



جامعة محمد بوضياف - المسيلة
Université Mohamed Boudiaf - M'sila

Ministère de l'enseignement supérieure
et de la recherche scientifique

Université Mohamed Boudiaf - M'sila

Faculté de technologie



جامعة محمد بوضياف - المسيلة
Université Mohamed Boudiaf - M'sila

Département de GENIE CIVIL

MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du diplôme de
MASTER

FILIERE : Génie Civil

SPECIALITE : Matériaux

THEME

**Effet de l'incorporation de l'entraineur
d'air sur les caractéristiques du mortier
à base de déchets d'aluminium.**

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

Présenté par :
- *BENHAMIDA RAFIQ*
- *HAMRIT ABDENNOUR*

Promotion : 2018/2019.

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Remerciements

Tout d'abord, Nous remercions Dieu qui nous a permis d'achever ce projet de fin d'études et d'avoir achevé cette formation.

Mes parents et les parents de mon camarade pour m'avoir toujours poussé dans mes études, de m'avoir transmis les bonnes valeurs.

Merci, « Pr Rahmouni Zine El Abidine » et « Dr TEBBAL Nadia » qui ont encadré ce travail, pour leur disponibilité, ainsi que pour leurs soutiens tout au long de réalisation de ce projet, sans oublier leur gentillesse.

Nous remercions tous mes enseignants du département de génie civil. ainsi que toutes les personnes qui nous a aidé de près ou de loin pour terminer notre travail.

*Et toutes mes amies de la promotion « **Matériaux de construction** »
juin 2019.*



SOMMAIRE

Introduction générale.	1
CHAPITRE I : Recherche bibliographique	
I.1. Introduction.	2
I.2.Mortier.	2
I.2.1 les différents types de mortiers.	2
I.2.2 Classification des mortiers.	3
I.2.3 Caractéristiques principales des mortiers.	4
I.3.Déchets industriels.	4
I.4. Déchets d'aluminium.	6
I.5.Valorisation des déchets industriels.	8
I.6. Les adjuvants.	9
I.6. 1. Introduction.	9
I.6. 2.Classification et utilisation.	10
I.6. 3. Les types d'adjuvants.	10
Conclusion.	14
CHAPITRE II : Méthodologie et choix des matériaux	
II.1. Introduction.	16
II.2. Objectif du travail.	16
II.3. Méthodologie du travail pratique.	16
II.4. Les essais sur les matériaux.	16
II.4.1 Les essais sur ciment.	16
II.4.2. Les essais sur sable.	17
II.4.3. Les essais sur mortier.	19
II.5. Confection des éprouvettes.	20
II.6 Conservation des éprouvettes.	21
II.7 Estimation de la perte de masse.	21
II.8. Caractéristiques des matériaux utilisés.	22
II.8.1Ciment.	22
II.8.2 Eau de gâchage.	22
II.8.3 Sable.	23

II.8.4 Déchet d'aluminium (0/3) mm	30
Conclusion.	33

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

III.1. Introduction.	35
III.2. Composition du mortier.	35
III.3. Résultats des essais sur ciments.	36
III.3.1. Consistance (Ouvrabilité).	36
III.3.2. Temps de prise.	37
III.4. Résultats des essais sur mortier.	38
III.4.1. Masse volumique.	38
III.4.2. absorption.	39
III.4.3. Essais de compression et de flexion.	40
Conclusion.	41
Conclusion générale et Perspectives.	43

LISTE DES TABLEAUX

Chapitre I

Tableau I-1 : Quantités des déchets produits par habitant dans les villes des Quelques pays en développement.	5
Tableau I- 2: Désignation des alliages d'aluminium corroyés.	6
Tableau I-3: Désignation des alliages d'aluminium de fonderie.	7
Tableau I-4 Type d'adjuvants avec leur abréviation et les effets principaux selon SN EN 93(19) [28].	14

Chapitre II

Tableau II.1 : Classement de sable.	18
Tableau II.2 : Masse volumique absolue du sable.	23
Tableau II.3 : Masse volumique apparente du sable à l'état lâche.	24
Tableau II.4 : Masse volumique apparente du sable à l'état compact.	25
Tableau II.5 : La porosité, la compacité et l'indice de vide pour le sable	26
Tableau II.6 : Equivalent du sable de sable.	27
Tableau II.7 : Résultats de équivalent du sable visuel et par piston.	27
Tableau II. 8 : Analyse granulométrique de sable concasse 0/5 selon la norme NF EN 933-1.	28
Tableau II.9 : Classement des sables d'après le module de finesse.	29
Tableau II.10 : Caractéristiques physiques du déchet d'aluminium (0/3) mm selon la norme NF EN 933-1.	30
Tableau II. 11 : Analyse granulométrique de déchet d'aluminium (0/3) mm selon la norme NF EN 933-1.	31
Tableau II-12: Caractéristiques physico-chimiques de l'entraîneur d'air	32
Tableau II-13 : Caractéristiques physico-chimiques du super plastifiant (SP 40)	32

Chapitre III

Tableau III.1 : Composition des différents types de formulations de mortier.	35
--	----

LISTE DES FIGURES

Chapitre I

Figure I-1: Les différents types de mortiers.	3
Figure I-2: Déchet d'aluminium.	8
Figure I-3: Déchet d'aluminium collecté.	8
Figure I-4: Méthodologie d'étude des déchets.	9
Figure I-5: Utilisation des super plastifia [26].	11
Figure I-6: Action des super plastifiants-défloculation des grains de ciment [26].	12
Figure I-7: Action de l'adjuvant entraîneur d'air [28].	13

Chapitre II

Figure II.1: Appareil de Vicat.	17
Figure II.2: Appareillage de l'analyse granulométrique.	18
Figure II.3: Appareillage de compression et flexion-traction des mortiers.	20
Figure II.4: Appareillage de confection des éprouvettes.	21
Figure II.5: Bacs de conservation des éprouvettes.	21
Figure II.6 : Four et étuve du laboratoire.	22
Figure II.7: Ciment CPA-CEM I 42.5 (CRS).	22
Figure II.8: Méthode de l'éprouvette.	23
Figure II. 9: Courbe granulométrique de sable.	29
Figure II.10 : Déchet d'aluminium.	30
Figure II.11: Courbe granulométrique des déchets d'aluminium.	31
Figure II.12: Courbes granulométriques de sable et déchets d'aluminium.	32

Chapitre III

Figure III.1: Consistance normale de la pâte de ciment en fonction de pourcentage du déchet d'aluminium.	36
Figure III.2: Variation des temps de prise en fonction de pourcentage du déchet d'aluminium avec l'entraîneur d'air et un super plastifiant.	37
Figure III.3: Variation de masse volumique en fonction de pourcentage du déchet d'aluminium avec l'entraîneur d'air et un super plastifiant.	38
Figure III.4: Variation de porosité fonction de pourcentage du déchet d'aluminium avec l'entraîneur d'air et un super plastifiant.	39

Figure III.5: Variation de la porosité et de la masse volumique en fonction de pourcentage du déchet d'aluminium avec l'entraîneur d'air et un super plastifiant.	39
Figure III.6: Texture poreuse des mortiers à base de déchet d'aluminium.	40
Figure III.7: Variation de $R_{c_{28j}}$ et $R_{f_{28j}}$ en fonction de pourcentage du déchet d'aluminium avec l'entraîneur d'air et un super plastifiant.	40
Figure III.8: Variation de $R_{c_{7j}}$ et $R_{f_{7j}}$ en fonction de pourcentage du déchet d'aluminium.	41

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 le déchet d'aluminium et l'utiliser comme ajout dans le mortier.

L'étude est une caractérisation des matériaux utilisés dans la formulation des mortiers à base du déchet d'aluminium.

Dans ce sens, nous avons réalisé une série d'essais, en variant le taux d'ajout d'aluminium, en comparant les résultats obtenus avec un mortier témoin sans ajout.

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

Deux types d'adjuvant ont été utilisés dans la formulation des mortiers à savoir: l'entraîneur d'air et un superplastifiant pour étudier l'effet de ces derniers sur l'affaissement et la résistance mécanique du mortier réalisé.

Les résultats montrent, que l'ajout du l'entraîneur d'air et le superplastifiant dans les mortiers provoquent une amélioration dans l'ouvrabilité et entraîne une diminution des résistances mécaniques.

Mots clés : Mortier, Entraîneur d'air, Super plastifiant, Résistance mécanique, déchet d'aluminium.

Abstract

This study aims to valorize aluminum waste as an addition in cementations 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. 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 cementations materials

Two types of adjuvant were used in the formulation of mortars namely:

the air trainer and a super plasticizer to study the effect of the latter on subsidence and the mechanical strength of the mortar. The results show, that the addition of an air entrainer agent and an super plasticizer in the mortars cause an improvement in workability and a decrease in resistance mechanical.

Key words: Mortar, Air entrainer agent, Super plasticizer, Mechanical resistance, Aluminum waste

ملخص

تهدف هذه الدراسة إلى تبيين نفايات الألومنيوم كإضافة في مواد البناء كإضافة اسمنتية . والغرض الرئيسي من هذه الدراسة هو تسليط الضوء على إمكانية إعادة تدوير نفايات الألومنيوم واستخدامها كإضافة إلى الملاط. في هذه الدراسة تطرقنا الي وصف خصائص المواد المستعملة والتي سمحت بتكوين عدة خلطات من الملاط اعتمادا علي بقايا الالمنيوم . وفي هذا الاطار , اجرينا عدة سلاسل من التجارب مع تغيير في كمية الالمنيوم كرقائق . وتمت مقارنة هذه النتائج مع نتائج الخرسانة الشاهد بدون اضافات . النتائج المتحصل عليها اثبتت بان هناك امكانية لاستعمال بقايا الالمنيوم في المواد الاسمنتية , مع العلم اننا استعملنا نوعين من الإضافات في تشكيل جميع انواع الملاط وكانت هذه الاضافات لمعرفة النقاط التالية :

تأثير ازدواجية الملدنات مع اضافة مدخلات الهوائية ومدى تأثيرها علي كمية الهبوط وكذا المقاومة الميكانيكية للملاط المشكل .

النتائج ايضا اظهرت بان استعمال الملدنات مع اضافة مدخلات الهوائية في الخلطات الملاطية يمكن ان تعدل في اللدونة وانها تحدث انخفاض في المقومات الميكانيكية .

