

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur de la Recherche Scientifique
Université Abderrahmane. Mira de Bejaïa



Faculté de Technologie
Département Génie Civil

Mémoire
EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE
Master

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

Spécialité : Structure

Présentée par

TAGUELMIMT Salem

AGHROUD Syla

Thème

Optimisation de la composition du mortier à base de sable de carrière par l'intégration de divers types de sable et d'autres déchets industriels.

Soutenue le : 27/06/2024

Devant le Jury composé de :

Nom et prénom	Grade	Qualité
LAOUBI KHADIDJA	MCB	Président
SLIMANOU HOUSSAM	MCB	Rapporteur
BOUZIANE ABDERREZAK	MCB	Examineur

Année Universitaire : 2023/2024

Remerciements

Au terme de ce travail, je tiens tenons à remercier en premier lieu, notre seigneur Dieu, le tout puissant qui m'a donné la patience, le courage et grâce auxquels j'ai pu achever ce mémoire.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à toutes les personnes et institutions qui ont contribué à la réalisation de ce mémoire de fin d'études.

Tout d'abord, je remercie chaleureusement mon directeur de mémoire, MR : Slimanou Houssam, pour son encadrement, ses conseils avisés, et son soutien constant tout au long de cette recherche. Son expertise et ses encouragements m'ont été précieux à chaque étape de ce travail.

Je remercie également l'ensemble des enseignants et du personnel du département de génie civil pour leur enseignement et leur soutien tout au long de mon parcours académique. Leur dévouement et leur passion pour l'enseignement ont grandement enrichi mon expérience d'apprentissage.

Mes remerciements s'adressent aussi aux membres de mon jury pour avoir accepté d'évaluer ce travail et pour leurs remarques constructives qui contribueront à l'amélioration de cette recherche.

Je tiens à exprimer ma reconnaissance aux laboratoires d'MDC et MDS du département de génie Civil et laboratoire de recherche d'université de Bejaïa, où j'ai pu réaliser une partie de mes recherches expérimentales.

Je remercie également mes collègues et amis pour leur soutien moral et leurs encouragements tout au long de cette aventure académique. Vos encouragements ont été une source de motivation constante.

Enfin, je souhaite exprimer ma plus profonde gratitude à ma famille pour leur amour, leur patience, et leur soutien inconditionnel. Votre présence à mes côtés a été une source inestimable de réconfort et d'inspiration.

À tous, je vous remercie sincèrement.

Table des matières :

Chapitre I : Généralités sur les mortiers et les déchets de briques.	3
I.1 Introduction :	3
I.2 Généralité sur les mortiers :	3
I.2.1 Définition :	3
I.2.2 Les différents types de mortiers :	4
I.2.3 Classe des mortiers :	7
I.2.4 Composants du mortier :	7
I.2.5 Préparation des mortiers :	12
I.2.6 Caractéristiques des mortiers :	13
I.3 Généralité sur les déchets de brique :	13
I.3.1 Définition :	14
I.3.2 Les principales matières premières	14
I.3.3 Processus de fabrication des briques :	15
I.3.4 Transformations physico-chimiques et minéralogiques au cours de la cuisson :	16
I.3.5 Propriétés technologiques de durabilité des briques :	18
I.4 Conclusion :	19
II. Chapitre II : Caractérisation des matières premières et techniques expérimentales. 21	
II.1 Introduction :	21
II.2 Présentation des matériaux utilisés :	21
II.2.1 Les sables :	21
II.2.2 Le ciment :	22
II.2.3 Eau de gâchage :	22
II.2.4 L'adjuvant :	22
II.2.5 Déchet de brique :	23
II.3 Caractérisations physiques des sables :	23
II.3.1 Prélèvement sur le tas (sable) :	23

II.3.2	Quartage :	23
II.3.3	Analyse granulométrique (N F EN 933-1) :.....	24
II.3.4	Le coefficient d'absorption des granulats (NF EN 1097-6):.....	25
II.3.5	Module de finesse (NF EN 933-1):.....	26
II.3.6	Déterminations des masses volumiques :.....	27
II.3.7	Propreté superficielle (NF EN 933-9, NF EN 933-8+A1) :.....	29
II.4	Caractérisations physiques des pâtes de ciment :	32
II.4.1	La consistance normale (E/C) (NF EN 196-3) :.....	32
II.4.2	L'essai de prise (NF EN 196-3):	33
II.5	Caractéristiques physiques des mortiers élaborée:	33
II.5.1	La masse volumique fraîche (NF EN 12350-6) :	34
II.5.2	La masse volumique à l'état sec (NF EN 1936) :.....	34
II.5.3	La masse volumique absolue (ASTM C373-94):.....	35
II.5.4	L'absorption en eau (NF EN 1097-6) :.....	35
II.5.5	La porosité ouverte (ASTM C373-94):.....	35
II.5.6	Résistance à la compression (UNE. (2011). UNE-EN 772-1) :.....	35
II.5.7	La Flexion (ASTM. (n.d.). C348):	36
II.6	Conclusion :.....	36
III.	Chapitre III : Caractérisation physico-chimique des matières premières.	37
III.1	Introduction :.....	37
III.2	Caractéristiques physiques des matériaux :	37
III.2.1	Sable :	37
III.3	Caractérisations physiques des pâtes de ciment :.....	47
III.3.1	Essai de consistance (Eau/Ciment) :.....	47
III.3.2	Essai de prise :	48
III.3.3	Caractérisation physique :.....	49
III.4	La composition chimique :.....	49
III.5	L'eau de gâchage (NF EN 1008):	50
III.6	Le superplastifiant (NF EN 934-2+A1):	50
III.7	Formulation des mortiers :	50

III.8	Conclusion :	53
IV.	Chapitre IV : Les résultats physiques et mécaniques.	54
IV.1	Introduction :	54
IV.2	Confection des mortiers :	54
IV.3	Conservation des éprouvettes :	55
IV.4	Essais sur les mortiers :	55
IV.4.1	La masse volumique fraîche (NF EN 1015-10) :	55
IV.4.2	La caractérisation à l'état durci :	58
IV.5	Conclusion :	74
	Conclusion générale :	75
V.	Les références :	76
VI.	Listes des annexes :	I

Listes des figures :

Figure I-1: Mortier de ciment.....	4
Figure I-2: Mortier de chaux.	4
Figure I-3: Mortier bâtards.....	5
Figure I-4: Mortier réfractaire.....	5
Figure I-5: Mortier rapide.	6
Figure I-6: Mortier industriel.	6
Figure I-7: Les composants du mortier.....	7
Figure I-8: Sable de rivière.	9
Figure I-9: Sable marin.	9
Figure I-10: Sable carrière.	10
Figure I-11: Sable artificiel.	10
Figure I-12: Sable de dune.	10
Figure I-13 : Schéma de fabrication des briques.....	16
Figure I-14: Modèles de briques : pleine, creuse et réfractaire.....	16
Figure II-1: Les différents sables utilisées, Carrière (A), Boussaâda (B), Ouad zhour (C), la Brique (D).	21
Figure II-2: Le ciment CPJ CEM II/R de classe 42,5.....	22
Figure II-3 : Superplastifiant de type VISCOCRETE TEMPO 12 fourni par SIKA..	22
Figure II-4: Prélèvement d'un échantillon sur le tas.....	23
Figure II-5: La méthode de quartage d'un échantillon.....	24
Figure II-6: La colonne des tamis utilisés.....	24
Figure II-7 : Mesure de la masse volumique absolue des granulats au éprouvettes graduée.	28
Figure II-8: L'essai au bleu de méthylène.....	30
Figure II-9: Essais d'équivalent de sable.....	31
Figure II-10: Appareille de Vicat muni de sonde de consistance.....	32
Figure II-11: Appareille de Vicat muni de l'aiguille amovible.....	33
Figure II-12: Dispositif de rupture en compression.....	36
Figure II-13: Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion.....	36
Figure III-1: Mesure de la masse volumique apparente.....	38
Figure III-2: Mesure de la masse volumique absolue.....	38
Figure III-3 : Mesure du degré d'absorption d'eau des sables.....	39
Figure III-4: Courbe Granulaires du sable carrière (0/4).....	41
Figure III-5: Courbe Granulaires du sable Ouad zhour (0/2).	42
Figure III-6: Courbe Granulaires du sable Boussaâda (0/1).....	44

Figure III-7: Courbe Granulaires du sable de brique (0/2).	45
Figure III-8: Mesure de la consistance de ciment.....	48
Figure III-9: Mesure de l'essai de prise du ciment (Heures de Début et de Fin de Prise).	49
Figure IV-1: Malaxeur du mortiers (A), le moule à prisme (B), et table à choc (C). .	54
Figure IV-2: Mode de conservation des éprouvettes.	55
Figure IV-3: Mesure de la masse volumique à l'états frais.	55
Figure IV-4: Résultats de la masse volumique des mortiers témoins à l'état frais.....	56
Figure IV-5: Résultats de la masse volumique des mortiers témoins à l'état durci.....	59
Figure IV-6: Résultats de la porosité des mortiers témoins.	62
Figure IV-7: Résultats de l'absorbions d'eau des mortiers témoins.	65
Figure IV-8 : L'écrasement d'éprouvette à l'essai de compression.	68
Figure IV-9: Résultats de l'essai de compression des mortiers témoins.....	68
Figure IV-10 : L'essai de la flexion sur les éprouvettes.	71
Figure IV-11: Résultats de l'essai de flexion des mortiers témoins.....	72

Listes des tableaux :

Tableau I-0-1: Dosages des mortiers.	12
Tableau III-1: La masse volumique apparente des différents sables.....	37
Tableau III-2: La masse volumique absolue des différents sables.	38
Tableau III-3: Degré d'absorption d'eau des sables.	39
Tableau III-4: Analyse granulométrique du sable carrière (0/4).	40
Tableau III-5: Analyse granulométrique du sable Ouad zhour (0/2).	42
Tableau III-6: Analyse granulométrique du sable Boussaâda (0/1).	43
Tableau III-7 : Analyse granulométrique de sable de brique (0/2).	45
Tableau III-8: Résultat au bleu méthylène pour les différents sables.	46
Tableau III-9: Résultat d'équivalent de sable des différents sables.	47
Tableau III-10: Consistance normale de la pâte de ciment.	47
Tableau III-11: L'essai de prise du ciment (Heures de Début et de Fin de Prise).	48
Tableau III-12: Caractérisations physique de ciment.	49
Tableau III-13: La composition chimique (% en masse) de toute la matière première.	50
Tableau III-14 : Les compositions du mortier témoin.....	51
Tableau III-15 : Les compositions du mortier et les différentes gâchées réalisées avec (75%) du sable carrière.	51
Tableau III-16 : Les compositions du mortier et les différentes gâchées réalisées avec (50%) du sable de carrière.....	52
Tableau III-17 : Les compositions du mortier et les différentes gâchées réalisées avec (25%) du sable de carrière.....	52
Tableau III-18 : Les compositions du mortier et les différentes gâchées réalisées sans sable de carrière.....	53
Tableau IV-1: Résultats de la masse volumique des mortiers à l'état frais pour divers mélanges de sable, indiquant les différentes combinaisons de sable carrière à 75%.....	56
Tableau IV-2: Résultats de la masse volumique des mortiers à l'état frais pour divers mélanges de sable, indiquant les différentes combinaisons de sable carrière à 50 %.....	57
Tableau IV-3: Résultats de la masse volumique des mortiers à l'état frais pour divers mélanges de sable, indiquant les différentes combinaisons de sable carrière à 25 %.....	57
Tableau IV-4: Résultats de la masse volumique des mortiers à l'état frais pour divers mélanges sans le sable carrière.....	58
Tableau IV-5: Résultats de la masse volumique des mortiers à l'état durci pour divers mélanges de sable, indiquant les différentes combinaisons de sable carrière à 75%.....	60

Tableau IV-6: Résultats de la masse volumique des mortiers à l'état durci pour divers mélanges de sable, indiquant les différentes combinaisons de sable carrière à 50%	60
Tableau IV-7: Résultats de la masse volumique des mortiers à l'état durci pour divers mélanges de sable, indiquant les différentes combinaisons de sable carrière à 25%	61
Tableau IV-8 : Résultats de la masse volumique des mortiers à l'état durci pour divers mélanges sans le sable carrière.....	61
Tableau IV-9: Résultats de la porosité des mortiers pour divers mélanges de sable, indiquant les différentes combinaisons de sable carrière à 75%	63
Tableau IV-10: Résultats de la porosité des mortiers pour divers mélanges de sable, indiquant les différentes combinaisons de sable carrière à 50%	63
Tableau IV-11: Résultats de la porosité des mortiers pour divers mélanges de sable, indiquant les différentes combinaisons de sable carrière à 25%	64
Tableau IV-12: Résultats de la porosité des mortiers à l'état durci pour divers mélanges sans le sable carrière.....	64
Tableau IV-13: Résultats de l'absorbions des mortiers pour divers mélanges de sable, indiquant les différentes combinaisons de sable carrière à 75%	66
Tableau IV-14: Résultats de l'absorbions des mortiers pour divers mélanges de sable, indiquant les différentes combinaisons de sable carrière à 50%	66
Tableau IV-15: Résultats de l'absorbions des mortiers pour divers mélanges de sable, indiquant les différentes combinaisons de sable carrière à 25%	67
Tableau IV-16: Résultats de l'absorption des mortiers à l'état durci pour divers mélanges sans le sable carrière.....	67
Tableau IV-17: Résultats de l'essai de compression des mortiers pour divers mélanges de sable, indiquant les différentes combinaisons de sable carrière à 75%	69
Tableau IV-18: Résultats de l'essai de compression des mortiers pour divers mélanges de sable, indiquant les différentes combinaisons de sable carrière à 50%	69
Tableau IV-19 : Résultats de l'essai de compression des mortiers pour divers mélanges de sable, indiquant les différentes combinaisons de sable carrière à 25%	70
Tableau IV-20: Résultats de l'essai de compression des mortiers pour divers mélanges sans le sable carrière.....	70
Tableau IV-21 : Résultats de l'essai de flexion des mortiers pour divers mélanges de sable, indiquant les différentes combinaisons de sable carrière à 75%.....	72
Tableau IV-22: Résultats de l'essai de flexion des mortiers pour divers mélanges de sable, indiquant les différentes combinaisons de sable carrière à 50%.....	73
Tableau IV-23: Résultats de l'essai de flexion des mortiers pour divers mélanges de sable, indiquant les différentes combinaisons de sable carrière à 25%.....	73

Tableau IV-24 : Résultats de l'essai de flexion des mortiers pour divers mélanges sans le sable carrière..... 74

Listes des abréviations :

Ab : Le coefficient d'absorption des granulats.

MF : Le module de finesse.

ρ_{abs} : Masse volumique absolue.

ρ_{app} : Masse volumique apparente.

VB : Bleu de méthylène.

ESP : Équivalent de sable.

ρ_n : La masse volumique a l'états frais.

ρ_d : La masse volumique à l'état sec.

P (%) : La porosité.

ABS (%) : L'absorption en eau.

C : Sable de Carrière.

S : Sable de Boussaâda.

W : Sable de Ouad zhour.

B : Sable de Brique.

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale :

Depuis de nombreuses années, dans la plupart des pays, qu'ils soient industrialisés ou en voie de développement, de nombreuses initiatives ont été entreprises pour optimiser l'utilisation des matériaux locaux. Dans ce contexte de raréfaction progressive des granulats dans certaines régions, du coût élevé du transport et de l'abondance des sables, l'intérêt économique et écologique de valoriser les sables locaux, souvent peu ou pas exploités, est apparu évident dès le départ pour la production de mortier, dont les sables constitueraient l'élément principal. Ce matériau est désigné sous le terme de mortier de sable.

L'optimisation du mortier à base de sable de carrière, par l'intégration de divers types de sable, constitue une démarche prometteuse pour en améliorer les performances. Le sable de carrière, avec ses granulométries spécifiques, fournit une base solide pour la formulation de mortiers de haute qualité. Afin d'optimiser davantage les caractéristiques mécaniques, l'utilisation de certains déchets couramment produits dans diverses industries de la construction présente un double avantage : réduire la quantité de déchets envoyés en décharge tout en préservant les ressources naturelles. Parmi ces déchets, le sable issu de débris de brique sera utilisé.

L'objectif principal de ce mémoire de fin d'études est d'optimiser le mortier à base de sable de carrière en intégrant différents types de sables, y compris le sable issu de déchets de brique. À travers une série d'essais expérimentaux rigoureux, nous analyserons les effets de cette incorporation sur diverses propriétés physico-mécaniques des matériaux de construction, telles que la résistance mécanique, la flexion, la porosité, et d'autres caractéristiques essentielles. L'incorporation de ces sables dans les formulations de mortier cimentaire pourrait non seulement contribuer à la réduction des déchets, mais aussi améliorer les propriétés physico-mécaniques des matériaux résultants.

Pour suivre l'évolution des échantillons de mortier confectionnés avec différents pourcentages de déchets de brique et autres sables, des essais ont été effectués avec un taux de substitution allant de 0 à 100 %. Les échantillons ont été évalués à 7 et 28 jours pour déterminer les qualités physico-mécaniques des mortiers réalisés. Des tests ont été conduits sur les mortiers à l'état frais et durci afin d'analyser l'influence des différents types de sable sur les performances du mortier. Ce travail est structuré en quatre chapitres :

Le premier chapitre propose une revue bibliographique des principales caractéristiques des mortiers incorporant des déchets industriels tels que les briques.

Le second chapitre présente les matériaux et méthodes. Toutes les techniques de caractérisation et les expérimentations réalisées au cours de l'étude sont décrites, ainsi que le protocole de préparation des fines de brique.

Le troisième chapitre est consacré à la caractérisation des composants des mortiers testés et aux méthodes de formulation adoptées.

Le quatrième chapitre analyse les résultats des essais expérimentaux et évalue chaque échantillon de mortier élaboré.

Enfin, une conclusion générale résume les principaux résultats obtenus au cours de cette étude et envisage les perspectives futures basées sur ces résultats.

***Chapitre I : Généralités sur les mortiers et
les déchets de briques.***

Chapitre I : Généralités sur les mortiers et les déchets de briques.

I.1 Introduction :

Ce chapitre offre une revue de bibliographique sur les principales caractéristiques des mortiers incorporant des déchets industriels tels que les briques.

- La première section met en évidence l'importance du mortier et ses applications dans le secteur de la construction.
- La deuxième section aborde la question du recyclage des déchets industriels et son intégration dans le domaine du génie civil.

I.2 Généralité sur les mortiers :

Les mortiers cimentaires jouent un rôle fondamental dans l'industrie de la construction, assurant la liaison efficace des divers éléments structurels tels que les briques, les blocs de béton et les carreaux de céramique. Dans les civilisations anciennes les mortiers étaient largement utilisés pour la construction de structures diverses, y compris des pyramides, des temples et des routes pavées.

Les Grecs et les Romains ont également développé leurs propres techniques de fabrication de mortiers, en utilisant des liants à base de chaux ou de pouzzolane, un type de roche volcanique, mélangés à du sable et de l'eau.

Au fil du temps, les techniques de fabrication et les formulations de mortiers ont évolué, intégrant de nouveaux matériaux et processus pour améliorer leurs performances et leur durabilité. L'avènement des ciments Portland au XIXe siècle a marqué une étape importante dans l'histoire des mortiers, offrant un liant hydraulique plus efficace et résistant que les liants à base de chaux traditionnels.

I.2.1 Définition :

Le mortier représente un assemblage cohérent de différents composants, incluant un liant, du sable, de l'eau, et parfois des adjuvants. Ce mélange, largement employé dans le secteur de la construction, assure la liaison efficace entre divers éléments tels que les briques, les pierres, les blocs de béton, et autres matériaux. En outre, il est utilisé pour le revêtement et l'enduit de surfaces, ainsi que pour le remplissage de joints ou de cavités [1].

I.2.2 Les différents types de mortiers :

Il existe différents mortiers selon le liant utilisé :

I.2.2.1 Les mortiers de ciment :

Les mortiers de ciment (Figure I-1) se caractérisent par leur haute résistance, leur prise rapide et leur durcissement efficace. Cependant, les mortiers de ciment Portland peuvent présenter des inconvénients, notamment un manque de plasticité, une faible capacité de rétention d'eau et une difficulté de mise en œuvre. Le rapport typique entre le ciment et le sable est généralement de 1/3 en volume, tandis que le rapport de l'eau sur ciment est environ 1/2. De plus, un dosage élevé en ciment confère une quasi-imperméabilité au mortier. Toutefois, ces mortiers sont souvent sujets au phénomène de retrait [2].



Figure I-1: Mortier de ciment.

I.2.2.2 Le mortier de chaux :

Le mortier de chaux (Figure I-2) est un matériau utilisé en construction, élaboré à partir de chaux hydratée, de sable et d'eau. Apprécié pour sa flexibilité et sa capacité à favoriser la respiration des murs, ce matériau est couramment employé dans la construction et la restauration de bâtiments historiques. De plus, il trouve également des applications modernes où une certaine souplesse est requise [3].



Figure I-2: Mortier de chaux.

I.2.2.3 Les mortiers bâtards:

Le mortier bâtard (Figure I-3), un élément essentiel dans la construction, est constitué d'un mélange de ciment et de chaux. Il se distingue par ses caractéristiques intermédiaires entre

le mortier de ciment pur et le mortier de chaux pure. La présence de chaux confère au mortier une plasticité qui réduit le risque de fissuration, par rapport au mortier de ciment pur. En parallèle, la présence de ciment augmente la résistance du mortier et accélère son temps de durcissement [4].



Figure I-3: Mortier bâtards.

I.2.2.4 Le mortier réfractaire :

Le mortier réfractaire (Figure I-4) représente un matériau de construction spécialement élaboré pour résister à des températures élevées. Sa composition typique inclut du ciment fondu et des agrégats réfractaires. Ce matériau est largement employé dans diverses applications, notamment la construction de cheminées, de fours industriels et d'autres structures soumises à des conditions de chaleur intense [5].



Figure I-4: Mortier réfractaire.

I.2.2.5 Le mortier rapide :

Le mortier rapide (Figure I-5), un composant essentiel dans la construction, partage des similitudes avec le mortier traditionnel, étant composé de ciment, de sable et d'eau. Cependant, il se distingue par l'ajout d'adjuvants spécifiques qui accélèrent le processus de prise du mortier. Cette formulation particulière permet au mortier de durcir rapidement tout en offrant une

résistance accrue. En conséquence, il trouve une application privilégiée dans les travaux de scellement nécessitant une exécution rapide [6].



Figure I-5: Mortier rapide.

I.2.2.6 Mortier Industriel :

Le mortier industriel (Figure I-6) est un mélange sec d'ingrédients soigneusement sélectionnés, conditionné en sac et préparé en usine pour être entièrement opérationnel. Il est généralement conçu pour une utilisation pratique, où il suffit d'ajouter la quantité d'eau nécessaire et de mélanger. Les fabricants de mortier proposent une gamme variée de produits pour répondre à différents besoins, comprenant :

- Des mortiers de différentes couleurs.
- Des mortiers étanches.
- Des mortiers d'isolation thermique.
- Des mortiers de nivellement.
- Des mortiers de scellement.
- Des mortiers pour chapes.
- Des mortiers-colles pour carrelage à base de plâtre ou de ciment. [7]



Figure I-6: Mortier industriel.

I.2.3 Classe des mortiers :

Les mortiers sont généralement classés en fonction de leur domaine d'application, qui est très vaste. Parmi les catégories les plus courantes, on peut citer [8]:

- Mortier dépose.
- Mortier déjoints.
- Mortier pour les crépis.
- Mortier pour le sol.
- Mortier pour les stucs.
- Pierres artificielles.
- Support pour les peintures murales.
- Mortier d'injection.
- Mortier pour les mosaïques.
- Mortier de réparation pour pierre.

