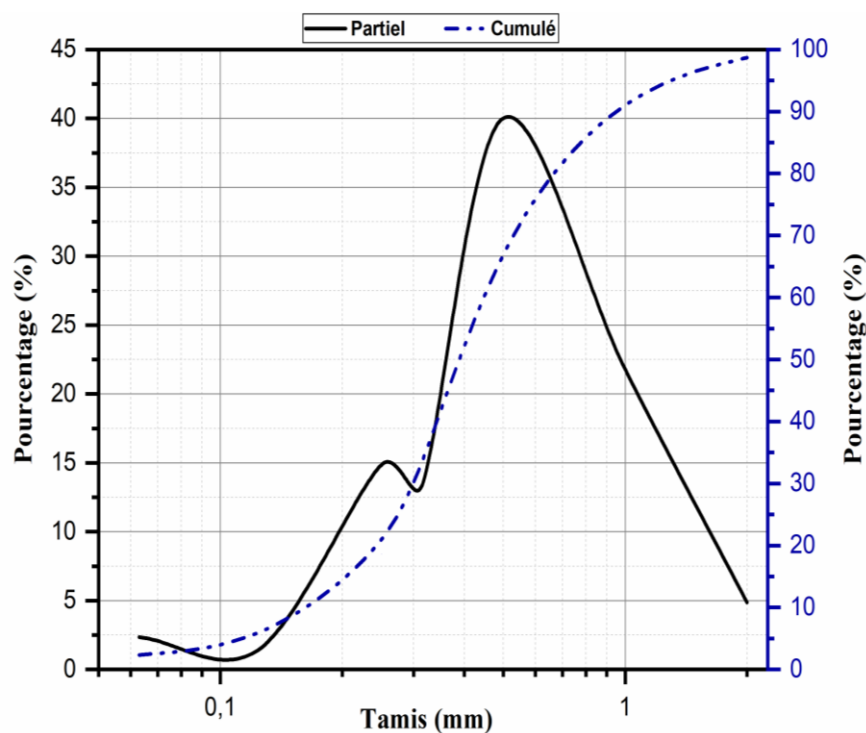


**Figure III-3:** Courbe de l'analyse granulométrique de sable carrière

**Tableau III-4:** Analyse granulométrique de sable d oued zhour

	<b>Ouverture des tamis(mm)</b>	<b>Pourcentage partiel des Tamisât %</b>	<b>Masse des refus cumulés Ri(g)</b>	<b>Pourcentage des refus cumulé (Rn/M1) x100</b>
<b>Masse</b>	2	4,86	15	1,3
<b>sèche</b>	1	21,79	71	6,16
<b>M1=1152g</b>	0,5	40,01	322	27,95
<b>Masse</b>	0,315	13 ,37	783	67,96
<b>sèche après</b>	0,25	14,85	937	81,33
<b>lavage</b>	0,125	1,47	1108	96,18
<b>M2=1128g</b>	0,063	2,34	1125	97,65

L'analyse granulométrique du sable Oued Zhour (figure III-4) révèle une répartition variée, avec une prédominance de particules fines à moyennes. Les deux principaux pics se trouvent aux tamis de 0,5 mm et 1 mm, avec des pourcentages de 40,01% et 21,79% respectivement. Cela indique que la majorité des grains de sable se situe dans ces plages de taille, soulignant une texture homogène dominée par des particules moyennes et fines.

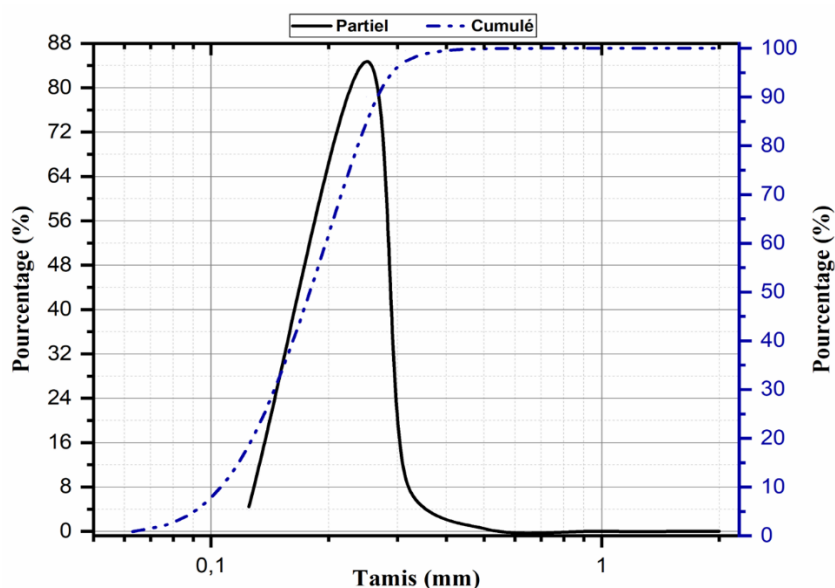


**Figure III-4:** Courbe de l'analyse granulométrique du sable d'oued zhour

**Tableau III-5:** Analyse granulométrique de sable Boussaâda

	Ouverture des tamis(mm)	Pourcentage partiel des Tamisât %	Masse des refus cumulés Ri(g)	Pourcentage des refus cumulé (Rn/M1) x100
	2	0	00	00
<b>Masse sèche</b>	1	0	00	00
<b>M1=790g</b>	0,5	0,505	00	00
<b>Masse sèche</b>	0,315	9,496	4	0,505
<b>après lavage</b>	0,25	84,712	87	11,001
<b>M2=785g</b>	0,125	4,424	749	94,713
	0,063	0,862	784	99,138

La figure III-5 montre l'analyse granulométrique du sable de Boussaâda. Le pourcentage partiel le plus élevé est observé pour le tamis de 0,25 mm (un seul pic) avec une valeur de 84,712%, cela constate que le sable est principalement constitué de particules fines.

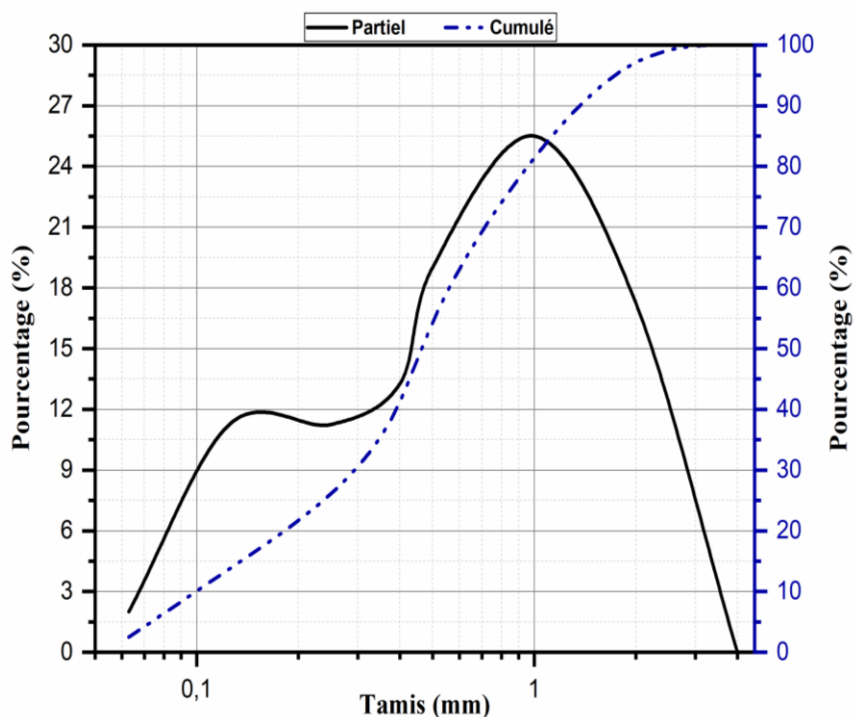


**Figure III-5:** Courbe de l'analyse granulométrique du sable de Boussaâda

**Tableau III-6:** Analyse granulométrique de sable de brique

Ouverture des tamis(mm)	Pourcentage partiel des Tamisât %	Masse des refus cumulés Ri(g)	Pourcentage des refus cumulé (Rn/M1) x100
4	0	00	00
2	17,25	00	00
1	25,5	138	17,25
0,5	19	342	42,75
0,4	13 ,25	494	61,75
0,25	11,25	600	75
0,125	11,25	690	86,25
0,063	2	780	97,5
Fond	0,5	796	99,5

L'analyse granulométrique de sable de brique (figure III-6) montre deux pics principaux dans les pourcentages partiels des tamisât . le premier pic à 1 mm atteint 25,5 % , indiquant que la plus grande proportion de grains de sable se trouve dans cette plage de taille, révélant une prédominance de particules moyennes .Le second pic à 0.25 mm atteint 11,25 % , Ce pic montre une quantité significative de particules grossières, soulignant une population notable de grains plus gros.



**Figure III-6:** Courbe de l'analyse granulométrique du sable de brique

### III.2.1.1.4 Module de finesse MF (NF P 18-540) :

Le Tableau III-7 présente le calcul du module de finesse pour différents types de sables. On observe que le sable de carrière et le sable de brique, avec un module de finesse compris entre 2,8 et 3,3, sont des sables grossiers. Le sable de l'oued Zhour, avec un module de finesse compris entre 2,2 et 2,8, est un sable moyen, par contre le sable de Boussaâda, ayant un module de finesse inférieur à 1,8, est un sable très fin.

**Tableau III-7:** Le module de finesse des différent sable

Type de sable	Module de finesse
<b>Carrière 0/4</b>	3,26
<b>Oued zhour0/1</b>	2,3
<b>Boussaâda 0/1</b>	1,05
<b>Brique</b>	2,8

### III.2.1.2 *Equivalent de sable (NF EN 933-8) :*

A l'aide des instructions de la norme NF EN 933-8 de l'équivalent sable (figure III-7) Nous sommes arrivés aux résultats présentés dans Tableau III-8. On conclure que sable d oued zhour et sable de Boussaâda appartient à l'intervalle  $75\% \leq ES \leq 85\%$  qui représente un Sable propre à faible pourcentage de fines argileuse. Le sable carrière appartient à l'intervalle  $ES \geq 85\%$  qui représente un sable très propre. En dernier le sable de brique appartient à l'intervalle  $65\% \leq ES \leq 75\%$  qui représente un sable de propreté admissible.

