



Ministère de l'enseignement supérieur
et de la recherche scientifique

Université Mohamed Boudiaf - M'sila

Faculté de technologie



Département de GENIE CIVIL

MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du diplôme de
MASTER

FILIERE : Génie Civil

SPECIALITE : Matériaux

THÈME

**Valorisation des déchets industriels
dans la formulation des mortiers
soumis à des températures élevées**

Dirigé par :
Pr RAHMOUNI Zine El Abidine.
Dr TEBBAL Nadia.

Présentée par :
DELALDJA Dalila.

Promotion: 2017/2018

Remerciement

Au mon dieu le clément et miséricordieux

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

Je remercie mes encadreur : Pr. RAHMOUNI Zine El Abidine et Dr. TEBBAL Nadia.

Je remercie : Mr TAHA MOHAMED : Gérant de laboratoire géotechnique.

- Ma soeur et mon ami : Ourida.
- Mon mari : SADKI Nadir

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

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

SOMMAIRE

Remerciement.

Dédicace.

Sommaire.

Liste des figures.

Liste des tableaux.

Résumé.

Introduction générale.....	1
-----------------------------------	----------

CHAPITRE I : Recherche bibliographique

I.1. Introduction.....	3
I.2.Mortier.....	3
I.2.1 Les différents types de mortiers	3
I.2.2 Classification des mortiers.....	4
I.2.3 Caractéristiques principales des mortiers.....	5
I.3.Déchets industriels.....	5
I.4. Déchet d'aluminium.....	7
I.5. Valorisation des déchets industriels.....	10
I.6 L'effet de la température élevée sur les caractéristiques de matériaux cimentaires.....	10
Conclusion.....	11

CHAPITRE II : Méthodologie et choix des matériaux

II.1. Introduction.....	13
II.2. Objectif du travail.....	13
II.3. Méthodologie du travail pratique.....	13
II.4 Les essais sur les matériaux.....	14
II.4.1 Les essais sur ciment.....	14
II.4.2. Les essais sur sable.....	15
II.4.3.Les essais sur mortier.....	17
II.5.Confection des éprouvettes.....	18
II.6.Conservation des éprouvettes.....	18
II.7 Estimation de perte de masse.....	19
II.8. Caractéristiques des matériaux utilisés.....	20
II.8.1.Ciment.....	20
II.8.2Eau de gâchage.....	20
II.8.3Sable.....	20
Conclusion.....	30

Chapitre III : Résultats et interprétation des différents essais réalisés sur les mortiers.

III.1. Introduction.....	32
III.2. Composition du mortier.....	32
III.3. Résultats des essais sur ciments.....	33
III.3.1. Consistance (Ouvrabilité).....	33
III.3.2. Temps de prise.....	34
III.4. Résultats des essais sur mortier.....	35
III.4.1. Masse volumique.....	35
III.4.2. Porosité.....	36
III.4.3. Essais de compression et flexion.....	38
Conclusion.....	38

Chapitre IV : Résultats et interprétations des essais sur mortiers soumis à des températures élevées.

IV.1. Introduction.....	40
IV.2. La perte de masse.....	40
IV.3. Essais de compression et flexion.....	41
Conclusion.....	45
Conclusion générale	47
Annexes	

LISTE DES TABLEAUX

Chapitre I

Tableau I-1 : Quantités des déchets produits par habitant dans les villes des quelques pays en développement.....	6
Tableau I- 2: Désignation des alliages d'aluminium corroyés.....	7
Tableau I-3: Désignation des alliages d'aluminium de fonderie.....	8

Chapitre II

Tableau II.1 : Classement de sable.....	15
Tableau II. 2 : Caractéristiques physiques du sable concassé (0/5) selon la norme NF EN 933-1.....	21
Tableau II. 3 : Analyse granulométrique de sable concassé (0/5) mm selon la norme NF EN 933-1.....	22
Tableau II. 4 : Caractéristiques physiques du sable (0/5) mm selon la norme NF EN 933-1.....	23
Tableau II. 5 : Analyse granulométrique de sable de Djamaa (0/5) mm selon la norme NF EN 933-1.....	24
Tableau II. 6 : Caractéristiques physiques du sable mixte (1/3SD 2/3 SC) selon la norme NF EN 933-1.....	25
Tableau II. 7 : Analyse granulométrique de sable mixte (1/3SD 2/3 SC) selon la norme NF EN 933-1.....	26
Tableau II. 8 : Caractéristiques physiques du déchet d'aluminium (0/3) mm selon la norme NF EN 933-1.....	27
Tableau II. 9 : Analyse granulométrique de déchet d'aluminium (0/3) mm selon la norme NF EN 933-1.....	29

Chapitre III

Tableau III.1 : Composition du différent type de formulations.....	32
---	----

LISTE DES FIGURES

Chapitre I

Figure I-1: Les différents types de mortiers.....	4
Figure I-2: Déchet d'aluminium.....	9
Figure I-3: Déchet d'aluminium collecté.....	9
Figure I-4: Méthodologie d'étude des déchets.....	10

Chapitre II

Figure II.1: Appareil de Vicat.....	14
Figure II.2: Appareillage de l'analyse granulométrique.....	15
Figure II.3: Appareillage de compression et flexion-traction des mortiers.....	17
Figure II.4: Appareillage de confection des éprouvettes.....	18
Figure II.5: Bacs de conservation des éprouvettes.....	19
Figure II.6 : Four et étuve.....	19
Figure II. 7: Ciment El MATINE CEM II B 42.5.....	20
Figure II. 8: Sable utilisé dans la formulation de mortier.....	22
Figure II. 9: Courbe granulométrique de sable concassé (0/5) mm.....	23
Figure II. 10: Courbe granulométrique de sable de Djamaa (0/5) mm.....	25
Figure II. 11: Courbe granulométrique de sable mixte (1/3SD + 2/3 SC).....	27
Figure II. 12: Déchet d'aluminium.....	28
Figure II.13: Courbe granulométrique des déchets d'aluminium.....	29
Figure II.14: Courbes granulométriques de sable mixte et déchet d'aluminium.....	30

Chapitre III

Figure III.1: Consistance normale de la pâte de ciment en fonction de pourcentage du déchet d'aluminium.....	33
Figure III.2: Variation des temps de prise en fonction de pourcentage du déchet d'aluminium.....	34
Figure III.3: Variation de masse volumique en fonction de pourcentage du déchet d'aluminium.....	35
Figure III.4: Variation de porosité fonction de pourcentage du déchet d'aluminium.....	36
Figure III.5: Variation de porosité et la masse volumique en fonction de pourcentage du déchet d'aluminium.....	37

Figure III.6: Texture poreuse des mortiers a base de déchet d'aluminium.....	37
Figure III.7: Variation de R_{c28} et R_{f28} en fonction de pourcentage du déchet d'aluminium.....	38

Chapitre IV

Figure IV.1 : Variation de la perte de masse pour les différentes compositions de mortier soumis à différents températures (50 °C; 100°C ; 150 °C; 200°C ; 400°C et 600 °C).....	40
Figure IV.2 : variation de la perte de masse pour les différentes températures (50 °C; 100°C ; 150 °C; 200°C ; 400°C et 600 °C).....	41
Figure IV.3 : Variation R_{c28} pour les différents mortiers soumis à des températures (50 °C; 100°C ; 150 °C; 200°C ; 400°C et 600 °C).....	42
Figure IV.4 : Variation R_{c28} et R_{f28} pour la formulation1 soumis à des températures (50 °C; 100°C ; 150 °C; 200°C ; 400°C et 600 °C).....	42
Figure IV.5 : variation R_{c28} et R_{f28} pour la composition2 soumis a des températures (50 °C; 100°C ; 150 °C; 200°C ; 400°C et 600 °C).....	43
Figure IV.6 : Variation R_{c28} et R_{f28} pour la formulation soumis à des températures (50 °C; 100°C ; 150 °C; 200°C ; 400°C et 600 °C).....	43
Figure IV.7 : Variation R_{c28} et R_{f28} pour la formulation soumis à des températures (50 °C; 100°C ; 150 °C; 200°C ; 400°C et 600 °C).....	44

LISTE DES SYMBOLES

ρ_{abs} (g /ml): Masse spécifique absolue.

ρ_{apc} (g /ml):Masse volumique apparente a l'état compact.

ρ_{apl} (g /ml):Masse volumique apparente a l'état lâche.

p_c (%):Porosité a l'état compact.

p_l (%):Porosité à l'état lâche.

C_c (%):Compacité à l'état compact.

C_l (%):Compacité à l'état lâche

e_c (%):Indice des vides à l'état compact.

E_{sv} (%):Equivalent de sable visuel.

E_{sp} (%):Equivalent de sable visuel

M_f : Module de finesse du sable.

TP : Travaux public.

Résumé

Cette étude a pour objectif la valorisation du déchet d'aluminium comme ajout dans les matériaux de construction à matrice cimentaire. Le but principal de cette étude est de mettre en évidence la possibilité de recycler les déchets d'aluminiums et l'utiliser comme ajout dans le mortier. L'étude est une caractérisation des matériaux utilisés qui permet de formuler des mortiers à base du déchet d'aluminium soumis à des températures élevées. Dans ce sens, nous avons étudié une série d'essais, en variant le taux d'ajout d'aluminium. Une comparaison des résultats avec un mortier témoin sans ajout est établie.

Les résultats obtenus montrent qu'il est possible d'utiliser le déchet d'aluminium dans les matériaux cimentaires.

Les résistances mécaniques des différents mortiers augmentent progressivement avec l'augmentation de la température jusqu'à 200 °C et un pique très remarquable pour tous les mortiers à 200 °C. Au-delà de ce pique les résistances soit à la compression ou à la traction montrent une chute. A 600 °C un éclatement pour toutes les formulations de mortier.

Mots clés : Valorisation, Déchet d'aluminium, Mortier, Résistance mécanique, Température élevée.

ملخص

والغرض الرئيسي إلى تثمين نفايات الألمونيوم كإضافة للمواد المستعملة في المصفوفة الإسمنتية تهدف هذه الدراسة هو تسليط الضوء على إمكانية إعادة تدوير نفايات الألمونيوم واستخدامها كإضافة للملاط.

هذا البحث هو بمثابة وصف للمواد المستخدمة التي سمحت بتشكيل أنواع من الملاط أساسه مخلفات الألمونيوم المعرضة لدرجات حرارة عالية. كل النتائج المحصل عليها قورنت مع نتائج الملاط الشاهد بدون إضافات للألمونيوم. وعلى هذا الأساس ، درسنا سلسلة من الاختبارات ،مع تغيير في نسبة إضافة الألمونيوم وكذا درجات الحرارة .

النتائج المتحصل عليها أثبتت بان بقايا نفايات الألمنيوم يمكن تثمينها وإعادة استعمالها في الخلطات الإسمنتية وكذا الملاط . وان المقاومات الميكانيكية لمختلف أنواع الملاط تعرف تزايد مع ارتفاع في درجات الحرارة إلى غاية 200 درجة مئوية وتصل الذروة في درجة 200 درجة مئوية .ابتداء من 200 درجة . نلاحظ انخفاضاً لكل المقاومات حتى تتحطم كل العينات في درجة 600 درجة مئوية.

كلمات مفتاحية : تثمين، بقايا الألمنيوم، ملاط، مقاومة ميكانيكية، حرارة عالية .

Abstract

This study aims to valorize aluminum waste as an addition to cementitious matrix building materials. The main purpose of this study is to highlight the possibility of recycling aluminum waste and use it as an addition to the mortar. The study is a characterization of the materials used to formulate mortars based on aluminum waste subjected to high temperatures. In this sense, we studied a series of tests, varying the rate of addition of aluminum. A comparison of the results with a control mortar without addition is established.

The results obtained show that it is possible to use aluminum waste in cementitious materials.

The mechanical strengths of the various mortars increase gradually with increasing temperature up to 200 °C and a very remarkable spike for all mortars at 200 °C. Beyond this spike resistances either compression or traction experienced a fall. At 600 °C rush for all mortar formulations.

Key words: Valorization, Aluminum waste, Mortar, Mechanical resistance, High temperature.

Introduction générale

Introduction générale

Les déchets industriels ont trouvé leurs places comme additifs aux matériaux cimentiers dans la fabrication des bétons et des mortiers de ciment. Parmi ces déchets, la fumée de silice, le laitier granulé de haut fourneau, les cendres volantes ...etc. Ces déchets peuvent être incorporés dans le béton comme ajout minéral ou granulats fins (sable), afin d'améliorer certaines propriétés à l'état frais (telles que la fluidité et la prise) ou à l'état durci (telles que la résistance mécanique et la durabilité du béton). Cependant, il existe d'autres types de déchets qui nécessitent d'être recyclés, à savoir les déchets d'aluminium.

Comme la valorisation des déchets dans le génie civil est un secteur important dans la mesure où les produits que l'on souhaite obtenir ne sont pas soumis à des critères de qualité trop rigoureux. Le recyclage des déchets touche deux impacts très importants à savoir l'impact environnemental et l'impact économique.

Le but de cette étude est de valoriser les déchets d'aluminium pour les réutiliser en tant que sable (par substitution partielle du sable naturel (0/5) mm) dans la confection des mortiers.

Ce travail présente une étude expérimentale sur la formulation et la caractérisation physico-mécanique des mortiers soumis à des températures élevées à base de déchet industriel. Une étude expérimentale a été réalisée pour évaluer les propriétés des mortiers à l'état frais et à l'état durcis par la substitution du sable par le déchet d'aluminium à différents pourcentages.

