



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي



Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة غرداية

N°d'enregistrement

Université de Ghardaïa

/...../...../...../.....

كلية العلوم والتكنولوجيا

Faculté des Sciences et de la Technologie

قسم الري والهندسة المدنية

Département Hydraulique et Génie Civile

Mémoire

Pour l'obtention du diplôme de Master

Domaine : ST

Filière : Génie Civil

Spécialité : Structures

Thème :

Propriétés fraîche et durcie et durabilité de mortier
auto-plaçant produit avec de poudre de céramique
comme substituant du ciment

Déposé le : 03/09/2023

Par :

AOUF Idris & CHERIET IDRIS

Évalué Par le jury composé de :

AZZOUZ Fatima Zohra

MAA

Univ Ghardaïa

Président

DEHANE Sarra

MAA

Univ Ghardaïa

Examinatrice

SALHI Aimad

MAA

Univ Ghardaïa

Encadreur

Année universitaire : 2022/2023

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ





Dédicace

Nous dédions ce modeste travail:

À celles et ceux qui ont veillé toujours sur nous. À nos

chères mères, et À nos très chers pères,

À toutes nos familles, nos frères, nos sœurs,

et à tous nos amis

À l'ensemble des enseignants du département de

Génie Civil de l'Université de Ghardaïa

REMERCIEMENTS

Nous voudrions d'abord remercier Dieu, le Très Miséricordieux, qui nous a mis sur le droit chemin et qui nous a donné force et patience pour accomplir cette humble œuvre. Nous profitons de cette occasion pour remercier chaleureusement le Professeur SALHI IMAD, enseignant à l'Université de GHARDAIA, pour son dévouement, nous lui exprimons notre gratitude et pour toute l'aide qu'il nous a apportée dans la réalisation de ce travail. Nous tenons à remercier Mr Djekaoua qui a un grand crédit pour le succès de ce travail et ma gratitude pour son accueil chaleureux, son soutien, ses conseils et ses observations importantes qui nous ont permis de mener à bien ce travail. Nous adressons également nos sincères remerciements à tous les travailleurs du Laboratoire des Travaux publics de Ghardaïa (LTPS), ceux qui nous ont soutenus et nous ont donné des conseils et des orientations dans nos recherches. Les travailleurs du LTPS sont des hommes de terrain avec leur grande expérience et leur humilité avec nous.

Enfin, merci à tous.

ملخص:

تتميز الخرسانة والملاط ذاتي الرص بسيولتها الكبيرة، حيث يتم تنفيذها دون الحاجة إلى هزاز، كما أنها تتميز باحتوائها على نسبة عالية من الإضافات المعدنية التي تؤثر بشكل كبير على مرونتها.

الهدف الرئيسي من هذا العمل هو دراسة تأثير مسحوق السيراميك على الخصائص السائلة والصلبة والمتانة للملاط ذاتي الرص. وذلك باستبدال كميات الأسمنت بالنسب التالية: 5%، 10%، 15%، 20%.

أظهرت النتائج المتحصل عليها أن استبدال الاسمنت بمسحوق السيراميك أدى إلى تحسن في الخواص الميكانيكية وديمومة الملاط ذاتي الوضع، وأن نسبة الاستبدال 5% أعطت أفضل النتائج.

الكلمات المفتاحية: الملاط ذاتي الضبط، مسحوق السيراميك، الاسمنت، الخواص الميكانيكية، الديمومة.

Resumé :

Les bétons et mortiers autoplaçants se caractérisent par leur grande fluidité, car ils s'effectuent sans qu'il soit nécessaire du vibreur, et ils se caractérisent également par le fait qu'ils contiennent un pourcentage élevé d'additifs minéraux qui affectent grandement leurs propriétés à l'état frais et durci. L'objectif principal de ce travail est d'étudier l'effet de la poudre céramique sur les propriétés à l'état frais et durci ainsi sur la durabilité du mortier auto-plaçant. Dans cette étude on a procédé à la substitution partiellement du ciment par les pourcentages suivants de la poudre céramique : 5%, 10%, 15%, 20%.

Les résultats obtenus ont montré que la substitution du ciment par de la poudre céramique entraînait une amélioration des propriétés mécaniques et de durabilité du mortier autoposant, et que le taux de remplacement de 5% donnait les meilleurs résultats.

Mots clés : mortier autoposant, céramique, ciment, résistance mécanique, durabilité.

Abstract:

Self-compacting concretes and mortars are characterized by their great fluidity, since they are carried out without the need for a vibrator, and they are also characterized by the fact that they contain a high percentage of mineral additives which greatly affect their properties in the elastic state.

The main objective of this work is to study the effect of ceramic powder on the liquid, solid and durability properties of self-compacting mortar. By substituting the quantities of cement with the following percentages: 5%, 10%, 15%, 20%.

The results obtained showed that the substitution of cement with ceramic powder led to an improvement in the mechanical properties and durability of the self-compacting mortar, and that the replacement rate of 5% gave the best results.

Key words: self-compacting mortar, ceramic powder, cement, durability.

Sommaire

Remerciements	I
ملخص	II
Résumé	III
Abstract	IV
Liste des matières	V
Liste des figures	VI
Liste des tableaux	VII
INTRODUCTION GÉNÉRAE	01
Chapitre I : Ciment et Mortier auto-plaçant	
I.1 Ciment	02
I.1.1 Introduction :	02
I.1.2 Principe de fabrication de ciment Portland	02
I.1.3 Constituants du ciment	03
I.1.4 Classification des ciments	03
I.2 Mortiers	04
I.2.1 Définition	04
I.2.2 Constituants des mortiers	05
I.2.3 Différents types de mortiers	06
I.2.4 Classification des mortiers	07
I.2.5 Caractéristiques principales des mortiers	08
I.3 Mortiers auto-plaçant MAP	08
I.3.1 Définition	08
I.3.2 Méthode de formulation MAP (Okamura)	09
I.3.3 Structure des mortiers auto-plaçant	10
I.3.4 Caractérisation de MAP à l'état frais	11
I.3.5 Caractérisation de MAP à l'état durci	13
I.4 Durabilité des matériaux cimentaires	14
Chapitre II	
Valorisation et exploitation des déchets de céramique dans le MAP	
II.1 Introduction	16
II.2 Déchets en Algérie	16
II.2.1 Déchets solides	16

II.2.1 déchets ultimes	17
II.2.2 Déchets inertes :	17
II.3 Destination des déchets	17
II.3.1 Décharges	17
II.3.2 Combustion ou incinération	17
II.3.3 Stations de transfert	18
II.3.4 Récupération et recyclage	18
II.4 Classification des déchets	18
II.4.1 Selon l'origine	18
II.4.2 Selon leur mode de traitement	18
II.4.3 Selon leur effet sur l'environnement	18
II.5 Valorisation des Déchets :	18
II.5.1 Introduction	18
II.5.2 Types de valorisation	19
II.5 Déchets de Céramique	19
II.5.1 Généralité	19
II.5.2 Définition	20
II.5.3 Caractéristiques des céramiques	21
II.5.4 Produits céramiques dans la construction	21
II.6 Influence des déchets céramiques rouge sur les propriétés des matériaux Cimentaires :	22
II.6.1 À l'États frais	22
II.6.2 À l'États durci	23
Chapitre III : Caractérisation des matériaux utilisés et Méthodes Expérimentales	
III.1. Introduction	28
III.2 Objectif et Méthodologie de l'étude expérimentale	28
III.3 Caractérisation des matériaux utilisés	28
III.3.1. Ciment	28
III.3.2 Déchets Céramique	29
III.3.3. Sable	30
III.3.4. Eau de gâchage	33
III.3.5. Adjuvant	34
III.4 Formulation du mortier auto plaçant à base de poudre de céramique	34

III.5 Confection des éprouvettes de mortiers auto-plaçant	35
III.6 Méthodes expérimentales	37
III.6.1. Essais réalisés sur le MAP à l'état frais	37
III.6.2. Essais réalisés sur le MAP à l'état durci	38
III.6.3. Évaluation de la durabilité du mortier MAP à l'attaque chimique :	39
Chapitre IV : RESULTATS ET DISCUSSIONS	
IV.1 Introduction	41
IV.2 Résultats à l'état frais	41
IV.2.1 Essais d'étalement au mini cône	41
IV.2.2 Essai d'entonnoir (V-Funnel)	42
IV.3 Résultats à l'état durci	42
IV.3.1 Résistance à la compression	42
IV.3.2 Résistance à la flexion	43
IV.4 Durabilité contre l'attaque de l'acide	44
Conclusion Générale	46
Références bibliographiques	I

Liste des Figures

Chapitre I : Ciment et Mortier auto-plaçant

Figure (I.01) : Étapes de l'essai d'étalement au Mini cône de pâte	11
Figure (I.02) : Étalement au Mini cône de mortier	12
Figure (I.03) : Essai de l'entonnoir	13
Figure (I.04) : Moule pour les éprouvettes de mortier.	13
Figure (I.05) : Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion	14
Figure (I.06) : Dispositif de rupture en compression	14

Chapitre II

Valorisation et exploitation des déchets de céramique dans le MAP

Figure (II.01) : Déchet céramique de faïence.	22
Figure (II.02) : Effet de déchets céramique rouge sur la fluidité des mortiers [48].	23
Figure (II.03) : Effet de déchets céramique sur la densité à l'état frais de béton [50].	23
Figure (II.04) : Effet de déchets céramique rouge sur la résistance à la compression des mortiers conservés dans l'eau [48].	24
Figure (II.05) : Effet de déchets céramique sur la résistance à la compression comparée au béton témoins RC [49].	25
Figure (II.06) : Résistance à la compression en fonction du temps pour tous les taux de remplacement des agrégats naturels fins par des agrégats sanitaires fins recyclés (SWC).	25

Figure (II.07) : Effet de déchets céramique rouge sur la résistance à la flexion des mortiers conservés dans l'eau [48].	26
---	----

Figure (II.08) : Effet de déchets céramique sur la résistance à la flexion à 28 jours de cure [51].	27
--	----

Chapitre III : Caractérisation des matériaux utilisés et Méthodes Expérimentales

Figure (III.01) : Processus de broyage des déchets céramiques.	29
Figure (III.02) : Sable utilisé.	30
Figure (III.03) : Résultats de l'Analyse granulométrique du sable.	30
Figure (III.04) : Essais de la Masse volumique absolue du sable.	31
Figure (III.05) : Essai de la Masse volumique apparente du sable.	32
Figure (III.06) : Adjuvant SIKA utilisé.	34

Figure (III.07) : Opération de malaxage malaxeur du MAP.	36
Figure (III.08) : Moule de mortier utilisé vide et rempli.	36
Figure(III.09) : Essai de Mini cône à mortier.	37
Figure (III.10) : Essai de l'entonnoir en V (V-Funnel).	38
Figure(III.11) : Essai de la résistance à la compression.	38
Figure(III.12) : Essai de la résistance à la flexion.	39
Figure (III.13) : Éprouvettes conservées dans d'acide H₂SO₄.	40
Chapitre IV : RESULTATS ET DISCUSSIONS	
Figure (IV.01) : Résultats de l'essai de mini cône de mortier.	41
Figure (IV.02) : Essai d'entonnoir (V-Funnel).	42
Figure (IV.03) : Histogramme des résultats de la Résistance à la compression.	43
Figure (IV.04) : Histogramme des résultats de la résistance à la Traction.	44
Figure (IV.05) : Perte de masse des mortiers conservés dans l'acide H₂SO₄ à 5%.	44
Figure (IV.05) : Perte de masse des mortiers conservés dans l'acide H₂SO₄ à 2%.	45
Figure (VI.07) : Degré d'attaque par l'acide sulfurique.	45

Liste des tableaux

Chapitre I : Ciment et Mortier auto-plaçant

Tableau(I.01) : Teneur des principaux composants dans la farine crue. 2

Tableau(I.02) : Différents types de ciment. 4

Chapitre III

Caractérisation des matériaux utilisés et Méthodes Expérimentales

Tableau (III.01) : Caractéristique physico-mécanique de ciment AWTED. 28

Tableau (III.02) : Résultat de la masse volumique absolue du sable. 32

Tableau(III.03) : Résultats de la masse volumique apparente du sable. 33

Tableau (III.04) : Résultats de l'essai équivalent de sable. 33

Tableau(III.05) : Caractéristiques physiques et chimiques du super plastifiant. 34

Tableau(III.06) : Représente les Différents types et dosages des mortiers auto plaçant 35

Chapitre IV : RESULTATS ET DISCUSSIONS 2

Introduction Générale

Les mortiers autoplacants (MAP), en tant que produits de nouvelle technologie, sont particulièrement préférés pour la réhabilitation et la réparation des structures en béton armé . Les déchets industriels ont trouvé leur place comme matériaux cimentaires dans la fabrication de béton ou de mortier autoplacant, afin de réduire le coût de fabrication de ces bétons et d'utiliser d'autres ressources pour réduire l'utilisation du ciment, car sa fabrication est encore coûteuse et polluante. Les déchets minéraux sont actuellement utilisés dans les bétons ou mortiers soit comme ajouts minéraux (par remplacement partiel du ciment), soit comme granulats fins ou granulats grossiers (en remplacement des granulats classiques) afin d'améliorer certaines propriétés à l'état frais (comme la fluidité) ou à l'état durci (comme la résistance et la durabilité).

Les laboratoires de recherche sur les matériaux ont commencé à développer des composés de béton et de mortier à base de ces déchets, en raison de leurs avantages, d'un point de vue environnemental (réduction de la quantité de déchets), d'un point de vue économique (réduction des coûts de production) et technique (amélioration de l'état physique et propriétés mécaniques du béton et du mortier). Parmi ces déchets peuvent figurer les déchets céramiques. La céramique est broyée en poussière puis utilisée comme additif partiel au ciment pour la fabrication de béton ou de mortier.

L'objectif de notre travail est de valoriser les déchets tels que la poudre de céramique dans différentes proportions comme substituant partielle du ciment pour la préparation des mortiers MAP à base de matériaux locaux. Ce mémoire vise à améliorer, les incitations économiques, les bénéfices environnementaux, la conservation des ressources naturelles et la valorisation de ces déchets.

Après une introduction générale, ce travail a été divisé en quatre chapitres :

Le premier chapitre introduit des concepts généraux sur le ciment et le mortier.

Le deuxième chapitre présente comment récupérer et valoriser les déchets céramiques. Le troisième chapitre présente la description des matériaux utilisés et les méthodes expérimentales.

Le quatrième chapitre présente les résultats expérimentaux et la discussion. Enfin, nous terminons ce travail par une conclusion générale.

Chapitre I

Ciment et Mortier auto-plaçant

I.1 Ciment

I.1.1 Introduction :

Le ciment est un matériau de construction très courant, qui est utilisé pour lier différents matériaux de construction et créer des structures solides. Il est produit à partir d'un mélange de calcaire et d'argile qui est cuit à haute température, puis broyé en une fine poudre. Cette poudre est mélangée à de l'eau pour former une pâte qui peut être utilisée pour lier des briques, des blocs de béton et d'autres matériaux de construction.

Bien que le ciment soit un matériau de construction important et utile, sa production peut avoir des impacts environnementaux négatifs. Les usines de ciment émettent des quantités importantes de gaz à effet de serre, notamment du dioxyde de carbone, qui contribuent au changement climatique. Par conséquent, des efforts sont en cours pour développer des méthodes de production de ciment plus durables et moins énergivores.

I.1.2 Principe de fabrication de ciment Portland :

Le ciment Portland résulte de broyage d'une roche artificielle, le clinker avec le gypse et un ajout (calcaire, pouzzolane...) [1].

Le clinker est obtenu par cuisson à 1450° d'un mélange convenablement dosé en calcaire (environ 80%) et une argile (environ 20%), mais d'autres matériaux peuvent être. La composition des principaux composants doit être située de préférence dans les limites qui sont désignées dans le tableau suivant :

Tableau (I.01) : Teneur des principaux composants dans la farine [1].

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

En fonction de l'état des matériaux et selon certaines considérations économiques, le procédé de fabrication approprié et choisi parmi les méthodes courantes de fabrication, à savoir : voie humide,

voie semi-humide, voie sèche, voie semi- sèche. La fabrication se réduit aux trois opérations suivantes :

- Préparation des matériaux.
- Cuisson.
- Broyage.

I.1.3 Constituants du ciment :

A. Clinker :

Le « clinker » est le résultat d'un processus de cuisson jusqu'à fusion partielle (clinkérisation) d'un mélange de calcaire et d'argile, préalablement dosé, homogénéisé et principalement composé de chaux (CaO), de silice (SiO₂) et d'alumine (Al₂O₃). Le mélange est généralement constitué de matériaux naturels extraits de carrières tels que le calcaire, l'argile, la marne, etc.

