

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université Mohamed Boudiaf - M'sila

Faculté de technologie

Département de GENIE CIVIL

N° : ...



Domaine : ST

Filière : GENIE CIVIL

Option : Matériaux

Mémoire présenté pour l'obtention

Du diplôme de Master Académique

Par :

Yasmina Megdoud

Thème

***L'effet combiné du kaolin et des déchets
de céramique dans la formulation des
mortiers***

Soutenu devant le jury composé par :

| | | |
|------------------------------|----------------------|--------------|
| Pr. BEDDAR Miloud | Université de M'sila | Président |
| Pr. RAHMOUNI Zine El Abidine | Université de M'sila | Encadreur |
| Dr. TEBBAL Nadia | Université de M'sila | Co-Encadreur |
| Dr. DJEBRI Noura | Université de M'sila | Examineur |

Année universitaire : 2022/2023.

Remerciement

Je tiens tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux, qui m'a donné la force et la patience d'accomplir ce Modeste travail.

À mon famille pour leurs sacrifices et leurs encouragements durant toutes ces années scolaires.

Je remercie mes encadreurs : Pr. RAHMOUNI Zine El Abidine et Dr. TEBBAL Nadia qui ont bien voulu m'encadrer et pour leurs conseils précieux et leurs remarques.

Je remercie également tous les membres de jury d'avoir accepté d'examiner ce mémoire,

Mes enseignants (es) du département de génie civil et les responsables du laboratoire.

Je remercie Tous les travailleurs du laboratoire LafargeHolcim (M'sila).

Et tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin dans la réalisation de ce modeste travail.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

A mes chers parents,

A mon frère et mes sœurs

A Toute ma famille

A mes amis

Et ceux qui m'ont encouragé.

A toute La promotion de Génie Civil 2023.

A tous ceux qui ont été directement

Ou indirectement Impliqués

Dans la réalisation de ce travail.

YASMINA MEGDOUD

Sommaire

Remerciement

Dédicaces

Sommaire

Liste des figures

Liste des tableaux

الملخص

Résumé

Abstract

Introduction générale.....1

Chapitre I : Les différents types de mortiers

I.1 Introduction4

I.2 Définition4

I.3 Les différents types de mortiers4

I.3.1 Les mortiers de ciment4

I.3.2 Les mortiers de chaux5

I.3.3 Les mortiers bâtards5

I.3.4 Les mortiers fabriqués sur chantier5

I.3.5 Mortier industriel5

I.4 Classification des mortiers.....6

I.4.1 Selon leur domaine d'utilisation6

I.4.2 Selon la nature du liant6

I.5 Caractéristiques principales des mortiers7

I.6 Le rôle d'utilisation du mortier7

I.7 Conclusion7

Chapitre II : Les déchets minéraux

II.1 Introduction.....9

II.2 Définition des caractéristiques des additions.....9

II.3 Ajouts minéraux10

| | |
|---|----|
| II.3.1 Les laitiers de haut fourneau..... | 10 |
| II.3.2 Les cendres volantes | 11 |
| II.3.3 Les additions calcaires..... | 12 |
| II.3.4 Les fumées de silice | 12 |
| II.3.5 Les pouzzolanes..... | 13 |
| II.4 Avantages des ajouts minéraux | 13 |
| II.5 Importance des additions dans l'industrie cimentière | 14 |
| II.6 Fonction des additions | 14 |
| II.7 Définition de Kaolin | 14 |
| II.8 Le Métakaolin..... | 14 |
| II.9 Définition d'un matériau pouzzolanique | 15 |
| II.10 Types de pouzzolanes | 15 |
| II.10.1 Les pouzzolanes naturelles | 15 |
| II.10.2 Les pouzzolanes artificielles | 15 |
| II.11 Définition du Métakaolin..... | 15 |
| II.11.1 Obtention du Métakaolin | 16 |
| II.11.2 Structure chimique..... | 17 |
| II.11.3 Normalisation de Métakaolin (selon NF P18-513)..... | 17 |
| II.11.4 Propriétés physiques..... | 17 |
| II.11.5 Composition minéralogique et chimique du Métakaolin | 18 |
| II.11.6 Influences du Métakaolin | 18 |
| II.11.7 Réaction pouzzolanique du méta kaolin dans un milieu cimentaire | 20 |
| II.1 Définition des déchets | 20 |
| II.2 Différents types des déchets..... | 20 |
| II.2.1 Déchets ménagers et assimilés (DMA)..... | 20 |
| II.2.2 Déchets encombrants (DE)..... | 20 |
| II.2.3 Déchets spéciaux (DS)..... | 21 |
| II.2.4 Déchets spéciaux dangereux (DSD) | 21 |
| II.2.5 Déchets inertes (DI) | 21 |
| II.2.6 Déchets ultimes (DU) | 21 |
| II.2.7 Déchets biodégradables | 21 |
| II.3 Valorisation des déchets et sous forme des additions | 22 |
| II.4 Définition du Céramique | 22 |
| II.5 Différents types de céramiques | 25 |

| | |
|---|-----------|
| II.6 Les grandes caractéristiques des céramiques..... | 28 |
| II.7 Propriétés des céramiques | 28 |
| II.8 Les produits céramiques dans la construction..... | 28 |
| II.9 Conclusion..... | 29 |

Chapitre III : Caractéristiques des matériaux utilisés

| | |
|--|-----------|
| III.1 Introduction | 31 |
| III.2 Matériaux et matériel utilisé | 31 |
| III .2.1 Matériaux utilisés..... | 31 |
| III.3 Les caractéristiques des matériaux | 34 |
| III.3.1 Le sable..... | 34 |
| III.3.1.1 Analyse granulométrique du sable (la norme NF P 18 -560)..... | 34 |
| III.3.1.2 Equivalent de sable NF-18-598 | 35 |
| III.3.1.3 La Masse spécifique (absolue) du Sable NF P18- 555 | 36 |
| III.3.1.4 Masse volumique apparente NF P 18-554..... | 37 |
| III.3.1.5 Teneur en eau NF P 18-555 | 37 |
| III.3.2 Les fillers | 38 |
| III.3.2.1 Kaolin | 38 |
| III.3.2.2 Métakaolin | 40 |
| III.3.2.3 Céramique | 41 |
| III.4 La formulation des différents mortiers..... | 42 |
| III.5 Essais de prise..... | 44 |
| III.6 Caractérisation des différents mortiers à l'état frais..... | 44 |
| III.7 Caractérisation des mortiers à l'état durci..... | 45 |
| III.8 Essais de résistances mécaniques | 45 |
| III.8.1 Essai de traction par flexion..... | 45 |
| III.8.2 Essai de compression | 46 |
| III.8.3 Analyse par Ultrasons | 46 |
| III.9 Les propriétés physiques | 47 |
| III.9.1 Absorption d'eau | 47 |
| III.9.2 La porosité | 49 |
| III.10 Conclusion..... | 49 |

Chapitre IV : Résultats et interprétations

| | |
|--|-----------|
| IV.1 Introduction | 51 |
| IV.2 Présentation des résultats | 51 |
| IV.2.1 Temps de prise | 51 |
| IV.2.2 Analyse par Ultrasons | 52 |
| IV.2.3 Résistance à la compression..... | 52 |
| IV.2.4 Résistance à la flexion par traction..... | 53 |
| IV.2.5 La porosité et l'absorption d'eau | 54 |
| IV.3 L'interprétation des résultats..... | 55 |
| IV.3.1 La résistance mécanique à la compression et à la flexion par traction..... | 55 |
| IV.3.2 Effet du temps de prise..... | 55 |
| IV.3.3 Effet de la porosité et l'absorption d'eau..... | 55 |
| IV.4 Conclusion..... | 56 |
| Conclusion générale..... | 58 |
| Références bibliographique..... | 59 |

Liste des figures

Chapitre I

| | |
|---|---|
| Figure I.1 : Constituants des mortiers..... | 4 |
| Figure I.2 : Les différentes types des mortiers..... | 6 |

Chapitre II

| | |
|--|----|
| Figure II.1 : Laitier cristallisé et laitier vitrifié (granulé) | 11 |
| Figure II.2 : Laitier de haut fourneau..... | 11 |
| Figure II.3 : Cendre volante..... | 11 |
| Figure II.4 : Fillers calcaires..... | 12 |
| Figure II.5 : Fumée de silice..... | 13 |
| Figure II.6 : Structure du Métakaolin..... | 17 |
| Figure II.7 : Microstructure typique d'une surface céramique polie..... | 22 |
| Figure II.8 : Fabrication de céramique..... | 24 |
| Figure II.9 : Exemples de céramiques traditionnelles..... | 25 |
| Figure II.10 : Quelques types de céramiques techniques..... | 27 |

Chapitre III

| | |
|---|----|
| Figure III.1 : Sable de Boussaâda..... | 31 |
| Figure III.2 : Roche du kaolin. | 33 |
| Figure III.3 : Calcination de kaolin..... | 33 |
| Figure III.4 : Déchets de céramique utilisés..... | 33 |
| Figure III.5 : La courbe l'analyse granulométrique de sable de la dune de Boussaâda..... | 35 |
| Figure III.6 : Equivalant de sable..... | 36 |
| Figure III.7 : La masse volumique absolue d'un matériau..... | 36 |
| Figure III.8 : Granulométrie a laser de type MASTERSIZER 3000..... | 38 |
| Figure III.9 : L'analyse granulométrique de Kaolin..... | 39 |
| Figure III.10 : L'analyse granulométrique de Métakaolin..... | 40 |
| Figure III.11 : L'analyse granulométrique de céramique..... | 41 |

| | |
|--|----|
| Figure III.12 : Schéma simplifié de la mesure de la vitesse de son..... | 46 |
| Figure III.13 : Essai d'absorption d'eau..... | 47 |
| Figure III.14 : Les éprouvettes cubiques..... | 48 |

Chapitre IV

| | |
|--|----|
| Figure IV.1 : Début de prise (min) et fin de prise (min)..... | 51 |
| Figure IV.2 : La variation de la résistance à la compression(MPa) en fonction du pourcentage de déchets de céramique au cours du temps..... | 52 |
| Figure IV.3 : La variation de la résistance à la compression (MPa) en fonction du pourcentage de Métakaolin et déchets de céramiques au cours du temps..... | 53 |
| Figure IV.4 : La variation de la résistance à la flexion par traction (MPa) en fonction du pourcentage de déchet de céramiques au cours du temps..... | 53 |
| Figure IV.5 : La variation de la résistance à la flexion par traction (MPa) en fonction du pourcentage de Métakaolin et de déchets de céramiques au cours du temps..... | 54 |
| Figure IV.6 : Absorption d'eau et la porosité des mortiers étudiés..... | 54 |

Liste des tableaux

Chapitre II

| | |
|---|----|
| Tableau II.1 : Composition minéralogique de quelques argiles calcinées tirées..... | 18 |
| Tableau II. 2 : Caractéristiques de quelques céramiques traditionnelles..... | 26 |

Chapitre III :

| | |
|---|----|
| Tableau III.1 : Les résultats d'analyse granulométrique du sable de Boussaâda..... | 34 |
| Tableau III.2 : Equivalent de sable du sable de Boussaâda..... | 36 |
| Tableau III.3 : Masse volumique absolue du sable de Boussaâda..... | 36 |
| Tableau III.4 : Masse volumique apparente du sable de Boussaâda à l'état lâche..... | 37 |
| Tableau III.5 : Masse volumique apparente du sable de Boussaâda à l'état compact | 37 |
| Tableau III.6 : Teneur en eau du sable de Boussaâda..... | 38 |
| Tableau III.7 : Les différentes formulations..... | 43 |
| Tableau III.8 : les résultats de la masse volumique à l'état durci..... | 45 |

Chapitre IV

| | |
|---|----|
| Tableau IV.1 : Début de prise (min) et fin de prise (min)..... | 51 |
| Tableau IV.2 : Résultats d'ultrason de mortier..... | 52 |

ملخص

الهدف الرئيسي من هذه الدراسة هو متابعة التأثير المشترك للميتاكوولين ومخلفات السيراميك على سلوك الملاط من خلال استغلالها واستخدامها كبديل للإسمنت في الملاط للتغلب على أوجه القصور في مكونات الملاط وتحسين خواصه الميكانيكية والفيزيائية. تم تحضير الميتاكوولين عن طريق تكليس الكاولين عند درجة حرارة 850 درجة مئوية لمدة 3 ساعات و اضافتها مع مخلفات السيراميك المارة عبر الغرابيل ذات الاقطار 80 ميكرومتر لتحقيق النقاوة المطلوبة. تم إجراء مقارنة بين النتائج مع الملاط المرجعي بدون إضافة.

أظهرت النتائج أن معدل الاستبدال بنسبة 10٪ من الإسمنت بالميتاكوولين و 5٪ من الإسمنت بالسيراميك يجعل الحصول على مجموعة متنوعة جديدة من الملاط المركب ذات الأداء الفيزيائي والكيميائي والميكانيكي العالي، سواء كان طازجًا أو متصلبًا.

Résumé

L'objectif principal de cette étude est de suivre l'effet combiné des déchets de Métakaolin et de céramique sur le comportement du mortier en les exploitant et en les utilisant comme substitut de ciment dans le mortier qui peut contribuer à surmonter les déficiences des composants du mortier et à améliorer ses propriétés mécaniques et physiques. La préparation du Métakaolin a été réalisée par une calcination du Kaolin à une température de 850 °C pendant une durée de 3 heures. Avec le broyage de débris de déchet de céramique et après passage au tamis de 80µm pour aboutir à la finesse voulue. Une comparaison des résultats avec un mortier témoin sans ajout est établie.

Les résultats observés ont montré que le taux de substitutions de 10 % du ciment par du Métakaolin et 5% du ciment par de la céramique permet d'obtenir une nouvelle variété de mortiers composites à hautes performances physico-chimiques et mécaniques, tant à l'état frais que durci.

Abstract

The main objective of this study is to follow the combined effect of metakaolin and ceramic waste on the behavior of the mortar by exploiting them and using them as a cement substitute in the mortar which can contribute to overcoming the deficiencies of the components of the mortar and improve its mechanical and physical properties. The preparation of the metakaolin was carried out by calcining the Kaolin at a temperature of 850° C for a period of 3 hours with the grinding of ceramic waste debris and after passing through an 80µm sieve to achieve the desired fineness. A comparison of the results with a control mortar without addition is established.

The results observed showed that the substitution rate of 10% of the cement by metakaolin and 5% of the cement by ceramics makes it possible to obtain a new variety of composite mortars with high physico-chemical and mechanical performance, both at the fresh than hardened state.

INTRODUCTION
GENERALE

INTRODUCTION GENERALE :

Dans une vision de préservation de l'environnement et du développement durable, il est devenu nécessaire d'explorer et d'étudier toutes les possibilités de valorisation et de recyclage des déchets et sous-produits industriels notamment dans le domaine des matériaux et de génie civil, qu'ils sont aujourd'hui considérés comme une solution d'avenir afin de répondre au déficit entre production et consommation et de protéger l'environnement. [1]

La valorisation des déchets est un excellent choix. Elle permettrait de réaliser un nouveau matériau ou un nouveau produit présentant des performances égales ou supérieures à celles de produits classiques équivalents. La valorisation des ressources naturelles (argiles et déchets) locales en vue de la production des matériaux de bonne qualité trouve donc tout son intérêt, et constitue un des atouts importants du processus de développement durable. [2]

Les procédés de production du ciment, même s'ils se sont beaucoup améliorés vis-à-vis de l'environnement, restent tout de même polluants. Le ciment Portland s'obtient d'un mélange de clinker et de gypse. Pour réduire son coût et ses émissions de CO₂, on remplace une partie de clinker par un autre matériau, dit ajout. Il faudrait réduire la production du ciment par l'utilisation d'autres matériaux moins polluants, ou essayer de substituer même partiellement au ciment des produits issus du recyclage des éco-produits ou des déchets pour l'élaboration des bétons et des mortiers à haute performance comme le kaolin et les déchets de céramique [3]. Ainsi, il convient de trouver des utilisations adéquates à ces déchets tels que leur valorisation dans le béton et mortier. En particulier, les déchets minéraux qui sont actuellement utilisés dans la technologie des bétons soit comme ajouts minéraux (par substitution partielle du ciment) ou comme granulats fins ou grossiers.