Le présent travail est subdivisé en quatre (4) chapitres, répartis comme suit :

- **Le chapitre I:** Une étude bibliographique sur les mortiers et les déchets industriels et l'effet de la température élevée sur le mortier.
- **Le chapitre II:** Un procédé de caractérisation de chaque constituant du mortier, ainsi que la méthodologie suivie pour réaliser ce travail.
- **Le chapitre III:** Résultats et interprétation des différents essais réalisés sur les mortiers.
- **Le chapitre IV:** Résultats et interprétations des essais sur mortiers soumis à des températures élevées.

Enfin, une conclusion générale qui clôture ce mémoire en synthétisant les principaux résultats obtenus dans notre travail.

Chapitre I :

Etude bibliographique

Chapitre I : Recherche bibliographique

I.1. Introduction :

Le présent chapitre est une étude bibliographique des travaux de recherche sur les mortiers, les déchets industriels et l'effet de température élevée sur le mortier.

I.2.Mortier :

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 diffèrent selon les réalisations et d'adjuvant. Ils peuvent être très différents les uns des autres selon la nature et les pourcentages des constituants, le malaxage, la mise en œuvre et la cure.

I.2.1 Les différents types de mortiers :

a- Les mortiers de ciment :

Les mortiers de ciments sont très résistants, prennent et durcissent rapidement. Le dosage du rapport entre le ciment et le sable est en général volumétrique de 1/3 et le rapport de l'eau sur ciment est environ 1/2. De plus, un dosage en ciment les rend pratiquement imperméables. En revanche, il est davantage sujet au retrait. [1]

b- Les mortiers de chaux :

Les mortiers de chaux sont gras et onctueux. Ils durcissent plus lentement que les mortiers de ciment. Les mortiers de chaux sont moins résistants par rapport aux mortiers de ciment.

c- Les mortiers bâtards :

Ce sont les mortiers, dont le liant est le mélange de ciment et de chaux. Généralement, On utilise la chaux et le ciment par parties égales, mais on mettra une quantité plus ou moins grande de l'un ou de l'autre suivant l'usage et la qualité recherchée. Les chaux apportent leur plasticité, les ciments apportent la résistance mécanique et un durcissement plus rapide.

d- Les mortiers fabriqués sur chantier :

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

e - Le mortier industriel :

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

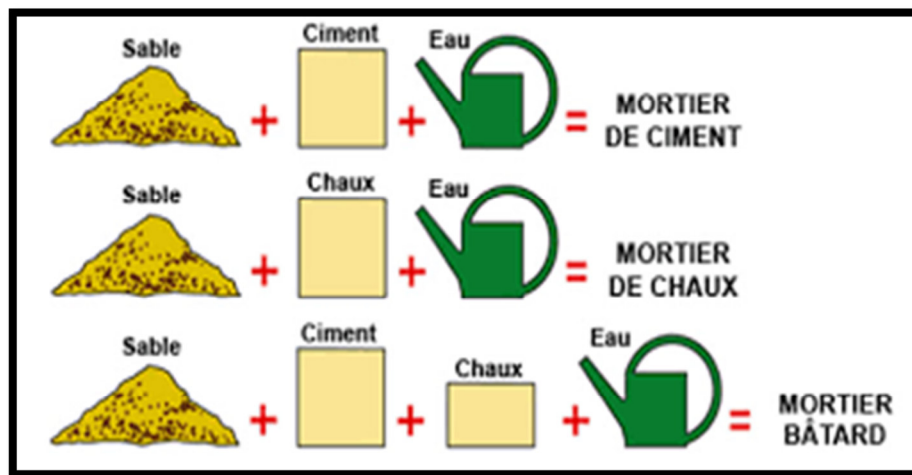


Figure I-1: Les différents types de mortiers. [2]

I.2.2 Classification des mortiers :

La classification des mortiers est comme suite:

❖ Selon leur domaine d'utilisation:

Généralement les mortiers varient selon leur domaine d'application, et ce dernier 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.
- Pierres artificielles.

- Support pour les peintures murales.
- Mortier d'injection.
- Mortier de réparation pour pierres.

❖ **Selon la nature du liant**

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

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

I.2.3 Caractéristiques principales des mortiers :

Les caractéristiques principales des mortiers sont :

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

I.3.Déchets industriels:

Un déchet industriel est un type de déchet produit par l'activité de l'industrie et qui affecte négativement le bien-être. Les secteurs les plus visés sont : les manufacturiers, la construction, les services et l'agriculture. Il existe depuis le début de la révolution industrielle. Les déchets industriels qui peuvent être triés, collectés et recyclés sont de plusieurs ordres :

a-Déchets industriels spéciaux. (DIS):

Équivalent de déchets d'activités économiques dangereux : déchets toxiques, déchets chimiques ou encore déchets nucléaires. Ceux-ci nécessitent des techniques de précautions particulières de protection de l'environnement et d'un contrôle administratif renforcé en matière de stockage ou de transport.

b-Déchets inertes:

Équivalent de déchets d'activités économiques inertes : déchets qui ne subissent aucune modification physique, chimique ou biologique importante. Ils sont principalement issus du BTP.

c-Déchets industriels banals. (DIB) :

Équivalent de déchets d'activités économiques non dangereux non inertes: ils sont en général composés de papiers, cartons, plastiques, bois, métaux, verres, matières organiques, végétales ou animales, résultant de l'utilisation d'emballages, de rebuts ou de chutes de fabrication. Ces déchets sont plus faciles à valoriser ou à recycler que les autres déchets.

Tableau I-1 : Quantités des déchets produits par habitant dans les villes des quelques pays en développement. [3]

Pays	Villes	Quantités des déchets (Kg/hab./jr)
Algérie	Alger	0,75 – 1,00
Burkinafaso	Ouagadougou	0,62
Burkinafaso	Bobo Dioulasso	0,55
Malaisie	Kuala Lumpur	1,70
Malaisie	(Moyenne nationale)	0,50 – 0,80
Cameroun	Yaoundé	0,85
Cameroun	Bafoussam	0,37
Maroc	Rabat	0,60
Maroc	Grand Casablanca	0,89
Maroc	(Moyenne nationale)	0,75
Chine	Hong - Kong	0,70
Chine	Guangzhou	0,40
Mauritanie	Nouakchott	0,21
Mexique	Mexicali	0,59
Mexique	Guadalajara	0,51
Philippines	(Moyenne Urbaine)	0,50
Philippines	(Moyenne rurale)	0,30
Vietnam	(Moyenne nationale)	0,61
Inde	(Moyenne nationale)	0,41
Brésil	Uberlândia	0,51

I.4. Déchets d'aluminium:

Comme L'aluminium et ses alliages occupent une place considérable non seulement dans la construction de fenêtres, de vitrines, de portes, de revêtements de façades, c'est-à-dire pour des objets à caractère décoratif. On les emploie également de plus en plus pour des éléments de coffrage, des constructions de toits, des canaux pour câbles, etc., donc pour un usage fonctionnel.

Les alliages d'aluminium sont subdivisés en groupes sur base de leurs propriétés telles que traitement thermique et mécanique et éléments d'alliage principaux ; il existe deux grandes familles d'alliage d'aluminium :

- **Alliage d'aluminiums corroyés:** sont des alliages à base d'aluminium destinés pour la majorité à être transformés par des techniques de forge (laminage, filage, matriçage, forge, etc.).
- **Alliage d'aluminium de fonderie:** sont des alliages dont le constituant principal est l'aluminium, destinés à être transformés par des techniques de fonderie. Ils sont souvent nommés « alliages légers » du fait de leur masse volumique nettement inférieure à celles d'autres métaux utilisés dans l'industrie.

Tableau I- 2: Désignation des alliages d'aluminium corroyés. [4]

SÉRIES D'ALLIAGES	ÉLÉMENTS D'ALLIAGES PRINCIPAUX
1XXX	99% d'aluminium minimum
2XXX	cuivre
3XXX	manganèse
4XXX	silicium
5XXX	magnésium
6XXX	magnésium et silicium
7XXX	zinc
8XXX	autres éléments

Tableau I-3: Désignation des alliages d'aluminium de fonderie. [4]

SÉRIES D'ALLIAGES	ÉLÉMENTS D'ALLIAGES PRINCIPAUX
1XX.X	99% d'aluminium minimum
2XX.X	cuivre
3XX.X	silicium + cuivre et/ou magnésium
4XX.X	silicium
5XX.X	magnésium
6XX.X	n'existe pas
7XX.X	zinc
8XX.X	étain
9XX.X	autres éléments

Le déchet d'aluminium est très intéressant du point de vue de son recyclage et de sa valorisation. Les différentes origines des déchets d'aluminium sont les :

a-Déchets neufs facile: chutes de fabrication, composition bien connue facilement recyclable.

b-Déchets neufs complexe: chutes de production et de transformation avec traitements de préparation et d'affinage plus complexes.

c-Déchets usagés : objets divers (véhicules automobiles, déchets de démolitions, emballages de produits, boîtes-boissons. Il existe actuellement plus de 400 alliages d'aluminium (alliages corroyés) et plus de 200 alliages de fonderie.



Figure I-2:Déchet d'aluminium.



Figure I-3:Déchet d'aluminium collecté

1.5. Valorisation des déchets industriels:

Valorisation : tout traitement où utilisation des déchets qui permet de leur trouver un débouché ayant une valeur économique positive. Le terme général valorisation englobe réemploi recyclage et réutilisation. Lorsqu'on souhaite inventorier toutes les possibilités de traitement qui peuvent être utilisées pour un déchet donné, on peut adopter la démarche (méthodologie d'étude) suivante :

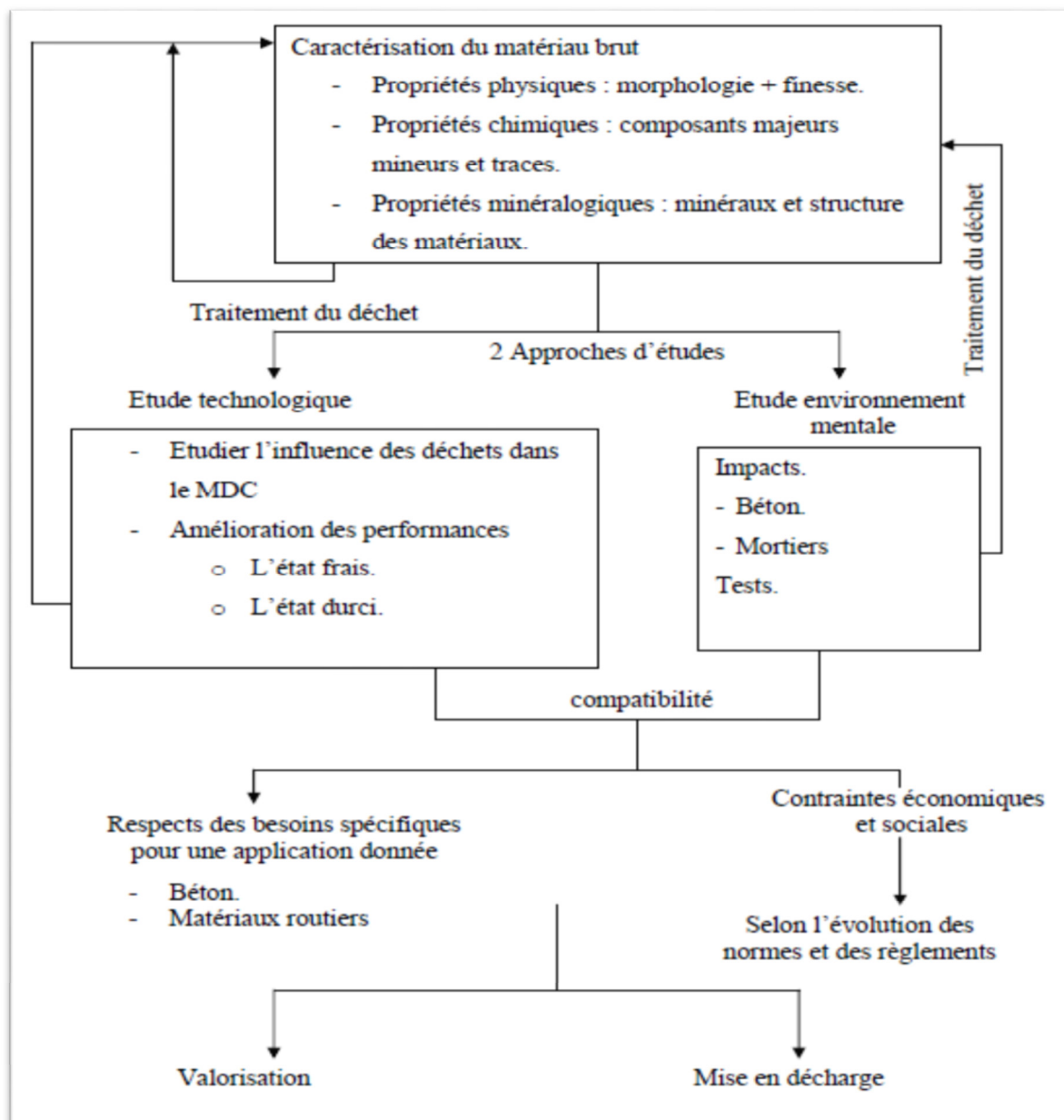


Figure I-4: Méthodologie d'étude des déchets. [5]

I.6 L'effet de la température élevée sur les caractéristiques de matériaux cimentaires :

Lorsque le matériau cimentaire est soumis à des températures élevées comme lors d'un incendie, plusieurs transformations chimiques et physiques ont lieu engendrant une dégradation de ses propriétés mécaniques.