الكلمات المفتاحية: الملاط، المدخلات الهوائية ، الملدنات، المقاومة الميكانيكية، نفايات الألومنيوم.

Introduction générale

INTRODUCTION GENERALE

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.

Les adjuvants font actuellement partie des développements les plus récents dans la formulation des mortiers car leurs utilisations apportent une amélioration des propriétés mécaniques des matériaux cimentaires.

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 0/3 mm) dans la confection des mortiers.

Ce mémoire est structuré en (3) chapitres comme suit :

- **Le chapitre I:** Une étude bibliographique sur les mortiers et les déchets industriels
- **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.

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 scientifiques sur les mortiers, les déchets industriels (l'aluminium) et l'effet de l'incorporation de l'entraîneur d'air sur les caractéristiques du 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 différencient 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.

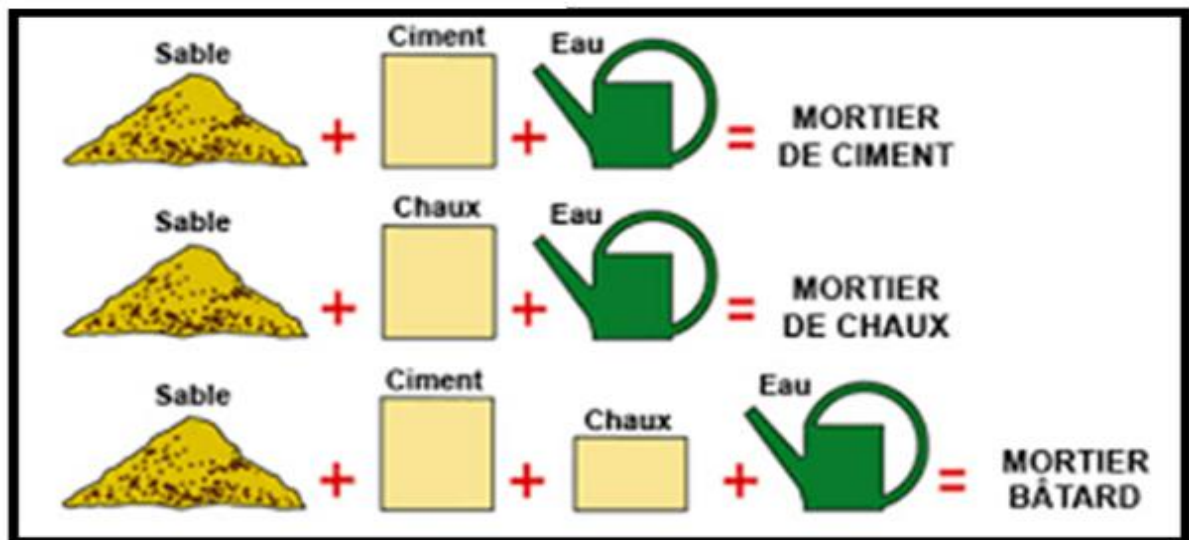


Figure I-1: Les différents types de mortiers [2]

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.

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

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

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.

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- 2: Désignation des alliages d'aluminium corroyés.

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

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

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 :

- **Déchets neufs facile:** chutes de fabrication, composition bien connue facilement recyclable.
- **Déchets neufs complexe:** chutes de production et de transformation avec traitements de préparation et d'affinage plus complexes.
- **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

I.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 :

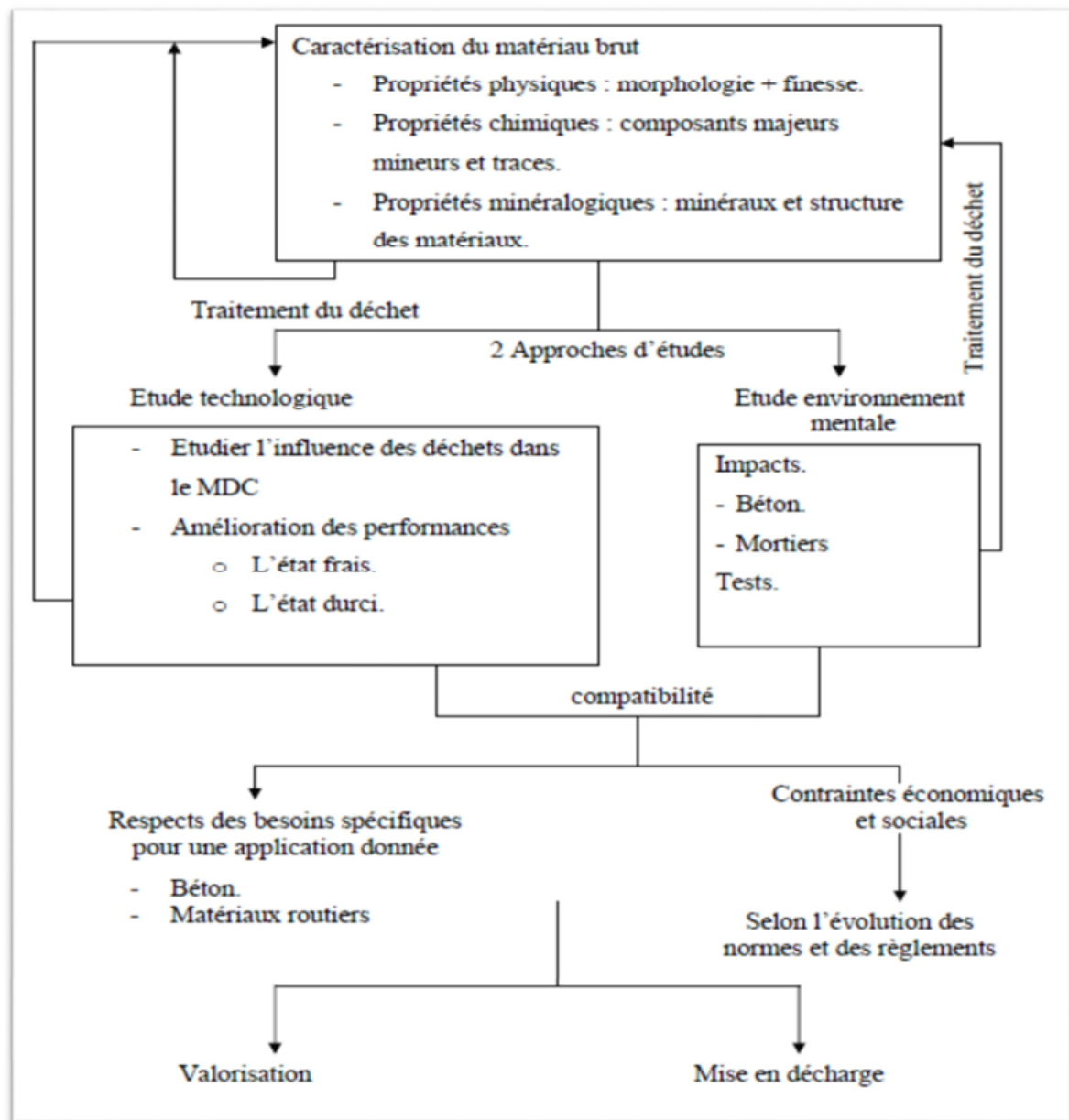


Figure I-4: Méthodologie d'étude des déchets [4].

I.6. Les adjuvants :

I.6. 1. Introduction :

Les adjuvants sont des produits dont l'incorporation à faible dose (inférieure à 5% de la masse de ciment) aux bétons, mortier ou coulis lors du malaxage ou avant la mise en œuvre, provoque les modifications recherchées de certaines de leurs propriétés, à l'état frais (le temps de prise, le processus de durcissement et l'ouvrabilité) ou durci (la résistance et la durabilité). L'emploi d'adjuvants doit répondre à la norme *NF EN 934-2 [2009]*.

Chaque adjuvant est défini par une unique fonction principale, mais peut présenter une ou plusieurs fonctions secondaires. L'emploi d'adjuvants répond à des considérations techniques et économiques. On peut par exemple obtenir une meilleure ouvrabilité en remplaçant une partie de l'eau de gâchage par un plastifiant et réduire ainsi la capillarité, ce qui améliore la durabilité du béton. L'efficacité des adjuvants dépend d'une quantité de facteurs qui sont, entre autres, le dosage de l'adjuvant, le type et le dosage en ciment, le dosage en eau ainsi que la consistance.

I.6. 2. Classification et utilisation :

Un adjuvant en général, présente une action principale d'après laquelle il se trouve classé et défini, mais il peut présenter également certaines actions secondaires que l'on appelle généralement « effets secondaires ».

Les normes européennes retiennent la classification suivante :

- ✓ Plastifiants réducteurs d'eau ;
- ✓ Super plastifiants hautement réducteurs d'eau ;
- ✓ Rétenteurs d'eau ;
- ✓ Entraîneurs d'air ;
- ✓ Accélérateurs de prise ;
- ✓ Accélérateurs de durcissement ;
- ✓ Retardateurs de prise ;
- ✓ Hydrofuges.
- ✓ Super plastifiants

Dans notre mémoire on a utilisé deux types d'adjuvants :

- ✓ Entraîneurs d'air
- ✓ Super plastifiants

I.6. 3. Les types d'adjuvants :

Plusieurs catégories sont ainsi définies par la norme *NF EN 934-2*

A) Adjuvants modifiant la rhéologie de la pâte de mortier (Plastifiants et fluidifiants)

Les plastifiants et les fluidifiants sont de loin les adjuvants les plus utilisés pour la confection du béton et mortier. Leur efficacité est illustrée par la (Figure I-5). Pour un rapport E/C constant, l'utilisation de ces adjuvants améliore l'ouvrabilité du béton. Ils permettent de réduire le dosage en eau, donc le rapport E/C, si l'ouvrabilité est maintenue constante, ce qui entraîne un accroissement de la résistance et de la compacité.

On peut aussi, mais avec une moindre efficacité, conjuguer les deux effets, soit obtenir une amélioration de l'ouvrabilité tout en diminuant le rapport E/C. En conséquence, les plastifiants et fluidifiants permettent d'optimiser la recette du béton et mortier en termes d'ouvrabilité et de propriétés du béton et mortier durci.