I.2.4 Composants du mortier :

Les constituants essentiels des mortiers comprennent le sable, le liant et l'eau (Figure I-7). Depuis le début du 20e siècle, le ciment Portland demeure le liant le plus fréquemment employé, toutefois, le mortier traditionnel à base de chaux conserve son utilité dans certaines constructions contemporaines.

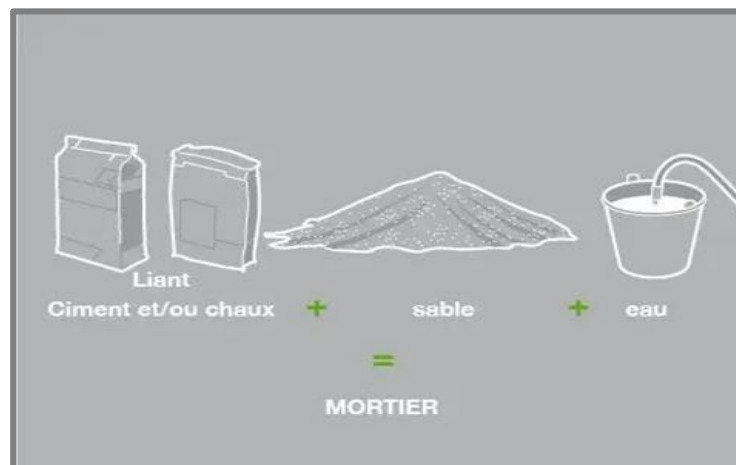


Figure I-7: Les composants du mortier.

I.2.4.1 Le ciment :

Le ciment, une substance en poudre, est produit à partir du clinker, résultant de la fusion chimique du calcaire et de l'argile. Après broyage et homogénéisation, le mélange cru est introduit dans un four rotatif où il est chauffé à une température d'environ 1450°C suivi avec un refroidissement rapide. En tant que liant hydraulique, il réagit avec l'eau pour durcir et

acquérir une solidité et une résistance considérables [9]. Le ciment est constitué de 4 phases minérales majoritaires :

- L'alite C_3S : $(CaO)_3(SiO_2)$: 40 à 70 %;
- La bélite C_2S : $(CaO)_2(SiO_2)$: 0 à 30 %;
- De calcium C_3A : $(CaO)_3(Al_2O_3)$: 2 à 15 %;
- Le Ferro-aluminate de calcium C_4AF : $(CaO)_3(Al_2O_3)(Fe_2O_3)$: 0 à 15 %

Les matières premières, issues des carrières naturelles, comprennent principalement les roches calcaires et les argiles, dont la composition est généralement exprimée en termes d'oxydes tels que CaO , SiO_2 , Al_2O_3 et Fe_2O_3 .

Cependant, en raison de contraintes économiques, le choix des matières premières est strictement limité. Les calcaires utilisables comprennent le calcaire, la pierre à ciment, la marne et les coquillages marins. Toutefois, les calcaires riches en carbonate de magnésium sont généralement évités en raison du risque d'expansion associé à une teneur en magnésium supérieure à 5% dans le ciment Portland peut entraîner une expansion indésirable, susceptible de causer des fissures et des ruptures dans le béton. La craie, bien qu'utilisée, peut contenir des galets de silex qui doivent être éliminés, tandis que la marne peut contenir un excès de sable siliceux.

Par ailleurs, le broyage du calcaire pur nécessite une grande quantité d'énergie en raison de sa dureté, mais il doit contenir une forte teneur en $CaCO_3$. En ce qui concerne l'argile, elle doit contenir plus de 40% de SiO_2 ainsi que des proportions significatives d' Al_2O_3 et Fe_2O_3 , ces oxydes constituant la base de la structure des minéraux du clinker.

Le mélange cru est finement broyé et homogénéisé pour favoriser les réactions chimiques entre les différents constituants. Il est important de noter que la teneur en magnésium dans le mélange cru doit être contrôlée car elle peut avoir un effet négatif sur les propriétés du ciment. Une teneur en magnésium supérieur à 5% peut retarder la prise du ciment, réduire sa résistance et augmenter sa sensibilité aux sulfates.

Actuellement, il existe quatre voies de synthèse pour la production de clinker [10].

1.2.4.2 Le sable :

Le sable, une matière minérale présente dans le sol sous forme de grains ou de poudre, peut être siliceux ou calcaire, selon sa composition. Son introduction dans les mélanges de construction, tels que les mortiers, permet de réduire le retrait du liant, tout en améliorant les propriétés mécaniques. De plus, sa disponibilité et son aspect esthétique, notamment sa couleur, en font un matériau apprécié dans de nombreuses applications. Les sables de qualité présentent

une granulométrie équilibrée, avec des grains fins, moyens et gros. Les grains fins remplissent les espaces entre les grains plus gros, contribuant ainsi à réduire les variations de volume, les dégagements de chaleur et même les coûts. Pour assurer des dosages précis, il est recommandé de mesurer le sable par poids plutôt que par volume, afin d'éviter les erreurs liées à l'augmentation de volume du sable humide [11].

Différents types de sable sont utilisés dans la construction, chacun ayant ses caractéristiques propres [12]:

- Le sable de rivière (Figure I-8), obtenu par dragage des cours d'eau, doit être dur et propre pour être utilisé dans les bétons.



Figure I-8: Sable de rivière.

- Le sable de mer (Figure I-9), provenant des côtes marines, doit être suffisamment gros et être lavé pour éliminer le sel avant son utilisation dans les bétons.



Figure I-9: Sable marin.

- Le sable de carrière (Figure I-10), bien que largement disponible, contient souvent de l'argile qui enveloppe les grains, ce qui nuit à leur adhérence aux liants et le rend inadapté à une utilisation dans les bétons.



Figure I-10: Sable carrière.

- Le sable artificiel (Figure I-11), obtenu par concassage de roches dures telles que le calcaire ou le grès, peut être utilisé dans les bétons, mais il peut contenir un excès de fines, ce qui doit être limité.



Figure I-11: Sable artificiel.

- Le sable de dune (Figure I-12), une variété de sable marin, est très fin et se trouve principalement dans les régions sud du pays, en zone présaharienne. Ces sables, provenant des dunes continentales du Sahara, sont particulièrement adaptés à certaines applications spécifiques.



Figure I-12: Sable de dune.

I.2.4.3 L'eau de gâchage :

L'eau joue un rôle essentiel dans la fabrication du mortier en activant le liant. Cependant, un excès d'eau peut compromettre la qualité du mortier, le rendant poreux, moins résistant, et

retardant son durcissement. De plus, un mortier excessivement humide sera plus sujet au retrait [13].

I.2.4.4 Les adjuvants :

Les adjuvants, qu'ils se présentent sous forme liquide ou en poudre, sont ajoutés en faible quantité (environ 0,5 litre pour 35 kg de ciment) dans le mélange d'eau, de sable et de liant. Leur incorporation vise à améliorer la résistance et à conférer certaines propriétés spécifiques au mortier.

Parmi les différents types d'adjuvants disponibles, on trouve :

- Les plastifiants, qui augmentent l'homogénéité et l'élasticité du mortier.
- Les fluidifiants, qui facilitent l'humidification des grains de ciment.
- Les colorants, permettant de modifier la couleur du mortier selon les préférences esthétiques.
- Les entraîneurs d'air, qui renforcent la résistance du mortier au gel, aux intempéries et aux agressions hydriques.
- Les accélérateurs de prise, favorisant une hydratation rapide des grains de ciment. Ils sont particulièrement utiles par temps froid pour accélérer la prise et garantir un durcissement complet du mortier.
- Les retardateurs de prise, agissant de manière opposée aux accélérateurs de prise. Ils sont utilisés lors de conditions exceptionnellement chaudes et sèches pour retarder le processus de prise.

Il convient de noter que l'ajout d'adjuvants lors de la fabrication du mortier n'est pas toujours indispensable, mais peut être bénéfique pour obtenir des propriétés spécifiques selon les besoins du projet. [14].

I.2.4.5 Les ajouts :

Les cendres volantes, le laitier de haut fourneau granulé broyé, la fumée de silice et les pouzzolanes naturelles, telles que le schiste calciné, l'argile calcinée ou le métakaolin, sont des matériaux qui, une fois mélangés au ciment portland, améliorent les propriétés des bétons et mortiers durcis par action hydraulique, pouzzolanique, voire les deux simultanément. Ces matériaux réagissent avec le ciment lors du processus d'hydratation [15], entraînant :

- $C_3S + H_2O = C - S - H + CH$ (réaction rapide)
- $Pouzzolane + CH = C - S - H + C - A - H$ (réaction lente)

Les réactions qui se déroulent sont :

- $\text{SiO}_2 + \text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{C} - \text{S} - \text{H}$ (Silicate calcique hydraté)
- $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{C} - \text{A} - \text{H}$ (Aluminate calcique hydraté)

I.2.4.6 Les liants :

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

Généralement, on peut utiliser: [16]

- Les ciments normalisés (grisou blanc).
- Les ciments spéciaux (alumineux fondu, prompt...).
- Les liant maçonner.
- Les chaux hydrauliques naturelles.
- Les chaux éteintes.

I.2.5 Préparation des mortiers :

Les quantités requises pour préparer les mortiers varient en fonction des dosages spécifiques et des travaux à réaliser, comme indiqué dans le tableau I-1 ci-dessous :

Tableau I-1: Dosages des mortiers.

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

Pour le mélange des constituants, un malaxeur à mortier est utilisé. Dans un premier temps, tous les composants solides et secs sont introduits dans le malaxeur, notamment le ciment et le sable. Le malaxage se poursuit pendant trois minutes à vitesse lente pour assurer une bonne dispersion des matériaux, jusqu'à ce que le mélange présente une couleur homogène.

Ensuite, le mélange contenant 80 % d'eau, le stabilisant et les autres composants liquides (adjuvants) sont ajoutés dans un deuxième temps. Le malaxage se poursuit pendant deux minutes à vitesse lente. Si des grumeaux se forment, les 20 % d'eau restants peuvent éventuellement être ajoutés dans un troisième temps, suivi d'un malaxage pendant 2 minutes à vitesse lente.

Enfin, tout le mélange est malaxé pendant trois à quatre minutes à vitesse rapide dans un quatrième temps. Le mortier est considéré comme correctement humidifié lorsque, en passant le plat de la pelle dessus, sa surface devient lisse et que l'eau remonte en surface [17].

I.2.6 Caractéristiques des mortiers :

Les caractéristiques principales des mortiers sont :

I.2.6.1 Prise :

La détermination du temps de prise est généralement effectuée sur une pâte de ciment pure présentant une consistance normale, avec une teneur en eau comprise entre (24 et 30 %), conformément aux normes spécifiques définies.

I.2.6.2 Résistances mécaniques :

Les essais sont couramment réalisés sur des éprouvettes prismatiques de dimensions $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$, conservées dans l'eau à une température de 20°C . Ces éprouvettes sont soumises à des essais de rupture en traction par flexion, puis en compression. Les résistances, tant en traction par flexion qu'en compression, augmentent généralement de manière logarithmique avec le temps, sur une période allant de 1 à 28 jours. [18]

I.2.6.3 Retraits et gonflements :

Les tests de retrait et de gonflement des mortiers sont réalisés sur des prismes de dimensions $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}$, Au fil du temps, le rapport entre le retrait de la pâte pure et celui du mortier augmente. Initialement d'environ 1,5 à 2,5 mm au cours des premiers jours, ce rapport s'accroît pour atteindre 2,5 à 3,5 mm en un an. En moyenne, le retrait observé sur le mortier est de 2 à 3 fois inférieur à celui de la pâte pure, utilisant le même type de ciment. Les retraits demeurent généralement modestes, notamment dans le cas d'un ciment stable présentant une expansion réduite lors du test à l'aiguille de Le Chatelier, inférieure à 10 mm sur la pâte pure. [19]

I.2.6.4 Masse volumique apparente et absolue :

La masse volumique est définie comme la quantité de masse d'un corps par unité de volume apparent à l'état naturel, incluant les vides et les capillaires. C'est également la masse d'un corps par unité de volume absolu de matière pleine, excluant les vides et les pores. Cette mesure est exprimée en unités telles que (g/cm^3), (kg/m^3) ou (t/m^3). [20,21]

I.3 Généralité sur les déchets de brique :

Dans le contexte actuel de préoccupations environnementales croissantes et de recherche de solutions durables dans le domaine de la construction, la gestion des déchets est devenue une préoccupation majeure pour les professionnels du génie civil. Parmi les divers types de déchets générés par l'industrie de la construction, les déchets de brique représentent une composante significative mais souvent négligée.

Les déchets de brique résultent généralement de divers processus de construction et de démolition, allant de la démolition d'anciens bâtiments à la production excédentaire de briques lors de projets de construction. Malheureusement, ces déchets de brique sont souvent destinés à l'enfouissement ou à la décharge, contribuant ainsi à la pollution de l'environnement et à l'épuisement des ressources naturelles.

Cependant, ces déchets de brique ne sont pas simplement un fardeau écologique ; ils représentent également une opportunité inexploitée pour le secteur du génie civil. En effet, les briques recyclées peuvent être utilisées de manière innovante dans la construction, notamment en tant que matériau constitutif dans la fabrication de mortiers. Cette utilisation des déchets de brique dans les mortiers offre ainsi une solution durable et économiquement viable pour réduire les impacts environnementaux tout en conservant les ressources précieuses.

I.3.1 Définition :

La brique est un élément de construction se présente sous deux principaux types :

La brique crue est obtenue par moulage et séchage d'une terre argileuse, tandis que la brique cuite résulte d'un processus de cuisson de cette même terre argileuse.

Dans les régions étudiées, la brique en terre cuite est largement utilisée dans la construction depuis la fin du XIXe siècle. Cette pratique est rendue possible par l'abondance de sols riches en argile, propices à la fabrication de briques en terre cuite. Bien que le processus de fabrication des briques cuite reste globalement similaire à celui du XIXe siècle, des adaptations ont été apportées aux machines et aux coûts énergétiques dans un souci d'efficacité économique et écologique [22].

I.3.2 Les principales matières premières

Les matières premières utilisées dans la fabrication des produits de terre cuite sont

Principalement :

I.3.2.1 Les argiles :

Les argiles sont des matériaux essentiels dans le façonnage grâce à leur caractère plastique. Dans la littérature spécialisée, différentes définitions du terme "argile" sont proposées. Eslinger et Peaver [22] définissent les argiles comme les minéraux prédominants dans la fraction fine $< 2 \mu\text{m}$ des roches et des sols. En revanche, Weaver [23] tous les minéraux phyllosilicatés sans référence spécifique à la taille. En pratique, les argiles sont souvent catégorisées selon leur plasticité (grasses ou maigres), leur couleur (rouges, verdâtres, colorées) et leur comportement lors de la cuisson (grésantes ou réfractaires). Ces caractéristiques sont largement influencées par la composition chimique et minéralogique des argiles utilisées.

I.3.2.2 Les matériaux de charge :

Les charges minérales sont couramment utilisées pour réduire l'excès de plasticité dans certaines argiles, ce qui peut compliquer le processus de fabrication (nécessitant une quantité importante d'eau pour le façonnage, un séchage prolongé et un retrait significatif). Ces charges incluent le sable, la chamotte, les cendres volantes, les roches dures broyées, etc. Elles permettent de créer une structure moins dense, favorisant ainsi l'élimination des gaz lors du séchage et de la cuisson. De plus, elles contribuent à diminuer la plasticité des briques, réduisant ainsi la quantité d'eau nécessaire pour le façonnage et limitant le retrait lors du séchage [24].

I.3.2.3 Les agents formateurs de pores :

Dans le processus de fabrication de certains types de briques visant à améliorer leur résistance thermique et, par conséquent, leur capacité d'isolation thermique et phonique, l'utilisation d'agents formateurs de pores est courante pour augmenter leur porosité. Les matériaux tels que les calcaires et les carbonates naturels sont fréquemment choisis à cet effet [25]. Cependant, l'incorporation d'agents formateurs de pores, notamment les déchets organiques, peut entraîner une augmentation de la porosité et donc une diminution des propriétés mécaniques des briques [26]. Il est donc crucial de déterminer avec précision la concentration maximale en agents formateurs de pores pour obtenir la qualité souhaitée des briques.

I.3.3 Processus de fabrication des briques :

Le processus de fabrication des briques s'articule autour de plusieurs étapes essentielles, telles que décrites dans le schéma de (Figure I-13). Initialement, la terre argileuse est extraite des carrières, ces dernières étant des formations géologiques situées dans des bassins sédimentaires. L'extraction de l'argile, roche tendre, est généralement effectuée à l'aide d'engins de terrassement tels que les pelleteuses.

Une fois extrait, le matériau est soumis à un processus d'homogénéisation et d'humidification. Selon les besoins spécifiques et les caractéristiques désirées des briques à produire, des ajouts tels que des dégraissants inertes (comme le quartz, favorisant le séchage) ou des carbonates peuvent être incorporés. Ces additifs sont souvent utilisés pour contrôler le retrait pendant la cuisson. Ensuite, le matériau est façonné et moulé avant d'être séché. Enfin, la cuisson est effectuée à des températures élevées pouvant atteindre jusqu'à 1200°C [22].

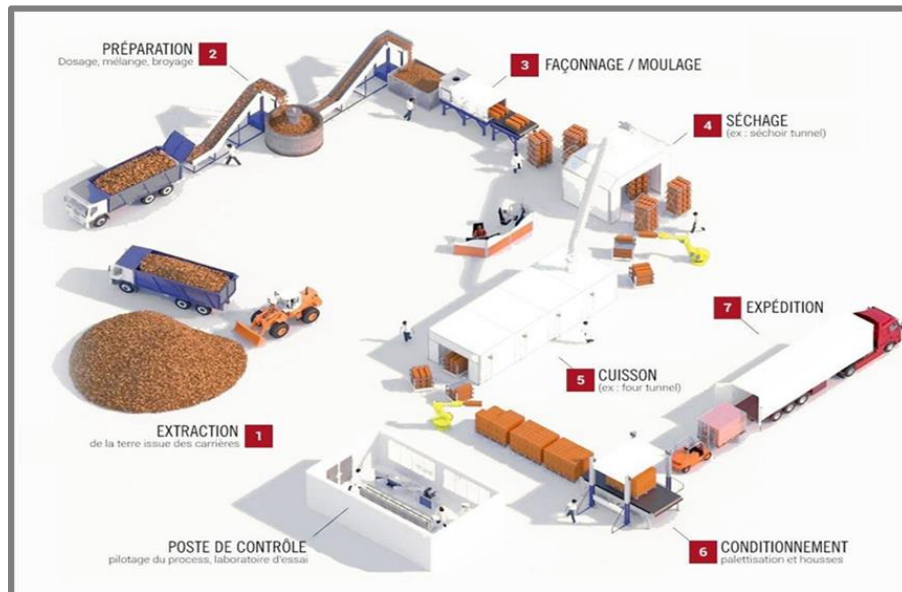


Figure I-13 : Schéma de fabrication des briques.

Différents types de briques sont fabriqués en fonction de leurs applications spécifiques. La Figure I-14 identifie trois principaux modèles de briques [22]:

- La brique pleine ou de parement, qui correspond à la brique traditionnelle. Robuste mais peu isolante, elle est souvent utilisée dans les murs extérieurs pour son aspect esthétique.
- Le bloc creux, utilisé principalement pour les cloisons. Ce type de brique est plus léger et offre une meilleure isolation thermique.
- La brique réfractaire, conçue pour conserver et restituer la chaleur. Elle est fréquemment employée dans la construction de conduits de cheminées et de fours industriels.



Figure I-14: Modèles de briques : pleine, creuse et réfractaire.

I.3.4 Transformations physico-chimiques et minéralogiques au cours de la cuisson :

Durant la cuisson des briques, différentes réactions chimiques et physiques complexes se produisent, influençant la porosité, la masse volumique, les dimensions et les propriétés

mécaniques du produit final. Les transformations minéralogiques, déterminées par la composition chimique, la minéralogie, la température et la durée de cuisson, ainsi que l'atmosphère environnante, jouent un rôle crucial dans le processus. En général, cinq phases de transformation peuvent être distinguées [27] :

- Jusqu'à environ 200 °C : Dégagement de l'eau de séchage et d'hydratation, accompagné de la décomposition du gypse qui perd son eau aux alentours de 150 °C [28].
- Entre 400 et 700 °C, les minéraux argileux subissent une déshydratation, perdant ainsi leur eau structurelle [29]. Cette déshydratation varie d'une argile à une autre : la kaolinite perd son eau de structure vers 500 °C, tandis que les chlorites la perdent autour de 750 °C. À ce stade, des composés désordonnés, tels que le métakaolin, se forment, marquant le début du retrait de cuisson. Aux alentours de 573 °C, le quartz subit une transformation cristallographique de sa forme α vers sa forme β , connue sous le nom de point de quartz, pouvant entraîner des fissures liées aux changements de volume. À partir de 650 °C, la calcite commence à se décomposer, libérant du CO_2 , tandis que les sulfures s'oxydent, générant du SO_3 entre 400 et 450 °C.
- Entre 700 et 850 °C, les carbonates (CaCO_3) se décomposent en chaux vive (CaO), libérant du CO_2 . Ce dégagement gazeux, parmi d'autres facteurs, contribue à la porosité de la matrice cuite des briques. La température précise de décomposition des carbonates varie en fonction de plusieurs paramètres, tels que la taille des grains minéraux, la vitesse de cuisson et la facilité de dégagement des gaz [27].
- Au-delà de 850 °C, deux phénomènes distincts sont observés, selon la composition minéralogique du mélange [30]:
 1. Les argiles non calcaires développent un processus de frittage liquide, formant un flux qui s'écoule entre les particules non fondues. Cela confère aux produits finaux une structure liée par une vitrification partielle.
 2. En revanche, les argiles calcaires, avec une teneur élevée en calcite (CaCO_3) et dolomite ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$), ne développent pratiquement pas de phase vitreuse. La cristallisation des produits céramiques se produit alors en phase solide. Le CaO disparaît et de nouvelles phases minérales commencent à se former, notamment les silicates de calcium (wollastonite : CaSiO_3), les aluminosilicates de calcium (anorthite : $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$; géhlenite : $2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$). La présence de dolomie favorise la formation de silicates de calcium/magnésium (diopside). Le fer, quant à lui, ne se présente plus sous forme d'hématite, mais se combine aux

aluminosilicates. Durant le refroidissement, la phase fondue se solidifie, formant une phase vitreuse qui agit comme un liant et confère une résistance mécanique significative à la brique. Une partie de cette phase fondue se cristallise pour former de nouvelles phases telles que la mullite, l'hématite et les feldspaths. En outre, la transformation allotropique du quartz beta en alpha se produit aux environs de 573°C.

Durant le refroidissement, la phase fondue se solidifie, formant une phase vitreuse qui agit comme un liant et confère une résistance mécanique significative à la brique. Une partie de cette phase fondue se cristallise pour former de nouvelles phases telles que la mullite, l'hématite et les feldspaths. En outre, la transformation allotropique du quartz beta en alpha se produit aux environs de 573°C [31].

I.3.5 Propriétés technologiques de durabilité des briques :

La mesure de ces caractéristiques est effectuée conformément aux normes de construction en vigueur dans chaque pays. De nombreuses recherches documentées ont recours aux normes européennes (CEN) ainsi qu'aux normes américaines (ASTM) [32]. Lors de l'incorporation de déchets industriels dans la fabrication de briques cuites, diverses caractéristiques émergent :

I.3.5.1 Résistance mécanique :

La résistance mécanique constitue l'un des critères de qualité primordiaux définis par les normes de construction. Son évaluation mécanique inclut des tests de compression uniaxiale et de flexion effectués sur des éprouvettes spécifiquement préparées. Cette caractéristique est largement reconnue comme un indicateur fiable de la qualité. Les normes algériennes [33] et la norme européenne (EN-772-1) [34] définissent des seuils pour la résistance à la compression des briques cuites, exigeant des valeurs supérieures à 10 MPa [34].