**Tableau III-8:** L'équivalent de sable de différent sable

	Eprouvette	h <sub>1</sub> (cm)	h <sub>2</sub> (cm)	ES (%)	ES moyenne (%)
<b>Sable carrière</b>	1	9,8	8,5	86,73	85,86
	2	10	8,5	85	
<b>Sable oued zhour</b>	1	10,4	8	76,92	77,81
	2	10,8	8,5	78,70	
<b>Sable Boussaâda</b>	1	12,4	9,4	75,8	75,4
	2	12,4	9,3	75	
<b>Sable de brique</b>	1	13	8,8	67,69	68,19
	2	13,1	9	68,70	



**Figure III-7:** Essai d'équivalent de sable.

### *III.2.1.3 Essai de bleu de méthylène (NF 933-9) :*

Le tableau III-9 représente les valeurs de bleu de méthylène qui ont été déterminées par la norme NF 933-9. D'après les valeurs de bleu de méthylène obtenue (figure III-8), on constate que les différents sables utilisés sont classés dans l'intervalle  $0,2 \leq v_b < 2,5$ . Alors ces sables testés sont sensibles à l'eau.

**Tableau III-9:**Résultat d'essai bleu de méthylène des différent sable

Type de sable	$M_1$ (g)	$V'$ ( $cm^3$ )	$V_1$ ( $cm^3$ )	$VB$ (g/kg)
<b>Carrière 0/4</b>	200	0	10	0,5
<b>Boussaâda</b>	200	35	75	2
<b>Oued zhour</b>	200	35	45	0,5
<b>Brique</b>	200	0	10	0,5



**Figure III-8:** Résultat d'essai de VB

### III.2.1.3.1 Mesure du coefficient d'absorption des sables :

Les résultats d'absorption d'eau sont montrés dans Tableau III-10. La première remarque dit que la valeur d'absorption d'eau de sable de brique est plus élevée que celle des

## Chapitre III : Caractérisation physico-chimique des matières premières

autres types de sable. Cette valeur due à la structure très poreuse de celle de sable de brique, ainsi en raison de ses particules plus fines (MF=2.8). Par contre les sables de carrière, d'Oued Zhour et de Boussaâda, moins poreux, sont mieux adaptés aux applications nécessitant une moindre rétention d'eau.

**Tableau III-10:** Résultat d'absorption d'eau des différents sables

Type sable	Carrière	Oued zhour	Boussaâda	Brique
Ab (%)	16	18,64	21,45	28,66

### III.2.1.4 Le ciment :

#### III.2.1.4.1 Essai de consistance :

D'après les résultats de Tableau III-11, la quantité d'eau optimale pour gâcher le ciment dans cette recherche est de E=160g pour 500g de ciment avec un rapport E/C=0.32 qui donne un D entre 5 et 7 mm (figure III-9).

**Tableau III-11:**Résultat d'essai de consistance du ciment

Pate	Quantité de ciment (g)	Quantité d'eau (g)	E/C	D(mm)
1	500	115	0,23	38
2	500	135	0,27	30
3	500	150	0,3	16
4	500	160	0,32	6



**Figure III-9:**Essai de consistance



### III.2.1.4.2 Essaie de prise :

Le Tableau III-12 présente les résultats des essais de prise du ciment. On observe (figure III-10) que le début de la prise de notre ciment a commencé 3 heures et 4 minutes après la mise en place de la pâte dans le moule tronconique, et que la fin de la prise (figure III-11) a été atteinte après 4 heures et 19 minutes.

**Tableau III-12:**Résultat d'essais de prise

	D (mm)	Temps (h)
Début de prise	5	3h 4 mn
Fin de prise	39	4h 19 mn



**Figure III-10:**Début de la prise



**Figure III-11:** Fin de la prise

### III.2.1.5 Eau gâchage :

L'eau utilisée doit être conforme à la norme NF EN 1008. Ainsi, dans notre étude, nous avons employé l'eau potable du réseau public de la wilaya de Bejaia. L'eau de gâchage utilisée provient du laboratoire du département de génie civil.

### III.2.1.6 Adjuvant :

L'adjuvant Sika ViscoCrete 4037 RMX est un superplastifiant de haute performance conçu pour améliorer la fluidité et la maniabilité des mortier.

#### DESCRIPTION DU PRODUIT

<b>Base chimique</b>	Polycarboxylates
<b>Conditionnement</b>	Fût de 200 kg Cubi de 1110 kg Vrac
<b>Durée de Conservation</b>	12 mois dans son emballage d'origine intact
<b>Conditions de Stockage</b>	A l'abri du gel. En cas de gel accidentel, le produit retrouve ses qualités d'origine une fois dégelé lentement et réhomogénéisé.
<b>Aspect / Couleur</b>	Liquide brun clair à brun foncé
<b>Densité</b>	1,06 à 1,07
<b>Valeur pH</b>	5 ± 1,0
<b>Teneur Totale en Ions Chlorure</b>	≤ 0,1 %
<b>Dosage</b>	Plage de dosage : 0,4 à 2,5 % du poids du liant ou du ciment selon la fluidité et les performances recherchées.

Figure III-12:Caractéristiques de superplastifiant

### III.3 Les essais de caractérisation chimique des différents matériaux :

#### III.3.1 L'analyse chimique :

Le Tableau III-13 montre les résultats chimiques (FRX) des différents sables utilisés, on dit que le sable de Boussaâda et de l'oued Zhour contient une quantité de silice de 48,64 % et 42.64%, respectivement. Par contre le sable de carrière en contient seulement 1,4 %, tandis que le sable de brique possède une quantité moyenne de silice de 26,26 %. En ce qui concerne la teneur en CaO, le sable de carrière est le seul à en avoir une quantité élevée, avec 47,01 %. La perte au feu (PAF) du sable de l'oued Zhour et du sable de Boussaâda est due à la matière organique, tandis que pour le sable de carrière, elle est due à la décarbonatation du CaCO<sub>3</sub>. Le ciment est composé de 20,62 % de silice et de 61,49 % de CaO.

**Tableau III-13:**Résultat d'analyse chimique (FRX) des différents matériaux

Elément	Pourcentage des matières premières (%)				
	Sable oued zhour	Sable Boussaâda	Sable carrière	Sable de brique	Ciment
<b>SiO<sub>2</sub></b>	42,76	48,64	1,4	26,26	20,62
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0,717	0,911	1,89	11,24	3,96
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0,1784	0,162	0,69	5,9	4,37
<b>CaO</b>	0,744	1,15	47,01	6,03	61,49
<b>MgO</b>	0	0	2,84	2,65	1,38
<b>SO<sub>3</sub></b>	0	0	0	0	1,59
<b>K<sub>2</sub>O</b>	0,384	0,122	0,341	2,36	0,29
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	0	0	0	0	0,12
<b>PAF</b>	54,76	48,93	43,75	44,33	6,18
<b>RI</b>	0	0	0	0	6,14



**Figure III-13:**Les résultats d'analyse FRX

### III.4 Formulation de mortier :

L'objectif de cette étude est divisé en deux parties pour la première partie une correction sur la granulométrie du sable de carrière avec l'utilisant différents types de sable : sable de Boussaâda ; sable d'Oued Zhour et sable de brique. La deuxième partie de cette étude, nous avons substitué le sable d'Oued Zhour et le sable de Boussaâda par des déchets de brique afin d'évaluer les effets de ce dernier sur le comportement des mortiers durcis.

Cette recherche a appliqué la méthode de formulation d'un mortier standard en fixant les pourcentages de substitution du sable comme suit : 100%, 75%, 50%, et 25%. Le tableau III-14

## Chapitre III : Caractérisation physico-chimique des matières premières

résume les différents types de mortier pour la première partie de notre travail et les tableaux montrent les différents mortiers pour la deuxième partie.

**Tableau III-14:** Les différents types de mortier pour la correction de sable carrière

Matière Première	Ciment (g)	Sable 0/4 (g)	Sable Boussaâda (g)	Sable oued zhour (g)	Sable de brique (g)	L'eau (g)	Adjuvant (g)
<b>M<sub>CT</sub></b>	450	1350	0	0	0	225	2,5
<b>M<sub>CZ</sub></b>	<b>25 %</b>	450	1012,5	0	337,5	0	2,5
	<b>50%</b>	450	675	0	675	0	2,5
	<b>75%</b>	450	337,5	0	1012,5	0	2,5
<b>M<sub>Z</sub></b>	<b>100%</b>	450	0	0	1350	0	2,5
	<b>25%</b>	450	1012,5	337,5	0	0	2,5
<b>M<sub>CS</sub></b>	<b>50%</b>	450	675	675	0	0	2,5
	<b>75%</b>	450	337,5	1012,5	0	0	2,5
	<b>100%</b>	450	0	1350	0	0	5
<b>M<sub>CB</sub></b>	<b>25%</b>	450	1012,5	0	0	337,5	2,5
	<b>50%</b>	450	675	0	0	675	5,5
	<b>75%</b>	450	337,5	0	0	1012,5	10
<b>M<sub>B</sub></b>	<b>100%</b>	450	0	0	0	1350	20

Avec :

**M<sub>CT</sub>** : mortier sable carrière témoin

**M<sub>CZ</sub>** : mortier de mélange sable carrière et sable oued zhour

**M<sub>Z</sub>** : mortier sable oued zhour

**M<sub>CS</sub>** : mortier de mélange sable carrière et sable Boussaâda

**M<sub>S</sub>** : mortier sable Boussaâda

**M<sub>CB</sub>** : mortier de mélange brique et carrière

**M<sub>B</sub>** : mortier sable de brique

**Tableau III-15:** Les différents types de mortiers on substitue sable d oued zhour par sable de brique

Matière premier	Ciment (g)	Sable Boussaâda (g)	Sable de Brique (g)	L'eau (g)	Adjuvant (g)
<b>MZT</b>	450	1350	0	225	2,5
<b>25%</b>	450	1012.5	337.5	225	7,5
<b>MZB</b>	450	675	675	225	10
<b>75%</b>	450	337.5	1012.5	225	12,5

Avec :

**MZT** : mortier de sable oued zhour témoin

**MZB** : mortier mélange sable oued zhour et sable brique

**Tableau III-16:** Les différents types de mortiers on substitue sable de Boussaâda par sable de brique

Matière premier	Ciment (g)	Sable Boussaâda (g)	Sable de Brique (g)	L'eau (g)	Adjuvant (g)
<b>MST</b>	450	1350	0	225	5
<b>25%</b>	450	1012.5	337.5	225	5
<b>MSB</b>	450	675	675	225	10
<b>75%</b>	450	337.5	1012.5	225	17,5

Avec :

**MST** : mortier sable Boussaâda témoin

**MSB** : mortier mélange sable Boussaâda et sable de brique

### III.5 Conclusion :

Le travail présenté dans ce chapitre examine séparément les caractéristiques des matériaux de base utilisés dans l'étude expérimentale ainsi que la formulation pour la confection et la réalisation des différents essais sur le mortier. En fonction des résultats obtenus,

### **Chapitre III : Caractérisation physico-chimique des matières premières**

---

on conclut que la masse volumique de sable de brique est faible par contre il possède une capacité d'absorption d'eau plus importante que les autres types de sable utilisés. De plus, la granulométrie des sables répondent aux conditions requises pour être utilisés dans la confection des mortiers.