Comme effet secondaire possible de ces adjuvants, on observe parfois un effet retardateur de prise. D'une manière générale, l'efficacité des adjuvants est étroitement dépendante des caractéristiques du ciment et de la composition du béton ou mortier.

C'est pourquoi il est recommandé de vérifier la compatibilité et l'efficacité de chaque combinaison adjuvant – ciment au moyen d'essais préliminaire

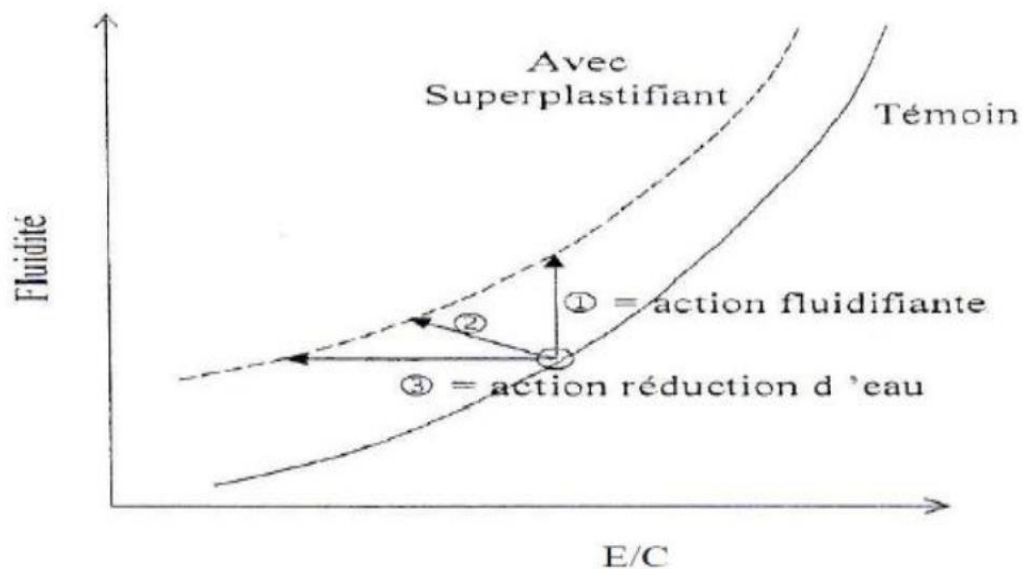


Figure I-5: Utilisation des super plastifia [5].

- 1-Augmentation de la fluidité (teneur en eau égale)
- 2-Diminution de la teneur en eau et augmentation de la fluidité
- 3-Diminution de la teneur en eau (à fluidité égale).

L'action principale des super plastifiants est de défouler les grains de ciment. Une action de répulsions électrostatique agit en neutralisant les charges électriques présents à la surface des grains et /ou par répulsion stérique en écartant les grains les uns des autres, grâce à des chaînes moléculaires très longues.

L'eau piégée par les floes est de nouveau disponible pour la maniabilité du béton et mortier (Figure I-6).

Il est alors possible de mettre en œuvre des bétons et des mortiers très fluides, avec des rapports E/C faibles.

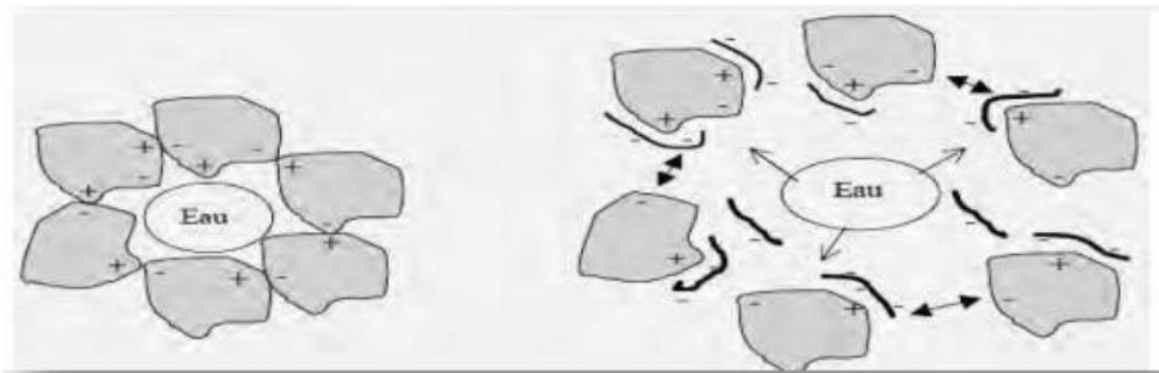


Figure I-6: Action des super plastifiants-défloculation des grains de ciment [5].

B) Adjuvants modifiant la prise et le durcissement

Ces adjuvants sont des produits chimiques, qui modifient les solubilités des différents constituants des ciments et surtout leur vitesse de dissolution physiquement, cette action se traduit par l'évolution du seuil de cisaillement dans le temps, en fonction de l'adjuvant utilisé :

Accélérateurs de prise et durcissement

Les accélérateurs de prise et les accélérateurs de durcissement avancent le début de prise ou accélèrent le processus de durcissement en libérant la chaleur d'hydratation plus rapidement. L'hydratation étant plus rapide, le béton peut être décoffré, mis en charge ou exposé au gel plus tôt. L'effet des accélérateurs dépend beaucoup de leur composition chimique et de celle du ciment utilisé. En cas de surdosage, on peut observer une inversion du phénomène recherché, c'est-à-dire un ralentissement au lieu d'une accélération de la prise ou du durcissement.

Les accélérateurs entraînent souvent une perte plus ou moins importante de la résistance finale du béton ou mortier. Ces adjuvants peuvent avoir une influence majeure sur les caractéristiques du béton frais et durci. Leurs effets se basent sur des réactions chimiques et/ou physiques très complexes, c'est pourquoi il faut éviter de mélanger différents types d'adjuvants ou combiner des adjuvants provenant de fabricants différents. Il est impératif de procéder à des essais préliminaires, afin de définir le bon dosage et le type d'adjuvant adapté au ciment, aux additions, à l'eau et aux granulats de la recette de béton et mortier.

Retardateurs de prise

Les retardateurs de prise ont pour effet de retarder le début de la prise du ciment et de prolonger ainsi le délai de mise en place du béton.

Leurs applications principales sont les suivantes :

- ✓ Bétonnage par temps chaud.
- ✓ Transport du béton sur de longues distances.
- ✓ Bétonnage de gros volumes ou de grandes surfaces.

Un béton avec retardateur de prise durcit moins vite au jeune âge, mais sa résistance à 28 jours est souvent un peu plus élevée que celle d'un béton sans retardateur. Du fait de son durcissement initial ralenti, un béton avec retardateur de prise nécessite une cure prolongée et particulièrement attentive. En cas de surdosage, l'effet du retardateur de prise peut s'inverser et devenir accélérateur.

C) Adjuvants modifiant les propriétés physiques :

Entraîneurs d'air :

Le rôle des entraîneurs d'air est d'incorporer des millions de petites bulles d'air d'un diamètre compris entre 10 et 300 μm dans le béton afin d'augmenter la résistance aux cycles de gel -dégel.

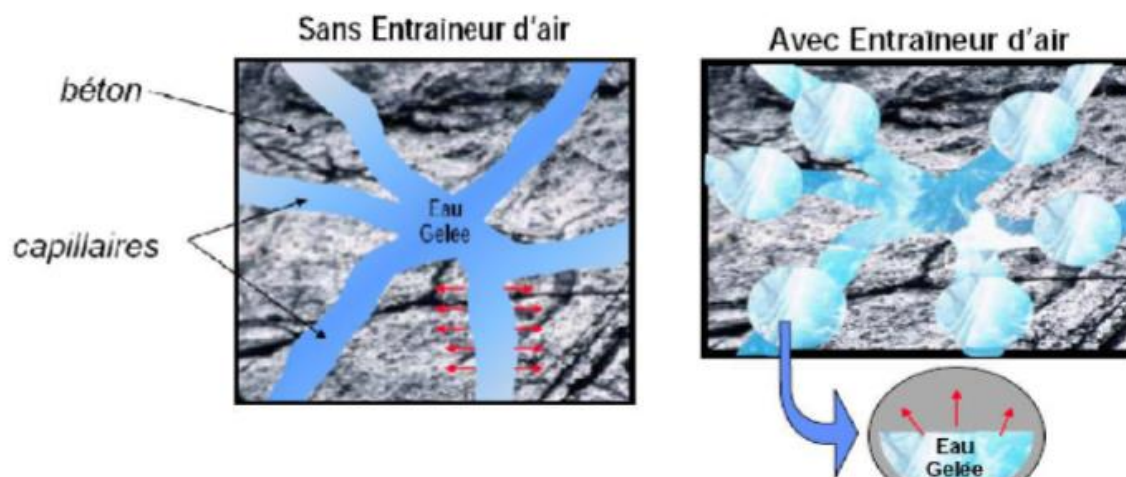


Figure I-7 Action de l'adjuvant entraîneur d'air [6].

Il en résulte également une amélioration de l'ouvrabilité et une diminution du ressuage du fait de leur nature chimique particulière, les entraîneurs d'air ont la capacité d'introduire des bulles d'air de la dimension voulue dans le béton et de les stabiliser (Figure I-7).

Adjuvant	Abréviation	Effets principaux et domaines d'application
Plastifiant	BV	Diminution de l'eau de gâchage et/ou amélioration de l'ouvrabilité (éléments préfabriqués).
Fluidifiant	FM	. Forte Diminution de l'eau de gâchage et/ou amélioration de l'ouvrabilité. . Permet d'obtenir des bétons à durabilité accrue et/ou à mise en place facilitée (béton pompés, SCC).
Entraîneur d'air	LP	Production et dispersion de fines bulles d'air dans la masse du béton en vue d'augmentation sa résistance au gel et aux sels de déverglaça gé (ouvrage d'art).
Retardateur de prise	VZ	Retardement du début de prise du béton (bétonnage par temps chaud).
Accélérateur de prise	SBE	Accélération du processus de prise du béton (bétons projetés)
Accélérateur de durcissement	HBE	Accélération du processus de durcissement du béton (préfabrication).

Tableau I-4 Type d'adjuvants avec leur abréviation et les effets principaux selon *SN EN 93(19)* [6].