C'est le clinker qui, par broyage avec une petite quantité de sulfates de chaux (gypse) agissant en tant que régulateur de prise, donne naissance aux « ciments Portland » et confère à ce groupe de ciments leurs propriétés caractéristiques [2].

B. Gypse (CaSO₄) :

C'est une roche de sulfate de calcium hydraté (CaSO₄), très abondant à l'état naturel, qui se déshydrate à une température avoisinant les 100 °C [3].

Il est ajouté au clinker (qui est caractérisé par de courts délais de prise (3 à 5 min), ce qui le rend pratiquement inutilisable) lors du broyage pour ralentir sa prise. La quantité à introduire doit correspondre à la teneur en C₃A dans le liant, car la prise rapide est due à la C₃A qui s'hydrate rapidement tandis que ses hydrates deviennent compacts et se cristallisent [4].

I.1.4 Classification des ciments :

Les ciments peuvent être classés en fonction de leur résistance et de leur composition (Tableau I.2). Ainsi, ils sont divisés en plusieurs catégories [5] :

- **CEM I**, également connu sous le nom de ciment Portland, est adapté à la conception de béton armé ou précontraint en raison de sa résistance élevée.
- **CEM II A ou B**, appelés ciments Portland composés, se distinguent par leur grande maniabilité. Ils sont donc utilisés dans des travaux courants tels que les chapes traditionnelles ou les enduits simples.

- **CEM III A, B ou C**, également appelés ciments de haut-fourneau, sont adaptés aux environnements difficiles et réputés pour leur durabilité.
- **CEM IV A ou B**, des ciments de type pouzzolanique, conviennent également aux environnements agressifs, ce qui en fait des choix idéaux pour les structures hydrauliques. Ils sont absents en France.
- **CEM V A ou B**, des ciments composés, ont des propriétés physiques similaires aux CEM III, mais leur composition diffère.

Tableau (I.02) : Différents types de ciment [5].

Désignation	Notation	Clinker	Autres constituants	Constituants secondaires
Ciment Portland	CPA -CEMI	95-100	0-5
Ciment Portland composé	CPJ-CEM II/A	80-94	6-20
	CPJ-CEM II/B	65-79	21-35
Ciment de haut fourneau	CHF-CEM II/A	35-64	36-65	0-5
	CHF-CEM II/B	20-34	66-80	0-5
	CLK-CEM III/C	5-19	81-95	0-5
Ciment pouzzolanique	CPZ-CEM IV/A	65-89	11-35	0-5
	CEM-CPZ IV/B	45-64	36-55	0-5
Ciment composé	CLC-CEM V/A	40-64	18-30	0-5
	CLC-CEM V/B	20-38	31-50	0-5

I.2 Mortiers :

I.2.1 Définition :

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. En général le mortier est le résultat d'un mélange de sable, d'un liant (ciment ou chaux) et d'eau dans des proportions données, se différencient selon les réalisations et d'adjuvant. Il est utilisé pour :

- Assurer la liaison des éléments de maçonnerie entre eux (parpaings, trottoirs...).
- Assurer la protection contre la pluie et l'humidité (enduit).
- Protéger contre l'infiltration d'eau par un écran (mur) étanche (par des mortiers spéciaux).

- Nivelier les surfaces de béton par la réalisation des chapes (couche) destinées à recevoir un revêtement (carrelage, dallage...).

Dans les paragraphes suivants, nous présenterons les différents types de mortier ainsi que les caractéristiques principales telles que l'ouvrabilité, la prise, le retrait, etc. [6,7].

I.2.2 Constituants des mortiers :

Le mortier est principalement composé de sable, d'un liant (ciment ou chaux), d'eau et éventuellement un d'adjuvant. Des variations dans les proportions des constituants peuvent avoir un impact sur les propriétés et les performances du mortier. Alors, il est important de doser correctement chacun de ces constituants pour obtenir un mortier de qualité et répondant aux exigences spécifiques de l'ouvrage :

- **Liant :**

Il est l'élément qui permet de solidifier le mortier. Il peut s'agir de ciment, de chaux ou d'un mélange des deux. Le choix du liant dépend du type d'ouvrage à réaliser et de ses exigences spécifiques. On utilise généralement des liants hydrauliques qui peuvent être le ciment et de la chaux [8].

- **Adjuvants :**

Les adjuvants sont des produits chimiques que l'on utilise dans le cas des bétons et mortiers. Ils modifient les propriétés des bétons et des mortiers auxquels ils sont ajoutés en faible proportion (environ de 5% du poids de ciment). Les mortiers peuvent comporter différents types d'adjuvants, les super-plastifiants (haut réducteurs d'eau), les entraîneurs d'air, les modificateurs de prise (retardateurs accélérateurs) et les hydrofuges [8].

- **Ajouts :**

Les cendres volantes, le laitier de haut fourneau granulé broyé, la fumée de silice et les pouzzolanes naturelles, telles que le schiste calciné, l'argile calcinée ou le méta kaolin sont des matériaux qui combinés au ciment portland, contribuent aux propriétés du béton et mortier durci par action hydraulique ou pouzzolanique ou les deux à la fois [8].

- **Sable :**

Le sable est un matériau minéral composé de particules de silice ou de calcaire, présent dans le sol sous forme de grains ou de poudre, selon qu'il s'agit de sable grossier ou de sable fin. Les sables

sont le résultat de la désagrégation des roches qui composent la croûte terrestre. Selon leur composition, ils peuvent être blancs, jaunes, gris ou rougeâtres.

On peut également classer les sables en fonction de leur origine, en distinguant les sables de carrière, les sables marins et les sables de rivière. Dans les terrains où le sable grossier domine, l'homogénéité fait défaut et sa perméabilité élevée l'empêche de retenir les engrais solubles, qui sont entraînés par les eaux avant d'avoir eu leur effet. Cela entraîne également un assèchement rapide du sol [9].

L'utilisation de sable permet de réduire le retrait du liant (dans la structure du mortier) tout en augmentant les résistances mécaniques. De plus, le sable est disponible et présente un aspect esthétique (couleur) [9].

Les sables de bonne granulométrie doivent contenir des grains fins, moyens et gros. Les grains fins se placent entre les gros grains pour combler les vides. Ils jouent un rôle important en réduisant les variations de volume, les dégagements de chaleur et même les coûts. Les dosages se font en poids plutôt qu'en volume, afin d'éviter les erreurs de dosage causées par l'augmentation du volume du sable humide [9].

- **Eau de gâchage :**

Le dosage en eau est un élément crucial dans la composition du mortier. Son influence sur les propriétés du mortier est significative, notamment en ce qui concerne la formation des vides résultant de l'élimination de l'eau pour différentes raisons.

Avec un rapport E/C (eau/ciment) couramment utilisé de 0,5, on estime que la moitié de l'eau de gâchage est utilisée pour l'hydratation du ciment, tandis que l'autre moitié est de l'eau de mouillage interstitielle qui contribue à la plasticité du mortier nécessaire à sa mise en œuvre [10].

I.2.3 Différents types de mortiers :

Les types de mortiers sont choisis selon l'application. On utilise, comme pour les bétons, des formulations variées selon l'ouvrage à réaliser et les propriétés recherchées :

- **Mortier de ciment :**

Composé de sable et de ciment, le mortier de ciment est très résistant et prend rapidement. Sa richesse en ciment le rend peu perméable à la vapeur d'eau.

- **Mortier de chaux :**

Constitué de sable et de chaux, le mortier de chaux est un mortier gras, très souple et qui laisse circuler la vapeur d'eau. Il durcit plus lentement que le mortier de ciment.

- **Mortier bâtard :**

Le mortier bâtard est composé de sable, et à part plus ou moins égal, de ciment et de chaux. Il allie la résistance du ciment et la souplesse de la chaux. Son onctuosité le rend facile à travailler et limite le risque de fissuration [11].

- **Mortiers à base de ciment de maçonnerie :**

Les mortiers à base de ciment de maçonnerie sont des produits enregistrés qui contiennent du ciment Portland, une charge minérale inerte telle que le calcaire, ainsi que des adjuvants tels que des agents mouillants, des hydrofuges et des agents entraîneurs d'air. Ces adjuvants confèrent au mortier à base de ciment une meilleure plasticité et une capacité accrue de rétention d'eau. Certains types de mortiers à maçonnerie comprennent le ciment Portland, de la chaux éteinte et des adjuvants [12].

- **Mortier réfractaire :**

Le mortier réfractaire est composé de ciment fondu qui est capable de résister aux hautes températures. Il est spécialement utilisé pour la construction de cheminées et de grils qui nécessitent une résistance à la chaleur élevée [13].

- **Mortier rapide :**

Le mortier rapide est similaire au mortier traditionnel, étant un mélange de ciment, de sable et d'eau. Cependant, il contient également un adjuvant qui améliore le temps de prise du mortier. Ce type de mortier a une prise plus rapide et offre une résistance élevée, ce qui le rend idéal pour les travaux de scellement qui nécessitent une rapidité d'exécution [14].

- **Mortier industriel :**

Ce sont des mortiers fabriqués à partir d'ingrédients secs soigneusement sélectionnés, conditionnés en sac, inspecté en usine et entièrement fonctionnel. Pour utiliser ce type de mortier,

placez simplement quantité d'eau nécessaire et mélanger pour les mettre en œuvre. Fabricant de mortier le fabricant propose une gamme complète de produits pour répondre à tous les besoins : Mortier de différentes couleurs et peintures d'aspect. Mortier étanche. Mortier d'isolation thermique. Nivelier le mortier. Mortier de scellement, mortier pour chapes. Mortier colle pour carrelage, à base de plâtre ou de ciment [15].

I.2.4 Classification des mortiers :

Les mortiers peuvent classés selon [16] :

- **Leur domaine d'utilisation :**

Généralement les mortiers varient selon leur domaine d'application, et ce dernier qui est très vaste et leurs domaines permettent de citer les catégories suivantes : Mortier de pose ; mortier de joints ; mortier pour les crépis ; mortier pour le sol ; mortier pour les structures ; pierres artificielles ; support pour les peintures murales ; mortier d'injection ; mortier pour les mosaïques ; mortier de réparation pour pierre.

- **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.2.5 Caractéristiques principales des mortiers :

a. Ouvrabilité :

Cela fait référence à la facilité avec laquelle le mortier peut être travaillé et manipulé. Une bonne ouvrabilité permet une mise en place facile du mortier entre les éléments de construction.

b. Prise de ciment :

Il s'agit du processus par lequel le mortier durcit et acquiert sa résistance. La prise peut être rapide ou lente en fonction du type de liant utilisé. Une prise appropriée est importante pour assurer la stabilité de l'ouvrage.

c. Résistances mécaniques :

Les mortiers doivent avoir une résistance mécanique adéquate pour supporter les charges et les contraintes auxquelles ils seront soumis. Cela inclut la résistance à la compression, à la flexion.

d. Retraits et gonflements :

Pendant le durcissement, les mortiers peuvent subir des variations dimensionnelles dues aux variations de volume. Les retraites se produisent lorsque le mortier se contracte, tandis que les

gonflements se produisent lorsque le mortier se dilate. Il est important de contrôler ces variations pour éviter les fissures et assurer la durabilité de l'ouvrage.

Ces caractéristiques sont essentielles pour garantir la qualité et la performance du mortier dans une construction. Elles dépendent du choix du liant, du dosage des différents composants, de l'ajout d'adjuvants et de la quantité d'eau utilisée lors du mélange [17].

I.3 Mortiers auto-plaçant MAP:

I.3.1 Définition :

Les mortiers auto-plaçant sont des mortiers très fluides, qui se mettent en place sans vibration. Lors du coulage, le serrage d'un MAP est assuré sous le simple effet de la gravité, grâce à leur formulation, et homogènes et stables, Il épouse ainsi des formes de coffrage les plus complexes. En général, les MAP possèdent les mêmes constituants que le mortier, à savoir, le ciment, l'eau, le sable. À ces quatre constituants viennent s'ajouter les fines et les adjuvants selon la propriété demandée. Les proportions exactes de chaque constituant dépendent bien sûr de la méthode de formulation choisie. Les MAP se développent aujourd'hui partout dans le monde. Cependant, les données disponibles à leur sujet montrent que leur formulation est encore différente d'un pays à un autre. Par ailleurs, les chercheurs se trouvent confrontés à une autre difficulté lorsqu'ils s'intéressent à ce sujet.

En effet, la manière de formulation formulée de ce matériau composite, béton, a une incidence directe sur ces propriétés intrinsèques. À ce titre, une bonne composition est conditionné par plusieurs paramètres et notamment par le choix judicieux de la phase inerte car elle occupe plus de 70% du volume total du béton ce qui constitue par conséquent le squelette résistant de ce matériau.

I.3.2 Méthode de formulation MAP (Okamura) :

La formulation des mortiers autoplaçants selon l'approche développée à l'université de Kochi au Japon [26, 27, 28] est réalisée de manière sécurisée, en privilégiant le volume de pâte par rapport aux granulats. Cette méthode de formulation combine à la fois des aspects forfaitaires pour les dosages des granulats et expérimentaux pour les dosages en eau et en adjuvant. Pour formuler un mortier autoplaçant selon cette méthode, appelée "méthode japonaise", les étapes suivantes sont suivies:

A. Choix du dosage de ciment :

La quantité de ciment dépend des spécifications techniques et des performances recherchées (résistance, durabilité, etc.).

B. Détermination du volume d'air :

Le volume d'air occlus est fixé à 2 %.

C. Détermination du dosage de sable :

Le volume de sable est défini de manière forfaitaire à 40 % du volume du mortier.

D. Détermination du dosage minimal en eau :

Les besoins en eau sont déterminés à partir de la composition de la pâte. Des essais d'étalement avec un mini-cône sont réalisés en faisant varier le rapport eau/liant pour le dosage choisi de liant. En traçant la courbe de rapport eau/liant en fonction de l'étalement relatif " R_p " (équation 1), on détermine le point d'intersection avec l'axe des ordonnées " β_P ", ce qui permet de déterminer le besoin minimal en eau nécessaire pour le ciment et les ajouts minéraux [29].

I.3.3 Structure des mortiers auto-plaçant :

▪ Volume de pâte élevé :

Les frottements entre les gravillons limitent l'écoulement des bétons. C'est pourquoi le mortier autoplaçant contient un volume de pâte important dont le rôle est de séparer les gravillons les uns des autres [19].

▪ Quantité importante de fines :

Pour assurer une maniabilité suffisante tout en limitant les risques de ségrégation et d'exsudation, le mortier autoplaçant contient une quantité de fines supérieure à celle des mortiers classiques. Cependant, afin de prévenir les problèmes liés à une élévation excessive de la température lors de l'hydratation et de réduire le coût global [20], le liant est souvent un composé binaire voire ternaire [21], associant du ciment Portland à des cendres volantes, du laitier, des fillers calcaires, des pouzzolanes naturelles ou de la fumée de silice.

▪ Dosage élevé de super plastifiant :

L'incorporation d'un dosage relativement important de superplastifiant dans les mortiers autoplaçants permet avant tout de réduire la teneur en eau tout en conservant leur grande maniabilité. Cependant, un dosage excessif (proche ou supérieur au dosage de saturation [22])

peut accroître la sensibilité du mortier aux variations de teneur en eau, ce qui peut entraîner des problèmes de ségrégation et d'exsudation.

- **Utilisation éventuelle d'un agent colloïdal :**

Bien que cela ne soit pas systématique, la plupart du temps, les mortiers autoplaçants contiennent un agent colloïdal [23]. Ce produit, tout comme les fines, a pour rôle d'empêcher l'exsudation et de limiter les risques de ségrégation des granulats en rendant la pâte plus épaisse. De manière schématique, l'utilisation de ce produit semble justifiée dans le cas des mortiers présentant des rapports eau/liant élevés, car les fines ne sont pas toujours suffisantes pour retenir l'eau dans le mortier. En revanche, il semble inutile dans le cas des mortiers autoplaçants ayant des rapports massiques eau/liant faibles, qui présentent des résistances supérieures à 50 MPa. Pour la gamme de mortiers intermédiaires, leur utilité doit être étudiée au cas par cas. Les agents colloïdaux sont réputés rendre les mortiers autoplaçants moins sensibles aux variations d'eau vis-à-vis des problèmes de ségrégation et d'exsudation [24, 25].

I.3.4 Caractérisation de MAP à l'état frais :

- **Fluidité et déformabilité du MAP :**

La déformabilité du mortier autonivelants est sa capacité à changer de forme sous son propre poids. Une déformabilité élevée est nécessaire pour permettre au mortier de s'écouler facilement. Afin d'obtenir une déformabilité adéquate, il est important de réduire au minimum le frottement entre les grains de sable dans le mélange. Cela peut être réalisé en diminuant la quantité de sable grossier et en augmentant le volume de pâte dans le mélange de mortier. Une autre méthode pour réduire le frottement entre les grains de sable consiste à incorporer des additions minérales telles que des fillers [30].