Les principaux mécanismes sont:

- Une augmentation de la pression de vapeur d'eau dans les pores.

- Un comportement non identique de la pâte de ciment et des granulats dû à des coefficients thermiques d'expansion différents et une transformation des hydrates de la pâte de ciment.

La pâte de ciment subit différentes transformations avec l'élévation de la température: L'étrangéité se déshydrate complètement entre 130 et 170°C. Les gels de CSH commencent à subir une première transformation à partir de 80 °C. Une partie de la décomposition des CSH contribue à une augmentation de la calcite (CaCO_3) et de la larnite (C_2S). La décomposition de la portlandite (Ca(OH)_2) intervient entre 450 et 550 °C en se transformant en de la chaux vive (CaO) et de l'eau [6].Après refroidissement, la réhydratation de la chaux entraine une augmentation de volume d'environ 40 % pouvant entrainer un éclatement du béton.

Pour les granulats siliceux, à 573°C, le quartz se transforme en quartz., transformation s'accompagnant d'un gonflement des granulats. A partir de 700°C, le carbonate de calcium présent notamment dans les granulats calcaires se décompose en chaux vive en libérant duCO_2 . [7]

Conclusion:

Ce chapitre présente une étude bibliographique sur les mortiers, les déchets industriels et leurs valorisations d'une façon générale ainsi que l'effet de la température élevée sur les mortiers. On a conclure que :

-Une construction se caractérise par l'assemblage d'éléments de maçonnerie dont la liaison est assurée au moyen de mortier. Le mortier s'obtient grâce à un mélange d'eau, de sable et d'un liant (ciment et chaux) pour sceller les éléments, les lier entre eux, ou comme enduit. En fonction de l'objectif visé, le type de mortier est différent.

-La formulation de nouveaux matériaux résistant aux incendies nécessite la connaissance de l'évolution de leurs caractéristiques mécaniques, physiques et chimiques sous hautes températures. Les dégradations et la perte de la résistance mécanique des mortiers, sont dues ; d'une part, à l'évolution physico-chimique du matériau et d'autre part, au développement de fortes pressions de vapeur et des fortes contraintes mécaniques d'origine thermique.

Chapitre II :

Méthodologie et choix des matériaux

CHAPITRE II : Méthodologie et choix des matériaux

II.1. Introduction :

Les matériaux utilisés dans cette étude, ont un rôle très important dans la détermination des propriétés des mortiers à l'état frais et durci. Donc, il est nécessaire de connaître les différentes caractéristiques des constituants rentrant dans la formulation des mortiers car chacun pourrait influencer considérablement sur les résultats d'étude.

Dans ce chapitre, nous avons procédé à la caractérisation de chaque constituant du mortier. La méthodologie suivie pour réaliser ce travail sera aussi présentée dans ce chapitre.

II.2. Objectif du travail :

Notre objectif est d'étudier la valorisation des déchets d'aluminium dans la formulation des mortiers soumis à des températures élevées.

Le sable est substitué par le déchet d'aluminium (0/3) mm à des proportions (0%, 2.5%, 5%, 7.5% et 10% du poids de sable). L'objectif de cette technique est d'avoir un mortier de qualité comparable à un mortier témoin.

II.3. Méthodologie du travail pratique :

La caractérisation de tous les matériaux utilisés en premier lieu :

- Le ciment (CPJ CEM II/B-L42.5) "EL MATINE", Lafarge Hammam Dhalaa M'sila »;
- Le sable (0/5) mm de la région d'Oued Souf " Djamaa ";
- Le sable concassé (0/5) mm de la carrière (Cosider) de Bord Bou Arreridj;
- Déchet d'aluminium (0/3) mm;
- Eau de gâchage (l'eau de robinet).

En second lieu, nous avons déterminé la composition du mortier témoin ainsi que toutes les variantes des mortiers étudiés à partir de la proportion de déchet. Des essais

physico-mécaniques, ont été ensuite réalisés sur des mortiers afin d'évaluer l'effet de la température sur ce mortier.

Enfin, une conclusion générale est présentée qui traitera l'ensemble des points issus de cette étude.

II.4 Les essais sur les matériaux :

II.4.1 Les essais sur ciment :

Consistance (Ouvrabilité) :

Objet : c'est la détermination de la consistance normalisée de la pâte de ciment selon les spécifications de la norme européenne *EN 196-3*. [8]

Principe de l'essai: dans cet essai, la consistance est caractérisée par le temps que met le mortier pour s'écouler sous l'effet de la vibration.

Temps de prise :

Objet : c'est la détermination du temps de prise du ciment selon les spécifications de la norme européenne *EN 196-7*. [9]

- Le temps de début prise correspond à la lecture de 6 ± 3 mm noté à partir du temps zéro.
- Le temps de fin de prise correspond à la lecture de 0,5 mm noté à partir du temps zéro.



Figure II.1: Appareil de Vicat

II.4.2. Les essais sur sable :

- Analyse granulométrique des différents sables utilisés:

Objet: c'est la détermination et la répartition d'un matériau suivant leurs dimensions selon les spécifications de la norme européenne. *EN 933-1. [10]*

Principe de l'essai : L'essai consiste à fractionner au moyen d'une série de tamis un matériau en plusieurs classes granulaires de tailles décroissantes. Les masses des différents refus et tamisates sont rapportées à la masse initiale du matériau. Les pourcentages ainsi obtenus sont exploités sous forme graphique

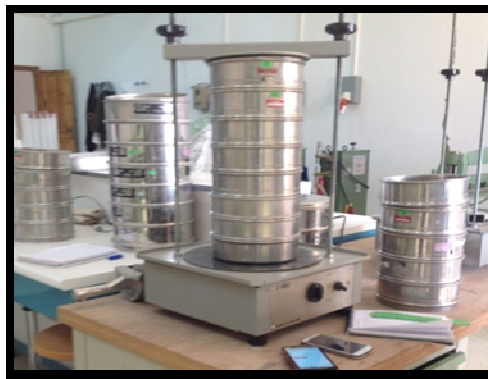


Figure II.2: Appareillage de l'analyse granulométrique

- Module de finesse : Le module de finesse (M_f) est une facture très importante qui nous de juger la qualité du sable, il est donné par la relation suivant :

$$M_f = \sum Ri/100$$

Tableau II.1 : Classement de sable.

Quantité de sable	Module de finesse
Gros	> 2.5
Moyen	2 à 2.5
Fin	1.5 à 2.0
Très fin	11.0 à 1.5

- **Equivalent de sable :**

But: Cet essai a pour but de mesurer la propreté d'un sable, c'est-à-dire la quantité de particules fines et éléments fins présents dans le sable *Norme EN 933-8*. [11]

Principe de l'essai: L'essai consiste à laver l'échantillon de sable puis déterminer la quantité d'éléments fins (argile, limons et impuretés) contenues dans cet échantillon, par rapport à la quantité d'élément sableux. C'est le rapport multiplié par cent (100) de la hauteur de la partie sédimentée à la hauteur totale du floculat et de la partie sédimentée, nous avons:

- L'équivalent de sable piston : mesure au piston (E.S.P).
- L'équivalent de sable visuel : (E.S.V).

L'essai est réalisé à 20 °C sur une fraction de sable passant par un tamis de 5mm.

- **Equivalent de sable visuel (E.S.V):**

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

$$ESV = (h_2 / h_1) \cdot 100$$

h_1 : La hauteur du sable + éléments fins

h_2 : La hauteur entre le niveau supérieur de la partie sédimentaire et fond de l'éprouvette.

- **Equivalent de sable piston (E.S.P) :**

Introduire le piston dans l'éprouvette et descendre doucement jusqu'à ce qu'il repose sur le sédiment. A cet instant bloquer le manchon du piston et sortir celui-ci de l'éprouvette.

Introduire le réglet dans l'encoche du piston jusqu'à ce que le zéro vienne buter contre la face intérieure de la tête du piston.

Soit h_2' la hauteur lue et correspondant à la hauteur de la partie sédimentée.

$$ESP = (h_2' / h_1) \cdot 100$$

II.4.3. Les essais sur mortier :

- Essai de compression par flexion :

But de l'essai : Le but est de déterminer la résistance à la compression du béton.

Les essais sont souvent effectués sur les éprouvettes prismatiques de 4 cm x 4 cm 16 cm conservés dans l'eau à 20 °C. Les éprouvettes sont rompues en traction par flexion puis en compression.

Objet : Cette instruction a pour objet la détermination des résistances mécaniques à la compression sur mortier de ciment, selon les spécifications de la norme européenne *EN 196-1*. [12]

Principe de l'essai : L'essai consiste à étudier les résistances à la traction et à la compression d'éprouvettes de mortier normal. Dans un tel mortier la seule variable est la nature de liant hydraulique; la résistance du mortier est alors considérée comme significative de la résistance du ciment.



Figure II.3: Appareillage de compression et flexion-traction des mortiers

- Essai de porosité: [13]

La porosité c'est le pourcentage des vides, est calculée par la formule suivante:

$$P = \frac{M_a - M_e}{M_a - M_i}$$

Ou :

P: porosité ou volume des vides(%);

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

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

M_i : poids à l'eau après immersion et ébullition(g).

II.5.Confection des éprouvettes :

Pour la préparation des éprouvettes, nous avons procédé de la façon suivante :

1. Préparer une série des moules des dimensions 4cm × 4cm ×16 cm convenables avec la quantité du mortier ;
 2. Huiler les moules et vérifier leurs serrages ;
 3. Placer les moules sur une table vibrante ;
 4. Remplir les moules par le mortier, l'exécuter en deux couches ;
 5. Compacter le mortier à l'aide d'une table vibrante, en appliquant 120 secondes.
- En fin, il faut qu'elle soit bien arasée à l'aide d'une règle métallique et placée lentement sur la face du moule.



Figure II.4: Appareillage de confection des éprouvettes

II.6 Conservation des éprouvettes :

Après 24 h de la confection des éprouvettes et après le décoffrage on les conserve dans l'eau. Ensuite les éprouvettes conservées dans l'eau jusqu'à 28 jours.

Finalement les éprouvettes ont été exposées à une température élevée variant de 20 °C, 50°C, 100 °C, 150 °C, 200 °C, 400 °C et 600 °C avec une vitesse de la montée en température de 10 °C/min. Le procédé expérimental appliqué repose sur chargement thermique puis mécanique.



Figure II.5: Bacs de conservation des éprouvettes.

II.7 Estimation de la perte de masse :

Les éprouvettes conservées dans l'eau ont été pesées d'abord, ensuite elles sont exposées aux températures de 20 °C, 50°C, 100 °C, 150 °C, 200 °C, 400 °C et 600 °C avec une vitesse de la montée en température de 10°C/min.

Les taux de diminution de la masse des éprouvettes est déterminé à partir :

$$T(\%) = (\Delta m \cdot 100) / m_1$$

- $\Delta m = m_1 - m_2$;
- T: taux de perte de masse;
- m_1 : poids avant expositions à la température;
- m_2 : poids après expositions à la température.



Figure II.6 : Four et étuve du laboratoire

II.8. Caractéristiques des matériaux utilisés :

II.8.1 Ciment :

MATINE est un ciment (CPJ CEM II/B-L 42.5N) gris de haute performance Conformant à la norme Algérienne (NA 442-2013) et Européenne (EN 197-1) ,destiné à la construction des ouvrages d'Art, infrastructure et superstructure pour bâtiments (Voir annexe).



Figure II. 7: Ciment El MATINE CEM II B 42.5

II.8.2 Eau de gâchage :

L'eau utilisée pour le gâchage de mortier est une eau potable du réseau public de la ville de M'sila.

II.8.3 Sable:

Elément inerte entrant dans la composition des bétons peut être naturel ou artificiel ou provenant de recyclage. Les caractéristiques principales requises pour un bon sable à béton sont la propreté définie par l'essai d'équivalent de sable et la granularité. Les sables utilisés sont premièrement le sable concassé (0/5) mm de la carrière (Cosider de Bordj Bou Arreridj), et le deuxième sable de (0/5) mm de région de Djamaa (Oued Souf).

Après traitement du sable, on a obtenu les résultats des essais physiques et l'analyse granulométrique suivant :

-Sable concassé:

Les résultats des essais sur le sable concassé sont résumés aux tableaux suivants :

Tableau II. 2 : Caractéristiques physiques du sable concassé (0/5) mm selon la norme
NF EN 933-1

Caractéristiques	Résultats
Masse spécifique absolue ρ_{abs} (g /ml)	2.72
Masse volumique apparente a l'état compact ρ_{apc} (g /ml)	1.49
Masse volumique apparente a l'état lâche ρ_{apl} (g /ml)	1.34
Porosité a l'état compact p_c (%)	45.22
Porosité à l'état lâche p_l (%)	50.73
Compacité à l'état compact C_c (%)	54.78
Compacité à l'état lâche C_l (%)	49.27
Indice des vides à l'état compact e_c (%)	0.82
Equivalent de sable visuel E_{sv} (%)	72.61
Equivalent de sable visuel E_{sp} (%)	67.33

- Observation:

1. $M_f = 5,6 > 2,5$: sable gros.
2. $65\% \leq E_{SV} < 75\%$ et $65\% \leq E_{SP} < 70\%$: Sable légèrement argileux de propriété admissible pour des bétons de qualité courante quand on ne craint pas particulièrement le retrait.



Figure II. 8: Sable utilisé dans la formulation du mortier.

Les résultats de l'analyse granulométrique sur le sable concassé sont présentés sur le tableau suivant :

Tableau II. 3 : Analyse granulométrique de sable concassé 0/5 selon la norme NF EN 933-1

Tamis (ouverture) (mm)	Masse des refus cumulés R_i (g)	Refus cumulés (g)	Pourcentage refus cumulés (%)	Pourcentage tamisât cumulés (%)
5	1,93	1,93	0,12	99,87
2,5	258	259,93	17,32	82,67
1,25	683,23	943,16	62,8	37,12
0,63	355,06	1298,23	86,54	13,45
0,315	142,06	1440,3	96,02	3,98
0,16	36,36	1476,66	98,44	1,55
0,08	19,6	1496,26	99,75	0,24
Fond de tamis	2,73	1499	99,93	0,06
Module de finesse du sable			$M_f = 5,6$	

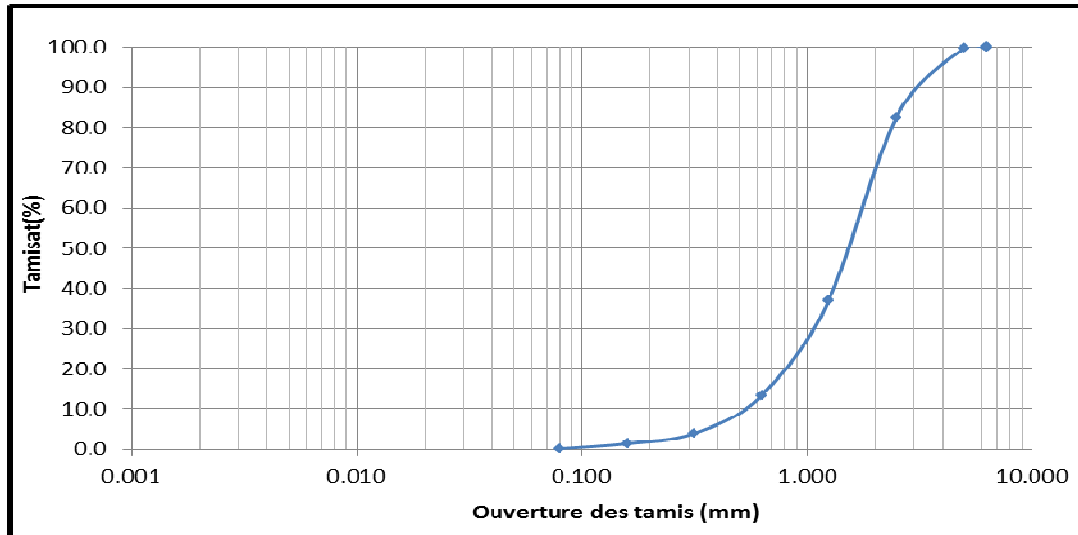


Figure II. 9: Courbe granulométrique de sable concassé (0/5) mm.

-Sable de région d'Oued Souf * DJAMAA *:

Les résultats des essais sur le sable de Djamaa sont résumés aux tableaux suivant :

Tableau II. 4 : Caractéristiques physiques du sable (0/5) mm selon la norme NF EN 933-1

Caractéristiques	Résultats
Masse spécifique absolue ρ_{abs} (g /ml)	2.58
Masse volumique apparente a l'état compact ρ_{apc} (g /ml)	1.72
Masse volumique apparente a l'état lâche ρ_{apl} (g /ml)	1.41
Porosité a l'état compact p_c (%)	33.33
Porosité à l'état lâche p_l (%)	45.34
Compacité à l'état compact C_c (%)	66.66
Compacité à l'état lâche C_l (%)	54.66
Indice des vides à l'état compact e_c (%)	0.5
Indice des vides à l'état lâche e_l (%)	0.82
Equivalent de sable visuel E_{sv} (%)	90.52
Equivalent de sable visuel E_{sp} (%)	88.83

- OBSERVATION:

1. $M_f = 3,9 > 2,5$: sable gros.
2. $ESV \geq 80\%$ et $ESP \geq 80\%$: absence totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau.

Les résultats de l'analyse granulométrique sur le sable de Djamaa sont présentés sur le tableau suivant :

Tableau II. 5 : Analyse granulométrique de sable de Djamaa 0/5 selon la norme NF EN 933-1

Tamis (ouvertures) (mm)	Masse des refus cumulés R_i (g)	refus cumulés (g)	Pourcentage refus cumulés (%)	Pourcentage tamisât cumulés (%)
5	0,6	0,6	0,04	99,96
2,5	12,6	13,2	0,88	99,12
1,25	59,43	72,63	4,84	95,15
0,63	358,23	430,86	28,72	71,27
0,315	738,1	1168,96	77,93	22,06
0,16	127,1	1296,06	86,40	13,59
0,08	199,9	1495,96	99,73	0,26
Fond de tamis	3,36	1499,33	99,95	0,044
-	Module de finesse du sable $M_f = 3,9$			

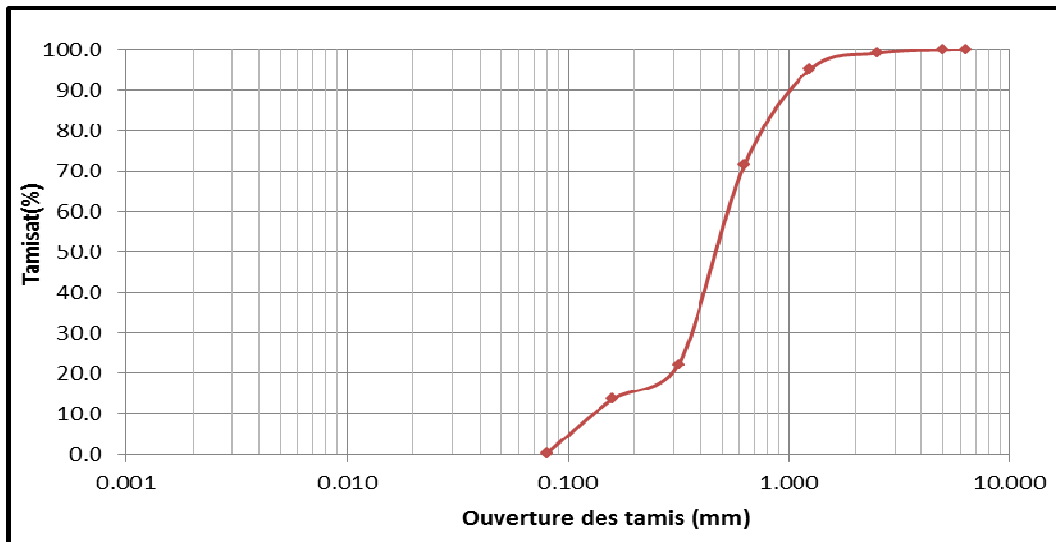


Figure II. 10: Courbe granulométrique de sable de Djamaa (0/5) mm.

- **Sable mixte** « 1/3 SD + 2/3 SC » [14]:

Les résultats des essais sur du sable mixte (1/3 SD + 2/3 SC) sont résumés aux tableaux suivant :

Tableau II. 6 : Caractéristiques physiques du sable mixte (1/3SD+ 2/3 SC) selon la norme NF EN 933-1

Caractéristiques	Résultats
Masse spécifique absolue ρ_{abs} (g /ml)	2.64
Masse volumique apparente a l'état compact ρ_{apc} (g /ml)	1.67
Masse volumique apparente a l'état lâche ρ_{apl} (g /ml)	1.60
Porosité a l'état compact p_c (%)	36.74
Porosité à l'état lâche p_l (%)	39.39
Compacité à l'état compact C_c (%)	63.26
Compacité à l'état lâche C_l (%)	60.61
Indice des vides à l'état compact e_c (%)	0.58
Indice des vides à l'état lâche e_l (%)	0.64
Equivalent de sable visuel E_{sv} (%)	76.26
Equivalent de sable visuel E_{sp} (%)	71.9

- **OBSERVATION:**

1. $M_f = 3.9 > 2.5$: sable gros.
2. $75 < ESV < 85$ et $70 < ESP < 80$: sable propre à faible pourcentage de farine argileuse convient parfaitement pour des bétons de hautes qualité

Les résultats de l'analyse granulométrique sur le sable mixte (1/3SD + 2/3 SC) sont présentés sur le tableau suivant :

Tableau II. 7 : Analyse granulométrique de sable mixte (1/3SD+ 2/3 SC) selon la norme NF EN 933-1

Tamis ouverture (mm)	Masse des ref cumulés R_i (g)	Refus cumulés (g)	Pourcentage refus cumulés (%)	Pourcentage tamisât cumulés (%)
5	0,8	0,8	0,05	99,94
2,5	156,66	157,46	10,49	89,50
1,25	473,2	630,66	42,04	57,95
0,63	376,06	1006,73	67,11	32,88
0,315	311,03	1317,76	87,85	12,14
0,16	114,9	1432,66	95,51	4,48
0,08	62,06	1494,73	99,64	0,35
Fond de tamis	4,96	1499,7	99,98	0,02
Module de finesse du sable $M_f = 4.46$				

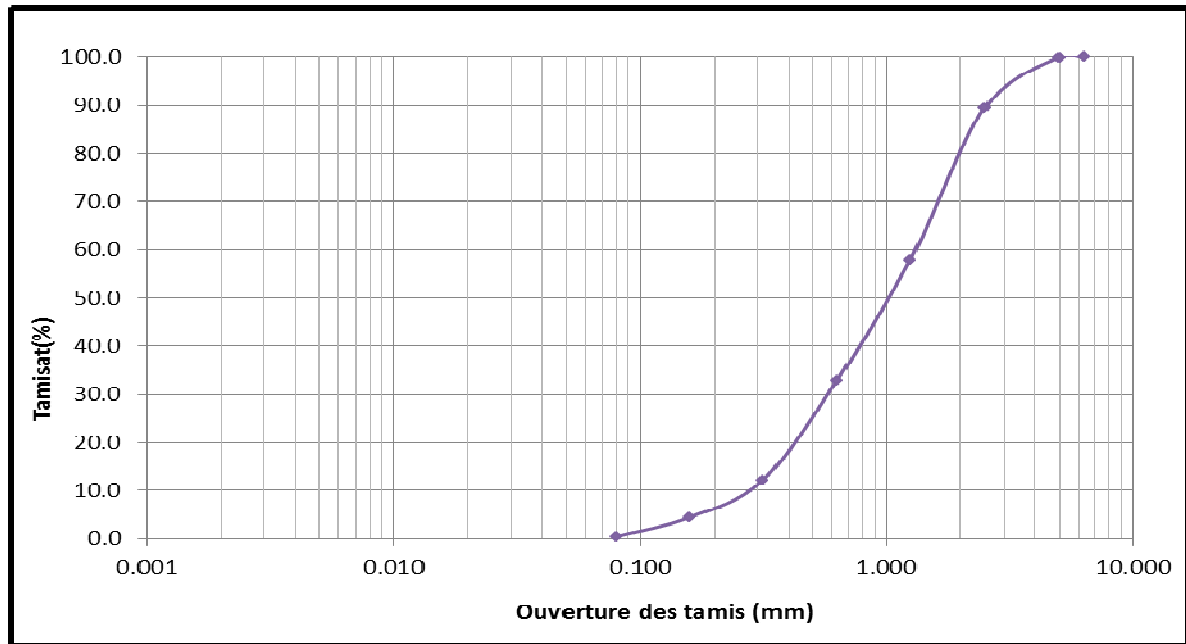


Figure II. 11: Courbe granulométrique de sable mixte (1/3SD + 2/3 SC).

- Déchet d'aluminium (0/3) mm :

Les résultats des essais sur du sable mixte (1/3SD +2/3 SC) sont résumés aux tableaux suivant :

Tableau II. 8 : Caractéristiques physiques du déchet d'aluminium (0/3) mm selon la norme NF EN 933-1

Caractéristiques	Résultats
Masse spécifique absolue ρ_{abs} (g /ml)	5.45
Masse volumique apparente à l'état compact ρ_{apc} (g /ml)	1.95
Masse volumique apparente à l'état lâche ρ_{apl} (g /ml)	2.07
Porosité a l'état compact p_c (%)	64.22
Porosité à l'état lâche p_l (%)	62.01
Compacité à l'état compact C_c (%)	35.78
Compacité à l'état lâche C_l (%)	37.99
Indice des vides à l'état compact e_c (%)	1.78
Indice des vides à l'état lâche e_l (%)	1.63
Equivalent de sable visuel E_{sv} (%)	48
Equivalent de sable visuel E_{sp} (%)	49.5

- **OBSERVATION:**

1. $M_f = 5.9 > 2.5$: aspect d'un sable gros.
2. $ESV < 65$ et $ESP < 60$: aspect d'un sable Risque de retrait ou de gonflement à rejeter pour des bétons de qualité.
3. Analyse chimique est indiqué que notre déchets d'aluminium c'est un alliage 6063 ou ce type d'alliage destiné pour l'utilisation de construction et bâtiment.



Figure II. 12: Déchet d'aluminium.

Les résultats de l'analyse granulométrique sur le déchet d'aluminium (0/3) mm sont présentés sur le tableau suivant :

Tableau II. 9 : Analyse granulométrique de déchet d'aluminium (0/3) mm selon la norme NF EN 933-1

Tamis ouverture (mm)	Masse des r cumulés R_i	refus cumulés (g)	Pourcentage refus cumulés (%)	Pourcentage tamisât cumulés (%)
5	0	0	0.00	100
2,5	5.00	5.00	1.052	98.948
1,25	208.3	213.3	44.90	55.10
0,63	132.50	345.8	72.80	27.20
0,315	101	446.8	94.06	5.94
0,16	16	462.8	97.43	2.57
0,08	8.5	471.3	99.22	0.78
Fond de tamis	3.6	474.9	99.97	0.03
Module de finesse du sable			$M_f = 5.09$	

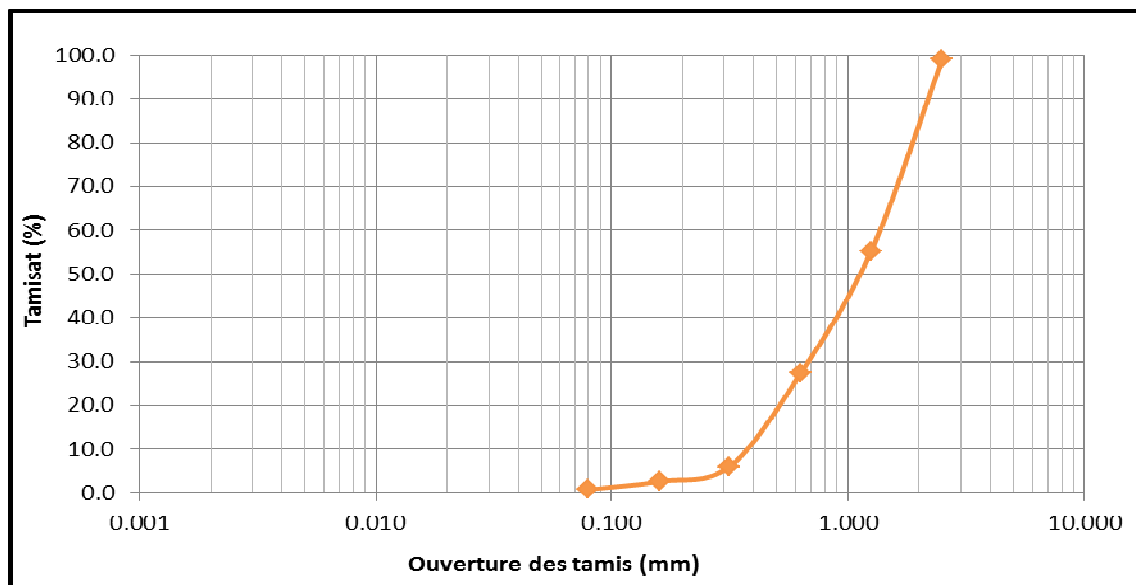


Figure II.13: Courbe granulométrique des déchets d'aluminium.

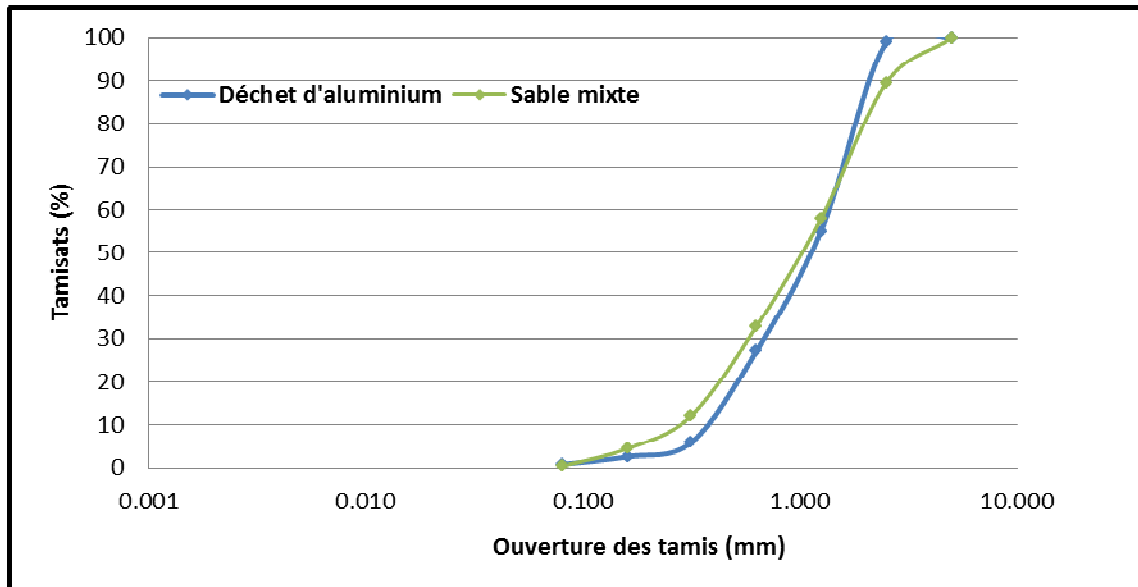


Figure II.14: Courbes granulométriques de sable mixte et déchets d'aluminium.

Conclusion:

Dans ce chapitre on a présenté les différents essais pour caractériser les matières premières utilisés dans ce travail, ainsi que la méthodologie de travail.

Chapitre III :
Résultats et interprétation des
différents essais réalisés sur
les mortiers.

Chapitre III : Résultats et interprétation des différents essais réalisés sur les mortiers.

III.1. Introduction :

Le but de notre travail est l'étude de l'effet de l'incorporation de déchet d'aluminium dans la formulation du mortier, ce chapitre est consacré à la recherche expérimentale des résultats obtenus du programme d'essais ainsi qu'une discussion de ces résultats.

Dans ce travail nous avons étudié les caractéristiques mécaniques de cinq formulations de mortier à savoir :

- **Formulation 1** : mortier témoin formulé avec 0% de déchet d'aluminium;
- **Formulation 2** : mortier formulé avec 2.5% de déchet d'aluminium;
- **Formulation 3** : mortier formulé avec 5.0% de déchet d'aluminium;
- **Formulation 4** : mortier formulé avec 7.5% de déchet d'aluminium;
- **Formulation 5** : mortier formulé avec 10% de déchet d'aluminium.

III.2. Composition du mortier :

On a formulé cinq types de mortier avec:

- Pourcentage de déchet d'aluminium de (0%, 2.5%, 5%, 7.5% et 10%).
- Avec sable mixte (1/3 de sable + 2/3 de sable concassé).
- La confection des mortiers selon la norme EN 196-1. [12]

Les compositions des différents types de formulations de mortier sont présentées sur le tableau suivant:

Tableau III.1 : Composition des différents types de formulations de mortier.

	Sable mixte(g)	Déchets d'aluminium(g)	L'eau (g)	E/C	Ciment (g)
Formulation1	1350	0	225	0,50	450
Formulation2	1316,25	33,75	270	0,60	450
Formulation3	1282,50	67,50	270	0,60	450
Formulation4	1248,75	101,25	270	0,60	450
Formulation5	1215,00	135,00	270	0,60	450

III.3. Résultats des essais sur ciments :

III.3.1. Consistance (Ouvrabilité) :

Les résultats de la consistance des différents mortiers sont représentés dans la figure III.1

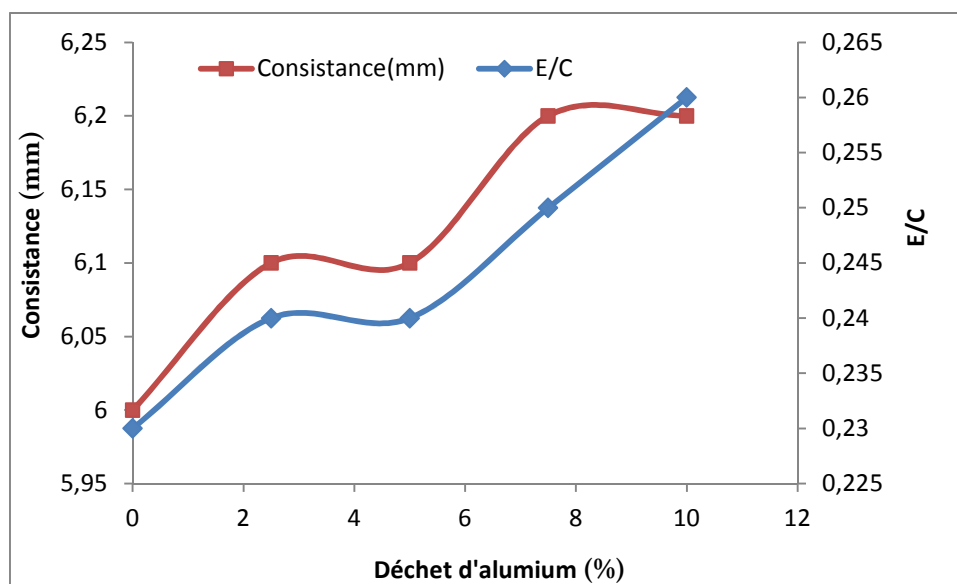


Figure III.1: Consistance normale de la pâte de ciment en fonction de pourcentage du déchet d'aluminium.

Les résultats expérimentaux obtenus présentent l'effet de pourcentage du déchet sur la consistance normale de ciment.

La demande en eau des pâtes de ciments préparées avec les différents pourcentages du déchet exprimée par les variations du rapport de demande en eau pour obtenir une consistance normale.

Selon les résultats obtenus, on note que l'augmentation de pourcentage du déchet incorporé dans la pâte de ciment augmente la quantité d'eau requise pour avoir une consistance normale de mortier.

III.3.2. Temps de prise :

La variation des temps de prise en fonction de pourcentages du déchet d'aluminium est représentée dans la figure III.2

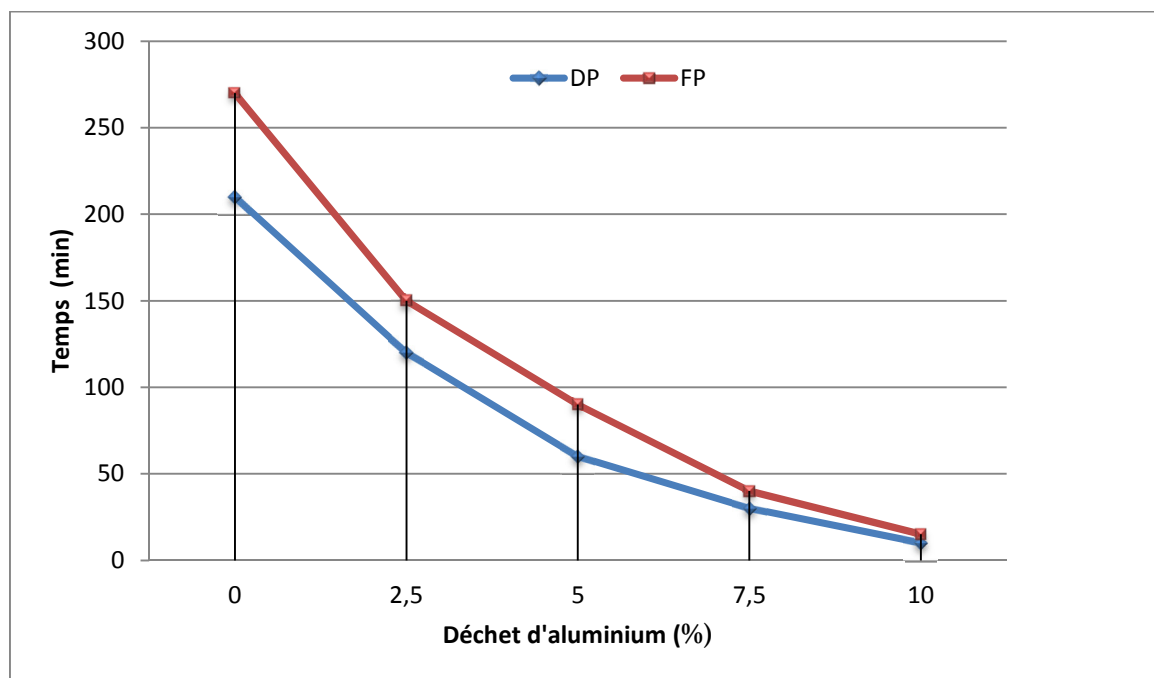


Figure III.2: Variation des temps de prise en fonction de pourcentage du déchet d'aluminium.

Les résultats expérimentaux (Figure III.2) présentent l'effet de pourcentage du déchet d'aluminium sur le temps de prise de la pâte de ciment. L'essai consiste à suivre l'évolution de la viscosité de la pâte en utilisant l'appareil de Vicat.

On remarque aussi que l'augmentation de pourcentage du déchet d'aluminium incorporé dans le ciment a l'effet suivant:

Diminution des temps de début et fin de prise proportionnellement avec l'augmentation de pourcentage du déchet. Cette diminution devient importante (presque 90%) dans les pourcentages de déchet (7.5% et 10%). Alors on peut dire que l'incorporation de déchet d'aluminium joue un rôle d'accélérateur de prise.

III.4. Résultats des essais sur mortier :

III.4.1. Masse volumique :

La masse volumique des mortiers formulés en fonction de pourcentage du déchet d'aluminium est représentée dans la figure III.3.

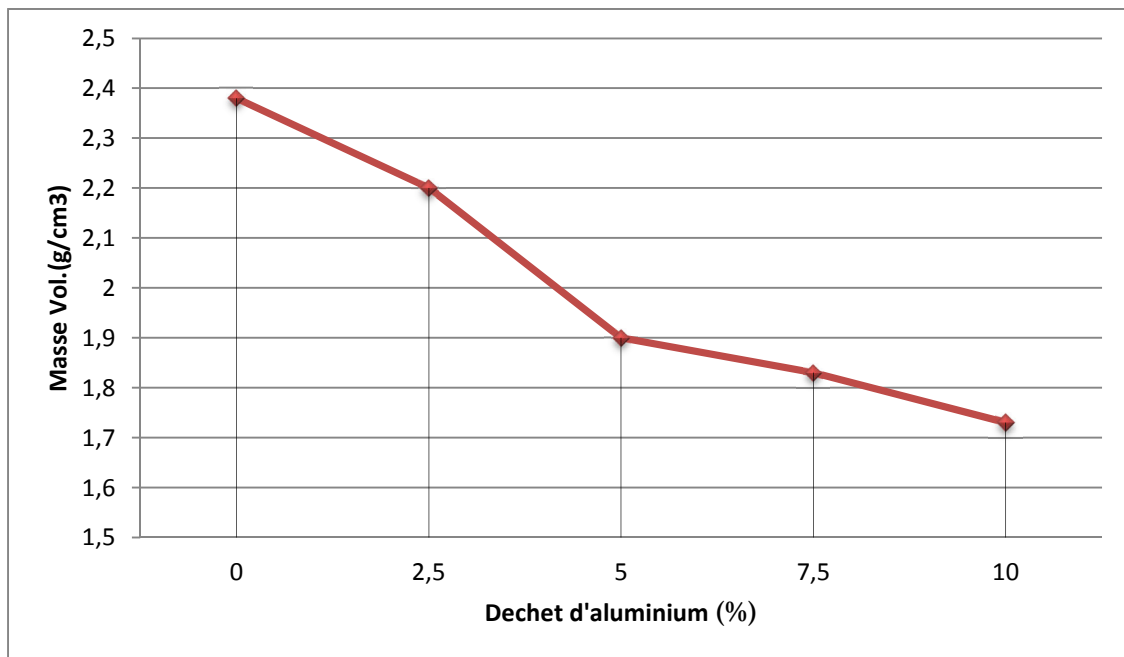


Figure III.3: Variation de masse volumique en fonction de pourcentage du déchet d'aluminium.

Les résultats expérimentaux obtenus dans cette étude présentent l'effet du taux de déchet d'aluminium sur la masse volumique de mortier. Selon les résultats obtenus (Figure III.3) on note que l'augmentation de pourcentage du déchet d'aluminium incorporé dans le ciment a l'effet suivant:

Diminution de la masse volumique proportionnellement avec l'augmentation de pourcentage du déchet, ceci est due à la faible masse volumique de l'aluminium. Alors on peut dire que

l'incorporation de déchet d'aluminium joue un rôle d'allègement pour les mortiers ou béton par rapport un sable.

III.4.2. Porosité :

Les résultats de porosité pour les différentes formulations de mortier sont représentés dans la figure suivante:

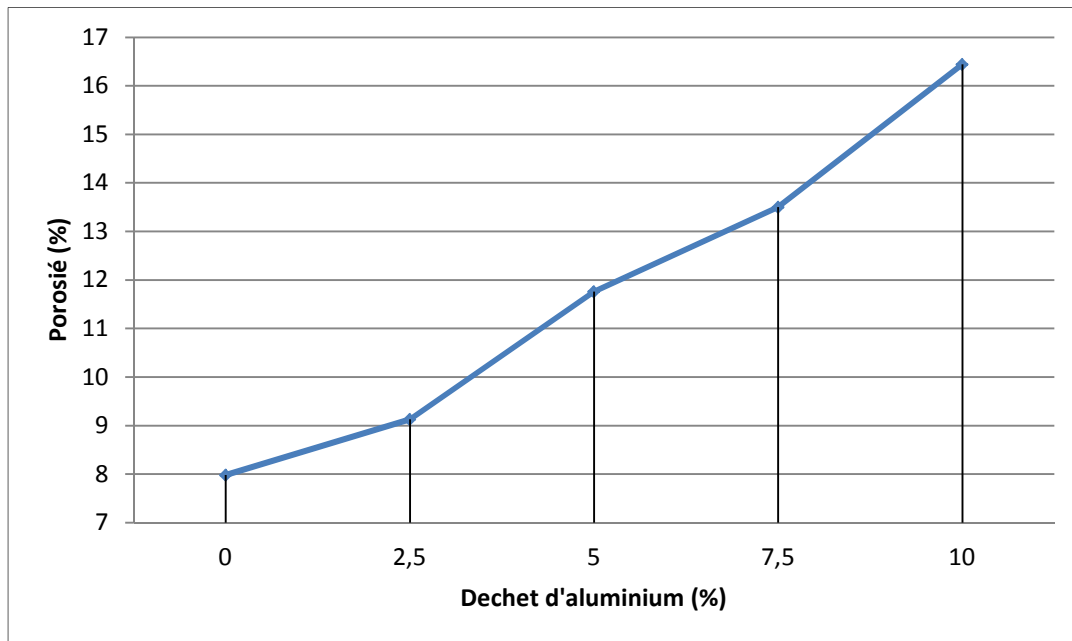


Figure III.4: Variation de porosité fonction de pourcentage du déchet d'aluminium

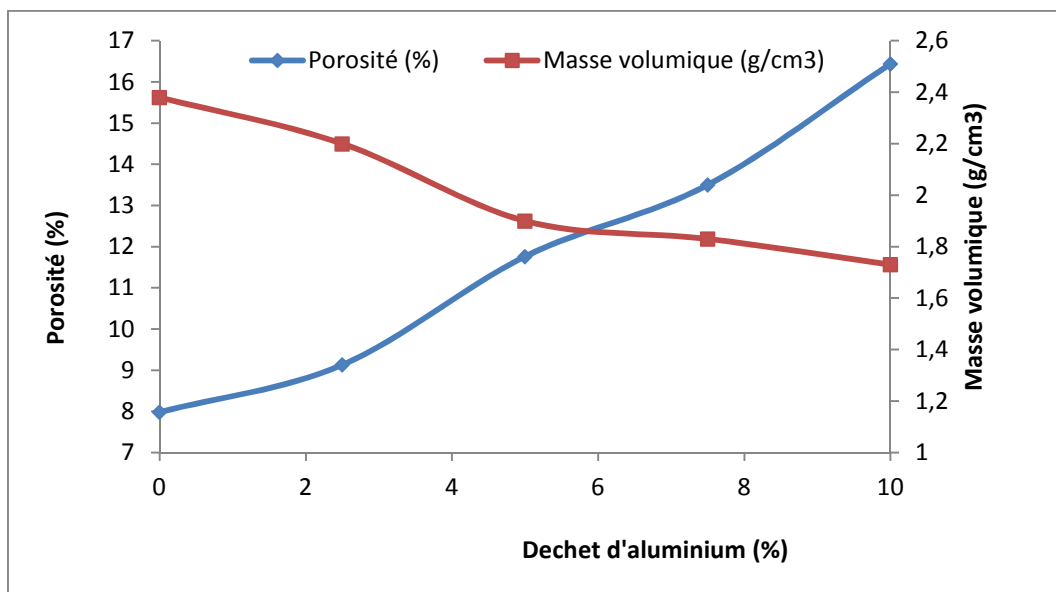


Figure III.5: Variation de la porosité et de la masse volumique en fonction de pourcentage du déchet d'aluminium.



Figure III.6: Texture poreuse des mortiers à base de déchet d'aluminium.

Les résultats expérimentaux obtenus présentent l'effet de pourcentage du déchet d'aluminium sur la porosité de mortier. On remarque que l'augmentation de la porosité est proportionnelle avec l'augmentation de pourcentage du déchet. Alors on peut dire que l'incorporation de déchet d'aluminium joue un rôle d'entraîneur d'air dans le mortier.

III.4.3. Essais de compression et de flexion :

La variation de R_{c28} et R_{f28} en fonction de pourcentage du déchet d'aluminium est représentée sur la suivante.

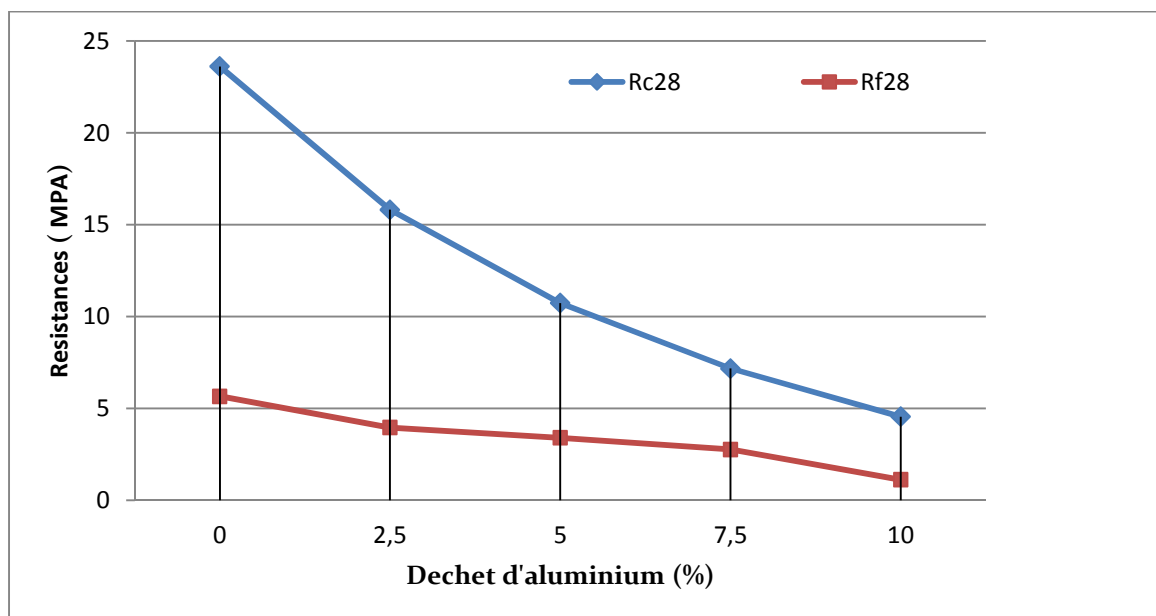


Figure III.7: Variation de R_{c28} et R_{f28} en fonction de pourcentage du déchet d'aluminium.

Selon les résultats obtenus (Figure III.7) On note que l'augmentation de pourcentage du déchet d'aluminium incorporé dans le mortier a l'effet suivant:

Diminution R_{c28} et R_{f28} proportionnellement avec l'augmentation de pourcentage du déchet. Cette diminution devient importante (presque 80%) dans les pourcentages du déchet (7.5% et 10 %). Alors on peut dire que l'incorporation de déchets d'aluminium affaiblit le mortier à cause de son pourcentage important de porosité.

Conclusion :

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

- Caractéristiques mécaniques en compression et en flexion,
- Le comportement en consistance et temps de prise,
- Des interprétations à ces résultats et les justifier.

Chapitre IV :
Résultats et interprétations
des essais sur mortiers
soumis à des températures
élevées.

Chapitre IV : Résultats et interprétations des essais sur mortiers soumis à des températures élevées.

IV.1. Introduction :

Dans ce chapitre on va étudier l'effet de la température sur le comportement physico-mécanique des mortiers incorporé avec le déchet d'aluminium à l'état durci. Ces mortiers sont soumis à des températures de 50°C, 100 °C, 150 °C, 200 °C, 400 °C et 600 °C avec une vitesse de la montée en température de 10°C/min.

IV.2. La perte de masse:

Les résultats de la perte de masse pour les différentes formulations de mortier soumis à différents températures (50 C°; 100 C°; 150 C°; 200C° ; 400C° et 600C°) sont représentés sur les figures ci- dessous:

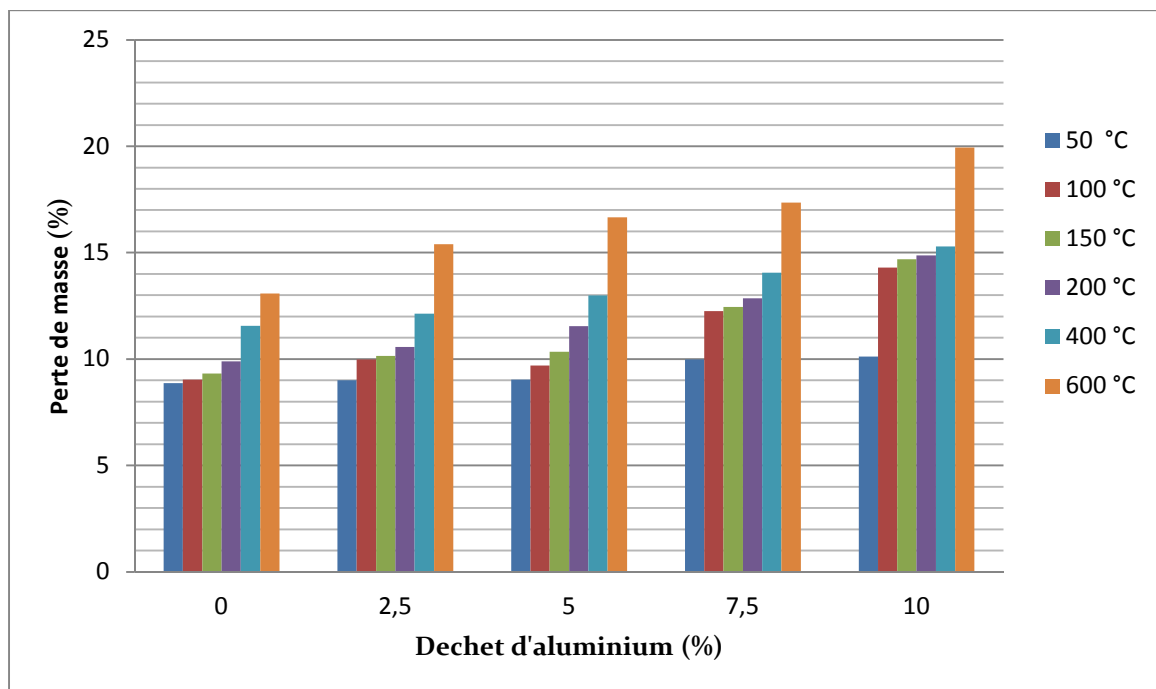


Figure IV.1 : Variation de la perte de masse pour les différentes formulations de mortier soumis à différents températures (50 °C; 100°C ; 150 °C; 200°C ; 400°C et 600 °C).

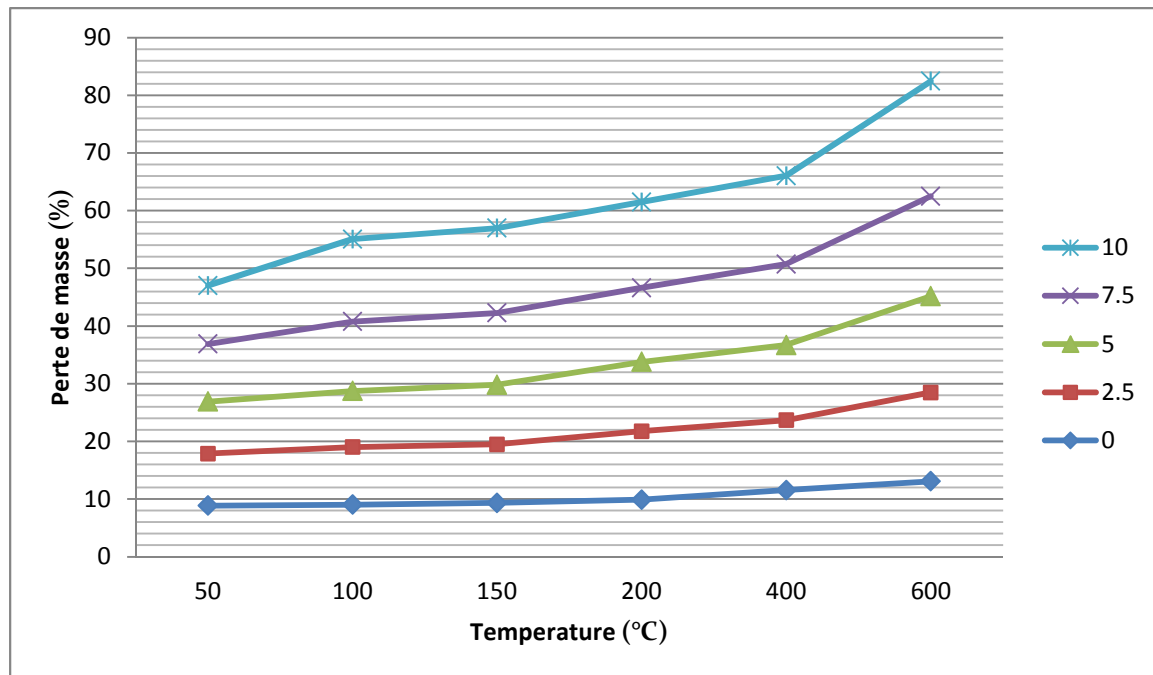


Figure IV.2 : variation de perte de masse pour les différentes températures (50 °C; 100°C ; 150 °C; 200°C ; 400°C et 600 °C).

D'après les figures IV.1 et IV.2 on remarque que la perte de masse pour les différents mortiers augmente proportionnellement avec l'augmentation de la température.

La perte de masse pour toutes les compositions est augmentée de l'ordre de 5.9 % après séchage, en fonction de la température de chauffe. Jusqu'à 150°C, la perte de masse est essentiellement due à l'évaporation de l'eau libre, entre 150°C et 400°C et à la déshydratation de CSH, entre 400 et 600 °C.

IV.3.Essais de compression et flexion:

Les résultats de la résistance de compression et de flexion pour les différentes formulations de mortier soumis à différentes températures (50 °C; 100 °C; 150°C ; 200 °C; 400 °C et 600°C) sont représentés sur les figures ci- dessous:

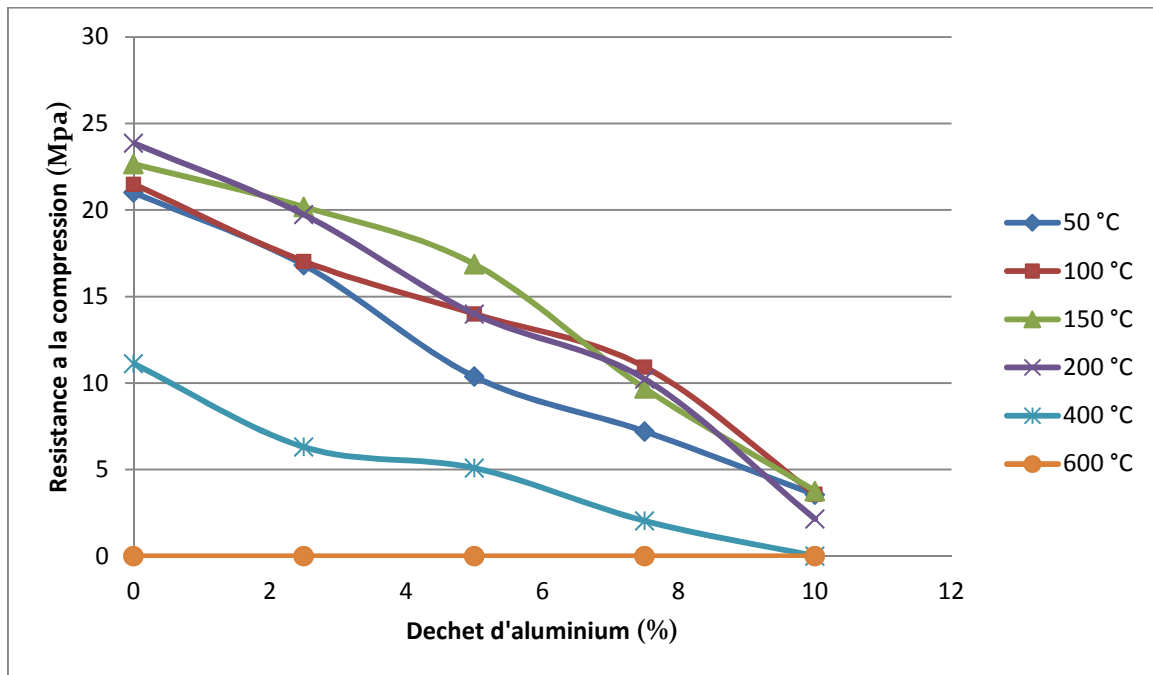


Figure IV.3 : Variation de R_{c28} pour les différents mortiers soumis à des températures (50 °C; 100 °C ; 150 °C; 200 °C ; 400 °C et 600 °C).

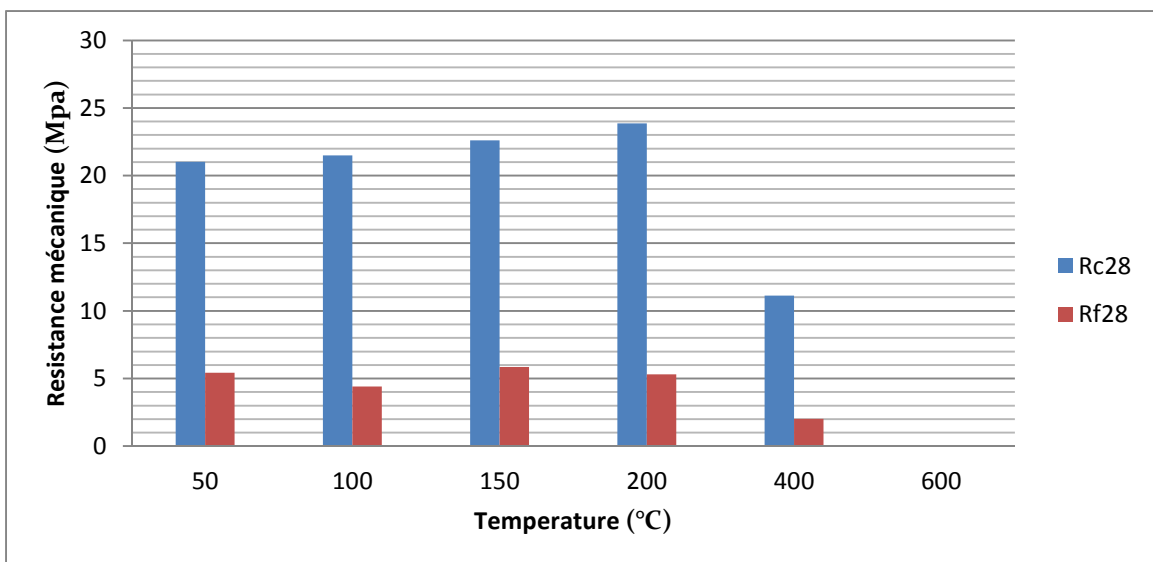


Figure IV.4 : Variation de R_{c28} et R_{f28} pour la formulation1 soumise aux températures (50 °C; 100 °C ; 150 °C; 200 °C ; 400 °C et 600 °C).

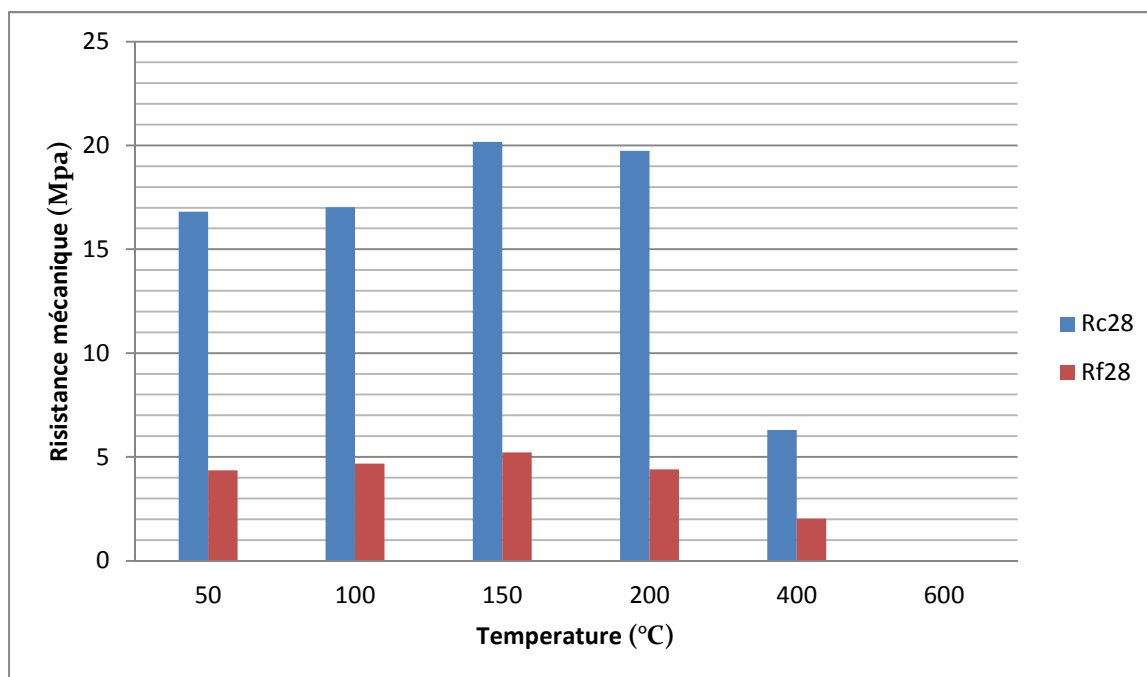


Figure IV.5 : variation de Rc28 et Rf28 pour la formulation 2 soumise aux températures (50 °C; 100°C ; 150 °C; 200°C ; 400°C et 600 °C).