I.3.5.2 Absorption d'eau :

L'absorption d'eau est une caractéristique essentielle qui évalue la résistance d'une brique à l'eau et sa durabilité. Une absorption élevée peut entraîner une infiltration d'eau à l'intérieur de la brique, accélérant ainsi les dommages causés par les cycles de gel-dégel. Conformément à la norme (ASTM C 67-03) [35], la valeur maximale autorisée pour l'absorption d'eau des briques céramiques destinées à la construction est de 22%.

I.3.5.3 Porosité :

La porosité représente un paramètre crucial pour toutes les caractéristiques d'une brique car elle influe sur sa résistance mécanique, son absorption d'eau et sa perméabilité [36]. Cette porosité peut être classée en porosité ouverte ou fermée, selon les exigences du produit final.

On vise des niveaux de porosité variés, avec des valeurs faibles (< 20 %) pour les tuiles et les briques exposées, et des valeurs élevées (> 40 %) pour certains types de briques à faible conductivité thermique. La porosité principalement ouverte de la brique peut être transformée en porosité fermée par des températures de cuisson élevées, qui permettent un dégagement gazeux. De nombreux facteurs influencent la porosité de la brique. Par exemple, lors du frittage à des températures élevées (> 950°C), les produits deviennent plus vitreux, subissant d'importants changements de volume qui favorisent la formation de pores. La vitrification et la coalescence des particules d'argile entraînent une diminution de la porosité. De plus, la combustion des matières organiques produit des briques à faible porosité, tandis que la décomposition du calcaire conduit à des briques à porosité élevée [37].

I.3.5.4 Retrait de cuisson :

Le retrait est un paramètre critique influençant les dimensions et la résistance mécanique de la brique. Un niveau élevé de retrait peut entraîner une déformation excessive de la brique et une variation significative du volume du produit final. Les normes spécifient un retrait maximal de 8 % pour les briques d'argile standard [38], ce qui garantit leur qualité et leur conformité aux exigences de construction.

I.3.5.5 Masse volumique :

La masse volumique est un paramètre essentiel pour caractériser les briques, et elle est étroitement liée à la composition chimique des matières premières utilisées. La masse volumique absolue de la terre cuite se situe généralement dans la plage de 2,5 à 2,8 (g/cm³). Cependant, la masse volumique apparente des briques en terre cuite est généralement plus faible, se situant entre 1,8 et 2 (g/cm³), en raison de leur porosité [39].

I.3.5.6 Durabilité des briques :

La durabilité des briques est une propriété cruciale évaluée pour anticiper leur comportement à long terme. Un aspect majeur de cette durabilité est évalué à travers des tests d'efflorescence et de quantification des sels solubles. La présence de sels dans la structure des briques entraîne, lorsqu'ils entrent en contact avec l'eau, une migration des sulfates vers la surface des briques. Ces sulfates se déposent alors et forment un précipité blanc qui peut avoir un impact négatif sur la durabilité des briques, potentiellement en les fragilisant [40].

I.4 Conclusion :

Le monde de la construction est en constante évolution, et la recherche de solutions durables et économiques devient de plus en plus pressante. Les mortiers et les déchets de briques, omniprésents dans ce domaine, représentent un enjeu majeur tant sur le plan environnemental qu'économique.

Ce chapitre explore l'intérêt, la composition et l'utilisation du mortier dans la construction et le génie civil. Le mortier est l'un des matériaux de construction les plus répandus à travers le monde, en raison de sa polyvalence dans divers domaines d'application.

Chapitre II : Caractérisation des matières premières et techniques expérimentales.

Chapitre II : Caractérisation des matières premières et techniques expérimentales.

II.1 Introduction :

Ce chapitre constitue une exploration détaillée des techniques de caractérisation et des matériaux utilisés dans le cadre de cette étude, axée sur la composition des mortiers à base de sable de carrière.

Dans un premier temps, nous aborderons la caractérisation des matériaux employés, en mettant en lumière leurs propriétés chimiques et physiques. Cette étape préliminaire permettra une compréhension approfondie des composants des mortiers étudiés.

Dans un deuxième temps, Nous décrirons les méthodes et les essais utilisés pour déterminer les propriétés physico-mécaniques des mortiers, ainsi que les caractéristiques Cette approche méthodique et rigoureuse vise à fournir une compréhension approfondie des performances des mortiers.

II.2 Présentation des matériaux utilisés :

II.2.1 Les sables :

Nous avons employé quatre variétés de sable (Figure II-1) se distinguant par leur classe granulométrique 0/1 (Boussaâda), 0/2 (Ouad zhour), 0/4 (Carrière), et 0/2 (sable de Brique) :

- Sable carrière de granulométrie 0/4 issu d'une carrière à Bouadjil, dans la wilaya de Sétif.
- Un sable de granulométrie 0/1 provenant de la sablière de Boussaâda.
- Un sable de granulométrie 0/2 provenant de la sablière de Ouad zhour.
- Un sable de granulométrie 0/2 provenant de déchet de brique.

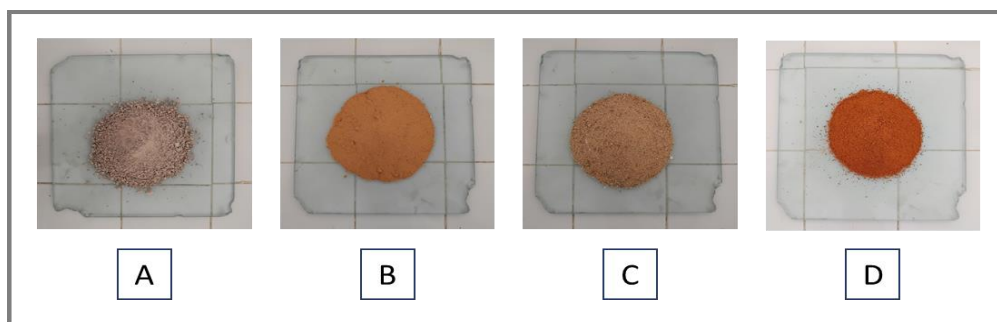


Figure II-1: Les différents sables utilisées, Carrière (A), Boussaâda (B), Ouad zhour (C), la Brique (D).

II.2.2 Le ciment :

Le ciment sélectionné pour notre étude est le CPJ CEM II/A-L 42.5 R, provenant de la cimenterie située à Ain Kebira, dans la wilaya de Sétif (Figure II-2).



Figure II-2: Le ciment CPJ CEM II/A-L R de classe 42.5.

II.2.3 Eau de gâchage :

Nous avons utilisé de l'eau de laboratoire MDC fournie par de l'université A. Mira.

II.2.4 L'adjuvant :

Nous avons utilisé le superplastifiant de type VISCOCRETE TEMPO 12 fourni par SIKA (Figure II-3).



Figure II-3 : Superplastifiant de type VISCOCRETE TEMPO 12 fourni par SIKA.

II.2.5 Déchet de brique :

Les déchets explorés dans notre étude proviennent dans un magasin de matériaux de construction situé le long de la route nationale n° 26 à Remila, dans la commune de Sidi Aich, Bejaia.

Afin de les préparer pour nos expériences, et grâce à l'équipement fourni par le laboratoire MDC de l'Université A. Mira, ces résidus ont d'abord été fragmentés à l'aide d'un marteau, puis réduits en particules plus fines à l'aide d'un broyeur, avant d'être tamisés à travers un tamis de 2 mm.

II.3 Caractérisations physiques des sables :

II.3.1 Prélèvement sur le tas (sable) :

Lorsqu'un stock de matériau granulaire est formé, les particules les plus grosses ont tendance à se déplacer vers le bas du tas, tandis que les particules plus fines se retrouvent en haut. Afin d'obtenir un échantillon représentatif, il est nécessaire de prélever des échantillons à différents niveaux du tas, y compris en haut, en bas, au milieu et à l'intérieur (Figure II-4). Ces fractions sont ensuite minutieusement mélangées pour assurer une représentation homogène de l'ensemble du matériau. Dans le cas des matériaux provenant de carrières, il est essentiel de prendre en considération l'hétérogénéité des différents bancs rocheux exploités [41].

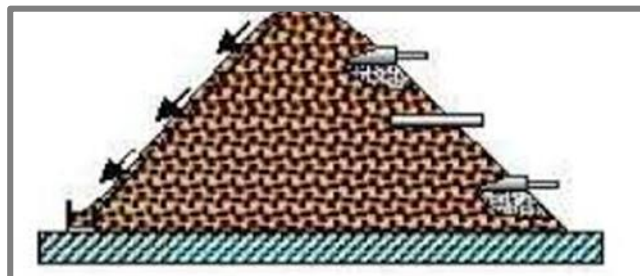


Figure II-4: Prélèvement d'un échantillon sur le tas.

II.3.2 Quartage :

L'échantillon est d'abord divisé en quatre parties égales, dont on ne retient que la moitié en réunissant deux quarts opposés, sont conservées. Ces deux parties sont ensuite combinées et homogénéisées, puis soumises à un nouveau quartage (Figure II-5). Ce processus peut être répété trois ou quatre fois jusqu'à l'obtention d'une quantité d'échantillon représentative du matériau initial [42].

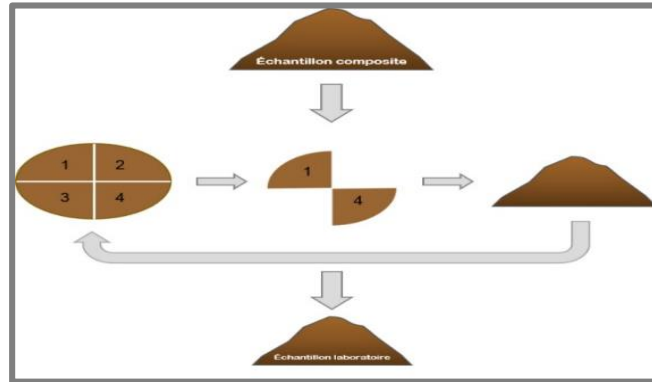


Figure II-5: La méthode de quartage d'un échantillon.

II.3.3 Analyse granulométrique (N F EN 933-1) :

L'analyse granulométrique est une méthode qui vise à évaluer la taille et la répartition pondérale des différentes classes de particules présentes dans un échantillon. Cette procédure implique le passage de l'échantillon à travers une série de tamis, superposés les uns sur les autres, avec des ouvertures de dimensions décroissantes de haut en bas (Figure II-6).

- **But de l'essai :**

Le processus de tamisage est utilisé pour évaluer la taille et la distribution pondérale des diverses catégories de grains présentes dans un échantillon. Cette méthode est applicable à tous les granulats ayant une dimension nominale égale ou supérieure à 80 μm . Les dimensions des mailles des tamis ainsi que le nombre de tamis utilisés sont sélectionnés en fonction des caractéristiques de l'échantillon et de la précision recherchée.

Le procédé implique de verser un échantillon préalablement séché dans une colonne de tamis disposés par ordre croissant d'ouverture, avec des dimensions décroissantes de haut en bas. Les grains sont ensuite classés par vibration de la colonne de tamis, permettant ainsi de quantifier la taille des particules.



Figure II-6: La colonne des tamis utilisés.

L'analyse granulométrique poursuit trois objectifs principaux : déterminer les dimensions des grains, évaluer les proportions de grains de même taille (% pondéral), et déduire le module de finesse (MF). La quantité de matériau utilisée est ajustée en conséquence :

$$0.6 D \geq M \geq 0.2 D$$

- M : masse de l'échantillon en Kg.
- D : diamètre du plus gros granulat soit exprimé en mm.

• Conduite de l'essai :

Une fois préparé l'échantillon, ce dernier est soumis à un processus de séchage à une température de (110 ± 5) °C. Après refroidissement, sa masse est mesurée. Dans ce contexte, on définit le tamisat comme le poids de matériau passant à travers un tamis spécifique, et le refus comme le poids de matériau retenu par ce même tamis.

L'échantillon est alors versé en haut de la colonne de tamis et celle-ci est mise en vibration. La somme des refus cumulés, mesurée sur les différents tamis, ainsi que du tamisat sur le fond (fillers), doit correspondre au poids initial de l'échantillon introduit en tête de colonne. Toute perte de matériau durant le tamisage ne doit pas dépasser 1 % du poids total de l'échantillon de départ. Les résultats des refus sont exprimés en pourcentage de la masse sèche initiale.

Les masses des refus partiels (R_i) sont enregistrées, puis les pourcentages des refus partiels sont calculés en utilisant la relation suivante :

$$Refus(i)\% = \frac{R_i}{M} \times 100$$

La courbe granulométrique est établie suite au calcul du pourcentage des tamisât partiels, réalisé selon la formule suivante :

$$Tamisat(i)\% = 100 - refus(i)\%$$

II.3.4 Le coefficient d'absorption des granulats (NF EN 1097-6):

Le coefficient d'absorption des sables est un paramètre qui consiste à déterminer la quantité d'eau que le sable peut absorber, en suivant des étapes précises de préparation, de pesée, d'immersion, d'égouttage et de pesée finale.

- **But de l'essai :**

Le coefficient d'absorption des sables a pour but de mesurer la capacité des grains de sable à absorber l'eau. Ce coefficient, exprimé en pourcentage, est essentiel pour évaluer la porosité et la qualité du sable utilisé dans les mélanges de mortier et autres applications de construction. Un coefficient d'absorption élevé peut indiquer une plus grande porosité, ce qui peut influencer la quantité d'eau nécessaire dans le mortier et, par conséquent, ses propriétés mécaniques et sa durabilité.

- **Conduite de l'essai :**

Sélectionner une quantité représentative de sable. Sécher le sable à 105°C jusqu'à ce qu'une masse constante soit atteinte (environ 24 heures). Peser une quantité connue de sable sec avec une balance de précision et noter cette masse comme M_{sec} . Immerger le sable sec dans l'eau à température ambiante pendant environ 24 heures pour permettre une absorption maximale. Égoutter le sable pour enlever l'eau libre en surface, en évitant de perdre les fines particules. Peser le sable égoutté (saturé en surface sèche) avec une balance de précision et noter cette masse comme M_a , puis 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, refaire la mesure 3 fois.

Le coefficient d'absorption (Ab) est défini par la relation :

$$Ab (\%) = \left(\frac{M_a - M_{sec}}{M_{sec}} \right) \times 100$$

- M_{sec} : masse de l'échantillon sec après passage à l'étuve à 105 °C.
- M_a : masse de l'échantillon imbibé.

II.3.5 Module de finesse (NF EN 933-1):

Le module de finesse, défini comme la somme des refus cumulés, est représenté par le terme « MF ».

- **But de l'essai :**

Le module de finesse (MF) représente une caractéristique cruciale, notamment en ce qui concerne les propriétés des sables, et revêt une grande importance dans diverses applications. Un bon sable à mortier doit avoir un module de finesse (MF) compris entre 2,2 et 2,8, au-dessous, le sable a une majorité d'éléments fins et très fins, ce qui nécessite une augmentation du dosage en eau ; au-dessus, le sable manque de fines et le mortier perd en ouvrabilité.

- $MF < 1,60$: sable très fin.

- Pour $1,60 \leq MF < 2,60$: le sable est à utiliser si l'on recherche particulièrement la facilité de mise en œuvre au détriment probable de la résistance (sable fin).
- Pour $2,60 < MF < 3,60$: le sable est à utiliser si l'on recherche une ouvrabilité satisfaisante et une bonne résistance avec des risques de ségrégation limités (sable moyen).
- Pour $3,60 < MF < 4,60$: le sable est à utiliser si l'on recherche des résistances élevées au détriment de l'ouvrabilité et avec des risques de ségrégation (sable grossier).
- Pour $MF > 4,60$: sable très grossier.

- **Conduite de l'essai :**

Ce paramètre est en particulier utilisé pour caractériser la finesse des sables à bétons (NF EN 933-1).

$$M_F = \frac{1}{100} \sum \text{Refus cumulés en \% des tamis (5 - 3,15 - 2,5 - 1,25 - 0,63 - 0,4 - 0,16 - 0,08 mm)}$$

R_c : refus cumulé en (%).

II.3.6 Déterminations des masses volumiques :

La masse volumique est une caractéristique fondamentale qui quantifie la masse d'un matériau par unité de volume. Deux types de masse volumique sont distingués :

- Masse volumique absolue.
- Masse volumique apparente.

Ces grandeurs sont exprimées en unités telles que le gramme par centimètre cube (g/cm^3), le kilogramme par mètre cube (kg/m^3) ou la tonne par mètre cube (t/m^3).

II.3.6.1 Masse volumique absolue « ρ_{abs} » (NF EN 1097-6) :

La masse volumique absolue est évaluée selon la norme (NF EN 1097-6) et représente la masse par unité de volume du matériau granulaire, sans considération des vides éventuels présents dans ou entre les grains.

- **But de l'essai :**

L'objectif de cet essai est de déterminer la masse d'une fraction granulaire lorsque par exemple on élabore une compression de mortier. Ce paramètre permet, en particulier, de déterminer la masse ou le volume des différentes classes granulaire malaxées pour l'obtention d'un mortier dont les caractéristiques sont imposées.

Dans notre étude, nous utilisons la méthode de l'éprouvette graduée pour déterminer la masse volumique absolue des échantillons de granulats.

• Conduite de l'essai :

Après avoir rempli une éprouvette graduée d'un volume V_1 , un échantillon sec de granulats de masse M est pesé et introduit dans l'éprouvette, en veillant à éliminer toute présence d'air. Le niveau de liquide dans l'éprouvette augmente en conséquence. Ensuite, le nouveau volume V_2 est lu (Figure II-7). La masse volumique absolue peut alors être déterminée à partir de ces mesures :

$$\rho_{abs} = \frac{M_{matériau}}{V}$$

- $M_{matériau}$: masse du matériau étudié.
- V : Volume du récipient, tel que :
$$V = V_2 - V_1$$
- V_1 : Volume dans l'éprouvette avant introduire de la masse d'agrégat.
- V_2 : Volume dans l'éprouvette après introduire de la masse d'agrégat.

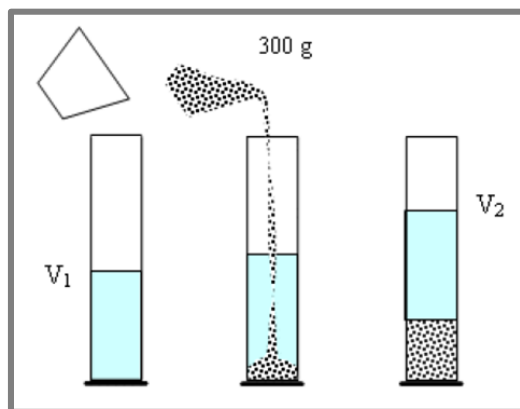


Figure II-7 : Mesure de la masse volumique absolue des granulats au éprouvettes graduée.

II.3.6.2 Masse volumique apparente « ρ_{app} » (NF EN 1097-6):

La masse volumique apparente est déterminée conformément à la norme (NF EN 1097-6). Elle correspond à la masse d'un matériau par unité de volume apparent dans son état naturel, exprimée en (t/m^3 , kg/dm^3 , ou en g/cm^3). Cette masse volumique incluant à la fois les grains de l'agrégat et les vides présents entre ces grains après avoir été soumis à une température de séchage de 105 ± 5 °C.

- **But de l'essai :**

Cette méthode permet de déterminer la masse volumique des différents matériaux (sable, ciment, gravier, etc...) en mesurant la masse du granulat sec par unité de volume, en tenant compte des vides présents.

- **Conduite de l'essai :**

Tout d'abord, prendre un récipient, mesurer son volume et noter sa masse vide, sec et propre (m_1). Ensuite, tenir le matériau (par exemple, du sable) dans les mains de manière à former un entonnoir. Placer les mains à environ 10 cm au-dessus du récipient et laisser le sable s'écouler de manière uniforme, ni trop vite ni trop lentement, jusqu'à ce qu'il déborde légèrement tout autour, formant un cône.

Une fois le récipient rempli, retirez délicatement tout excès de matériau à la surface pour garantir une répartition uniforme et éviter la ségrégation. Utilisez une règle pour niveler la surface des granulats, en évitant tout compactage excessif. Ensuite, pesez le conteneur rempli et enregistrez sa masse (m_2), et noter les résultats.

$$\rho_{app} = \frac{M_{matériau}}{V}$$

- $M_{matériau}$: masse du matériau étudié, tel que :

$$M_{matériau} = m_2 - m_1$$

- m_1 : Masse du récipient vide.
- m_2 : Masse du récipient rempli.
- V : Volume du récipient.

II.3.7 Propreté superficielle (NF EN 933-9, NF EN 933-8+A1) :

II.3.7.1 Propreté de sable :

a) **Bleu de méthylène dit essai à la tâche (NF EN 933-9) :**

L'essai au bleu de méthylène, également connu sous le nom « l'essai au bleu », est une méthode utilisée en géotechnique pour évaluer la propreté d'un sable, d'un granulat ou plus généralement d'un sol, ainsi que pour identifier les différents types d'argiles qu'il contient. Le bleu de méthylène est sélectivement absorbé par les argiles de type montmorillonite (argiles gonflantes) et les matières organiques, tandis que les autres types d'argiles (illites et kaolinites) sont moins sensibles à cette réaction (Figure II-8).

- **But de l'essai :**

Cet essai est employé pour évaluer le degré d'argilosité d'un sable, d'un granulat ou plus généralement d'un sol, voici l'interprétation des résultats :

- **VB < 0,5** : Très faible teneur en fines argileuses.
- **VB entre 0,5 et 1,0** : Faible teneur en fines argileuses.
- **VB entre 1,0 et 2,0** : Teneur moyenne en fines argileuses.
- **VB entre 2,0 et 3,0** : Haute teneur en fines argileuses.
- **VB > 3,0** : Très haute teneur en fines argileuses.

- **Conduite de l'essai :**

La procédure est décrite dans la norme française (NF EN 933-9). Un échantillon sec du sol à étudier, d'une masse $m=200$ g, dans la fraction inférieure à 2 mm, est placé dans 500 ml d'eau déminéralisée, puis dispersé à l'aide d'un agitateur à ailettes tournant à une vitesse de 700 ± 100 tr/min pendant au moins 5 minutes. Ensuite, la vitesse de rotation est maintenue à 400 ± 100 tr/min. Successivement, 5 cm³ de bleu de méthylène sont injectés dans la suspension jusqu'à ce que les particules d'argile soient saturées.

Le moment de cette saturation est déterminé par un test à la tâche consistant à prélever une goutte de la solution et à la déposer sur un filtre. L'essai est considéré comme terminé lorsque l'auréole entourant la tache centrale bleue est colorée. Si l'auréole reste incolore, l'essai se poursuit par l'ajout supplémentaire de bleu de méthylène.



Figure II-8: L'essai au bleu de méthylène.

La valeur du bleu de méthylène est calculée selon l'équation suivante :

$$VB = \frac{\text{volume de bleu de méthylène (cm}^3\text{)}}{\text{masse sèche de la prise d'essai (g)}} \times 100$$

b) Équivalent de sable (NF EN 933-8+A1) :

L'indice de finesse, communément appelé équivalent de sable, est un paramètre utilisé en géotechnique pour évaluer la propreté d'un sable ou d'un gravier. Il renseigne sur la présence de fines particules, ayant un diamètre inférieur à 0,5 mm, d'origine principalement argileuse, végétale ou organique, qui recouvrent la surface des grains. Ce terme désigne également la méthode d'essai utilisée pour déterminer cet indice.

- **But de l'essai :**

Cet essai vise à évaluer la propreté d'un sable en mesurant la proportion des éléments fins. Il fournit une estimation globale de la quantité et de la qualité de ces particules fines en exprimant un rapport conventionnel volumétrique entre les éléments sableux qui se déposent et les éléments fins qui restent en suspension.