La déformabilité du mortier autonivelants est directement liée à la déformabilité de sa pâte. Pour augmenter la déformabilité de la pâte et réduire le frottement entre les grains de sable, des superplastifiants à haut pouvoir réducteur d'eau (SPRE) sont ajoutés aux mélanges de MAP. Ces SPRE permettent de maintenir un rapport eau/matières cimentaires relativement faible tout en maintenant une bonne fluidité. La déformabilité de la pâte est également améliorée en réduisant sa viscosité. Un mortier fortement fluide peut être obtenu sans réduire significativement sa cohésion en améliorant sa résistance à la ségrégation [31].

En général, la combinaison des critères de fluidité et de stabilité est assez complexe, mais en utilisant des agents colloïdaux, des teneurs élevées en additions minérales ou des proportions appropriées de sable, il est possible d'assurer la stabilité et la déformabilité du mortier autonivelants.

- **Essais de l'étalement au Mini cône de mortier :**

Dans les méthodes japonaise et hollandaise, l'évaluation de la demande en eau passe par des essais d'étalement au mini cône sur une pâte, en faisant varier le rapport eau/poudre (Figure 02). La poudre utilisée peut être du ciment ou une addition minérale telle qu'un filler calcaire. On mesure l'étalement relatif "Rp" (une équation détermine les paramètres correspondant aux droites obtenues pour chaque liant, ciment et filler calcaire) [32].

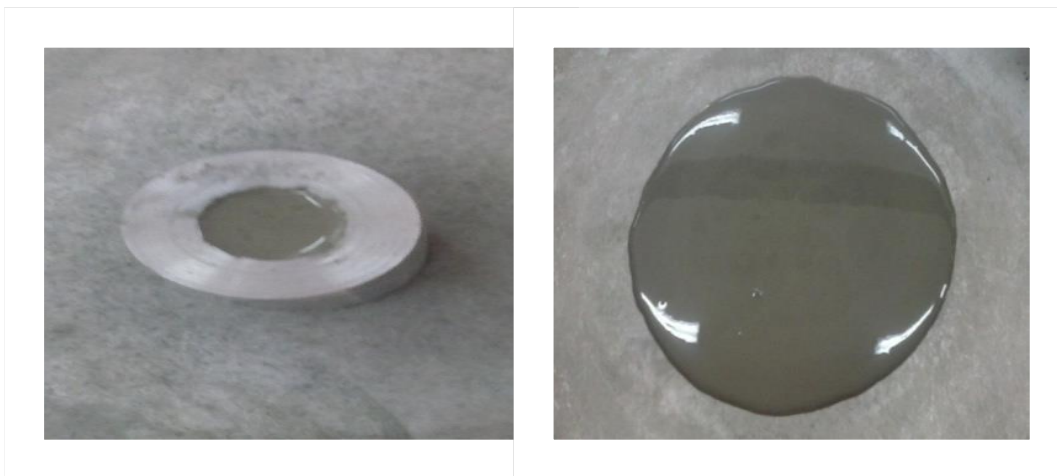


Figure (I.01) : Étapes de l'essai d'étalement au Mini cône [32].

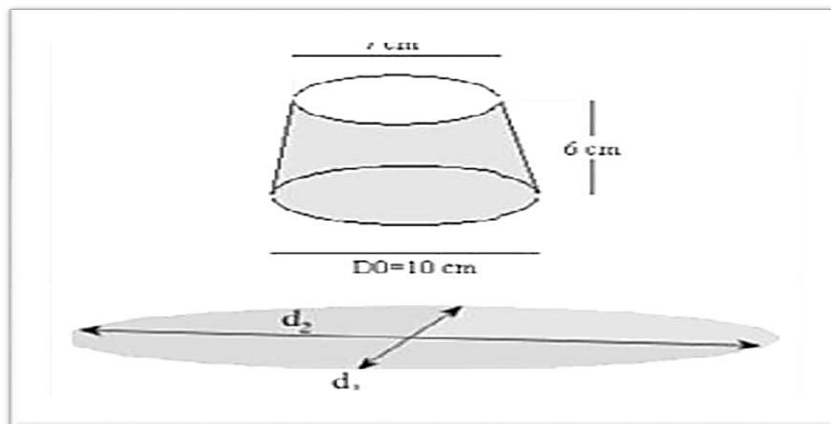


Figure (I.02) : Étalement au Mini cône de mortier [33].

- **Essais de déformabilité de l'Entonnoir en V (V-funnel) :**

L'essai d'écoulement à l'entonnoir (ou V-funnel test) est utilisé pour évaluer la fluidité et la viscosité des MAP. Un entonnoir de dimensions définies est rempli de mortier jusqu'en haut. Le clapet de fermeture situé à sa base est ensuite ouvert, on mesure le temps (T_v) que met le mortier à sortir de l'entonnoir jusqu'à ce que cet entonnoir soit entièrement vide. Ce temps d'écoulement, qui doit être compris entre 8 et 14 secondes, caractérise la viscosité du mortier. Si le mortier s'écoule plus rapidement, c'est que sa viscosité est trop faible.

Bien que l'essai soit conçu pour mesurer la fluidité, le résultat est affecté par d'autres propriétés du MAP que celle de l'écoulement. La forme de cône inversée fera bloquer l'écoulement du mortier si, par exemple il y a trop gros granulat. Par contre un temps élevé d'écoulement peut être associé à une faible déformabilité due à une viscosité élevée de la pâte et ou un frottement intergranulaire élevé.

L'EFNARC définit deux classes de viscosité selon le temps d'écoulement mesuré à l'entonnoir (V-funnel) : $T_v \leq 6$ secondes, pour une bonne capacité de remplissage même avec des renforts denses et $9 \leq T_v \leq 25$ pour les autres cas [34].

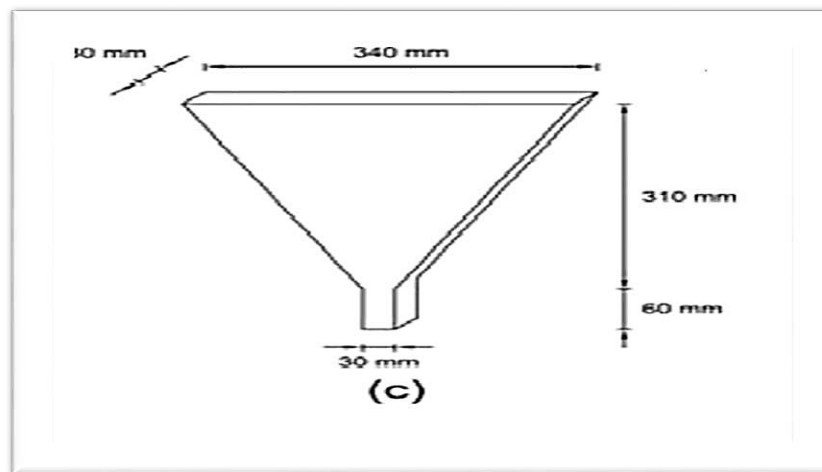


Figure (I.03) : Essai de l'entonnoir en V [31].

I.3.5 Caractérisation de MAP à l'état durci :

- Résistances mécaniques :

Les essais sont souvent effectués sur les éprouvettes prismatiques de 4 x 4 x 16 cm (Figure 04) conservés dans l'eau à 20 °C.



Figure (I.04) : Moule pour les éprouvettes de mortier.

Les éprouvettes sont rompues en traction par flexion puis en compression. Les résistances, aussi bien en traction par flexion qu'en compression, progressent à peu près comme logarithme du temps (entre 1 et 28 jours).

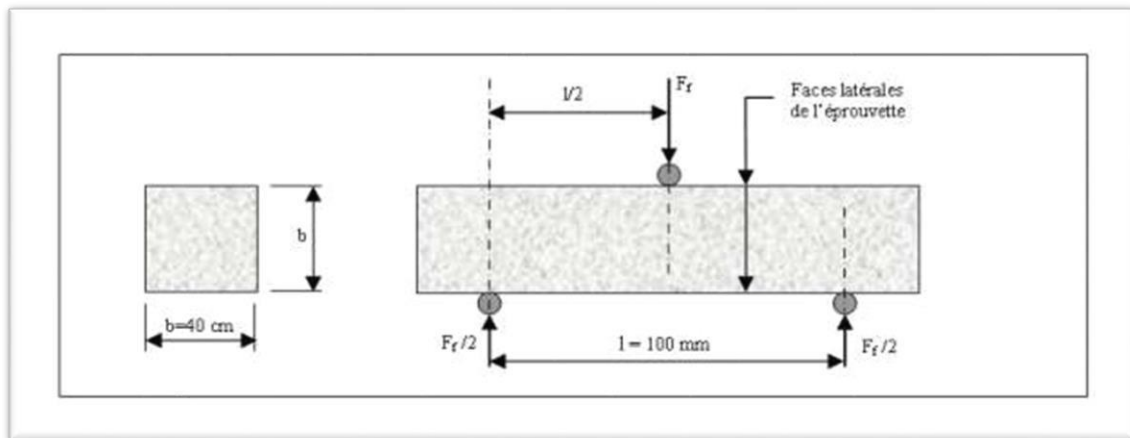


Figure (I.05) : Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion

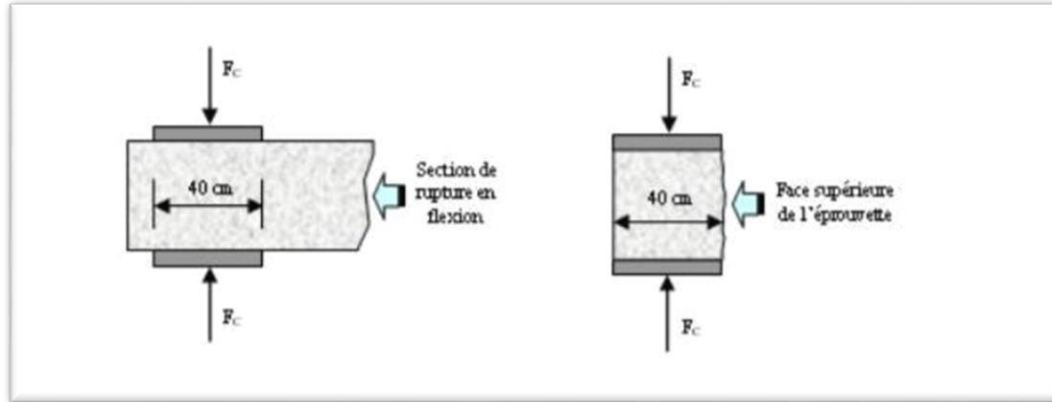


Figure (I.06) : Dispositif de rupture en compression

I.4 Durabilité des matériaux cimentaires :

Par définition, la durabilité du béton consiste à maintenir sa résistance et à remplir sa fonction tout au long de sa durée de vie utile, mais pas indéfiniment. Par conséquent, le béton doit résister aux mécanismes de dégradation auxquels il peut être exposé, tels que les cycles de gel-dégel et certaines formes d'attaques chimiques [35]. La norme NF X 50-501 définit la durabilité comme "la capacité d'une entité à accomplir une fonction dans des conditions d'utilisation et de maintenance spécifiées, jusqu'à ce qu'un état limite soit atteint" [36]. La durabilité est un objectif de qualité pour l'ingénieur, et son métier consiste à atteindre les objectifs fixés tout en minimisant les coûts [37].

Avec le temps, la structure est soumise à de nombreuses agressions ou sollicitations (physiques, mécaniques, chimiques, etc.). Ainsi, il est important de déterminer la durabilité et de choisir les propriétés du béton en fonction de l'agressivité de l'environnement dans lequel se trouve la structure, afin d'améliorer ses propriétés et de les adapter à la durée de vie requise. Les spécifications concernent la nature et le dosage minimum de ciment, la compressibilité minimale, la valeur maximale du rapport eau/ciment, l'enrobage minimal des armatures et la teneur maximale en chlorure du béton. Les changements physiques peuvent être superficiels (érosion, cavitation ou écaillage) ou internes sous forme de fissures (changement structurel, gradients d'humidité ou de température, pression de cristallisation, exposition aux températures extérieures). Les changements chimiques sont principalement causés par les acides, les bases et les solutions salines.

Chapitre II

**Valorisation et exploitation des
déchets de céramique dans le MAP**

II.1 Introduction :

L'industrie céramique génère une quantité importante de déchets tout au long de ses processus de production. La gestion efficace de ces déchets est essentielle pour réduire l'impact environnemental de l'industrie et promouvoir le développement durable. Une approche prometteuse pour valoriser et exploiter les déchets céramiques est l'utiliser dans l'industrie de béton et mortier.

En utilisant les déchets céramiques dans la fabrication du mortier auto-plaçant MAP, non seulement on réduit la quantité de déchets envoyés en décharge, mais on crée également une nouvelle utilisation pour ces matériaux, leur donnant ainsi une seconde vie. Cette pratique permet de réduire l'impact environnemental, de préserver les ressources naturelles et de créer des produits fonctionnels et esthétiques. Il est essentiel de promouvoir davantage ces initiatives afin de favoriser une économie circulaire et un avenir durable pour l'industrie céramique.

II.2 Déchets en Algérie :

Selon un rapport de la GIZ d'avril 2020, la quantité annuelle de déchets industriels en Algérie est estimée à 2 547 000 tonnes. Ces déchets sont répartis en quatre catégories principales :

- Les déchets d'emballages et de plastique, estimés à environ 1,2 million de tonnes par an.
- Les pneus usagés, dont la quantité est estimée à plus de 2 millions d'unités par an.
- Les déchets d'huiles et d'huiles lubrifiantes, dont la quantité est estimée à 110 000 tonnes par an.

Ces chiffres soulignent l'importance de développer des stratégies de gestion des déchets en Algérie, en mettant l'accent sur la récupération et la valorisation pour réduire l'impact environnemental et encourager le développement d'activités économiques dans ce domaine.

II.2.1 Déchets solides :

Les déchets solides sont l'accumulation de matériaux à l'état solide résultant de diverses activités humaines dans différents domaines. Ils posent un problème car ils occupent beaucoup d'espace, ce qui nécessite constamment la recherche de solutions pour s'en débarrasser. Auparavant, les déchets solides ne posaient pas de problème environnemental, mais au fil du temps, il est devenu nécessaire de mettre en place un plan de gestion de ces déchets. Plusieurs raisons ont contribué à l'augmentation de la quantité de déchets solides [38] :

- L'augmentation de la population.
- L'augmentation de la consommation.
- Le développement industriel et l'augmentation de la production.

- Le développement agricole.
- Le développement technologique.
- Le manque de sensibilisation environnementale au sein de la population.
- Le non-respect des moyens appropriés pour faire face aux déchets solides.

Ces facteurs ont conduit à une augmentation considérable de la quantité croissante de déchets solides, et ainsi, la problématique des déchets solides est devenue l'un des défis environnementaux majeurs auxquels le monde moderne et civilisé est confronté [38].

II.2.1 déchets ultimes :

Les déchets ultimes désignent les déchets bruts issus du ramassage parallèle à la collecte sélective, les déchets non triés, les déchets industriels courants provenant des ménages et des déchetteries, ainsi que les boues des stations d'épuration.

II.2.2 Déchets inertes :

Les déchets inertes sont des déchets qui ne subissent aucune modification physique, chimique ou biologique significative. Ils ne se décomposent pas, ne brûlent pas et ne produisent aucune réaction physique ou chimique. Ils ne sont pas biodégradables et n'altèrent pas les autres matériaux avec lesquels ils entrent en contact, ce qui pourrait entraîner une pollution de l'environnement ou nuire à la santé humaine.

Ces déchets sont acceptés dans les installations de stockage et proviennent principalement des chantiers de construction et de travaux publics, ainsi que des industries de fabrication de matériaux de construction. Il s'agit notamment des déchets suivants : bétons, tuiles et céramiques, briques, déchets de verre, terres, enrobés bitu.

II.3 Destination des déchets :

II.3.1 Décharges :

Les décharges sont des zones spécialement conçues où les déchets sont disposés de manière scientifique. Elles sont caractérisées par des doublures qui empêchent les infiltrations des matériaux susceptibles de contaminer les eaux souterraines. Il existe différentes conceptions de décharges [39].

II.3.2 Combustion ou incinération :

La combustion ou l'incinération des déchets permet de réduire la quantité d'espace nécessaire pour l'enfouissement des déchets. Elle est réalisée de manière contrôlée et génère également de l'électricité grâce à des technologies de traitement des déchets telles que la gazéification, la pyrolyse, la digestion anaérobie, la fermentation, etc. [39].

II.3.3 Stations de transfert :

Les stations de transfert sont des installations intermédiaires où les déchets solides municipaux collectés sont déchargés des camions de collecte, compactés pour réduire leur volume, puis stockés pendant une courte période avant d'être rechargés dans des camions ou des conteneurs plus grands pour être expédiés vers des décharges ou d'autres installations de traitement et d'élimination.