En plus des recyclages des éco-produits, on peut aussi valoriser les matériaux locaux telle que : Le kaolin (K) qui est une argile présente en abondance dans la plupart des régions du monde. De petites quantités sont utilisées pour la fabrication des céramiques de haute qualité, le reste est non exploité comme le kaolin de Djebel Debbagh en Algérie. L'incorporation des additions minérales est maintenant une technique importante d'amélioration des propriétés du béton et mortier telle que la fluidité, la résistance, la durabilité, etc. Ces additions minérales affectent de manière significative la rhéologie des matériaux cimentaires à l'état frais, qui est directement liée avec le développement de la résistance, la durabilité des matériaux durcis [4]

L'incorporation du kaolin (10%) et les déchets de céramique en substitution de (5% à 20%) aux mortiers permet d'obtenir une nouvelle variété de mortier composé ayant des performances physico-chimiques et mécaniques, tant à l'état frais que durci. Pour profiter pleinement de ces avantages et ainsi choisir la meilleure solution permettant d'optimiser la formulation, il est nécessaire de connaître les caractéristiques de ces nouveaux composants (additions minérales et adjuvants) et leurs actions sur les propriétés des bétons et des mortiers. A travers la phase de caractérisation de notre mortier, plusieurs protocoles d'essais ont été mis en place afin de mettre en évidence les qualités de ce matériau et de promouvoir son usage courant.

Notre travail consiste principalement à élaborer de nouveaux ciments composés à partir de recyclage des déchets visant à la protection de l'environnement et à la valorisation des matériaux locaux existants en grandes quantités mais sous-exploitées. Les additions concernées par cette étude sont : le Métakaolin (MK) et la poudre de céramique sont utilisés en différents pourcentage comme substitution au ciment. Nous étudions l'effet de ces combinaisons d'additions sur les performances mécaniques : la résistance de compression et flexion par traction et les essais de durabilité : la porosité et l'absorption d'eau par immersion.

Pour atteindre ces objectifs, le travail présenté suit une approche pas à pas centrée sur les quatre chapitres :

Après une introduction générale qui contenu l'objectif de l'étude et les différents protocoles proposés :

- ✚ **Le premier chapitre** présente une revue générale sur les différents types du mortier.
- ✚ **Le deuxième chapitre** présente des notions générales sur les déchets minéraux.
- ✚ **Le Troisième Chapitre** présente la caractérisation des matériaux utilisés, à savoir les caractéristiques physico-chimiques, et mécaniques des matériaux utilisés (ciment, kaolin, sable, super plastifiant, poudre de céramique).
- ✚ **Le quatrième chapitre** est consacré à l'interprétation des résultats.
- ✚ **Enfin**, on conclure ce travail par une conclusion générale.

Chapitre I

I.1 Introduction :

Ce présent chapitre est une étude bibliographique, on y présente une étude détaillée sur les différents types de mortiers. Le mortier est à la base de tous les travaux de maçonnerie que ce soit construire, enduire ou réparer.

I.2 Définition :

Un mortier est un simple mélange entre un liant (ciment ou chaux) et du sable, gâché avec de l'eau, éventuellement d'adjuvant. Il se distingue du béton par l'absence de gravillons. Le mortier est l'un des matériaux de construction que l'on utilise pour solidariser les éléments entre eux, assurer la stabilité de l'ouvrage, combler les interstices entre les blocs de construction.

Ils peuvent être très différents les uns des autres selon la nature et les pourcentages des constituants, le malaxage, la mise en œuvre et la cure[5] .

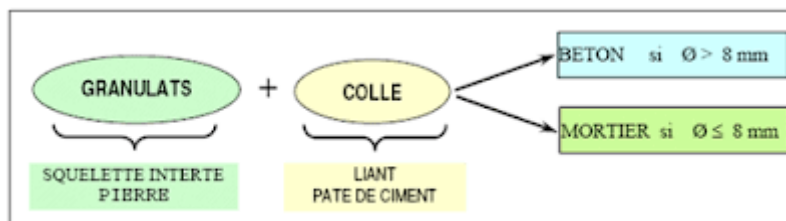


Figure I.1 : Constituants des mortiers [5]

I.3 Les différents types de mortiers :

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

En matière de liant, tous les ciments et chaux peuvent être employés. Le type et le dosage doivent être choisis selon l'ouvrage à réaliser et son environnement. [6]

Il existe différents mortiers selon le liant utilisé :

I.3.1 Les mortiers de ciment :

Fabriqué avec du ciment Portland gris ou blanc. Il est très résistant. Prennent et durcissent rapidement. Le dosage du rapport entre le ciment et le sable est en général volumétrique de 1/3 et le rapport de l'eau sur ciment est environ 1/2. De plus, un dosage en ciment les rend pratiquement imperméables. En revanche, il est davantage sujet au retrait. [7]

I.3.2 Les mortiers de chaux :

Fabriqué avec de la chaux hydraulique. Moins résistant et moins étanche que le mortier de ciment, il est plus souple et laisse respirer les murs. [6] La cure des mortiers de chaux s'effectue lentement par carbonatation sous l'effet du gaz carbonique de l'air, ce processus peut être fortement ralenti par un temps froid et humide. [8]

I.3.3 Les mortiers bâtards :

Fabriqué avec un mélange de ciment et de chaux, avec des caractéristiques intermédiaires entre le mortier de ciment et le mortier de chaux. La chaux apporte la plasticité (permet de réduire le risque de fissuration comparé au mortier de ciment pur), le ciment apporte la résistance et une vitesse de durcissement plus élevée. [8]

I.3.4 Les mortiers fabriqués sur chantier :

Ils sont préparés avec le ciment et le sable du chantier. Le ciment est un ciment courant CPA ou CPJ et parfois des ciments spéciaux comme le ciment alumineux fondu. Ces mortiers ne sont donc pas très réguliers et les sables peuvent être différents d'une livraison à l'autre, mais de toutes façons ils doivent être propre et de bonne granulométrie. [7]

I.3.5 Mortier industriel :

Ce sont des mortiers que l'on fabrique à partir de constituants secs, bien sélectionnés, conditionnés en sacs, contrôlés en usine et parfaitement réguliers. Pour utiliser ce type de mortiers, il suffit de mettre la quantité d'eau nécessaire et malaxer pour ensuite les mettre en œuvre [9].

Les fabricants de mortiers industriels proposent une gamme complète de produits répondant à tous les besoins :

- Mortiers pour enduits de couleur et d'aspect varié ;
- Mortiers d'imperméabilisation ;
- Mortier d'isolation thermique ;
- Mortier de jointoiement ;
- Mortier de ragréage ;
- Mortier de scellement, mortier pour chapes ;
- Mortier-colle pour carrelages, sur fond de plâtre ou de ciment ;
- Mortier de réparation. [10]

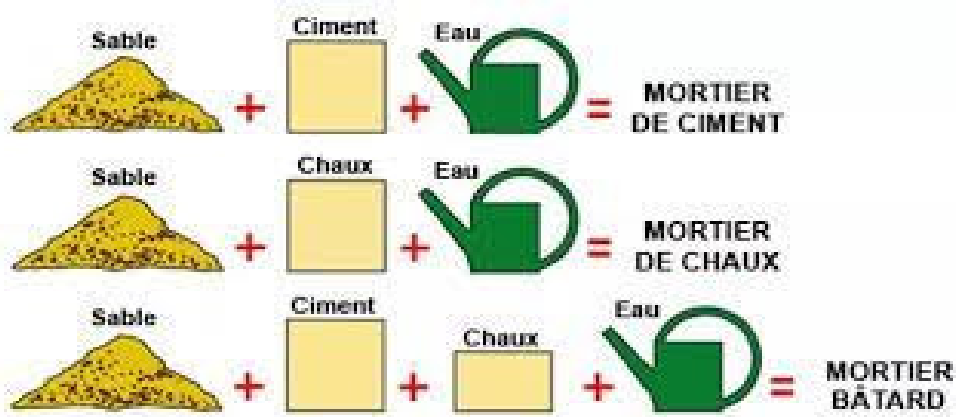


Figure I.2 : Les différents types des mortiers [11]

I.4 Classification des mortiers :

La classification des mortiers est comme suite :

I.4.1 Selon leur domaine d'utilisation :

Généralement les mortiers varient selon leur domaine d'application, et ce dernier qui est très vaste et leurs domaines permet de citer les catégories suivantes :

- ❖ Mortier de pose.
- ❖ Mortier de joints.
- ❖ Mortier pour les crépis.
- ❖ Mortier pour le sol.
- ❖ Mortier pour les stucs.
- ❖ Mortier d'injection.
- ❖ Pierres artificielles.
- ❖ Mortier pour les mosaïques
- ❖ Mortier de réparation pour pierres. [8]

I.4.2 Selon la nature du liant :

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

- ❖ Mortier de ciment portland.
- ❖ Mortier de chaux.
- ❖ Mortiers bâtards.
- ❖ Mortier à base de ciment de maçonnerie.

I.5 Caractéristiques principales des mortiers :

Les caractéristiques principales des mortiers sont [12]

- L'ouvrabilité ;
- La prise ;
- Les résistances mécaniques ;
- Les retraits et gonflements, etc.

I.6 Le rôle d'utilisation du mortier :

La pâte plastique obtenue peut jouer plusieurs rôles essentiels :

- Assurer la liaison, la cohésion des éléments de maçonnerie entre eux, c'est-à-dire la solidité de l'ouvrage, le rendre monolithique.
- Protéger les constructions contre l'humidité due aux intempéries ou remontant du sol sous forme d'enduits aériens sous forme d'écrans étanches.
- Constituer des chapes d'usure, un pour dallages en béton. Devenir la matière première dans la fabrication de blocs manufacturés, carreaux, tuyaux divers éléments moulés. [13]

I.7 Conclusion :

Cette étude bibliographique a été réalisée dans le but de multiplier nos connaissances sur le mortier. Il existe plusieurs types (Les mortiers de ciment, Les mortiers de chaux, Les mortiers bâtards, Les mortiers fabriqués sur chantier, Mortier industriel).

Le mortier est un matériau utilisé depuis longtemps, et que le témoignage de sa pérennité est présent jusqu'à nos jours dans les différentes constructions romaines.

Chapitre II

II.1 Introduction :

Les matières premières argileuses étant un mélange complexe de minéraux, la détermination de la nature, de la composition et de l'état cristallin de chacune d'entre elles est un préalable à toute étude approfondie de son comportement. La récupération et le recyclage des déchets sont une activité importante de l'économie et une véritable source d'énergie pour beaucoup de pays. Or, en Algérie, ce domaine reste très peu exploité [14]. La réutilisation de ces matériaux recyclables est particulièrement bénéfique dans les applications de génie civil qui nécessitent de grands volumes de matériaux. Lorsque ces déchets sont utilisés à la place d'autres matériaux conventionnels, les ressources naturelles et l'énergie sont préservées et l'élimination des déchets coûteuse ou potentiellement dangereuse est évitée. Des matériaux recyclables peuvent être utilisés dans diverses applications de génie civil axées sur le développement durable [15].

II.2 Définition des caractéristiques des additions :

La norme européenne EN 206-1 (NF P18-325) de février 2002, distingue les additions en 2 types :

- Quasiment-inertes (type I)
- Caractère pouzzolanique hydraulique latent (type II)

Les additions de type I selon la norme EN 206-1 [16]

- Les additions calcaires (NF P18-508)
- Les additions siliceuses (NF P18-509)
- Les fillers (NF P18-501)

Les additions de type II selon la norme EN 206-1

- La fumée de silice (NF P18-502) 25
- Les cendres volantes de houille (NF P18-505)
- Le laitier vitrifié moulu de haut fourneau (NF P18-506)

II.3 Ajouts minéraux :

Les ajouts minéraux sont des matériaux que l'on mélange au ciment Portland et donnent certaines propriétés au béton, grâce à leurs activités hydrauliques et/ou pouzzolaniques. L'utilisation d'ajouts minéraux dans les industries du ciment et du béton présente des avantages techniques, économiques et écologiques. Parmi ces ajouts on peut citer :

II.3.1 Les laitiers de haut fourneau :

Les ciments portlands additionnés de laitier et les ciments de laitiers à la chaux furent employés. Comme par exemple en 1900 pour la construction du métro à Paris [17]. Actuellement, un très grand nombre de cimenteries fabriquent des liants hydrauliques contenant des teneurs variées en laitier (ciments normalisés ou des ciments spéciaux). Les laitiers ont des propriétés très différentes suivant la composition chimique, et l'état plus ou moins cristallisé, ou plus ou moins vitreux (teneur en verre) résultant du traitement effectué, et suivant la vitesse de refroidissement les laitiers de haut fourneau acquièrent des propriétés très différentes.

Le laitier de haut fourneau est composé essentiellement de quatre composants : Chaux (CaO), magnésie (MgO), silice (SiO₂) et alumine (Al₂O₃), selon le mode de refroidissement adopté, on distingue deux formes minéralogiques différentes de laitier : [18]

- **Le laitier vitrifié (granulé) :**

Obtenu par refroidissement rapide par trempe : possède une structure vitreuse riche en énergie lui conférant une hydraulicité latente.

- **Le laitier cristallisé :**

Obtenu par refroidissement lent lui à une structure minéralogique cristalline stable et son hydraulicité si elle existe n'est que modeste. Son utilisation découle de ses propriétés, c'est un granulats. Cette différence, du point de vue cristallographique et chimique conditionne les propriétés des matériaux obtenus et donc leur utilisation. Ce refroidissement rapide ou trempe, est obtenu par granulation ou boulettage. Ce fût en 1853 que commença la granulation du laitier de haut fourneau, afin de produire un matériel facile à transporter. On formait un sable plus ou moins vitreux. [18]



Figure II. 1 : Laitier cristallisé et laitier Vitrifié (granulé) de haut fourneau



Figure II.2 : Laitier de haut fourneau

II.3.2 Les cendres volantes :

Les cendres volantes, produits pulvérulents de grande finesse, provient du dépoussiérage des gaz des chaudières des centrales thermiques et peuvent être :

- Siliceuses (v), auquel cas elles présentent des propriétés pouzzolaniques c'est-à-dire qu'elles sont capables de fixer la chaux à température ambiante, faisant prise et durcissant par hydratation.
- OU Calciques (W), auquel cas outre leurs propriétés pouzzolanique, elles peuvent présenter des propriétés hydrauliques.

Les cendres volantes siliceuses (v) sont constituées de silice réactive, entre 40 et 55%, proportion qui ne doit jamais être inférieure à 25%, et d'alumine entre 20 et 30 % environ, la proportion de chaux réactive devant être inférieure à 5%. Les cendres calciques (W), moins souvent utilisées, doivent contenir, quant à elles, une proportion de chaux réactive supérieure à 5%. [19]

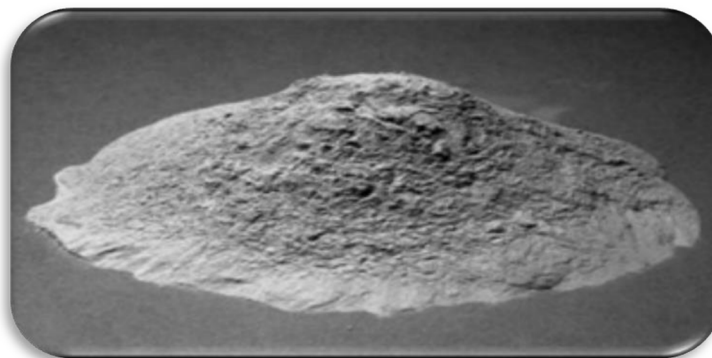


Figure II.3 : Cendre volante

II.3.3 Les additions calcaires :

Sont des produits obtenus par broyage fin ou par pulvérisation des roches carbonatées (calcite, aragonite, dolomite) qui sont composées principalement de calcite (CaCO_3) et de la dolomite ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) [R.Chaid]. Les fillers calcaires ne sont pas complètement inertes, ce qui explique qu'ils aient un effet sur la résistance du béton. En effet, outre un effet de remplissage, ils accélèrent l'hydratation de CS, car ils constituent des sites de germination des hydrates. Mais il y a aussi un effet liant dû à une réaction entre le carbonate de calcium et le CA. Cet effet sera particulièrement sensible dans le cas des ciments contenant une part importante de ce constituant. Selon la norme algérienne NA 442, pour utiliser ce produit comme ajout cimentaire, sa teneur en carbonate de calcium doit être supérieure à 75 % en masse.



Figure II.4 : Fillers calcaires

II.3.4 Les fumées de silice :

La fumée de silice est un sous-produit de la fabrication du silicium, de différents alliages de Ferrosilicium ou de zircone. Le silicium et les alliages de silicium sont produits dans des fours à arc électrique où le quartz est réduit en présence de charbon (et de fer pour la production de Ferro silicium. Durant la réduction de la silice dans l'arc électrique, un composé gazeux, SiO_2 se forme et s'échappe vers la partie supérieure du four, il se refroidit, se condense et s'oxyde sous forme de particules ultrafines de silice SiO_2 [N. Kaid]. Ces particules sont récupérées dans un système de dépoussiérage. D'un point de vue chimique, la fumée de silice est essentiellement composée de silice. La teneur en SiO_2 de la fumée de silice varie selon le type d'alliage produit. Plus la teneur en silicium de l'alliage est élevée plus la teneur en SiO_2 de la fumée de silice est élevée. Les fumées de silice produites durant la fabrication de silicium métal contiennent en général plus de 90% de SiO_2 . [J. Behmanesh].