Conclusion:

Ce chapitre présente une étude bibliographique sur les mortiers, les différents adjuvants, les déchets d'aluminium et leurs valorisations d'une façon générale ainsi que leurs effet sur les mortiers.

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.

II.2. Objectif du travail :

Notre objectif est d'étudier la valorisation des déchets d'aluminium dans la formulation des mortiers.

Le sable est substitué par le déchet d'aluminium (0/3) mm à des proportions (0%, 2%, 5%, 7% et 10% du poids de sable). Le but 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 :

- Un ciment produit de la cimenterie Lafarge de type CPA-CEM I 42.5 (CRS)
- Le sable de dune de la région de Boussaâda.
- Un entraîneur d'air avec un dosage de 0.08 %.
- Déchet d'aluminium (0/3) mm.

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.

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*.

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*.

- Le temps de début de 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*.

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 tamisâtes 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 :

$$M_f = \frac{\sum R_i}{100}$$

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

Tableau II.1 : Classement de sable.

- **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.

Principe de l'essai: L'essai consiste à laver l'échantillon de sable puis déterminer la quantité d'élément fins (argile linons et impuretés) contenues dans cet échantillon, par rapport à la quantité d'élément sableux. C'est le rapport multiple par cent (100) de la hauteur de la partie sédimentée à la hauteur total 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 flocculant 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.

$$ESV = (h_2 / h_1).100$$

h_1 : La hauteur du sable + élément 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.

$$ESV = (h'_2 / h_1).100$$

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.

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.

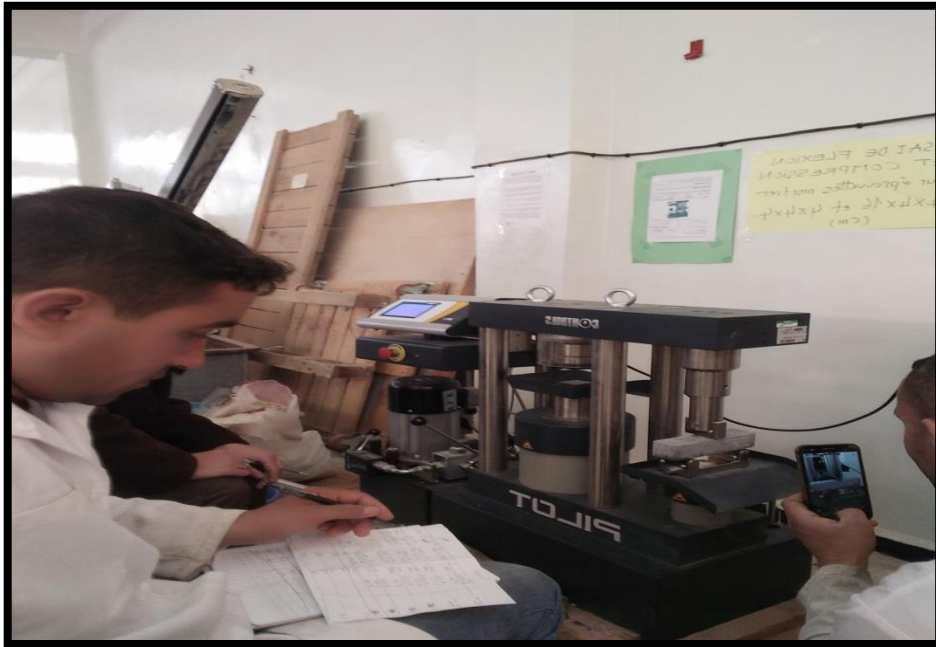


Figure II.3: L'essai de compression et de la flexion par traction .

- Essai de porosité: [8]

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.



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 à la température de 100 °C. Le taux de diminution de la masse des éprouvettes est déterminé à partir :

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

- $\Delta m = m_1 - m_2$.
- T: Taux de perte de masse.
- m_1 : Poids avant expositions à la température 100 °C à l'étuve .
- m_2 : Poids après l'immersion à la l'eau pendant 24h.



Figure II.6 : Four et étuve du laboratoire.

II.8. Caractéristiques des matériaux utilisés :

II.8.1 Ciment :

Le ciment CPA-CEM I 42.5 (CRS) de la cimenterie Lafarge de Hammam Dhalàa wilaya de M'SILA

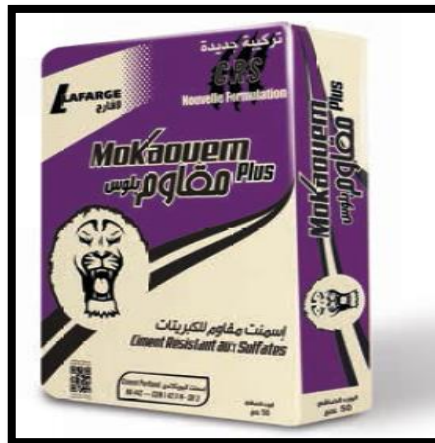


Figure II.7: Ciment CPA-CEM I 42.5 (CRS)

II.8.2 Eau de gâchage :

L'eau utilisée pour le gâchage de mortier est une eau potable du réseau publique 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 le sable de dune de la région de Boussaâda broyé.

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

a- Caractéristiques physiques du sable utilisé :*** Masse spécifique (absolue) du Sable NF P18- 555**

C'est la masse de l'unité de volume absolu de corps, c'est à dire de la matière qui constitue le corps sans tenir compte du volume vide. La masse volumique absolue du sable est calculé d'après la formule:

$$\rho_{abs} = \frac{M}{V_2 - V_1}$$

N° d'essai	M (g)	V1 (cm ³)	V2 (cm ³)	ρ_{abs} (g/cm ³)	ρ_{moy} (g/cm ³)
1	300	300	415	2.65	2.62
2	300	300	415	2.6	
3	300	300	414	2.63	

Tableau II.2 : Masse volumique absolue du sable.

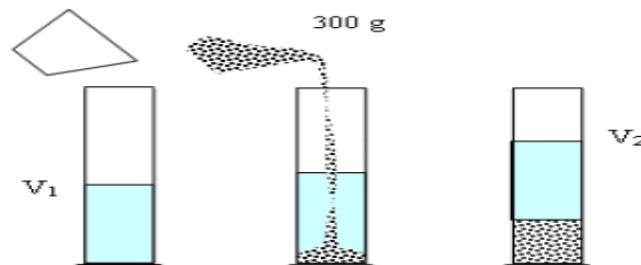


Figure II.8: Méthode de l'éprouvette.

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

1-À l'état lâche

C'est La masse du matériau par unité de volume V comprise le volume des vides existant entre les grains ; Est donnée par formule suivant :

Volume de récipient $V_r = 900\text{cm}^3 = 0.9 \text{ l}$.

$$\rho_{app} = (M_2 - M_1)/V_r$$

N° d'essai	M_1 (g)	M_2 (g)	ρ_{app} (g / cm^3)	ρ_{moy} (g / cm^3)
1	104.3	1427.4	1.47	1.48
2	104.3	1445.2	1.49	
3	104.3	1439.5	1.48	

Tableau II.3 : Masse volumique apparente du sable à l'état lâche.

2- À l'état compact

La masse volumique à l'état compact est la masse du matériau par unité de volume après compactage y compris les vides restants entre les grains, elle est souvent supérieure à la masse volumique à l'état lâche.

Même procédure que celle à l'état lâche. Après remplissage du récipient (après tassement) on soumet ce dernier à 30 secousses manuelles. On complète le remplissage du récipient après le tassement du sable, puis on nivelle ce dernier et l'on pèse. La masse volumique à l'état compact est donnée par la formule suivante:

D' où:

M_1 : Masse du récipient à vide.

M_2 : Le poids de l'ensemble (sable+ récipient)

$$\rho_{app} = (M_2 - M_1)/V_r$$

N° d'essai	M_1 (g)	M_2 (g)	ρ_{app} (g/cm ³)	ρ_{moy} (g/cm ³)
1	104.3	1570.4	1.63	1.625
2	104.3	1561.7	1.62	
3	104.3	1566.8	1.625	

Tableau II.4 : Masse volumique apparente du sable à l'état compact.

***Porosité :**

La porosité d'un matériau est le rapport du volume total, elle représente donc le degré de remplissage de son volume occupé par les vides. La porosité est donnée par la relation suivante :

$$P(\%) = \left[1 - \frac{\rho_{app}}{\rho_{abs}} \right] \times 100$$

On distingue deux cas pour le sable concassé :

- Etat lâche : $p_L = 43.51\%$
- Etat compacte : $p_c = 38.16\%$

*** Compacité**

La compacité d'un matériau est une proportion de son volume réellement occupé par la matière solide qui le constitue, c'est -à-dire le rapport du volume absolu des grains au volume apparent du matériau.

$$C = \left(\frac{\rho_{app}}{\rho_{abs}} \right) = 100 - P$$

On distingue deux cas pour le sable concassé :

- Etat lâche : $C_L = 56.49\%$
- Etat compacte : $C_c = 61.84\%$

*** Indice des vides**

L'indice des vides est le rapport entre le volume du vide et le volume de solide.

$$e = V_v / V_s = P / (100 - P) = P / C$$

Avec P en pourcent (%).

On distingue deux cas pour le sable :

- Etat lâche : $e = 0.77 \%$
- Etat compacte : $e = 0.62 \%$

Les résultats de la porosité, la compacité et l'indice de vide sont regroupés dans le tableau suivant pour le sable :

Porosité P(%)		Compacité C(%)		Indice des vides e	
Lâche	Compact	Lâche	Compact	Lâche	Compact
43.51	38.16	56.49	61.84	0.77	0.62

Tableau II.5 : La porosité, la compacité et l'indice de vide pour le sable.

*** Equivalant de sable NF-18-598**

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.

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'éléments sableux. C'est le rapport multiple 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.

A. Equivalent de sable visuel (E.S.V):

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

$$ESV = \left(\frac{h_2}{h_1} \right) \cdot 100(\%)$$

Où $h_2 < h_1$.

h_1 : la hauteur du sable + élément fins.

B. Equivalent de sable par 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.

$$ESP = \left(\frac{h'_2}{h_1} \right) \cdot 100(\%)$$

Où $h'_2 < h_1$.