II.3.4 Récupération et recyclage :

Les déchets représentent également de précieuses sources de matières premières. La récupération et le recyclage des déchets peuvent contribuer à réduire l'utilisation de nouvelles matières premières dans la production de nouveaux produits. Le recyclage des déchets de construction et de démolition permet également de préserver l'espace dans les décharges, et de grandes quantités de matériaux tels que les métaux, le verre, les plastiques et les cartons peuvent être récupérées [40].

II.4 Classification des déchets :

II.4.1 Selon l'origine :

On a deux classes : les déchets industriels et Déchets urbains. Après le tri et le traitement on adoptera une étape cruciale dans le processus de valorisation de ces déchets. La bonne gestion nous permettra de mieux exploiter ces déchets et ainsi réduire leurs nuisances et leurs impacts environnementaux, leur réutilisation devient ainsi profitable et conduit à un résultat très positif sur le plan économique [41].

II.4.2 Selon leur mode de traitement :

Les professionnels et les chercheurs s'accordent à regrouper les déchets en quatre grandes familles [41] : déchets inertes ; déchets banals ; déchets spéciaux ; déchets dangereux.

II.4.3 Selon leur effet sur l'environnement :

A ce titre on distingue : déchets inertes, déchets fermentescibles, déchets toxiques.

II.5 Valorisation des Déchets :

II.5.1 Introduction :

Avant de valoriser un déchet, il faut connaître son origine, l'analyser, caractériser son état actuel et son comportement dans le temps et évaluer sa traitabilité. Il s'agit donc de «mesurer pour connaître et connaître pour agir». L'approche globale du déchet permettra d'en définir son devenir, à savoir quel type de valorisation choisir. Dans ce chapitre, nous décrivons le contexte de la gestion des différents types de déchets et les principales techniques de traitement ou

d'élimination à travers le monde ; ainsi le recyclage et la réutilisation des déchets dans le domaine des travaux publics.

Mais en Algérie, le processus d'industrialisation et de développement urbain du pays s'est effectué jusqu'à récemment sans que les précautions environnementales ne soient réellement prises en considération [52].

II.5.2 Types de valorisation :

Chaque procédé de valorisation permet de réaliser des économies de matières premières et contribue de façon directe au respect et à la sauvegarde de l'environnement. On parle de trois types de valorisation [52] :

➤ Valorisation matière :

La valorisation matière consiste à introduire en entier ou en partie de la matière déjà existante dans un nouveau processus de production. Ainsi, on parle de recyclage lorsque l'on fait fondre des bouteilles en plastique pour les transformer en fibres synthétiques. Le ré-emploi se définit comme l'utilisation d'un déchet pour un même usage. L'exemple type est la consigne de bouteilles

➤ Valorisation organique :

La valorisation organique passe par le compostage ou la méthanisation. Le compostage aboutit à la fabrication de matière organique servant à la régénération des sols.

La méthanisation est, comme le compostage, un procédé de fermentation mais aboutissant à la création de méthane. Le méthane est ensuite utilisé pour les mêmes applications que le gaz naturel. Ces deux types de valorisation organique relèvent de la compétence des collectivités locales.

➤ Valorisation énergétique

La valorisation énergétique consiste en l'incinération des déchets dans des fours spécifiques. Ce procédé aboutit à la création de chaleur servant par exemple à alimenter des systèmes de chauffage et d'électricité.

Désormais, un nouveau procédé existe : la pyrolyse. C'est une réaction thermique, entre 400 et 600 °C et qui aboutit à la décomposition des déchets organiques. Ceux-ci sont alors transformés en combustibles solides, liquides ou gazeux.

II.5 Déchets de Céramique :

II.5.1 Généralité :

Le terme "céramique" trouve son origine dans le mot grec "keramikos", qui fait référence à la poterie et à la "terre brûlée". Les céramiques regroupent une large gamme de matériaux non métalliques. Elles sont toutes fabriquées à partir de procédés thermiques et comprennent de

nombreux silicates et oxydes. Beaucoup de céramiques sont basées sur des argiles naturelles similaires à celles utilisées dans la fabrication de tuiles et de briques pour le bâtiment, qui sont durcies par la chaleur. Les principaux constituants des céramiques sont les argiles et les aluminosilicates issus des feldspaths. Aujourd'hui, la gamme de matières premières est beaucoup plus étendue et permet d'obtenir des produits industriels très sophistiqués, allant des poteries aux céramiques d'art [42].

La structure moléculaire des céramiques est parmi les plus complexes de tous les minéraux. Les liaisons entre les atomes, qu'elles soient covalentes ou ioniques, sont très solides. En conséquence, en termes de dureté, de résistance thermique ou mécanique, les céramiques présentent une nette supériorité par rapport à la plupart des matériaux métalliques.

Les céramiques offrent trois avantages importants par rapport à d'autres matériaux concurrents : les matières premières utilisées pour leur fabrication sont relativement abondantes et peu coûteuses, elles ont une faible densité et résistent à des températures très élevées, là où la plupart des métaux perdent leur résistance. De plus, elles possèdent des propriétés optiques, électriques, chimiques, magnétiques, thermiques, etc., qui les rendent indispensables dans de nombreuses industries [42].

II.5.2 Définition :

Les céramiques sont définies selon le Larousse comme "l'art de fabriquer les poteries, basé sur la propriété des argiles de former une pâte plastique facile à modeler avec de l'eau, qui devient dure, solide et inaltérable après cuisson" [42].

L'American Society for Testing and Materials (ASTM), définit les céramiques comme suit: "un article ayant un corps vitrifié ou non, avec une structure cristalline ou partiellement cristalline, ou en verre, dont le corps est principalement constitué de substances inorganiques et non métalliques, et qui est formé par fusion qui se solidifie en refroidissant, ou qui est formé et amené à maturité, en même temps ou ultérieurement, par l'action de la chaleur

Les céramiques sont des matériaux inorganiques, non métalliques, qui nécessitent des températures élevées lors de leur fabrication. Ils sont généralement composés d'oxydes métalliques ou de métaux oxydés, bien que ce ne soit pas exclusif. Les céramiques ont généralement une structure cristalline, parfois associée à une phase amorphe. Lorsque la majorité de la structure est amorphe, on parle de vitrocéramique, et lorsqu'elle est entièrement amorphe, on parle de verre.

On distingue deux grandes classes des céramiques ; céramiques de construction et céramiques techniques [44]. Généralement, les produits céramiques utilisés pour revêtir les surfaces sont regroupés sous le terme classique de "carrelage" [42].

Il convient de distinguer immédiatement deux utilisations distinctes : le carrelage des sols et le carrelage des murs. Bien que tous deux impliquent l'assemblage de carreaux ou d'éléments similaires, les matériaux et les produits utilisés peuvent être très différents, et il est important de savoir les reconnaître.

II.5.3 Caractéristiques des céramiques :

Les céramiques sont caractérisées par des liaisons fortes, ce qui se traduit dans la pratique par [43] :

- 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.

II.5.4 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 [45].

▪ Terres cuites :

Composé d'argiles légèrement calcaires, le mélange est cuit à une température relativement basse (800 à 1000 °C). La terre cuite ainsi obtenue est un matériau ordinaire, peu dur et poreux, qui résiste mal aux chocs. Elle est utilisée pour le gros œuvre sous forme de briques (pleines ou creuses), de tuiles, de boisseaux de cheminée et autres éléments comme les hourdis de planchers et de toitures. La terre cuite est un bon isolant. Ses teintes variées — dont les couleurs chaudes vont du beige clair au brun-rouge — sont un atout majeur pour réaliser des revêtements de sols ou de murs très décoratifs.

On utilise, pour ces revêtements, des carreaux ou des dalles de terre cuite, aux formes et aux dimensions multiples (carré, hexagone, trèfle, losange...) qui permettent d'exécuter un carrelage aux dessins réguliers. Toutefois, il ne faut pas perdre de vue que ce genre de revêtement se tache facilement et qu'il n'a pas une grande résistance à l'usure. Il est prudent de le protéger par un

vernissage ou un encausticage permanent. De plus, les carreaux de terre cuite étant poreux, ils craignent le gel. Leur utilisation à l'extérieur n'est donc pas à envisager [45].

▪ **Terres cuites vernissées :**

Ce sont des terres cuites de même composition que les précédentes, mais dont la surface est recouverte d'un vernis ou d'un léger émaillage qui les protège contre l'humidité. Les carreaux de terre cuite vernissée sont ainsi d'entretien plus facile, mais leur teinte naturelle est parfois modifiée par le vernissage [45].

II.6 Influence des déchets céramiques rouge sur les propriétés des matériaux Cimentaires :

Une partie des déchets provenant de l'industrie de la céramique et de la faïence peut être recyclée sous forme de granulats (Figure II.01). Plusieurs études ont été faites sur l'étude de l'effet de l'incorporation des déchets céramique (dalle de sol, faïence, brique.....) sur le comportement des matériaux cimentaire à l'état frais et durci [47].



Figure (II.01) : Déchet céramique de faïence.

II.6.1 À l'États frais :

• **Maniabilité :**

Abadou [48] a constaté que le remplacement de (0%, 10%, 20%, 30%, 40% et 50%) du sable naturel par les déchets de céramique rouge (MS : Mortier avec déchets céramique sanitaire et MF : Mortier avec déchets céramique faïence) entraîne un léger abaissement de la fluidité des mortiers (Figure II.02). Pitarch et al. [49] ont constaté aussi que des quantités plus importantes

de déchets céramiques (30 %), qui contenaient de plus grandes quantités de sable recyclé, ont légèrement diminué l'ouvrabilité du béton.

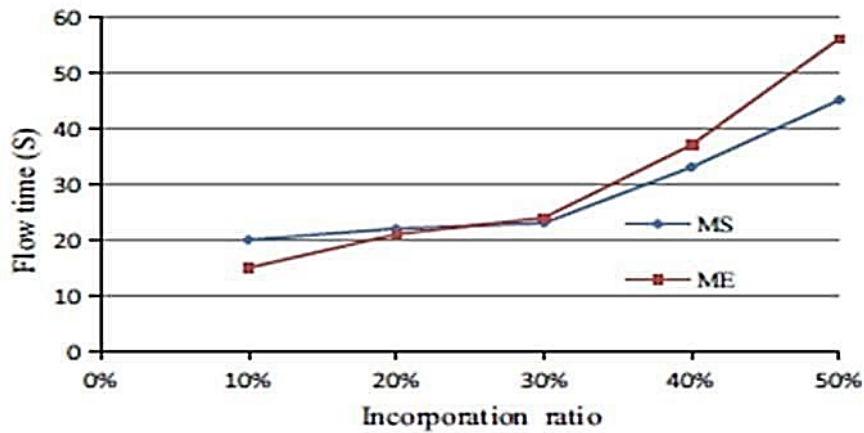


Figure (II.02) : Effet de déchets céramique rouge sur la fluidité des mortiers [48].

- **Densité fraîche :**

Alves et al. [50] ont étudié l'influence de substitutions de (0%, 20%, 40% ,60%,80 et 100%) du sable par le déchet de céramique (SWC). Ils ont trouvé que plus le pourcentage de déchets de céramique augmente plus la densité diminue (Figure II.03). Ils ont expliqué cette diminution par la teneur en eau beaucoup plus élevée des mélanges qui contiennent les déchets de céramique.

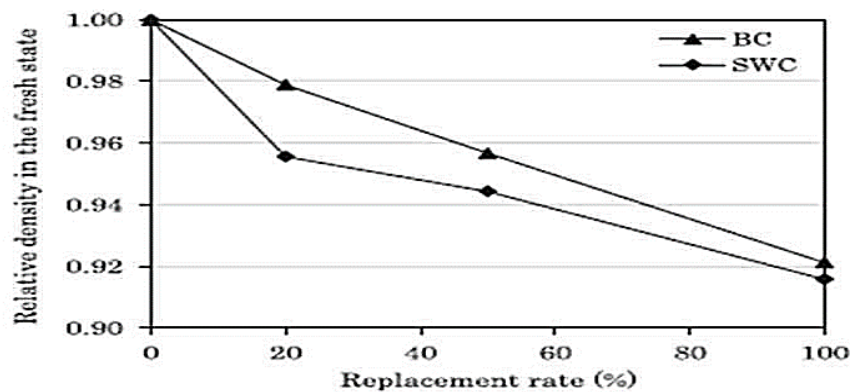


Figure (II.03) : Effet de déchets céramique sur la densité à l'état frais de béton [50].

II.6.2 À l'États durci :

- **Résistance à la Compression :**

Abadou [48] a étudié l'effet de remplacement de (0%, 10%, 20%, 30%, 40% et 50%) du sable naturel (MD : Mortier à base de sable de dune et MA : Mortier à base de sable alluvionnaire) par les déchets de céramique rouge (MS : Mortier avec déchets céramiques sanitaire et MF : Mortier avec déchets céramique faïence) sur la résistance à la compression du mortier du ciment. Les résultats montrent que tous les mortiers à base de déchets céramique ont une

résistance mécanique plus importante que celle du mortier de référence (Figure II.03). Les résultats montrent aussi que les MD avec céramique sanitaire ont développé des résistances supérieures par rapport à ceux incorporant des déchets céramiques faïence.

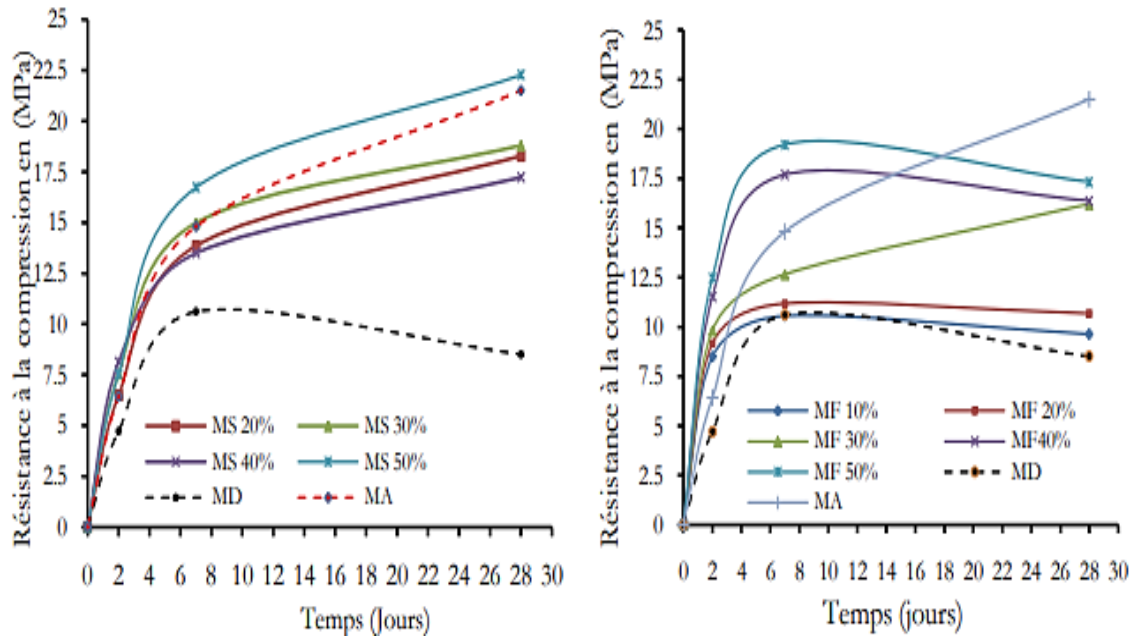


Figure (II.04) : Effet de déchets céramique rouge sur la résistance à la compression des mortiers conservés dans l'eau [48].

Pitarch et al [49] ont trouvé que le béton élaboré avec les granulats TCW (déchets céramiques de tuiles) a développé les meilleurs résultats en matière de résistance à la compression, qui étaient maximale pour la substitution de 20 % en poids (Figure II.04). Ils ont constaté, bien que les valeurs de résistance aient légèrement baissé avec des quantités plus importantes de déchets TCW (30 % en poids), elles étaient similaires à celles obtenues pour le béton avec les granulats calcaires (RC). Ils ont conclu que la résistance à la compression des bétons recyclés de TCW a été partiellement attribuée à leur plus faible ouvrabilité par rapport aux bétons correspondants préparés avec la même quantité de déchets CSW (CSW : Céramique sanitaire).

Pour le béton élaboré avec les granulats CSW, Pitarch et al [49] ont trouvé que ces bétons recyclés ont développé des propriétés mécaniques similaires à celles des éprouvettes de référence (Figure II.04), qui diminuaient légèrement avec l'augmentation de la teneur en déchets.