Les caractéristiques très particulières de la fumée de silice en font une pouzzolane très réactive à cause de sa très forte teneur en silice, de son état amorphe et de son extrême finesse. Les effets bénéfiques de la fumée de silice sur la microstructure et les propriétés mécaniques du béton sont dus essentiellement à la rapidité à laquelle la réaction pouzzolanique se développe et à l'effet physique particulier aux particules de fumée de silice qui est connu sous le nom d'effet filler.

Ce produit se présente sous la forme d'une poudre ultra fine de couleur claire ou grise.



Figure II.5 : Fumée de silice

II.3.5 Les pouzzolanes :

Les pouzzolanes naturelles sont des produits généralement d'origine volcanique. Ou des roches sédimentaires. Présentent des propriétés pouzzolaniques. Elles sont essentiellement composées de silice réactive (dans des proportions supérieures à 25%), d'alumine et d'oxyde de fer. [20]

II.4 Avantages des ajouts minéraux :

La recherche d'un liant moins coûteux en utilisant des déchets industriels et des ressources naturelles est devenue une préoccupation majeure pour palier au déficit dans la fabrication du ciment portland. Les ajouts permettent soit d'améliorer les caractéristiques du béton ou de lui conférer des propriétés spécifiques. Les ajouts sont souvent meilleur marché que le ciment Portland et permettent d'obtenir des avantages économiques écologiques et techniques [3]

II.5 Importance des additions dans l'industrie cimentière :

Dans le domaine des travaux publics et du bâtiment, le ciment Portland artificiel sans ajout ne répond plus à lui seul à toutes les exigences (mécaniques, durabilité, coût, ...). De plus, dans une même cimenterie et pour répondre aux différentes demandes commerciales, on a tendance à ne plus fabriquer qu'un seul clinker et à le broyer plus ou moins finement avec des additions minérales de provenances diverses pour fabriquer des ciments composés (CEM II). [3]

En France l'utilisation de filler dans le ciment n'a débutée qu'en 1979, date à laquelle la normalisation française a autorisé leur fabrication et leur commercialisation [NF P15-300 et NF P15-301] [21], en Algérie le développement de ciment utilisant des fillers calcaires n'a commencé qu'à partir de 1990.

II.6 Fonction des additions :

Addition mélangées avec le clinker en cimenterie ; L'addition a pour but de proposer à la clientèle plusieurs types de ciments à partir d'un même clinker qui appartiennent soit à une classe de résistance mécanique inférieure ou égale, soit à énergétique et environnemental (moins de clinker = moins d'énergie et de CO₂). [3]

II.7 Définition de Kaolin :

Le terme kaolin a été utilisé, pour longtemps, pour désigner l'argile chinoise extraite du village « Kao Ling ». Actuellement, le terme kaolin désigne les minéraux ayant une composition en kaolinite (Al₂Si₂O₅(OH)₄) supérieure à 50% [22]. La kaolinite est un phyllo silicate de type 1 :1 dioctaédrique qui est constitué d'un empilement régulier de feuillet composés d'une couche tétraédrique siliceuse en alternance avec une couche octaédrique alumineuse. En tous les Kaolins comprennent quatre variétés cristallographiques : la kaolinite idéale, la nacrite, la dickite et le métahalloysite [4].

II.8 Le Métakaolin :

Les argiles thermiquement activées, en particulier les argiles kaolinitiques, sont aujourd'hui revalorisées comme source de matériaux cimentaires d'appoint pour réduire les émissions de CO₂ et la consommation d'énergie provenant de la production de ciment [23].

Cela pourrait être réalisé en remplaçant une partie du ciment par un ajout minéral tel que des cendres volantes, du laitier de haut fourneau ou du Métakaolin (MK) lors du malaxage du béton. Ces dernières années, L'incorporation de MK dans les matériaux de construction est en croissance [24].

II.9 Définition d'un matériau pouzzolanique :

Selon la norme ASTM C 618 (1999) [25], une pouzzolane est un matériau siliceux ou silicoalumineux qui ne possède en lui-même aucune ou à peu près aucune vertu liante mais qui, sous forme de poudre et en présence d'humidité, réagit chimiquement avec l'hydroxyde de calcium solubilisé à des températures ordinaires pour former des composés possédant des propriétés liantes. [26], ces composés sont les silicates de calcium hydratés ainsi que les aluminates et aluminosilicates de calcium hydratés.

Les matériaux pouzzolaniques ont été utilisés depuis l'antiquité, surtout par les Romains. Ils employaient en effet un tuf volcanique situé près de Pouzzoles pour la construction de leurs édifices. C'est de là que vient le nom « pouzzolane »

II.10 Types de pouzzolanes :

Il existe deux types de pouzzolanes : les pouzzolanes naturelles et artificielles.

II.10.1 Les pouzzolanes naturelles :

Sont essentiellement issues des éruptions volcaniques (les scories volcaniques issues des lambeaux de laves). Sous l'effet de la diagenèse, ces matériaux se transforment en tufs. En plus de ceux-ci, il y a aussi les terres à diatomée (contenant la silice issue de la décomposition des cadavres de micro-organismes déposés dans les fonds marins), les argiles calcinées pendant l'écoulement des laves volcaniques (Frias et Sanchez).

II.10.2 Les pouzzolanes artificielles :

Sont pour la plupart des sous-produits agricoles ou industriels [26]. Ce sont des matériaux riches en silice, en alumine et en oxydes de fer et ayant subis une activation pour garantir leur activité pouzzolanique. L'activation peut être physique, chimique ou thermique. Ces pouzzolanes sont diverses. On peut citer entre autre les laitiers de hauts fourneaux, les fumées de silice, les cendres volantes, les cendres de balles de riz, le Métakaolin, etc.,

Le Métakaolin fera l'objet de cette recherche.

II.11 Définition du Métakaolin :

Le Métakaolin est une pouzzolane de synthèse, issue du traitement de la kaolinite, argile assez courante sur la surface du globe. Le Métakaolin appartient à la famille des ultrafines, particules minérales de dimension inférieure à 10 μm , utilisées dans les bétons et les mortiers pour améliorer les propriétés mécaniques et la durabilité. [3]

La préparation du Métakaolin a été réalisée par calcination du Kaolin à une température de 800°C pendant une durée de 3 heures, Une comparaison des résultats avec un mortier témoin sans ajout est établie. Les résultats observés ont montré que le taux de substitution de 10% de ciment par du Métakaolin augmente la résistance à la compression et à la traction à un jeune âge. [27]

Industriellement il existe essentiellement deux modes de calcination ;

- Une calcination lente (cinq heures environ dans des unités de production)
- Une calcination flash (très rapide en comparaison avec la calcination lente).

À une température élevée, la kaolinite perd son eau par des hydroxylations

Le Métakaolin est considéré comme une matière pouzzolanique en raison de sa surface spécifique élevée et de la silice amorphe qui entre dans la composition de cet aluminosilicate [28].

II.11.1 Obtention du Métakaolin :

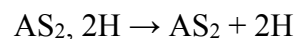
Le Métakaolin s'obtient par calcination des argiles kaolinitiques à des températures comprises entre 600 et 900 °C. Sa production génère de faibles quantités de dioxyde de carbone [29]. Selon le même auteur, les températures de calcination dépendent du degré de pureté en kaolinite des argiles utilisées. [30], la température de calcination est comprise entre 500 et 800 °C tandis que pour Hollanders et al [31], et Cyr et Escadeillas [32], elle est comprise entre 600 et 850 °C.

La réaction de calcination du Métakaolin s'effectue selon l'équation suivante [29] :



Kaolinite → Métakaolin + eau

(En notation cimentière)



Arikan et al. Affirment que le principal avantage de l'utilisation de MK dans le béton et le ciment est sa forte activité pouzzolanique, qui est la capacité de réagir avec le Ca(OH)₂ produit lors de l'hydratation du ciment Portland (PC), formant des silicates de calcium hydratés et les aluminates. Étant un matériau très fin, avec 99,9% de particules de taille inférieure à 16µm et d'une taille moyenne d'environ 3 µm, donc présentant une surface spécifique élevée, le Métakaolin possède la capacité pour accélérer la réaction pouzzolanique [33].

II.11.2 Structure chimique :

Le Métakaolin obtenu après conversion de la kaolinite en Métakaolin présente des structures cristallines différentes de celle-ci. [34] la Métakaolinite est la phase la plus réactive de la série de transformations thermiques de la kaolinite. G.W. Brindley [35] a suggéré une structure pour cette phase amorphe grâce à ses observations en diffraction aux rayons X. En effet, même si le Métakaolin est globalement amorphe, il démontre une subsistance d'un certain ordre structural.

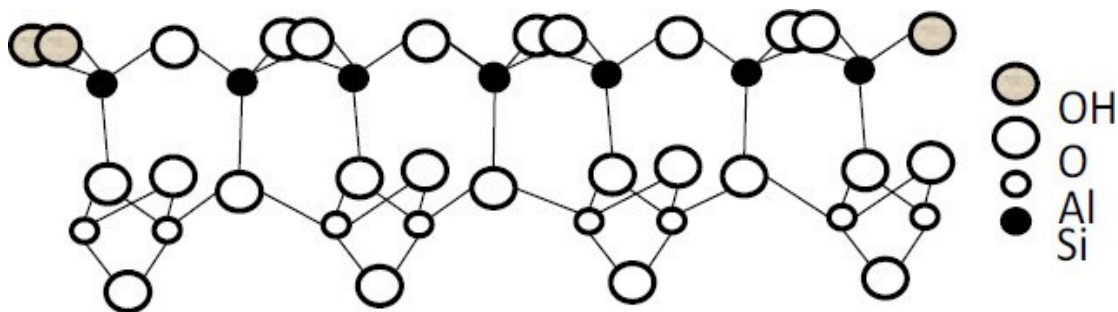


Figure II.6 : Structure du Métakaolin [34]

II.11.3 Normalisation de Métakaolin (selon NF P18-513) :

La norme produit "NF P18-513 – Métakaolin, addition pouzzolanique pour bétons – Définitions, spécifications et critères de conformité : " est la première norme en Europe sur ce type de matériau. Elle est pour objectif de définir ; les exigences chimiques et physiques ainsi que les critères de conformité pour les Métakaolins ». [36]

II.11.4 Propriétés physiques :

Le Métakaolin à l'état pur est d'une couleur blanchâtre [30]. Mais la présence d'autres éléments minéraux peut faire varier cette couleur. La masse volumique des particules solides est d'environ 2.5 g/cm³. Celle-ci peut varier en fonction de la composition minéralogique de la roche-mère ainsi que du processus de fabrication du Métakaolin [29].

La surface spécifique et la taille des particules ont une grande influence sur la demande en eau du mortier ou de la pâte de ciment. En effet, les grandes surfaces spécifiques et les granulométries fines induisent une augmentation de cette demande [26]. Toutefois, la surface spécifique n'a pas d'effet sur la réactivité du Métakaolin [32].

II.11.5 Composition minéralogique et chimique du Métakaolin :

Selon le degré de pureté de l'argile kaolinitique utilisée, le Métakaolin conséquent peut être associé à d'autres minéraux tels que le quartz, l'hématite, l'illite, etc. [37].

Le Tableau suivante présente un exemple de composition minéralogique de quelques argiles calcinées.

| Argile calcinée | Métakaolin (%) | Quartz (%) | Illite (%) | Feldspaths (%) | Muscovite (%) |
|-----------------|----------------|------------|------------|----------------|---------------|
| 1 | 36,00 | 21,85 | 6,93 | 4,23 | 31,00 |
| 2 | 31,50 | 31,10 | 9,69 | 4,62 | 23,01 |
| 3 | 40,00 | 18,11 | 6,18 | 3,82 | 31,90 |

Tableau II.1 : Composition minéralogique de quelques argiles calcinées tirées [37]

Selon la norme NF P 18-513 (2010), le Métakaolin doit avoir : $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 > 90\%$ en masse.

II.11.6 Influences du Métakaolin :

Sur les propriétés des mortiers et bétons Actuellement, le Métakaolin est utilisé dans diverses formulations de mortier et de béton. Cet intérêt est accordé au Métakaolin à cause de ses effets positifs sur les propriétés des mortiers et bétons à l'état frais et durcis. [29]

A. Influence sur les propriétés à l'état frais :

• La rhéologie :

A l'état frais, les mortiers contenant du Métakaolin sont plus visqueux que ceux faits avec du ciment uniquement à des ratios E/C identiques. Il est donc nécessaire d'ajouter un adjuvant au mortier contenant du Métakaolin pour avoir la même consistance [38].

- **La prise :**

La substitution partielle du ciment par le Métakaolin a un effet retardateur sur la prise des mortiers et bétons [29]

- **L'hydratation :**

Le Métakaolin a un effet accélérateur sur l'hydratation du ciment [29]. Ceci est dû à la grande surface spécifique du Métakaolin. La chaleur d'hydratation maximale est obtenue pour 10% de substitution. Mais pour Minh, elle est maximale pour 5% de substitution du ciment

B. Influence sur les propriétés à l'état durci :

- **La porosité :**

Grâce à son effet filler, l'ajout du Métakaolin dans les mortiers et bétons conduit à la réduction des diamètres de pores (Taфраoui,). Selon Siddique et Klaus, cette réduction se produit pour des taux de substitutions inférieurs à 20 %. Toutefois, Saidat souligne des divergences concernant la porosité totale des échantillons contenant du Métakaolin. Ceci s'explique par la variété des ciments utilisés d'une part et celle des compositions d'autre part. D'après Tironi et al., l'augmentation du volume de la porosité totale pénalise les résistances mécaniques.

- **Les résistances mécaniques :**

La résistance mécanique des mortiers et bétons est liée à la vitesse d'hydratation du ciment. A ceci s'ajoute l'effet de la réaction pouzzolanique quand le ciment est partiellement substitué par le Métakaolin [28]. L'amélioration des résistances mécaniques a été observée par plusieurs auteurs. En effet, la résistance en compression des bétons incorporant 10% de Métakaolin est supérieure à celle des bétons sans Métakaolin.

II.11.7 Réaction pouzzolanique du méta kaolin dans un milieu cimentaire :

La réaction pouzzolanique consiste à produire des silicates de calcium hydratés à partir de la silice réactive de l'addition (essentiellement dans un état amorphe) en consommant des cristaux de chaux formés par l'hydratation des composés principaux du clinker (C_3S et C_2S) [39], [40]. Une phase liquide est nécessaire pour assurer le transport des ions. Elle dépend de la dissolution de la silice par attaque d'ions hydroxydes.

La réaction dépend du niveau de la réactivité du méta kaolin (MK) qui, lui, dépend du procès de calcination [41], du traitement post-calcination (broyage, dés agglomération, tamisage...) et de la pureté du kaolin [42].

La réaction pouzzolanique du méta kaolin forme des C-S-H ainsi que les produits cristallins, qui incluent les hydrates d'aluminate de calcium et les hydrates d'alumino-silicate (C_2ASH_8 , C_4AH_{13} et C_3AH_6).

II.1 Définition des déchets :

Le déchet est défini comme « Tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau, produit ou plus généralement tout bien meuble abandonné ou que son détenteur destine à l'abandon. [43]

II.2 Différents types des déchets :

II.2.1 Déchets ménagers et assimilés (DMA) :

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

II.2.2 Déchets encombrants (DE) :

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

II.2.3 Déchets spéciaux (DS) :

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

II.2.4 Déchets spéciaux dangereux (DSD) :

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

II.2.5 Déchets inertes (DI) :

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

II.2.6 Déchets ultimes (DU) :

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

II.2.7 Déchets biodégradables :

Sont les déchets pour lesquels les facteurs abiotiques assurent seuls leur décomposition ; dans le cas où la décomposition est assurée par les micro-organismes (bactéries ou champignons), on parle des déchets biodégradables. Exemple la matière organique.

II.3 Valorisation des déchets et sous forme des additions :

Une addition minérale est une poudre d'une finesse supérieure à celle du ciment. Elle peut être ajoutée et/ou substituée au béton lors de sa fabrication ou ajoutée directement dans le malaxeur lors de la fabrication du béton. Elle permet ainsi d'améliorer certaines propriétés ou conférer aux matériaux des propriétés particulières. On distingue deux types d'additions : les additions inertes et les additions réactives [44].