- **Conduite de l'essai :**

L'essai implique l'immersion d'un poids spécifique de sable dans une éprouvette standard remplie d'une solution flocculante. Après agitation, le mélange est laissé en décantation pendant 20 minutes, puis les hauteurs du sédiment avec le flocculant (H1) et du sédiment seul (H2) sont mesurées (Figure II-9). L'équivalent de sable est calculé en utilisant la relation suivante :

$$ESP = \left(\frac{H_1}{H_2} \right) \times 100$$

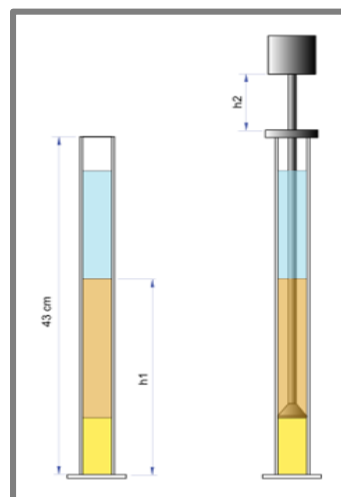


Figure II-9: Essais d'équivalent de sable.

Tableau II 1: Comparaison du résultat à la norme (NF EN 933-8+A1).

<i>ESV</i>	<i>ESP</i>	<i>Qualité</i>
ESV < 65	ESV < 60	Sable argileux
65 ≤ ESV < 75	60 ≤ ESV < 70	Sable légèrement argileux
75 ≤ ESV < 85	70 ≤ ESV < 80	Sable propre
ESV ≥ 85	ESV ≥ 80	Sable très propre

II.4 Caractérisations physiques des pâtes de ciment :

Le ciment que nous utilisons est conforme aux normes (NA442 et EN197-1) en ce qui concerne ses caractéristiques physiques. Des essais spécifiques sont sélectionnés pour évaluer les résistances mécaniques et mesurer certains aspects essentiels des pâtes de ciment, à savoir :

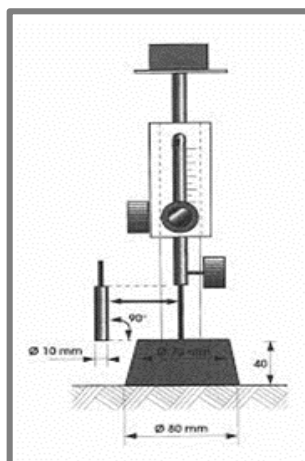
- La consistance normale(E/C) (NF EN 196-3).
- La prise (NF EN 196-3).

II.4.1 La consistance normale (E/C) (NF EN 196-3) :

La composition de la pâte de ciment, principalement constituée d'eau et de ciment, est définie par le rapport (E/C), où E et C représentent respectivement les concentrations d'eau et de ciment par unité de volume de pâte.

La consistance de la pâte, qui caractérise son niveau de fluidité, est évaluée par un essai normalisé utilisant l'appareil de Vicat conformément à la norme (NF EN 196-3).

Cet essai mesure l'enfoncement d'une tige cylindrique dans la pâte sous l'effet d'une charge constante. Plus l'enfoncement est important, plus la consistance est fluide. La consistance ainsi évaluée et appelée "Consistance Vicat" (Figure II-10).

**Figure II-10:** Appareille de Vicat muni de sonde de consistance.

La distance (d) caractérise l'aptitude de la consistance de la pâte étudiée :

- Si $(d) = 6\text{mm} \pm 1\text{mm}$, on dit que la consistance de la pâte étudiée est normalisée, (Consistance normalisée).
- Si (d) n'atteint pas cette valeur (c.à.d. $d > 7\text{mm}$ ou $d < 5\text{mm}$), il convient de refaire l'essai avec une valeur différente du rapport E/C jusqu'à atteindre la valeur recherchée de la consistance.

II.4.2 L'essai de prise (NF EN 196-3):

Dès que le ciment anhydre est mélangé avec de l'eau, le processus d'hydratation commence, et les propriétés de la pâte qui en résulte évoluent avec le temps. Au début de l'hydratation, lorsque celle-ci n'est pas trop avancée, la pâte reste relativement malléable, ce qui permet de lui donner la forme désirée par moulage. Cependant, après un certain temps, à mesure que les cristaux d'hydrates se développent, la viscosité du mélange change et la pâte se solidifie, phénomène que l'on appelle la prise.

Le début de la prise se produit lorsque la pâte commence à devenir plus visqueuse ou à se raidir, ce qui est mesuré en pratique à l'aide de l'aiguille standard (dispositif de Vicat). Il correspond au laps de temps écoulé depuis le mélange initial de la pâte jusqu'au moment où l'aiguille s'immobilise à une distance d'environ $4\text{mm} \pm 1\text{mm}$ du fond d'un anneau de 40 mm de hauteur rempli de pâte pure de ciment, conformément à la norme (NF P15-473).

De même, la fin de la prise survient lorsque l'aiguille ne s'enfonce plus que de 0,5 mm dans l'anneau (Figure II-11).

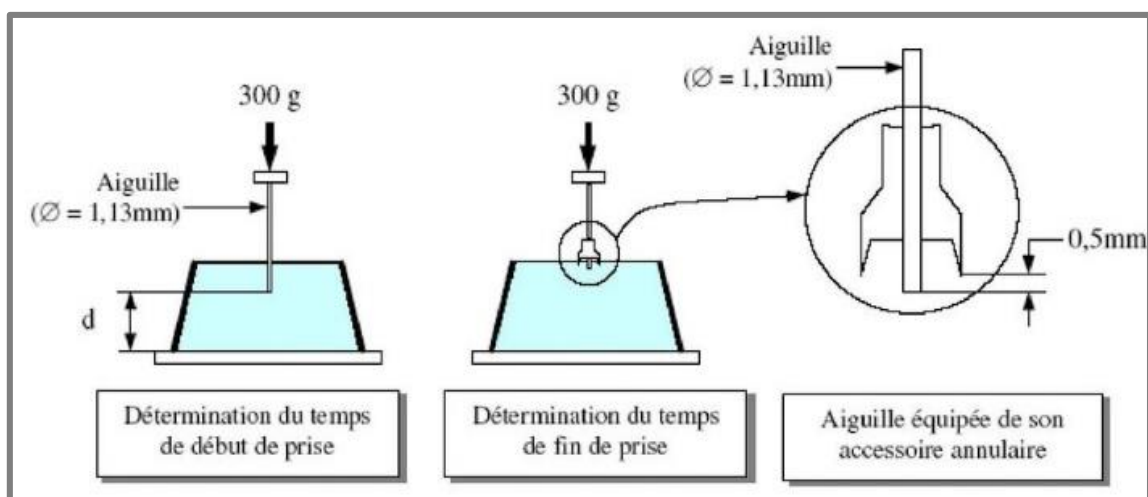


Figure II-11: Appareil de Vicat muni de l'aiguille amovible.

II.5 Caractéristiques physiques des mortiers élaborés:

Les produits confectionnés ont été soumis à divers tests, notamment ceux portant sur le retrait, la densité apparente, la porosité, etc.

II.5.1 La masse volumique fraîche (NF EN 12350-6) :

La masse volumique à l'état frais a été évaluée en mesurant la différence de poids entre les moules vides et les moules remplis sur le volume du moule.

- **Conduite d'essai :**

La masse volumique ρ_n des mortiers, mis en place à la table à chocs, est mesurée par différence de pesées des moules de dimensions 4x4x16 cm.

Pour ce faire, les moules vides sont d'abord pesés, puis remplis de mortier fraîchement préparé et compacté à la table à chocs pour assurer une distribution uniforme et l'élimination des bulles d'air. Les moules pleins sont ensuite pesés. La masse volumique ρ_n est calculée en divisant la différence de masse entre le moule plein et le moule vide par le volume du moule (4x4x16 cm = 256 cm³).

$$\rho_n = \frac{M_{mortier}}{V_{moule}}$$

$M_{mortier}$: La masse du mortier dans chaque moule en utilisant la formule :

$$M_{mortier} = M_{plein} - M_{vide}$$

V_{moule} : Volume du moule.

Chaque résultat de masse volumique est obtenu en prenant la moyenne de trois mesures distinctes, garantissant ainsi la précision et la fiabilité des valeurs mesurées :

$$\rho_n = \frac{\rho_1 + \rho_2 + \rho_3}{3}$$

II.5.2 La masse volumique à l'état sec (NF EN 1936) :

La masse volumique à l'état sec ρ_d des mortiers est la masse d'un matériau sec par unité de volume, obtenue après élimination de toute l'humidité.

- **Conduite de l'essai :**

Pour déterminer la masse volumique à l'état sec par la pesée hydrostatique, commencez par immerger l'échantillon dans l'eau pour saturer ses pores pendant des périodes de 7 jours et 28 jours. Une fois l'échantillon saturé, pesez-le immergé dans l'eau à l'aide d'un dispositif de pesée hydrostatique afin de déterminer la masse immergée m_i . Ensuite, retirez l'échantillon de l'eau et séchez-le en surface avec un chiffon, puis pesez-le avec une balance précise pour obtenir la masse humide m_h . Séchez ensuite l'échantillon dans un four à une température de 70 °C ± 5 °C pendant 24 heures. Enfin, pesez l'échantillon pour obtenir la masse sèche m_s .

La masse volumique à l'état sec ρ_d est calculée à partir des mesures obtenues :

$$\rho_d = \frac{m_s}{m_h - m_i}$$

II.5.3 La masse volumique absolue (ASTM C373-94):

La masse volumique absolue a été déterminée par la méthode d'Archimède (ASTM C373, 1994a). Les calculer son déterminer selon la formule suivante :

$$\rho_{app} = \frac{m_1}{m_3 - m_2} \times \rho_{eau}$$

- m_1 : La masse sèche.
- m_2 : La masse hydrostatique.
- m_3 : La masse humide a l'aire libre.

II.5.4 L'absorption en eau (NF EN 1097-6) :

Les taux d'absorption d'eau ont été évalués en mesurant les variations de poids entre les échantillons cuits et un échantillon saturé d'eau, qui a été immergé dans de l'eau, conformément à la norme.

$$ABS(\%) = \frac{m_3 - m_1}{m_1} \times 100$$

II.5.5 La porosité ouverte (ASTM C373-94):

La porosité ouverte (en pourcentage de volume) a été déduite des mesures de densité apparente et de la capacité d'absorption d'eau.

$$P(\%) = \frac{m_3 - m_1}{m_3 - m_2} \times 100$$

II.5.6 Résistance à la compression (UNE. (2011). UNE-EN 772-1) :

La résistance à la compression a été évaluée conformément à la méthode standard (UNE-EN-772-1), édition de 2011, en employant une presse de laboratoire Automatic Compression - Flexural Cement machine (CONTROLS PILOT). Cette résistance a été calculée en divisant la charge maximale par la surface moyenne des deux surfaces d'appui, avec une précision de 0,1 MPa (Figure II-12).

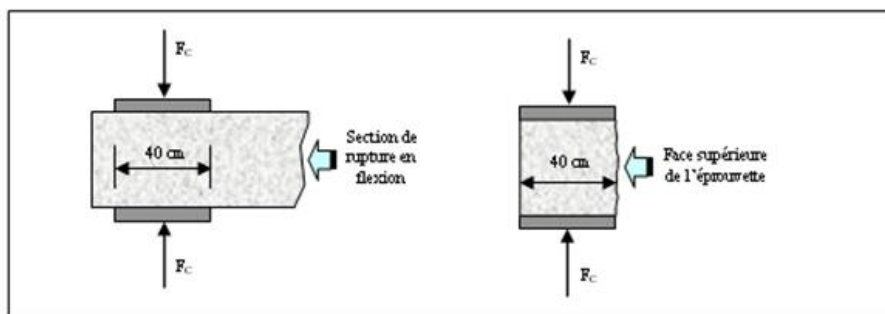


Figure II-12: Dispositif de rupture en compression.

II.5.7 La Flexion (ASTM. (n.d.). C348):

Des essais de flexion ont été effectués sur des éprouvettes selon la norme ASTM C348. Positionnez le prisme dans le dispositif de flexion avec une de ses faces latérales de moulage reposant sur les rouleaux d'appui, tandis que son axe longitudinal est perpendiculaire à ces rouleaux. Une fois l'éprouvette correctement positionnée, les charges sont appliquées progressivement jusqu'à ce que l'éprouvette se rompe, permettant ainsi de mesurer les propriétés mécaniques du mortier la résistance à la flexion (Figure II-13).

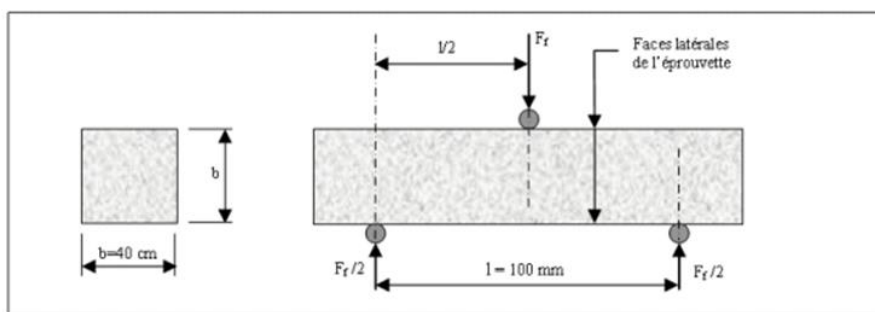


Figure II-13: Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion.

II.6 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons entrepris une exploration détaillée des différents aspects liés aux matériaux utilisés dans notre étude, en mettant l'accent sur les caractérisations physiques des sables, des pâtes de ciment et des matériaux en général. Cette analyse approfondie des matériaux et des méthodes de caractérisation constitue une étape essentielle dans notre démarche visant à comprendre et à exploiter pleinement les propriétés des matériaux dans la formulation de mortiers cimentaires de haute qualité. La caractérisation des matières premières pour l'élaboration des mortiers est une étape essentielle pour comprendre et faciliter l'interprétation des mortiers élaborés.

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

Chapitre III : Caractérisation physico-chimique des matières premières.

III.1 Introduction :

Cette section expérimentale a porté sur la caractérisation des composants des mortiers testés et des méthodes de formulation adoptées. Les essais ont été réalisés au Laboratoire MDC de l'université A. Mira, en suivant les protocoles conformes aux normes.

Dans un premier volet, nous avons caractérisé les matériaux utilisés dans cette étude. Dans un second volet, nous avons présenté la méthodologie et la formulation de notre mortier.

III.2 Caractéristiques physiques des matériaux :

Le mortier est composé de ciment, de sable, d'eau et parfois d'adjuvants ou d'ajouts. Étant donné la variété des matériaux disponibles sur le marché, il est essentiel de préciser ceux que nous avons choisis d'utiliser.

III.2.1 Sable :

Nous avons employé quatre variétés de sable classées selon leur granulométrie sable carrière (0/4), Boussaâda (0/1), Ouad zhour (0/2), et sable de brique (0/2).

III.2.1.1 Masse volumique des sables :

a) Masse volumique apparente :

Les valeurs des masses volumiques apparentes pour les granulats de tailles (0/1), (0/2), (0/4) et (0/2) selon la norme (NF EN 1097-6) sont répertoriées dans le tableau III-1 :

Tableau III-1: La masse volumique apparente des différents sables.

Les sables (mm)	Boussaâda (0/1)	Ouad zhour (0/2)	Carrière (0/4)	Brique (0/2)
La masse volumique (g/cm ³)	1,43	1,53	1,56	1,04

Le sable carrière, avec une masse volumique de 1,56 (g/cm³), est le plus dense de tous les sables évalués. Le sable de Boussaâda, avec une masse volumique de 1,43 (g/cm³), est relativement dense, bien qu'il soit moins dense que le sable concassé ou celui de Ouad Zhour 1,53 (g/cm³). Enfin, Le sable de brique, ayant la plus faible masse volumique de 1,04 (g/cm³), est le moins dense des sables testés, sa composition peut apporter une certaine légèreté au mortier.



Figure III-1: Mesure de la masse volumique apparente.

b) Masse volumique absolue :

La détermination de la masse volumique absolue est réalisée conformément à la norme (NF EN 1097-6), et les résultats obtenus sont répertoriés dans le tableau III-2 :

Pour une meilleure compacité, les sables de Boussaâda ($2,56 \text{ g/cm}^3$) et carrière ($2,65 \text{ g/cm}^3$), avec leurs densités élevées accompagner de sable de Ouad zhour avec une densité de $2,52 \text{ (g/cm}^3)$. En revanche, le sable de brique ($2,34 \text{ g/cm}^3$), avec sa plus faible densité, pourrait être utilisé pour obtenir un mortier plus léger.

Tableau III-2: La masse volumique absolue des différents sables.

Les sables (mm)	Boussaâda (0/1)	Ouad zhour (0/2)	Carrière (0/4)	Brique (0/2)
La masse volumique (g/cm^3)	2,56	2,52	2,65	2,34



Figure III-2: Mesure de la masse volumique absolue.

III.2.1.2 Taux d'absorption d'eau (%) :

Selon le tableau III-3 et les méthodes définies dans la norme (NF EN 1097-6), la limite supérieure du coefficient d'absorption d'eau des granulats est fixée à 5% ($Ab < 5\%$). Dans notre cas, aucun des sables testés ne respecte cette limite. Cette non-conformité peut s'expliquer par plusieurs facteurs.

Premièrement, les conditions de stockage des sables peuvent fortement influencer leur taux d'absorption d'eau. Un stockage inadéquat, exposé à l'humidité ambiante ou à des intempéries, peut augmenter la teneur en eau des granulats. De plus, la présence de fines et d'argiles dans les sables contribue également à une absorption accrue. Les particules fines, notamment l'argile, possèdent une surface spécifique élevée et une capacité d'absorption d'eau supérieure à celle des granulats plus grossiers.

En outre, les pores présents dans les sables, permettent l'infiltration et la rétention de l'eau. Une porosité élevée entraîne donc un coefficient d'absorption d'eau plus élevé.

Tableau III-3: Degré d'absorption d'eau des sables.

Sables (mm)	Boussaâda (0/1)	Ouad zhour (0/2)	Carrière (0/4)	Brique (0/2)
Taux d'absorption d'eau (%)	21,45	18,64	16	28,66

**Figure III-3 :** Mesure du degré d'absorption d'eau des sables.

Les taux d'absorption d'eau des différents sables testés dépassent tous largement la limite recommandée de 5% par les normes, ce qui peut compromettre la consistance, la résistance mécanique et la durabilité des mortiers. Pour compenser cette absorption élevée, il est essentiel de contrôler précisément la quantité d'eau ajoutée lors du mélange pour maintenir un bon rapport (E/C). Cette absorption élevée est en partie due à la porosité élevée du vieux mortier présent dans le sable recyclé, ainsi qu'à la proportion significative de fines ($> 5\%$) qui possèdent une surface spécifique très élevée.

Les différences notables entre les taux d'absorption d'eau des sables soulignent l'impact de leur composition chimique. Le sable de brique présente le taux d'absorption le plus élevé à 28,66%, ce qui s'explique par sa composition chimique riche en SiO₂ (59,71%), Al₂O₃ (15,69%) et Fe₂O₃ (6,17%). Ces composants augmentent la porosité et la réactivité chimique, entraînant une forte capacité d'absorption d'eau. En revanche, le sable de carrière affiche un taux d'absorption d'eau de 16%, le plus bas parmi les sables testés, principalement en raison de sa faible teneur en SiO₂ (1,66%) et de sa forte proportion de CaO (51,34%).

III.2.1.3 Analyse granulométrique (NF EN 933-1):

a) Sables :

Les courbes granulométriques des divers granulats peuvent être obtenues par l'essai d'analyse granulométrique (NF EN 933-1). Les résultats de ces analyses pour le sable 0/4, 0/1 et 0/2 sont respectivement présentés dans les tableaux III-4, III-5 et III-6 :

Tableau III-4: Analyse granulométrique du sable carrière (0/4).

Masse de l'échantillon soumis à l'essai : $M = 1200\text{ g}$				
Ouverture des tamis (mm)	Masse de refus (g)	Masse de refus (%) $R(\%) = (R_i/M) \times 100$	Refus cumulé (%)	Tamisat cumulé (%)
5	0	0	0	99,98
3,15	90	7,5	7,5	92,48
2,5	124	10,33	17,83	82,15
1,25	328	27,33	45,16	54,82
0,63	210	17,50	62,66	37,32
0,4	106	8,83	71,49	28,49
0,16	172	14,33	85,82	14,16
0,08	122	10,16	95,98	4
Fond	48	4	99,98	0
Module de finesse :				
$M_F = \frac{1}{100} \sum \text{Refus cumulés en \% des tamis (5 - 3,15 - 2,5 - 1,25 - 0,63 - 0,4 - 0,16 - 0,08 mm)}$				
$M_F = 3,86$				

Le module de finesse du sable carrière est de 3,86 qui appartient $3,60 < MF < 4,60$, selon la norme (NF EN 933-1), Cela signifie qu'il est classé comme un sable grossier.

La Figure III-4 présente l'analyse granulométrique du sable de carrière, mettant en évidence deux pics distincts de masse de refus (%) (deux population), chacun correspondant à un intervalle de taille spécifique. Le premier pic significatif se situe autour de 1 mm, avec une masse de refus de 27,33 %. Le second pic notable apparaît autour de 0,5 mm, avec une masse de refus de 17,50 %. La quantité de gros granulats dans le premier pic est supérieure à celle du second pic, ce qui indique une présence réduite de fines dans le sable.

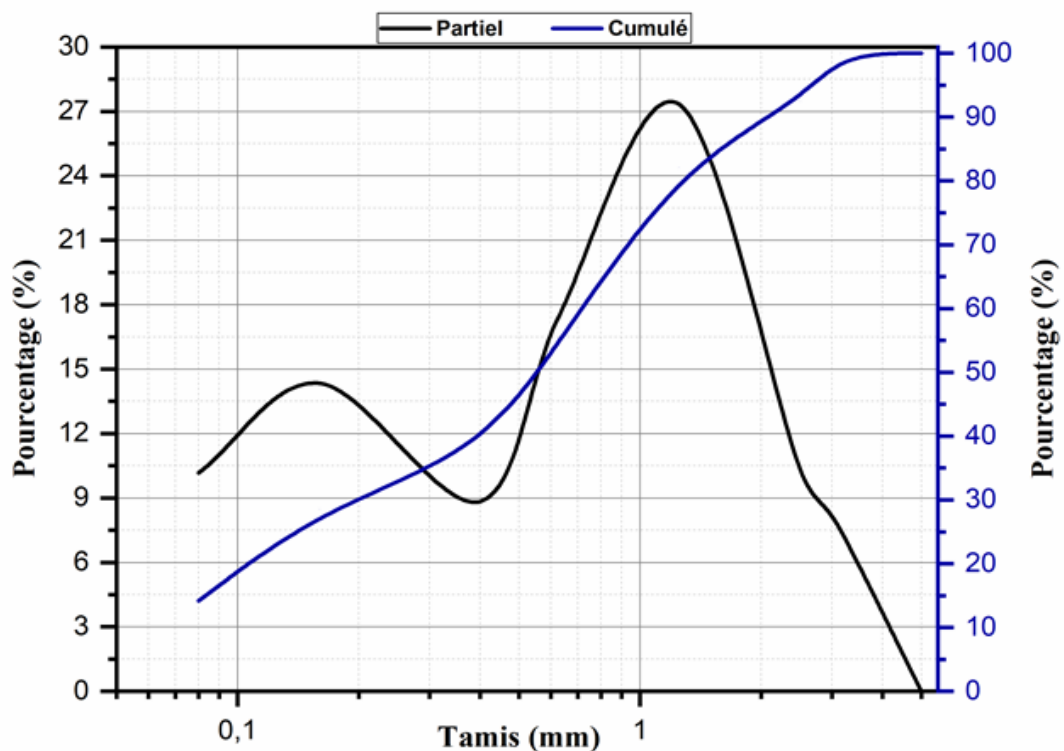


Figure III-4: Courbe Granulaires du sable carrière (0/4).

Selon le tableau III-5, le module de finesse du sable de Ouad zhour est de 2,95 qui appartient $2,60 < MF < 3,60$, selon la norme (NF EN 933-1), Cela signifie qu'il est classé comme un sable moyen.