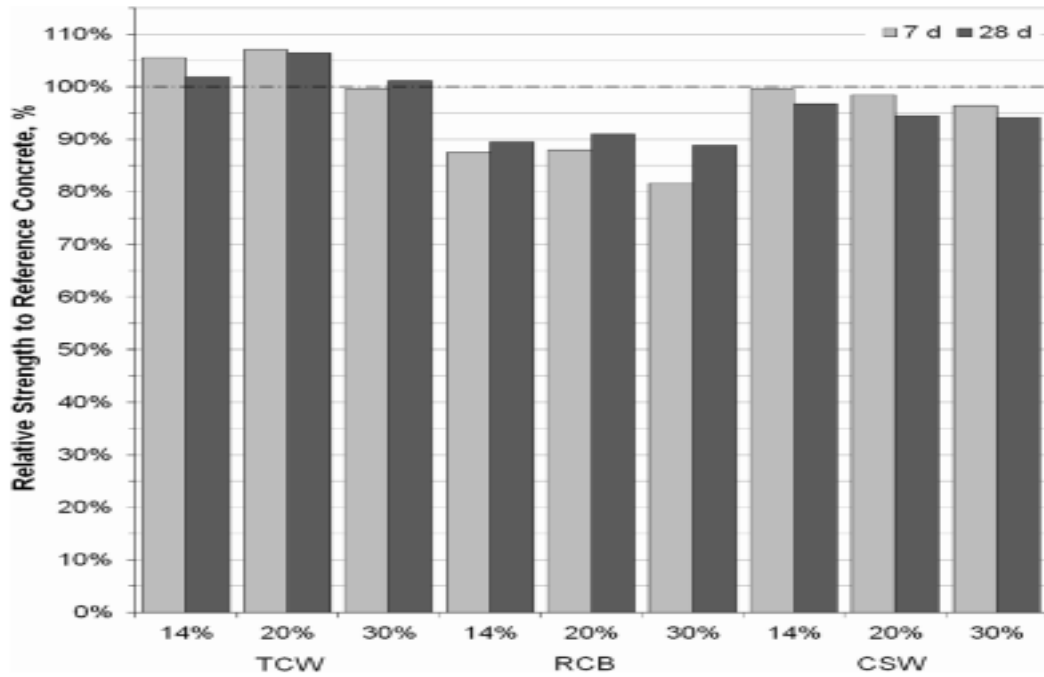


Figure (II.05) : Effet de déchets céramique sur la résistance à la compression comparée au béton témoins RC [49].

Alves et al. [50] ont trouvé que pour les mélanges contenant des granulats de déchet de céramique sanitaires (SWC), une diminution considérable de la résistance à la compression avec une augmentation du taux de remplacement a été observée, pour tous les âges (Figure II.06). À 7, 28 et 56 jours d'âge, la perte maximale de résistance, par rapport au béton de référence, était de 49,8 %, 42,5 % et 34,9 %, respectivement. Ils ont constaté que cette réduction de la résistance à la compression est due à l'augmentation du rapport eau/ciment effectif avec le taux de remplacement, ce qui a contribué à la réduction de la résistance de la pâte [50].

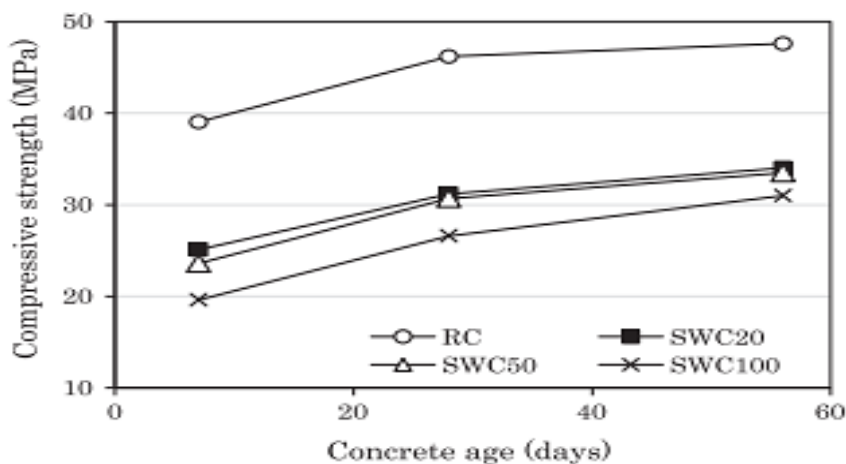


Figure (II.06) : Résistance à la compression en fonction du temps pour tous les taux de remplacement des agrégats naturels fins par des agrégats sanitaires fins recyclés (SWC).

- **Résistance à la flexion :**

Abadou [48] a étudié l'effet de remplacement de (0%, 10%, 20%, 30%, 40% et 50%) du sable naturel (MD : Mortier à base de sable de dune et MA : Mortier à base de sable alluvionnaire) par les déchets de céramique rouge (MS : Mortier avec déchets céramiques sanitaire et MF : Mortier avec déchets céramique faïence) sur la résistance à la flexion du mortier du ciment. Les résultats montrent que tous les mortiers à base de déchets céramique ont des résistances à la flexion assez proches que celle du mortier de référence (Figure II.07). Les résultats indiquent que l'incorporation des déchets céramiques a une influence très peu significative sur la résistance à la flexion et que la nature d'addition semble être un paramètre plus important que le taux de substitution [48].

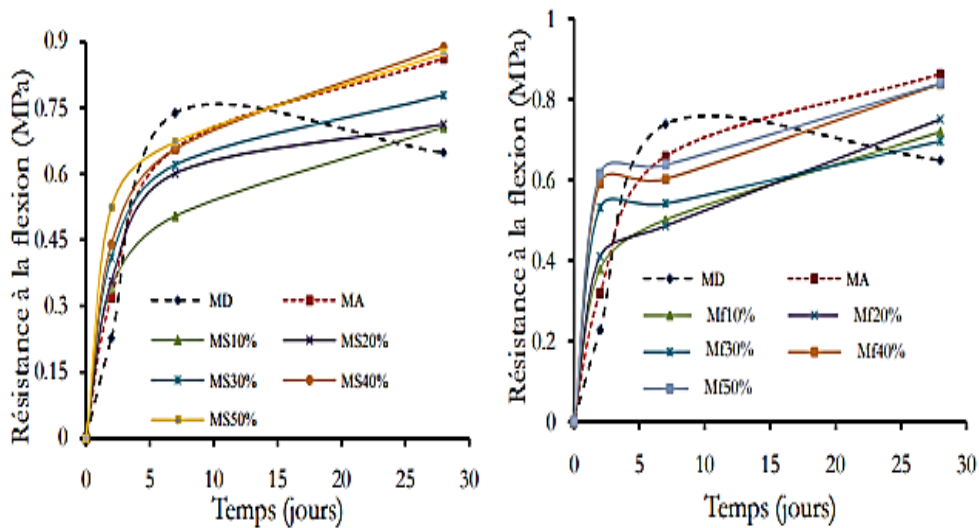


Figure (II.07) : Effet de déchets céramique rouge sur la résistance à la flexion des mortiers conservés dans l'eau [48].

Bommisetty et al. [51] ont trouvé que la résistance à la flexion est augmentée en fonction de substitution de 5%, 10%, 15%, 20% et 25% du granulat naturel par des déchets de céramique et passe par un optimum de 20%. Ils ont conclu que l'augmentation de la quantité de déchets céramiques remplit plus de vides dans le mélange de béton, ce qui augmente la résistance à la flexion, comme le montre la Figure II.08.

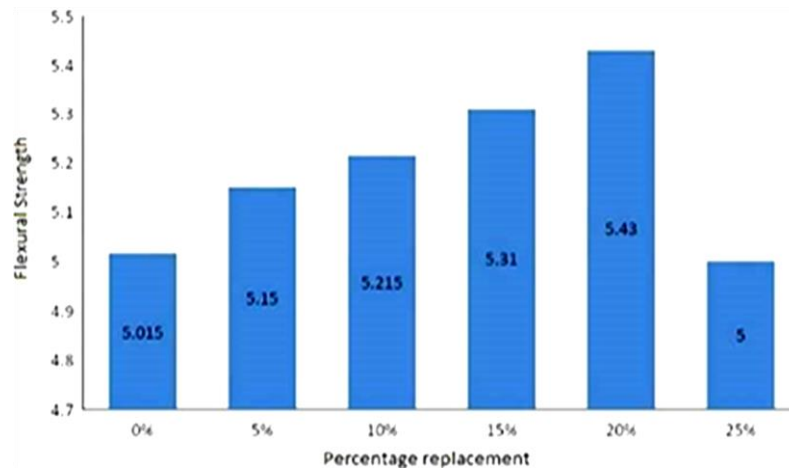


Figure (II.08) : Effet de déchets céramique sur la résistance à la flexion à 28 jours de cure [51].

Chapitre III

Caractérisation des matériaux utilisés et Méthodes Expérimentales

III.1. Introduction :

Ce chapitre est consacré à la présentation des matériaux qui ont été utilisés pour mener les différents essais expérimentaux de cette étude. Les matériaux employés dans cette étude sont d'origine locale. Il est essentiel de connaître les caractéristiques de ces matériaux dans le cadre de toute recherche, car chacune de ces caractéristiques peut avoir une influence significative sur les résultats de l'étude.

III.2 Objectif et Méthodologie de l'étude expérimentale :

En général, l'objectif notre étude expérimentale est la valorisation des déchets de céramique pour améliorer la qualité environnementale et économique du matériau cimentaire en utilisant efficacement les ressources disponibles et en réduisant les impacts négatifs des déchets sur l'environnement. Dans notre étude on a utilisé les déchets céramiques pour le remplacement partiel du ciment pour réduire l'impact négatif du ciment sur l'environnement et afin de connaître l'effet de cette incorporation de céramique sur les propriétés du mortier MAP.

Notre travail expérimental comporte plusieurs étapes importantes. La méthodologie commence par la collecte, la catégorisation et le tri des restes provenant de divers déchets céramiques. Ensuite, le résidu de céramique est préparé par concassage, nettoyage et broyage, puis nous l'ajoutons au ciment comme substituant partielle du ciment avec des pourcentages variant entre 5% et 20%.

III.3 Caractérisation des matériaux utilisés :

III.3.1 Ciment :

Un seul type de ciment CEMII/A-L 42,5 N a été utilisé dans cette étude. Le nom commercial de ciment est AWTED de la cimenterie de Laghouat EL –Beida. Les caractéristiques physico-mécaniques sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau (III.01) : Caractéristique physico-mécanique de ciment AWTED

Caractéristiques	Résultats	Unités	Norme
Début de prise (DP)	Plus de 60	Min	NA230 (EN 196-3)
Fin de prise (FP)	Plus de 240	Min	NA230 (EN196-3)
Surface spécifique (SSB)	3500	cm ² /g	NA231 (EN 196-6)
Résistance à la compression (2jours)	Plus de 10	MPa	NA234 (EN 196-1)
Résistance à la compression (28jours)	Plus de 42.5	MPa	NA234 (EN 196-1)

III.3.2. Déchets Céramique :

La préparation de la poudre de céramique pour son incorporation dans le mortier nécessite généralement une série d'opérations de traitement pour obtenir une poudre fine et homogène.

La principales étapes pour préparer la poudre de céramique sont les suivantes :

- Broyage : Le broyage est le processus de réduction de la taille des déchets céramiques en une poudre plus fine. Cela est effectué à l'aide d'un broyeur à boulets (Figure III.01).
- Tamisage : Après le broyage, la poudre de céramique est tamisée à travers des tamis pour éliminer les particules de taille excessive et obtenir une poudre avec une granulométrie uniforme.
- Séchage : La poudre de céramique doit être séchée pour éliminer toute humidité résiduelle, ce qui peut affecter les propriétés du mortier.
- Stockage : Une fois la poudre de céramique préparée, elle doit être stockée dans des conditions appropriées pour éviter la contamination ou l'humidité jusqu'à son utilisation dans le béton ou le mortier.



Figure (III.01) : Processus de broyage des déchets céramiques.

III.3.3. Sable :

Dans tous les mélanges, nous avons utilisé un sable alluvionnaire de classe 3,15 commercialisé au niveau de la wilaya de Laghouat (Figure III.02).

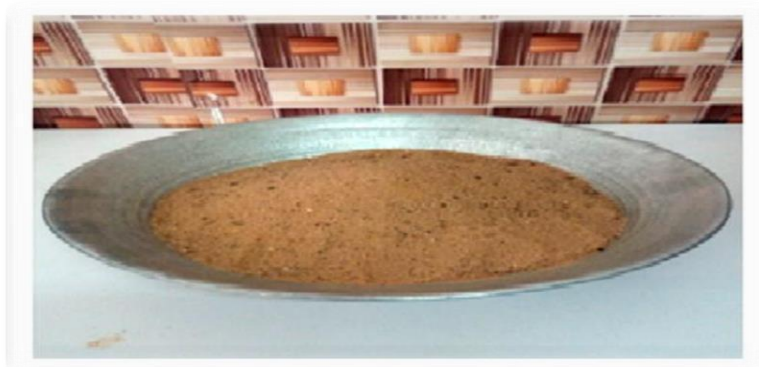


Figure (III.02) : Sable utilisé.

Une série d'analyses a été menée afin de déterminer les propriétés physiques et granulométriques de sable :

- **Analyse granulométrique par tamisage (NFP 18-560) :**

L'essai implique la classification des différents grains constituant un échantillon en utilisant une série de tamis emboîtés les uns sur les autres, avec des ouvertures de dimensions décroissantes du haut vers le bas. L'échantillon de sable est placé dans la partie supérieure des tamis et les grains sont classés en fonction de leur taille grâce à des vibrations de la colonne de tamis. Les résultats sont ensuite représentés dans un tableau et sous forme de courbe (Figure III.03).

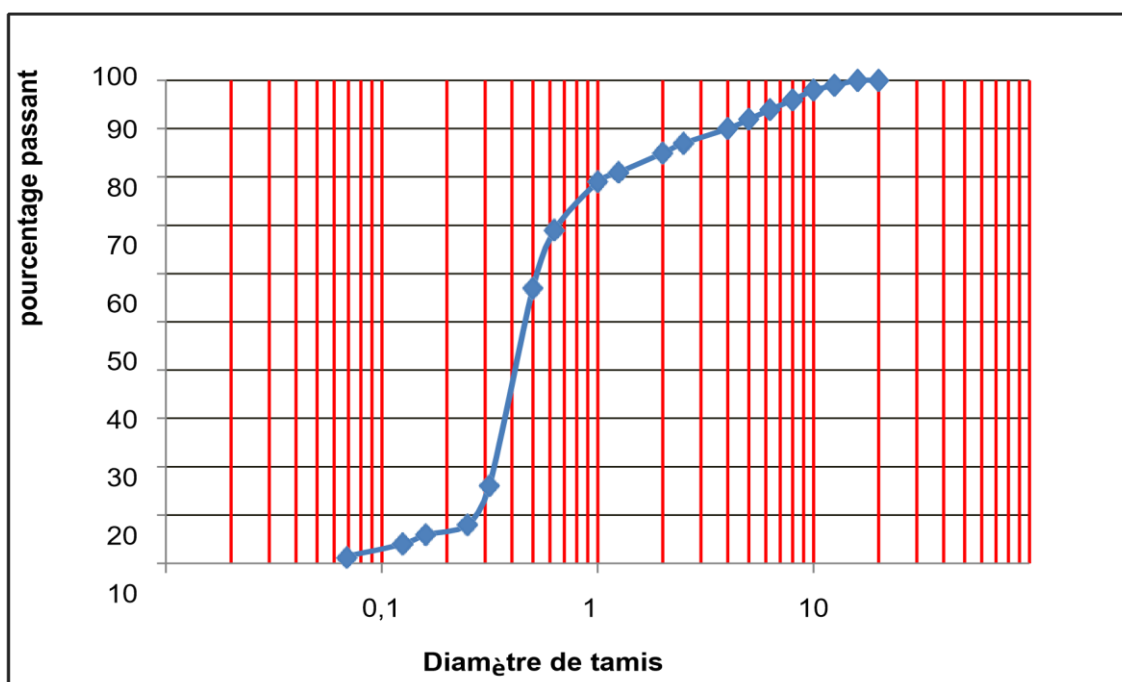


Figure (III.03) : Résultats de l'Analyse granulométrique du sable.

- **Module de finesse (NFP 18-540) :**

-Les sables doivent présenter une granulométrie telle que les éléments fins ne soient ni en excès, ni en trop faible proportion. Le caractère plus ou moins fin d'un sable peut être quantifié par le calcul du module de finesse(MF). Le module de finesse est d'autant plus petit que le granulat est riche en éléments fins. Selon la norme française [NFP 18-540], le module de finesse est égal au 1/100 de la somme des refus cumulés, exprimée en pourcentages sur les tamis de la série suivante : 0,16 - 0,315 - 0,63 - 1,25 - 2,5 - 5 mm. Lorsque MF est comprise entre :

- 1.8 et 2.2: le sable est à majorité de grains fins.
- 2.2 et 2.8 : on est en présence d'un sable préférentiel.
- 2.8 et 3.3: le sable est un peu grossier. Il donne des bétons résistants mais moins maniables.