N° d'essai	h_1 (cm)	h_2 (cm)	ESV(%)	h'_2 (cm)	ESP(%)
01	11	8.7	79.09	8.7	79.09
02	10.8	9	83.33	8.5	78.70
03	10.2	8.4	82.35	8	78.43

Tableau II.6 : Equivalent du sable.

E .S.V	E.S.P	Nature et qualité du sable
E.S<65	E.S<60	Sable argileux : Risque de retrait ou de gonflement à rejeter pour des bétons de qualité.
65<E.S<75	65<E.S<70	Sable légèrement argileux de propriété admissible pour des bétons de qualité courante quand on ne craint pas particulièrement le retrait.
75<E.S<85	70<E.S<80	Sable propre à faible pourcentage de farine argileux convient parfaitement pour des bétons de hautes qualité.
E.S≥85	E.S≥80	Sable très propre : l'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.

Tableau II.7 : Résultats de équivalent du sable visuel et par piston.

On a :

ESV moy	81.59	75<E.S<85
ESP moy	78.74	70<E.S<80

Pour le sable Boussaâda c'est un sable propre à faible pourcentage de farine argileux convient parfaitement pour des bétons de hautes qualité.

* Analyse granulométrique NF P 18-304

L'analyse granulométrique permet de mesurer la distribution dimensionnelle en poids des éléments d'un matériau. Elle comprend deux opérations :

- Tamisage;
- Sédimentation;

La granularité est exprimée par une série des tamis Courbe granulométrique qui donne la répartition de La dimension moyenne des grains, exprimée sous Forme de pourcentage du poids total du matériau. Elle est trachéen diagramme semi-logarithmique avec :

- En abscisse, le logarithme de la dimension de Ouvertures des tamis en valeurs croissants
- En ordonnée, le pourcentage, en poids du matériau
- total de la fraction du sable dont les grains ont un diamètre moyen inférieur à celui de l'abscisse correspondante (passant). On constate que la courbe granulométrique est un élément fondamental de la classification du matériau.

Tamis (ouverture) (mm)	Masse des refus cumulés Ri (g)	Refus cumulés (g)	Pourcentage refus cumulés (%)	Pourcentage tamisât cumulés (%)
5	0	0	0	100
2.5	55	55	2.75	97.25
1.25	82	137	6.85	93.15
0.63	100	237	11.85	88.15
0.315	1136	1373	68.65	31.35
0.16	523	1896	94.8	5.2
0.08	93	1989	99.45	0.55
Fond de tamis	7	1996	99.8	0.2
Module de finesse du sable $M_f = 3.84$				

Tableau II. 8 : Analyse granulométrique de sable de dune 0/5 selon la norme NF EN 933-1

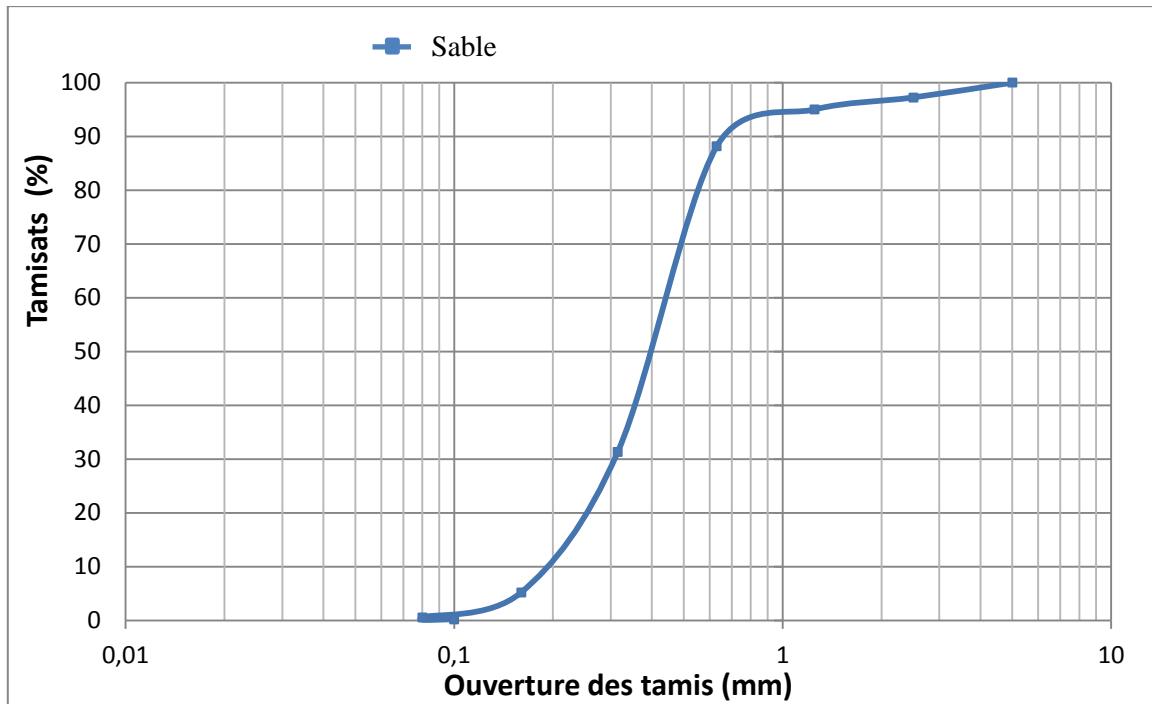


Figure II. 9: Courbe granulométrique de sable

*** Module de finesse EN 196-6**

Le module de finesse (MF) est une facteur très importante qui nous permet de juger la qualité du sable, il est donné par la relation suivant :

$$M_f = \frac{\sum R_i}{100}$$

Avec:

Ri : refus cumulé en pour cent (%).

Quantité de sable	Module de finesse
Gros	> 2.5
Moyen	2 à 2.5
Fin	1.5 à 2.0
Très fin	1.0 à 1.5

Tableau II.9 : Classement des sables d’après le module de finesse.

Pour le sable de dune >2,5 :C’est un sable gros.

II.8.4 Déchet d'aluminium (0/3) mm :

Les résultats des essais sur du sable sont résumés aux tableaux suivant:

Caractéristiques	Résultats
Masse spécifique absolue ρ_{abs} (g /ml)	5.45
Masse volumique apparente à l'état compact ρ_{pc} (g /ml)	1.95
Masse volumique apparente à l'état lâche ρ_{pl} (g /ml)	2.07
Porosité a l'état compact pc (%)	64.22
Porosité à l'état lâche pl (%)	62.01
Compacité à l'état compact cc (%)	35.78
Compacité à l'état lâche cl (%)	37.99
Indice des vides à l'état compact ec (%)	1.78
Indice des vides à l'état lâche el (%)	1.63
Equivalent de sable visuel Esv (%)	48
Equivalent de sable visuel Esp (%)	49.5

Tableau II.10 : Caractéristiques physiques du déchet d'aluminium (0/3) mm
selon la norme NF EN 933-1

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.10 : Déchet d'aluminium.

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

Tamis (ouverture) (mm)	Masse des refus cumulés Ri (g)	Refus cumulés (g)	Pourcentage refus cumulés (%)	Pourcentage tamisât cumulés (%)
5	0	0	0	100
2.5	5	5	1.052	98.948
1.25	208.3	213.3	44.9	55.10
0.63	132.5	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 $M_f = 5.09$

Tableau II. 11 : Analyse granulométrique de déchet d'aluminium (0/3) mm selon la norme NF EN 933-1

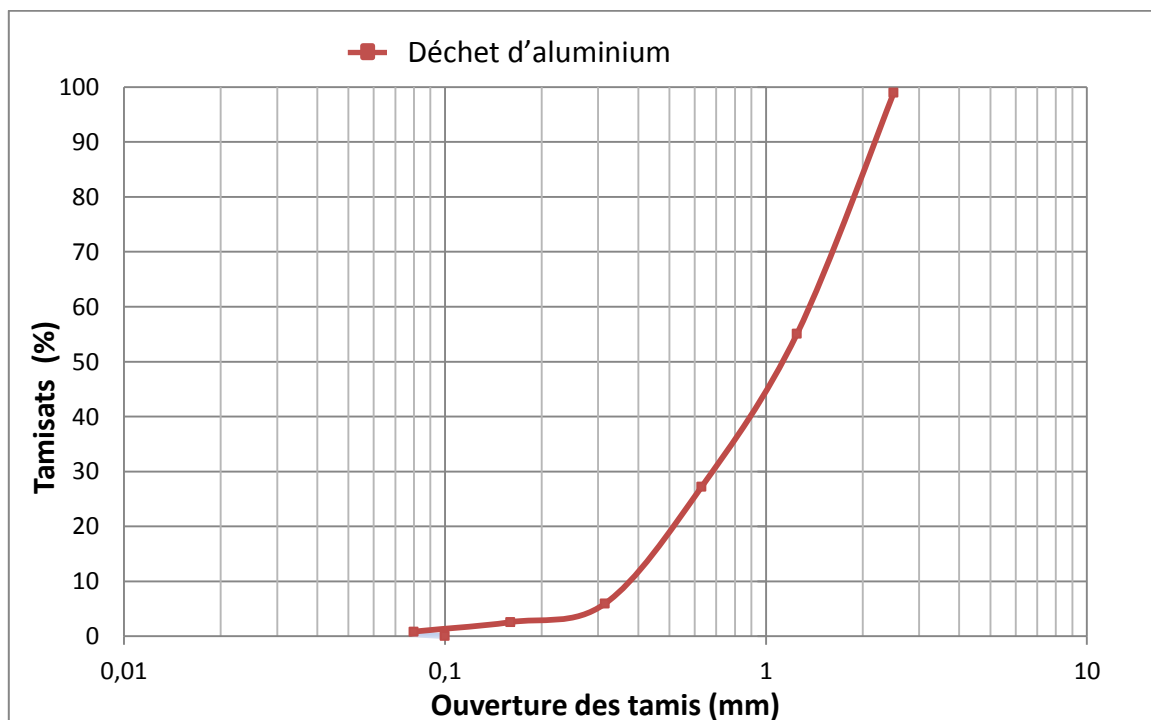


Figure II.11: Courbe granulométrique des déchets d'aluminium.