Tableau III-5: Analyse granulométrique du sable Ouad zhour (0/2).

Masse de l'échantillon soumis à l'essai : $M = 800\text{ g}$				
Ouverture des tamis (mm)	Masse de refus (g)	Masse de refus (%) $R(\%) = (R_i/M) \times 100$	Refus cumulé (%)	Tamisat cumulé (%)
5	2	0,25	0,25	100
3,15	6	0,75	1,00	99,75
2,5	6	0,75	1,75	99,00
1,25	40	5,00	6,75	98,25
0,63	144	18,00	24,75	93,25
0,4	302	37,75	62,50	75,25
0,16	286	35,75	98,25	37,50
0,08	12	1,5	99,75	1,75
Fond	2	0,25	100	0,25

Module de finesse :

$$M_F = \frac{1}{100} \sum \text{Refus cumulés en \% des tamis (5 - 3,15 - 2,5 - 1,25 - 0,63 - 0,4 - 0,16 - 0,08 mm)}$$

$M_F = 2,95$

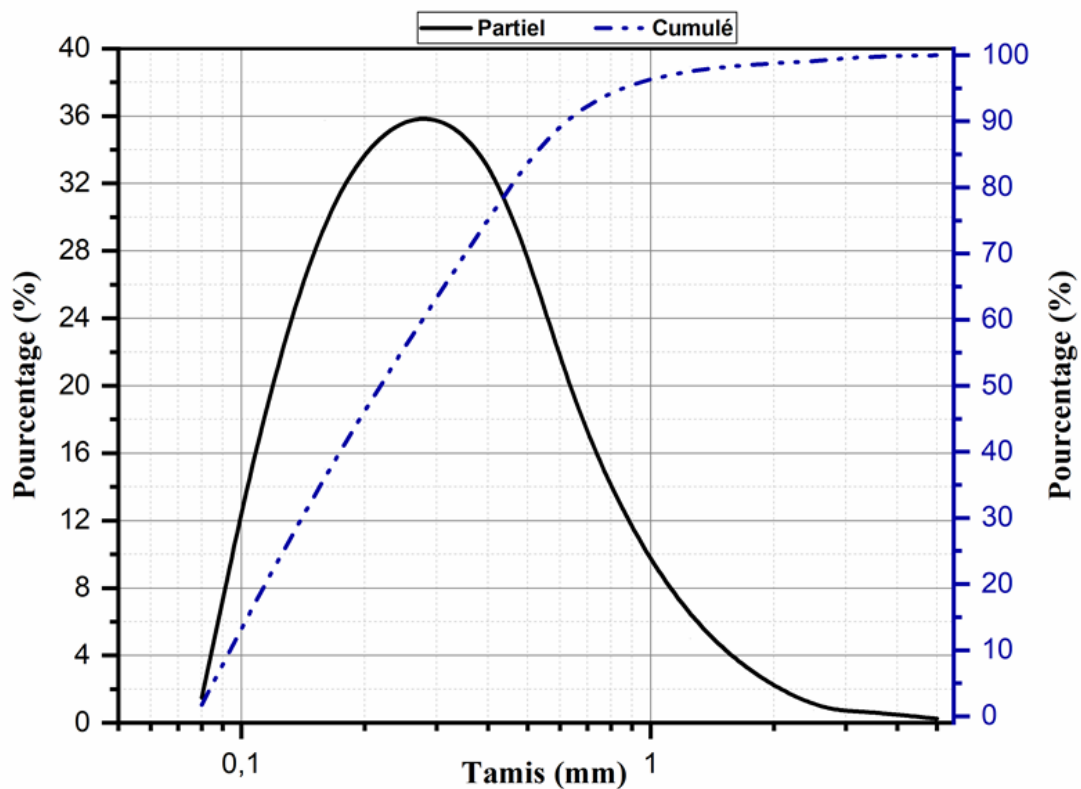


Figure III-5: Courbe Granulaires du sable Ouad zhour (0/2).

La Figure III-5 présente la répartition des tailles de particules du sable de Ouad Zhour (0/2). Cette analyse met en évidence que la majorité des particules sont retenues par les tamis de 0,125 mm à 0,25 mm. De plus, le fait que seulement 1,5 % des particules passent à travers le tamis de 0,063 mm confirme une faible présence de fines dans le sable. Cette distribution granulométrique particulière peut potentiellement influencer de manière positive la cohésion et la résistance du mortier.

Selon le tableau III-6, le module de finesse du sable de Boussaâda est de 1,9 qui appartient $1,60 < MF < 2,60$, selon la norme (N F EN 933-1), le sable est considéré comme fin. Il est recommandé pour une facilité de mise en œuvre

Tableau III-6: Analyse granulométrique du sable Boussaâda (0/1).

Masse de l'échantillon soumis à l'essai : $M = 400\text{ g}$				
Ouverture des tamis (mm)	Masse de refus (g)	Masse de refus (%) $R(\%) = (R_i/M) \times 100$	Refus cumulé (%)	Tamisat cumulé (%)
5	0	0	0	100
3,15	0	0	0	100
2,5	0	0	0	100
1,25	0	0	0	100
0,63	5	1,25	1,25	98,75
0,4	5	1,25	2,5	97,50
0,16	335	83,75	86,25	13,75
0,08	55	13,75	100	0
Fond	0	0	0	0
Module de finesse :				
$M_F = \frac{1}{100} \sum \text{Refus cumulés en \% des tamis (5 - 3,15 - 2,5 - 1,25 - 0,63 - 0,4 - 0,16 - 0,08 mm)}$				
$M_F = 1,9$				

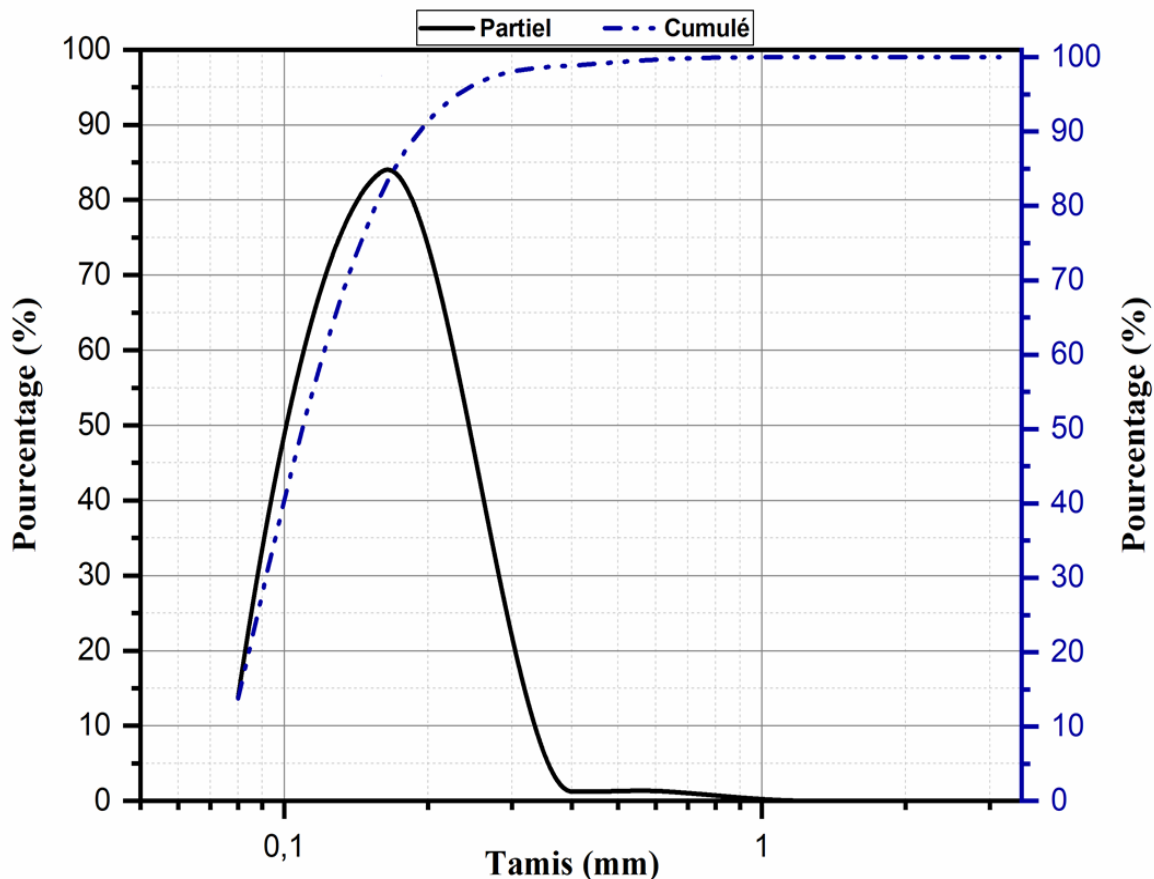


Figure III-6: Courbe Granulaires du sable Boussaâda (0/1).

La Figure III-6 présente la répartition granulométrique des particules du sable de Boussaâda (0/1). Cette analyse révèle que la plupart des particules se situent entre 0,063 mm et 0,125 mm, avec une concentration notable autour de 0,125 mm (une seule population). Seulement 13,75 % des particules passent à travers le tamis de 0,063 mm, ce qui témoigne d'une faible présence de fines. Cette granulométrie spécifique favorise le comblement des vides et la cohésion interne du mortier, ce qui peut potentiellement renforcer sa résistance à la flexion.

b) La brique :

Les résultats des analyses granulométriques de sable de brique (0/2), sont représentées dans le tableau III-7 :

Selon le tableau III-7, le module de finesse du sable de brique est de 3,03 qui appartient $2,60 < MF < 3,60$, selon la norme (NF EN 933-1), Cela signifie qu'il est classé comme un sable moyen.

Tableau III-7 : Analyse granulométrique de sable de brique (0/2).

Masse de l'échantillon soumis à l'essai : $M = 1200\text{ g}$				
Ouverture des tamis (mm)	Masse de refus (g)	Masse de refus (%) $R(\%) = (R_i/M) \times 100$	Refus cumulé (%)	Tamisat cumulé (%)
5	0	0	0	99,75
3,15	0	0	0	99,75
2,5	0	0	0	99,75
1,25	142	17,75	17,75	82,00
0,63	226	28,25	46,00	53,75
0,4	88	11,00	57,00	42,75
0,16	232	29,00	86,00	13,75
0,08	84	10,50	96,50	3,25
Fond	26	3,25	99,75	0

Module de finesse :

$$M_F = \frac{1}{100} \sum \text{Refus cumulés en \% des tamis (5 - 3,15 - 2,5 - 1,25 - 0,63 - 0,4 - 0,16 - 0,08 mm)}$$

$M_F = 3,03$

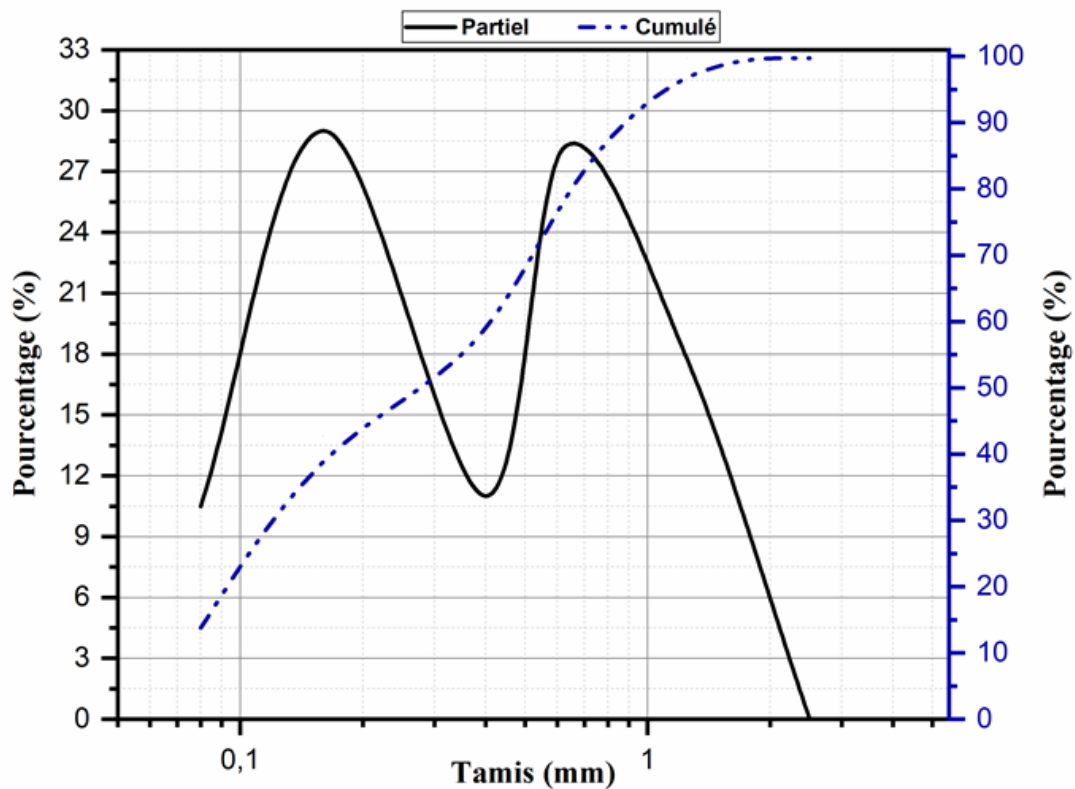


Figure III-7: Courbe Granulaires du sable de brique (0/2).

La Figure III-7 illustre l'analyse granulométrique du sable de brique, révélant deux pics distincts de masse de refus (%) (deux population), chacun correspondant à une plage de taille spécifique. Le premier pic, représentant les gros granulats, se situe autour de 0,5 mm, avec une masse de refus de 28,25 %. Le second pic, représentant les granulats fins, apparaît autour de 0,125 mm, avec une masse de refus de 29,00 %. La quasi-égalité des masses de refus pour ces deux pics suggère que le sable de brique possède une distribution granulométrique équilibrée, ce qui peut contribuer à la compacité et à la cohésion du mortier produit.

III.2.1.4 Bleu de méthylène (NF EN 933-9) :

La détermination de la valeur de bleu de méthylène est réalisée conformément à la norme (NF EN 933-9). Les résultats du test VB sont présentés dans les tableaux III-8 :

Tableau III-8: Résultat au bleu méthylène pour les différents sables.

Type de sable	VB
Carrière (0/4)	0,5
Boussaâda (0/1)	2
Ouad zhour (0/2)	0,5
La brique (0/2)	0,5

Le sable de Boussaâda (0/1) présente une valeur de bleu de méthylène de 2, ce qui révèle une capacité d'absorption relativement élevée du colorant. Conformément à la norme (NF EN 933-9), une valeur de bleu de méthylène située entre 2,0 et 3,0 indique une haute teneur en fines argileuses.

En revanche, les sables de Ouad Zhour (0/2), de la carrière (0/4) et de la brique (0/2) ont tous des valeurs de bleu de méthylène de 0,5. Cette valeur indique une capacité d'absorption moindre du colorant, suggérant une présence réduite de particules fines argileuses ou de surfaces actives par rapport au sable de Boussaâda. Selon la même norme, une valeur de bleu de méthylène comprise entre 0,5 et 1,0 correspond à une faible teneur en fines argileuses.

III.2.1.5 Équivalent de sable (NF EN 933-8) :

L'équivalent de sable est donné par la norme (NF EN 933-8). Les résultats sont montrés dans le tableau III-9 :

Pour le sable de Carrière (0/4), les valeurs moyennes de ESP=85,87 % dépassent légèrement la limite de la catégorie sable propre, dont il est considéré comme un sable très propre.

Pour le sable de Boussaâda (0/1), les valeurs moyennes de ESP=77,8 % se situent dans la catégorie sable propre selon les critères définis, avec un ESV moyen proche de 77 %.

Concernant le sable de Ouad Zhour (0/2), les valeurs moyennes de ESP=75,40 % indiquent également un sable propre avec un ESP moyen d'environ 75 %.

Enfin le sable de Brique (0/2), les valeurs moyennes ESP=67,69 % indiquent un sable légèrement argileux, avec un ESP moyen d'environ 68 %.

Tableau III-9: Résultat d'équivalent de sable des différents sables.

Type de sable	Essai	h ₁ (mm)	h ₂ (mm)	ESP (%)	ESP Moyen (%)
Carrière (0/4)	1	9,80	9,80	86,73	85,87
	2	10	9,80	85	
Ouad zhour (0/2)	1	12,40	9,30	75,80	75,40
	2	12,40	9,40	75	
Boussaâda (0/1)	1	10,40	8	76,92	77,81
	2	10,80	8,50	78,70	
La brique (0/2)	1	13	13,10	67,69	67,69
	2	8,80	9	68,70	

III.3 Caractérisations physiques des pâtes de ciment :

Le ciment sélectionné pour la création des divers mélanges de mortier est un ciment CPJ CEM II/ A-L R de classe 42.5, provenant de la cimenterie de Ain El-Kebira située dans la wilaya de Sétif.

III.3.1 Essai de consistance (Eau/Ciment) :

La variation des consistances de la pâte de ciment en fonction des taux d'ajout d'eau est représentée dans le tableau III-10 :

Tableau III-10: Consistance normale de la pâte de ciment.

E/c	Ciment (g)	Eau (g)	d (mm)
0,23	500	115	38
0,27	500	135	30
0,30	500	150	16
0,32	500	160	6

Le rapport $E/C = 0,32$ a permis d'obtenir une pâte de ciment avec une distance de pénétration de ($d = 6$ mm), indiquant que la consistance est parfaitement adaptée pour l'application prévue. Comme le montre la figure III-8, Ce résultat valide la méthode de formulation et confirme que la pâte de ciment est conforme aux critères de qualité nécessaires pour une performance optimale.



Figure III-8: Mesure de la consistance de ciment.

III.3.2 Essai de prise :

Le tableau III-11 permet de visualiser clairement le temps de prise du ciment (Figure III-9) :

Tableau III-11: L'essai de prise du ciment (Heures de Début et de Fin de Prise).

E/C	Heure de début de prise	Heure de fin de prise
0,32	2h 19min	4h 29min

Ces résultats montrent que le ciment testé a un début de prise de 2 heures et 19 minutes et une fin de prise de 4 heures et 29 minutes. Ces temps de prise sont conformes aux attentes pour ce type de ciment et indiquent une performance appropriée pour les applications prévues.



Figure III-9: Mesure de l'essai de prise du ciment (Heures de Début et de Fin de Prise).

III.3.3 Caractérisation physique :

Les résultats sont présentés dans tableau III-12, La masse volumique absolue est de 3,12 (g/cm³) et de surface spécifique Blaine 3715 (cm²/g), et pour la chaux libre (CaO Libre) est de 1,09 %.

Tableau III-12: Caractérisations physique de ciment.

	Masse volumique absolue (g/cm ³)	Masse volumique apparente (g/cm ³)	Surface spécifique Blaine (cm ² /g)	CaO Libre (%)
Résultats	3,2	1,1	3715	1,09

III.4 La composition chimique :

La composition chimique (% en masse) de toute la matière première est donnée dans le tableau III-13 :

Les résultats de l'analyse chimique montrent que le sable de Boussaâda (0/1) est particulièrement riche en silice (SiO₂), avec une concentration de 97,62%. Le sable de Ouad Zhour (0/2) suit avec une teneur de 81,77%, tandis que la brique en contient 59,71% et le ciment 20,62%. En revanche, le sable de carrière affiche la plus faible concentration en silice avec seulement 1,66%. Cependant, ce sable de carrière possède la plus haute teneur en oxyde de calcium (CaO) parmi tous les sables analysés, avec une valeur de 51,34%, tandis que le ciment contient 61,49% de CaO.

Tableau III-13: La composition chimique (% en masse) de toute la matière première.

<i>Eléments</i>	<i>Teneur (%)</i>				
	<i>Ciment</i>	<i>Sable (0/1)</i>	<i>Sable (0/2)</i>	<i>Sable (0/4)</i>	<i>Brique (0/2)</i>
<i>SiO₂</i>	20,62	97,62	81,77	1,66	59,71
<i>Al₂O₃</i>	3,96	0,171	2,05	0,412	15,69
<i>CaO</i>	61,49	0,543	6,79	51,34	7,56
<i>Fe₂O₃</i>	4,37	0,212	2,15	0,524	6,17
<i>K₂O</i>	0,29	0,275	0,608	0,0353	3,28
<i>Na₂O</i>	0,12	-	0,231	-	1,44
<i>MgO</i>	1,38	0,107	0,266	2,31	1,34
<i>SO₃</i>	1,59	0,0605	0,0216	0,317	0,1
<i>Cl</i>	0,01	0,0149	0,0167	0,0146	0,0149
<i>PAF</i>	6,18	-	-	-	-
<i>RI</i>	6,14	-	-	-	-

III.5 L'eau de gâchage (NF EN 1008):

Pour garantir la qualité de l'eau utilisée, nous avons suivi la norme (NF EN 1008). Ainsi, l'eau potable du réseau public de la wilaya de Bejaia a été employée dans notre étude. Plus précisément, l'eau de gâchage utilisée provenait du laboratoire du département de génie civil, avec un PH=7,78.

III.6 Le superplastifiant (NF EN 934-2+A1):

En conformité avec la norme (NF EN 934-2+A1), nous avons utilisé un adjuvant superplastifiant appelé "Sika ViscoCrete-4037 RMX". Ce superplastifiant/haut réducteur d'eau de nouvelle génération est à base de polycarboxylates et permet de produire divers types de béton, allant de la consistance plastique à auto-plaçante. Grâce à sa formulation spécifique et à son fort pouvoir de réduction d'eau, il est particulièrement recommandé pour les ciments ayant une teneur moyenne ou élevée en sulfates alcalins. Sa polyvalence lui permet de s'adapter à différents types de matériaux et à une large gamme de ciments. Cet adjuvant confère au béton une rhéologie stable sur une longue durée, réduit le retrait et améliore l'étanchéité.

III.7 Formulation des mortiers :

Pour la formulation de notre mortier, nous avons fixé les proportions de sable de carrière à divers pourcentages. L'objectif principal de notre étude était de trouver la quantité idéale des différents types de sable afin d'assurer une bonne consistance et des propriétés mécaniques adéquates du mortier.

Nous avons utilisé quatre types de sable différents, dosés en divers pourcentages dans chaque échantillon. Chaque formulation comprenait une quantité fixe de ciment, soit $M_{\text{ciment}}=450$ g, $M_{\text{sable}}=1350$ g, et $M_{\text{eau}}=225$ g d'eau, respectant un rapport (E/C) =0,5 selon la norme (NF EN 196-1). En plus de ces composants de base, nous avons également ajouté différentes quantités d'adjuvant pour améliorer certaines propriétés spécifiques du mortier.

Tableau III-14 : Les compositions du mortier témoin.

(C – Carrière) (S – Boussaâda) (W – Ouad zhour) (B – Brique)										
<i>Matière première</i>	<i>Ciment</i>	<i>Sable (0/4)</i>		<i>Sable (0/1)</i>		<i>Sable (0/2)</i>		<i>Brique (0/2)</i>		<i>Adjuvant (g)</i>
		(%)	(g)	(%)	(g)	(%)	(g)	(%)	(g)	
<i>MC</i>	450	100	1350	0	0	0	0	0	0	2,5
<i>MS</i>	450	0	0	100	1350	0	0	0	0	5
<i>MW</i>	450	0	0	0	0	100	1350	0	0	2,5
<i>MB</i>	450	0	0	0	0	0	0	100	1350	20

Tableau III-15 : Les compositions du mortier et les différentes gâchées réalisées avec (75%) du sable carrière.