Pour notre cas : $MF=(99.68+97.26+94.11+77.26+48.8+0.62)/100=4.18$

Le sable utilisé est un sable dont le module de finesse est de l'ordre de 4.18 : Ce sable est extrêmement grossier. La courbe ci-dessus confirme les résultats du module de finesse. Sur la courbe, le refus du tamis 0,16mm est de l'ordre de 99,68%. Cela montre que le sable manque de particules fines.

- **Masse volumique absolue (NFP 18-555):**

Cet essai est régi par la norme NFP 18-555, elle est définie comme étant la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat sans tenir compte des vides pouvant exister entre les grains (Figure III.04). Les résultats obtenus pour le sable de notre étude présentés dans le tableau III.02.



Figure (III.04) : Essais de la Masse volumique absolue du sable.

Tableau (III.02) : Résultat de la masse volumique absolue du sable.

Poids des agrégats Secs (g)	P1	500.00
Poids du récipient plein d'eau (g)	P2	2180.6 g
P1+P2 (g)	P3	2680.6g
Poids récipient + agrégats+eau (g)	P4	2489.4
Volume des agrégats	V	191.00
P3- P4 (g)		
Masse volumique Absolue (g/cm ³)	P1/V	2.62

- **Masse volumique apparente (NF P 18-554) :**

Cet essai est réalisé selon la norme NF P 18-554, elle est définie comme étant la masse de l'unité de volume apparente du corps, c'est-à-dire celle du volume constitué par la matière du corps et les vides qu'elle contient (Figure III.05). Les résultats obtenus pour le sable de notre étude présentés dans le tableau III.03.

- **Équivalent de sable (NF P 18-598) :**

La norme NF P 18-598 définit l'essai d'équivalent de sable, qui permet d'évaluer la propreté d'un sable. Cet essai est réalisé sur la fraction d'un granulat qui passe à travers un tamis à mailles carrées de 5 mm. Il fournit une indication globale sur la quantité et la qualité des éléments fins en exprimant un rapport conventionnel volumétrique entre les éléments sableux qui se déposent et les éléments fins qui se dispersent. L'essai est effectué sur la fraction 0/5 mm du matériau étudié.



Figure (III.05): Essai de la Masse volumique apparente du sable.

Tableau(III.03) : Résultats de la masse volumique apparente du sable.

	P _{n+T}	P ₀ (g)	P _h (g)	Réceptient V (g)	Poids moyen M(g)	Masse Volumique app P/V(g/cm ³)
P1	4876		3066			
P2	4872	1810	3062	2000	3066	1.53
P3	4880		3070			
P4	4874		3064			

L'équivalent de sable est déterminé à l'aide de la formule suivante :

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

H1 : hauteur du niveau supérieur du flocculat par rapport au fond de l'éprouvette.

H2 : hauteur du niveau supérieur de la partie sédimentée.

E_s : équivalent de sable.

Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau (III.04) : Résultats de l'essai équivalent de sable.

	Essai 1	Essai 2
Hauteur totale H1 (cm)	12.1	12.8
Hauteur des sable H2 (cm)	8.3	8.9
ES=H2/H1*100	68.59	69.53
ESmoyen (pour100)	69.06	

Après avoir testé des sables comparables et leurs résultats, nous avons constaté qu'il s'agissait bien d'un sable propre et très bien adapté à la construction de mortiers MAP.

III.3.4 Eau de gâchage :

Il est important de noter que certaines eaux peuvent contenir des impuretés qui peuvent avoir un impact sur les matériaux utilisés. Pour cela, une analyse chimique de l'eau est nécessaire pour déterminer la présence de ces impuretés. Les impuretés peuvent être des composés chimiques qui réagissent avec le ciment, les granulats ou les armatures, ou des particules en suspension indésirables. Un excès d'impuretés peut entraîner une détérioration des propriétés physiques et mécaniques du béton, comme le temps de prise et la résistance, ainsi que des

problèmes esthétiques tels que des tâches et des efflorescences, ainsi que des problèmes de durabilité, tels que la corrosion des armatures. Dans le cadre de cette étude, l'eau du robinet provenant du laboratoire LTPS de Ghardaia est utilisée pour la préparation du mortier MAP. Conformément à la norme NF EN 1008, l'eau potable est considérée comme utilisable pour la formulation de béton et de mortier et ne nécessite aucun essai.

III.3.5 Adjuvant :

Dans cette étude nous avons utilisé l'adjuvant super plastifiant utilisé est le VISCOCRETE® TEMPO 12 de SIKA® (Figure III.06). Il s'agit d'un super plastifiant/haut réducteur d'eau polyvalent spécialement conçu pour les bétons prêts à l'emploi. Ce produit est en conformité avec la norme NF EN 934-2. Il appartient à une nouvelle génération d'additifs super plastifiants non chlorés à base de copolymère acrylique. Les caractéristiques physiques et chimiques du super plastifiant sont présentées dans le tableau III.05.



Figure (III.06) : Adjuvant SIKA utilisé.

Tableau(III.05) : Caractéristiques physiques et chimiques du super plastifiant.

La désignation	Couleur	pH	Densité	Dosage	Cl ⁻	Na ₂ O
SIKAVISCOCRETE TEMPO12	Brun clair	4,5–6,5	1,06	0,2 à 3%	≤ 0,1%	≤ 1%

III.4 Formulation du mortier auto plaçant à base de poudre de céramique :

Dans cette étude, nous avons choisi le remplacement partiel du ciment par de la poudre de céramique préparée. Alors nous avons remplacé 5%, 10% ; 15%, ,20% du poids de ciment par la poudre de céramique pour préparer le mortier MAP.

Les proportions de ces mélanges ont été déterminées en respectant les limites spécifiées par les normes EFNARC pour les propriétés à l'état frais du mortier MAP. Pour la conception des mélanges, nous avons fixé le rapport pondéral sable/liant (S/L) constant à 2, ainsi que le rapport eau/ciment (E/C) constant pour tous les mélanges, fixé à 0,40. Le dosage du superplastifiant (SP) a été ajusté conformément aux recommandations pour obtenir la fluidité souhaitée du MAP. Le tableau suivant présente les détails des différents mélanges :

Tableau(III.06) : Représente les Différents types et dosages des mortiers auto plaçant

Mélange	Sable (g)	Eau (ml)	Ciment (g)	Poudre de céramique (g)	Adjuvants (%)	Étalement (D en cm)
Tém	1300	260	650	0	1,1	25
M5%	1300	260	617,5	32,5	1,1	24
M10%	1300	260	585	65	1,2	26
M15%	1300	260	552,5	97,5	1,3	24,5
M20%	1300	260	520	130	1,4	25

III.5 Confection des éprouvettes de mortiers auto-plaçant :

Le mode opératoire de malaxage est le suivant (Figure III.07) :

- Peser les constituants au moyen de la balance.
- Malaxer le ciment et la poudre très bien pendant 10 secondes, puis mettre le ciment-poudre et le sable dans le bol en prenant soin d'éviter toute perte de ciment , de la poudre ou de sable.
- Mettre immédiatement le malaxeur enmarche à petite vitesse pendant15 secondes.
- Introduire 70% d'eau pendant 45 secondes pendant 2 min et 30 secondes.
- Arrêter le malaxeur pendant les premières 30s et enlever au moyen d'une raclette en caoutchouc ou en plastique tout le mortier adhérent aux parois et au fond du bol et le placer au milieu du bol.
- A la fin reprendre le malaxage et mettre 30% d'eau + l'adjuvant à grande vitesse pendant t120s.
- Après malaxage le mortier est verser en deux couches dans des moules prismatiques en acier de dimension (4x4x16) cm³ (Figure III.08).
- La surface de moule contient le mortier MAP doit être bien arasée à l'aide d'une règle métallique placée lentement sur la face du moule.
- Les éprouvettes doivent rester dans le moule et doivent être protégées contre les vibrations, les chocs, et la dessiccation pendant un minimum de 16h et un maximum 3jour à la température de 20°C±5C.
- Les éprouvettes sont conservées dans une chambre humide à 20°C±2°C et d'humidité relative au moins égale à 95 %, pendant toute la période de l'étude.



Figure (III.07) : Opération de malaxage malaxeur du MAP.



Figure (III.08) : Moule de mortier utilisé vide et rempli.

III.6 Méthodes expérimentales

III.6.1. Essais réalisés sur le MAP à l'état frais :

Comme mon étude porte sur des mortiers autoplaçants, il est essentiel de vérifier leurs propriétés rhéologiques. Les mortiers autoplaçants doivent être hautement fluides, ce qui facilite leur mise en œuvre sans avoir besoin de secousses ou de vibrations. De plus, ces mortiers doivent également présenter une bonne stabilité, c'est-à-dire qu'ils ne doivent pas se ségréger. Ces caractéristiques rhéologiques sont les principales propriétés des mortiers autoplaçants.

❖ Essai au mini cône :

L'appareil se compose d'un moule tronconique creuse de 6 cm de hauteur 7 cm et du bas 10cm (Figure I.02). Le cône est placé au centre d'une plaque et rempli de mortier, le cône est soulevé et le mortier s'écoule sur la table (Figure III.09). Le diamètre est mesuré suivant les deux directions perpendiculaires.

$$D_{\text{moy}} = (D1 + D2) / 2$$



Figure(III.09) : Essai de Mini cône à mortier.

❖ Essais de l'entonnoir en V (V-funnel) :

L'essai d'écoulement à l'entonnoir (ou V-funnel test) est utilisé pour évaluer la fluidité et la viscosité des MAP. L'appareil utilisé se compose d'un moule creuse de 34cm de hauteur 37cm et du bas 3.9cm (Figure I.03). Un entonnoir de dimensions définies est rempli de mortier jusqu'en haut. Le clapet de fermeture situé à sa base est ensuite ouvert, on mesure le temps (T_v) que met le mortier à sortir de l'entonnoir jusqu'à ce que cet entonnoir soit entièrement vide. Ce temps d'écoulement, qui doit être compris entre 8 et 14 secondes, caractérise la viscosité du mortier (Figure III.10). Si le mortier s'écoule plus rapidement, c'est-à-dire que sa viscosité est trop faible.

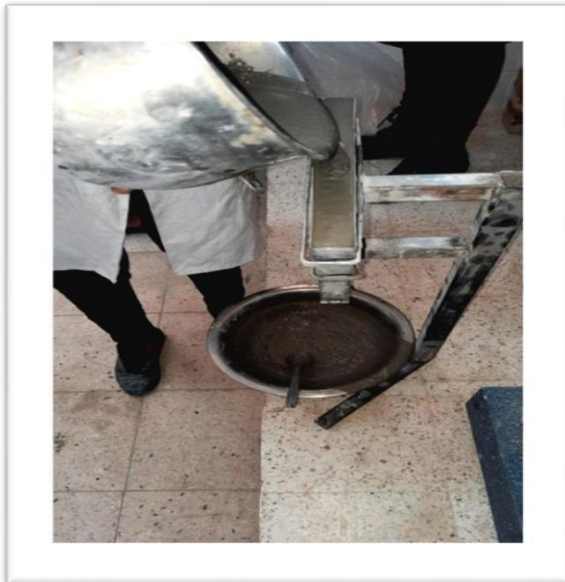


Figure (III.10) : Essai de l'entonnoir en V (V-Funnel).

III.6.2. Essais réalisés sur le MAP à l'état durci :

- **Essai de résistance à la compression :**

L'essai de la résistance à la compression s'effectue après avoir effectué l'essai de traction par flexion cette dernière permet de couper l'éprouvette en deux parties (Figure III.11) .

$$\sigma = (P_c / S)$$

Avec : σ : Contrainte de compression ; P_c : la charge de rupture à la compression ; S :section transversale de l'éprouvette.



Figure(III.11) : Essai de la résistance à la compression.

▪ **Essai de traction par flexion (NF P 15-471) :**

La résistance à la traction par flexion des mortiers a été évaluée par des essais de flexion trois points effectués sur des éprouvettes prismatiques (4x4x16) cm³ (Figure III.12).

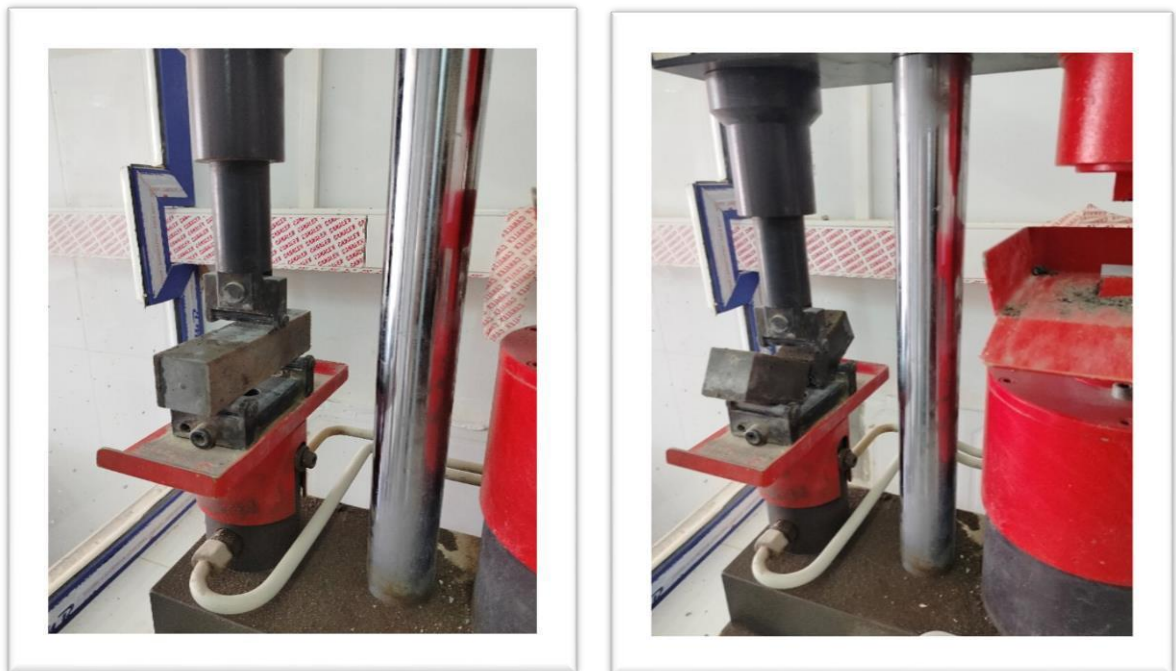
$$R_f = (1.5PL/a)$$

Avec : R_f :est la résistance en flexion en MPa.

a: est le côté de la section carrée de prisme en millimètres (mm) .

P: est la charge appliquée au milieu du prisme à la rupture en newtons (N)

L: est la distance entre les appuis en milli mètres(mm).



Figure(III.12) : Essai de la résistance à la flexion.

III.6.3. Évaluation de la durabilité du mortier MAP à l'attaque chimique :

Dans cette étude on a étudié la durabilité du mortier MAP immergé dans l'acide sulfurique H₂SO₄. L'acide sulfurique est utilisé dans deux pourcentages 5% et 2%. Les variations de la perte de masse des éprouvettes de mortier dans l'acide est noter et comparer aux éprouvettes conserver dans l'eau pendant une période de 28 jours.

▪ **Préparation des éprouvettes et conservation**

Pour mener l'étude sur la durabilité, les étapes suivantes sont nécessaires :

- ❖ couper les éprouvettes 4x4x16 cm³ par deux.
- ❖ Préparer des bassins pour les acides.
- ❖ Préparer les acides dans les proportions requises.
- ❖ Plonger les échantillons dans les différents bassins de l'acide (Figure III.13).

- ❖ Chaque semaine nous pesons les échantillons pour évaluer le degré de l'attaque et chaque 15 jour nous changeons l'acide.