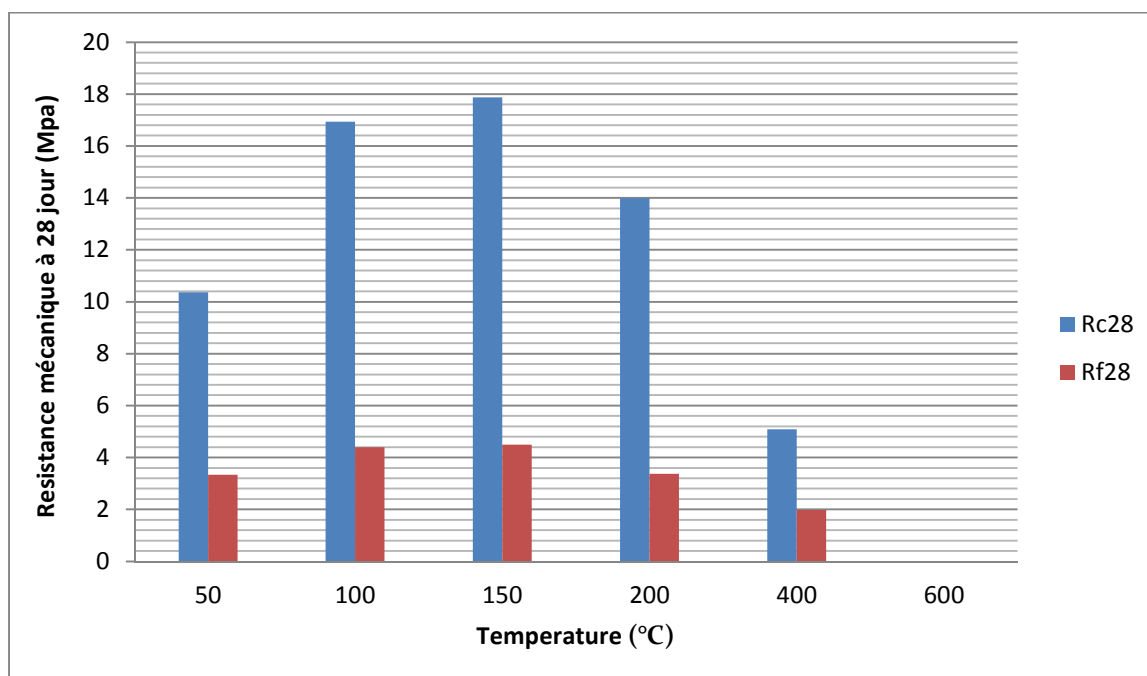


Figure IV.6 : Variation de Rc₂₈ et Rf₂₈ pour la formulation 3 soumise aux températures (50 °C; 100°C ; 150 °C; 200°C ; 400°C et 600 °C).

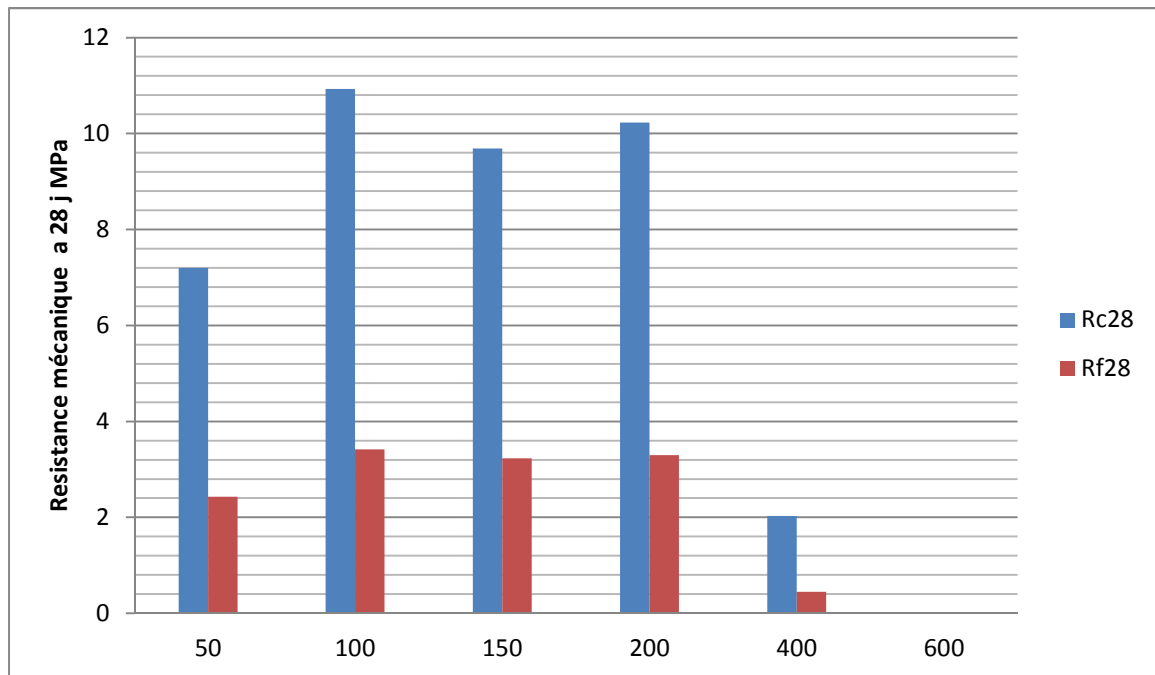


Figure IV.7 : Variation de R_{c28} et R_{f28} pour la formulation 4 soumise aux températures (50 °C; 100 °C ; 150 °C; 200 °C ; 400 °C et 600 °C).

L'étude visuelle des éprouvettes à la sortie du four montre une très légère fissuration pour les formulations 2 et 3 à 600 °C et fortes fissurations pour les formulations 4 et 5, par contre, jusqu'à une température de 400 °C, aucune fissuration n'est perceptible à l'œil nu pour toute les formulations.

D'après les figures précédentes on remarque que R_{c28} et R_{f28} pour les différents mortiers augmentent progressivement avec l'augmentation de la température jusqu'à 200 °C.

Un pique très remarquable pour tous les mortiers à 200 °C. Au-delà de ce pique les résultats soit R_{c28} ou R_{f28} montrent une chute.

A 600 °C un éclatement pour toutes les formulations de mortier.

R_{c28} et R_{f28} pour toutes les formulations augmentent de l'ordre de 6% après séchage, en fonction de la température de chauffe. Jusqu'à 150 °C, la perte de masse est essentiellement due à l'évaporation de l'eau libre, entre 150 °C et 400 °C et à la déshydratation de CSH, entre 400 et 600 °C.

Conclusion :

Dans ce chapitre, on a présenté les résultats des travaux expérimentaux sur l'effet de la température sur les mortiers formulés du point de vue :

- Caractéristiques mécaniques en compression et en flexion,
- La perte de masse,
- Des interprétations à ces résultats et essayer de les justifier.

Conclusion générale

Conclusion générale

Dans le présent travail on a fait une étude sur la valorisation des déchets d'aluminium dans la formulation des mortiers soumis à des températures élevées. Le sable est substitué par le déchet d'aluminium (0/3) mm à des proportions (0, 2.5, 5, 7.5 et 10% du poids de sable) et comparé par rapport au mortier témoin. Les mortiers sont soumis à des températures élevées de (50 °C; 100 °C; 150 °C; 200 °C; 400 °C et 600 °C).

Cette étude nous a permis de tirer les conclusions suivantes :

- L'augmentation de pourcentage du déchet incorporé dans la pâte de ciment augmente la quantité d'eau requise pour avoir une consistance normale de mortier.
- La diminution des temps de début et fin de prise proportionnellement avec l'augmentation de taux de déchets. Cette diminution devient très importante (presque 90%) pour les pourcentages (7.5 et 10 %) d'aluminium.
- La diminution de masse volumique proportionnellement avec l'augmentation de taux de déchets. Alors on peut dire que l'incorporation de déchets d'aluminium joue un rôle d'allègement pour les mortiers ou béton.
- L'augmentation de la porosité proportionnelle avec l'augmentation de taux de déchets.
- L'augmentation du taux de déchet d'aluminium induit une diminution des résistances à la compression R_{c28} et en traction par flexion R_{f28} des mortiers à l'état durci. Cette diminution devient importante (presque 80%) dans les pourcentages de déchets (7.5 et 10 %). Alors on peut dire que l'incorporation de déchets d'aluminium affaiblit le mortier.
- La perte de masse pour les différents mortiers augmente proportionnellement avec l'augmentation de la température.
- Les résistances mécaniques R_{c28} et R_{f28} pour les différents mortiers augmentent progressivement avec l'augmentation de la température jusqu'à 200 °C. un pique très remarquable pour tous les mortiers à 200 °C. Au-delà de ce pique les résultats soit R_{c28} ou R_{f28} montrent une chute. A 600 °C un éclatement pour toutes les formulations de mortier.

RÉFÉRENCES

[1]:**BOUALI Khaled** « *Elaboration et caractérisation thermomécanique des mortiers à base d'ajouts de déchets de briques réfractaires* », mémoire de magister (spécialité: Génie des Matériaux) Option Physique et Mécanique des matériaux Université M'hamed Bougara-Boumerdes 2013/2014.

[2]:**Maisonbrico.com** **Maçonnerie** : matériaux, produits, mélanges et proportions.

[3]: **Abdelkader Belkacem** « *Gestion des déchets ménagers de la ville de Saïda (Algérie). Analyse et diagnostic* » mémoire de fin d'étude (spécialité: biologie) Université Djillali Liabès Sidi bel Abbès - Ingénieur d'état en biologie 2012

[4]: **Fiche d'info d'aluminium: _p2_classification.pdf**

[5]: **L .ZEGHICHI** « *Valorisation des déchets industriels* » chapitre 1 page 9 thèse de magister université de Biskra 2006.

[6]: Alarcon-Ruiz L., Analyse de l'évolution des propriétés microstructurales des bétons lors d'une élévation de la température, thèse de doctorat, ENPC Paris, 20034.

[7]:**Pimienta P.** « *Evolution des caractéristiques des BHP soumis à des températures élevées : Résistances en compression et modules d'élasticité* », Cahiers du CSTB, Vol. 421, n°3352, 2001.

[8]:**La norme NF EN 196-3**: Septembre 2017 Méthodes d'essai des ciments - Partie 3 : détermination du temps de prise et de la stabilité

[9]: **La norme NF EN 196-7** Juillet 2008 Méthodes d'essai des ciments - Partie 7 : méthodes de prélèvement et d'échantillonnage du ciment.

[10] : **La norme NF EN 933-1**: Décembre 1997 Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats - Partie 1 : détermination de la granularité. Analyse granulométrique par tamisage.

[11]:**La norme NF EN 933-8**: Mars 2012 Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats - Partie 8 : évaluation des fines - Équivalent de sable

[12]: **La norme NF EN 196-1**: Septembre 2016 Méthodes d'essais des ciments - Partie 1 : détermination des résistances - Méthodes d'essais des ciments - Partie 1 : Détermination des résistances.

[13] : **Cours science des matériaux de construction** (Travaux pratique): Université Aboubekr Belkaid préparé par M. GHOMARI F. & Mme BENDI-OUIS A.

[14] : **Nadia, and Zine El Abidine Rahmouni.** "Influence of Local Sand on the Physicomechanical Comportment and Durability of High Performance Concrete." *Advances in Civil Engineering* 2016(2016): 126-135 université de Msila .

Annexe



متين Matine



Ciment portland au Calcaire

NA442 CEM II/B-L 42,5 N

Matine Ciment gris pour bétons de haute-performance destiné à la construction des Ouvrages d'Art, infrastructure et superstructure pour bâtiments

Matine

NA442 CEM II/B-L 42,5 N

Matine est certifié, conforme à la norme Algérienne (NA442 – 2013) et Européenne (EN 197-1)

AVANTAGES PRODUIT



- Une résistance initiale élevée pour vos ouvrages nécessitant un décoffrage rapide
- Favorise la maniabilité du béton et le maintien de sa rhéologie
- Une Classe Vraie qui offre une haute performance au béton.
- Meilleure durabilité du béton.

APPLICATIONS RECOMMANDÉES



- Construction des Ouvrages d'Art, infrastructure et superstructure pour bâtiments
- Préfabrication légère
- Béton de haute performance



FORMULATION CONSEILLÉE



	Ciment 	Sable (sec) 	Gravillons (sec) 	Eau (litres) 
Dosage pour béton C25/30	X 1 	+  x7	+  x5 +  x4	+ 25 L

Remarque: un bidon = 10 Litres

CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES



Analyses chimiques

	Valeur
Perte au feu (%) (NA5042)	10.0±2
Teneur en sulfates (SO3) (%)	2.5±0.5
Teneur en oxyde de magnésium MgO (%)	1.7±0.5
Teneur en Chlorures(NA5042) (%)	0.02-0.05

Composition minéralogique du Clinker (Bogue)

	Valeur
C3S (%)	60±3
C3A (%)	7.5±1

Propriétés physiques

	Valeur
Consistance Normale (%)	26.5±2.0
Finesse suivant la méthode de Blaine (cm²/g) (NA231)	3 700 - 5 200
Retrait à 28 jours (µm/m)	< 1 000
Expansion (mm)	≤ 3.0

Temps de prise à 20° (NA 230)

	Valeur
Début de prise (min)	150±30
Fin de prise (min)	230±50

Résistance à la compression

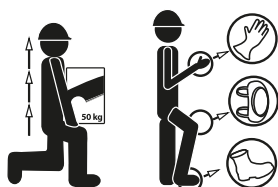
	Valeur
2 jours (MPa)	≥ 10.0
28 jours (MPa)	≥ 42.5

CONSIGNES DE SÉCURITÉ



1- PROTÉGEZ VOTRE PEAU : Portez les équipements adaptés dans vos chantiers: casques, lunettes, gants, genouillères, chaussures et vêtements de sécurité.

2- MANUTENTION : levez le sac en pliant les genoux et en gardant le dos droit.



Conditionnement: Sac et vrac