**Chapitre IV :**

**Les résultats physiques et  
mécaniques**

### Chapitre IV : : les résultats physiques et mécanique

#### IV.1 Introduction :

Dans ce dernier chapitre, nous allons présenter les différents résultats physiques et mécaniques du mortier en fonction des pourcentages étudiés. De plus, nous décrirons les modes opératoires de la confection de mortier et l'interprétation des résultats des divers essais réalisés à l'état frais et durci, déterminés aux âges de 7 et 28 jours.

#### IV.2 Confection des mortiers :

La préparation du mortier (la norme EN 196-1) se fait en ajoutant dans un malaxeur (figure IV-1) d'un volume de 5 litres, les composants suivants : sable 0/4, sable de Boussaâda, sable d'oued Zhour, sable de brique, ciment et superplastifiant. Pour notre étude, nous avons utilisé des éprouvettes de dimensions 4 x 4 x 16 cm<sup>3</sup> (figure IV-2).



**Figure IV-1:**Malaxeur



**Figure IV-2:** Les éprouvettes de dimensions 4 x 4 x 16 cm<sup>3</sup>



### IV.2.1 Préparation des gâchées :

Les étapes de préparation des gâchées sont les suivantes :

- Vérifier le nombre et l'état des moules nécessaires pour les essais. Ils doivent être graissés avec de l'huile pour faciliter le décoffrage.
- S'assurer que les matériaux ne sont pas humides. Si c'est le cas, les sécher préalablement dans l'étuve.
- Introduire le ciment et le sable dans la cuve du malaxeur.
- Verser 2/3 de la quantité d'eau choisie dans le mélange, puis mettre immédiatement le malaxeur en marche à vitesse lente pendant 90 secondes, en ajoutant simultanément le 1/3 restant de l'eau contenant une quantité considérable d'adjuvant.
- Arrêter la machine pendant 15 secondes et mélanger manuellement le mortier avec une truelle. Puis remettre le malaxeur en marche pendant 90 secondes supplémentaires.
- Remplir les éprouvettes en deux fois et compacter mécaniquement à l'aide d'une table à chocs (voir figure IV-3).



Figure IV-3: Remplir le moule et le mettre dans l'appareil à chocs

### IV.2.2 Conservation des éprouvettes :

Tous les moules sont stockés dans une pièce à température ambiante et démoulés après 24 heures. Ensuite, les éprouvettes sont conservées dans un bac d'eau jusqu'à la période d'essai (7 et 28 jours), ce qui permet d'éviter les pertes d'eau et de garantir le bon déroulement du processus d'hydratation du ciment.

**IV.3 Essais sur les mortiers :**

**IV.3.1 Essais effectués sur les mortiers frais :**

*IV.3.1.1 La masse volumique fraîche :*

L'évolution de la masse volumique fraîche des différents mortiers indiqués dans Tableau IV-1 est comparée à celle du mortier à base de sable de carrière. On observe que la masse volumique diminue légèrement lorsque des substituts (sable de l'oued Zhour, sable de brique et sable de Boussaâda) sont ajoutés. Cette diminution due à la différence entre les masses volumiques absolues des sables ainsi le taux absorption d'eau des différents sables substitue

**Tableau IV-1:**La masse volumique fraîche de mortier a base du sable carrière substitue par diffèrent sable

<b>Type de mortier</b>		<b>Masse volumique fraîche (g/cm<sup>3</sup>)</b>
<b>M<sub>CT</sub></b>		2,453
<b>M<sub>CZ</sub></b>	25%	2,424
	50%	2,406
	75%	2,335
<b>M<sub>Z</sub></b>	100%	2,265
<b>M<sub>CS</sub></b>	25%	2,391
	50%	2,263
	75%	2,242
<b>M<sub>S</sub></b>	100%	2,111
<b>M<sub>CB</sub></b>	25%	2,354
	50%	2,282
	75%	2,210
<b>M<sub>B</sub></b>	100%	2,161

Après une comparaison de masse volumique fraîche de mortier à base de sable Boussaâda par rapport au mortier substitué par sable brique montré dans le Tableau IV-2, nous avons constaté que l'augmentation du pourcentage de sable de brique entraîne une augmentation de la masse volumique fraîche. Cela indique que le sable de brique a un taux d'absorption de l'eau plus élevé que celui du sable de Boussaâda.

**Tableau IV-2:** La masse volumique fraîche de mortier à base sable Boussaâda substituée par sable de brique.

Type de mortier		MV (g/cm <sup>3</sup> )
<b>M<sub>ST</sub></b>		2,111
<b>M<sub>SB</sub></b>	25%	2,118
	50%	2,132
	75%	2,149
<b>M<sub>B</sub></b>	100%	2,161

D'après les résultats présentés dans le Tableau IV-3, nous remarquons que l'ajout de sable de brique en pourcentages croissants dans le mortier à base de sable d'oued Zhour entraîne une diminution de la masse volumique fraîche (2,265 à 2,161 g/cm<sup>3</sup>). Cette diminution est due à la nature plus légère et poreuse du sable de brique comparé à celle du sable d'oued Zhour.

**Tableau IV-3:** La masse volumique fraîche de mortier à base sable oued zhour substituée par sable de brique.

Type de mortier		MV (g/cm <sup>3</sup> )
<b>M<sub>ZT</sub></b>		2,265
<b>M<sub>ZB</sub></b>	25%	2,243
	50%	2,204
	75%	2,189
<b>M<sub>B</sub></b>	100%	2,161

### IV.3.2 Essais effectués sur les mortiers durcis :

#### IV.3.2.1 Les essais physiques

##### IV.3.2.1.1 L'absorption d'eau :

Le Tableau IV-4 présente les résultats d'absorption d'eau du mortier à base de sable carrière. L'absorption d'eau des mortiers témoins (Mct) à 7 et 28 jours sont respectivement de 8.48 ; 5.72 %. On observe que le taux d'absorption d'eau des mortiers à 7 jours diminue avec l'augmentation de la quantité des sables Boussaâda et d'Oued Zhour jusqu'à des valeurs de 8.425 et 7.876 % pour les mortiers Mcs-25 et Mcz-25, respectivement. Cependant, au-dessus de ce taux, l'absorption d'eau a augmenté jusqu'à 8.51 et 8.538 % pour l'échantillon Mcs-75 et Mcz-75. D'autre part, les mortiers à l'âge 28 jours suivent la même tendance que celle de 7

jours. Par contre, l'ajout de sable de brique réduit le taux d'absorption d'eau, indiquant que le sable de brique confère une plus grande quantité des fines qui réduisent le taux des vides existe dans les différents mortiers.

**Tableau IV-4:** Résultat d'absorption du mortier à base de sable carrière substituée par différents sables

		<b>7 jours</b>	<b>28 jours</b>
<b>Type de mortier</b>		<b>AB (%)</b>	<b>AB (%)</b>
<b>M<sub>CT</sub></b>		8,48	5,72
<b>M<sub>CZ</sub></b>	25%	7,876	5,57
	50%	8,442	5,97
	75%	8,538	6,012
<b>M<sub>Z</sub></b>	100%	9,736	6,1
<b>M<sub>CS</sub></b>	25%	8,425	5,52
	50%	8,319	5,22
	75%	8,51	5,9
<b>M<sub>S</sub></b>	100%	9,73	6,37
<b>M<sub>CB</sub></b>	25%	7,916	4,535
	50%	6,28	4,238
	75%	6,43	4,08
<b>M<sub>B</sub></b>	100%	8,08	5,23

Les résultats de l'absorption du mortier à base de sable Boussaâda et oued zhour pour les différentes formulations de mortiers sont représentés dans les tableaux (Tableau IV-5 ; Tableau IV-6). Le remplacement de sable brique provoque une diminution de l'absorption en eau par rapport aux mortiers témoins (M<sub>st</sub> et M<sub>zt</sub>) qui ont une absorption d'eau de 9.73 et 9.7 %, respectivement pour une cure de 7 jours et 6.37 et 6.16 %, respectivement pour 28 jours de cure.

**Tableau IV-5:** Résultat d'absorption du mortier à base de sable oued zhour substitue par sable de brique

		<b>7 jours</b>	<b>28jours</b>
<b>Type de mortier</b>		AB (%)	AB (%)
<b>M<sub>ZT</sub></b>		9,7	6,16
<b>M<sub>ZB</sub></b>	25%	8,736	5,091
	50%	8,538	4,54
	75%	8,228	4,23
<b>M<sub>B</sub></b>	100%	8,08	5,23

**Tableau IV-6:** Résultat d'absorption du mortier à base de sable Boussaâda substitue par sable de brique

		<b>7 jours</b>	<b>28jours</b>
<b>Type de mortier</b>		AB (%)	AB (%)
<b>M<sub>ST</sub></b>		9,73	6,37
<b>M<sub>SB</sub></b>	25%	9,312	6,17
	50%	8,83	5,95
	75%	8,38	5,21
<b>M<sub>B</sub></b>	100%	8,08	5,53

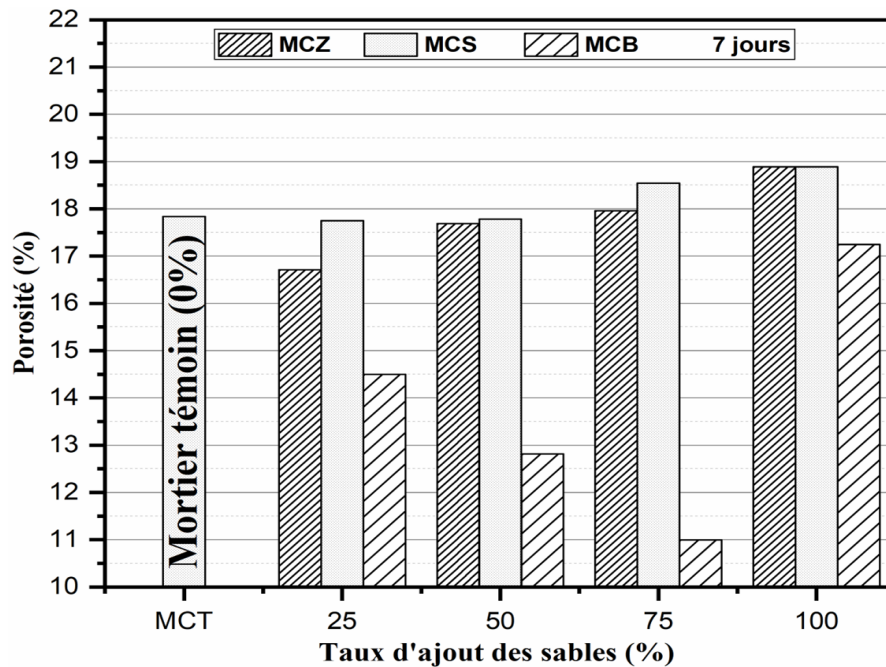
### IV.3.2.1.2 La porosité

Les résultats de porosité pour les différentes formulations de mortiers à base de sable carrière sont représentés sur le Tableau IV-7. La porosité de mortier témoins (Mct) à 7 et 28 jours sont respectivement 17,841 et 12,35 %.