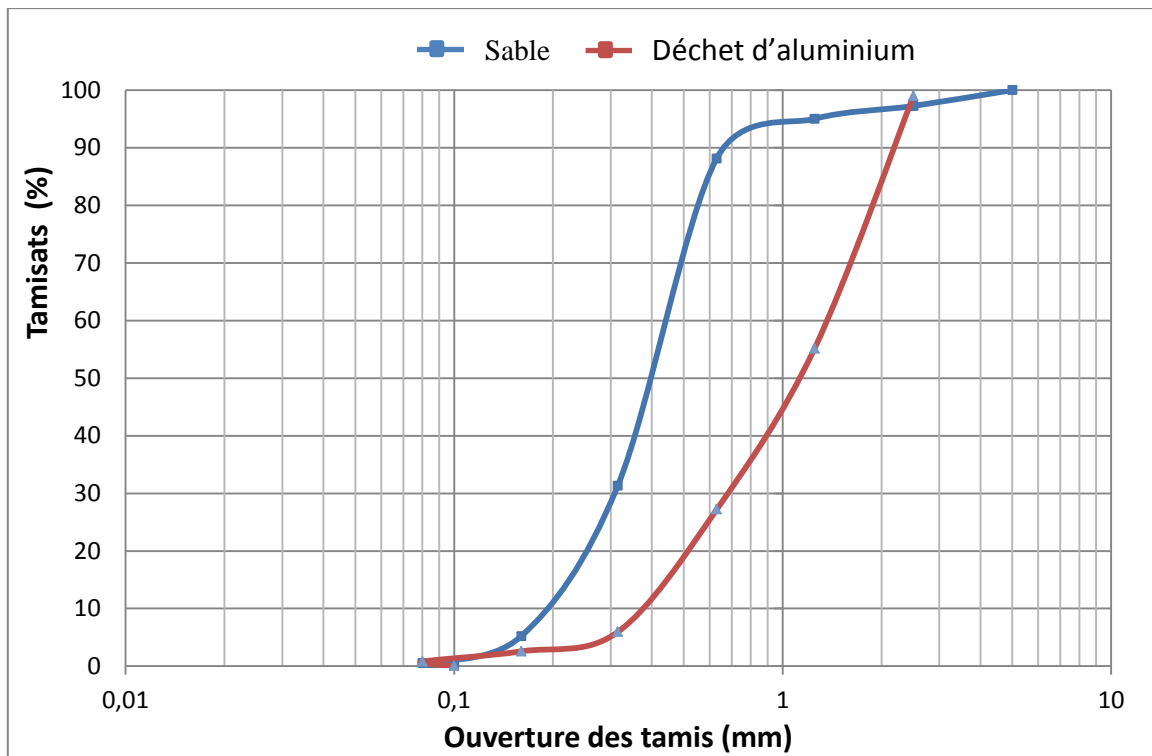


Figure II.12: Courbes granulométriques de sable et déchets d'aluminium.

L'agent entraîneur d'air utilisé est le MEDA - AIR de la société GRANITEX Oued Smar, (Wilaya d'Alger), diluer dans l'eau et conforme à la norme EN 934 – 2.

Entraîneurs d'air	Ions chlores	Forme	Couleur	PH	Densité
MEDA-AIR	< 1%	Liquide	Pas un coloré, transparent comme l'eau	7-8	1,00 (±0,01)

Tableau II-12: Caractéristiques physico-chimiques de l'entraîneur d'air.

✓ Super plastifiants

Superplastifiant	extrait sec	Forme	Couleur	PH	Densité	Teneur en chlore
Médaplast (SP) (40)	40%	Liquide	Marron	8.2	1,20 ± 0,01	< 1g/L

Tableau II-13 : Caractéristiques physico-chimiques du super plastifiant (SP 40).

Conclusion :

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

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

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 :

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% de déchet d'aluminium;
- **Formulation 3** : mortier formulé avec 5% de déchet d'aluminium;
- **Formulation 4** : mortier formulé avec 7% 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:

- Quatre Pourcentage de déchet d'aluminium de (2% , 5% , 7% et 10%).
- Sable de Boussaâda .

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:

	Sable (g)	Déchets d'aluminium(g)	L'eau (g)	E/C	Ciment (g)
Formulation1	1350	0	225	0.5	450
Formulation2	1327	27	202.5	0.45	450
Formulation3	1282.5	67.5	225	0.5	450
Formulation4	1255.5	94	247.5	0.55	450
Formulation5	1215	135	270	0.60	450

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

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

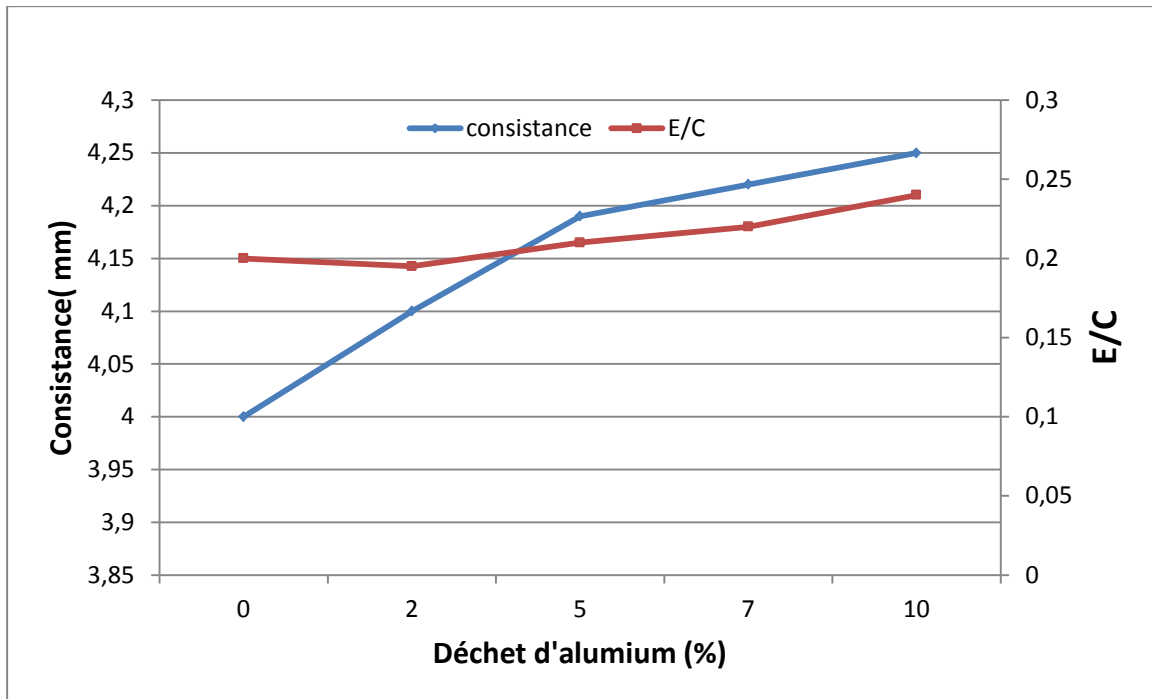


Figure III.1: Consistance normale de la pâte de ciment en fonction de pourcentage du déchet d'aluminium.

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 d'aluminium exprimée par les en eau pour obtenir une consistance normale.

Selon les résultats obtenus, on note que l'augmentation de pourcentage du déchet d'aluminium 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

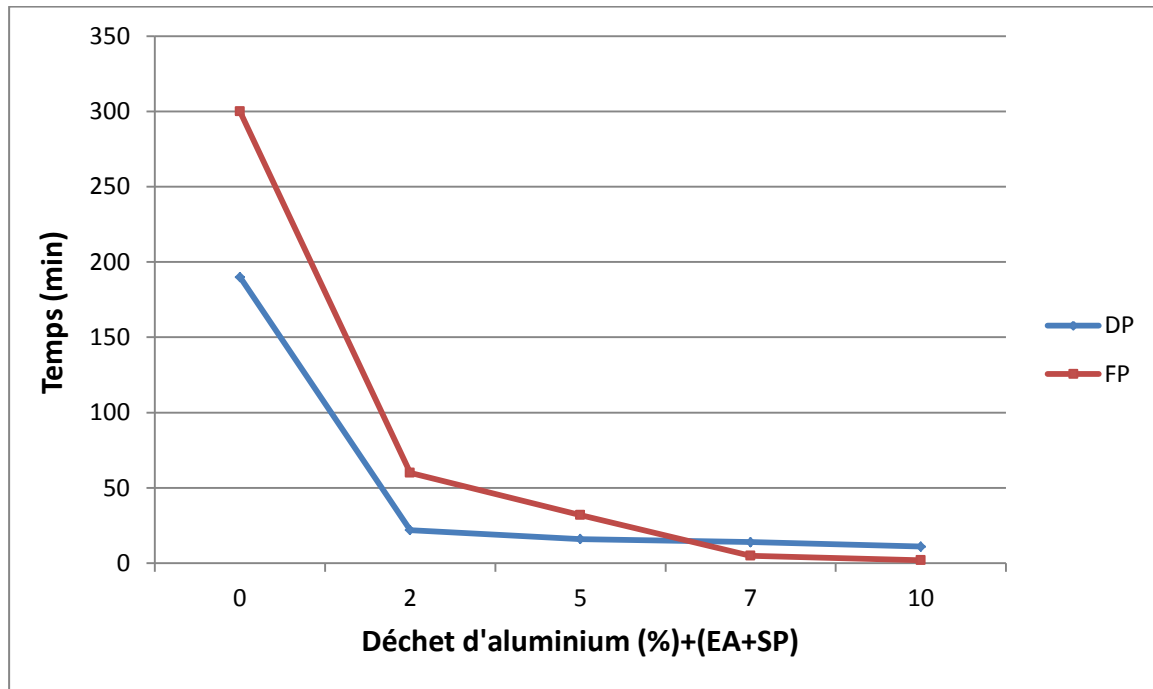


Figure III.2: Variation des temps de prise en fonction de pourcentage du déchet d'aluminium avec l'entraîneur d'air et un super plastifiant.

Les résultats de la variation des temps de prise en fonction de pourcentage du déchet d'aluminium avec l'entraîneur d'air et un super plastifiant 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% 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.