II.4 Définition du Céramique :

Le terme de céramique signifie plus généralement un matériau solide de synthèse qui nécessite souvent des traitements thermiques pour son élaboration. La plupart des céramiques modernes sont préparées à partir de poudres consolidées (mise en forme) et sont densifiées par un traitement Thermique (le frittage). La plupart des céramiques sont des matériaux polycristallins, c'est à dire comportant un grand nombre de microcristaux bien ordonnés (grains) reliés par des zones moins ordonnées (joints de grains) comme illustré en Figure II- 7 [45]

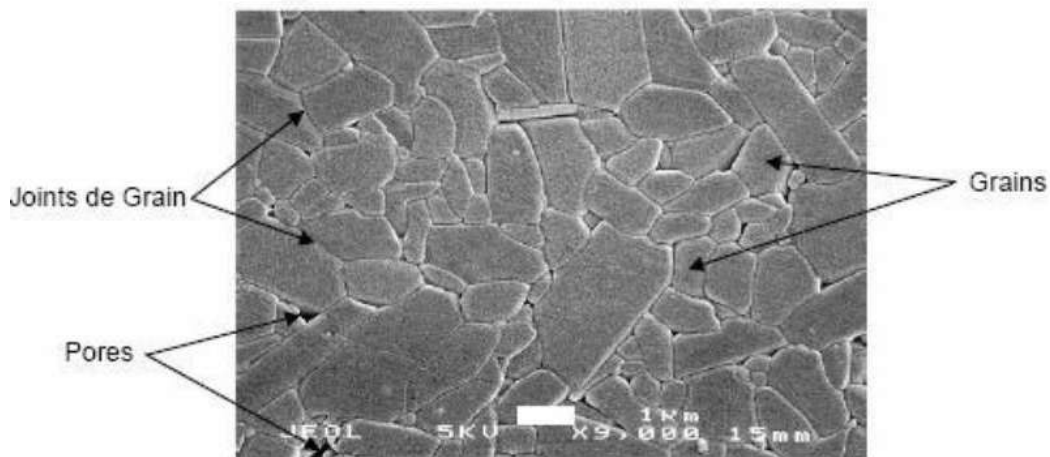


Figure II.7 : Microstructure typique d'une surface céramique polie qui illustre les grains monocristallins, joints de grains et pores [45]

Les céramiques peuvent être vernissées ou mates, poreuses ou vitrifiées. La cuisson des pâtes céramiques produit une transformation "temps température" des minéraux qui les constituent, pour donner généralement un mélange de nouveaux minéraux et de phases vitreuses [46]

Les argiles sont les matériaux les plus consommés et aussi les plus anciens dans l'industrie de la céramique. Les propriétés importantes du kaolin dans l'industrie céramique peuvent être présentées sous deux classes :

1- les propriétés intrinsèques sont la composition minéralogique, la composition chimique et la distribution granulométrique (surface spécifique et CEC). Dans la composition chimique les facteurs suivant méritent d'être mentionnés : éléments traces, soufre, carbone organique, chlore, fluor, et sels solubles. La quantification de la composition minéralogique se fait par le calcul basé sur l'analyse chimique et la connaissance minéralogique qualitative.

2 - Le comportement au délitage, le refus sur tamis, la teneur en eau (l'humidité et la perte au feu), comportement à la défloculation, demande en flocculant et la concentration critique, la 54 courbe de défloculation, le comportement au coulage (test de filtration), la cohésion en cru, la plasticité le comportement au séchage et à la cuisson sont des propriétés technologiques intervenant lors de la mise en forme d'un produit céramique. La densité, porosité, le retrait, le module de rupture, la déformation pyroplastique, la blancheur, la coloration et le comportement dilatométrique sont les paramètres technologiques du comportement à la cuisson d'un produit céramique (Vouillemet1998). La mesure de tous ces paramètres pour chaque échantillon d'un gisement de kaolin, n'est pas possible. Une bonne connaissance de la relation entre la composition de l'argile (minéralogique) et ces propriétés est indispensable.

Les spécifications techniques recherchées pour la fabrication des céramiques fines sont les suivantes (fiche technique SIM, Argiles pour céramiques fines et réfractaires).

- 1) Teneur en kaolinite prédominante ;
- 2) Eléments colorants non souhaités (argiles cuisant blanc) : $Fe_2O_3 < 2 \%$, $TiO_2 < 2\%$
- 3) La présence de quartz peut être souhaitable, sauf pour le réfractaire ;
- 4) Présence de feldspaths, micas/illites et calcite à des teneurs $< 25 \%$, souhaitée au contraire pour les produits grésés (argiles grésantes) ;
- 5) Présence de smectites (teneur $< 5 \%$), d'halloysite et de matière organique souhaitée (amélioration de la plasticité) ;
- 6) Présence de gypse et de sels solubles prohibée. La teneur en alumine, la pureté chimique et la couleur à la cuisson, sont les atouts principaux des produits céramiques (Delineau). Les matériaux argileux sont caractérisés par la présence d'une proportion importante de particules fines de phyllosilicates de taille $< 2 \mu m$.

D'un point de vue chimique, les céramiques sont principalement des oxydes (notamment des aluminosilicates pour les céramiques traditionnelles), des nitrures et des carbures. Les propriétés caractéristiques des céramiques sont leur grande résistance mécanique, leur résistance à l'usure et leur longévité ; chimiquement inertes, elles sont non toxiques, résistantes à la chaleur et au feu, et ont généralement des propriétés isolantes et parfois une porosité spécifique. [46]

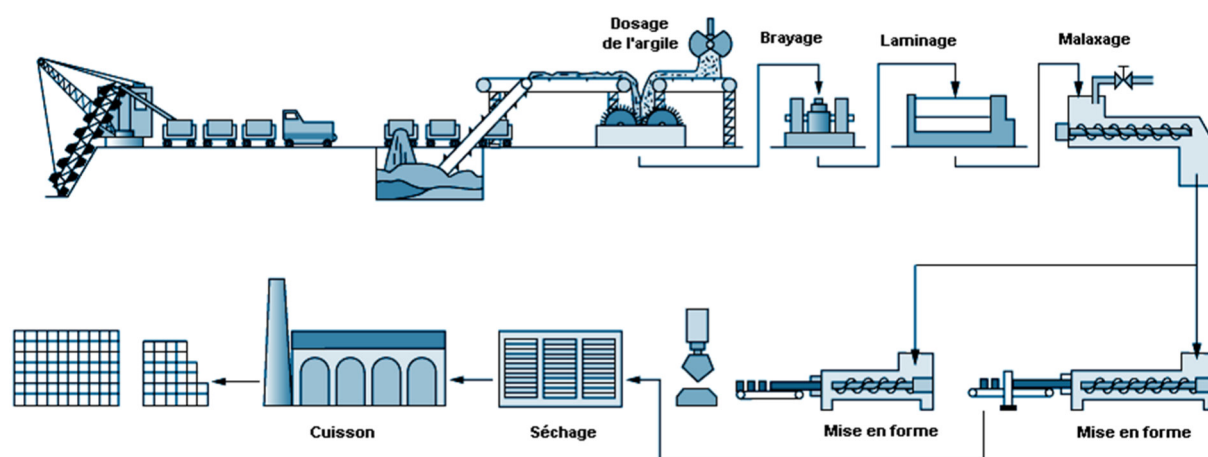


Figure II.8 : Fabrication de céramique

L'incorporation d'autres matériaux, en particulier industriels, est non seulement meilleure pour l'environnement mais peut également conduire à des améliorations de certaines propriétés. Certaines études montrent le potentiel de différents types d'agrégats de déchets : brique, béton, caoutchouc, verre et plastique, plus précisément PET. Vu leur effet positif sur certaines propriétés, on a pensé à utiliser les déchets de céramique comme ajout dans la formulation des mortiers à base de sable de dune afin d'améliorer leurs caractéristiques mécaniques (compression, traction, flexion) et voir l'effet de ces paramètres sur la durabilité à long terme.

II.5 Différents types de céramiques :

On distingue deux types des céramiques :

Céramiques traditionnelles :

Les céramiques traditionnelles sont fabriquées de matières premières naturelles (argile, Kaolin, quartz) et généralement mise en œuvre par coulée, exemples : la faïence, terres cuites (Briques de construction), porcelaines (vaisselle, objets décoratifs). [47]

Ils se distinguent des autres céramiques par le fait qu'elles sont obtenues à partir d'une ou plusieurs matières premières naturelles dont l'un des constituants au moins est une argile riche en phyllosilicates. Elles sont utilisées en tant que produits pour le bâtiment (sanitaires, carreaux de sol et de mur, briques, tuiles...) et articles domestiques (vaisselle, objets décoratifs, poterie). Soumis à la concurrence des autres matériaux, à l'augmentation du coût de l'énergie et à l'évolution des contraintes environnementales, ce secteur industriel est en pleine réforme et les progrès concernent autant les technologies de fabrication (mélanges de matières premières, procédés de mise en forme, séchage, cuisson...).



Figure II.9 : Exemples de céramiques traditionnelles : (a) mur construit en brique de terre cuite, (b) Les poteries, (c) quelques modèles de tuiles, (d) le grès, (e) les porcelaines et (f) maison construite en briques de terre cuite et le toit en tuiles. (Serewane, 2020)

L'intérêt accordé principalement aux matériaux de terre cuite dans le bâtiment est une évidence. Employés dans toutes les parties de la construction (murs, sols, toiture, etc.), on les retrouve sous différentes formes : briques, tuiles, bardages, carreaux, etc. Les briques et les tuiles sont les éléments de construction en terre cuite les plus répandus. Présents dans les bâtiments depuis plusieurs millénaires, ces matériaux restent encore couramment utilisés partout dans le monde. La connaissance des caractéristiques des produits de terre cuite permet à ceux-ci d'être employés dans toutes les parties de la construction avec efficacité.

Tableau II.2 : Caractéristiques de quelques céramiques traditionnelles [48]

| Type de céramique | Terrescuites | Faïences | Grès | Porcelaines |
|--|--------------|-----------|-----------|-------------|
| Masse volumique (mg/m ³) | 2,1 à 2,4 | 2,1 à 2,4 | 2,1 à 2,5 | 2,3 à 2,5 |
| Porosité (%) | 15 à 30 | 10 à 15 | 0,5 à 3 | 0 à 2 |
| Conductivité thermique (W/m.K) | 0,6 à 1 | - | - | 1 à 3 |
| Coefficient de dilatation thermique linéaire (10 ⁻⁶ /K) | 5 à 8 | 5,4 à 8,8 | 5 à 8 | 3 à 5 |
| Module de Young (GPa) | 50 à 80 | - | - | 70 |
| Résistance à la compression simple σ (MPa) | 30 à 60 | - | - | 35 |
| Résistance à la compression diamétrale(MPa) = $\sigma/10$ | 3 à 6 | - | - | - |
| Module de rupture (MPa) | 5 à 40 | 30 à 60 | 20 à 110 | 45 à 120 |
| Ténacité (MPa.m ^{1/2}) | 0,4 à 1 | - | - | 1,0 |

Céramiques techniques :

Les céramiques techniques regroupent les matériaux développés récemment dans les laboratoires de recherche en raison de leurs propriétés chimiques ou physiques exceptionnelles. Elles sont obtenues le plus souvent par frittage (traitement thermomécanique dans des fours spéciaux, qui provoque la cohésion de granulés de poudre avec un aggloméré préparé à froid) ou par électro fusion (les oxydes sont coulés directement dans un moule). [47]

Les différentes céramiques techniques :

❖ Oxydes

- Réfractaires et abrasifs : Al_2O_3 , ZrO_2 , MgO
- Céramique pour l'électronique : ferrite (MFe_2O_4)
- Céramiques pour le nucléaire : UO_2 , PuO_2 , ThO_2
- Céramiques pour l'optique : verres non silicatés, LiNbO_3 , PbZT
- Membranes : zéolithes biocéramiques : Al_2O_3

❖ Nitrures et oxynitrures : Céramiques réfractaires : N_4Si_3 et les SIALON

❖ Carbures : abrasifs SiC , TiC , B_4C

❖ Borures : réfractaires TiB_2 , ZrB_2

Les images de la figure présentent quelques types de céramiques techniques. [49]

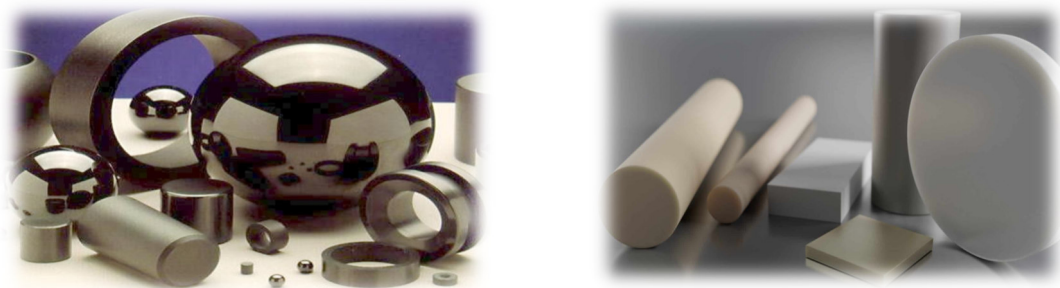


Figure II.10 : Quelques types de céramiques techniques

II.6 Les grandes caractéristiques des céramiques :

Les céramiques sont caractérisées par des liaisons fortes, ce qui se traduit dans la pratique par :

- Une très bonne tenue en température ;
- Une excellente rigidité élastique ;
- Une bonne résistance à la corrosion ;
- Une bonne résistance à l'usure. Ces matériaux ont de hauts points de fusion, ils sont fragiles peu ductiles. [50]

II.7 Propriétés des céramiques :

- **Propriétés mécaniques :**

La dureté des céramiques est très élevée ; la limite élastique est très faible leur module de Young à la température ambiante est compris entre 300 et 400 GPa et la résistance à la Compression entre $2 \cdot 10^3$ et $30 \cdot 10^3$ Pa.

- **Propriétés thermiques :**

Les céramiques sont caractérisées par leur capacité à résister à haute température. La température de fusion des céramiques est très élevée 2050 C°. La chaleur spécifique ; La conductivité thermique et le coefficient de dilatation thermique augmentent avec la température.

II.8 Les produits céramiques dans la construction :

Les produits céramiques prennent une part importante dans le domaine de génie civil, car, suivant leur mode de fabrication, ils ont des propriétés variées, bien différentes les unes des autres. A la base de tous les procédés de fabrication, il y a l'argile, qui, mélangée à l'eau, donne une pâte dont la propriété est de durcir à la chaleur. En faisant varier les différents composants de la pâte, la quantité d'eau et le degré de chaleur, on modifie les caractéristiques du matériau, qui devient plus ou moins dur, plus ou moins poreux, etc. [51], [52], [53], [54]

II.9 Conclusion :

L'étude bibliographique montre la spécificité de l'incorporation des additions dans les matrices cimentaires de manière générale, Cette synthèse bibliographique a montré que de nombreux produits fins peuvent être utilisés dans le béton et mortier pour améliorer certaines de ces propriétés ou pour lui conférer des propriétés nouvelles. En effet, l'action des additions minérales peut être distinguée suivant trois effets principaux : un effet granulaire, un effet physico-chimique et microstructural et un effet chimique. [55], [56], [57]

C'est dans ce contexte que s'inscrit notre recherche qui a pour objectif d'établir une base de données expérimentale d'utilisations de différentes composantes sous différents modes de conservation et des paramètres de composition pouvant être exploités et complétés visant certaines propriétés des matériaux élaborés.

Chapitre III :
Caractéristiques des
matériaux utilisés

III.1 Introduction :

Nous présentons dans ce chapitre, les caractéristiques des matériaux utilisés pour la confection des mortier et la méthode de formulation expérimentale à base d'ajouts de Métakaolin et déchets de céramiques ce qui nous permet de suivre l'évolution des différentes propriétés des mélanges et sélectionner les mélanges qui donnent des performances comparables à celles développées par le mélange témoin.

III.2 Matériaux et matériel utilisé :

III.2.1 Matériaux utilisés :

❖ **Ciment CPJ 42.5 :**

Le ciment utilisé dans ce travail c'est le ciment CPJ CEM II A-L 42,5 (ciment Portland au calcaire) convient pour la fabrication de mortiers et tous travaux de béton armé, développant des résistances moyennes. Contenant :

- * 80 à 94 % de clinker ordinaire $C_3S \geq 55\%$
- * 6 à 20 % de calcaire pur
- * 0 à 5% de gypse en tant que régulateur de prise.

- ❖ **Sable :** Pour le sable on a utilisé le sable de dune, d'origine siliceux provenant d'OUED MAITER de Boussaâda « M'sila » ;



Figure III.1 : Sable de Boussaâda

❖ Superplastifiant :

Dans notre travail, l'adjuvant qui nous avons utilisé s'appeler : Le superplastifiant (MEDAPLAST SP 40).