(C – Carrière) (S – Boussaâda) (W – Ouad zhour) (B – Brique)										
<i>Matière première</i>	<i>Ciment</i>	<i>Sable (0/4)</i>		<i>Sable (0/1)</i>		<i>Sable (0/2)</i>		<i>Brique (0/2)</i>		<i>Adjuvant (g)</i>
		(%)	(g)	(%)	(g)	(%)	(g)	(%)	(g)	
<i>MC75-S25</i>	450	75	1012,5	25	337,5	0	0	0	0	2,5
<i>MC75-W25</i>	450	75	1012,5	0	0	25	337,5	0	0	2,5
<i>MC75-B25</i>	450	75	1012,5	0	0	0	0	25	337,5	2,5

Tableau III-16 : Les compositions du mortier et les différentes gâchées réalisées avec (50%) du sable de carrière.

(C – Carrière) (S – Boussaâda) (W – Ouad zhour) (B – Brique)										
<i>Matière première</i>	<i>Ciment</i>	<i>Sable (0/4)</i>		<i>Sable (0/1)</i>		<i>Sable (0/2)</i>		<i>Brique (0/2)</i>		<i>Adjuvant (g)</i>
		(%)	(g)	(%)	(g)	(%)	(g)	(%)	(g)	
<i>MC50-SB25</i>	450	50	675	25	337,5	0	0	25	337,5	7,5
<i>MC50-SW25</i>	450	50	675	25	337,5	25	337,5	0	0	2,5
<i>MC50-BW25</i>	450	50	675	0	0	25	337,5	25	337,5	2,5
<i>MCW50</i>	450	50	675	0	0	50	675	0	0	2,5
<i>MCB50</i>	450	50	675	0	0	0	0	50	675	5,5
<i>MCS50</i>	450	50	675	50	675	0	0	0	0	5

Tableau III-17 : Les compositions du mortier et les différentes gâchées réalisées avec (25%) du sable de carrière.

(C – Carrière) (S – Boussaâda) (W – Ouad zhour) (B – Brique)										
<i>Matière première</i>	<i>Ciment</i>	<i>Sable (0/4)</i>		<i>Sable (0/1)</i>		<i>Sable (0/2)</i>		<i>Brique (0/2)</i>		<i>Adjuvant (g)</i>
		(%)	(g)	(%)	(g)	(%)	(g)	(%)	(g)	
<i>MCW25-S50</i>	450	25	337,5	50	675	25	337,5	0	0	2,5
<i>MCB25-S50</i>	450	25	337,5	50	675	0	0	25	337,5	7,5
<i>MCS25-W50</i>	450	25	337,5	25	337,5	50	675	0	0	2,5
<i>MCSWB25</i>	450	25	337,5	25	337,5	25	337,5	25	337,5	5
<i>MCS25-B50</i>	450	25	337,5	25	337,5	0	0	50	675	7,5
<i>MCB25-W50</i>	450	25	337,5	0	0	50	675	25	337,5	5
<i>MCW25-B50</i>	450	25	337,5	0	0	25	337,5	50	675	7,5

Tableau III-18 : Les compositions du mortier et les différentes gâchées réalisées sans sable de carrière.

(C – Carrière) (S – Boussaâda) (W – Ouad zhour) (B – Brique)										
<i>Matière première</i>	<i>Ciment</i>	<i>Sable (0/4)</i>		<i>Sable (0/1)</i>		<i>Sable (0/2)</i>		<i>Brique (0/2)</i>		<i>Adjuvant (g)</i>
		(%)	(g)	(%)	(g)	(%)	(g)	(%)	(g)	
<i>MS50-WB25</i>	450	0	0	50	675	25	337,5	25	337,5	5
<i>MSB25-W50</i>	450	0	0	25	337,5	50	675	25	337,5	5
<i>MSW25-B50</i>	450	0	0	25	337,5	25	337,5	50	675	5

III.8 Conclusion :

Le travail présenté dans ce chapitre traite 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 frais et durci.

L'incorporation de sable de brique dans la formulation du mortier présente des avantages et des inconvénients potentiels. Sa faible masse volumique apparente permet d'obtenir un mortier plus léger.

Cependant, il est important de considérer son absorption d'eau élevée, qui peut affecter négativement la consistance, la résistance mécanique et la durabilité du mortier, ainsi que le sable de carrière à la quantité la plus élevée de particule fine, suite à son module de finesse élevé.

*Chapitre IV : Les résultats physiques et
mécaniques.*

Chapitre IV : Les résultats physiques et mécaniques.

IV.1 Introduction :

Dans ce dernier chapitre, nous présentons les résultats issus des essais expérimentaux ainsi que l'analyse de chaque échantillon de mortier élaboré. L'objectif est de démontrer la faisabilité technique d'utiliser partiellement ou totalement des déférentes sables dans la composition du mortier, en comparaison avec des mortiers témoin. Nous avons réalisé des essais à l'état frais et durci, observant l'évolution des performances à des âges de 7 et 28 jours. Cette approche nous permet d'évaluer de manière progressive les propriétés du mortier et d'identifier les impacts des différents pourcentages de sables utilisés.

IV.2 Confection des mortiers :

La préparation des mortiers commence par une homogénéisation à sec des matériaux, incluant le sable et le ciment, pendant 30 secondes. Ensuite, deux tiers de la quantité totale d'eau sont ajoutés à ce mélange sec. Le tiers restant de l'eau est mélangé avec l'adjuvant avant d'être incorporé au mélange principal. La première phase de malaxage consiste à mélanger à une vitesse lente pendant 30 secondes, puis à augmenter la vitesse du mélangeur à un niveau moyen et continuer le malaxage à cette vitesse moyenne pendant 60 secondes supplémentaires.

Le mélange obtenu est ensuite versé dans des moules à prisme de dimensions (4 cm × 4 cm × 16 cm). Les moules sont placés sur une table à chocs et vibrés pendant 60 secondes pour éliminer les bulles d'air et assurer une bonne compaction (voir la figure IV-1). Les moules sont conservés dans une pièce pendant 24 heures. Après cette période, les échantillons sont démoulés et placés dans l'eau pour le durcissement jusqu'aux âges de test de 7 et 28 jours.

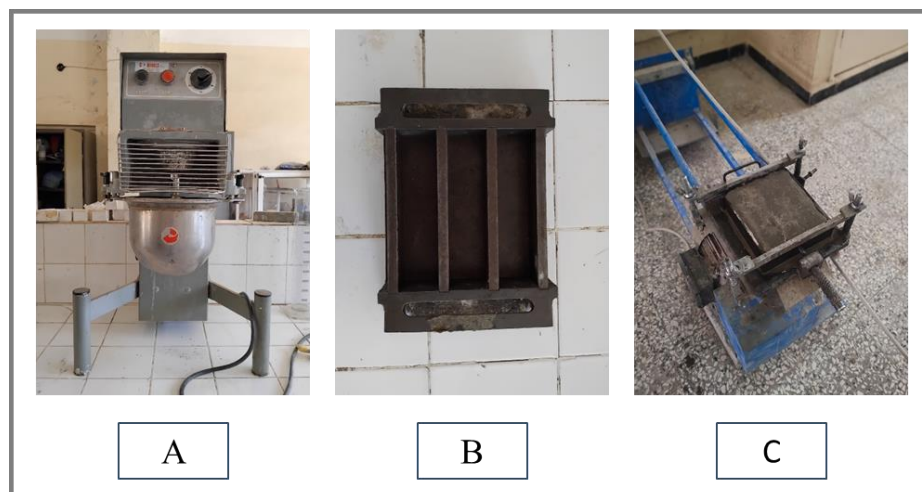


Figure IV-1: Malaxeur du mortiers (A), le moule à prisme (B), et table à choc (C).

IV.3 Conservation des éprouvettes :

Après avoir conservé les moules avec un film plastique pour éviter l'évaporation de l'eau, les éprouvettes sont démoulées et placées dans un bac d'eau (Figure IV-2). Cette méthode permet de prévenir les pertes d'eau et de garantir le bon déroulement du processus d'hydratation du ciment.



Figure IV-2: Mode de conservation des éprouvettes.

IV.4 Essais sur les mortiers :

IV.4.1 La masse volumique fraîche (NF EN 1015-10) :



Figure IV-3: Mesure de la masse volumique à l'état frais.

La figure IV-4 présente les résultats de la masse volumique des mortiers témoins à l'état frais (Figure IV-3). Le mortier MC (100% sable de carrière) affiche la masse volumique la plus élevée, à 2,48 (g/cm³), indiquant une densité supérieure par rapport aux autres types de sable. Le mortier MS (100% sable de Boussaâda) donne une masse volumique de 2,24 (g/cm³), légèrement inférieure à celle du sable de carrière mais toujours relativement élevée. Le mélange MW (100% sable de Ouad zhour) produit un mortier avec une masse volumique de 2,22 (g/cm³), très proche de celle du sable de Boussaâda, suggérant une densité similaire entre ces deux sables. Enfin, le mélange MB (100% sable de brique) confère au mortier la masse volumique la plus faible, à 2,20 (g/cm³), indiquant une densité légèrement inférieure.

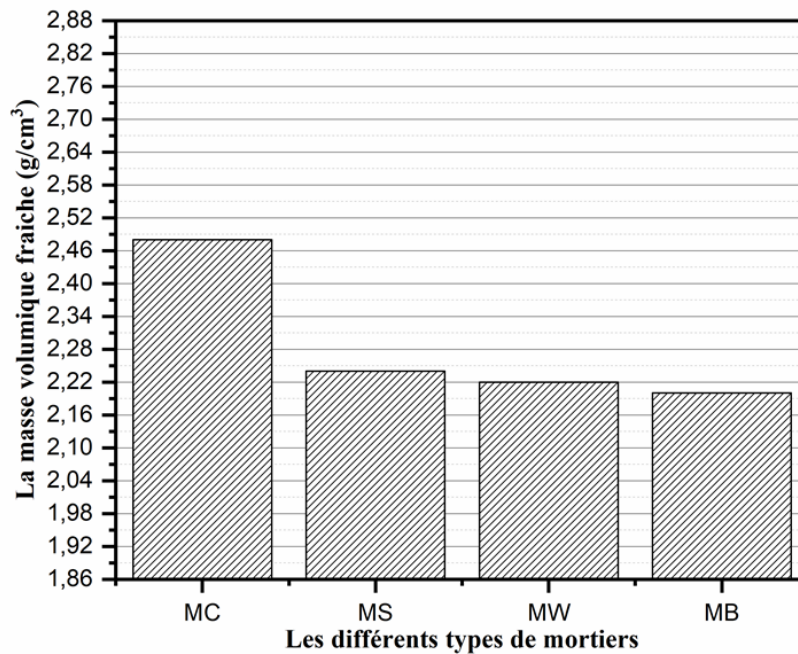


Figure IV-4: Résultats de la masse volumique des mortiers témoins à l'état frais.

Le tableau IV-1 montrent que le mélange contenant MC75-S25 présente la densité la plus élevée à 2,45 (g/cm³). En comparaison, le mélange composé de MC75-B25, est moins denses, avec une densités 2,32 (g/cm³).

Tableau IV-1: Résultats de la masse volumique des mortiers à l'état frais pour divers mélanges de sable, indiquant les différentes combinaisons de sable carrière à 75%.

(C – Carrière)	(S – Boussaâda)	(W – Ouad zhour)	(B – Brique)
<i>Matière première</i>		ρ_n (g/cm ³)	
<i>MC75-S25</i>		2,45	
<i>MC75-W25</i>		2,35	
<i>MC75-B25</i>		2,32	

On observe dans le tableau IV-2 que le mélange MC50-SW25, présente la masse volumique la plus élevée à 2,42 (g/cm³). En revanche, le mélange MCB50, affiche une masse volumique de 2,27 (g/cm³), ce qui est relativement inférieur aux autres mélanges. Cela indique que l'ajout de sable de brique réduit la densité du mortier.

Tableau IV-2: Résultats de la masse volumique des mortiers à l'état frais pour divers mélanges de sable, indiquant les différentes combinaisons de sable carrière à 50 %.

(C – Carrière) (S – Boussaâda) (W – Ouad zhour) (B – Brique)	
<i>Matière première</i>	ρ_n (g/cm ³)
<i>MC50-SB25</i>	2,34
<i>MC50-SW25</i>	2,42
<i>MC50-BW25</i>	2,29
<i>MCW50</i>	2,35
<i>MCB50</i>	2,27
<i>MCS50</i>	2,41

Le tableau IV-3 montre que le mortier MC25-W75 tend à avoir une densité plus élevée, avec une valeur de 2,39 (g/cm³). En revanche, l'ajout de sable de brique tend à réduire la densité, comme le montre le mortier MCS25-B50 avec une densité de 2,03 (g/cm³), la plus faible parmi les mélanges testés.

Tableau IV-3: Résultats de la masse volumique des mortiers à l'état frais pour divers mélanges de sable, indiquant les différentes combinaisons de sable carrière à 25 %.

(C – Carrière) (S – Boussaâda) (W – Ouad zhour) (B – Brique)	
<i>Matière première</i>	ρ_n (g/cm ³)
<i>MCW25-S50</i>	2,25
<i>MCB25-S50</i>	2,14
<i>MCS25-W50</i>	2,21
<i>MCSWB25</i>	2,20
<i>MCS25-B50</i>	2,03
<i>MC25-W75</i>	2,39
<i>MCB25-W50</i>	2,18
<i>MCW25-B50</i>	2,16

Dans le tableau IV-4, on remarque que le mortier MS50-WB25 se distingue par la densité la plus élevée, atteignant 2,20 (g/cm³). A l'inverse, le mélange MSW25-B50 présente la densité la plus faible, avec une valeur de 2,17 (g/cm³).

Tableau IV-4: Résultats de la masse volumique des mortiers à l'état frais pour divers mélanges sans le sable carrière.

(S – Boussaâda) (W – Ouad zhour) (B – Brique)	
<i>Matière première</i>	ρ_n (g/cm ³)
<i>MS50-WB25</i>	2,20
<i>MSB25-W50</i>	2,19
<i>MSW25-B50</i>	2,17

Parmi tous les mélanges étudiés, le mélange MC75-S25, se distingue par la masse volumique la plus élevée, atteignant 2,45 (g/cm³). Cette valeur se rapproche de celle du mélange témoin MC, composé exclusivement de sable de carrière, avec une masse volumique de 2,48 (g/cm³). En revanche, le mélange MCS25-B50 présente la masse volumique la plus faible, à 2,04 (g/cm³). Ce résultat est comparable à celui du mortier témoin MB, composé à 100% de sable de brique, dont la masse volumique est de 2,20 (g/cm³).

Ces variations s'expliquent principalement par le type et la proportion des agrégats utilisés. Les agrégats plus denses, tels que le sable de carrière, tendent à augmenter la masse volumique du mortier, tandis que les agrégats plus légers, comme le sable de brique, la diminuent.

IV.4.2 La caractérisation à l'état durci :

IV.4.2.1 La masse volumique à l'état durci (NF EN 1936) :

La figure IV-5 présente les résultats de la masse volumique à l'état durci selon les mortiers témoins issus de différentes matières premières permet de tirer plusieurs interprétations. Premièrement, on observe une tendance générale à l'augmentation de la masse volumique avec le temps, passant des valeurs à 7 jours aux valeurs à 28 jours pour chaque mortier. Cela indique une consolidation et une densification du matériau au fil du temps, conforme aux propriétés d'hydratation et de durcissement des mortiers.

En examinant les valeurs spécifiques, on constate que le mortier MC (100% carrière) présente les plus hautes valeurs de masse volumique à la fois à 7 jours de cure (2,21 g/cm³) et à 28 jours (2,24 g/cm³), indiquant une densité relativement élevée et une bonne compacité du mortier. En revanche, le mortier MB (100% Brique) affiche les valeurs les plus basses à la fois

à 7 jours ($1,85 \text{ g/cm}^3$) et à 28 jours de cure ($1,96 \text{ g/cm}^3$), suggérant une densité plus faible du mortier. Les mortiers MS (100% Boussaâda) et MW (100% Ouad zhour) montrent des valeurs intermédiaires, avec des tendances similaires à celles de MC (100% carrière) mais légèrement inférieures.

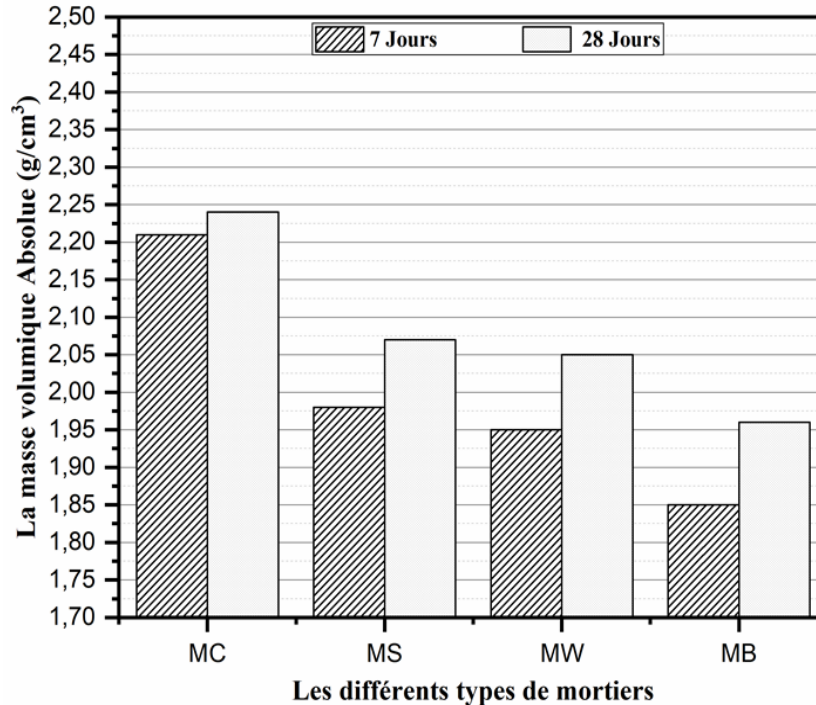


Figure IV-5: Résultats de la masse volumique des mortiers témoins à l'état durci.

Le tableau IV-5 montre clairement une tendance où la masse volumique augmente généralement avec la proportion de sable de carrière dans les mélanges, à la fois à 7 jours et à 28 jours de cure. On observe que tous les mélanges affichent des valeurs plus élevées que le mortier témoin (100% sable de carrière). Cependant, il est important de noter que cette différence est souvent attribuée aux variations potentielles dans la préparation des échantillons au laboratoire, telles que les défauts possibles dans les moules utilisés, des défauts de surface des moules pourraient entraîner des variations dans la compaction des échantillons, affectant ainsi la densité mesurée. Bien que les conditions de laboratoire soient contrôlées autant que possible, ces facteurs peuvent contribuer à des écarts observés entre les échantillons expérimentaux et le mortier témoin.

Tableau IV-5: Résultats de la masse volumique des mortiers à l'état durci pour divers mélanges de sable, indiquant les différentes combinaisons de sable carrière à 75%.

(C – Carrière) (S – Boussaâda) (W – Ouad zhour) (B – Brique)		
<i>Matière première</i>	<i>7 jours</i>	<i>28 jours</i>
	ρ_d (g/cm ³)	ρ_d (g/cm ³)
<i>MC75-S25</i>	2,34	2,40
<i>MC75-W25</i>	2,28	2,34
<i>MC75-B25</i>	2,22	2,24

Le tableau IV-6 montre qu'à 7 jours, le mélange MC50-SB25 présente la densité la plus élevée, mesurée à 2,17 (g/cm³), suivi de près par le mélange MC50-SW25 avec une densité de 2,16 (g/cm³). Après 28 jours de cure, le mélange MC50-SB25 continue d'avoir la densité la plus élevée, atteignant 2,22 (g/cm³). Tandis que, le mélange MCS50 affiche la valeur la plus basse à la fois à 7 et 28 jours.

Tableau IV-6: Résultats de la masse volumique des mortiers à l'état durci pour divers mélanges de sable, indiquant les différentes combinaisons de sable carrière à 50%.

(C – Carrière) (S – Boussaâda) (W – Ouad zhour) (B – Brique)		
<i>Matière première</i>	<i>7 jours</i>	<i>28 jours</i>
	ρ_d (g/cm ³)	ρ_d (g/cm ³)
<i>MC50-SB25</i>	2,17	2,22
<i>MC50-SW25</i>	2,16	2,18
<i>MC50-BW25</i>	2,13	2,17
<i>MCW50</i>	2,13	2,18
<i>MCB50</i>	2,05	2,10
<i>MCS50</i>	2,11	2,16

Dans le tableau IV-7, les résultats à 7 jours mettent en évidence que le mélange MC25-W75 se distingue par sa densité élevée de 2,21 (g/cm³). Cette tendance se confirme à 28 jours, où le mélange MC25-W75 maintient sa densité élevée de 2,24 (g/cm³), tandis que le mélange MCB25-S50 présente une densité légèrement inférieure, mesurée à 2,08 (g/cm³).

Tableau IV-7: Résultats de la masse volumique des mortiers à l'état durci pour divers mélanges de sable, indiquant les différentes combinaisons de sable carrière à 25%.

(C – Carrière) (S – Boussaâda) (W – Ouad zhour) (B – Brique)		
<i>Matière première</i>	<i>7 jours</i>	<i>28 jours</i>
	ρ_d (g/cm ³)	ρ_d (g/cm ³)
<i>MCW25-S50</i>	2,06	2,13
<i>MCB25-S50</i>	2,02	2,09
<i>MCS25-W50</i>	2,04	2,12
<i>MCSWB25</i>	2,07	2,12
<i>MCS25-B50</i>	2,04	2,08
<i>MC25-W75</i>	2,21	2,24
<i>MCB25-W50</i>	2,09	2,15
<i>MCW25-B50</i>	2,05	2,13

Le tableau IV-8 montre qu'à 7 jours, le mélange MS50-WB25 présente la densité la plus basse, avec une valeur de 1,98 (g/cm³), tandis que le mélange MSW25-B50 a une densité légèrement plus élevée, à la fois à 7 jours et à 28 jours de cure, avec des valeurs respectives de 2,04 (g/cm³) et 2,12 (g/cm³). À 28 jours, cette tendance se maintient, le mélange MS50-WB25 affichant encore la densité la plus basse, avec une valeur de 2,01 (g/cm³).

Tableau IV-8 : Résultats de la masse volumique des mortiers à l'état durci pour divers mélanges sans le sable carrière.

(S – Boussaâda) (W – Ouad zhour) (B – Brique)		
<i>Matière première</i>	<i>7 jours</i>	<i>28 jours</i>
	ρ_d (g/cm ³)	ρ_d (g/cm ³)
<i>MS50-WB25</i>	1,98	2,01
<i>MSB25-W50</i>	2,04	2,08
<i>MSW25-B50</i>	2,04	2,12

Parmi les mélanges à 28 jours, le mélange MC75-S25 présente la masse volumique la plus élevée, atteignant 2,40 (g/cm³). À l'opposé, le mélange MS50-WB25 présente la masse volumique la plus faible, avec une valeur de 2,01 (g/cm³), soulignant l'influence persistante des agrégats légers sur la densité du mortier même après un durcissement complet.

IV.4.2.2 La porosité :

Le figure IV-6 montre que, à 7 jours, le mortier MB à base de brique présente la porosité la plus élevée à 25,54 %, indiquant une structure initialement très poreuse et moins dense, cela peut s'expliquer par la nature poreuse de la brique broyée et par la cinétique plus lente de la réaction pouzzolanique à ce stade précoce. En revanche, le mortier MC de carrière affiche la porosité la plus basse à 12,71 %. À 28 jours, tous les échantillons montrent une réduction de la porosité, avec le mortier de brique réduisant sa porosité de manière significative à 9,03 %, se rapprochant des valeurs des autres échantillons. Cette évolution s'explique par l'intensification de la réaction pouzzolanique avec le temps, qui contribue à combler les pores et à améliorer la compacité du mortier.