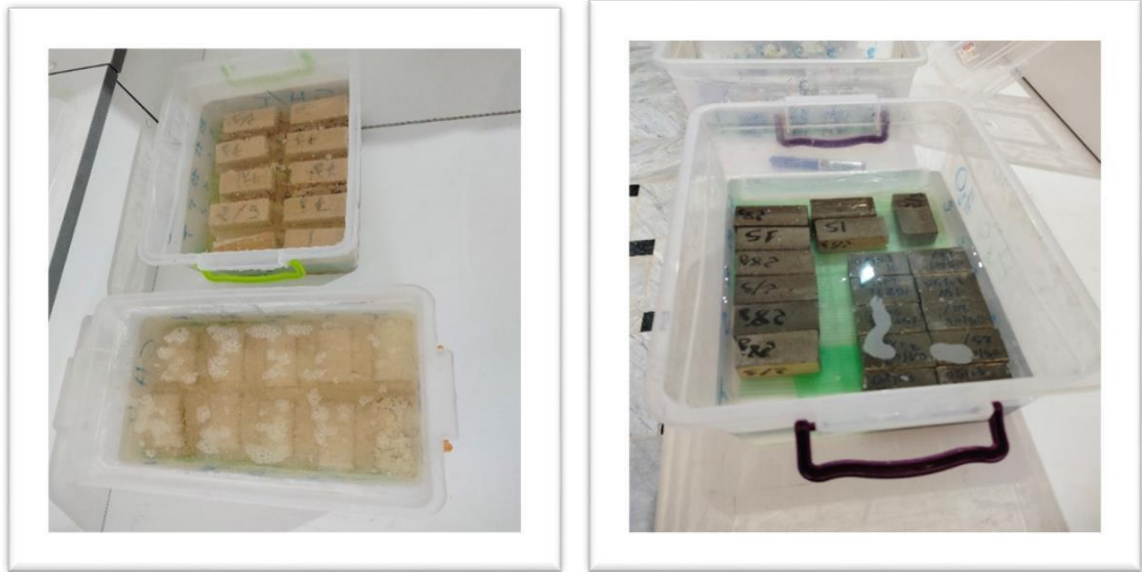


Figure (III.13) : Éprouvettes conservées dans d'acide H_2SO_4 .

Chapitre IV

RESULTATS ET DISCUSSIONS

IV.1 Introduction :

Dans ce chapitre, nous exposons les résultats de travail pratique effectué au niveau du laboratoire LTPS et au laboratoire de l'université de Ghardaïa. Les résultats de cette étude ont été présentés en trois parties qui sont les suivantes :

- La première partie : Consiste à caractériser les mortiers à l'état frais (essai d'étalement et la détermination du temps d'écoulement).
- La deuxième partie : Présente les caractéristiques mécaniques des mortiers (essai de la résistance à la flexion et à la compression).
- La troisième partie : présente les résultats de la durabilité contre l'attaque sulfatique.

IV.2 Résultats à l'état frais :

IV.2.1 Essais d'étalement au mini cône :

La Figure (IV.01) présente la variation de l'étalement des différents mortiers en fonction du pourcentage de la poudre de céramique utilisé.

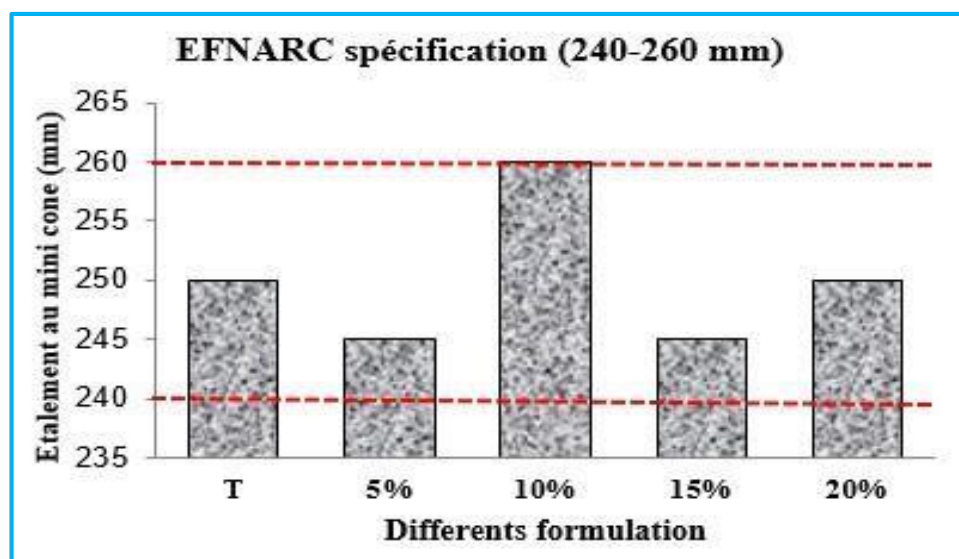


Figure (IV.01) : Résultats de l'essai de mini cône de mortier.

Les résultats montrent que le diamètre d'étalement pour les tous les types des mortiers réalisés se trouve dans l'intervalle des MAP défini par EFNARC qui est entre 24 et 26 mm. Nous re L'augmentation du diamètre d'étalement pour les mortiers est due à la présence du super plastifiant qui joue le rôle de fluidifiant et aussi la substitution du ciment par de poudre de céramique qui influe par la diminution des frottements entre les grains, par conséquent elles augmentent la fluidité du mortier.

Les résultats montrent aussi que l'étalement pour le mortier avec déchets céramiques est sensiblement identique à celle du mortier témoin pour un taux de substitution de 20%. Le mortier préparé avec 10 % de déchets en poids a présenté une augmentation de l'étalement par rapport de mortier témoin. Un léger abaissement de l'étalement des mortiers par l'addition des déchets céramiques en pourcentage 5% et 15% a été observé. Cela peut être attribué au pourcentage plus élevé de particules fines dans la poudre de céramique qui peut résulter à l'augmentation de l'absorption de l'eau de ces mélanges.

IV.2.2 Essai d'entonnoir (V-Funnel) :

Les résultats de la variation du temps d'écoulement de l'essai d'entonnoir (V-Funnel) en fonction du taux de poudre de céramique utilisé sont présentés sur la figure (IV.02).

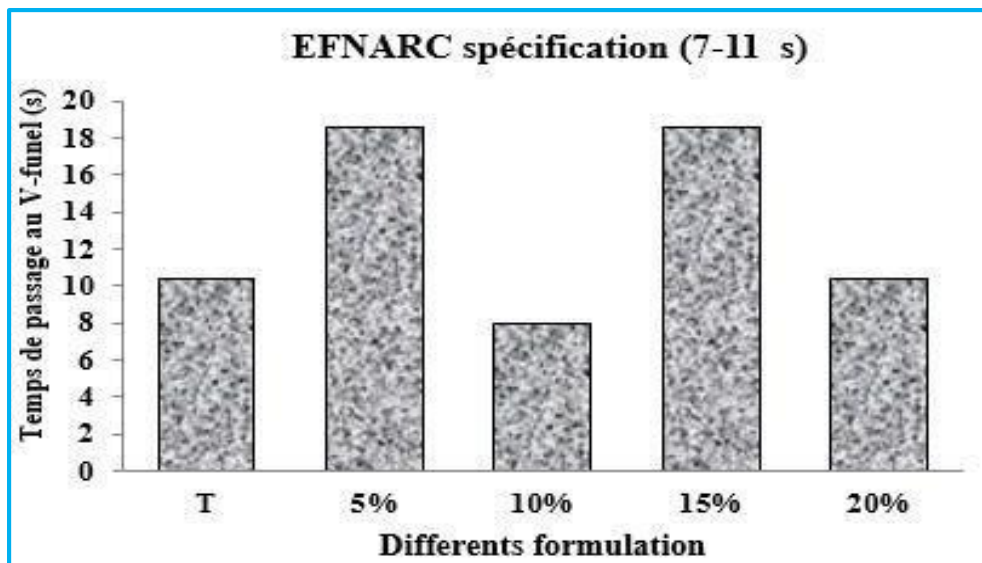


Figure (IV.02) : Essai d'entonnoir (V-Funnel)

Les mesures de temps de passage en utilisant l'entonnoir en V (Figure IV.2) montre que tous les mortiers s'insèrent dans la fourchette 7 – 11 seconds, mais tous les mortiers ont un temps d'écoulement supérieur à celle de mortier témoin. Nous constatons aussi que les résultats de temps de l'écoulement de mortier varient globalement de la manière semblable à l'étalement de mortier présenté précédemment.

IV.3 Résultats à l'état durci :

IV.3.1 Résistance à la compression :

La Figure (IV.03) montre une comparaison générale de la résistance à la compression du mortier incorporant la poudre céramique pour 2, 7, 28 et 56 jours de cure.

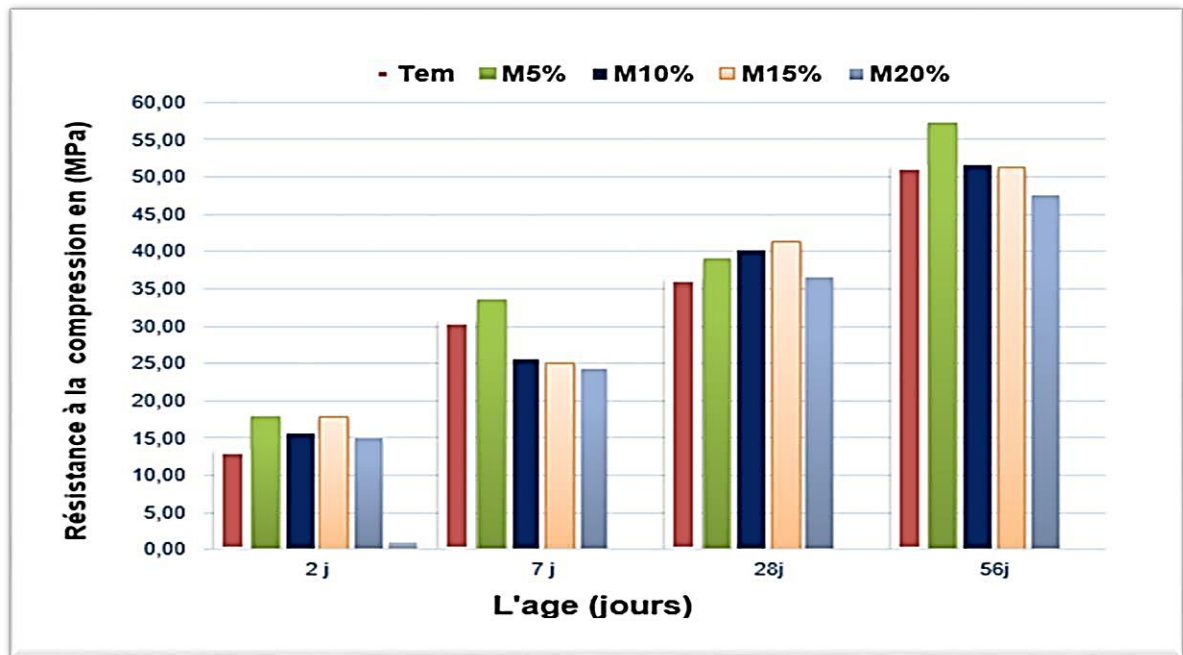


Figure (IV.03) : Histogramme des résultats de la Résistance à la compression.

D'après les résultats, on remarque que, pour tous les mortiers étudiés la résistance à la compression augmente progressivement avec le temps de cure. Ceci peut s'expliquer par la réaction d'hydratation du ciment dans les mortiers en fonction du temps. Dès l'âge de 2 jours, l'ensemble des mortiers présentent des résistances en compression dépassant la valeur de 10 MPa. On peut noter que les mortiers incorporant de la poudre de céramique ont des résistances élevées à jeune âge avec une vitesse d'hydratation plus rapide par rapport au mortier témoin. À 28 jours, nous remarquons que les mélanges qui contiennent de la poudre de céramique avec un pourcentage de 5%, 10% et 15% sont enregistrées des meilleures résistances que le témoin. On peut observer qu'à l'âge de 56 jours, la résistance à la compression du mortier avec un taux de substitution 5% de céramique est considérable. Alors que les mélanges qui contiennent 10% et 15% de la poudre de céramique développent des résistances similaires de celle de mortier témoin. Cependant, les mortiers avec un pourcentage de 20% de céramiques ont présenté toujours des résistances faibles par rapport au mortier témoin. Cela peut être attribué à la forte quantité d'eau absorbée dans ce mélange.

IV.3.2 Résistance à la flexion :

La Figure (IV.04) montre les résultats de la résistance à la traction du mortier pour les différents mélanges étudiés.

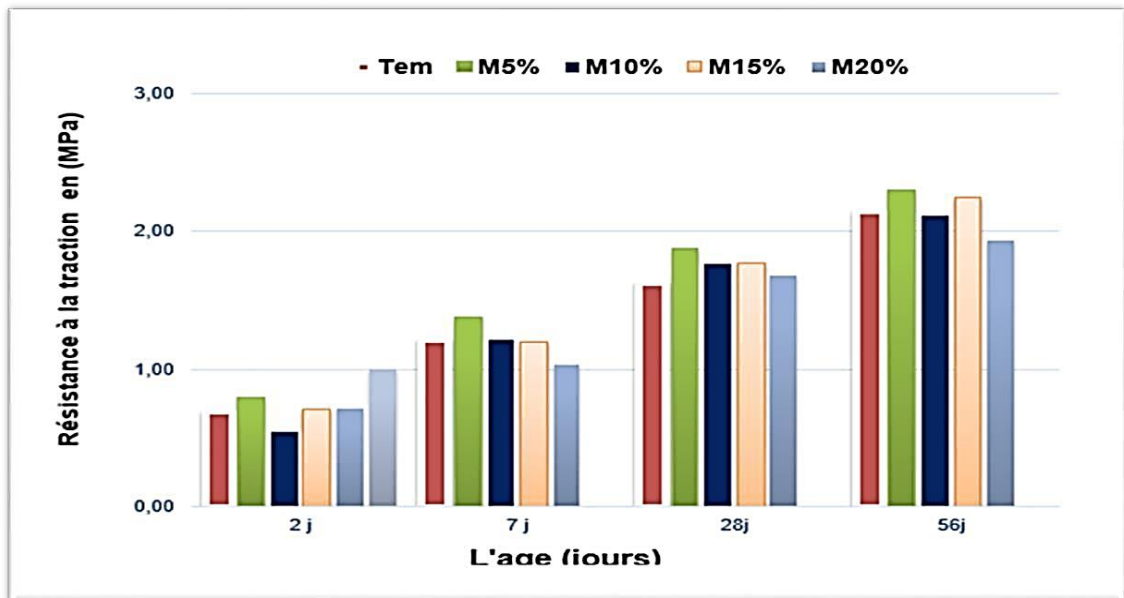


Figure (IV.04) : Histogramme des résultats de la résistance à la Traction

D'après les résultats, on remarque que, pour tous les mortiers étudiés la résistance à la flexion augmente progressivement avec le temps de cure. À l'âge de 2 jours, on peut noter que le mortier avec 10 % de déchets céramiques présente la plus faible résistance, alors que le mortier avec le pourcentage de 5% a enregistré la meilleure résistance par rapport au mortier témoin. Dès lors, nous remarquons que la résistance en flexion varie globalement de la manière semblable à la résistance en compression.

IV.4 Durabilité contre l'attaque de l'acide :

Les Figures IV.05 et IV.06 ci-dessous montrent l'évolution de la perte de la masse en fonction du temps des mortiers conservés dans l'acide sulfurique à 5% et à 2%, respectivement.