D'après la fiche technique (Annexe), le MEDAPLAST SP 40 est un superplastifiant haut réducteur d'eau permettant d'obtenir des bétons et mortiers de très haute qualité, en plus de sa fonction principale de super plastifiant, il permet de diminuer considérablement la teneur en eau du béton.

🚦 Propriétés :

Grâce à ses propriétés le MEDAPLAST SP 40 permet :

○ **Sur béton frais :**

- Améliorer la fluidité ;
- Augmenter la maniabilité ;
- Réduire l'eau de gâchage ;
- Eviter la ségrégation ;
- Faciliter la mise en œuvre du béton.

○ **Sur béton durci :**

- Augmenter les résistances mécaniques ;
- Diminuer la porosité ;
- Augmenter la durabilité ;
- Diminuer le retrait

❖ L'eau de gâchage :

On a utilisé l'eau potable (l'eau de robinet de la région de M'sila) pour toute les formulations de mortier.

❖ Kaolin :

On a utilisé le kaolin de la carrière de Mila située dans la région nord-est de l'Algérie. La préparation de Métakaolin a été réalisé par calcination du kaolin à une température de 850 °C.[58],[59] ,[60]



Figure III.2 : Roche du kaolin.



Figure III.3 : Calcination de kaolin



❖ Les déchets de céramique :

La poudre de céramique est obtenue après broyage de débris de déchet de céramique et après passage au tamis de 80 μ m pour aboutir à la finesse voulue.



Figure III.4 : Déchets de céramique utilisés

III.3 Les caractéristiques des matériaux :

III.3.1 Le sable :

Le sable a été soumis à plusieurs essais au laboratoire de Génie civil de l'université de M'sila, suivant les normes françaises AFNOR.

III.3.1.1 Analyse granulométrique du sable : (la norme NF P 18 -560)

On peut définir l'analyse granulométrique par tamisage c'est un ensemble des opérations aboutissant à la séparation selon leur grosseur des éléments constituant échantillon, en employant des tamis à maille carrée afin d'obtenir une représentation de la répartition de la masse des particules à l'état sec en fonction de leur dimension. [61]

Tableau III. 1 : Les résultats d'analyse granulométrique du sable de Boussaâda

| Tamis (mm) | Refus partiels (g) | Refus cumulés | | Tamisâts (%) |
|--------------|--------------------|---------------|------|--------------|
| | | (g) | % | |
| 5 | 0 | 0 | 0 | 100 |
| 2.5 | 107 | 107 | 10.7 | 89.3 |
| 1.25 | 71 | 178 | 17.8 | 82.2 |
| 0.63 | 138 | 316 | 31.6 | 68.4 |
| 0.315 | 372 | 688 | 68.8 | 31.2 |
| 0.16 | 265 | 953 | 95.3 | 4.7 |
| 0.08 | 43 | 996 | 99.6 | 0.4 |
| Fond | 4 | 1000 | 100 | 0 |

Courbe d'analyse granulométrique du sable :

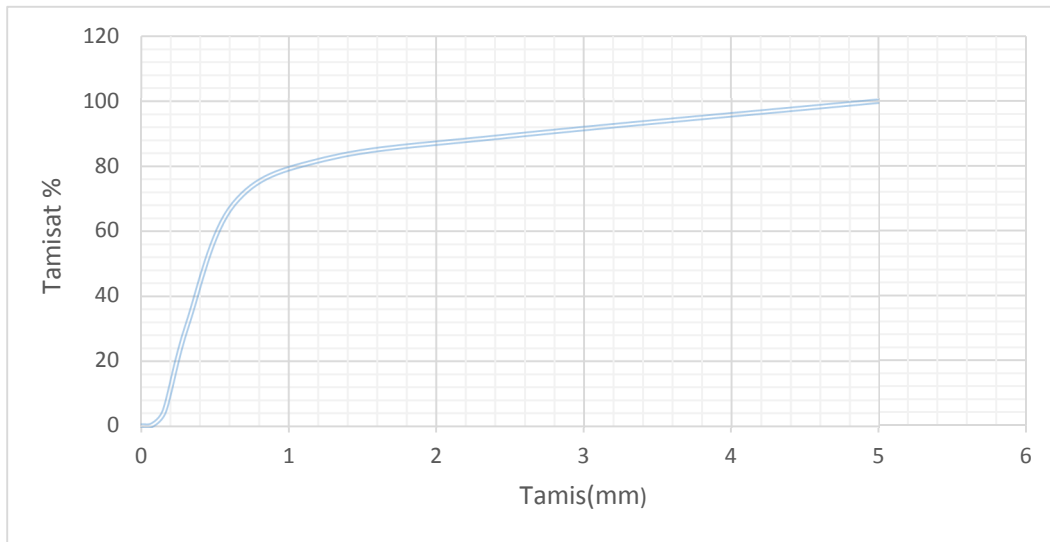


Figure III. 5 : La courbe l'analyse granulométrique de sable de la dune de Boussaâda

❖ Module de finesse :

Le module de finesse (M_f) est un facteur très important, qui nous permet de juger la grosseur du sable (qualité du sable), il est exprimé par le rapport de la somme des refus cumulés des tamis de mailles : [0.16-0.315-0.63-1.25-2.5 et 5 (mm)] sur 100.

Les normes soviétiques spécifient le M_f des sables comme suit : [52]

- Sable gros : $M_f \geq 2.5$
- Sable moyen : $2 < M_f < 2.5$
- Sable fin : $1.5 < M_f < 2$
- Sable très fin : $1 < M_f < 1.5$

Pour le sable de Boussaâda : $M_f = 2.24$ Donc, c'est un sable moyen.

III.3.1.2 Equivalent de sable NF-18-598 :

❖ Le but d'essai :

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

Les résultats sont regroupés sur le tableau suivant :

Tableau III.2 : Equivalent de sable du sable de Boussaâda

| N° d'essai | h_1 (cm) | h_2 (cm) | ESV(%) | ESVmoy (%) | h_2' (cm) | ESP (%) | ESVmoy (%) |
|------------|---------------|---------------|--------|---------------|----------------|------------|---------------|
| 01 | 9.9 | 8.6 | 86.87 | 85.54 | 8,6 | 69,07 | 81.60 |
| 02 | 10.2 | 8.7 | 85.29 | | 8,6 | 65,64 | |
| 03 | 10.3 | 8,7 | 84.47 | | 8,5 | 66,66 | |



Figure III. 6 : Equivalent de sable

III.3.1.3 La Masse spécifique (absolue) du Sable NF P18- 555 :

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

Le tableau suivant représente les résultats de la masse volumique absolue :

Tableau III.3 : Masse volumique absolue du sable de Boussaâda

| N° d'essai | M(g) | V_1 (cm^3) | V_2 (cm^3) | ρ_{abs} (g/cm^3) | ρ_{moy} (g/cm^3) |
|------------|------|---------------------|---------------------|---------------------------|---------------------------|
| 01 | 300 | 150 | 266 | 2,59 | 2.60 |
| 02 | 300 | 150 | 270 | 2,50 | |
| 03 | 300 | 150 | 260 | 2,73 | |

III.3.1.4 Masse volumique apparente : NF P 18-554

❖ But de l'essai :

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

1-À l'état lâche :

Tableau III.4 : Masse volumique apparente du sable de Boussaâda à l'état lâche

| N° d'essai | M ₁ (g) | M ₂ (g) | ρ_{app} (g/cm ³) | ρ_{moy} (g/cm ³) |
|------------|--------------------|--------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 01 | 115 | 1437 | 1,47 | 1,47 |
| 02 | 115 | 1441 | 1,47 | |
| 03 | 115 | 1449 | 1,48 | |

2- À l'état compact :

Tableau III.5 : Masse volumique apparente du sable de Boussaâda à l'état compact

| N° d'essai | M ₁ (g) | M ₂ (g) | ρ_{app} (g/cm ³) | ρ_{moy} (g/cm ³) |
|------------|--------------------|--------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 01 | 115 | 1531 | 1,57 | 1,58 |
| 02 | 115 | 1548 | 1,59 | |
| 03 | 115 | 1541 | 1,58 | |

III.3.1.5 Teneur en eau NF P 18-555 :

L'essai de teneur en eau permet de déterminer quel est le pourcentage massique (W%) d'eau dans le sable étudié, c'est-à-dire quelle est la masse d'eau présente par rapport à 300 grammes de sable sec.

Les résultats obtenus :

Tableau III.6 : Teneur en eau du sable de Boussaâda

| N° d'essai | M _h (g) | M _s (g) | W(%) | W _{moy} (%) |
|------------|--------------------|--------------------|------|----------------------|
| 01 | 500 | 498 | 0.40 | 0.47 |
| 02 | 500 | 497 | 0.60 | |
| 03 | 500 | 498 | 0.40 | |

- M_h : Masse de sable humide.
- M_s : Masse de sable sec.
- W (%) : Teneur en eau

III.3.2 Les fillers :

III.3.2.1 Kaolin :

Analyse granulométrique :

L'analyse des échantillons de kaolin a été réalisée au laboratoire de la cimenterie Lafarge (cimenterie M'sila).



Figure III.7 : Granulométrie a laser de type MASTERSIZER 3000

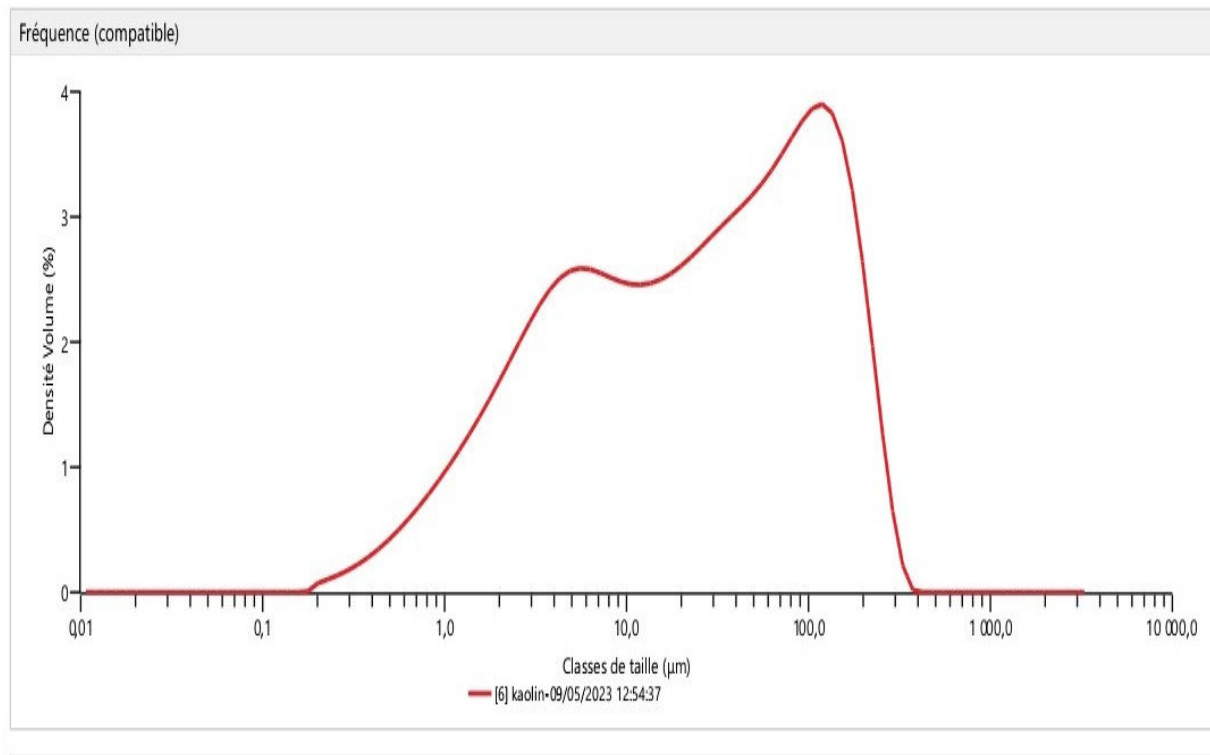


Figure III.8 : L'analyse granulométrique de Kaolin

❖ **Les analyses chimiques de Kaolin :**

La composition chimique de Kaolin présente plus de 70,84 % de silice et 17,70% d'alumine.

❖ **L'analyse minéralogique (DRX) :**

On a analysé la minéralogie de kaolin par diffraction des rayons X, La diffraction des rayons X est une technique d'analyse non destructive pour identifier la nature et le mode de cristallisation et déterminer quantitativement ou semi quantitativement les différentes formes cristallines présentes dans la matrice de solide. [62]

La composition minéralogique de Kaolin présente plus de 44.48 % de Quartz, 21.21% d'illite, 14% de Kaolinite.

III.3.2.2 Métakaolin :

Analyse granulométrique : (LafargeHolcim M'sila)

La figure III.9 présente l'analyse granulométrique de Métakaolin

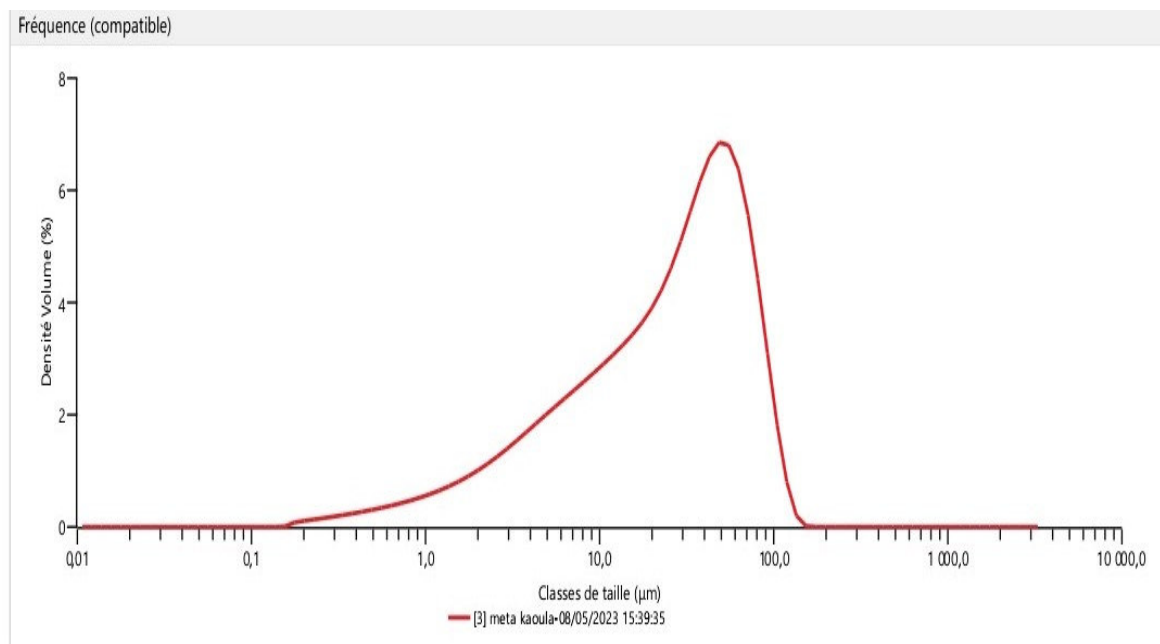


Figure III.9 : L'analyse granulométrique de Métakaolin

❖ Les analyses chimiques de Métakaolin :

La composition chimique de Métakaolin présente plus de 64,83 % de silice et 26,90% d'alumine.

❖ L'analyse minéralogique (DRX) :

La composition minéralogique de Métakaolin présente plus de 41.27 % de Quartz et 22.83% d'illite.

III.3.2.3 Céramique :

Analyse granulométrique : (LafargeHolcim M'sila)

La figure III.10 présente l'analyse granulométrique de céramique.