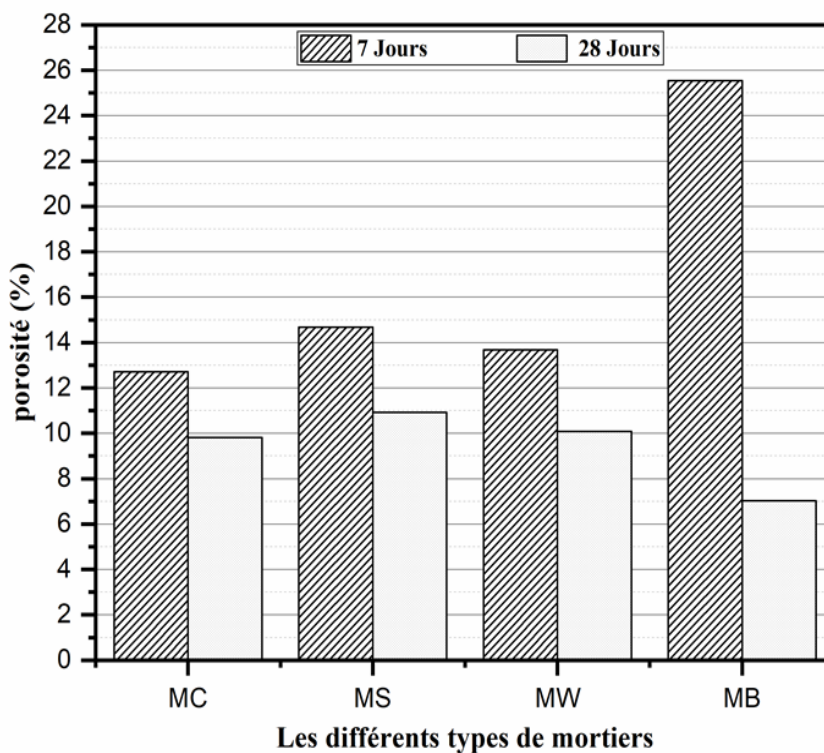


Figure IV-6: Résultats de la porosité des mortiers témoins.

Les résultats du tableau IV-9 montrent qu'à 7 jours, le mélange MC75-W25 présente la porosité la plus élevée à 13,14 %. À 28 jours, c'est le mélange MC75-S25 qui affiche la porosité maximale à 12,03 %. En revanche, le mélange MC75-B25, présente la porosité la plus basse à la fois à 7 jours de cure (11,59 %) et à 28 jours (9,03 %).

Tableau IV-9: Résultats de la porosité des mortiers pour divers mélanges de sable, indiquant les différentes combinaisons de sable carrière à 75%.

(C – Carrière) (S – Boussaâda) (W – Ouad zhour) (B – Brique)		
<i>Matière première</i>	<i>7 jours</i>	<i>28 jours</i>
	P (%)	P (%)
<i>MC75-S25</i>	12,23	12,03
<i>MC75-W25</i>	13,14	11,64
<i>MC75-B25</i>	11,59	9,03

Les résultats du tableau IV-10 indiquent que le mélange MC50-BW25 présente la porosité la plus basse à 7 jours de cure, avec une valeur de 11,14 %. En revanche, le mélange MC50-SW25 montre une meilleur porosité (la plus basse), atteignant une valeur de 6,63 % après 28 jours de cure.

Tableau IV-10: Résultats de la porosité des mortiers pour divers mélanges de sable, indiquant les différentes combinaisons de sable carrière à 50%.

(C – Carrière) (S – Boussaâda) (W – Ouad zhour) (B – Brique)		
<i>Matière première</i>	<i>7 jours</i>	<i>28 jours</i>
	P (%)	P (%)
<i>MC50-SB25</i>	11,24	6,81
<i>MC50-SW25</i>	12,23	6,63
<i>MC50-BW25</i>	11,14	7,18
<i>MCW50</i>	12,11	8,01
<i>MCB50</i>	12,06	7,49
<i>MCS50</i>	12,71	8,04

Les résultats du tableau IV-11 montrent que le mélange MCW25-S50 a une porosité initiale élevée de 13,00 % à 7 jours. En revanche, le mélange MCW25-B50 montre la plus forte réduction de porosité, passant de 11,53 % à 6,25 %.

Tableau IV-11: Résultats de la porosité des mortiers pour divers mélanges de sable, indiquant les différentes combinaisons de sable carrière à 25%.

(C – Carrière) (S – Boussaâda) (W – Ouad zhour) (B – Brique)		
<i>Matière première</i>	<i>7 jours</i>	<i>28 jours</i>
	P (%)	P (%)
<i>MCW25-S50</i>	13,00	12,06
<i>MCB25-S50</i>	12,95	11,53
<i>MCS25-W50</i>	12,42	11,64
<i>MCSWB25</i>	12,30	10,46
<i>MCS25-B50</i>	10,53	8,90
<i>MC25-W75</i>	12,23	9,49
<i>MCB25-W50</i>	12,12	8,22
<i>MCW25-B50</i>	11,53	6,25

Le tableau IV-12 montre que le mélange MS50-WB25 se distingue avec la plus grande valeur de porosité, atteignant 13,14 % à 7 jours de cure. Par contre le mélange MSW25-B50 affiche la valeur la plus basse de la porosité (6,69 %).

Tableau IV-12: Résultats de la porosité des mortiers à l'état durci pour divers mélanges sans le sable carrière.

(S – Boussaâda) (W – Ouad zhour) (B – Brique)		
<i>Matière première</i>	<i>7 jours</i>	<i>28 jours</i>
	P (%)	P (%)
<i>MS50-WB25</i>	13,14	11,54
<i>MSB25-W50</i>	11,92	9,35
<i>MSW25-B50</i>	8,54	6,69

En conclusion, les variations de porosité observées dans les différents mélanges de mortier révèlent qu'à 28 jours, le mortier MCS50 présente la porosité la plus élevée (12,71 %), alors que le mortier MCW25-B50 a la porosité la plus faible (6,25 %).

La réduction de la porosité est principalement due à la réaction pouzzolanique, où les matériaux pouzzolaniques réagissent avec l'hydroxyde de calcium libéré lors de l'hydratation du ciment pour former du silicate de calcium hydraté (C-S-H). Ce gel comble les pores et les vides, augmentant ainsi la densité du mortier. En conséquence, la porosité diminue, ce qui

améliore les propriétés mécaniques et la durabilité du mortier en limitant la pénétration de substances nuisibles et en augmentant la résistance aux attaques chimiques et à l'eau.

IV.4.2.3 Absorption d'eau :

Les résultats présentés dans la figure IV-7 fournissent les pourcentages d'absorption d'eau des échantillons témoins à 7 jours et à 28 jours de cure. Globalement, on observe la même tendance que celle de la porosité (la diminution de l'absorption d'eau). Le mortier MC (100% sable de carrière) montre une réduction modérée de l'absorption d'eau, passant de 5,58% à 7 jours à 5,18% à 28 jours. En revanche, le mortier MS, MW, et MB présentent des réductions plus important de l'absorption d'eau. Notamment, l'échantillon MB (100% sable de brique) montre la plus grande réduction, passant de 13,60% à 7 jours à seulement 4,95% à 28 jours, ce qui indique une densification très efficace du matériau.

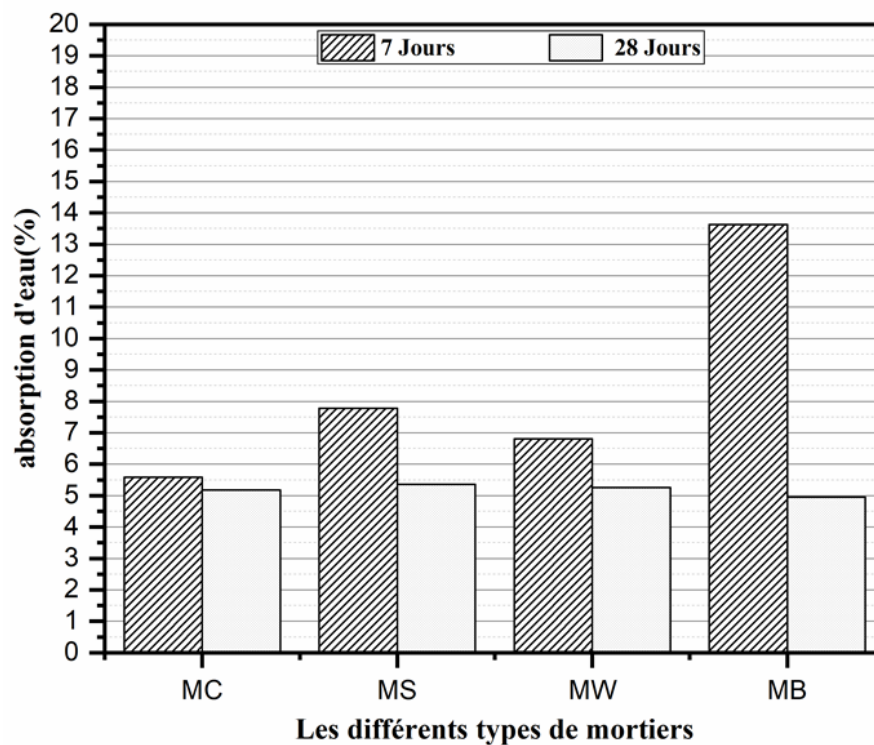


Figure IV-7: Résultats de l'absorbions d'eau des mortiers témoins.

Les données du tableau IV-13 révèlent qu'après 7 jours de cure, le mélange MC75-W25 affiche la valeur la plus élevée, atteignant 6,55 %. En revanche, le mélange MC75-S25 enregistre la valeur la plus basse, avec 5,58 %. Cependant, à 28 jours, le mélange MC75-S25 conserve sa position avec la valeur maximale, atteignant 5,28 %. À l'inverse, le mélange MC75-B25 présente la plus faible absorption d'eau, avec seulement 4,98 %.

Tableau IV-13: Résultats de l'absorbions des mortiers pour divers mélanges de sable, indiquant les différentes combinaisons de sable carrière à 75%.

(C – Carrière) (S – Boussaâda) (W – Ouad zhour) (B – Brique)		
<i>Matière première</i>	<i>7 jours</i>	<i>28 jours</i>
	ABS (%)	ABS (%)
<i>MC75-S25</i>	5,58	5,28
<i>MC75-W25</i>	6,55	5,27
<i>MC75-B25</i>	5,82	4,98

Les résultats du tableau IV-14 révèlent que le mélange MCW50 se distingue par une absorption d'eau maximale, atteignant 6,01 % à 7 jours et 5,97 % à 28 jours. À l'opposé, le mélange MC50-BW25 affiche la valeur d'absorption d'eau la plus basse à 7 jours, avec 5,14 %. Après 28 jours, c'est le mélange MC50-SW25 qui présente la plus faible valeur de 4,02 %.

Tableau IV-14: Résultats de l'absorbions des mortiers pour divers mélanges de sable, indiquant les différentes combinaisons de sable carrière à 50%.

(C – Carrière) (S – Boussaâda) (W – Ouad zhour) (B – Brique)		
<i>Matière première</i>	<i>7 jours</i>	<i>28 jours</i>
	ABS (%)	ABS (%)
<i>MC50-SB25</i>	5,15	4,28
<i>MC50-SW25</i>	5,56	4,02
<i>MC50-BW25</i>	5,14	4,22
<i>MCW50</i>	6,01	5,97
<i>MCB50</i>	5,46	4,12
<i>MCS50</i>	5,88	5,13

Les résultats du tableau IV-15 indiquent que, après 7 jours de cure, le mélange MCS25-B50 affiche la valeur la plus basse d'absorption d'eau, enregistrant seulement 5,12 %. En revanche, à 28 jours, le mélange MCW25-B50 présente une absorption d'eau remarquablement basse, atteignant seulement 4,00 %.

Tableau IV-15: Résultats de l'absorbions des mortiers pour divers mélanges de sable, indiquant les différentes combinaisons de sable carrière à 25%.

(C – Carrière) (S – Boussaâda) (W – Ouad zhour) (B – Brique)		
<i>Matière première</i>	<i>7 jours</i>	<i>28 jours</i>
	ABS (%)	ABS (%)
<i>MCW25-S50</i>	6,35	5,64
<i>MCB25-S50</i>	6,36	5,19
<i>MCS25-W50</i>	6,14	5,55
<i>MCSWB25</i>	5,91	4,93
<i>MCS25-B50</i>	5,12	4,27
<i>MC25-W75</i>	5,96	4,81
<i>MCB25-W50</i>	5,90	4,28
<i>MCW25-B50</i>	5,85	4,00

Dans le tableau IV-16, on observe que le mélange MSW25-B50 affiche la valeur la plus basse à la fois à 7 jours et à 28 jours de cure, avec des valeurs respectives de 4,44 % et 4,02 %.

Tableau IV-16: Résultats de l'absorption des mortiers à l'état durci pour divers mélanges sans le sable carrière.

(S – Boussaâda) (W – Ouad zhour) (B – Brique)		
<i>Matière première</i>	<i>7 jours</i>	<i>28 jours</i>
	ABS (%)	ABS (%)
<i>MS50-WB25</i>	7,95	5,29
<i>MSB25-W50</i>	5,81	4,47
<i>MSW25-B50</i>	4,44	4,02

En conclusion, les variations de l'absorption d'eau constatées dans les différents mélanges de mortier révèlent qu'à 28 jours, le mélange MS50-WB25 présente la plus grande valeur d'absorption d'eau, à 5,29 %, tandis que le mélange MSW25-B50 affiche la plus faible valeur, à 4,02 %. Cette constance confirme l'impact persistant de la porosité sur l'absorption d'eau, même à un stade avancé de durcissement. Les mélanges caractérisés par une porosité plus élevée continuent d'absorber davantage d'eau, tandis que ceux avec une porosité moindre maintiennent une absorption d'eau plus modérée.

IV.4.2.4 La résistance à la compression :



Figure IV-8 : L'écrasement d'éprouvette à l'essai de compression.

Les résultats de la figure IV-9 montrent l'évolution des résistances à la compression de différents échantillons de mortier (Figure IV-8). On observe une amélioration de la résistance avec le temps pour tous les types de mortier. Le mortier MB (100% brique) se distingue par une faible résistance initiale à 7 jours (5,92 MPA), mais affiche une augmentation considérable à 28 jours de cure (29,26 MPA), dépassant même celle des autres compositions. Le mortier MC (100% carrière) montre aussi une amélioration de la résistance avec le temps, bien que moins prononcée que celle du MB. Quant aux mortiers MS et MW, leurs augmentations de résistance sont plus modérées, mais suivent la tendance générale.

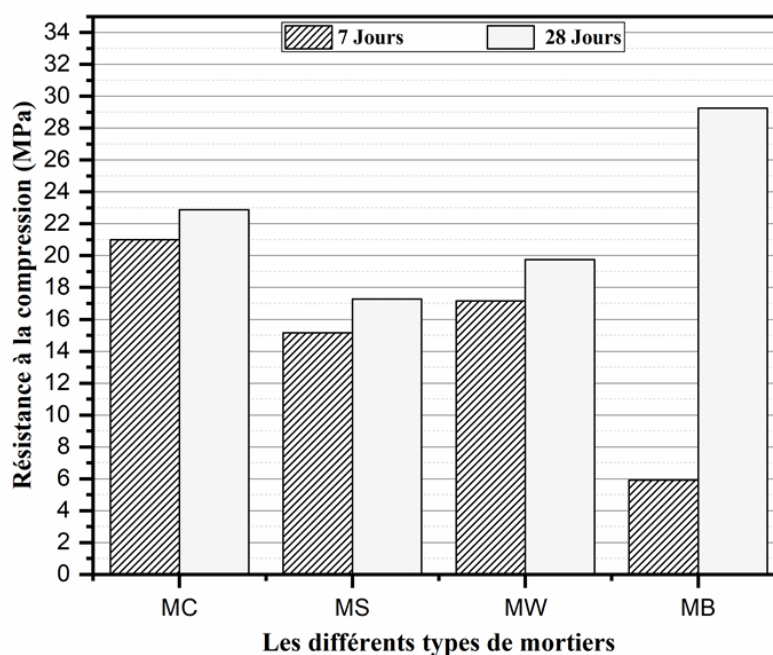


Figure IV-9: Résultats de l'essai de compression des mortiers témoins.

Les données du tableau IV-17 révèlent que le mélange MC75-B25, affiche la résistance la plus élevée à la compression aux deux intervalles de temps (7 et 28 de cure), avec une amélioration constante de 23,34 MPa à 29,34 MPa, respectivement.

Tableau IV-17: Résultats de l'essai de compression des mortiers pour divers mélanges de sable, indiquant les différentes combinaisons de sable carrière à 75%.

(C – Carrière) (S – Boussaâda) (W – Ouad zhour) (B – Brique)		
<i>Matière première</i>	<i>7 jours</i>	<i>28 jours</i>
	Compression (MPa)	Compression (MPa)
<i>MC75-S25</i>	20,47	21,87
<i>MC75-W25</i>	18,34	26,25
<i>MC75-B25</i>	23,34	29,34

Dans le tableau IV-18, Une observation notable est la tendance à des résistances plus élevées chez les mélanges incorporant du sable de brique, particulièrement remarquable à 7 jours. Le mélange MC50-SW25 se distingue en affichant la plus forte résistance à 28 jours parmi tous les mélanges, atteignant 34,32 MPa.

Tableau IV-18: Résultats de l'essai de compression des mortiers pour divers mélanges de sable, indiquant les différentes combinaisons de sable carrière à 50%.

(C – Carrière) (S – Boussaâda) (W – Ouad zhour) (B – Brique)		
<i>Matière première</i>	<i>7 jours</i>	<i>28 jours</i>
	Compression (MPa)	Compression (MPa)
<i>MC50-SB25</i>	24,03	30,89
<i>MC50-SW25</i>	20,49	34,32
<i>MC50-BW25</i>	25,29	32,21
<i>MCW50</i>	20,37	26,12
<i>MCB50</i>	26,14	31,63
<i>MCS50</i>	23,03	26,86

Dans le tableau IV-19, le mélange MCS25-B50 affiche la plus grande résistance à la compression à 7 jours, avec une valeur de 29,61 MPa. En revanche, les mélanges contenant du sable de brique tendent à présenter des résistances à la compression plus élevées, particulièrement marquées à 28 jours. Le mélange MCW25-B50 est notable pour sa résistance à la compression maximale de 48,35 MPa à 28 jours.

Tableau IV-19 : Résultats de l'essai de compression des mortiers pour divers mélanges de sable, indiquant les différentes combinaisons de sable carrière à 25%.

(C – Carrière) (S – Boussaâda) (W – Ouad zhour) (B – Brique)		
<i>Matière première</i>	<i>7 jours</i>	<i>28 jours</i>
	Compression (MPa)	Compression (MPa)
<i>MCW25-S50</i>	20,12	21,38
<i>MCB25-S50</i>	20,61	29,53
<i>MCS25-W50</i>	22,12	24,12
<i>MCSWB25</i>	23,32	30,37
<i>MCS25-B50</i>	29,61	35,67
<i>MC25-W75</i>	23,23	30,65
<i>MCB25-W50</i>	24,34	35,90
<i>MCW25-B50</i>	25,55	48,35

Les données du tableau IV-20 montre que le mélange MSW25-B50 affiche la plus grande résistance à la compression à 7 jours, avec une valeur de 35,91 MPa. Ainsi ce mélange démontre la plus haute résistance à 28 jours, atteignant 46,74 MPa.

Tableau IV-20: Résultats de l'essai de compression des mortiers pour divers mélanges sans le sable carrière.

(S – Boussaâda) (W – Ouad zhour) (B – Brique)		
<i>Matière première</i>	<i>7 jours</i>	<i>28 jours</i>
	Compression (MPa)	Compression (MPa)
<i>MS50-WB25</i>	18,13	28,38
<i>MSB25-W50</i>	25,58	33,76
<i>MSW25-B50</i>	35,91	46,74

Les valeurs obtenues de la résistance à la compression montrent que les mortiers ayant subi une cure de 7 et 28 jours ont augmenté avec l'ajout de 50% de sable de brique. Cependant, le mélange MSW25-B50 affiche une résistance à la compression maximale à 7 jours. Par contre le mélange MCW25-B50 montre une grande résistance à 28 jours.

Cette augmentation significative de la résistance à la compression peut être attribuée à l'effet synergique de la réaction pozzolanique entre le ciment et le sable de brique. La brique broyée, en tant que matériau pozzolanique artificielle, réagit avec l'hydroxyde de calcium

(Ca(OH)₂) libéré lors de l'hydratation du ciment, formant des composés cimentaires supplémentaires comme le silicate de calcium hydraté (C-S-H). Ces composés renforcent la matrice du mortier, améliorant ainsi sa résistance mécanique.

À long terme, la réaction pozzolanique continue de se développer, contribuant à une densification accrue de la microstructure du mortier. Cela se traduit par une réduction de la porosité et une augmentation de la durabilité et de la résistance à la compression.

IV.4.2.5 La résistance à la flexion :

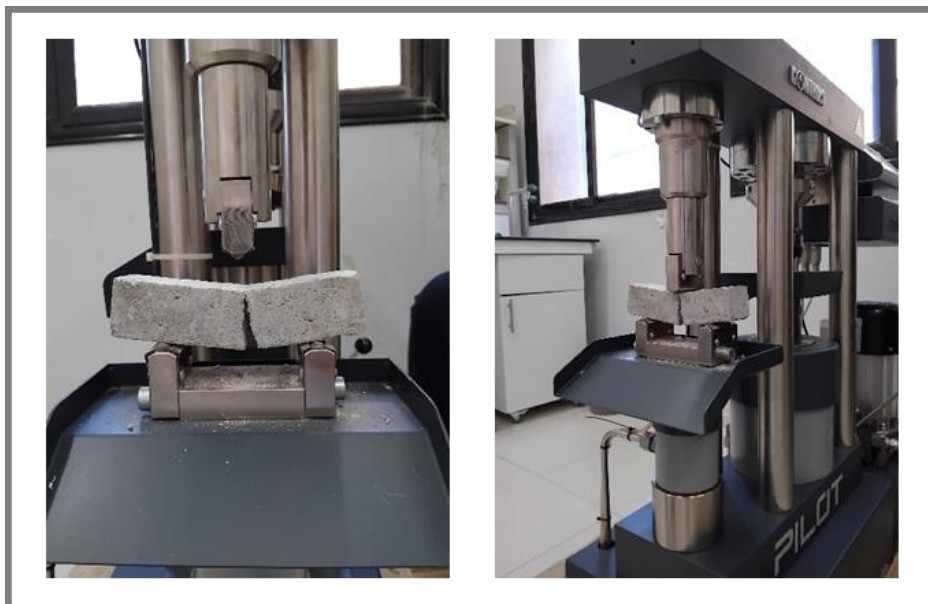


Figure IV-10 : L'essai de la flexion sur les éprouvettes.

La figure IV-11 montre que le mortier MC (100% carrière) affiche une résistance initiale de 4,19 MPa après 7 jours, qui progresse à 5,60 MPa après 28 jours. En revanche, le mortier MB (100% brique) présente une résistance initiale plus modeste de 2,09 MPa après 7 jours, mais connaît une augmentation remarquable à 5,37 MPa après 28 jours.

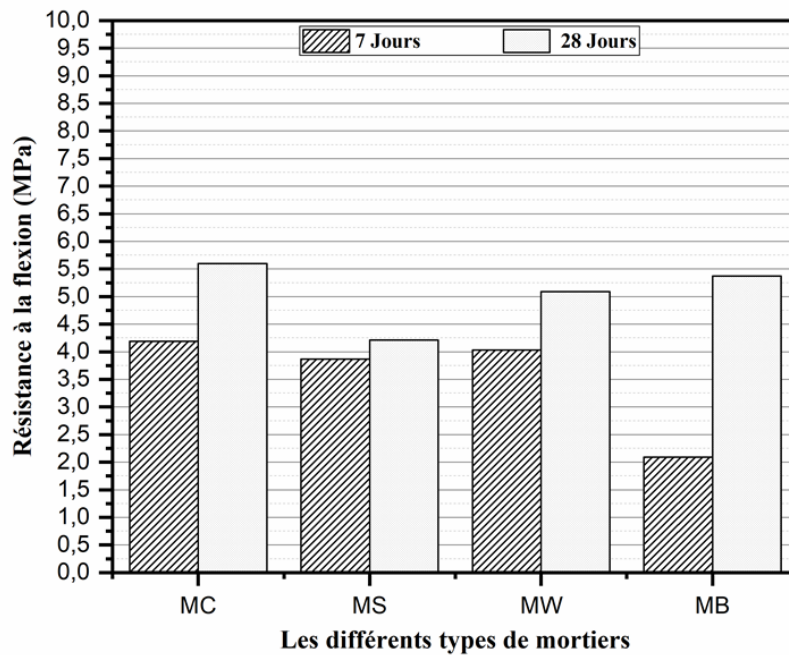


Figure IV-11: Résultats de l'essai de flexion des mortiers témoins.