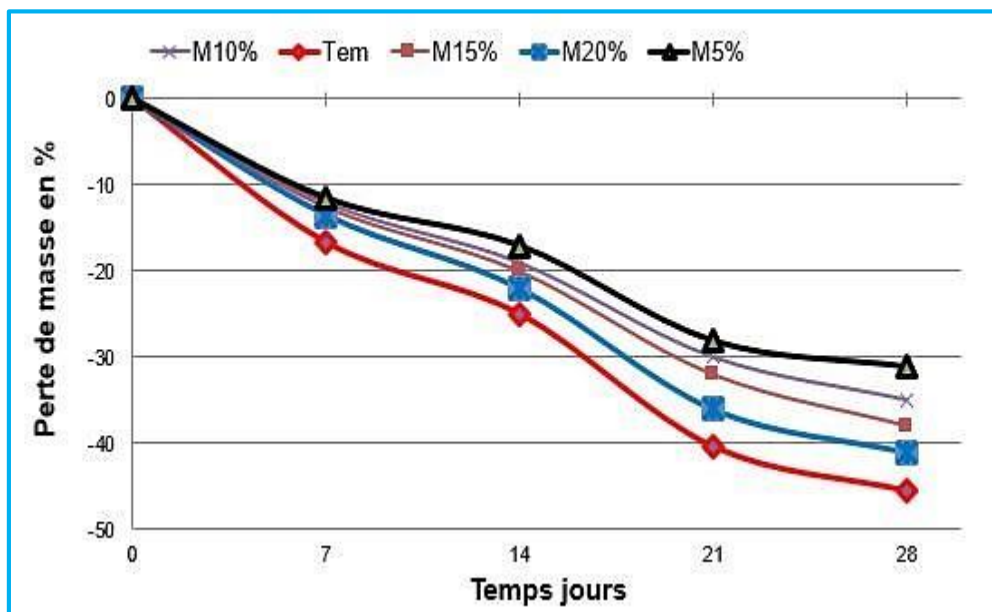


Figure (IV.05) : Perte de masse des mortiers conservés dans l'acide H₂SO₄ à 5%

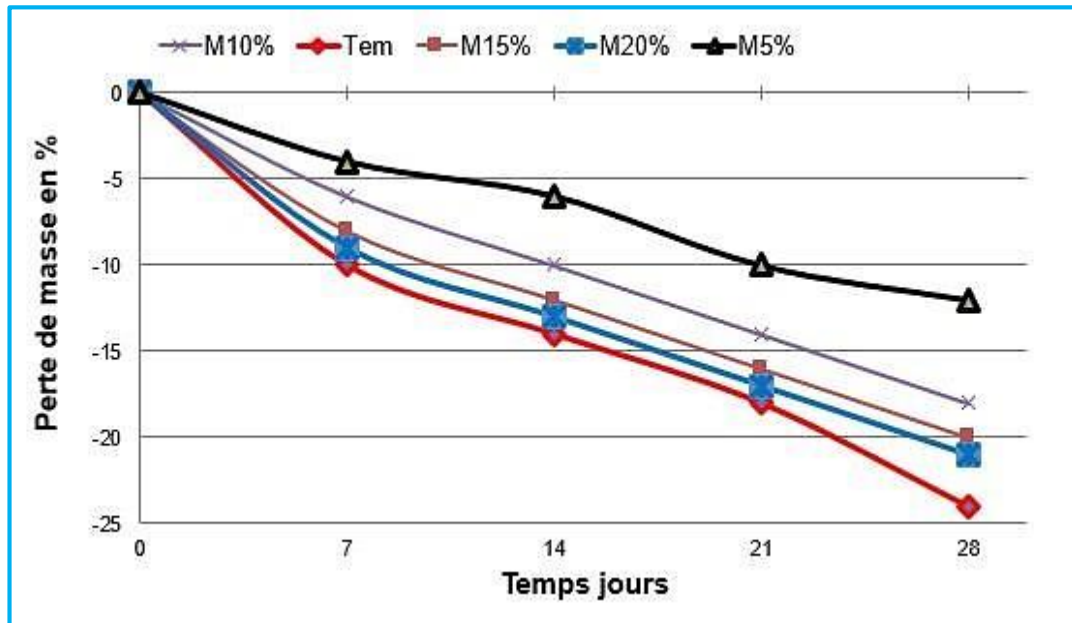


Figure (IV.06) : Perte de masse des mortiers conservés dans l'acide H_2SO_4 à 2%.

D'après les résultats, nous pouvons constater que l'incorporation des déchets céramiques dans le MAP conduit à une meilleure résistance à l'attaque de l'acide sulfurique. Cela peut être attribué à la faible porosité développée dans les mortiers incorporant les déchets céramiques comparativement au mortier sans déchets. L'augmentation de la résistance à l'attaque de l'acide par la présence des déchets céramiques contribue à l'amélioration de la durabilité du mortier.

La Figure IV.07 ci-dessous montre l'aspect visuel de la perte de masse des mortiers dans l'acide sulfurique.



Figure (VI.07) : Degré d'attaque par l'acide sulfurique.

Conclusion Générale

Dans ce travail, une étude a été réalisée sur l'effet de la poudre de céramique (déchet) sur les propriétés frais et durcies des mortiers auto-plaçant par substitution partielle du ciment. L'objectif principal de ce travail est de préserver l'environnement et de réduire la consommation de ressources naturelles, en recyclant les déchets de céramique. Les résultats expérimentaux obtenus donnent les conclusions suivantes :

*L'influence de la poudre de céramique comme substituant partie de ciment a été étudiée et discutée à partir de nombreux essais sur les mortiers MAP. Pour chacun d'eux, le comportement des mélanges à l'état frais et à l'état durci (performances mécaniques) à différentes échéances et pour différents taux de substitution de 5% à 20% est étudié.

*Nous avons remarqué que les meilleures performances de mortier MAP sont obtenues pour un taux de remplacement 5% qui permet l'obtention des résistances les plus élevées. Pour les résultats de maniabilité, le MAP avec un taux de remplacement 10% a permis de l'obtention de maniabilité plus élevée.

* L'étude de durabilité contre l'attaque de l'acide sulfurique montre l'effet positif de l'incorporation des déchets céramiques dans mortier.

*Par conséquent, la poudre de céramique peut être utilisée comme substitut partiel du ciment dans l'industrie du mortier.

Ce travail nous a permis de présenter l'effet positif de la présence de la poudre de céramique dans les mortiers qui peut :

- D'un point de vue environnemental, réduire la quantité de déchets et la pollution de l'environnement.
- Réduire les coûts de production de mortier.
- Améliorer les propriétés physiques et mécaniques du mortier.

Perspectives :

L'utilisation de la poudre céramique en remplacement partiel du ciment semble être une bonne opportunité pour réduire la consommation de ressources naturelles. Une attention particulière doit être portée à l'utilisation de ces matériaux en présence des armatures. Cependant, une étude plus approfondie reste à faire pour son développement surtout à long terme.

Références bibliographiques

- [1] NAOUM, M.A & SAYEH BEN AISSA, K. « Effets du filler calcaire sur la durabilité de mortier auto plaçant exposé aux attaques chimiques », mémoire master, université de Ghardaia, 2021.
- [2] Al-Araby Al-Jadeed Magazine : « Le surplus de ciment inquiète le gouvernement algérien » Consulté le 06/09/2021. Tiré de : <https://www.alaraby.co.uk/economy/> ???????????
- [3] Adjtoutah, L. et Bouzidi, F. « Utilisation de Metakaolin dans le ciment », mémoire Master, université A. Mira de Bejaia, 2016. ??????????
- [4] ?????????????????? « ?????????????? », mémoire de magister, université Mohamed Bougara de Boumerdes, 2013/2014.
- [5] Dupain, R., Saint-Arroman, J.-C. « Granulats, Sols, Ciments et Bétons », Editions Casteilla, 2009.
- [6] KHELAIFA, H. et TAGBA, M. « Etude expérimentale sur les mortiers à base de granulats de caoutchouc, de déchets de brique et d'adjuvant résineux », mémoire de master, université de Guelma, 2015.
- [7] BOUALI, K. « Elaboration et caractérisation thermomécanique des mortiers à base d'ajouts de déchets de briques réfractaires » mémoire de magister, Université Mohamed Bougara de Boumerdes, 2014.
- [8] Callister, W. « Science et génie des matériaux », Modolu Editeur, 2002.
- [9] Demix béton : « Mortier autoplaçanthttps » Consulté le 21/9/2023. Tiré de : [//www.demixbeton.ca/wp-content/uploads/2017/10/Mortier-autoplaçant.pdf](https://www.demixbeton.ca/wp-content/uploads/2017/10/Mortier-autoplaçant.pdf)
- [10] R. DUPAIN, R. LANCHON, J.-C. SAINT-ARROMAN «Granulat, sols, ciment et béton»
Edition
- [11] NASSAH, D. « Influence de la quantité de fibres naturelles (alfa) et commerciales (polypropylène) sur les propriétés physico mécaniques des mortiers fibrés », mémoire master , université de M'Hamed Bougara –Boumerdas, 2017.
- [12] THABET, R., ZAMAKIF, F.Z. « Etude des propriétés mécaniques des bétons de sable dedune renforcés par des déchets industriels », mémoire master, Université de Kasdi Merbah Ouargla, 2019.

- [13] BRIKI, L. « Contribution à l'étude expérimentale et théorique des mortiers confectionnés avec un sable local et préparé à base d'addition minérales », Université Mohamed Boudiaf - M'sila, 2019.
- [14] GC1712, « Durabilité ET réparation du béton ». Département Génie civil, Université de Sherbrooke-Canada, Avril 2009. ?????????????
- [15] BENCHIHEUB, D. « Contribution à l'étude de la compréhension des phénomènes et mécanismes d'action des effets des additions sur le comportement des matrices cimentaires » thèse de doctorat, Université 20 Août 1955-Skikda, 2019.
- [16] SYLVER .P. « Science des matériaux » université pierre de Marie curie 2005, 2006. ??????
- [17] MOUSSACEB, résumé de cours : « Matière recyclage des matériaux de construction (RMC) », Université de Bejaia.
- [18] GUELLIL, M.K. « Formulation des bétons autoplaçants par la méthode de la pâte en excès », mémoire de magister, université Abou Bakr Belkaid de Tlemcen, 2012.
- [19] AFGC : Association française de génie civil, « Recommandations pour l'emploi es bétons autoplaçants », 2^{ème} Édition. 2008.
- [20] Yurugi, M., Sakata, N., Iwai, M. and Sakai, G. « Mix Proportion for Highly Workable Concrete », Proceedings of the International Conference of Concrete, Dundee, 7-9 September 1993, pp. 579-589.
- [21] TANGTERMSIRIKUL, S., SAKAMOTO, J., SHINDOH, T. & MATSUOKA Y. « Evaluation of resistance to segregation of super workable concrete and role of a new type of viscosity agent », reports of the Technical Research Institution, N° 24, pp 369-376, 1991.
- [22] ?????????????????
- [23] DE LARRARD, F., BOSC, F., CATHERINE, C. & DE FLORENNE, F. « La nouvelle méthode des coulis de l'AFREM pour la formulation des bétons à hautes performances », Bulletin de liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées, N° 202, pp 61-69, Mars-Avril 1996.
- [24] Sedran T. (1999), « Rhéologie et rhéométrie des bétons : Application à la formulation des bétons autonivelants », thèse de Doctorat, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, France, 1999.
- [25] KUROIWA, S., MATSUOKA, Y., HAYAKAWA, M., & SHINDOH, T. « Application of super workable concrete to construction of a 20-story building », SP140: High Performance Concrete in Severe Environments, American Concrete Institute Detroit, Michigan. pp 147161, 1993.

- [26] SHINDOH, M.S., MATSUOKA, Y., TANGTERMSIRIKUL, S. & SAKAMOTO, J. « Effect of variation of material quality on properties of super workable concrete», Transactions of Japan Concrete Institute, V 14, pp 71-78, 1992.
- [27] Okamura, H. and Ouchi, M., «Self compacting concrete, development, present use and future », In Proceedings of the First International RILEM Symposium of Self Compacting Concrete, 1999.
- [28] Okamura, H., Ozawa, K., and Ouchi, M., «Self compacting concrete», Structural Concrete, (1):3_17, March 2000.
- [29] Okamura, H., and Ouchi, M., «Self Compacting Concrete», Journal of Advanced Concrete Technology, Vol. 1, No. 1, 5 15, April 2003.
- [30] Okamura, H. and Ouchi, M., «Self compacting concrete, development, present use and future», In Proceedings of the First International RILEM Symposium of Self Compacting Concrete, 1999.
- [31] KHAYAT, K.H. GHEZAL, A. & HADRICH, M. «Factorial design models for proportioning self-consolidating concrete», RILEM Materials and Structures. 1999
- [32] Khayat, K.H., Assaad, J., Daczko, J. «Comparison of Field oriented Test Methods to Assess Dynamic Stability of Self Consolidated Concrete», ACI Materials Journal, V. 101, No. 2, pp. 168 176, March –April 2004.
- [33] R'MILI, A. «Étude de formulation et de comportement des Bétons Auto-Plaçants : Incorporation du sable de concassage et du sable du désert», Noor Publishing, 2018.
- [34] BENCHAA B. KADRI, E., AZZOUZ, L., KENAI, S. «Properties of self-compacting mortar made with various types of sand», cement and concrete composites, V. 34, No. 10, pp. 1167-1173 , November 2012.
- [35] DEBIH, A. «durabilité d'un béton exposé à un milieu agressive (acide sulfurique), influence de la forme des granulats (concassé-roulées)», mémoire master, université Mohamed Boudiad de M'sila, 2016.
- [36] KADID, S., BOUSETHA, Z. «influence des milieux de conservation sur la durabilité des mortiers autoplaçants», mémoire master, université de M'Hamed Bougara –Boumerdas, 2017.
- [37] Thèse Doctorat de Ben Aissa ????????????????????
- [38] Ghani S., l'impact des déchets sur l'environnement port soudan 5240 doctoral dissertation ???????
- [39] E.P.A. 2017 : «Advancing Sustainable Materials Management: Facts and Figures report», Environmental Protection Agency, United States, 2017.??????????,

- [40] Medina, C, Ranchez de Rojas, MIS, Frías, M. «Reuse of sanitary ceramic wastes as coarse aggregate in eco-efficient concretes», cement and concrete composites, V. 34, No. 1, pp. 48-54, 2012.
- [41] KHELIFA, M.R. «Effet de l'attaque sulfatique externe sur la durabilité des bétons autoplaçants », thèse de doctorat, Université de Constantine, 2009.
- [42] <http://www.univ-setif.dz/facultes/ft/externe/departements/gc/Chapitre-II-Produits-ceramiques.pdf>. ??????????????????????
- [43] <http://paysdefayence.free.fr/ordures-menageres/bagnols112009/main1.htm>.?????????,
- [44] AZRAR Taous. «Influence du PH sur les propriétés physico-mécaniques d'un mortier autoplaçant», Mémoire Master, université Akli Mohand Oulhadje de Bouira, 2017/2018.
- [45] <http://www.univ-setif.dz/facultes/ft/externe/departements/gc/Chapitre-II-Produits-ceramiques.pdf> .?????????????
- [46] ADENOT F., «Durabilité du béton : caractérisation et modélisation des processus physiques et chimiques de dégradation du ciment», Thèse de doctorat, université d'Orléans, 1992.
- [47] OULAD MEBAREK, I., BOUKHARI C. «Effets de la poudre de gravier roulé sur la durabilité de mortier auto-plaçant exposé aux attaques chimiques», Mémoire Master, université de Ghardaïa, 2021.
- [48] ABADOU, Y. «Influence de l'ajout de déchets de céramique broyés sur les performances des mortiers à base de sable de dune », Thèse de doctorat, école nationale polytechnique, 2018.
- [49] Pitarch, A.M., Reig, L., Tomas, A.E., López, F.J. «Effect of tiles, bricks and ceramic sanitaryware recycled aggregates on structural concrete properties», Waste and Biomass Valorization. V. 10, pp. 1-15, 2017.
- [50] Alves, A.V., Vieira, T.F., de Brito, J, Correia, J.R. « Mechanical properties of structural concrete with fine recycled ceramic aggregates », Construction and building materials, V. 64, pp. 103-113, 2014.
- [51] Bommisetty, J., Keertan, T.S, Ravitheja, A., Mahendra, K. « Effect of waste ceramic tiles as a partial replacement of aggregates in concrete», material today : proceeding, V. 19 (2), pp. 875-877, 2019.
- [52] Rapport CCA ,(2002), Nations Unies La Mauritanie à l'aube du 21ème siècle Bilan commun de pays (CCA) Nouakchott, 118 pages.

Annexe



AWTED

CIMENT AUX PERFORMANCES ÉLEVÉES
(SUPER STRUCTURES)

NA 442-CEM II/A-L 42.5 N

CONFORMITÉ PRODUIT

NA442 : 2013 – EN 197-1 : 2012.

DESIGNATION NORMALISEE

NA 442-CEM II/A-L 42.5 N.

OUVRAGES EN MILIEUX NON AGRESSIFS

Coulage par temps chaud.

TRANSPORT DU BÉTON PRÊT À L'EMPLOI

FABRICATION

-PRODUIT 100% ALGERIEN

-Fabrication exclusive à l'usine Amouda Cement sise à El Beida Laghouat.

CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES

PROPRIETES CHIMIQUES

NA 5042 (EN 196-2) : S03 ≤ 3.5%

NA 5042 (EN 196-2) : chlorure ≤ 0.1%

PROPRIETES PHYSICO-MECANQUES

NA 230 (EN 196-3) : DP > 60 mn

NA 234 (EN 196-1) :

-Resistance à la compression 2 jours > 10 Mpa

-Resistance à la compression 28 jours > 42.5 Mpa

EMPLOIS ET USAGES CONFORME À VOS PROJETS

- Ouvrages en béton armé.
- Bétons autoplaçants.
- Dallages.
- sols industriels , chapes.
- Fondations.
- Travaux souterrains.
- Voiries et chaussées en béton.



NOS PRODUITS AUSSI



AL ESSES

NA 442-CEM I 42.5 N-LH/SR 5.

Ciment Résistant aux Sulfates.



AL IMRAN

NA 442-CEM II / B-L 32.5 R.

Ciment pour les professionnels de la construction

POUR PLUS D'INFORMATION VEUILLEZ CONSULTER NOTRE SITE WEB :

www.amoudaciment.com

Email : service.clients@amoudaciment.com

Direction commerciale

Lotissement 202, Section 4, Zone d'activité Amara,
Chéraga, Alger.

Tél. : 023 305 515
Fax : 023 30 55 14

Région Nord : 0655 521 235
Région Sud : 0658 363 463



Coordonnées usine

Commune El-Beidha, Gueltet Sidi Saad,
wilaya de LAGHOUAT

Tél. : 029 173 490
Fax : 029 17 34 91

Spécialiste Qualité : 0656 403 772