A 7 jours les mortiers contenant 25% des sables de Boussaâda et d'Oued Zhour ont produit une diminution de la porosité jusqu'à des valeurs de 17,747 ; et 16,713 % pour les mortiers M<sub>cs</sub>-25 (25%) et M<sub>cz</sub>-25 (25%), respectivement. Cependant, au-dessus de ce taux, la porosité a augmenté jusqu'à 18,89 et 18.89 % pour l'échantillon M<sub>s</sub> et M<sub>z</sub>. D'autre part à l'âge de 28 jours les mortiers de d'Oued Zhour suivent la même tendance que celle de 7 jours on obtient la valeur 11.344 % pour l'échantillon M<sub>cz</sub>-25 (25%). Cependant, au-dessus de ce taux, la porosité augmente jusqu'à la valeur 14.06% pour mortier M<sub>z</sub>. Ainsi, addition 50 % de sable Boussaâda diminue la porosité ; obtenant des valeurs de 10.935 % pour les mortiers M<sub>cs</sub>-50. Alors qu'au-dessus de ce taux, la porosité augmente de 13.913% pour le mortier M<sub>s</sub>.

**Tableau IV-7:** Résultat des mesures de la porosité de mortier à base sable carrière substituée par différents sables

		7 jours	28 jours
Type de mortier		Porosité (%)	Porosité (%)
MCT		17,841	12,35
MCZ	25%	16,713	11,344
	50%	17,69	13,063
	75%	17,96	13,913
MZ	100%	18,89	14,063
MCS	25%	17,747	11,995
	50%	17,782	10,935
	75%	18,545	13,812
MS	100%	18,89	13,913
MCB	25%	14,499	11,209
	50%	12,812	10,209
	75%	10,998	9,968
MB	100%	17,245	11,76

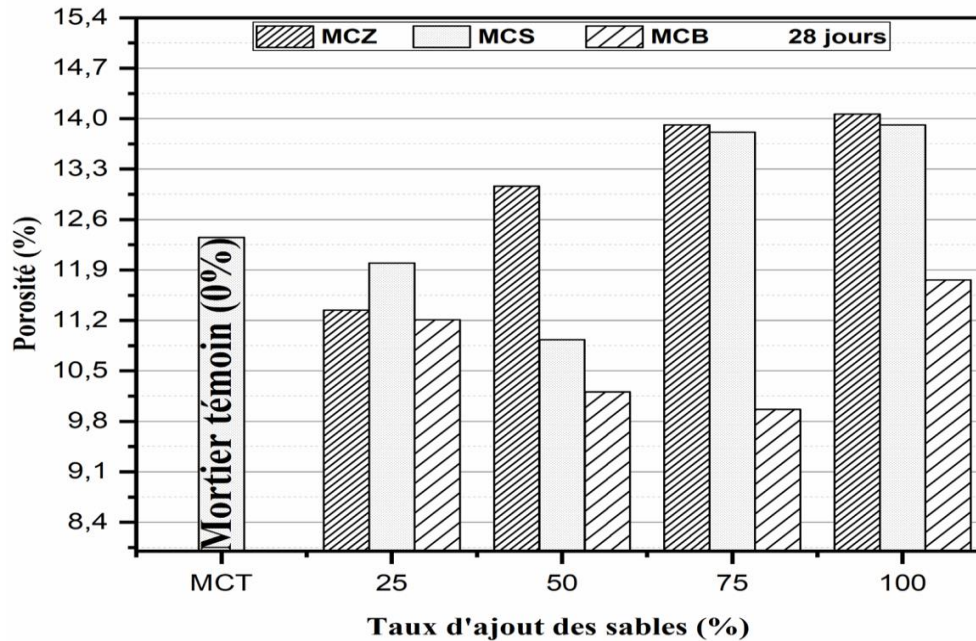


**Figure IV-4:** La porosité des différents mortiers à base de sable carrière à 7 jours

La porosité a diminué linéairement avec l'ajout de sable de brique, pour les mortiers à 7 et 28 jours, qui donne des valeurs minimales de 10.998 et 9.968 %, respectivement pour le

mortier Mcb-75. Alors que le mortier à base de sable de brique (100%) donne une valeur importante que celle de mortier témoin (Mc).

La diminution de la porosité est proportionnelle, à l'augmentation du pourcentage de sable de brique. Cela peut être lié à des volumes très importants du degré d'hydratation du ciment.



**Figure IV-5:** La porosité des différents mortiers à base sable de carrière à 28 jours

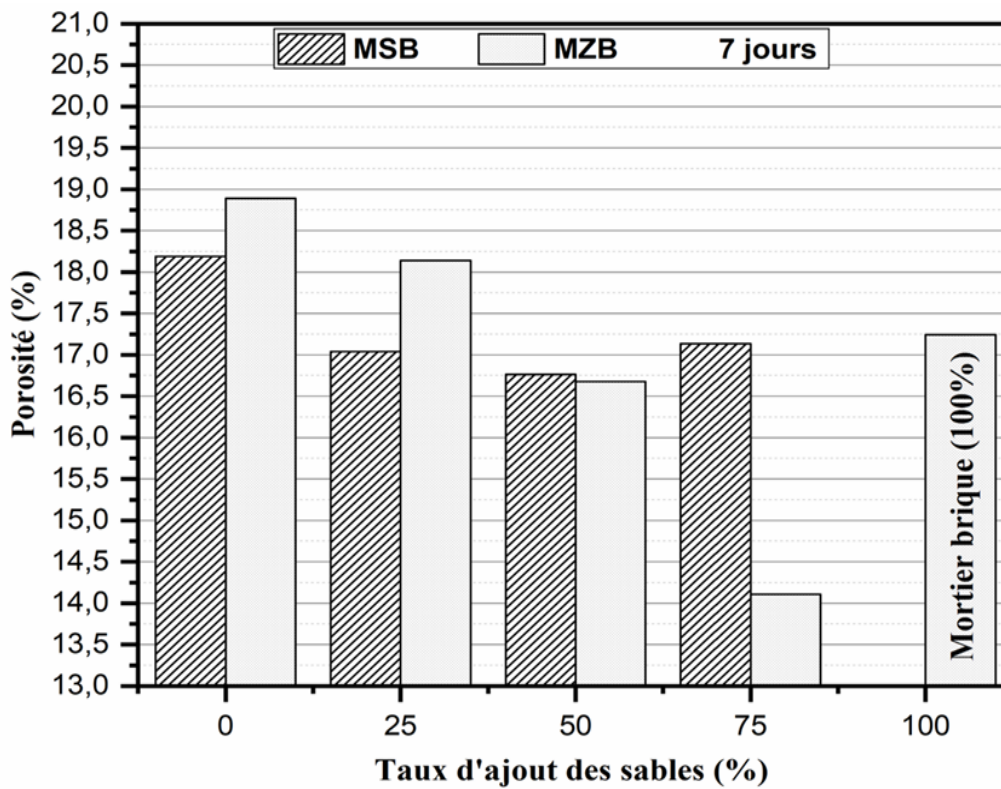
Les tableaux IV-8 ; tableau IV-9 présentent les résultats de la porosité de différentes formulations de mortiers à base de sable de Boussaâda et d'Oued Zhour. Le remplacement du sable brique jusqu'à un 75 % a entraîné une diminution de la porosité par rapport aux mortiers témoins (Mst et Mzt), qui avaient respectivement des valeurs de 19 et 18,89% à 7 jours de cure et de 13.913 et 12.35 % à 28 jours de cure.

**Tableau IV-8:** Résultat des mesures de la porosité de mortier à base sable de Boussaâda substitué par sable de brique

Type de mortier		7 jours	28 jours
		Porosité (%)	Porosité (%)
MST		19	13.913
MSB	25%	17,038	11,968
	50%	16,765	11,578
	75%	17,134	11,212
MB		17,245	11,76

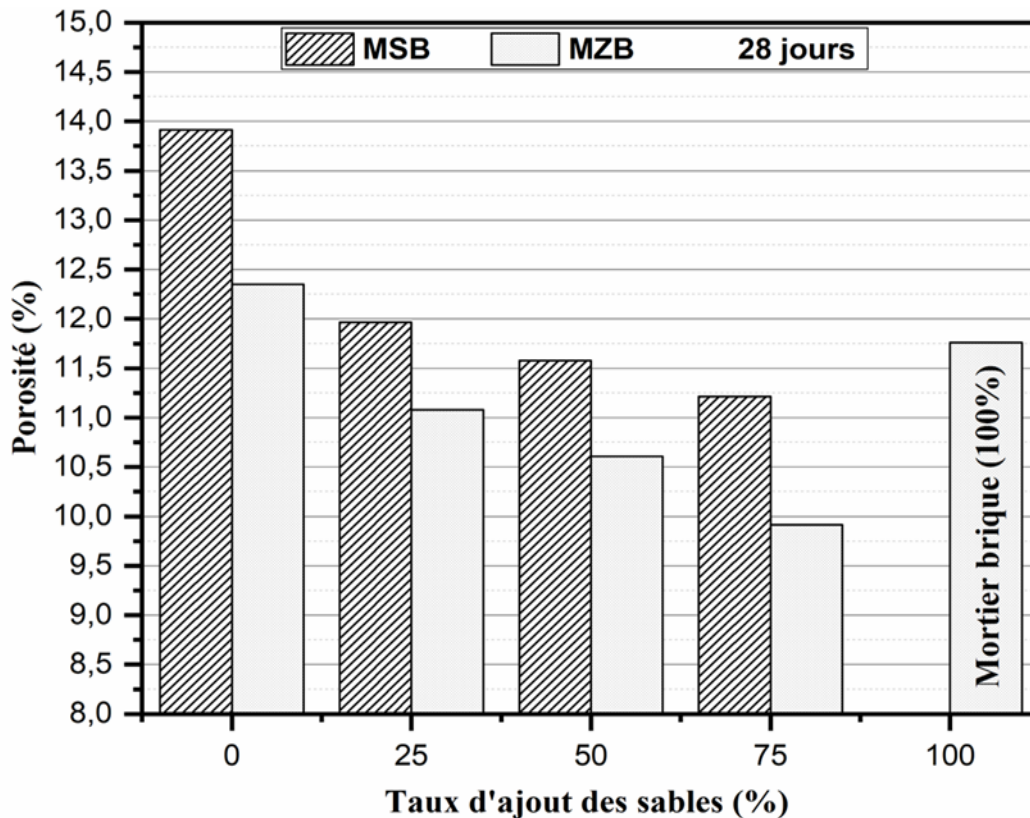
**Tableau IV-9:** Résultat des mesures de la porosité de mortier à base sable d oued zhour substitue par sable de brique

		7 jours	28 jours
Type de mortier		Porosité	Porosité
M <sub>ZT</sub>		18,89	12,35
M <sub>ZB</sub>	25%	18,14	11,079
	50%	16,679	10,607
	75%	14,107	9,915
M <sub>B</sub>	100%	17,245	11,76



**Figure IV-6:** La porosité des différents mortiers à base de sable d oued zhour et Boussaâda substitue par sable de brique a 7 jours





**Figure IV-7:** La porosité des différents mortiers à base de sable d oued zhour et Boussaâda substitue par sable de brique a 28 jours

**IV.3.2.1.3 La masse volumique :**

Le tableau IV-10 montre les masses volumiques absolue des mortiers a 7 et 28 jours après durcissement dans l'eau. Les masses volumiques des mortiers de référence (M0) à 7 et 28 jours sont respectivement de 2.207 et 2.245 g/cm<sup>3</sup>. D'un point, de vue générale, les masses volumiques apparentes des mortiers diminuent avec l'augmentation des taux des sable oued zhour ; Boussaâda et sable de brique, les valeurs de 1.96, 1.94 et 1.884 g/cm<sup>3</sup>, respectivement ont été obtenues pour les 7jours de cure, pour les mortiers Mz, Ms et Mb. Notons que les mortiers à 28 jours, suivent la même tendance que celle de 7 jours, on obtient des valeurs de 2.039, 1.962 et 1.913 g/cm<sup>3</sup>.

**Tableau IV-10:**Résultat des mesures de la masse volumique de mortier à base sable de carrière substituée par différents sables

Type de mortier		7 jours	28 jours
		MV (g/cm <sup>3</sup> )	MV (g/cm <sup>3</sup> )
<b>MCT</b>		2,207	2,245
<b>MCZ</b>	25%	2,113	2,19
	50%	2,08	2,18
	75%	2	2,1
<b>MZ</b>	100%	1,96	2,039
<b>MCS</b>	25%	2,135	2,153
	50%	2,092	2,115
	75%	1,98	2,076
<b>MS</b>	100%	1,94	1,962
<b>MCB</b>	25%	2,098	2,141
	50%	2,018	2,084
	75%	1,934	2,045
<b>MB</b>	100%	1,884	1,913

D'après les résultats indiqués dans les tableaux (tableau IV-11 ; tableau IV-12), l'incorporation de sable de brique pour des mortiers à base des sables de Boussaâda et oued zhour a produit une diminution des masses volumiques absolues pour les mortiers à 7 et 28 jours de cure.

**Tableau IV-11:**Résultat des mesures de la masse volumique de mortier à base sable de Boussaâda substituée par sable de brique

Type de mortier		7 jours	28 jours
		MV (g/cm <sup>3</sup> )	MV (g/cm <sup>3</sup> )
<b>MST</b>		1,94	1,962
<b>MSB</b>	25%	1,93	1,94
	50%	1,914	1,93
	75%	1,903	1,92
<b>MB</b>	100%	1,884	1,913

**Tableau IV-12:**Résultat des mesures de la masse volumique de mortier à base de sable oued zhour substitue par sable de brique

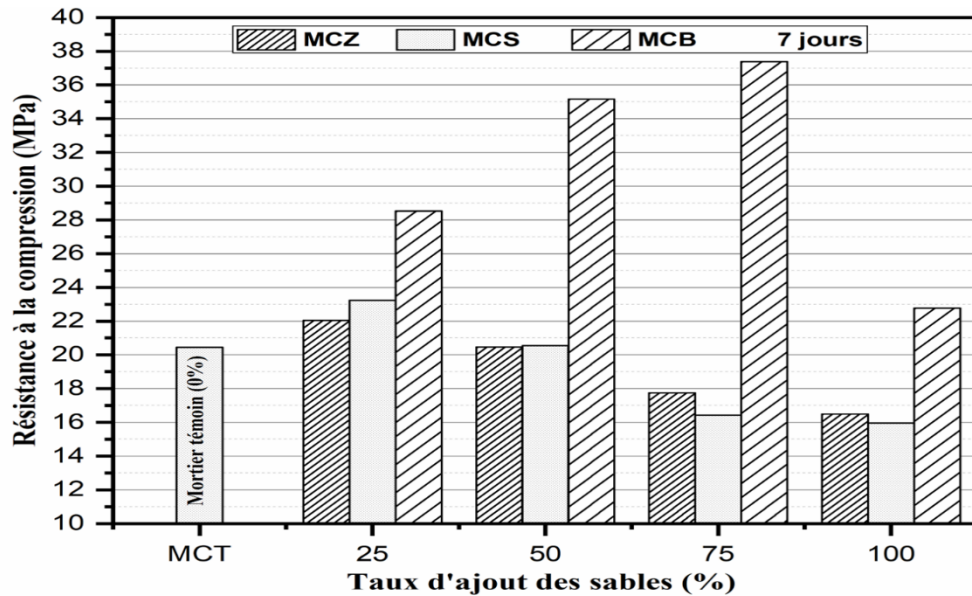
		7 jours	28 jours
Type de mortier		MV (g/cm <sup>3</sup> )	MV (g/cm <sup>3</sup> )
M <sub>ZT</sub>		1,94	2,039
M <sub>ZB</sub>	25%	1,92	2,02
	50%	1,9	2
	75%	1,99	1,97
M <sub>B</sub>	100%	1,884	1,913

### IV.3.2.2 Les essais mécaniques :

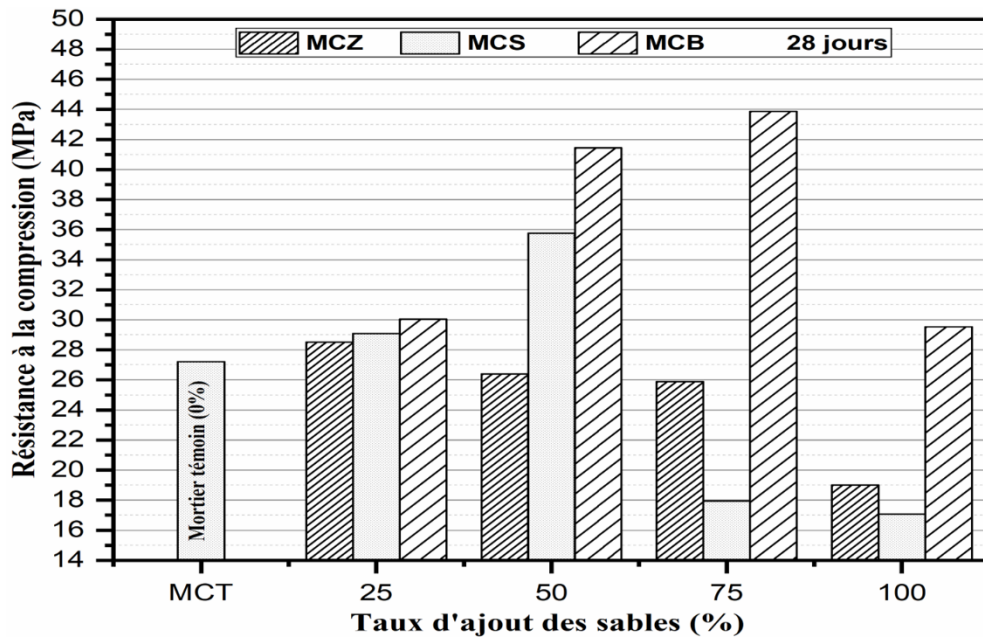
#### IV.3.2.2.1 La résistance à la compression :

Les valeurs obtenues de la résistance à la compression (figure IV-8, figure IV-9) montrent que les mortiers ayant subi une cure de 7 et 28 jours, ont légèrement augmenté avec les taux 25 % de remplacement de sable d oued zhour et Boussaâda pour un cure de 7 jours. Par contre l'ajout de sable de brique (75 %) provoque une augmentation de la résistance à la compression à 7 et 28 jours de cure, donnant des valeur 37.38 et 43.87 MPa, respectivement. La résistance à la compression des mortiers de référence Mct à 7, et 28 jours est de 20.44 et 27.2 MPa, respectivement. Cependant la compression a augmenté linéairement avec l'ajout de 25 et 50 % de sable Boussaâda et oued zhour, respectivement, pour les mortiers à 28 jours, qui donne des valeurs maximales de 35.76 et 28.52 MPa, respectivement.

Tous les mortiers testés à base de sable brique ont présenté une tendance de l'augmentation considérables de la résistance à la compression ceci peut être dû à hydratation du ciment. En raison de l'activité pouzzolanique de sable brique produise une formation d'un gel (C-S-H) et réduction de la taille des pores capillaires ce qui rend la structure plus dense. Ainsi que la porosité, une porosité plus faible rend la structure plus dense et résistante.



**Figure IV-8:** La résistance à la compression de mortier à base de sable carrière substituée par différents sables à 7 jours.



**Figure IV-9:** La résistance à la compression de mortier à base de sable carrière substituée par différents sables à 28 jours.

Les figures IV-10, figure IV-11 montrent les résultats de la résistance à la compression de différentes formulations de mortiers à base de sable de Boussaâda et d'Oued Zhour. Le remplacement du sable brique jusqu'à un 75 % engendre une augmentation de résistance par rapport aux mortiers témoins (Mst et Mzt), qui avaient respectivement des valeurs de 15.96 et 16.5 MPa à 7 jours de cure et de 17.06 et 19.01 MPa à 28 jours de cure.

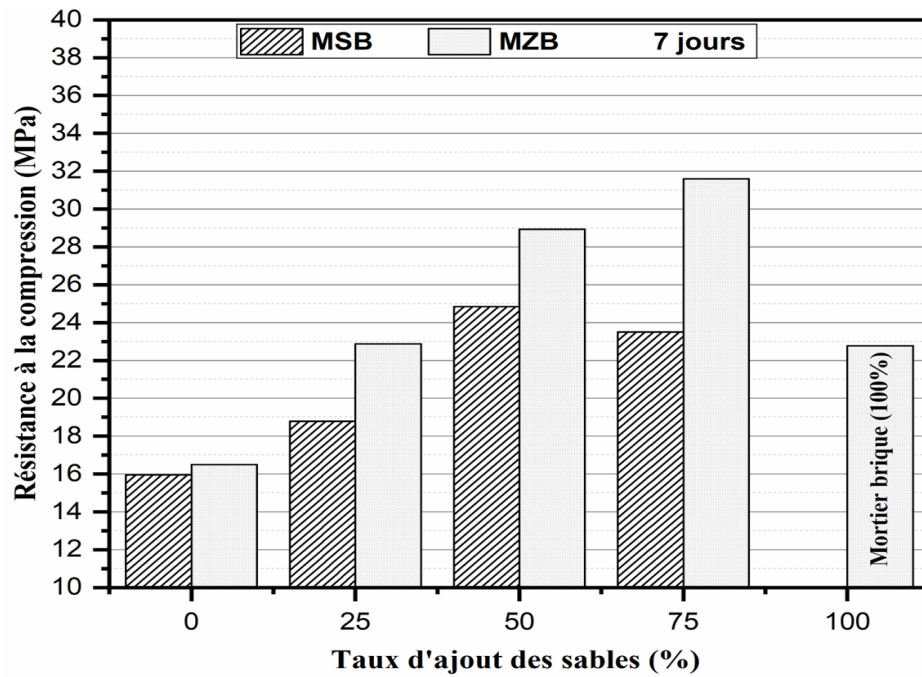


Figure IV-10: Résistance à la compression de mortier à base de sable oued zhour substitue par sable de brique à 7 jours.

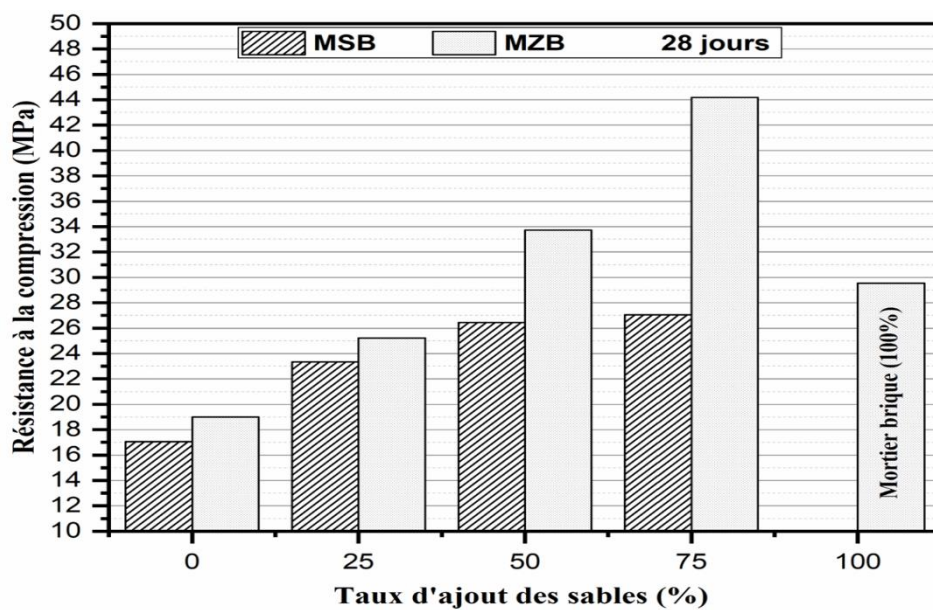


Figure IV-11: Résistance à la compression de mortier à base de sable oued zhour substitue par sable de brique à 28 jours.

#### IV.3.2.2.2 La flexion :

La variation de la résistance à flexion en fonction des taux d'ajouts est représentée par la figure IV-12, figure IV-13

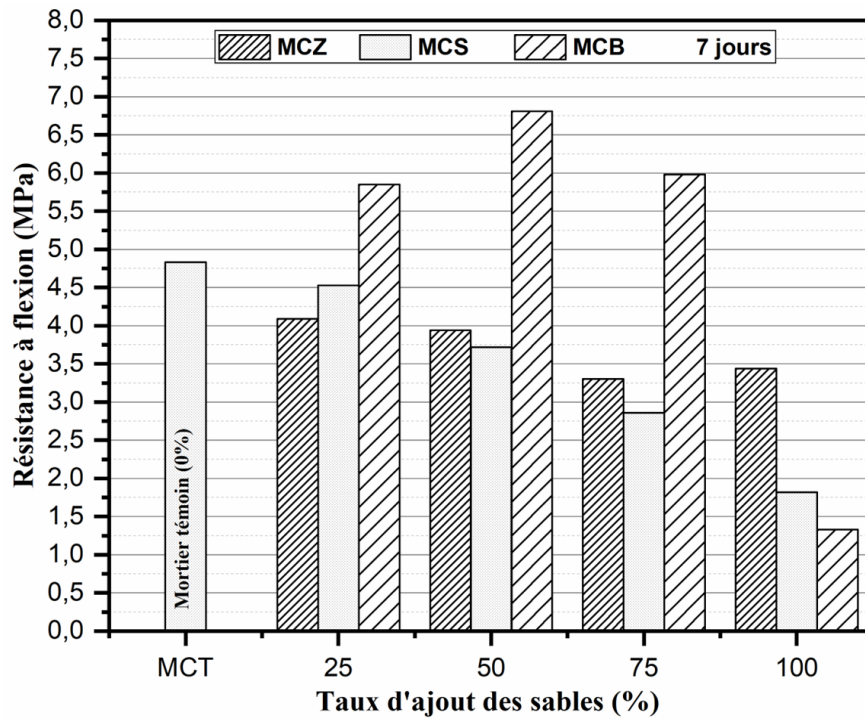


Figure IV-12: La résistance à la flexion de mortier à base de sable carrière substituée par différents sables à 7 jours

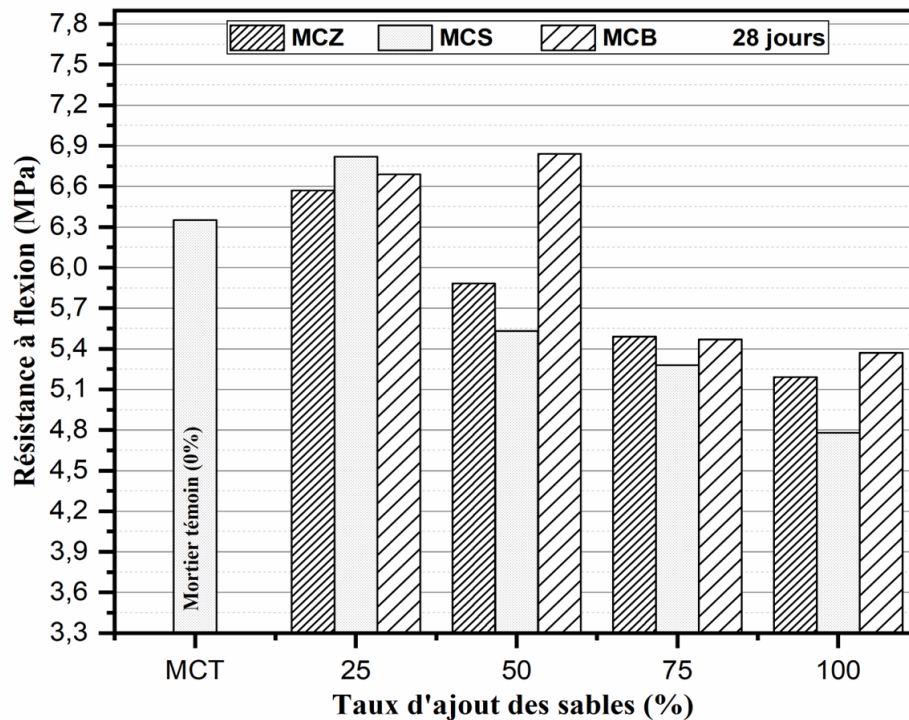


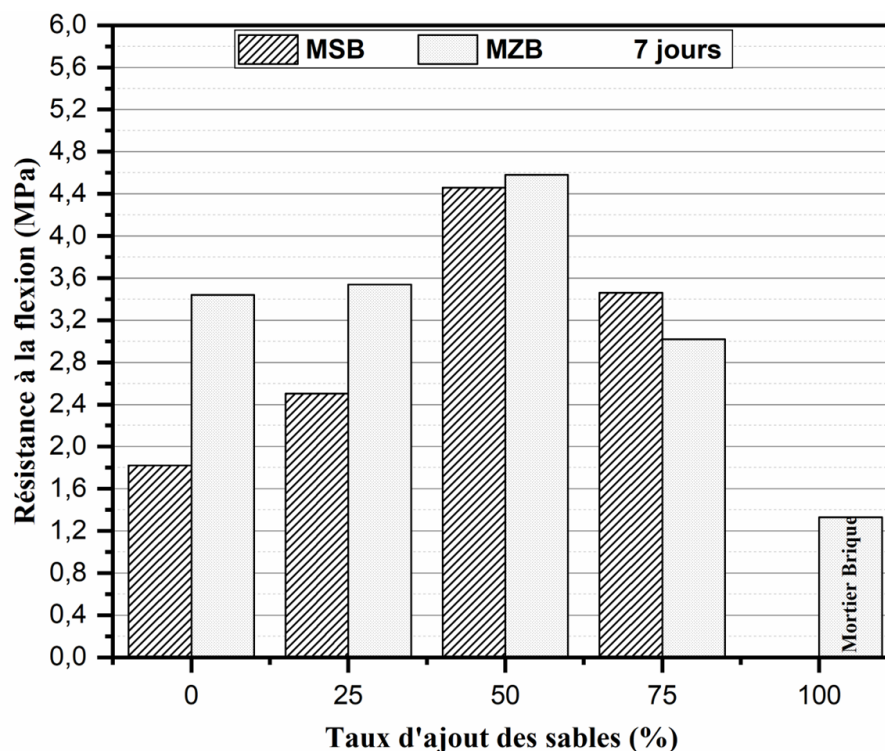
Figure IV-13: La résistance à la flexion de mortier à base de sable carrière substituée par différents sables à 28 jours

Les résistances à la flexion des mortiers témoins (Mct) à 7 et 28 jours sont respectivement de 4,833 et 6,35 MPa. On note que la résistance à 7 jours des mortiers diminue avec l'ajout de sable Boussaâda et oued zhour jusqu'à une valeur de 2,86 ; 3,3 MPa pour les mortiers

Mcs-75 et Mcz-75 respectivement. A l'âge de 28 jours de cure il suit le même cas que celle de 7 jour sauf a 25 % il enregistre une augmentation de 6,82 et 6,57 MPa respectivement pour mortier Mcs-25 et Mcs-25. Par contre quand on ajoute le sable de brique améliore sa résistance à la flexion pour les différents âges 7 et 28 jours de cure. Cela est dû à la granulométrie qui remplit les vides ainsi sa propriété pouzzolanique de chaque sable.

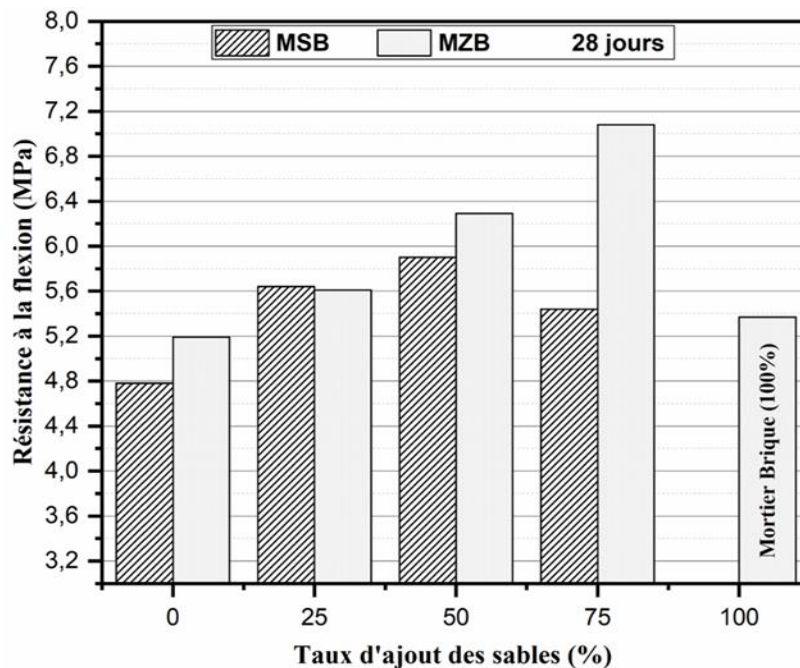
Les figures (figure IV-14, figure IV-15), présente les résultats de la résistance à la flexion des mortiers à base de sable d'Oued Zhou et Boussaâda remplacé par sable de brique.

La résistance à la flexion de mortiers témoins (Mzt) à 7 et 28 jours donne 3,44 ; 5,19 MPa respectivement. On voit que l'ajout de sable de brique améliore la résistance à la flexion des mortiers pour l'âge de 28 jours il donne une meilleure résistance de 7,08MPa pour le mortier de Mzb-75 en raison de la bonne compaction et de l'adhérence mécanique entre les grains de sable de brique et le ciment. A 7 jours les mortiers contenant 50% de sables brique produit une augmentation de résistance jusqu'à la valeur de 4.58 MPa, au-dessus de ce taux, la résistance diminue jusqu'à 3.02 MPa pour le mortier Mzb-75.



**Figure IV-14:**Résistance à la flexion de mortier à base de sable oued zhour et Boussaâda substitue par sable de brique à 7 jours

La résistance à la flexion de mortiers témoins (Mst) à 7 et 28 jours donne 1,82 ; 4,78 MPa respectivement. La résistance à la flexion des mortiers de sable Boussaâda remplacé par le sable de brique augment à mesure que le taux de sable de brique augmente jusqu'à 50 % (4.46 et 5.9MPa). Au-delà de 50%, nous remarquons une diminution de ce paramètre jusqu'à 1.33 et 5.37 MPa pour les mortiers de briques MB a 7 et 28 jours de cure.



**Figure IV-15:**Résistance à la flexion de mortier à base de sable oued zhour et Boussaâda substitue par sable de brique à 28 jours

#### IV.4 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté les résultats des travaux expérimentaux réalisés dans le cadre de notre projet de fin d'études. Nous avons étudié l'effet du remplacement partiel de différents sables de la manière suivante : sable de carrière par sable de Boussaâda, sable de brique et sable de l'oued Zhour ; sable de Boussaâda et de l'oued Zhour par sable de brique, avec des pourcentages de remplacement de 25 %, 50 %, 75 % et 100 %.

L'étude a porté sur les différentes propriétés physico-mécaniques telles que la porosité, l'absorption d'eau, la masse volumique apparente, la résistance à la compression, et la résistance à la flexion à l'état durci ainsi que la masse volumique fraîche à l'état frais.

D'après les résultats obtenus, nous concluons que les mortiers durcis contenant du sable de brique montrent une augmentation de la résistance avec une diminution de la porosité. Cela peut être lié à des volumes très importants du degré d'hydratation du ciment.



# Conclusion générale

### Conclusion générale :

Dans ce mémoire nous avons étudié le comportement physico-mécanique du mortier avec différents types de sables.

A travers l'étude expérimentale nous avons formulé plusieurs compositions du mortier à base de différents types de sables indiqués comme suit (mortiers à base de sable carrière substitués par sable oued zhour ; sable Boussaâda et sable de brique ; mortiers à base sable oued zhour et Boussaâda substitué par sable de brique)

Les résultats obtenus à l'état frais, montrent une influence de la nature du sable sur l'ouvrabilité qui dépend de l'état de surfaces des grains et leurs compositions minéralogiques.

La seconde série d'essai avait pour objectif l'observation du comportement du mortier à l'état durci, on a appliqué des essais de compression et de flexion ainsi que l'absorption d'eau, la masse volumique et la porosité.

Après cette étude expérimentale nous avons obtenus les conclusions suivantes :

- L'ajout de sable de brique réduit le taux d'absorption d'eau, contrairement aux autres sables qui augmentent ce taux. Cela indique que le sable de brique apporte une plus grande quantité de fines, réduisant ainsi le taux de vides présents dans les différents mortiers.
- L'incorporation de sable de brique réduit la porosité du mortier par rapport au mortier témoin, tandis que l'ajout d'autres substituts (sable de Boussaâda et oued Zhour) augmente la porosité.
- La masse volumique des mortiers diminue à chaque ajout de substitut par rapport au mortier de référence, tant à 7 jours qu'à 28 jours.
- Les meilleures résistances en flexion et en compression sont obtenues avec l'ajout de sables de brique cela signifie que la nature des sables influe considérablement les résistances des mortiers étudiés.

En conclusion, cette étude montre que l'incorporation de déchets de brique, par rapport à d'autres types de sable, donne des résultats acceptables pour les propriétés du mortier à l'état frais et à l'état durci. Cela permet de produire des mortiers équivalents et économiques, contribuant ainsi à la réalisation d'objectifs environnementaux.

# Référence bibliographique

### Référence bibliographique

- [1] Dufourny , A (2021). Le mortier dans la construction : composition, propriétés et mise en œuvre . Techniques de l'ingénieur, C2230 V1.<https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/construction-et-travaux-public-th3/matériaux-de-construction-42230210/le-mortiers-dans-la-construction-c2230/>.
- [2] Demix béton : « Mortier autoplaçant » consulté le 21/9/2023 . Tiré de:// [www.demixbeton.ca/wp-content/uploads/mortier-autoplaçant .pdf](http://www.demixbeton.ca/wp-content/uploads/mortier-autoplaçant.pdf).
- [3] HARBI, Radhia. Propriétés physico-mécaniques et durabilité des mortiers avec additions minérales. 2018.thèse de doctorat.
- [4] KHALED, BOUALI. Elaboration et caractérisation thermomécanique des mortiers à base d'ajouts de déchets de briques réfractaires. 2015. Thèse de Doctorat. Boumerdes
- [5] CIMBÉTON, « Collection technique Ciments et bétons, » Conception et réalisation : Am principe Paris, Édition 2005.
- [6] A. KOMAR, " Matériaux et éléments de construction ", Quatrième édition, EditionsMIR. MOSCU.
- [7] BENHAMOU. (1994). « Comportement rhéologique des coulis de liants hydrauliques ultrafins destinée à l'injection », Thèse de doctorat en géologie de L'Ingénieur.
- [8] Al-Araby Al-Jadeed Magazine : « Le sur plus de ciment inquiète le gouvernement algérien » Consulté le 06/09/2021. Tiré de : <https://www.alaraby.co.uk/economy/>
- [9] AOUF idris §CHERIET idris « propriétés fraîches et durcie et durabilité de mortier autoplaçant produit avec poudre de céramique comme substituant du ciment », mémoire master de université Ghardaïa 2022 /2023
- [10] NAOUM, M.A &SAYEH BEN AISSA, K. « Effets du filler calcaire sur la durabilité de mortier autoplaçant exposé aux attaques chimiques ». Mémoire master université de Ghardaïa 2021.
- [11] PLINSKIN L .(1993) " la fabrication du ciment ", Edition Eyrolles , paris , p 2017.

## Référence bibliographique

---

- [12] DAD Celia « étude comparative de l'utilisation du sable de dune en substitution du sable de rivière : cas des mortiers normalisés » mémoire de master génie civile, université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou 2019.
- [13] AYADI Walid Abdelghani, GUENOUNE Abdelmalek, " Valorisation des sables locaux dans la formulation de béton ordinaire", Mémoire Master en : Génie des Matériaux Option : Sciences des matériaux-pour la construction durable UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA-BOUMERDES.
- [14] Balhachemi S. Berrafa F. (2017) : "la valorisation de sable de dune (sable namma) durabilité et comportement mécanique », mémoire de magister en génie civil, centre universitaire Belhadj Bouchaib d aine t émouchent.
- [15] M. GHOMARI F. & Mme BENDI-OUIS A (2008) SCIENCE DES MATERIAUX DE CONSTRUCTION Travaux pratiques, UNIVERSITE ABOUBEKR BELKAID.
- [16] BEDERINA.M (2000) « caractéristiques mécaniques et micro structure de béton de sable » mémoire de magistère université de Laghwat.
- [17] BOUNEDJEMA Yassine (2017) Evaluation des modifications mécaniques Et rhéologiques apportées par le sable de concassage aux mortiers et bétons.
- [18] Zerrouki Imane, Refice Sara « L'influence de sable substitué par du brique sur l'évolution des propriétés physiques et mécaniques des mortiers soumis à de hautes températures » Mémoire master Académique Année universitaire : 2020 /2021.
- [19] WILLIAM.D, CALLISTER.JR « Science et génie des matériaux » modulo Editeur, 2001.
- [20] MICHEL VENUAT, " La pratique des ciments mortiers et bétons ", Tome 1, Caractéristiques des liants et des bétons, Mise en œuvre des coulis et mortiers, Editions du Moniteur.
- [21] SOUMIA, Samia. Formulation d'un mortier avec ajout de pouzzolane naturelle soumis à températures élevées.2016. Mémoire de Master. Université de Mohamed Boudiaf m'sila faculté de technologie.
- [22] Nacéri Abdelghani and Mekloufi Chikouche Hamina, « Use of waste brick as a partial replacement of cement in mortar ». *Waste management* 29.8 (2009) : 2378- 2384.

## Référence bibliographique

---

- [23] Djadouf, S., Tahakourt, A., Chelouah, N., & Merabet, D. (2011). Etude de l'influence des ajouts (grignon d'olive et foin) sur les caractéristiques physicomécaniques de la brique de terre cuite. *Communication Science & technologie*.
- [24] M.Karatas .K,turk , M.acikgence . and Z.C.ulucan . effect of elazing region waste brivk powder on sttrength and viscosity prperties of self compacting mostar , international congress on advances in civil engineering trabzon turkey , vol 37, no, september , pp.27-30,2010.
- [25] Composition of bricks -function og ingredients- civil engineering-  
[Http://civiltoday.com/civil-engineering-materials/brick/132-brick-composition-ingredients-with-functions](http://civiltoday.com/civil-engineering-materials/brick/132-brick-composition-ingredients-with-functions).
- [26] O. Buchsenschutz, "Fabrication de la céramique, "des Gaulois aux Gall., pp. 149–159.
- [27] Nacéri, A. et Chikouche Hamina, M. 2009. Use of waste brick as a partial replacement of cement in mortar, *Waste Management*, 29 : 2378–2384. (Déchet de brique).
- [28] Thirion-Merle, V., *Spectrométrie de fluorescence X*.2014, Editions des archives contemporaines.

### Les normes

NBN-EN 998-2 : Norme belge, des types mortier de maçonnerie normalisé.

NF EN 197-1 : Norme française, les différents types de ciment.

NF EN 1008 : Norme française, de l'eau gâchage.

NF EN 16479 : Norme française, échantillonneur

EN 932-2 : Méthode de réduction d'un échantillon de laboratoire (quartage).

NF EN 1975 : Norme française, essai pour déterminer de la teneur en eau.

NF EN 933-1 : Norme française, essai pour déterminer l'analyse granulométrique des granulats

NF P 18-540 : Norme française, déterminer module de finesse

NF EN 933-8 : Norme française, Evaluation des fines- équivalent de sable.

NF 933-9 : Norme française, qualification des fines, essais au bleu de méthylène.

NF 933-2 : Norme française, essai pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats.

NF EN 1097-6 : Norme française, essai de la masse volumique absolue par la méthode de pycnomètre.

NF P 18-555 : Norme française, essai de la masse volumique absolue par la méthode d'éprouvette gradué.

NF P 18-554 : Norme française, essai de la masse volumique apparent.

NF P 18-555 : Norme française, mesure de coefficient d'absorption des sables.

EN 196-3 : Essai de consistance et de prise du ciment.

NF EN 1015-6 : Norme française, la masse volumique à l'état frais.

NF EN 1015-10 : Norme française, la masse volumique à l'état durci.

NF EN 1015-18 : Norme française, l'absorbions d'eau des mortiers a l'état durci

## Les normes

---

NF EN 196-1 : Norme française, essai à la flexion.

NF EN 206-1 : Norme française, essai de compression.





## NOTICE PRODUIT

## Sika® ViscoCrete®-4037 RMX

SUPERPLASTIFIANT / HAUT RÉDUCTEUR D'EAU POUR BÉTON PRÂT À L'EMPLOI

**INFORMATIONS SUR LE PRODUIT**

Sika® ViscoCrete®-4037 RMX est un superplastifiant/haut réducteur d'eau polyvalent de nouvelle génération à base de polycarboxylates.

**DOMAINES D'APPLICATION**

Sika® ViscoCrete®-4037 RMX permet la fabrication de tout type de béton de consistance plastique à auto-plaçante:

- Béton à faible rapport Eeff/C
- Béton à haute ou très haute performance
- Béton nécessitant une forte réduction d'eau
- Béton autoplaçant ou autonivelant
- Béton pour ouvrages fortement ferrailés
- Béton de génie civil

**CARACTÉRISTIQUES / AVANTAGES**

De par sa formulation spécifique et son fort pouvoir de réduction d'eau, Sika® ViscoCrete®-4037 RMX est particulièrement recommandé pour les ciments à moyenne ou haute teneur en sulfates alcalins.

- Son caractère polyvalent permet de s'adapter à tout type de matériaux et à une large gamme de ciments.
- Confrère au béton Long maintien de rhéologie.
- Diminution du retrait
- Très bonne étanchiéité

**AGRÈMENTS / NORMES**

Marquage CE et Conforme à la norme NF EN 934-2  
Tab 11.1 et 11.2

**DESCRIPTION DU PRODUIT**

<b>Base chimique</b>	Polycarboxylates
<b>Conditionnement</b>	Fût de 200 kg Cubi de 1110 kg Vrac
<b>Durée de Conservation</b>	12 mois dans son emballage d'origine intact
<b>Conditions de Stockage</b>	A l'abri du gel. En cas de gel accidentel, le produit retrouve ses qualités d'origine une fois dégelé lentement et réhomogénéisé.
<b>Aspect / Couleur</b>	Liquide brun clair à brun foncé
<b>Densité</b>	1,06 à 1,07
<b>Valeur pH</b>	5 ± 1,0
<b>Teneur Totale en Ions Chlorure</b>	≤ 0,1 %

### RENSEIGNEMENTS SUR L'APPLICATION

---

#### Dosage

Plage de dosage : 0,4 à 2,5 % du poids du liant ou du ciment selon la fluidité et les performances recherchées.

---

### VALEURS DE BASE

Toutes les valeurs indiquées dans cette Notice Produit sont basées sur des essais effectués en laboratoire. Les valeurs effectives mesurées peuvent varier du fait de circonstances indépendantes de notre contrôle.

### ÉCOLOGIE, SANTÉ ET SÉCURITÉ

Pour obtenir des informations et des conseils sur la manipulation, le stockage et l'élimination en toute sécurité des produits chimiques, les utilisateurs doivent consulter la fiche de données de sécurité (FDS) la plus récente contenant les données physiques, écologiques, toxicologiques et autres données relatives à la sécurité.

### INSTRUCTIONS POUR L'APPLICATION

Sika® ViscoCrete®-4037 RMX est ajouté, soit en même temps que l'eau de gâchage, soit en différé dans le béton préalablement mouillé avec une fraction de l'eau de gâchage.

### RESTRICTIONS LOCALES

Veillez noter que du fait de réglementations locales spécifiques, les données déclarées pour ce produit peuvent varier d'un pays à l'autre. Veuillez consulter la Notice Produit locale pour les données exactes sur le produit.

### INFORMATIONS LÉGALES

Les informations, et en particulier les recommandations concernant les modalités d'application et d'utilisation finale des produits Sika sont fournies en toute bonne foi et se fondent sur la connaissance et l'expérience que Sika a acquises à ce jour de ses produits lorsqu'ils ont été convenablement stockés, manipulés et appliqués dans des conditions normales, conformément aux recommandations de Sika. En pratique, les différences entre matériaux, substrats et conditions spécifiques sur site sont telles que ces informations ou recommandations écrites, ou autre conseil donné, n'impliquent aucune garantie de qualité marchande autre que la garantie légale contre les vices cachés, ni aucune garantie de conformité à un usage particulier, ni aucune responsabilité découlant de quelque relation juridique que ce soit. L'utilisateur du produit doit vérifier par un essai sur site l'adaptation du produit à l'application et à l'objectif envisagés. Sika se réserve le droit de modifier les propriétés de ses produits. Notre responsabilité ne saurait d'aucune manière être engagée dans l'hypothèse d'une application non conforme à nos renseignements. Les droits de propriété détenus par des tiers doivent impérativement être respectés. Toutes les commandes sont soumises à nos conditions générales de vente et de livraison en vigueur. Les utilisateurs doivent impérativement consulter la version la plus récente de la Notice Produit correspondant au produit concerné, accessible sur internet ou qui leur sera remise sur demande.

# Résumé

---

## Résumé

L'objectif principal de cette étude est de corriger la granulométrie du sable de carrière en utilisant différents types de sable (Boussaâda, Oued Zhour et sable de brique) et d'évaluer le comportement du sable de brique dans les mortiers. Les pourcentages de substitution du sable sont définis comme suit : 100 %, 75 %, 50 % et 25 %. Les expérimentations sont effectuées sur des mortiers âgés de 7 et 28 jours, puis comparées à un échantillon témoin pour déterminer la résistance des matériaux obtenus. A travers la phase de caractérisation de notre mortier, plusieurs protocoles d'essais ont été mis en place afin de mettre en évidence les qualités de ce matériau et de promouvoir son usage courant.

Les résultats obtenus ont montré que l'ajoute de 75% de sable de brique permet d'obtenir une nouvelle variété de mortiers composites à hautes performances physico- chimiques et mécaniques, tant à l'état frais que durci.

**Mots clés :** mortier, sable carrière, sable de brique, sable oued zhour, sable Boussaâda, résistance à la compression et flexion, l'absorption d'eau et la porosité.

## Absract

The main objective of this study is to correct the grain size of quarry sand using different types of sand (Boussaâda, Oued Zhour and brick sand) and to evaluate the behavior of brick sand in mortars. The sand substitution percentages are defined as follows : 100%, 75%, 50% and 25%. The experiments are carried out on mortars aged 7 and 28 days, then compared to a control sample to determine the resistance of the materials obtained. Through the characterization phase of our mortar, several test protocols were put in place in order to highlight the qualities of this material and to promote its common use.

The results obtained showed that the addition of 75% brick sand makes it possible to obtain a new variety of composite mortars with high physicochemical and mechanical performances, both in the fresh and hardened state.

**Key words :** mortar, quarry sand, brick sand, Oued zhour sand, Boussaâda sand, compressive and flexural strength, water absorption and porosity.

---