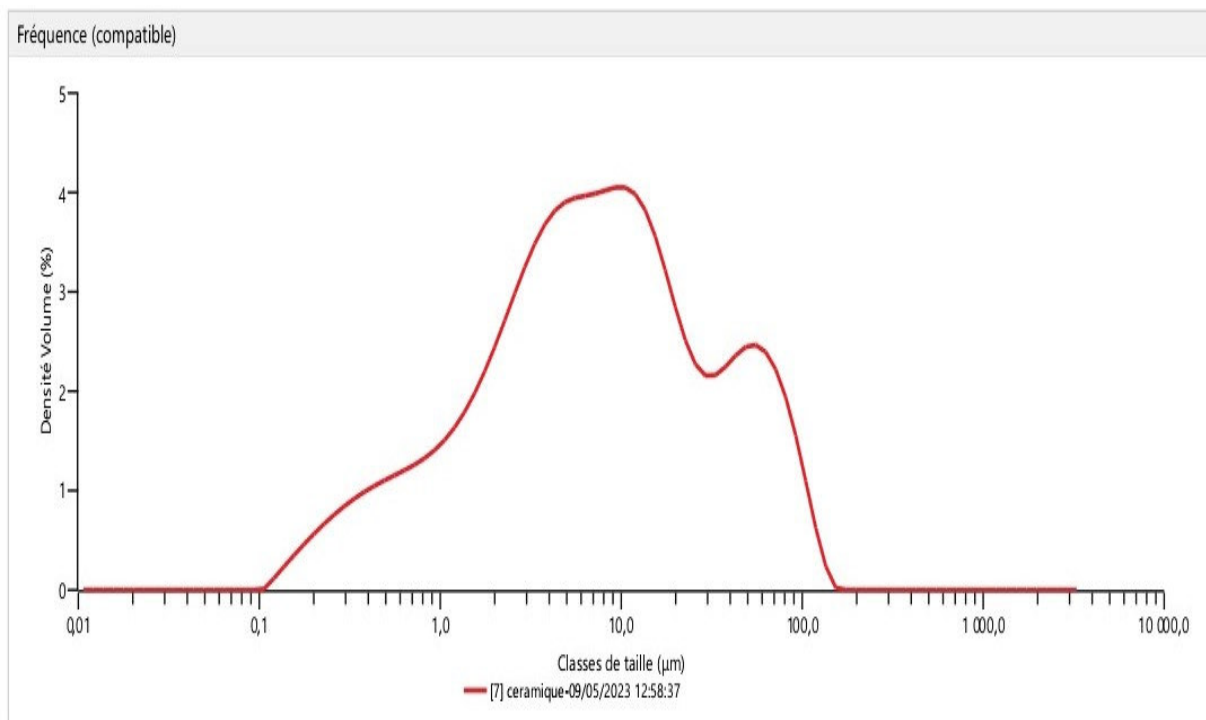


Figure III.10 : L'analyse granulométrique de céramique

La composition minéralogique de céramique présente plus de 42.46 % de Quartz

III.4 La formulation des différents mortiers :

❖ Mode opératoire :

La réalisation de nos formulations nous a conduit en premier lieu à connaître les proportions des constituants de chaque formulation.

- Pour le mortier de référence (témoin), on l'a formulé à l'aide de la composition suivante une gâchée pour trois éprouvettes doit être constituée de (450 ± 2) g de ciment, (1350 ± 2) g de sable ; 6.75 g d'adjuvant (super plastifiant), avec un rapport $E/C=0.50$ (225 ± 2 g d'eau).
- Pour les autres mortiers, on a remplacé le ciment par :
 - L'ajout de céramique (5% ;10% ;15% ;20%) ; [pourcentage massique].
 - Les deux ajouts (Métakaolin (10%) et céramique (5% ;10% ;15% ;20%)) ; [pourcentage massique].

Avant d'être utilisé pour l'identification de caractéristiques physiques et/ou mécaniques, ce mortier est malaxé pendant 4 minutes conformément aux prescriptions de la norme EN 196-1 : Introduire l'eau en premier dans la cuve du malaxeur ; y verser ensuite le ciment ; après, mettre le malaxeur en marche à vitesse lente. Après 30 s de malaxage introduire régulièrement le sable pendant les 30s suivantes. Mettre alors le malaxeur à sa vitesse rapide et continuer le malaxage pendant 30s supplémentaires. Arrêter le malaxeur pendant 1 min 30 s. Pendant les 15 premières secondes enlever au moyen d'une raclette tout le mortier adhérent aux parois et au fond du récipient en le repoussant vers le milieu de celui-ci. Reprendre ensuite le malaxage à grande vitesse pendant 60 s. [63]

❖ Dimensions des éprouvettes :

Les essais mécaniques ont été préparé des éprouvettes prismatiques de section carré de dimensions $(4 \times 4 \times 16)$ cm³ et des éprouvettes cubiques de dimensions $(5 \times 5 \times 5)$ cm³

❖ Conservation des éprouvettes :

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

❖ Proportions des constituants de chaque formulation :

Le tableau suivant mention les différentes formulations en substituant le ciment par le Métakaolin et la poudre de céramique.

Tableau III.9 : Les différentes formulations

| Formulation | Sable (g) | Superplastifiant (g) | Ciment (g) | Eau (g) | Métakaolin (g) | Poudre de céramique (g) | E/L |
|----------------|-----------|----------------------|------------|---------|----------------|-------------------------|------|
| Mt | 1350 | 6,75 | 450 | 220,55 | -- | -- | 0,49 |
| M1[5%C-10%MK] | 1350 | 6,75 | 282,5 | 236,25 | 45 | 22,5 | 0,52 |
| M2[10%C-10%MK] | 1350 | 6,75 | 360 | 231,75 | 45 | 45 | 0,51 |
| M3[15%C-10%MK] | 1350 | 6,75 | 337,5 | 226,45 | 45 | 67,5 | 0,50 |
| M4[20%C-10%MK] | 1350 | 6,75 | 225,1 | 226,2 | 45 | 90 | 0,50 |
| M5[5%C] | 1350 | 6,75 | 427,5 | 225,55 | -- | 22,5 | 0,50 |
| M6[10%C] | 1350 | 6,75 | 405 | 226,5 | -- | 45 | |
| M7[15%C] | 1350 | 6,75 | 382,5 | 230,2 | -- | 67,5 | 0,51 |
| M8[20%C] | 1350 | 6,75 | 360 | 239,2 | -- | 90 | 0,53 |

Nomination :

- C : Céramique
- MK : Métakaolin
- MT : Mortier témoin sans ajout cimentaire
- M1 : Mortier formulé avec 5%C +10MK
- M2 : Mortier formulé avec 10%C+10MK
- M3 : Mortier formulé avec 15%C+10MK
- M4 : Mortier formulé avec 20%C+10MK
- M5 : Mortier formulé avec 5%C
- M6 : Mortier formulé avec 10%C
- M7 : Mortier formulé avec 15%C
- M8 : Mortier formulé avec 20%C

III.5 Essais de prise :

❖ Objectif de l'essai :

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

✚ Principe de l'essai :

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

✚ Le phénomène de prise du ciment est lié à de nombreux paramètres tels : [53]

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

III.6 Caractérisation des différents mortiers à l'état frais :

✚ L'affaissement :

Est un essai réalisé sur le mortier de ciment frais peu fluide pour déterminer sa consistance. Le résultat d'affaissement = 3 sur le mortier utilisée (soit témoin ou avec Métakaolin et céramique).

III.7 Caractérisation des mortiers à l'état durci :

La masse volumique :

On a déterminé la masse volumique à l'état frais par la différence des pesées des moules vides et remplis sur le volume du moule.

$$\rho = (\text{Masse de mortier} / \text{Volume de moule})$$

Avec : volume du moule = $3(4 \times 4 \times 16) = 768 \text{ cm}^3$

Le tableau suivant présente les résultats de la masse volumique à l'état durci

Tableau III.10 : Les résultats de la masse volumique à l'état durci

| Code | Mt | M1 | M2 | M3 | M4 | M5 | M6 | M7 | M8 |
|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| La masse volumique (g/cm ³) | 1,93 | 2,05 | 1,93 | 1,93 | 1,99 | 2,02 | 2,04 | 2,00 | 2,01 |

III.8 Essais de la résistance mécaniques :

III.8.1 Essai de traction par flexion :

Les essais de traction par flexion trois points sont réalisés sur des éprouvettes prismatiques $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$ selon la norme NF EN 196-1. Cet essai est basé sur le placement des prismes dans le dispositif de flexion avec une face latérale de moulage sur les rouleaux d'appui et son axe longitudinal perpendiculaire à ceux-ci, une charge verticalement est appliquée sur la face latérale du prisme et l'augmenter de $50 \text{ N/s} \pm 10 \text{ N/s}$, jusqu'à la rupture de l'éprouvette.

Les demi-prismes doit être conservée jusqu'à moment des essais en compression, la résistance en flexion R_f (en Mpa).

Les mortiers d'étude ont été testés à l'âge de 7, 14 et 28 jours, les résistances de la flexion représentent la moyenne de trois éprouvettes.

III.8.2 Essai de compression :

Chaque demi-éprouvette est essayé en compression sur ces faces latérales de moulage, sous une section de 4 x 4 cm², entre deux plaques de métal dur d'au moins 10 mm d'épaisseur, de 40 mm + -0.1 mm de largeur, la demi-éprouvette est placée entre elle de manière que son extrémité intacte dépasse d'au moins 1cm et que les arrêtes longitudinaux d'éprouvettes soient perpendiculaires à celle des plaques. La résistance à la compression et calculer suivant la formule :

$$R_c = F_c / b^2$$

Avec :

R_c : Résistance à la compression en (MPa) ;

F_c : Charge de rupture en (N) ;

b² : Cote de l'éprouvette est égale à 40 mm.

Les mortiers d'étude ont été testés à l'âge de 7, 14 et 28 jours, les résistances de la compression représentent la moyenne de six éprouvettes.

III.8.3 Analyse par Ultrasons :

Ultrason c'est un essai non destructif très important qui nous permet de détecter à la fois plusieurs caractéristiques du béton durci, tels que : le degré de compacité, l'homogénéité, la résistance à la compression, le taux de fissuration, ...etc.

➤ Principe d'utilisation des ultrasons :

Cet essai non destructif permet de déterminer la vitesse de propagation d'ondes longitudinales (de compression) la quelle est d'autant plus élevée que le béton est plus dense donc plus résistant. Le principe de la méthode consiste à mesurer le temps mis par une onde à parcourir une distance connue. L'appareil comprend avec capteurs mis en contact avec le béton, un générateur d'ondes, un amplificateur, un circuit de mesure du temps et un affichage digital du temps mis par les ondes longitudinales pour traverser le béton entre les transducteurs, la vitesse d'onde, V , dans un milieu homogène, isotrope et élastique.

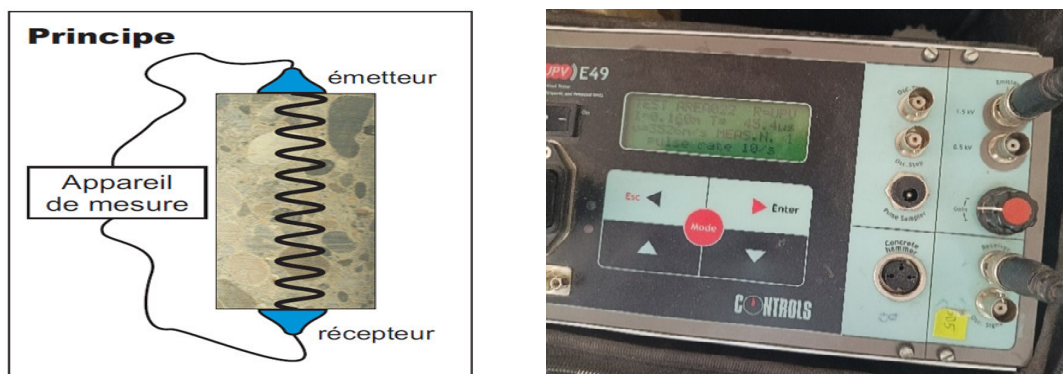


Figure III.11 : Schéma simplifié de la mesure de la vitesse de son

III.9 Les propriétés physiques :

III.9.1 Absorption d'eau :

❖ Mode opératoire de l'essai :

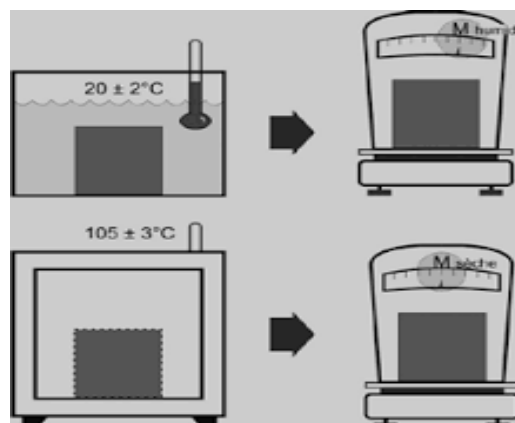


Figure III.12 : Essai d'absorption d'eau [54]

Les opérations sont effectuées dans l'ordre suivant :

- Immersion dans un bac à eau à 20 ± 2 °C durant un minimum de 48 h et jusqu'à masse humide constante ; avant la pesée, l'éprouvette est essuyée avec une peau de chamois humide de manière à la débarrasser de son eau superficielle ;

- Dessiccation durant un minimum de 72 h et jusqu'à masse sèche constante dans une étuve ventilée dont la température est maintenue à 105 ± 3 °C. La masse est considérée constante lorsque deux pesées successives à 24 h d'intervalle ne donnent pas une différence supérieure à 0,1 %.

L'absorption d'eau par immersion Abs est exprimée en pour-cent de la masse sèche et est calculée par la relation suivante :

$$\text{Abs} = (m_{\text{humide}} - m_{\text{sèche}}) / m_{\text{sèche}} \times 100$$

Avec :

- m_{humide} , la masse humide constante de l'éprouvette après immersion ;
- $m_{\text{sèche}}$, la masse sèche constante de l'éprouvette après séchage à l'étuve.

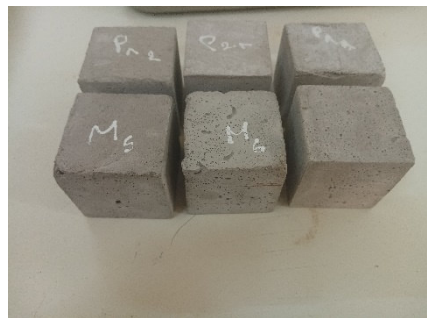


Figure III.13 : Les éprouvettes cubiques

III.9.2 La porosité :

Les pores ont un rôle important pour estimer la qualité du mortier. Nous faisons donc cette essai pour déterminer pourcentage de volume des pores contenus dans l'éprouvette, afin de connaître l'influence de la structure interne du mortier sur l'interconnexion des pores

Pour évaluer la porosité, nous allons poursuivre les étapes suivantes (loi d'ASTEM C642) :

$$V_p = [(C-A) / (C-D)].100 \%$$

Avec :

V_p : volume des vides (%) ;

A : poids de l'échantillon après étuvage (g) ;

C : poids à l'air après immersion et ébullition (g) ;

D : poids à l'eau après immersion et ébullition (g) ;

III.10 Conclusion :

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

Chapitre IV
Résultats et
interprétations

IV.1 Introduction :

Dans ce chapitre nous présentons les résultats expérimentaux des essais réalisés ainsi que leurs interprétations.

IV.2 Présentation des résultats :

IV.2.1 Temps de prise :

Tableau IV.1 : Début de prise (min) et fin de prise (min)

| Type de mortier | Mt | M1 | M2 | M3 | M4 | M5 | M6 | M7 | M8 |
|----------------------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Début de prise (min) | 65 | 85 | 105 | 160 | 120 | 140 | 105 | 165 | 190 |
| Fin de prise (min) | 92 | 150 | 170 | 230 | 290 | 280 | 190 | 210 | 305 |

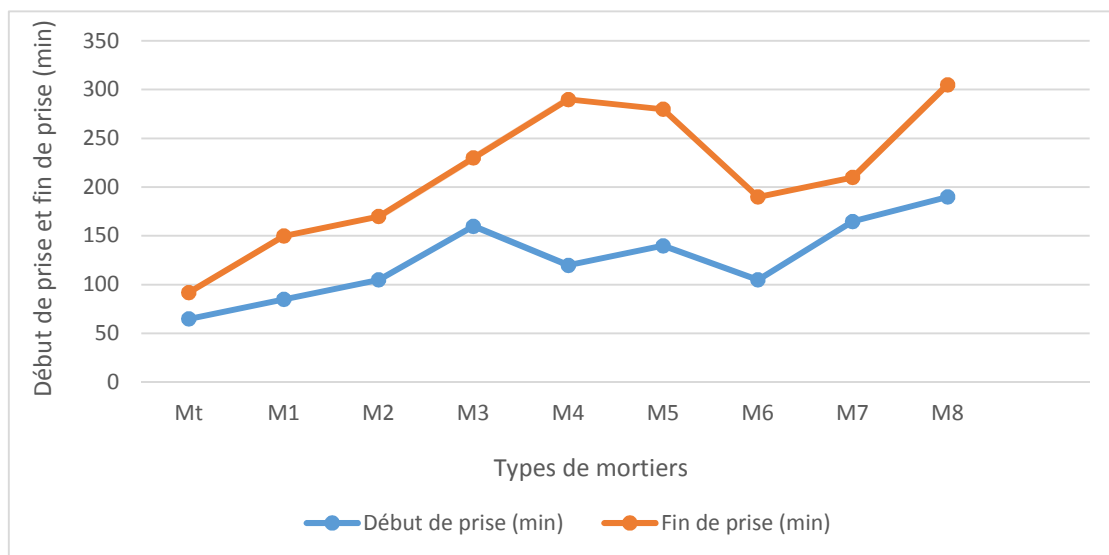


Figure IV.1 Début de prise (min) et fin de prise (min).