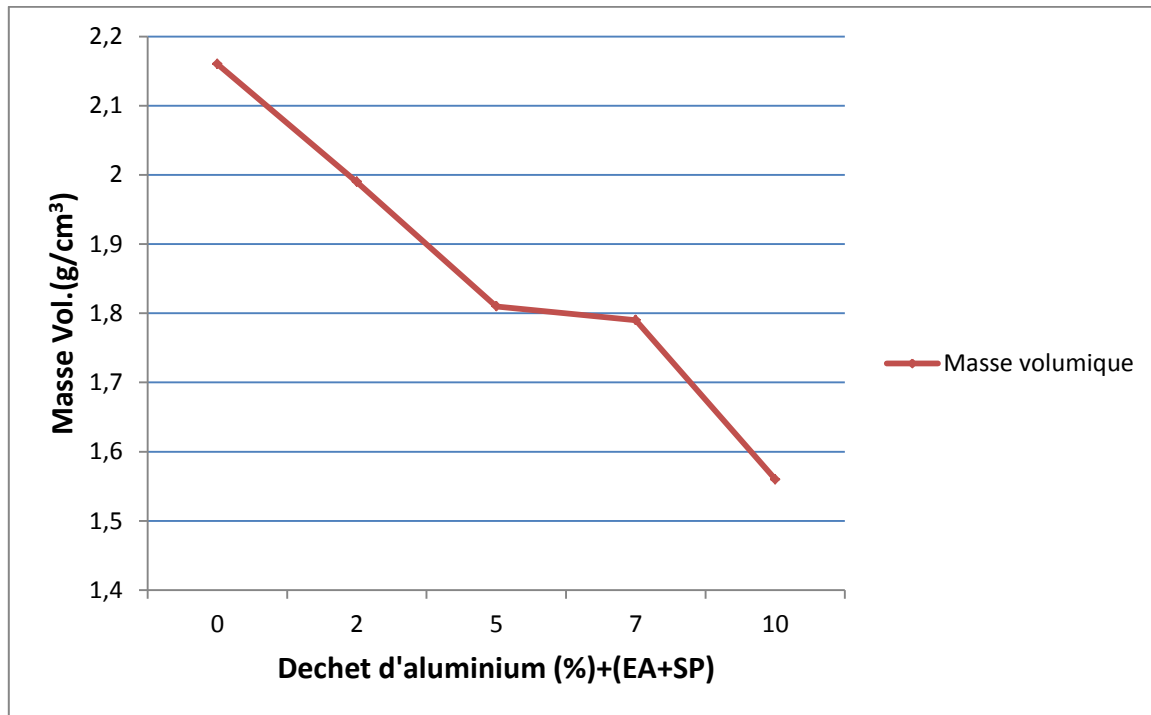


Figure III.3: Variation de masse volumique en fonction de pourcentage du déchet d'aluminium avec l'entraîneur d'air et un super plastifiant.

Les résultats de la variation de la masse volumique en fonction du pourcentage du déchet d'aluminium avec l'entraîneur d'air et un super plastifiant 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.

III.4.2. Absorption :

Les résultats de l'étude de l'absorption pour les différentes formulations de mortier sont représentés dans la figure suivante:

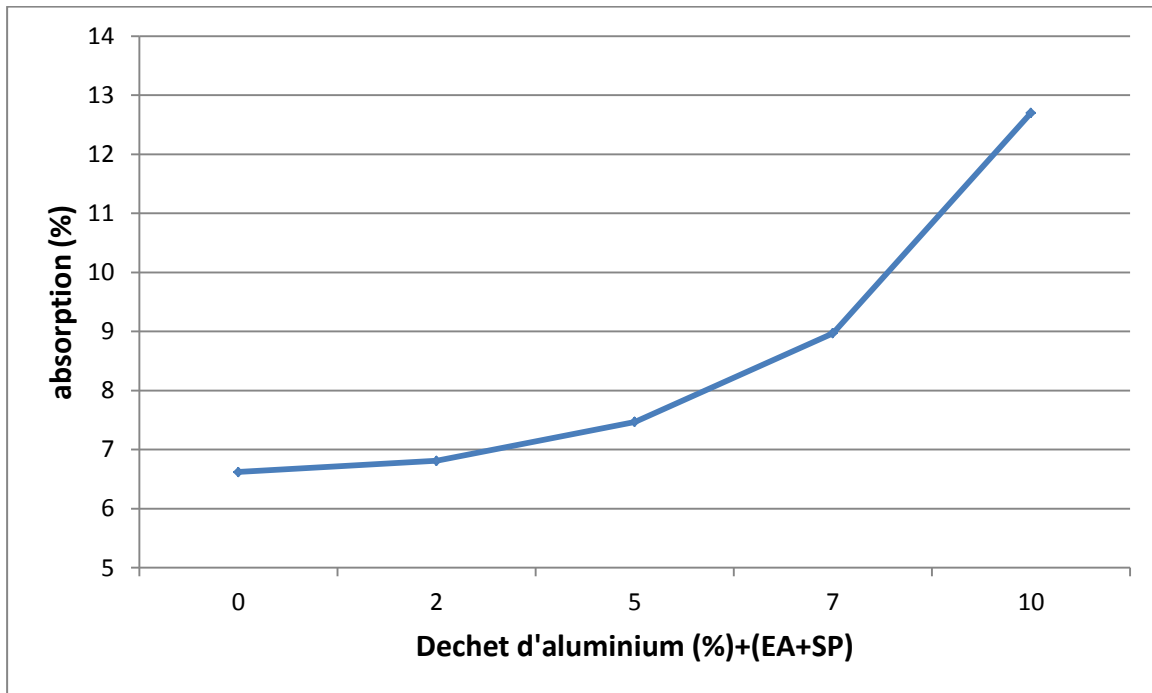


Figure III.4: Variation absorption fonction de pourcentage du déchet d'aluminium avec l'entraineur d'air et un super plastifiant.

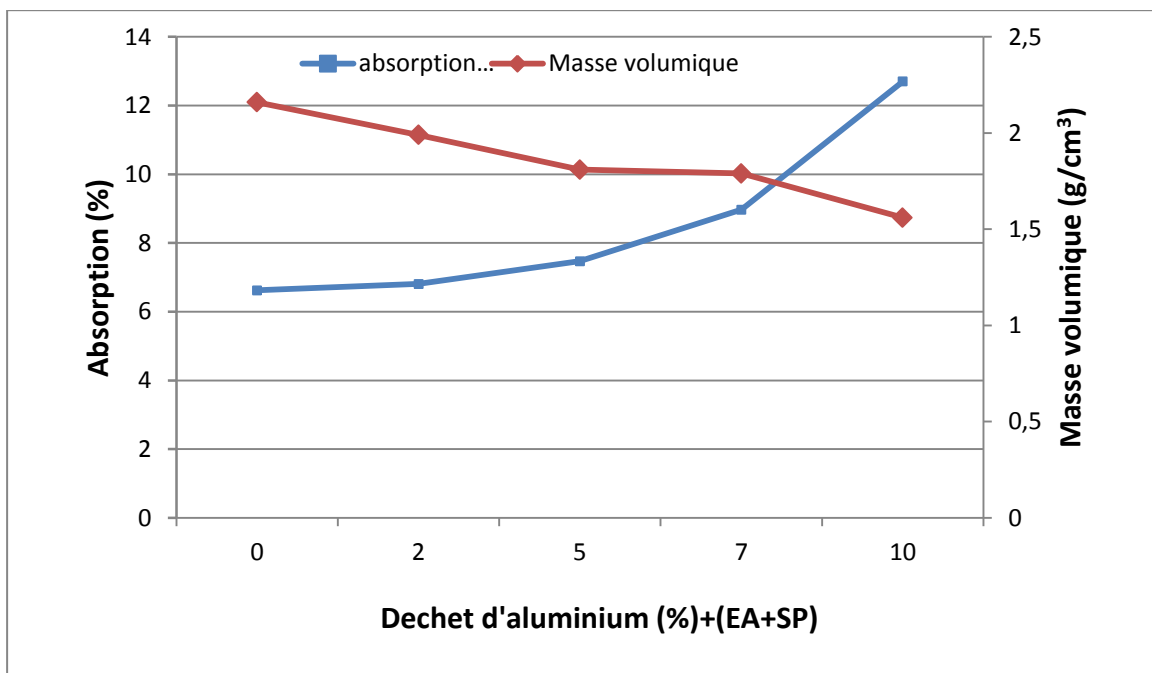


Figure III.5: Variation de l'absorption et de la masse volumique en fonction de pourcentage du déchet d'aluminium avec l'entraineur d'air et un super plastifiant.



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 absorption de mortier. On remarque que l'augmentation de la absorption est proportionnelle avec l'augmentation de pourcentage du déchet.

III.4.3. Essais de compression et de flexion :

La variation de R_{C28j} et R_{f28j} en fonction de pourcentage du déchet d'aluminium est représentée sur la figure suivante.

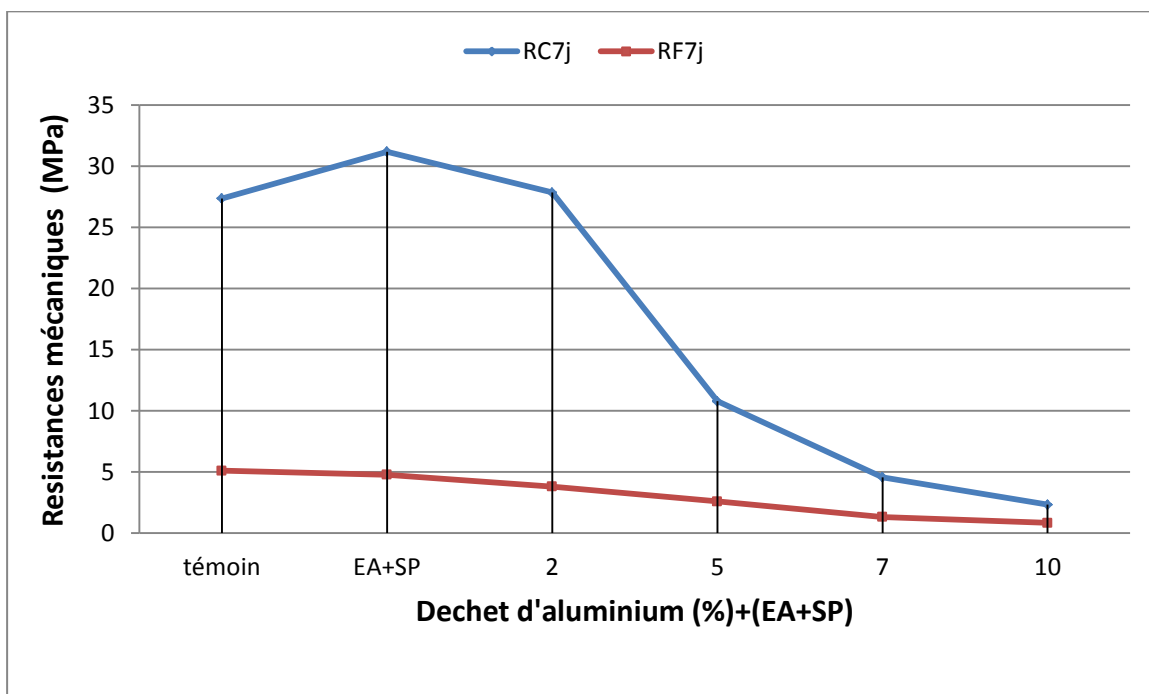


Figure III.7 : Variation de R_{C7j} et R_{f7j} en fonction de pourcentage du déchet d'aluminium.