Les résultats du tableau IV-21 montrent Après 7 jours de durcissement, le mortier MC75-B25 atteint une résistance à la flexion maximale (5,68 MPa). Le mortier MC75-W25 présente une résistance à la flexion la plus élevée (6,85 MPa) après 28 jours.

Tableau IV-21 : Résultats de l'essai de flexion des mortiers pour divers mélanges de sable, indiquant les différentes combinaisons de sable carrière à 75%.

	(C – Carrière)	(S – Boussaâda)	(W – Ouad zhour)	(B – Brique)
<i>Matière première</i>	<i>7 jours</i>		<i>28 jours</i>	
	Flexion (MPa)		Flexion (MPa)	
<i>MC75-S25</i>	5,12		6,75	
<i>MC75-W25</i>	5,45		6,85	
<i>MC75-B25</i>	5,68		6,35	

Dans le tableau IV-22, le mortier MCW50 se distingue par une résistance initiale relativement modeste de 3,02 MPa après 7 jours, mais affiche une croissance importante à 5,38 MPa après 28 jours, ce qui en fait le mélange le plus résistant parmi tous les autres mortiers étudiés. En revanche, le mélange MC50-SW25, avec des valeurs de 3,89 MPa à 7 jours et de 4,54 MPa à 28 jours fait de lui le mélange qui a la plus faible résistance.

Tableau IV-22: Résultats de l'essai de flexion des mortiers pour divers mélanges de sable, indiquant les différentes combinaisons de sable carrière à 50%.

(C – Carrière) (S – Boussaâda) (W – Ouad zhour) (B – Brique)		
<i>Matière première</i>	<i>7 jours</i>	<i>28 jours</i>
	Flexion (MPa)	Flexion (MPa)
<i>MC50-SB25</i>	4,04	5,86
<i>MC50-SW25</i>	3,89	4,54
<i>MC50-BW25</i>	3,98	4,86
<i>MCW50</i>	3,02	5,38
<i>MCB50</i>	3,95	4,98
<i>MCS50</i>	4,05	5,76

On peut constater dans le tableau IV-23 qu'une tendance globale à l'augmentation de la résistance à la flexion avec le temps est observée pour la plupart des mélanges de mortier. Le mélange MCB25-S50 présente la plus faible résistance à la flexion, à la fois à 7 et 28 jours, qui donne des valeurs de 3,10 et 3,48 MPa respectivement. En revanche, le mélange MCW25-B50 présente la résistance à la flexion la plus élevée aux deux âges testés, avec des valeurs de 5,78 MPa à 7 jours et 6,02 MPa à 28 jours.

Tableau IV-23: Résultats de l'essai de flexion des mortiers pour divers mélanges de sable, indiquant les différentes combinaisons de sable carrière à 25%.

(C – Carrière) (S – Boussaâda) (W – Ouad zhour) (B – Brique)		
<i>Matière première</i>	<i>7 jours</i>	<i>28 jours</i>
	Flexion (MPa)	Flexion (MPa)
<i>MCW25-S50</i>	4,41	5,09
<i>MCB25-S50</i>	3,10	3,48
<i>MCS25-W50</i>	4,64	5,23
<i>MCSWB25</i>	4,42	5,68
<i>MCS25-B50</i>	4,28	5,72
<i>MC25-W75</i>	3,33	4,24
<i>MCB25-W50</i>	5,45	5,98
<i>MCW25-B50</i>	5,78	6,02

Dans le tableau IV-24, le mélange ayant la plus faible résistance à la flexion est le MS50-WB25, avec des valeurs de 3,21 MPa à 7 jours et de 4,68 MPa à 28 jours. En revanche, le mélange présentant la plus haute résistance à la flexion est le MSW25-B50, qui atteint 5,55 MPa à 7 jours et 6,16 MPa à 28 jours.

Tableau IV-24 : Résultats de l'essai de flexion des mortiers pour divers mélanges sans le sable carrière.

(S – Boussaâda) (W – Ouad zhour) (B – Brique)		
<i>Matière première</i>	<i>7 jours</i>	<i>28 jours</i>
	Flexion (MPa)	Flexion (MPa)
<i>MS50-WB25</i>	3,21	4,68
<i>MSB25-W50</i>	3,65	5,01
<i>MSW25-B50</i>	5,55	6,16

Les valeurs obtenues de la résistance à la flexion révèlent une augmentation significative après une cure de 7 et 28 jours. Notamment, le mortier MCW25-B50 présente une résistance maximale de 5,78 MPa à 7 jours, tandis que le mortier MC75-W25 atteint une grande résistance de 6,85 MPa.

Cette augmentation de la résistance à la flexion peut être attribuée à plusieurs facteurs. En premier lieu, l'ajout de sable de brique améliore la granulométrie du mélange, ce qui favorise une meilleure compacité et densité du mortier. Cela est particulièrement observable dans les mélanges contenant 50% de sable de brique. Une structure plus dense permet une meilleure résistance aux forces de flexion. En outre, les particules de brique possèdent une surface rugueuse qui assure une meilleure adhérence avec la matrice de ciment, augmentant ainsi la cohésion interne du mortier.

Par ailleurs, le mortier à base de sable recyclé démontre une résistance mécanique presque équivalente à celle du mortier à base de sable naturel. Cela souligne l'efficacité du sable de brique recyclé en tant que composant viable et durable, offrant des performances comparables.

IV.5 Conclusion :

L'incorporation de différents types de sable dans les mélanges de mortier entraîne des modifications notables de leurs propriétés, particulièrement en fonction de la quantité de fines valorisées. Par exemple, l'ajout de 50 % de sable de brique, comme dans le mélange MCW25-B50, a permis d'obtenir une résistance à la compression maximale après 28 jours de cure. À

l'inverse, l'ajout de sable de Boussaâda a un impact négatif sur la résistance à 28 jours, comme le montrent les mélanges MC75-S25 et MCW25-S50. Le sable de Ouad Zhour, quant à lui, confère une résistance moyenne lorsqu'il est associé au sable de carrière.

Le mélange MSW25-B50, également constitué de 50 % de sable de brique, présente une résistance à la flexion remarquable, due à l'optimisation de la granulométrie grâce à l'ajout de sable de brique. En termes de formulation optimale, le mélange MCS25-B50 se distingue par ses excellentes performances globales, incluant la masse volumique, la porosité, ainsi que la résistance à la compression et à la flexion. Ce mélange parvient à équilibrer densité accrue et porosité réduite, tout en maximisant la résistance mécanique du mortier grâce à la combinaison judicieuse de sable de carrière et de sable de brique.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale :

Les travaux de recherche entrepris dans ce mémoire de fin d'étude s'inscrivent dans l'optimisation du mortier à base de sable de carrière en intégrant différents types de sables, y compris le sable issu de déchets de brique, sur diverses propriétés physico-mécaniques des mortiers. Nous avons examiné attentivement des aspects tels que la porosité, l'absorption d'eau, la masse volumique apparente, la résistance à la compression, la résistance à la flexion, ainsi que le comportement des mortiers à l'état frais.

Nos résultats ont révélé des implications significatives quant à l'utilisation de sable dans la formulation de mortiers. Nous avons constaté que l'ajout de ces sables modifie diverses propriétés du mortier, ce qui pourrait avoir des implications importantes dans le domaine de la construction.

- **État frais :**

L'incorporation des sables influence la consistance et la fluidité du mortier frais en fonction du pourcentage ajouté.

La masse volumique apparente fraîche diminue avec l'ajout des différents types de sable. Ce phénomène est particulièrement notable dans le mélange MCS25-B50, qui présente la valeur la plus faible.

- **État durci :**

La résistance à la compression des éprouvettes montre une tendance à l'augmentation avec l'ajout des différents types de sable, jusqu'à atteindre un pourcentage optimal. Au-delà de ce point, l'ajout de certains types de sable peut ne plus améliorer les performances mécaniques, voire peut les diminuer. Cela indique l'importance de déterminer le dosage optimal pour maximiser la résistance à la compression du mortier.

La résistance à la flexion du mortier s'est améliorée avec l'ajout des sables, présentant un schéma de variation similaire à celui de la résistance à la compression.

En somme, les résultats démontrent que l'approche visant à optimiser le mortier à base de sable de carrière par l'intégration de différents types de sable, notamment ceux provenant de déchets de brique, est tout à fait pertinent au vu des performances mécaniques atteintes.

Références bibliographiques

Les références :

- [1] Holden, R., & Liversedge, J. (2011). *Construction et architecture paysagère*. Dunod.
- [2] Delaldja, D. (2018). *Valorisation des déchets industriels dans la formulation des mortiers soumis à des températures élevées* [Doctoral dissertation, Université Mohamed Boudiaf-M'sila].
- [3] Bodé, J.-L. (2009). *La chaux et les mortiers de chaux*. Éditions Eyrolles.
- [4] Fevre, M. (2018). *Mortiers et bétons en restauration du patrimoine bâti*. Éditions Eyrolles.
- [5] Viguiier, B., & Tulliani, J.-M. (2009). *Céramiques réfractaires et gestion thermique*. Éditions Tec & Doc.
- [6] Pade, C., & Guérin, R. (2016). *Bétons et mortiers : Formulation, fabrication et mise en œuvre*. Éditions Eyrolles.
- [7] Pérales, F., & López-Colina Pérez, P. C. (2017). *Tecnología de los morteros. Acondicionamiento de morteros para la reparación y restauración de la arquitectura monumental*. Bellaterra : Universitat Politècnica de Catalunya.
- [8] Bouali, K. (2015). *Elaboration et caractérisation thermomécanique des mortiers à base d'ajouts de déchets de brique réfractaires* [Thèse de doctorat, Université (Nom de l'Université)]. (108 pages).
- [9] Gineys, N. (2011). *Influence de la teneur en éléments métalliques du clinker sur les propriétés techniques et environnementales du ciment Portland* [Thèse de doctorat, Université Lille Nord de France].
- [10] Mosbahi, M., Khlifi, M., Jamoussi, F., & Tlili, A. (2017). Valorization of Coniacian-middle Campanian clay minerals of the Mekkassy-Mezzouna region (center western Tunisia) in the clinker manufacturing. *Arabian Journal of Geosciences*, 10(16), 349.
- [11] Zeghichi, L., Lahmadi, A., & Benghazi, Z. (2012). Contribution à l'étude des Caractéristiques du sable de dune et de son effet sur le comportement des bétons autoplaçants.
- [12] ABLOCRETE. (1994). *Béton de sable*. Presse de l'école nationale des ponts et chaussées, Paris, France.

- [13] Benard, P. (2005). *Etude de l'action des phosphates présents dans l'eau de gâchage sur l'hydratation d'un ciment Portland* [Thèse de doctorat, Université de Bourgogne].
- [14] Zerrouki, I., & Refice, S. (2020/2021). *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.
- [15] Messaoudene, I., Molez, L., Rangeard, D., Jauberthie, R., & Naceri, A. (2012). Mortiers à base de sable pliocène et de ciments aux ajouts: fillers de déchets industriels et cendres volcaniques. *Matériaux & Techniques*, 100(5), 377-386.
- [16] Callister, W. D. (2001). *Science et génie des matériaux*. Modulo.
- [17] Zhao, Z. (2014). *Valorisation des sables de béton recyclé pour la fabrication de mortier* [Thèse de doctorat, Université Lille 1].
- [18] Slimanou, H. (2021). *Gestion, caractérisation et valorisation des sédiments dragués des ports en matériaux de construction et leur impact sur l'environnement (cas du port de Bejaia)*. Thèse de doctorat, Université A. Mira-Bejaia, Algérie.
- [19] Mesbah, H. A., Buyle-bodin, F., & Siwak, J. M. (1996). Influence de l'ajout des fibres sur le retrait des mortiers à base de granulats recyclés. In *2e colloque international francophone sur les bétons renforcés de fibres métalliques (Toulouse, 4-5 juillet 1996)* (pp. 163-172).
- [20] Siad, H. (2005). Comportements physico-mécaniques des mortiers et briques à base de liant (pouzzolane-chaux).
- [21] Tansengco, M., Tejano, J., Coronado, F., Gacho, C., & Barcelo, J. (2018). Heavy metal tolerance and removal capacity of Trichoderma Species Isolated From mine tailings in Itogon, Benguet. *Environment and Natural Resources Journal*, 16(1), 39-57.
- [22] Grellier, A. (2020). *Des fines de brique de terre cuite comme liants de substitution dans les ciments et les matériaux alcali-activés* [Thèse de doctorat, IMT Lille Douai et Université de Liège, France]. Sous la direction de IMT Lille Douai et l'Université de Liège.
- [23] Karpiński, B., & Szkodo, M. (2015). Clay minerals–mineralogy and phenomenon of clay swelling in oil & gas industry. *Advances in Materials Science*, 15(1), 37-55.
- [24] Weaver, C. E. (1989). Chapter VI" Authigenic Marine" Physils: Developments in Sedimentology. *Clays, Muds, and Shales*, CE Weaver, 44, 345-414.

- [25] Moropoulou, A., Bakolas, A., & Aggelakopoulou, E. (2001). The effects of limestone characteristics and calcination temperature to the reactivity of the quicklime. *Cement and concrete Research*, 31(4), 633-639.
- [26] Elert, K., Cultrone, G., Navarro, C. R., & Pardo, E. S. (2003). Durability of bricks used in the conservation of historic buildings—influence of composition and microstructure. *Journal of Cultural Heritage*, 4(2), 91-99.
- [27] Dunham, A. C. (1992). Developments in industrial mineralogy: I. The mineralogy of brick-making. *Proceedings of the Yorkshire Geological Society*, 49(2), 95-104.
- [28] Kontogeorgos, D. A., & Founti, M. A. (2012). Gypsum board reaction kinetics at elevated temperatures. *Thermochimica Acta*, 529, 6-13.
- [29] Cultrone, G. V. (2013). Estudio mineralógico-petrográfico y físico-mecánico de ladrillos macizos para su aplicación en intervenciones del patrimonio histórico. Universidad de Granada.
- [30] Dondi, M., Guarini, G., & Raimondo, M. (1999). Trends in the formation of crystalline and amorphous phases during the firing of clay bricks. *Tile & brick international*, 15(3), 176-183.
- [31] Cultrone, G., Rodriguez-Navarro, C., Sebastian, E., Cazalla, O., & De La Torre, M. J. (2001). Carbonate and silicate phase reactions during ceramic firing. *EUROPEAN JOURNAL OF MINERALOGY-STUTTGART-*, 13(3), 621-634.
- [32] Velasco, P. M., Ortíz, M. M., Giró, M. M., & Velasco, L. M. (2014). Fired clay bricks manufactured by adding wastes as sustainable construction material—A review. *Construction and Building materials*, 63, 97-107.
- [33] NA 5023. (1995). *Algerian norms. Firing clay bricks: Determination of compressive strength of bricks.*
- [31] Elert, K., Cultrone, G., Navarro, C. R., & Pardo, E. S. (2003). Durability of bricks used in the conservation of historic buildings—influence of composition and microstructure. *Journal of Cultural Heritage*, 4(2), 91-99.
- [32] Velasco, P. M., Ortíz, M. M., Giró, M. M., & Velasco, L. M. (2014). Fired clay bricks manufactured by adding wastes as sustainable construction material—A review. *Construction and Building Materials*, 63, 97-107.

[33] Algerian Norms. (1995). NA 5023: Firing Clay Bricks - Determination of Compressive Strength of Bricks.

[34] SIST. (2002). *772-1: 2002: Methods of test for masonry units – Part 1: Determination of compressive strength*. Slovenian Institute for Standardization, Ljubljana.

[35] American Society for Testing and Materials (ASTM). (2003). Standard Test Methods for Sampling and Testing Bricks and Structural Clay Tile; ASTM C67-03. West Conshohocken, PA, USA.

[36] Koroneos, C., & Dompros, A. (2007). Environmental assessment of brick production in Greece. *Building and Environment*, 42(5), 2114-2123.

[37] Yedri, A. B., Ammari, M., & Ayadi, H. E. L. (2016). Contribution à l'élaboration des briques en terre cuite à base d'une boue industrielle (Contribution to the development of fired bricks made of industrial sludge). *Journal of Materials and Environmental Science*, 7(2), 497-504.

[38] Brick Industry Association (BIA). (2006). Technical Notes on Brick Construction 9 - Manufacturing of Brick. Reston, VA.

[39] Frar, I., Allal, L. B., Ammari, M., & Lamrani, S. (2014). Intégration des matériaux en terre cuite dans la valorisation des sédiments marins. In MATEC Web of Conferences (Vol. 11, p. 01025). EDP Sciences.

[40] Samara, M. (2007). Valorisation des sédiments fluviaux pollués après inertage dans la brique cuite [Doctoral dissertation].

[41] Dupain, R., & Saint-Arroman, J. C. (2009). Granulats, ciment et bétons (4ème édition). Paris.

[42] Ghomari, F., & Bendi-Ouis, A. *Science des matériaux de construction Travaux pratiques*.

Les normes :

NF EN 933-1 : Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats - Partie 1 : Détermination de la granulométrie - Tamisage.

NF EN 1097-6 : Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats - Partie 6 : détermination de la masse volumique et du coefficient d'absorption d'eau.

NF EN 933-9 : Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats - Partie 9 : qualification des fines - Essais au bleu de méthylène.

NF EN 933-8+A1 : Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats - Partie 8 : évaluation des fines - Équivalent de sable.

NA442 : Norme algérienne qui définit les spécifications et les critères des ciments courants. Elle a été publiée en 2013 et est basée sur la norme européenne EN 197-1.

NF EN 197-1 : Ciment - Partie 1 : composition, spécifications et critères de conformité des ciments courants.

NF EN 196-3 : Méthodes d'essai des ciments - Partie 3 : détermination du temps de prise et de la stabilité.

NF EN 12350-6 : Essais pour béton frais - Partie 6 : masse volumique.

NF EN 1936 : Méthodes d'essai des pierres naturelles - Détermination des masses volumiques réelle et apparente et des porosités ouvertes et totale.

NF EN 1008 : Eau de gâchage pour bétons - Spécifications d'échantillonnage, d'essais et d'évaluation de l'aptitude à l'emploi, y compris les eaux des processus de l'industrie du béton, telle que l'eau de gâchage pour béton.

NF EN 934-2+A1 : Adjuvants pour bétons, mortier et coulis - Partie 2 : adjuvants pour béton - Définitions, exigences, conformité, marquage et étiquetage.

ASTM C373-94: Standard Test Method for Water Absorption, Bulk Density, Apparent Porosity, and Apparent Specific Gravity of Fired Whiteware Products, Ceramic Tiles, and Glass Tiles. West Conshohocken, PA: ASTM International.

UNE. (2011). UNE-EN 772-1: Methods of test for masonry units - Part 1: Determination of compressive strength.

ASTM. (n.d.). C348: Standard test method for flexural strength of hydraulic-cement mortars. American Society for Testing and Materials.

ANNEXES

Listes des annexes :

BUILDING TRUST



NOTICE PRODUIT

Sika® ViscoCrete®-4037 RMX

SUPERPLASTIFIANT / HAUT RÉDUCTEUR D'EAU POUR BÉTON PRÊT 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

DESCRIPTION DU PRODUIT

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

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 étanchiété

AGRÉMENTS / NORMES

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

Notice produit
Sika® ViscoCrete®-4037 RMX
Juillet 2023, Version 01.02
021301011000004391

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.

Sika El Djazair SPA
08 route de Larbaa
16111 Les Eucalyptus
ALGERIE
Tél.: 0 23 88 89 92 09
Fax: 0 23 88 89 92 08
dza.sika.com



Notice produit
Sika® ViscoCrete®-4037 RMX
Juillet 2023, Version 01.02
02130101100004391

2 / 2

SikaViscoCrete-4037RMX-fr-DZ-(07-2023)-1-2.pdf

BUILDING TRUST



Figure A-1: Fiche technique de superplastifiant (Sika ViscoCrete-4037 RMX).

GICA BETON CEM II A-L 42.5 N & R

COMPOSITION		
Clinker (80 à 94) %	Ajout calcaire Catégorie A (06 à 20) %	Constituant secondaire (De 0 à 5) %
CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES		
	Temps de prise	Stabilité
VALEUR	≥ 60 minutes	≤ 10 MINUTES
CARACTÉRISTIQUES MÉCANIQUES		
	Résistance à la compression à 02 j	Résistance à la compression à 28 j
42.5 N	≥10.0 N / mm ²	≥ 42.5 (N / mm ²)
42.5 R	≥20.0 N / mm ²	≤ 42.5 (N / mm ²)
CARACTÉRISTIQUES CHIMIQUE S		
	Teneur en sulfates (SO3)	Teneur en chlorures (Cl)
	≤4.0 %	≤0.10 %
PACKAGING		
Sacs 50 kg / Disponible en sac & Vrac		



Ciment Portland au calcaire (NA 442/2013) CEM II A-L 42.5 N & R est un ciment gris, contenant :

- * 80 à 94 % de clinker ordinaire C3S ≥ 55 %
- * 6 à 20 % de calcaire pur
- * 0 à 5% de gypse en tant que régulateur de prise.

Domaines d'utilisation :

- Béton courant et armé ou faiblement armé.
- Produits préfabriqués en béton non armé (blocs, hourdis ...).
- Maçonnerie.
- Stabilisation des sols.
- Travaux en grande masse (barrages etc).

Figure A-2: Fiche technique du ciment (GICA BETON CEM II A-L 42.5 N & R).

Résumer :

L'objectif de ce mémoire est l'optimisation du mortier à base de sable de carrière par l'intégration de divers types de sable, y compris le sable issu de déchets de brique. Cette étude vise à améliorer les caractéristiques du mortier en utilisant différents types de sable, notamment le sable issu de déchets de brique. Tout d'abord, une caractérisation approfondie des différents types de sable a été réalisée, en prenant en compte leurs granulométries respectives, notamment le sable de brique et le sable de carrière qui présentent des granulométries bien graduées. Ensuite, des mélanges de mortier ont été préparés en variant les proportions de chaque type de sable, et des essais mécaniques ont été effectués pour évaluer la résistance à la compression et à la flexion des échantillons, notamment pour le mélange contenant 50 % de sable de brique et 25 % de sable de Ouad Zhour. Les résultats montrent que ces mélanges améliorent les caractéristiques du mortier, notamment sa densité et sa résistance mécanique.

Mots clés : Sable, brique, carrière, absorption d'eau, porosité, compression et flexion.

Abstract :

The aim of this thesis is the optimization of quarry sand-based mortar by integrating various types of sand, including brick waste sand. This study seeks to enhance the characteristics of mortar using different types of sand, particularly brick waste sand. Firstly, a thorough characterization of the different types of sand was carried out, taking into account their respective grain size distributions, notably brick sand and quarry sand which exhibit well-graded granulometries. Subsequently, mortar mixes were prepared by varying the proportions of each type of sand, and mechanical tests were conducted to evaluate the compressive and flexural strength of the samples, particularly for the mix containing 50% brick sand and 25% Ouad Zhour sand. The results demonstrate that these mixes improve the characteristics of mortar, including its density and mechanical strength.

Keywords: Sand, brick, quarry, water absorption, porosity, compression and flexion.