IV.2.2 Analyse par Ultrasons :

Le tableau suivant présente les résultats obtenus :

Tableau VI.2 : Résultats d'ultrason de mortier

| Type de mortier | 14 Jour | | 28 Jour | |
|-----------------|---------|-------|---------|-------|
| | Vitesse | temps | Vitesse | temps |
| Mt | 3701 | 43,3 | 3361 | 47,8 |
| M1 | 3280 | 51,6 | 3408 | 47,1 |
| M2 | 3361 | 47,6 | 3566 | 44,9 |
| M3 | 3317 | 48,3 | 3378 | 47,4 |
| M4 | 3387 | 47,3 | 3334 | 48,6 |
| M5 | 3356 | 47,2 | 3491 | 45,9 |
| M6 | 3385 | 47,6 | 3596 | 44,8 |
| M7 | 2768 | 60,6 | 3376 | 47,5 |
| M8 | 3210 | 49,9 | 3446 | 46,4 |

IV.2.3 Résistance à la compression :

Les résultats de l'essai de compression réalisé sur des éprouvettes de mortier à base de Métakaolin et céramique à l'âge de 7,14 et 28 jours de durcissement, sont présentés respectivement par les figures suivantes :

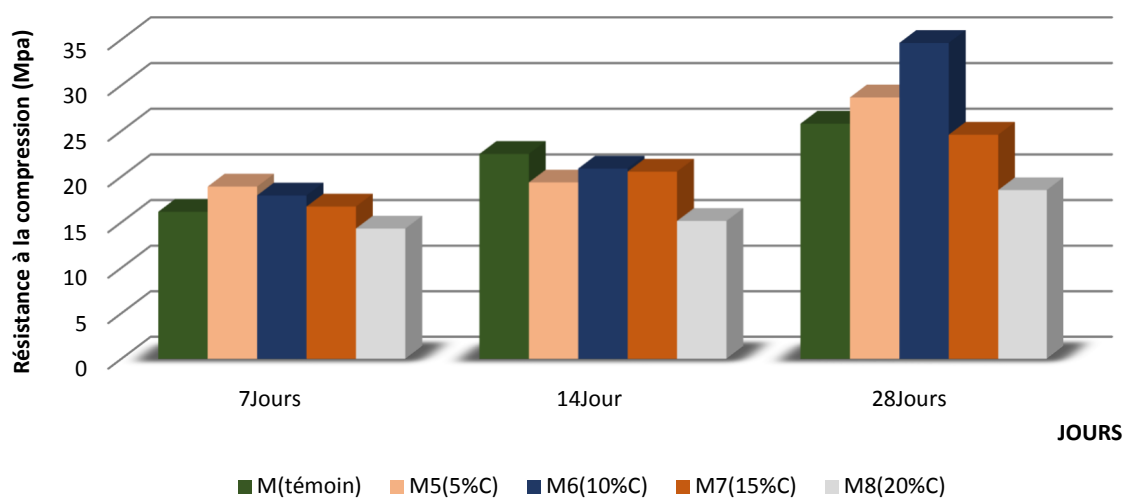


Figure IV.2 : La variation de la résistance à la compression (MPa) en fonction du pourcentage de déchets de céramique au cours du temps.

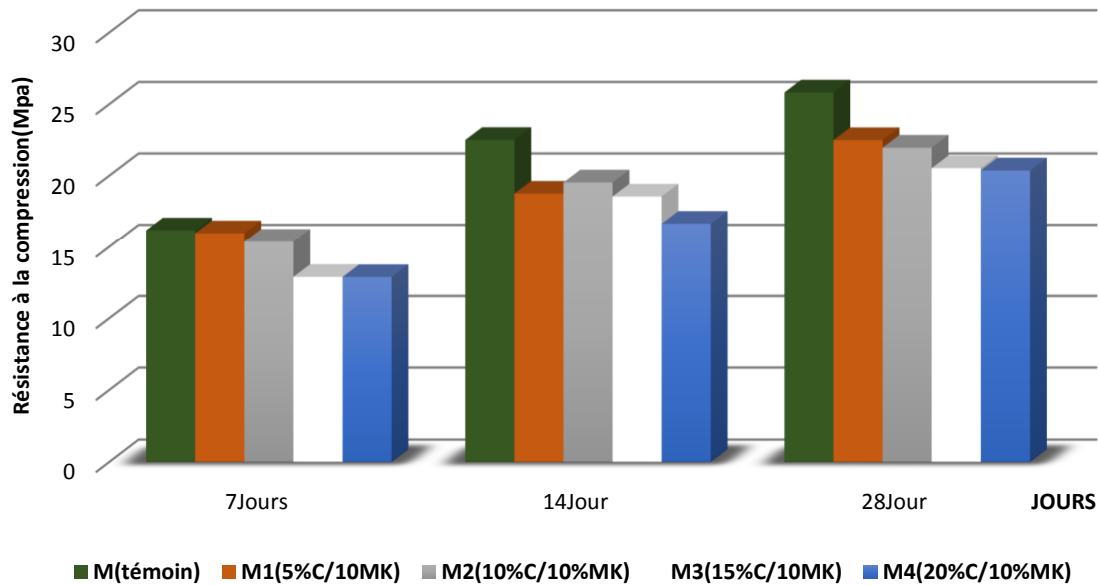


Figure IV.3 : La variation de la résistance à la compression (MPa) en fonction du pourcentage de Métakaolin et déchets de céramiques au cours du temps.

IV.2.4 Résistance à la flexion par traction :

Les résultats d’essais de résistance à la flexion réalisés sur des éprouvettes de mortier à base de Métakaolin et céramique à l’âge de 7 ,14 et 28 jours de durcissement, sont présentés respectivement dans les figures suivantes :

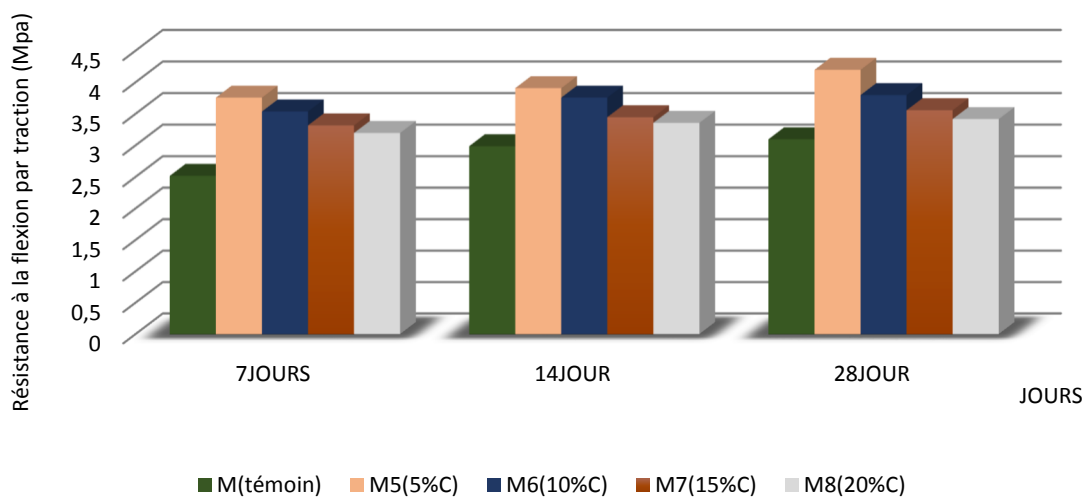


Figure IV.4 : La variation de la résistance à la flexion par traction (MPa) en fonction du pourcentage de déchet de céramiques au cours du temps.

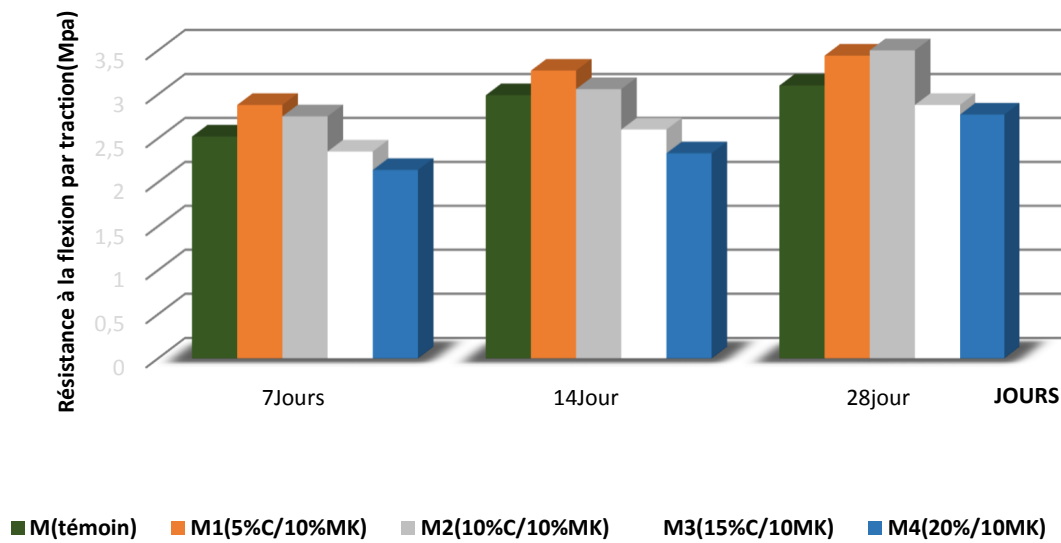


Figure IV.5 : La variation de la résistance à la flexion par traction (MPa) en fonction du pourcentage de Métakaolin et de déchets de céramiques au cours du temps.

IV.2.5 La porosité et l'absorption d'eau :

Les résultats des essais d'absorption d'eau et la porosité effectués sur les différents types des mortiers sont enregistrés dans le graphique suivante :

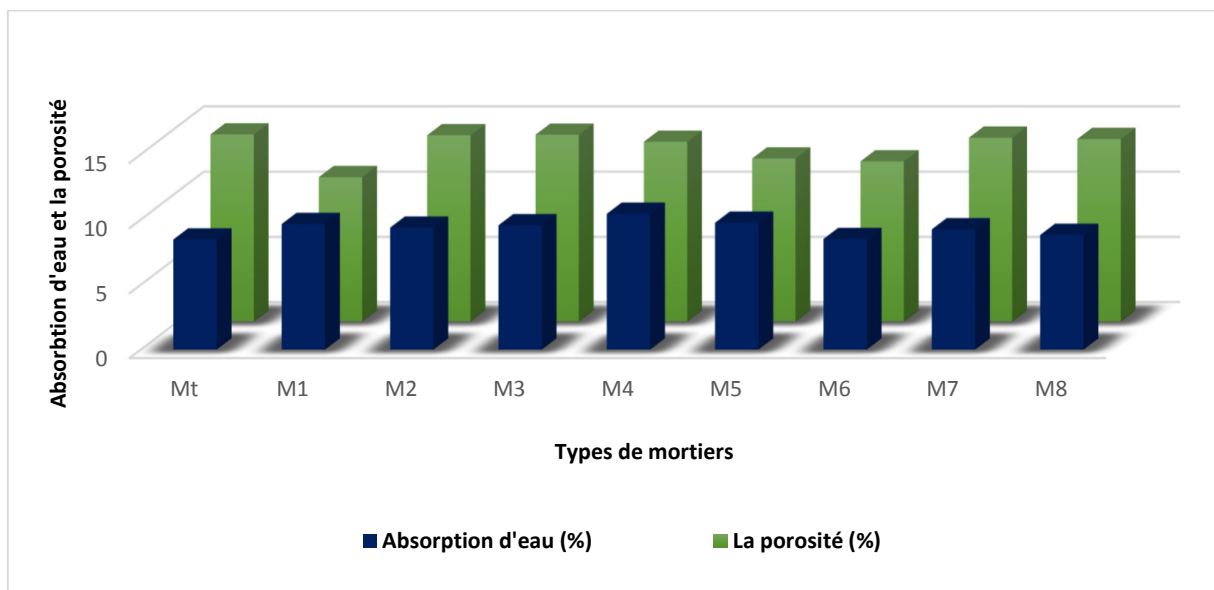


Figure IV.6 : Absorption d'eau et la porosité des mortiers étudiés

IV.3 L'interprétation des résultats :

IV.3.1 La résistance mécanique à la compression et à la flexion par traction :

On remarque que la bonne résistance est donnée pour l'incorporation de (10%) Métakaolin et (5%) de céramique dans le mortier. Et on a observé que la résistance à la compression diminue avec l'augmentation de substitution de céramique sur les Figures de IV.2 et IV.3 .

On observe que la résistance à la flexion par traction donne de bons résultats pour toutes les formulations et la valeur maximale de résistance est donnée pour l'incorporation de (10%) Métakaolin et (5%) de céramique dans le mortier et (5%) de céramique dans le mortier de déchets de céramique comme le montre les figures de IV.4 et IV.5.

IV.3.2 Effet du temps de prise :

D'après les résultats de la figure (IV.1 - IV.2 et IV.3), on constate que la résistance à la compression augmente avec la réduction de temps de début et fin de prise.

En plus on constate que la différence entre le début et la fin de prise reste constat en fonction de l'augmentation de substitution de céramique. [64], [65], [66]

IV.3.3 Effet de la porosité et l'absorption d'eau :

D'après les résultats de la figure (IV.6) l'incorporation de déchets de céramique (5%) et (10%) de Métakaolin diminue le coefficient de porosité et également l'absorption d'eau par rapport au mortier témoin ; alors que la résistance à la compression augmente.

IV.4 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté les résultats des travaux expérimentaux sur les mortiers formulés du point de vue :

- Caractéristiques mécaniques en compression et en flexion par traction, et analyse par ultrasons
- Absorption d'eau et la porosité
- Effet du temps de prise
- Des interprétations sur ces résultats

Conclusion générale

CONCLUSION GÉNÉRALE

Le but principal de cette étude est de combiner les effets positifs de l'utilisation de fillers dans le ciment d'une part et d'une autre part pour l'obtention de mortiers de haute performance mécanique et de bonne durabilité.

On a essayé par ce travail de voir l'effet des déchets de céramique, et du Métakaolin sur les caractéristiques des mortiers.

Les matériaux utilisés sont tous locaux, et les essais ont tous été fait au laboratoire selon les normes. Les résultats obtenus sont globalement positifs.

Les résultats obtenus à travers des essais de caractérisation effectués nous ont conduits aux informations suivantes :

- Le Métakaolin et les déchets de céramique ont un effet positif sur les propriétés des mortiers, plus précisément la résistance mécanique et le délai de prise ;

La bonne résistance est donnée pour l'incorporation de (10%) Métakaolin et (5%) de céramique dans le mortier.

- La porosité s'est nettement amélioré pour les deux additions ; l'incorporation de déchets de céramique (5%) et (10%) de Métakaolin diminue le coefficient de porosité et également l'absorption d'eau par rapport au mortier témoin ; alors que la résistance à la compression augmente.

- Le Métakaolin et céramique ont donné les meilleurs résultats concernant la résistance à la flexion par traction et la résistance à la compression et cela pour un taux de 10% Métakaolin et 5% de déchet de céramique. On a remarqué que plus le pourcentage de céramique augmente, plus la résistance diminue.

Finalement, on peut conclure à l'issue de cette étude que l'introduction des déchets de céramique et Métakaolin donne des résultats acceptables pour les propriétés de mortier à l'état frais et à l'état durci, donc l'obtention de mortiers équivalents et économiques ceci afin de concrétiser des objectifs environnement pour l'économie du clinker et la limitation d'émissions CO₂.

Références

Bibliographiques

- [1] **BABA ALI, Mahboub, SETTARI, Chafika, et al.** Activation physico-chimique de poudre de céramique : utilisation dans le mortier de ciment. 2020.
- [2] **DJEGHAM, Somia, SEHNOUNE, Chahra, et al.** L'effet Combiné de L'incorporation des Déchets industriels et du mode de Conservation dans la formulation des Mortiers. 2021. Mémoire de Master. Université de M'sila.
- [3] **HARBI, Radhia.** Propriétés physico-mécaniques et durabilité des Mortiers avec additions minérales. 2018. Thèse de Doctorat.
- [4] **RABEHI, Bahia.** Evaluation des propriétés réfractaires et cimentaires du kaolin de Djebel Debbagh .2013. Thèse de Doctorat Université de Boumerdes - M'hamed Bougara|.
- [5] **KHALED , BOUALI .** Elaboration et caractérisation thermomécanique des mortiers à base d'ajouts de déchets de briques réfractaires. 2015. Thèse de Doctorat. Boumerdes.
- [6] <https://www.toutsurlebeton.fr/le-ba-ba-du-beton/les-mortiers-types-applications-dosages/>
- [7] **Baali Laid,** Cours de MDC, Licence, Université de M'sila
- [8] **SYLVER.P,** « science des matériaux ». Université pierre et marie curie 2005 -2006
- [9] **GCI712** « Durabilité et réparation du béton », département Génie civil, Université de Sherbrooke-Canada, Avril, 2009.
- [10] **GC1712,** « Durabilité ET réparation du béton ». Département Génie civil, Université de Sherbrooke-Canada, Avril 2009
- [11] <https://www.systemed.fr/conseils-bricolage/maconnerie-materiaux-produitsmelanges-et-proportions,6087.html>
- [12] **TAGNIT- HAMOU, A.** Microstructure et physico-chimie des ciments et des bétons. Université de Sherbrooke, Québec, 1995.
- [13] **SOUMIA, Samai.** Formulation d'un mortier avec ajout de pouzzolane naturelle soumis à

températures élevées.2016. Mémoire de Master. UNIVERSITE DE MOHAMED BOUDIAF M'SILA FACULTE DE TECHNOLOGIE.

[14] **Imene A.** Recyclage des déchets : L'Algérie sollicite l'expérience italienne. Journal ALGERIE-ECO.2017.

[15] **T.Ali.Boucetta**, « contribution du laitier granulé et de la poudre de verre sur les propriétés d'écoulement et de durabilité des bétons autoplaçants et de hautes performances », thèse de doctorat, Université Badji Mokhtar Annaba, Algérie, 2014.

[16] **NF EN 206-1** : Béton – Partie 1 : Spécification, performances, production et conformité. AFNOR, Avril 2004.

[17] **M VENUAT**. La pratique des ciments, mortiers et bétons-Tome 1 : « caractéristiques des liants et des bétons, mise en œuvre des coulis et mortiers » - édition2-Collection moniteur.1989

[18] **TEBBAI, Nadia**. Effet de la nature des granulats sur les propriétés physico-mécaniques et durabilité d'un béton à haute performance.2017. Thèse de Doctorat. Université de M'sila.

[19] **DREUX, Georges et FESTA, Jean**. Nouveau Guide du Béton et de ses Constituants. Eyrolles, 1998.

[20] **ZEGHICHI, Leila**. Etude des betons basiques a base des differents granulats 2006. Université Mohamed Khider Biskra.

[21] **NF P 15-301** : Liants hydrauliques – Ciments courants – Composition, spécifications et critères de conformité. AFNOR, Juin 1994

[22] **Chen P.Y, Lin M.L, Zheng Z**, " On the origin of the name kaolin and kaolin deposits of the Kauling and Dazhou areas", Kiangsi, China, Applied Clay Science, Vol. 12, 1997, p125.

[23] **TIRONI, Alejendra, TREZZA, M. A, IRASSAR, E. F, et al**. Thermal treatment of kaolin : effect on the pozzolanic activity. Procedia Materials Science, 2012, vol.1, p 343-350.

[24] **ABDELLI, Kamal, TAHLAITI, Mahfoud, BELARBI, Rafik, et al**. Influence of the origin of metakaolin on pozzolanic reactivity of mortars. Energy Procedia, 2017, vol .139, p : 230-235.

[25] **ASTM C618** : Standard specification for coal, fly ash and raw or calcined natural pozzolan for use as a mineral admixture in concrete. ASTM, 1999.

[26] **WALKER, ROSANNE et PAVIA, S.A.R.A**. Physical properties and reactivity of pozzolans, and their influence on the properties of lime-pozzolan pastes, Materials and Structure ,2011, vol. 44, p. 1139- 1150

[27] **TEBBAI,Nadia et RAHMOUNI, Zine El Abidine** . Rheological and Mechanical Behavior of Mortars with Metakaolin Formulation. Procedia Computer Science, 2019,

vol.158, p 45-50.

[28] **LIU, J.N, SILSBEE, M.R, et ROY, D.M.** Strength and hydration of an activated aluminosilicate material. Pennsylvania. State University, USA, 1998.

[29] **Minh T. Q.** (2012), Utilisation du Métakaolin par substitution partielle du ciment dans les applications géotechniques d'injection et de scellement d'ancrage. Thèse de doctorat, Université de Toulouse 3 Paul Sabatier (UT3 Paul Sabatier).

[30] **Siddique, R., Klaus, J.** (2009), Influence of metakaolin on the properties of mortar and concrete : A review, Applied Clay Science, 43, p. 392 – 400.

[31] **Hollanders, S., Adriaens, R., Skibsted, J., Cizer, Ö., Elsen, J.** (2016), Pozzolanic reactivity of pure calcined clays, Applied Clay Science.

[32] **Cyr, M., Escadeillas, G.** (2011), Normalisation du Métakaolin : pourquoi, comment ? XXIXe Rencontres Universitaires de Génie Civil. Tlemcen, 29 – 30 mai 2011, p. 138-147.

[33] **P.Cachim,A.Velosa, F.Rocha** (2010) "Effect of Portuguese metakaolin on hydraulic lime concrete using curing conditions". Construction and Building Materials 24 : 71-8

[34] **Murat, M, & Bachiorrini, A.** (1982). Corrélation entre l'état d'amorphisation et l'hydraulicité du Métakaolin), Bulletin de Minéralogie, 105(5), 543-555

[35] **NAKAHIRA, M et BRINDLEY, W. G.** The kaolinite-mullite reaction series : I, a survey of outstanding problems. J. Am. Ceram. Soc, 1959, vol. 42, p311-324.

[36] **NF P 18-513** : Métakaolin, addition pouzzolanique pour béton : Définitions, spécifications et critères de conformité. AFNOR, 2010.

[37] **SIDDIQUE, Rafat et KHAN, Mohammed Iqbal.** Supplementary Cementing Materials, Springer science & Business Media, 2011.

[38] **TAFRAOUI, A.** (2009), Contribution à la valorisation du sable de dune de l'erg occidental (Algérie). Application aux nouveaux bétons. Thèse de doctorat. INSA de Toulouse.

[39] **CABRERA Josef et ROJAS, Moisés Frias.** Mechanism of hydration of metakaolin-lime-water system". Cement and Concrete Research, 2001, Vol .31, no 2, p.177-182.

[40] **ROJAS M.F., CABRERA J.** Influence of MK on the reaction kinetics in MK/lime and water blended cement systems at 20°C. Cement and Concrete Research,2001, Vol.31(4) p.519-527.

[41] **LIMA Souza P.S., DAL MOLIN D.C.C.** "Viability of using calcined clays, from industrial by-products, as pozzolans of high reactivity". Cement and Concrete Research , 2005, Vol. 35, p.1993-1998.

[42] **ANDRIOLO F.R., SGARABOZA B.C., (1985).** Proceedings of the 7th International Conference of AAR,Ed. Grattan-Bellow, p. 66-70.

[43] **BOUZIDI. N Née BOUZIDI**, « Techniques de tri des déchets ». Polycopié de Cours, Université de Abderrahmane Mira de Béjaia.

[44] **T.Ali.BOUCKETTA** . Contribution du laitier granulé et de la poudre de verre sur les propriétés d'écoulement et de durabilité des bétons autoplaçants et de hautes performances. Thèse de doctorat, Université Badji Mokhtar Annaba, Algérie, 2014.

[45] **LEVIN, Igor et BRANDON, David**. Metastable Alumina Polymorphs : Crystal Structures and Transition Séquences. Journal of the American Ceramic Society, 1998, vol .81, no 8, p.1995-2012.

[46] **DEBIEB F**. Performances et durabilité du béton à base de granulats recyclés contaminés par les chlorures et sulfates. Thèse PhD, Département génie civil, Université Houari Boumediene Algies ;2 13.W. Kingery, « Introduction to ceramics », John Wiley and Sons éd, New York, 1960.007.

[47] **KOURAT Djedjiga**. Modélisation de la rupture diélectrique dans les céramiques à haute teneur en alumine soumises à des contraintes électriques. Mémoire de magister université de Tizi-Ouzou, 2012.

[48] **M. DUPEUX, Aide**. Mémoire - Science et génie des matériaux - 4e éd. Dunod, 2018.

[49] <https://www.sceram.com/materiaux>

[50] **SAFI BRAHIM**. Procédés et mise en forme des matériaux : Les produits céramiques. Université de Boumerdes.

[51] <http://www.univ-setif.dz/facultes/ft/externe/departements/gc/Chapitre-II>
Produits-ceramiques.pdf

[52] **A. Komar**, « Matériaux et Elément de Construction ». Edition MIR 1978.

[53] **ZEYNEB, Bitar**. Influence de la surface spécifique des ciments aux ajouts minéraux (calcaire) sur le comportement mécanique du mortier. 2016. Thèse de doctorat. UNIVERSITE DE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA FACULTE DE TECHNOLOGIE.

[54] <https://www.febelcem.be/fr/puplications/dossiers-ciment-2008/durabilite-des-betons-par-la-maitrise-de-labsorption-deau-t2/>

[55] **Belouadah, M., Rahmouni, Z. E. A., & Tebbal, N. (2019)**. Influence of the addition of glass powder and marble powder on the physical and mechanical behavior of composite cement. Procedia Computer Science, 158, 366-375.

[56] **Belouadah, M., Rahmouni, Z. E. A., & Tebbal, N. (2019)**. Experimental characterization of ordinary concretes obtained by adding construction waste (glass, marble). Procedia Computer Science, 158, 153-162.

[57] **Tebbal, N., & Rahmouni, Z. E. A. (2016)**. Influence of local sand on the

physicomechanical compoment and durability of high performance concrete. *Advances in Civil Engineering*, 2016.

[58] Tebbal, N., Rahmouni, Z., & Belagraa, L. (2016). Combined effect of granulated slag and silica fume on the characteristics of high performance concrete. *International Review of Civil Engineering (IRECE)*, 7(2), 41-49.

[59] Tebbal, N., & Rahmouni, Z. E. A. (2019). Rheological and mechanical behavior of mortars with metakaolin formulation. *Procedia Computer Science*, 158, 45-50.

[60] TEBBAL, N., & RAHMOUNI, Z. E. A. (2019). Recycling of brick waste for geopolymer mortar using full factorial design approach. *The Eurasia Proceedings of Science Technology Engineering and Mathematics*, 7, 44-47.

[61] Belouadah, M., Rahmouni, Z. E., Tebbal, N., & Hicham, M. E. H. (2021, October). Evaluation of concretes made with marble waste using destructive and non-destructive testing. In *Annales de Chimie-Science des Matériaux* (Vol. 45, No. 5, pp. 361-368).

[62] Maza, M., Tebbal, N., Zitouni, S., & Rahmouni, Z. E. A. (2021, December). Combined effect of marble waste as powder and aggregate form on the proprieties of the mortar. In *Annales de Chimie-Science des Matériaux* (Vol. 45, No. 6, pp. 467-476).

[63] Zitouni, S., Maza, M., Tebbal, N., & El Abidine Rahmouni, Z. (2022, February). Impact of Rolled and Crushed Aggregate with Natural Pozzolan on the Behavior of HPC. In *Annales de Chimie Science des Materiaux* (Vol. 46, No. 1).

[64] Rahmouni, Z., Belouadah, M., & Tebbal, N. (2012). Influence des additions minérales sur les propriétés à l'état durci des bétons ordinaires à base de matériaux locaux. XXXe Rencontres AUGC-IBPSA Chambéry, Savoie.

[65] Tebbal, N., Rahmouni, Z., & Belouadah, M. (2012, November). Valorisation du filler de marbre dans la formulation d'un béton à haute performance. In *Colloque NoMaD-19* et 20 novembre 2012. Toulouse.

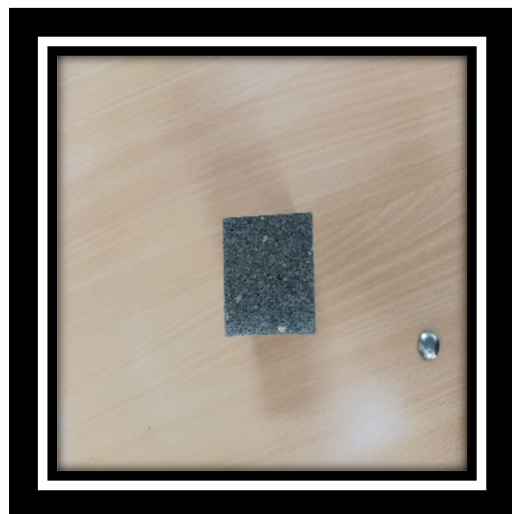
[66] Rahmouni, Z. E. A., Maza, M., Tebbal, N., & Belouadah, M. (2023). On the Combination of Silica Fume and Ceramic Waste for the Sustainable Production of Mortar. *FDMP-Fluid Dynamics & Materials Processing*, 19(5), 1083-1090.

Annexes

Mortier [10% Métakaolin – 5% Céramique]



Mortier [5% Céramique]



MEDAPLAST SP 40

Conforme à la norme EN 934-2 Tab 1, 3.1 et 3.2 NA 774

Superplastifiant - haut réducteur d'eau

DESCRIPTION

Le **MEDAPLAST SP 40** est un superplastifiant haut réducteur d'eau permettant d'obtenir des bétons et mortiers de très haute qualité.

En plus de sa fonction principale de superplastifiant, il permet de diminuer considérablement la teneur en eau du béton.

DOMAINES D'APPLICATION

- Bétons à hautes performances
- Bétons pompés
- Bétons précontraints
- Bétons architecturaux
- Bétons extrudés
- Bétons BCR

PROPRIÉTÉS

Grâce à ses propriétés le **MEDAPLAST SP 40** permet :

Sur béton frais :

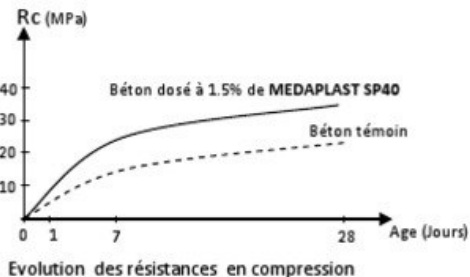
- Améliorer la fluidité
- Augmenter la maniabilité
- Réduire l'eau de gâchage
- Éviter la ségrégation
- faciliter la mise en œuvre du béton

Sur béton durci :

- Augmenter les résistances mécaniques même à jeune âge
- Diminuer la porosité
- Augmenter la durabilité
- Diminuer le retrait

CARACTÉRISTIQUES

- Aspect Liquide
- Couleur Marron
- pH 8,2
- Densité $1,20 \pm 0,01$
- Teneur en chlore $< 1\text{g/L}$
- Extrait sec 40%



MODE D'EMPLOI

Le **MEDAPLAST SP 40** est introduit dans l'eau de gâchage.

Il est recommandé d'ajouter l'adjuvant dans le béton après que 50 à 70% de l'eau de gâchage ait été introduite.

DOSAGE

Plage de dosage recommandée :

0,6% à 2,5% du poids de ciment soit 0,5L à 2L pour 100 kg de ciment

Le dosage optimal doit être déterminé sur chantier en fonction du type de béton et des effets recherchés.

CONDITIONNEMENT ET STOCKAGE

Le **MEDAPLAST SP 40** est conditionné en bidons de 12Kg, fûts de 270 kg et cubitenaire de 1200 kg.

Délai de conservation :

Une année dans son emballage d'origine, à l'abri du gel et de la chaleur ($5^{\circ}\text{C} < t < 35^{\circ}\text{C}$).

PRÉCAUTIONS D'EMPLOI

Manipulation non dangereuse.

Se référer à la Fiche de Données de Sécurité disponible sur : www.granitex-dz.com

PV d'essais conforme aux normes, établi par le **CNERIB** en Janvier 2007.

Les renseignements donnés dans cette notice sont basés sur notre connaissance et notre expérience à ce jour. Il est recommandé de procéder à des essais de convenance pour déterminer la fourchette d'utilisation tenant compte des conditions réelles de chantier.



Zone Industrielle Oued Smar – BP85 Oued Smar – 16270 Alger

Tél: (213) 021 51 66 81 & 82

Fax: (213) 021 51 64 22 & 021 51 65 23

www.granitex.dz - E-mail: granitex@granitex.dz



COMPOSITION

| Clinker | Ajout calcaire | Canstituant secondaire |
|-------------|----------------------------|------------------------|
| (80 à 94) % | Catégorie A (06 à 20) % | (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 l a 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 (SO ₃) | Teneur en chlorures (Cl) |
|---------------------------------------|--------------------------|
| ≤4.0 % | ≤0.10 % |

PACKAGING

Sacs 50 kg / Disponible en sac & Vrac

La fiche technique de ciment GICA