La variation de R_{c28j} et R_{f28j} en fonction de pourcentage du déchet d'aluminium est représentée sur la figure suivante.

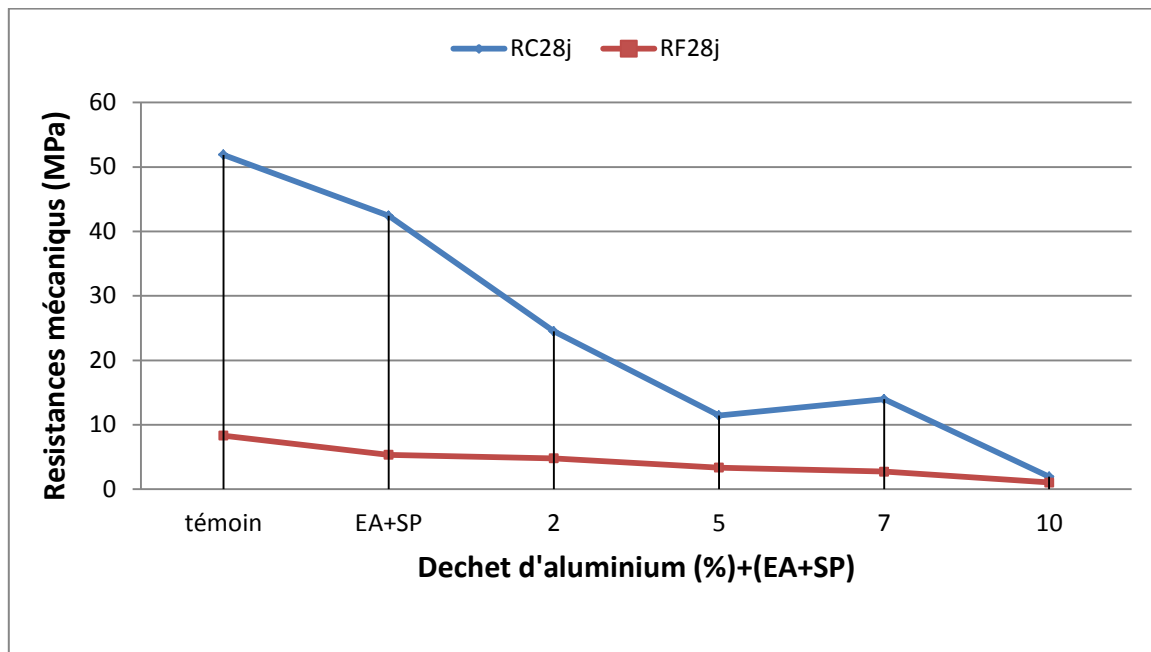


Figure III.8: Variation de R_{c28j} et R_{f28j} en fonction de pourcentage du déchet d'aluminium avec l'entraîneur d'air et un super plastifiant.

Selon les résultats obtenus (Figure III.7) et (Figure III.8) On note que l'augmentation de pourcentage du déchet d'aluminium incorporé dans le mortier a l'effet suivant:

Diminution (R_{c7j} et R_{f7j} ; R_{c28j} et R_{f28j}) proportionnellement avec l'augmentation de pourcentage du déchet. Cette diminution devient importante (presque 80%) dans les pourcentages du déchet (7% 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 sur ces résultats avec des justifications.

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. Le sable est substitué par le déchet d'aluminium (0/3) mm à des proportions (0, 2, 5, 7 et 10% du poids de sable) et comparé par rapport au mortier témoin.

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 et 10 %) d'aluminium.
- La diminution de la 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 est proportionnelle avec l'augmentation de taux de déchets en raison de la masse volumique légère des mortiers formulés.
- 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} . Cette diminution devient importante (presque 80%) dans les pourcentages de déchets (7 et 10 %). Alors on peut dire que l'incorporation de déchets d'aluminium affaiblit le mortier.
- Lorsqu'on augmente le pourcentage d'entraîneur d'air la capacité d'absorption augmente.
- L'addition d'aluminium comme déchets au mortier (jusqu'à 5% en poids de ciment) diminue les résistances à la compression et à la flexion à des niveaux acceptables pour certaines applications (la protection d'étanchéité sur terrasse, le remplissage de vides et comblement de galeries et de canalisation, le rattrapage de niveau, ... etc.)
- L'utilisation des déchets d'aluminium dans les matériaux cimentaires est un moyen intéressant de recycler les déchets, ce qui permet de réduire l'élimination des déchets sur les sites et de préserver les ressources naturelles.

Perspectives

Suite à notre étude nous proposons les points suivants pour des travaux futurs :

- Etudier l'utilisation des déchets d'aluminium comme adjuvant dans la production de béton.
- Etudier l'effet des déchets d'aluminium avec d'autres adjuvants sur le comportement du béton et mortier.

Références Bibliographiques

- [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 DjillaliLiabès Sidi bel Abbès - Ingénieur d'état en biologie 2012
- [4]: **Fiche d'info d'aluminium:**_p2_classification.pdf
- [5] **Tabet Nesrin** : Contribution à l'étude de l'influence de la nature et des dimensions des fibres sur le comportement physico-mécanique des béton autoplaçants fibres(BAPF), mémoire de magistère, université M'hamed Bougara - Boumerdes .2012.
- [6] **ZAIDI Imane et BEN ABDELAZIZ Saloua** : Contribution à Etude de l'effet de la nature de l'adjuvant sur les propriétés physico – mécanique d'un mortier soumis à hautes températures, mémoire de master, université MOHAMED BOUDIAF - M'SILA.2017.
- [7]:La norme NF EN 196-3: Septembre 2017 Méthodes d'essai des ciments - Partie 3 : détermination du temps de prise et de la stabilité .
- [8]: **La norme NF EN 196-7** : Juillet 2008 Méthodes d'essai des ciments - Partie 7 : méthodes de prélèvement et d'échantillonnage du ciment.
- [9]: **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.
- [10]:**La norme NF EN 933-8**: Mars 2012 Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats - Partie 8 : évaluation des fines - Équivalent de sable
- [11]: **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.
- [12]: **Cours science des matériaux de construction** (Travaux pratique): Université Aboubekr Belkaid préparé par M. GHOMARI F. & Mme BENDI-OUIS A.

Annexe



Mokaouem Plus

مقاوم بلوس



Ciment Portland

NA 442 - CEM I 42,5 N-SR3

Mokaouem est un ciment gris résistant aux sulfates, résultat de la mouture d'un clinker contenant un faible taux d'aluminates de calcium avec une proportion de gypse inférieure à celle d'un ciment portland composé.

Mokaouem

NA 442 - CEM I 42,5 N-SR3

Mokaouem NA 442 -CEM I 42,5 N-SR3 selon la NA 442 v 2013 et la EN 197-1II est conforme à la norme nationale NA 442 v 2013 et à la norme Européenne EN 197-1 avec un taux en C3A < 3%.

AVANTAGES PRODUIT



- Tout en étant un ciment de haute performance, **Mokaouem** protège la structure contre les agressions chimiques de l'environnement externe.
- Une meilleure durabilité pour les structures en béton.
- Une faible chaleur d'hydratation.











APPLICATIONS RECOMMANDÉES

- Les fondations et les structures à réaliser dans un milieu agressif
- Les travaux maritimes
- Les stations de dessalement et d'épuration
- Les travaux hydrauliques
- Les barrages et les digues de soutènement collinaire



FORMULATION CONSEILLÉE

	Ciment 	Sable (sec) 	Gravillons (sec) 		Eau (litres) 
		0/5	8/15mm	15/25mm	
Dosage pour béton C25/30	X 1 	+ X7 	+ X5 	+ X4 	+ 25 L

Remarque: un bidon = 10 Litres

Formulation de béton à suivre dans le cas de l'absence d'une étude délivrée par un laboratoire"

CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES

• Analyses chimiques

	Valeur
Perte au feu (%) (NA5042)	0,5 à 3 %
Teneur en sulfates (SO3) (%)	1,8 à 3
Teneur en oxyde de magnésium MgO (%)	1,2 à 3
Teneur en Chlorures(NA5042) (%)	0,01 à 0,05

• Temps de prise à 20° (NA 230)

	Valeur
Début de prise (min)	> 60
Fin de prise (min)	240 à 400

• Composition minéralogique

	Valeur
Taux d'aluminate C3A	<3.0%

• Résistance à la compression

	Valeur
2 jours (MPa)	≥10
28 jours (MPa)	≥42.5

• Propriétés physiques

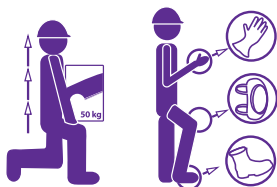
	Valeur
Consistance Normale (%)	25 à 28
Finesse suivant la méthode de Blaine (cm ² /g) (NA231)	3200 à 3800
Retrait à 28 jours (µm/m)	< 1000
Expansion (mm)	≤2,0
Chaleur d'hydratation	<270j/g

Ces valeurs sont données à titre indicatif et ne peuvent être considérées comme absolues

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:

