

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE MINISTERE DE  
L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE.

UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTÉ : Technologie

DÉPARTEMENT : Génie Civil

SPECIALITE : Matériaux



**MEMOIRE**

**Pour l'obtention du diplôme de Master**

**Présenté par :**

**OUCIF Anfel et CHAIB RABI Fatima Ez zohra**

**Etude de l'effet de l'entraineur d'air et des  
déchets d'aluminium sur le comportement des  
mortiers légers**

Devant le jury :

<b>NOM et Prénoms</b>	<b>Grade</b>	<b>Qualité</b>
BIBI Mekki	Professeur	Président
ZITOUNI Salim	MCA	Examineur
RAHMOUNI Zine El Abidine	Professeur	Encadrant
TEBBAL Nadia	Professeur	Co-Encadrant

**Année universitaire 2023/2024**



## **REMERCIEMENTS**

*Je tien tout d'abord à exprimer ma profonde reconnaissance à mon professeur **Rahmouni Zine El Abidine**, l'inspirateur qui m'a appris la rigueur de la Génie civil. Je le remercie pour son soutien, pour ses recommandations et pour ses conseils et ses commentaires sur la réalisation de ce travail.*

*Mes vifs remerciements vont également à mon Co-encadreur de recherche **Tebbal Nadia** qui m'a chaleureusement accueilli et ma accompagné dans ce travail, je la remercie pour son orientation, ça patience et ces précieux conseils.*

*Nous désirons également remercie les ingénieurs de laboratoire de Génie civil de l'université de m'sila. Pour leurs assistances aidées.*

*Merci notamment à tous les membres de jury qui ont accepter de lire et d'évaluer notre mémoire.*

*J'adresse aussi mes remerciements à mes chers collègues de la promotions « matériaux de construction » juin 2024.*

*Nous souhaitons enfin, remercie toutes les personnes qui ont contribué à l'élaboration de ce modeste travail.*

**Anfel Oucif**

**Chaib rabi Fatima Ez zohra**



## *Dédicace*

*Du profond de mon cœur, je dédie ce travail qui me sont chers...*

*À moi-même, pour ma force et ma persévérance malgré toutes les embûches.*

*À celle dont les prières ont été la clé de ma réussite, ma lumière dans l'obscurité, "maman", ce succès est le tien autant que le mien, merci pour ton soutien inébranlable.*

*À celui qui m'a soutenu sans limites et donné sans rien attendre en retour, "papa", ta générosité et ton amour inconditionnel m'ont porté.*

*À mes frères et sœurs, mon pilier dans la vie, que Dieu vous préserve pour moi.*

*À ma sœur **Samia**, qui nous a quittés mais reste à jamais dans nos cœurs, que Dieu ait son âme.*

*À ma sœur bien-aimée "Yousra" et sa fille "Elyanna Djoud", vous êtes mes trésors, que Dieu vous comble de joies infinies.*

*À tous les enfants de mes frères et sœurs, je vous souhaite un avenir radieux, inshallah.*

*À toute ma famille, pour votre amour et votre soutien constants.*

*À mes amies, qui m'ont entourée d'amour, m'ont donné de la force et ont été mon soutien infailible, vous êtes le cadeau de Dieu pour me faire savourer les plaisirs de la vie...*

**Anfel OUCIF**

## Liste des figures

Figure I.1: Mélange de mortier. ....	3
Figure I.2 : Composition d'un mortier. ....	4
Figure I.3: Ciment portland.....	4
Figure I.4 : La chaux. ....	5
Figure I.5: Influence du E/C sur le retrait plastique des mortiers. ....	10
Figure I.6: Suspension d'eau et de grains de ciment sans et avec ajout d'adjuvant . ....	15
Figure I.7 : Résistance à la compression avec et sans accélérateur. ....	15
Figure I.7 : Résistance à la compression avec et sans retardateur... <b>Erreur ! Signet non défini.</b>	
Figure I.8 : Pourcentage d'air entraîné recommandé suivant la grosseur des granulats (d'après R. E. Hess).....	17
Figure I.9 : Influence du pourcentage d'air entraîné sur les résistances en compression d'un béton 0/25 mm (slump de 8 à 10 cm). ....	18
Figure I.10 : L'effet de l'hydrofuge de masse. ....	18
Figure I.11 : Déchet d'aluminium. ....	23
Figure I.12 : Déchet d'aluminium collecté.....	23
Figure I.13 : Méthodologie d'étude des déchets . ....	24
Figure II.1: Sable de DJAMAA. ....	28
Figure II.2: Essai de la masse volumique absolue. ....	29
Figure II.3: L'essais d'équivalent de sable.....	31
Figure II.4: Principe de détermination l'équivalent de sable.....	33
Figure II.5 :La courbe granulométrique de sable. ....	35
Figure II.6 : Le ciment utilisé.....	35
Figure II.12: L'essais de la compression et de la flexion par traction. ....	41
Figure III.1. : La résistance à la compression des mortiers étudiée. ....	45
Figure III.2: La résistance à la flexion des mortiers étudiée. ....	46
Figure III.3: La masse volumique des mortiers étudiés.....	47
Figure III.4 : Le gonflement au présence d'aluminium....	48
Figure III.5: Texture des mortiers étudiés .....	49
Figure III.6: Variation de la porosité en fonction de déchet d'aluminium et l'entraîneur d'air..	49

## Liste des tableaux

Tableau I .1 : Dosage en adjuvants par rapport au poids du ciment .....	17
Tableau I.1.1 : Désignation des alliages d'aluminium corroyés. .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Tableau I.1.2: Désignation des alliages d'aluminium de fonderie.	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Tableau II.2.1 :La masse volumique absolue de sable .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Tableau II.2.2 : La masse volumique apparente de sable.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Tableau II.2.3: Nature et qualité du sable selon les valeurs d'équivalent de sable .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Tableau II.2.4: L'analyse granulométrique de sable. ....	34
Tableau II.2.5 : Composition chimique et minéralogique de Mâtine.....	36
Tableau II.2.6 : E.D.V .....	37
Tableau II.2.7 : E.D.P.....	37
Tableau II.2.8:La masse volumique apparente de déchet. ....	37
Tableau II.2.9 : La masse volumique absolue de déchet.....	38
Tableau II.2.10: L'analyse granulométrique de déchet.....	38
Figure II.8 : La courbe granulométrique de déchet d'aluminium. ....	39
Figure II.9: La courbe granulométrique de sable Djamaa et déchet d'AL.....	40
Tableau II.2.11: Caractéristiques physico-chimiques de l'entraîneur d'air. ....	40
Tableau III.3.1: La Composition des différents types de formulations de mortier. ....	44
Tableau III.3.2 : La résistance mécanique des formulations étudiés.....	45

## Sommaire :

<b>REMERCIEMENTS</b> .....	2
<b>Liste des figures</b> .....	4
<b>Liste des tableaux</b> .....	5
<b>Liste des abréviations :</b> .....	9
<b>INTRODUCTION GENERALE</b> .....	13
<b>Introduction générale :</b> .....	1
<b>CHAPITRE1</b> .....	1
Introduction : .....	3
<b>1. Les mortiers :</b> .....	3
1.1 Les composants de mortier : .....	3
1.1.1 Liants : .....	4
1.1.2 Sable : .....	5
1.1.3 l'eau : .....	6
<b>1.1.4 Les adjuvants :</b> .....	6
1.2 Les différents types de mortiers : .....	6
1.3 Les avantages du mortier léger : .....	7
<b>2. Utilisation de mortier léger :</b> .....	7
2.1 Type de mortier léger : .....	8
2.2 Les caractéristiques principales des mortiers : .....	8
2.2.1 La maniabilité : .....	9
2.2.2 La perméabilité : .....	9
2.2.3 Les conditions d'hydratation : .....	9
2.2.4 La déformabilité : .....	9
2.2.5 Le retrait : .....	9
<b>2.2.7 L'adhérence :</b> .....	10
<b>2.2.6 La durabilité :</b> .....	11
<b>2.3 Les techniques particulières de mise en œuvre :</b> .....	12
2.3.1 La projection : .....	12
2.3.2 L'injection : .....	12
<b>3. Les adjuvants :</b> .....	12
3.1 Définition : .....	12
3.2 Classification et utilisation : .....	14

3.3	Dosage en adjuvants par rapport au poids du ciment : .....	19
	Les déchets industriels : .....	20
1.	Introduction : .....	20
<b>2.</b>	<b>Déchets industriels : .....</b>	<b>20</b>
<b>3.</b>	<b>Valorisation des déchets industriels : .....</b>	<b>23</b>
	Conclusion : .....	25
	<b>CHAPITRE II.....</b>	<b>4</b>
	<b>Matériaux et matériels .....</b>	<b>4</b>
<b>II.1.</b>	<b>Introduction : .....</b>	<b>28</b>
<b>II.2.</b>	<b>Objectif de travail : .....</b>	<b>28</b>
<b>II.3.</b>	<b>Matériaux utilisés : .....</b>	<b>28</b>
<b>II.4.</b>	<b>Caractérisation des matériaux utilisées : .....</b>	<b>28</b>
<b>4.1.</b>	<b>Sable : .....</b>	<b>28</b>
<b>4.1.1.</b>	<b>Origine de sable : .....</b>	<b>28</b>
<b>4.1.2</b>	<b>Caractéristiques physiques du sable utilisé : .....</b>	<b>29</b>
<b>4.2</b>	<b>Ciment : .....</b>	<b>35</b>
<b>4.2.1</b>	<b>Composition chimique et minéralogique du ciment : .....</b>	<b>36</b>
<b>4.3</b>	<b>Déchet d'aluminium « poudre+ fibre » : .....</b>	<b>36</b>
<b>4.3.1</b>	<b>Les caractéristiques physiques de déchet d'aluminium 'poudre' : .....</b>	<b>37</b>
<b>4.4</b>	<b>L'entraîneur d'air : .....</b>	<b>40</b>
<b>4.5</b>	<b>Eau de gâchage : .....</b>	<b>40</b>
<b>II.5.</b>	<b>Les essais sur le mortier : .....</b>	<b>41</b>
<b>5.1</b>	<b>Essai de compression/ flexion par traction : .....</b>	<b>41</b>
<b>5.2</b>	<b>Essai de porosité : .....</b>	<b>41</b>
<b>5.3</b>	<b>La masse volumique : .....</b>	<b>42</b>
<b>5.4</b>	<b>Confection des éprouvettes : .....</b>	<b>42</b>
<b>5.5</b>	<b>Conservation des éprouvettes : .....</b>	<b>42</b>
	Conclusion : .....	42
	<b>CHAPITRE III .....</b>	<b>4</b>
	<b>Résultats et interprétation des différents essais.....</b>	<b>4</b>
<b>III.</b>	<b>Introduction : .....</b>	<b>43</b>
<b>III .1.</b>	<b>Composition du mortier : .....</b>	<b>43</b>
<b>III.2</b>	<b>Le comportement mécanique et physique : .....</b>	<b>44</b>
<b>2.1</b>	<b>Le comportement mécanique : .....</b>	<b>44</b>
<b>2.1.1</b>	<b>La résistance à la flexion / compression : .....</b>	<b>44</b>

<b>2.2 Le comportement physique :</b> .....	47
<b>2.2.1 La masse volumique :</b> .....	47
<b>2.2.2 Le Gonflement :</b> .....	47
<b>2.2.3 La porosité :</b> .....	49
<b>Conclusion :</b> .....	49
<b>CONCLUSION GENERALE</b> .....	50
<b>Annexes</b> .....	50

## Liste des abréviations :

**DTR** : Document technique régional.

**DTU** : Document technique unifié.

**E/C** : Rapport eau/ciment.

**BTP** : Bâtiment et travaux publics.

**ES** : Equivalent de sable.

**Esv** : Equivalent de sable visuel.

**Esp** : Equivalent de sable piston.

**AL** : Aluminium.

**E.A** : Entraîneur d'air.

**F** : Fibre.

**Rc** : Résistance à la compression.

**Rf** : Résistance à la flexion.

**$\rho$**  : la masse volumique .

**$\rho_{abs}$**  : la masse volumique absolue.

**$\rho_{apr}$** : la masse volumique apparente.

## الملخص

يهدف هذا البحث الى دراسة إمكانية استخدام نفايات الالمنيوم كمواد مضافة في صناعة الملاط، مع إضافة مدخل الهواء لتحسين خصائص المادة النهائية. تمثل نفايات الالمنيوم مشكلة بيئية بسبب صعوبة التخلص منها وتزايد كمياتها مع تزايد استخدام الالمنيوم في الصناعات المختلفة. يمكن ان يلعب مدخل الهواء، الذي يستخدم لتحسين نسيج وخفة مواد البناء، دورا مهما في هذه العملية.

تم جمع نفايات الالمنيوم من مصادر مختلفة ومعالجتها لتكون جاهزة للاستخدام في صناعة الملاط. تم تصنيع عينات من الملاط بإضافة نسب مختلفة من نفايات الالمنيوم البودرة (2%، 5%، 7%) والالياف المعدنية (1%، 1.5%)، وكميات متنوعة من مدخل الهواء (0.08%، 0.1%، 0.15%). بعد التصنيع، تم اجراء اختبارات مخبرية لتقييم الخصائص الميكانيكية والفيزيائية للملاط، مثل مقاومة الضغط، المسامية، الصلابة، والخفة.

أظهرت النتائج ان إضافة نفايات الالمنيوم بنسبة تصل الى 2% بالاشتراك مع مدخل الهواء بنسبة 0.08% يمكن ان تحسن بعض الخصائص الميكانيكية للملاط، مثل مقاومة الضغط والخفة، مع الحفاظ على مستوى مقبول من المسامية. ومع ذلك، عند زيادة نسبة الالمنيوم الى 7%، أظهرت بعض التأثيرات السلبية على جودة الملاط.

يعتبر استخدام نفايات الالمنيوم ومدخل الهواء في صناعة الملاط حلا مبتكرا يساهم في التقليل من التأثير السلبى للنفايات الصناعية ويعزز من استدامة مواد البناء. يفتح هذا البحث افقا جديدة للاستفادة من النفايات وتحويلها الى موارد قيمة مع تحسين خصائص المنتجات النهائية.

الكلمات المفتاحية: الملاط، الملاط الخفيف، نفايات الالمنيوم، مدخل الهواء، الخصائص الميكانيكية، الخصائص الفيزيائية.

## Résumé :

Cette recherche vise à étudier la possibilité d'utiliser les déchets d'aluminium comme additifs dans la fabrication du mortier, en intégrant l'entraîneur d'air pour améliorer les propriétés du matériau final. Les déchets d'aluminium représentent un problème environnemental en raison de leur élimination difficile et de leur augmentation avec l'utilisation croissante de l'aluminium dans diverses industries. L'entraîneur d'air, utilisé pour améliorer la texture et la légèreté des matériaux de construction, pourrait jouer un rôle important dans ce processus.

Les déchets d'aluminium ont été collectés de différentes sources et traités pour être prêts à être utilisés dans la fabrication du mortier. Des échantillons de mortier ont été fabriqués en ajoutant différentes proportions de poudre de déchets d'aluminium (2%, 5%, 7%) et de fibres d'aluminium (1%, 1,5%), ainsi que diverses quantités d'entraîneur d'air (0,08%, 0,1%, 0,15%). Après la fabrication, des tests standardisés ont été effectués pour évaluer les propriétés mécaniques et physiques du mortier, telles que la résistance à la compression, la porosité, la dureté et la légèreté.

Les résultats ont montré que l'ajout de déchets d'aluminium jusqu'à 2% en combinaison avec 0,08% d'entraîneur d'air peut améliorer certaines propriétés mécaniques du mortier, telles que la résistance à la compression et la légèreté, tout en maintenant un niveau acceptable de porosité. Cependant, lorsque le pourcentage d'aluminium a été augmenté à 7%, certains effets négatifs sur la qualité du mortier ont été observés.

L'utilisation des déchets d'aluminium et de l'entraîneur d'air dans la fabrication du mortier est une solution innovante qui contribue à réduire l'impact environnemental des déchets industriels et à promouvoir la durabilité des matériaux de construction. Cette recherche ouvre de nouvelles perspectives pour valoriser les déchets et les transformer en ressources précieuses, tout en améliorant les propriétés des produits finaux.

Les mots clés : les mortiers, mortier léger, déchet d'aluminium, entraîneur d'air, comportement mécanique, comportement physique.

## **Abstract:**

This research aims to study the possibility of using aluminum waste as additives in mortar production, incorporating an air entrained to improve the final material's properties. Aluminum waste poses an environmental problem due to its difficult disposal and increasing quantities with the growing use of aluminum in various industries. The air entrained, used to enhance the texture and lightness of construction materials, can play an important role in this process.

Aluminum waste was collected from different sources and processed to be ready for use in mortar production. Mortar samples were made by adding different proportions of aluminum powder waste (2%, 5%, 7%) and aluminum fibers (1%, 1.5%), as well as various amounts of air entrained (0.08%, 0.1%, 0.15%). After production, standard tests were conducted to evaluate the mechanical and physical properties of the mortar, such as compressive strength, porosity, hardness, and lightness.

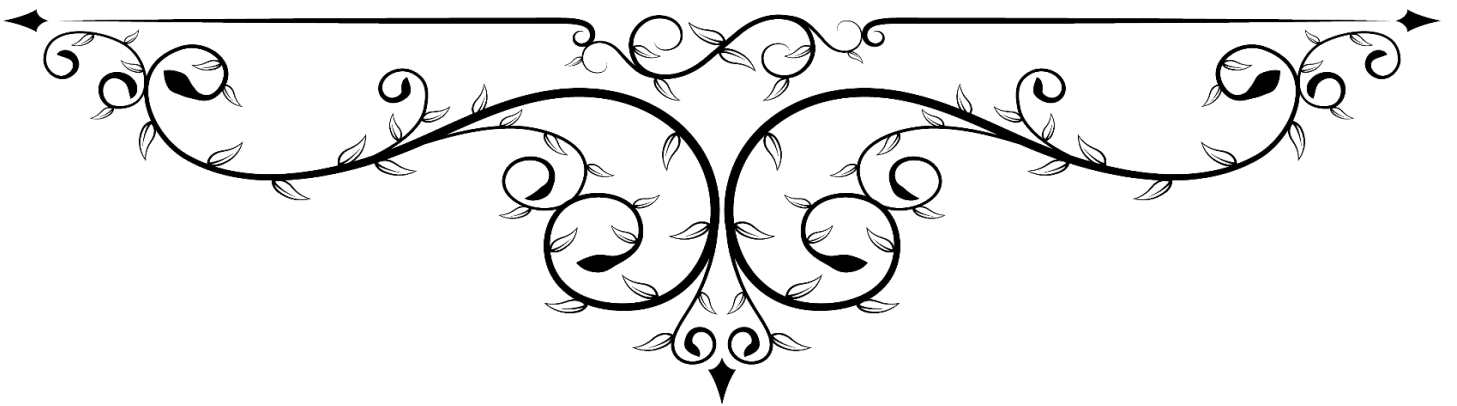
The results showed that adding aluminum waste up to 2% in combination with 0.08% air entrained can improve some of the mechanical properties of the mortar, such as compressive strength and lightness, while maintaining an acceptable level of porosity. However, when the aluminum content was increased to 7%, some negative effects on mortar quality were observed.

The use of aluminum waste and air entrained in mortar production is an innovative solution that helps reduce the environmental impact of industrial waste and promotes the sustainability of construction materials. This research opens new perspectives for utilizing waste and transforming it into valuable resources while enhancing the properties of final products.

**Keywords:** mortars, lightweight mortars, aluminum waste, air entrained, mechanical behavior, physical behavior.



# **INTRODUCTION GENERALE**



## **Introduction générale :**

Le mortier à base de déchets d'aluminium et d'entraîneur d'air est un sujet de recherche intéressant pour valoriser les déchets d'aluminium dans les matériaux de construction cimentaires.

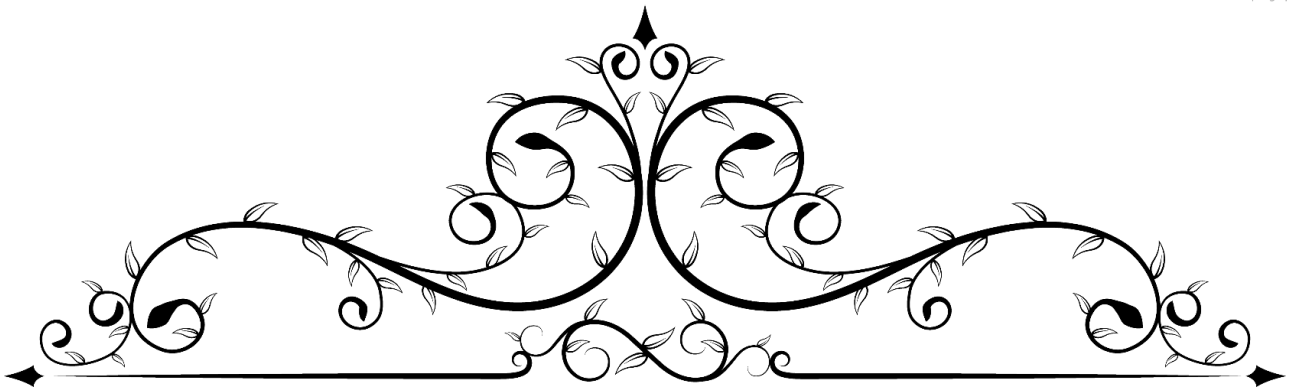
L'objectif du présent travail est de mettre en évidence la possibilité de recycler les déchets d'aluminium et de les utiliser comme ajout dans le mortier. Deux types d'adjuvants ont été utilisés dans la formulation des mortiers : l'entraîneur d'air et déchet d'Aluminium pour étudier leur effet sur le comportement mécanique et physique du mortier.

D'autre part, étudier l'influence de déchet d'Aluminium et l'entraîneur d'air sur les comportements rhéologiques de ces mortiers

Notre mémoire est composé de 3 chapitres :

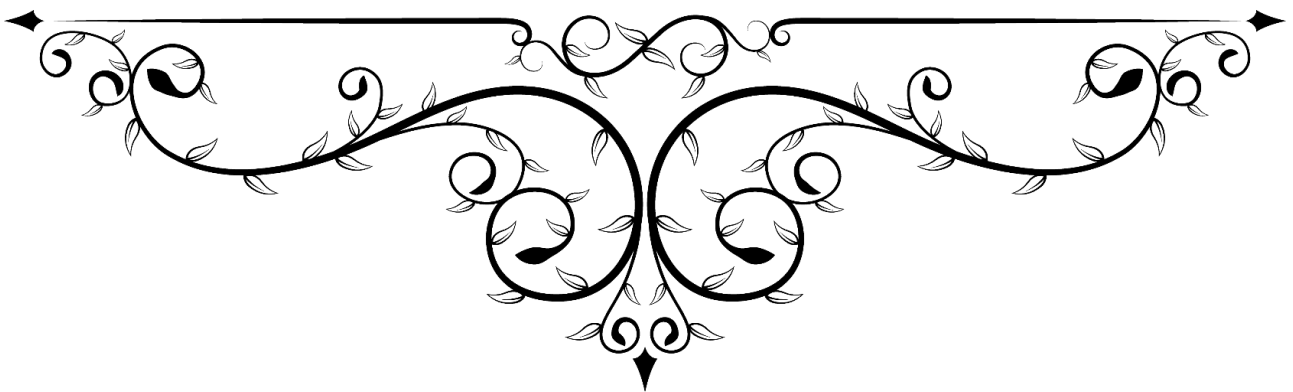
- **Le premier chapitre** : présente une revue bibliographique sur les mortiers, les déchets industriels, et les adjuvants.
- **Le deuxième chapitre** : traite les caractéristiques des matières utilisées dans la formulation du mortier ainsi que les différents essais utilisés sur les différentes formulations de mortier.
- **Le troisième chapitre** : est consacré à l'analyse et la discussion de l'ensemble de résultats obtenus.

Finalement, une conclusion générale résume les principaux résultats obtenus dans cette étude.



# **CHAPITRE 1**

## **Recherche bibliographique**



**Introduction :**

Le présent chapitre est une étude bibliographique des travaux scientifiques sur les mortiers, les déchets (déchet d'aluminium) et les adjuvants (l'entraîneur d'air) sur le comportement du mortier.

**1. Les mortiers :**

Le mortier est un matériau composite formé par un mélange homogène d'une matière inerte (sable) et d'une matière active (liant), le tout gâché avec une certaine quantité d'eau. Le mortier peut répondre à une variété d'exigences de construction. Cependant, il n'existe pas de mortier qui soit adapté à toutes les circonstances. Le concepteur ne pourra choisir le mélange idéal pour un projet que s'il a une bonne connaissance des matériaux et de leurs propriétés qui entrent dans la composition du mortier. [1]

Le concepteur ne pourra choisir le mélange idéal pour un projet que s'il a une bonne connaissance des matériaux et de leurs propriétés qui entrent dans la composition du mortier.



**Figure I.1: Mélange de mortier. [15]**

**1.1 Les composants de mortier :**

Les mortiers sont principalement constitués de sable, de liant et d'eau. Le ciment Portland est le liant le plus utilisé depuis le début du 20<sup>e</sup> siècle, mais certaines nouvelles constructions utilisent encore l'ancien mortier de chaux liante. [1]

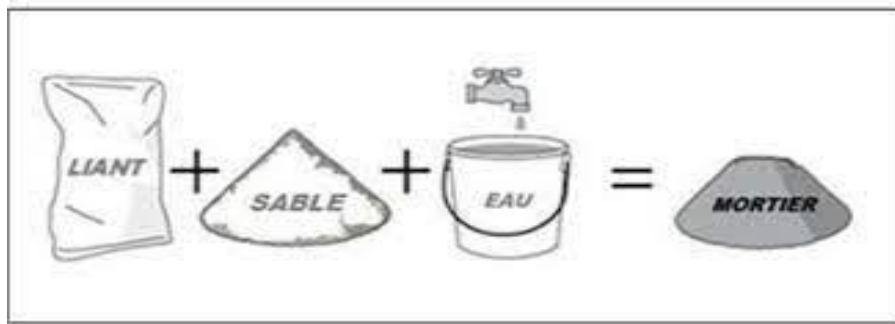


Figure I.2 : Composition d'un mortier.

### 1.1.1 Liants :

#### 1.1.1.1 Ciment portland :

Le ciment Portland est généralement employé comme liant hydraulique dans les mortiers. Le clinker, principalement constitué de calcaire et d'argile, est broyé et ajouté du gypse comme régulateur de prise.

La réaction chimique du ciment Portland avec l'eau crée une pâte qui se durcit et joue le rôle d'un agent de liaison entre les agrégats. On appelle cette réaction chimique l'hydratation.

Le ciment Portland ordinaire (OPC), le ciment Portland composé (CEM II) et le ciment Portland au laitier (CEM III) sont des types de ciment Portland qui ont des propriétés et des utilisations variées en fonction de leur composition.



Figure I.3: Ciment portland. [16]

### **1.1.1.2 Chaux :**

La chaux est généralement employée comme liant dans les mortiers. On la fabrique en chauffant du calcaire à une température élevée.

La carbonatation est un processus où la chaux réagit avec le dioxyde de carbone de l'air pour produire du carbonate de calcium. Ceci confère au mortier une certaine flexibilité et lui permet d'absorber plus efficacement les mouvements structurels sans se fissurer. En association avec du ciment Portland, la chaux est fréquemment employée dans la fabrication de mortiers hydrauliques à base de chaux, qui rassemblent les bénéfices des deux types de liants.



**Figure I.4 : La chaux. [17]**

### **1.1.1.3 Liants hydraulique spéciaux :**

En dehors du ciment Portland et de la chaux, d'autres liants hydrauliques spécifiques sont employés dans les mortiers, comme les liants à base de résine, de sulfates de calcium, de silicates, et ainsi de suite.

Ces liants peuvent servir dans des contextes particuliers où les caractéristiques des mortiers à base de ciment Portland ou de chaux ne sont pas adéquates, tels que dans des environnements chimiquement agressifs, des températures extrêmes, ou pour des performances mécaniques particulières.

### **1.1.2 Sable :**

La granulométrie du sable est déterminée par les travaux à effectuer. Pour les travaux de maçonnerie, on utilise généralement des sables de 0/5 mm. Toutefois, lorsqu'il s'agit de briquetage ou d'enduits, le sable est plus fin, mesurant entre 0,5 et 2 mm. Le sable joue un rôle essentiel dans un mortier en divisant la masse du liant afin de :

- faciliter sa prise (liant aérien).
- diminuer le coût de production du mortier.
- réduire le retrait et ses effets (les fissures) en raison de l'incompressibilité du sable, ce qui entraîne une diminution du retrait. [2]

### **1.1.3 l'eau :**

L'eau de gâchage est également cruciale dans la formulation du mortier car elle joue un double rôle : elle hydrate le ciment et, ce qui est plus crucial, elle favorise son ouvrabilité.

Il est recommandé que les mortiers contiennent la quantité d'eau maximale afin d'assurer une ouvrabilité optimale. Il est important que l'eau soit propre et ne renferme pas de substances néfastes telles que des acides, des alcalis ou des matières organiques. Quand elle est consommable, elle peut être utilisée. [1]

### **1.1.4 Les adjuvants :**

Les adjuvants sont utilisés dans les mortiers de maçonnerie et leur utilisation est certainement bénéfique dans certaines situations. Toutefois, leur utilisation n'est généralement pas conseillée. Les mortiers de ciment et de chaux sont dotés de la plasticité et du pouvoir de rétention d'eau que la chaux leur confère. Il existe des ciments de maçonnerie qui sont composés de ciment portland et de chaux hydratée, ainsi que d'additifs. [2]

## **1.2 Les différents types de mortiers :**

Les différents types de mortiers sont les suivants :

**Le mortier de ciment :** Qui est fabriqué à partir de ciment Portland, présente une résistance significative à la compression et à la traction.

**Le mortier de chaux :** Fabriqué à partir de chaux hydraulique, est moins résistant que le mortier de ciment, mais il laisse respirer les murs car il est perméable à la vapeur.

**Le mortier bâtard :** Est un matériau composé de ciment et de chaux qui combine l'élasticité et la résistance.

**Le mortier-colle :** Est utilisé pour fixer des revêtements de surface tels que des carreaux sur des substrats.

**Le mortier de jointoiement :** Est utilisé pour remplir les joints entre les composants de construction.

**Le mortier de scellement :** Est utilisé pour relier des blocs de béton.

**Le mortier hydrofuge :** Est destiné à créer une fine couverture d'imperméabilisation.

**Mortier réfractaire :** Utilisé dans les applications qui nécessitent une grande température.

**Mortier de ragréage :** Utilisé pour remplir les joints et les fissures dans les constructions.

**Le mortier de montage :** Est utilisé pour la construction de fours en briques, en pierre ou en béton.

**Le mortier de chape :** Est prêt à se détériorer et peut être utilisé pour créer des chapes à l'intérieur ou à l'extérieur.

**Mortier à prise rapide :** Pour des applications particulières, il durcit rapidement.

**Le mortier de réparation :** Est utilisé pour réparer les éléments endommagés

**Le mortier spécial :** Est destiné à des fins particulières, telles que les mortiers d'imperméabilisation.

Les propriétés des mortiers, leur résistance et leur utilisation particulière permettent leur classement [1]

**Le mortier léger :** Le mortier léger se distingue par sa capacité à être plus léger que les mortiers classiques. En général, il est constitué de ciment, de matériaux légers et d'eau. Le polystyrène expansé, l'argile expansée ou les cendres volantes peuvent constituer des agrégats légers.

### **1.3 Les avantages du mortier léger :**

- Le mortier léger présente une légèreté d'environ 70 % par rapport au mortier classique, ce qui peut diminuer la charge sur les structures et les fondations.
- Le mortier léger présente une isolation thermique supérieure à celle du mortier classique, ce qui peut aider à diminuer les pertes de chaleur et à améliorer l'efficacité énergétique des constructions.
- L'isolation acoustique des bâtiments peut également être améliorée grâce au mortier léger.
- Facile d'utilisation : Le mortier léger est habituellement simple à mélanger et à utiliser.

## **2. Utilisation de mortier léger :**

- Le mortier léger est fréquemment employé afin de réaliser des ravaillages isolants sur des sols déjà existants.
- Avant la pose d'un revêtement de sol, il est possible d'utiliser du mortier léger pour créer des sous-chapes.
- Le mortier léger peut servir à rétablir des niveaux sur des supports déjà existants.
- Le mortier léger peut servir à créer des pentes pour faciliter l'écoulement des eaux.

- Le mortier léger peut servir à isoler thermiquement et acoustiquement les murs, les toits et les planchers.

## **2.1 Type de mortier léger :**

**Le mortier léger fibré :** est composé de fibres qui lui donnent une résistance accrue à la traction et à la flexion.

**Les mortiers légers prêts à l'emploi :** sont livrés pré-mélangés et prêts à être utilisés.

**Le mortier léger autoplaçant :** se distingue par sa fluidité et sa facilité d'installation sans vibration.

## **2.2 Les caractéristiques principales des mortiers :**

Le respect des dosages en liants donnés dans le DTR Maçonnerie ou dans le DTU 20.1 est considéré comme satisfaisant pour les mortiers traditionnels réalisés sur chantier, tandis que les mortiers industriels sont soumis aux spécifications de produire avec précision.

Les caractéristiques principales étudiées sont les suivantes :

- **Concernant la poudre :** volume, granulométrie ;
- **Concernant la pâte :** rétention d'eau, durée d'utilisation pratique, temps d'ajustement, temps de prise, etc. ;
- **Concernant le produit durci :** résistance à la compression, résistance à la traction par flexion, module d'élasticité, variations de dimensions et de poids. [2]

Les caractéristiques essentielles des mortiers en général sont les suivantes :

- La maniabilité
- La perméabilité
- Les conditions d'hydratation
- La déformabilité
- Le retrait
- L'adhérence
- La durabilité

**2.2.1 La maniabilité :**

En fonction des utilisations, les caractéristiques nécessaires peuvent varier, mais dans tous les cas, la facilité d'utilisation du mortier est essentielle pour sa mise en œuvre. Les éléments fins (liants et fillers) et les adjuvants contribuent à la maniabilité. Cela explique la présence fréquente de surdosage dans les mortiers traditionnels qui ne contiennent que du sable et du ciment. [2]

**2.2.2 La perméabilité :**

La capacité des mortiers à s'ouvrir aux liquides dans des conditions spécifiques de pression et de viscosité du liquide. En augmentant la compacité, la perméabilité diminue, et elle n'est obtenue qu'avec un dosage en liant adéquat pour enrober tous les grains internes. [2]

**2.2.3 Les conditions d'hydratation :**

Un autre souci fréquemment rencontré lors de la réalisation des mortiers est celui de garantir une hydratation adéquate du liant. Le durcissement normal des liants hydrauliques nécessite l'utilisation d'eau. Les mortiers sont fréquemment appliqués en couche mince, ce qui peut entraîner des risques.

L'absorption des matériaux avec lesquels ils sont en contact ou l'évaporation entraînent une déshydratation prématurée. L'utilisation de produits spécifiques (formulations contenant des rétenteurs d'eau) et des précautions particulières lors de leur utilisation par temps chaud (humidification des supports et (humidification ultérieure) est nécessaire en raison de ce risque. [2]

**2.2.4 La déformabilité :**

En outre, dans les travaux de liaison tels que le revêtement, le mortier est employé en collaboration avec d'autres matériaux et doit avoir une déformabilité adéquate pour absorber les variations dimensionnelles acceptables des solides. Dans les ateliers d'art, Le mortier de montage, grâce à son ajustement, favorise une répartition optimale des contraintes entre les éléments. [2]

**2.2.5 Le retrait :**

Il est possible d'absorber les contraintes qui découlent du retrait en créant des microfissures internes qui ne nuisent pas au comportement ultérieur du mortier. Cependant, lors des travaux de surface, elles peuvent aussi entraîner des fissures d'autant plus néfastes que le mortier est conçu pour protéger la maçonnerie de la pluie. Il convient de souligner que ces limites sont influencées non seulement par le retrait, mais aussi par les caractéristiques mécaniques du mortier, notamment son module d'élasticité. [2]

Les principaux paramètres agissant sur le retrait sont :

- La nature du ciment ;
- La finesse de mouture ;
- Le dosage en ciment, dans le béton ;
- Le dosage en eau ;
- La propreté et nature des granulats ; [4]

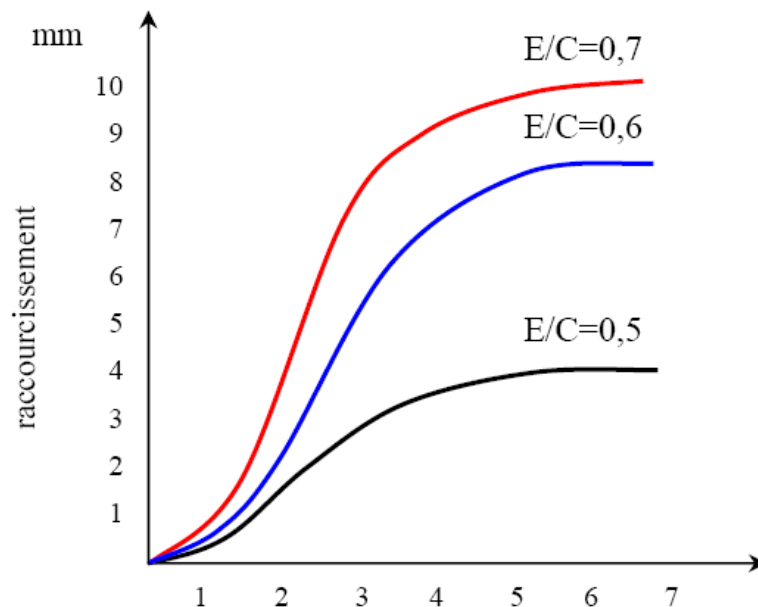


Figure I.5: Influence du rapport E/C sur le retrait plastique des mortiers. [4]

### 2.2.7 L'adhérence :

Dans de nombreux cas, l'adhérence du mortier aux matériaux associés est un élément essentiel pour garantir un bon comportement. [2]

**2.2.6 La durabilité :**

La durabilité du mortier est influencée par la résistance aux intempéries dans tous les usages extérieurs (capillarité, perméabilité à l'eau et à la vapeur, résistance au gel). De plus, pour les travaux de surface, il est essentiel que le mortier soit résistant aux chocs.

Et en utilisant une abrasion appropriée en fonction du niveau de sollicitation prévu (sol, mur, exposition...). [2]

## **2.3 Les techniques particulières de mise en œuvre :**

Les mortiers peuvent être mis en place par deux méthodes : [4]

### **2.3.1 La projection :**

Les mortiers projetés, qu'ils soient fabriqués sur le chantier ou plus généralement pré-dosés, incluent, en plus du liant et du sable habituel, des adjuvants spécifiques, des charges (silice, carbonate) et parfois des fibres (verres, polypropylènes, acier). Le mortier, fabriqué à l'aide de machines, généralement à air comprimé, est plus compact, s'adhère mieux au support et se prête bien à l'application sur des parties d'ouvrages difficiles d'accès et de forme irrégulière. L'élimination de la manipulation délicate et difficile, ainsi que les améliorations de productivité, expliquent le succès du mortier projeté dans de multiples domaines (enduits monocouches, enduits isolants, revêtement de voûtes, en galeries, consolidation de talus, travaux de réparation, etc.).

### **2.3.2 L'injection :**

Seules certaines formes de travaux nécessitent l'injection de mortier, où les cavités à remplir sont suffisamment larges. Le diamètre des grains de sable les plus gros ne doit pas dépasser le 1/5 des vides les plus fins à remplir. Dans le cas contraire, il serait nécessaire d'utiliser des coulis d'injection. Comme pour le coulis de ciment, il est important de composer le mortier d'injection de manière à ce qu'il soit le plus injectable possible : une grande fluidité pour un ressuage modéré (et, par conséquent, une stabilité importante, peu de ségrégation). L'injection est principalement utilisée pour remplir des cavités, des gaines, des enveloppes variées, ou plus généralement des vides d'accès difficiles. En général, on utilise l'injection pour certains travaux sous l'eau, en utilisant des formules de mortiers spécialement élaborées pour prévenir le délavage.

## **3. Les adjuvants :**

### **3.1 Définition :**

Les adjuvants sont des substances chimiques qui, ajoutées aux bétons lors de leur mélange ou avant leur application à des quantités inférieures à 5 % du poids de ciment, modifient leurs caractéristiques ou leur comportement. [3]

Pour faciliter l'utilisation, la majorité des adjuvants sont disponibles dans le commerce sous forme liquide. Il existe certains adjuvants en poudre pour diminuer leur coût de transport (par exemple pour les chantiers à l'export). En général, avant de les utiliser, il est recommandé de les diluer : la dispersion homogène d'une petite quantité de poudre dans un malaxeur de centrale à béton est moins certaine que celle d'un liquide.

Un adjuvant ne constitue pas un remède. Il ne vise ni à produire un béton de qualité à partir d'un dosage incorrect ou d'une mise en œuvre défectueuse. Ce produit ne peut pas remplacer les règles de la bonne technique. [3]

Selon l'effet recherché ; on peut distinguer, trois grandes familles d'adjuvant :

– Action sur la plasticité et la compacité :

- Les plastifiants réducteurs d'eau
- Les superplastifiants hauts réducteurs d'eau

— Action sur les délais de prise et de durcissement :

- Les accélérateurs de prise
- Les accélérateurs de durcissement
- Les retardateurs

— Action sur la résistance aux agents extérieurs :

- Les entraîneurs d'air
- Les hydrofuges de masse (utilisés pour rendre les bétons et mortiers étanches). [4]

### **3.2 Classification et utilisation :**

Un adjuvant à une action principale, un rôle général, après laquelle il est classé et défini, mais il peut également avoir certaines actions secondaires, communément appelées "effets secondaires". [3]

Les normes européennes retiennent la classification suivante : [3]

- Plastifiants réducteurs d'eau,
- Super plastifiants hautement réducteurs d'eau,
- Rétenteurs d'eau,
- Entraîneur d'air,
- Accélérateurs de prise,
- Accélérateurs de durcissement,
- Retardateurs de prise,
- Hydrofuges.

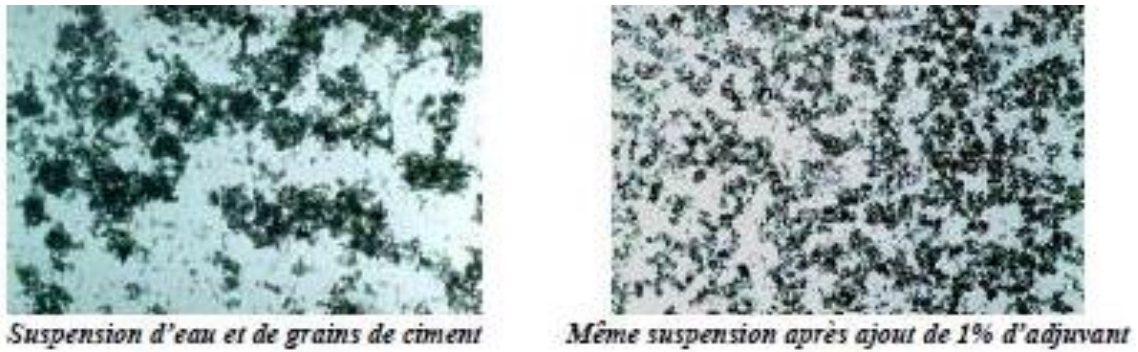
Il est possible que certains adjuvants aient plusieurs de ces fonctions. En France, on utilise les termes "fonction principale" et "fonction secondaire". Par exemple : plastifiant qui réduit l'eau (ou superplastifiant qui réduit l'eau à une grande vitesse) et retardateur. D'autres adjuvants peuvent également être utilisés, comme les raidisseurs pour béton projeté. Les adjuvants utilisés dans le coulis d'injection, les adjuvants utilisés dans le mortier stabilisé. Les colorants, les anti-corrosion, les générateurs de gaz, et ainsi de suite. Certaines de ces caractéristiques sont décrites et définies dans les normes spécifiques.

#### **a) Adjuvant fonction « Réducteur d'eau » :**

- Réduire la teneur en eau du béton sans modifier la consistance
- Augmenter l'affaissement (Effondrement)/l'étalement sans modifier la teneur en eau
- Produire les deux effets à la fois
- L'effet est plus au moins fort selon le niveau de réduction d'eau recherchée :

-Plastifiant réducteur d'eau 5 % à 10 %

-Superplastifiant, Haut réducteur d'eau :10 à 30 % [4]



**Figure I.6:** Suspension d'eau et de grains de ciment sans et avec ajout d'adjuvant [4].

**b) Adjuvant fonction « Accélérateurs de prise » : [4]**

L'accélérateur de prise a pour fonction principale de diminuer les temps de début et de fin de la prise du ciment dans le béton ou le mortier

Ils sont à recommander pour les bétonnages par temps froid, les décoffrages rapides, les travaux sous l'eau...

Effet sur le béton :

- Accélération de la prise,
- Augmentation des résistances à court terme,
- Augmentation de la chaleur d'hydratation.



**Figure I.7 :** Effets d'un accélérateur de prise / de durcissement. [4]

**c) Adjuvant fonction « Retardateur de prise » :**

- Ils sont principalement utilisés dans l'eau de gâchage pour augmenter le temps de début et de fin de prise du ciment dans le béton ou le mortier.
- Ils sont conseillés pour les travaux de bétonnage pendant les périodes chaudes, pour le béton prêt à l'emploi et pour les bétonnages en massifs
- Effet sur le béton :
  - « Régule » la chaleur d'hydratation
  - Décale le temps de prise
  - Diminue les résistances initiales
  - Améliore les longues ouvrabilités. [4]

**d) Adjuvants fonction « Entraîneurs d'air » :**

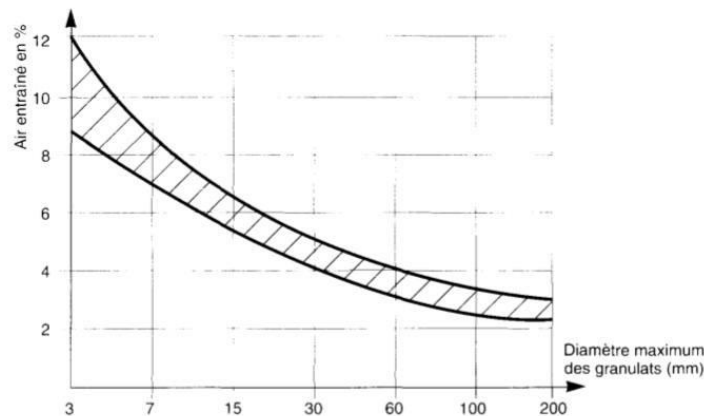
En général, ces composés d'addition sont fabriqués à partir de résines de synthèse telles que la résine Vinsol, les aryl alkyl sulfonâtes, les acides gras, etc.

Le malaxage nécessite l'ajout d'entraîneurs d'air sous forme de liquides, de sels solubles ou de poudres insolubles.

Ces additifs incorporent de l'air de manière volontaire et agissent en stabilisant les bulles formées lors du processus de malaxage, qui se manifestent sous la forme d'un grand nombre de micro-bulles, dont 80 % ont un diamètre inférieur à 100 microns. La majorité s'étendant de quelques microns à quelques dizaines de microns environ. Il est important de ne pas confondre ces micro-bulles avec l'air occlus, qui est composé de bulles de tous diamètres, généralement supérieurs à 1 mm, réparties de manière aléatoire dans le béton, et qui sont emprisonnées pendant la fixation.

Le béton durci est résistant au gel grâce à la présence de nombreuses petites bulles d'air dispersées dans la masse, créant ainsi de petits vases d'expansion dans le réseau des canalicules internes pour l'eau interstitielle, dont le volume augmente avant la prise en glace. Cela empêche la désagrégation du béton par le gel de cette eau.

La quantité d'air entraîné pour une bonne protection contre le gel est d'autant plus grande que la dimension des granulats est plus faible. [3]



**Figure I.8 : Pourcentage d'air entraîné recommandé suivant la grosseur des granulats (d'après R. E. Hess). [3]**

Selon les études les plus récentes, il a été démontré que le principal élément pour prévenir les effets du gel est le facteur d'écartement entre les micro-bulles d'air appelé L. (L barre).

Selon l'expérience, si ce facteur d'espacement (qui correspond à la demi-distance moyenne entre deux micro-bulles) est inférieur à une valeur spécifique, le béton peut faire face sans problème à des cycles de gel/dégel. Il est préférable que cette valeur soit inférieure à 200  $\mu\text{m}$ , en particulier lorsque le béton peut être exposé à des sels de déverglaçage.

Il n'est possible de garantir cette nécessité que par le respect de différentes dispositions. La première étape consiste à sélectionner un entraîneur d'air conforme à la réglementation.

En plus de cela, il est important de noter que les quantités d'adjuvants à utiliser dépendent de divers facteurs tels que la nature chimique du produit, le type de ciment, le dosage, le module de finesse du sable, la dimension maximale « D » des granulats, les éventuelles additions minérales et l'énergie de malaxage.

Il en découle qu'une fois que l'adjuvant à utiliser a été sélectionné et son dosage défini en fonction du pourcentage d'air souhaité, il est nécessaire de réaliser des essais préalables puis de contrôle sur le chantier afin de vérifier que le pourcentage d'air entraîné correspond à celui recherché. Ainsi, le dosage effectif peut être facilement ajusté.

La composition de béton doit être limitée à une valeur E/C de 0,50, avec un dosage additif de 4-5% et un maximum de 8%. Des dimensions plus grandes "D" réduisent la nécessité d'une pénétration élevée de l'air. Il est recommandé d'éviter les longues durées de vibration, ce qui peut réduire la pénétration de l'air, et de planifier un remède efficace immédiatement après

l'installation. Les moteurs d'air peuvent ajuster le dosage de l'eau pour minimiser l'E/C et compenser la baisse de la résistance causée par leur travail. La valeur de la résistance est plus importante que la valeur initiale.

Différents paramètres influencent le pourcentage d'air entraîné :

- le dosage en ciment : plus il augmente, plus le % d'air diminue à dosage constant en adjuvant :
- la nature et surtout la finesse du ciment : plus le ciment à un Blaine élevé, plus le dosage en adjuvant doit être élevé ;
- plus la granulométrie des graviers augmente plus le % d'air entraîné diminue.

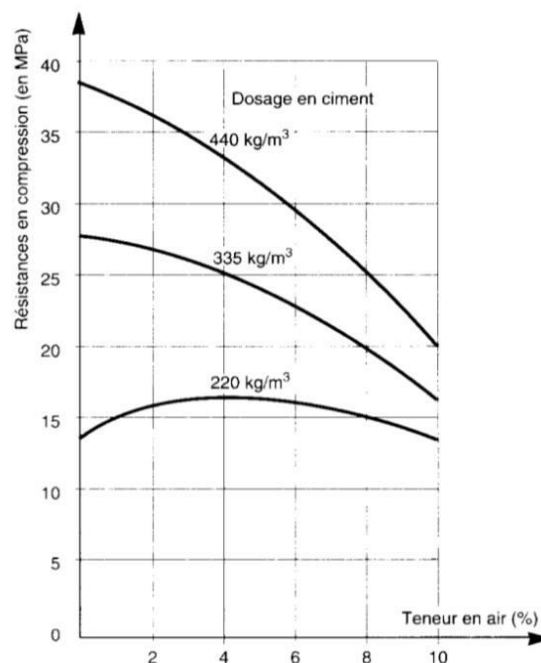


Figure I.9 : Influence du pourcentage d'air entraîné sur les résistances en compression d'un béton 0/25 mm (slump de 8 à 10 cm). [3]

e) Adjuvant : fonction « Hydrofuge de masse » :

- Bloque la pénétration des liquides dans le béton :

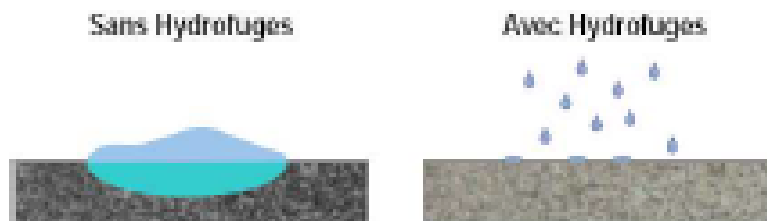


Figure I.10 : l'effet de l'hydrofuge de masse. [4]

- Domaine d'application :
  - Béton de réservoir
  - Béton en contact avec les eaux
  - Béton préfabriqué : pavés ; éléments décoratifs.

### **3.3 Dosage en adjuvants par rapport au poids du ciment :**

**Tableau I .1 : dosage en adjuvants par rapport au poids du ciment [5].**

Adjuvant	Dosage en %
Plastifiant	0.15 à 0.12
Super plastifiant	0.6 à 2.5
Accélérateur de prise	1 à 3
Accélérateur de durcissement	0.8 à 2
Retardateur de pris	0.2 à 0.8
Hydrofuges	0.5 à 2
Entraîneur d'air	0.05 à 3
Rétenteur d'eau	0.1 à 2

## **Les déchets industriels :**

### **1. Introduction :**

Les déchets industriels constituent un véritable enjeu pour l'environnement en raison de leur volume considérable et de leur composition souvent toxique ou risquée. Les conséquences néfastes qu'ils ont sur l'environnement et la santé humaine sont bien connues et requièrent une gestion responsable et durable.

Il est essentiel de prendre en compte la gestion des déchets d'aluminium dans l'industrie en raison de leur influence sur l'environnement, l'économie et la durabilité globale. En utilisant une méthode efficace de recyclage de l'aluminium, nous préserverons les ressources naturelles, diminuons la pollution et les émissions de gaz à effet de serre, tout en générant des possibilités économiques. Ce travail participe à garantir un avenir durable pour les générations à venir, en accord avec les exigences de responsabilité environnementale et économique.

### **2. Déchets industriels :**

Un déchet industriel est un genre de déchets générés par l'industrie et qui a un impact négatif sur le bien-être. L'industrie manufacturière, la construction, les services et l'agriculture sont les secteurs les plus ciblés. Depuis le début de la révolution industrielle, il est présent. [8] Les déchets industriels peuvent être classés, recueillis et recyclés de différentes manières :

#### **a) Déchets industriels spéciaux (DIS) :**

Les déchets d'activités économiques dangereuses sont équivalents à des déchets toxiques, chimiques ou nucléaires. Il est essentiel de mettre en place des mesures de précaution spécifiques pour préserver l'environnement et de renforcer le contrôle administratif.

Matériau de stockage ou de transport.

#### **b) Déchets inertes :**

Déchets d'activités économiques inertes : déchets qui ne sont pas soumis à des changements physiques, chimiques ou biologiques significatifs. Ils proviennent principalement du secteur du BTP.

#### **c) Déchets industriels banals (DIB) :**

Les déchets d'activités économiques non dangereux non inertes sont généralement constitués de papiers, cartons, plastiques, bois, métaux, verres, matières organiques, végétales ou animales, provenant de l'utilisation d'emballages, de rebuts ou de chutes de matières Production. Il est plus aisé de valoriser ou de recycler ces déchets que les autres déchets.

#### d) Déchets d'aluminium :

Comme si Les alliages d'aluminium jouent un rôle important non seulement dans la fabrication de fenêtres, de vitrines, de portes, de revêtements de façades, c'est-à-dire pour des objets décoratifs. Les éléments de coffrage, les constructions de toits, les canaux pour câbles, etc., sont également de plus en plus utilisés pour des usages fonctionnels.

Les alliages d'aluminium sont classés en différentes catégories en fonction de leurs caractéristiques, telles que leur traitement thermique et mécanique, ainsi que les éléments principaux de leur composition. Il existe deux grandes familles d'alliages d'aluminium :

➤ **Alliage d'aluminiums corroyé** : 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.1.1 : Désignation des alliages d'aluminium corroyés. [9]**

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.1.2: Désignation des alliages d'aluminium de fonderie. [9]

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. **Les déchets neufs sont facilement recyclables** : les chutes de fabrication, avec une composition bien connue.
- b. **Déchets de nouvelle génération complexes** : des déchets de production et de transformation qui nécessitent des procédés de préparation et d'affinage plus complexes.
- c. **Les déchets usagés** : comprennent différents objets tels que des véhicules automobiles, des déchets de démolition, des emballages de produits et des boîtes-boissons. Plus de 400 alliages d'aluminium (alliages corroyés) et plus de 200 alliages de fonderie sont actuellement disponibles.



**Figure I.11 : Déchet d'aluminium. [18]**



**Figure I.12 : Déchet d'aluminium collecté. [19]**

### **3. Valorisation des déchets industriels :**

La valorisation est tout processus de traitement ou d'utilisation des déchets qui leur offre un marché avec une valeur économique positive. Le concept de valorisation englobe à la fois le recyclage et la réutilisation. En ce qui concerne l'inventaire de toutes les possibilités de traitement qui peuvent être utilisées pour un déchet donné, on peut utiliser la méthode d'étude suivante :

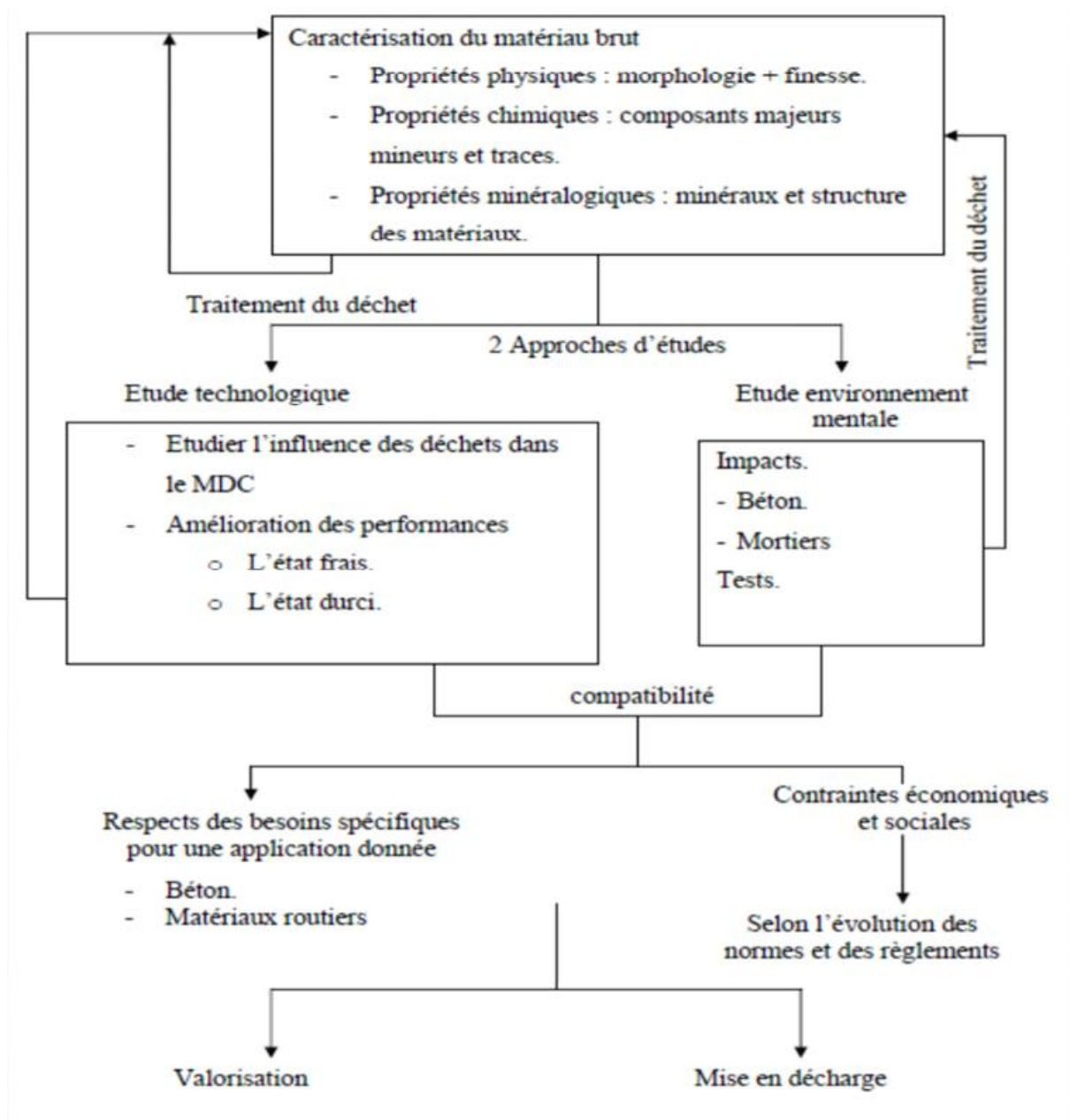
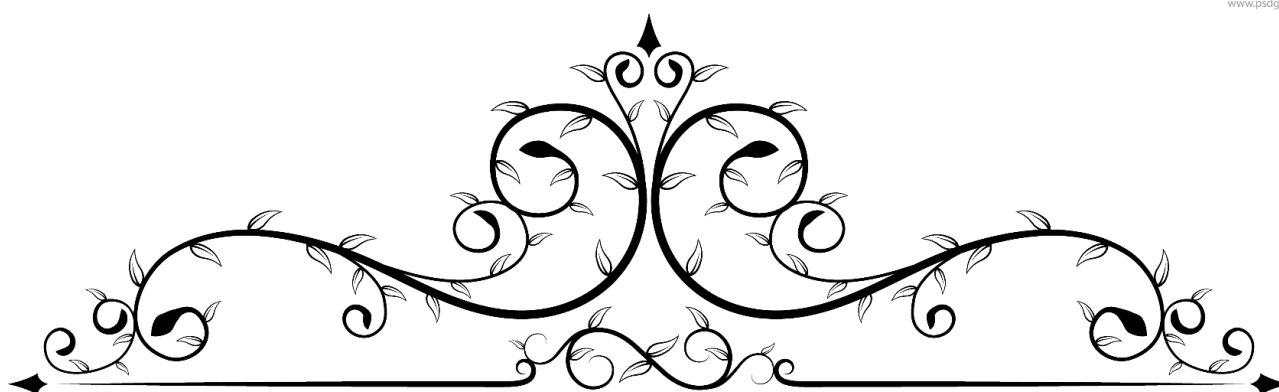


Figure I.13 : Méthodologie d'étude des déchets [8].

**Conclusion :**

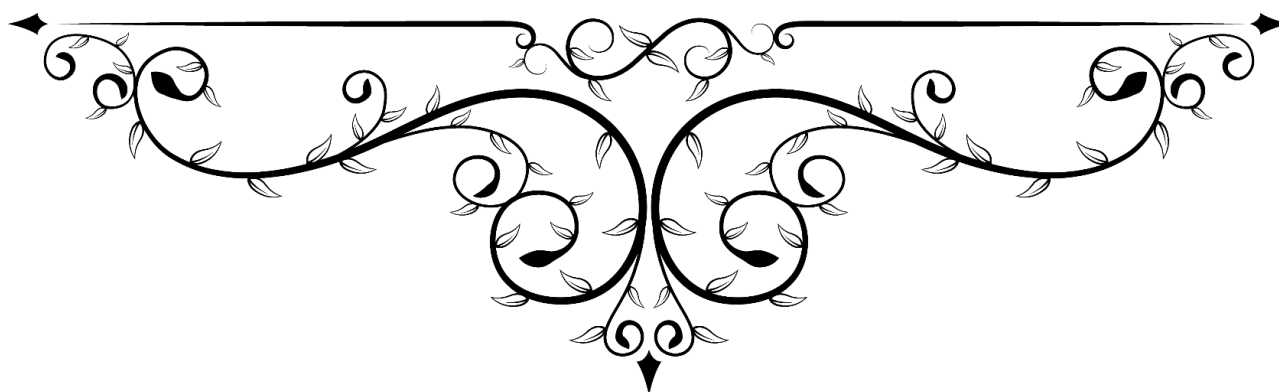
En résumé, nous avons présenté une étude bibliographique sur les mortiers et tout ce qui concerne leurs types, leurs classifications et leurs avantages et puis nous avons passé en revue les adjuvants qui sont des produits stratégiques pour la formulation des bétons et des mortiers, ils améliorent les résistances et permettent de réguler les qualités diverses des constituants pour obtenir un matériau normalisé.

Enfin, les déchets industriels qui peuvent être un produit qu'il faut savoir utiliser et transformer pour en faire un matériau utile et une source d'une matière première.



## **CHAPITRE II**

### **Matériaux et matériels**



**II.1. Introduction :**

Dans ce chapitre, nous allons exposer les propriétés des matériaux employés pour fabriquer le mortier. Les matériaux ont été caractérisés de manière expérimentale au laboratoire, avec l'utilisation de l'entraîneur d'air et des déchets d'aluminium pour la formulation des mortiers légers, ont été présentés dans ce chapitre.

**II.2. Objectif de travail :**

Notre objectif est d'étudier l'effet de l'entraîneur d'air et les déchets d'aluminium dans la formulation du mortier léger.

Le sable est substitué par le déchet d'aluminium 'granulats' à des proportions (2%, 5%, 7% de poids du sable). Et nous avons ajouté l'adjuvant " l'entraîneur d'air " à des proportions (0.08%, 0.1%, 0.15% de poids de ciment) ; et la fibre d'acier à des proportions (1%, 1.5% de poids de ciment).

Le but de cette technique de malaxage est d'analyser le comportement des mortiers.

**II.3. Matériaux utilisés :**

- ❖ Sable
- ❖ Ciment
- ❖ L'eau
- ❖ L'adjuvant « l'entraîneur d'air »
- ❖ Déchet d'aluminium
- ❖ Fibre d'acier.

**II.4. Caractérisation des matériaux utilisées :****4.1. Sable :****4.1.1. Origine de sable :**

Le sable utilisé dans cette recherche est le sable de dune de la région de DJAMAA wilaya d'Oued Souf.



**Figure II.1: Sable de DJAMAA.**

## 4.1.2 Caractéristiques physiques du sable utilisé :

### 4.1.2.1 Masse spécifique (absolue) : NF P 18-555 :

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

- **But de l'essai :**

Cet essai a le but de permettre de connaître la masse d'une fraction granulaire lorsque par exemple on élabore une composition de bétons. Ce paramètre permet, en particulier, de déterminer la masse ou le volume des différentes classes granulaires malaxées pour l'obtention d'un béton dont les caractéristiques sont imposées.

- **Mode opératoire :**

On détermine la masse volumique absolue du sable à l'aide d'un récipient d'une capacité de 250 ml. Trois échantillons de masses différentes (60g, 70g, 80g) sont prélevés. Chaque échantillon est placé dans un récipient de 250 ml et de l'eau préalablement préparée y est ajoutée. Ensuite, le contenu est soigneusement mélangé pour éliminer les bulles d'air. Après ce processus, on mesure le poids final occupé par le mélange de sable et d'eau. En supposant que ce poids soit noté  $V_2$ , et sachant que le poids d'un récipient rempli d'eau est connu ( $V_1$ ), il serait alors facile de déterminer le volume occupé par le sable seul.

La masse volumique absolue du sable est déterminée par la formule :

$$\rho \text{ abs} = \frac{M}{V_1 - V_2}$$

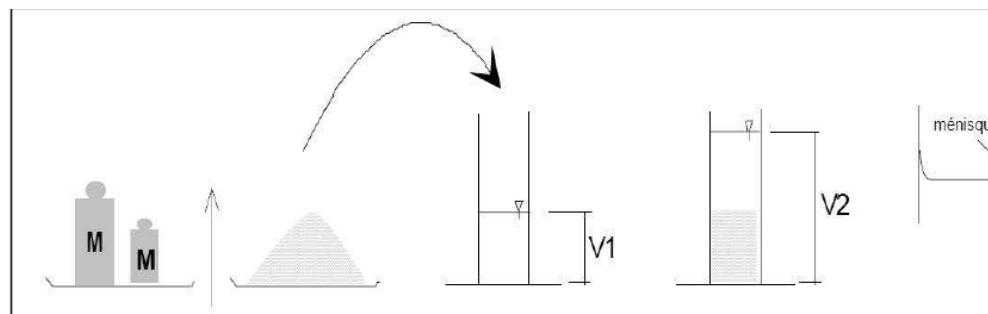


Figure II.2: Essai de la masse volumique absolue. [4]

Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau II.2.1 : La masse volumique absolue de sable.

Essais	M (g)	V0(ml)	V'(ml)	$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	P moye
1	60	110	132	2.73	2.63
2	70	110	160	2.5	2.63
3	80	110	190	2.67	2.63

- ✓ M : la masse de sable.
- ✓ V0 : le volume d'eau
- ✓ V' : le volume d'eau + sable
- ✓  $\rho$  : la masse volumique absolue.

La masse volumique absolue de sable est :  $\rho_{abs} = 2.63 \text{ g/cm}^3$

#### 4.1.2.2 La Masse volumique apparente : NFP18-554 :

C'est la masse du matériau par unité de volume y compris des vides existant entrées grains.

- **But de l'essai :**

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

- **Mode opératoire :**

- ❖ On pèse le récipient vide M1.
- ❖ Remplir le récipient de sable à une distance de 10 à 15 cm.
- ❖ Une fois le récipient est rempli, on nivelle la surface du sable et on pèse le tout. Soit M2 ce poids.
- ❖ Volume de récipient  $V_r = 900 \text{ cm}^3$ .

La masse volumique apparente du sable est donnée par la formule

$\rho_{apr} = \frac{M_1 - M_2}{V}$  suivante :

Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau suivant :

**Tableau II.2.2 : La masse volumique apparente de sable.**

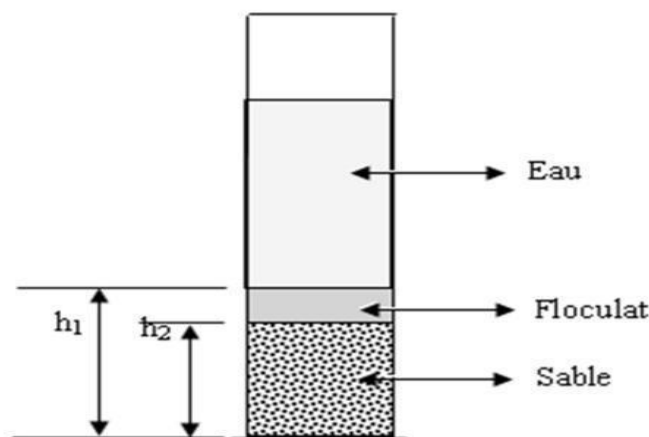
Essais	M1 (g)	M2(g)	$\rho_{apr}$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\rho$ moye
1	117	1493	0.65	0.64
2	117	1514	0.64	0.64
3	117	1499	0.65	0.64

- ✓ M1 : la masse de récipient.
- ✓ M2 : la masse de récipient+ le sable
- ✓  $\rho$  apr: la masse volumique apparente de sable

La masse volumique apparente de sable est :  $\rho_{apr}=0.64$  g/cm<sup>3</sup>.

#### 4.1.2.3 Equivalent de sable : Selon la Norme [NFP 18-598] :

Cet essai permet de mesurer la propreté du sable, il est effectué sur la fraction d'un granulat passant au tamis à mailles carrées de 5 mm. Il rend compte globalement de la quantité et de la qualité des éléments fins, en exprimant un rapport conventionnel volumétrique entre les éléments sableux qui sédimentent et les éléments fins qui flocculent. Il est défini par la norme [9]



**Figure II.3: L'essai d'équivalent de sable.**

- **But de l'essai :**

Cet essai est utilisé de manière courante pour évaluer la propreté des sables entrant dans la composition des mortiers. L'essai consiste à séparer les particules fines contenues dans le sol des éléments sableux plus grossiers. Une procédure normalisée permet de déterminer un coefficient d'équivalent de sable qui quantifie la propreté de celui-ci.

• **Principe de l'essais :**

L'essai est effectué sur la fraction 0/5 mm du matériau à étudier. Le tamisage se fait par voie humide afin de ne pas perdre d'élément fins. On agite une quantité de sable dans une solution lavante (eau) dans un récipient tubulaire gradué, selon un processus normalisé, puis on laisse reposer le tout. Au bout de 20 minutes, on mesure les éléments suivants :

- ❖ Hauteur h1 : sable propre +élément fins,
- ❖ Hauteur h2 : sable propre seulement.

On déduit l'équivalent de sable qui, par convention :

$$Es = \frac{h2}{h1} \times 100$$

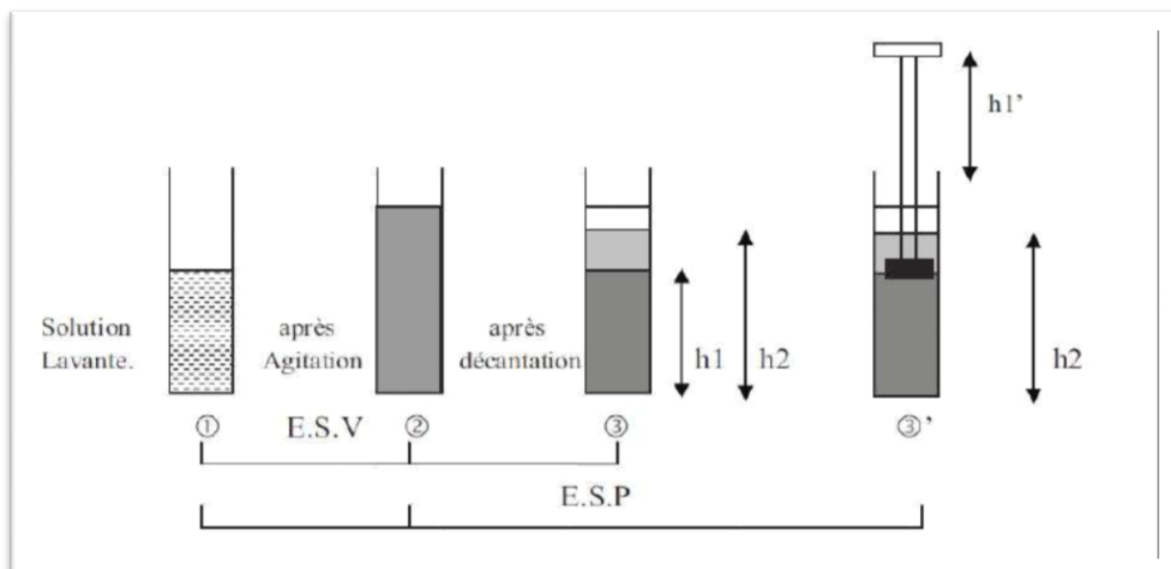
**Avec :**

**ES :** équivalent de sable ;

**h1 :** hauteur du sable propre et élément fins ;

**h2 :** hauteur du sable propre seulement.

Selon que la hauteur h2 est mesurée visuellement ou à l'aide d'un piston, on détermine ES<sub>V</sub> (équivalent de sable visuel) et ES (équivalent de sable au piston).



**Figure II.4: Essai de l'équivalent de sable.**

A partir de l'essai équivalent sable ES, il est possible selon le résultat obtenu, de catégoriser le sable selon état de propreté (sa qualité) et donc d'en définir les possibles applications telles que montrées dans le tableau :

**Tableau II.2.3: Nature et qualité du sable selon les valeurs d'équivalent de sable. [10]**

E.S à vue	E.S	Nature et qualité du sable
$E.S.V < 65$	$E.S < 60$	Sable argileux : risque de retrait ou de gonflement, problème d'adhérence, à rejeter pour les bétons de qualité.
$65 \leq E.S.V < 75$	$60 \leq E.S < 70$	Sable légèrement argileux de propreté admissible pour les bétons de qualité courante quand on ne craint particulièrement pas le retrait.
$75 \leq E.S.V < 85$	$70 \leq E.S < 80$	Sable propre à faible pourcentage de fines argileuses convenant Parfaitement pour des bétons de haute qualité (valeur optimale $E.S = 75$ , $E.S.V = 80$ ).
$E.S.V \geq 85$	$E.S \geq 80$	Sable très propre : l'absence presque 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 obtenus sont présentés au tableaux suivant :

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

N° d'essais	h1 (cm)	h2 (cm)	E.S.V (%)
<b>1</b>	<b>6.8</b>	<b>5.8</b>	<b>85.29</b>
<b>2</b>	<b>6.6</b>	<b>5.7</b>	<b>86.36</b>
<b>3</b>	<b>6.6</b>	<b>5.7</b>	<b>86.36</b>

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

N° d'essais	h1(mm)	h'2(mm)	E.S.P(%)
<b>1</b>	<b>6.8</b>	<b>5.5</b>	<b>80.88</b>
<b>2</b>	<b>6.6</b>	<b>5.4</b>	<b>81.81</b>

<b>3</b>	<b>6.6</b>	<b>5.4</b>	<b>81.81</b>
----------	------------	------------	--------------

D'après les résultats obtenus on peut dire que : **le sable est très propre.**

**4.1.2.4 L'analyse granulométrique :NF P18-304. NFP18-560 :**

**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.

Les résultats obtenus sont présentés au tableaux suivant :

-La masse totale : 2kg

**Tableau II.2.4: L'analyse granulométrique de sable.**

N° de tamis	Poids de tamis (g)	Poids de « tamis + refus »(g)	Refus (g)	Refus Cumulé (g)	Refus cumulé (%)	(Tamisât) %
<b>5</b>	<b>856</b>	<b>876</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>1</b>	<b>99</b>
<b>2.5</b>	<b>752</b>	<b>778</b>	<b>26</b>	<b>46</b>	<b>2.3</b>	<b>97.7</b>
<b>1.25</b>	<b>653</b>	<b>748</b>	<b>95</b>	<b>141</b>	<b>7.05</b>	<b>92.5</b>
<b>0.63</b>	<b>624</b>	<b>1160</b>	<b>536</b>	<b>677</b>	<b>33.85</b>	<b>66.15</b>
<b>0.315</b>	<b>564</b>	<b>1523</b>	<b>944</b>	<b>1621</b>	<b>81.05</b>	<b>18.95</b>
<b>0.16</b>	<b>520</b>	<b>855</b>	<b>335</b>	<b>1956</b>	<b>97.8</b>	<b>2.2</b>
<b>0.08</b>	<b>507</b>	<b>551</b>	<b>40</b>	<b>1996</b>	<b>99.8</b>	<b>0.2</b>
<b>fond</b>	<b>562</b>	<b>566</b>	<b>4</b>	<b>2000</b>	<b>100</b>	<b>0</b>

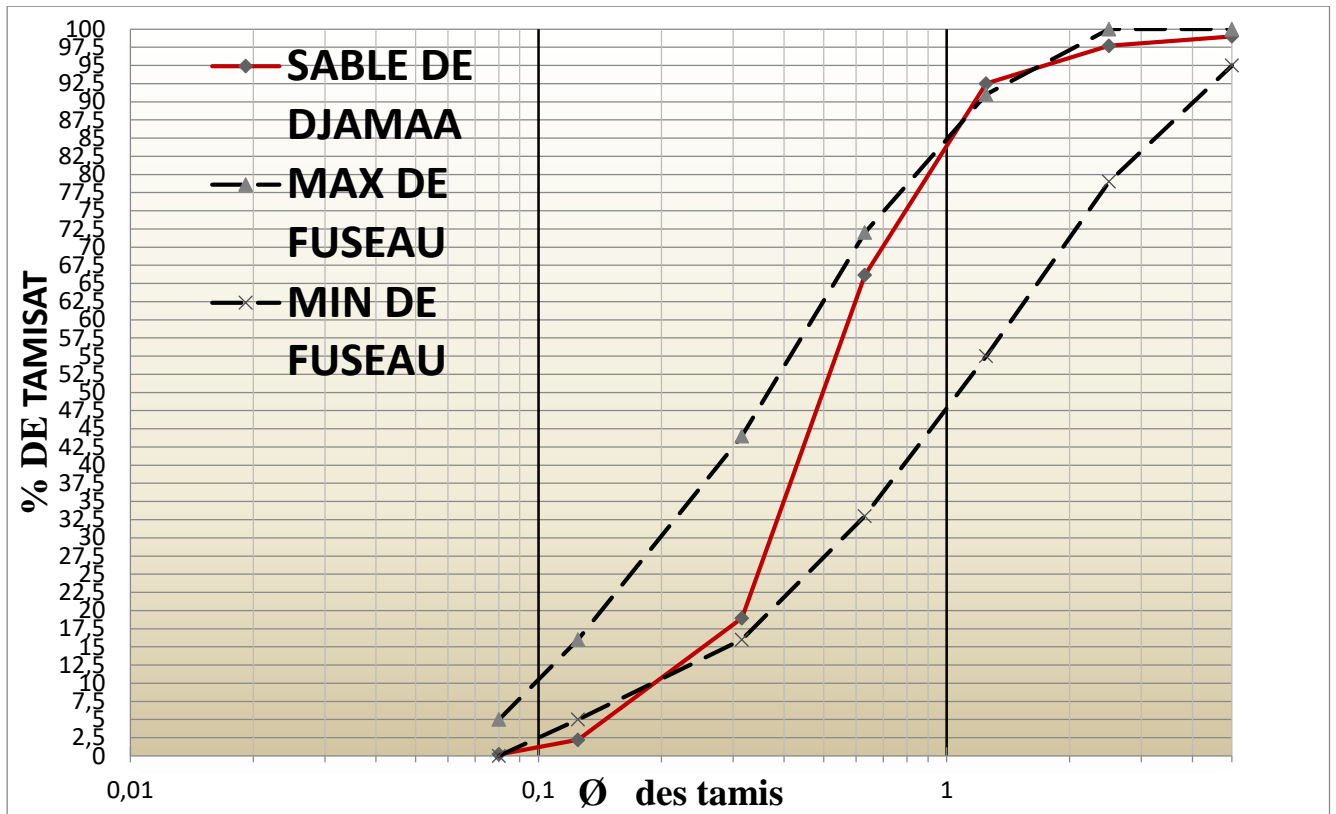


Figure II.5 : La courbe granulométrique du sable.

#### 4.2 Ciment :

Le ciment utilisé dans le cadre de ce travail est désigné sous le nom de MATINE. Ce dernier est un ciment portland composé, de classe 42.5 et de sous classe B provenant de la cimenterie LAFARAGE de hammam DALAA- M'sila. Il contient donc environ un tiers d'additions minérales autres que le clinker. Ce ciment a été entreposé au laboratoire à température ambiante et recouverts d'un sac en plastique pour éviter toute pré-hydratation éventuelle.



Figure II.6 : Le ciment utilisé.

**4.2.1 Composition chimique et minéralogique du ciment :**

Ce ciment est constitué d’oxydes minéraux dont les principaux sont la chaux (CaO) à fonction basique et la silice (SiO<sub>2</sub>) à caractère acide. On trouve également l’alumine (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) et le fer (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>).

La composition chimique et minéralogique caractéristique d’un CEM II/B-L42 ,5N est résumée à titre illustratif [11] dans le Tableau II.2.5 suivant : (Voir la Fiche technique de MATINE en ANNEXE 1).

**Tableau II.2.5 : Composition chimique et minéralogique du ciment Mâtine**

Analyse chimique						
Désignation	Perte au feu %	Résidus insolubles %	Teneur en sulfates SO <sub>3</sub> %	Teneur en oxyde de magnésium MgO %	Teneur en chlorures %	Teneur équivalent en alcalis %
%	7.50 – 12	0.7 – 2	2 – 2.7	1 – 2.2	0.01 – 0.05	0.3 – 0.75
Désignation	Composition hypothétique du clinker					
%	C <sub>3</sub> S %	C <sub>2</sub> S %	C <sub>3</sub> A %	C <sub>3</sub> AF %		
	58 – 64	12 – 18	6 – 8	10 – 12		

**4.3 Déchet d’aluminium « poudre+ fibre » :**

Nous avons utilisé deux types de déchet ils sont représentés dans les figure suivante :



**II .7. a. Fibre d’acier.**

**I.7.b. Poudre d’aluminium.**

### 4.3.1 Les caractéristiques physiques de déchet d'aluminium 'poudre' :

#### 4.3.1.1 Les équivalent sable de déchet :

##### a. Equivalent de déchet visuel (E.D.V) :

**Tableau II.2.6 : E.D.V**

ESSAIS	h1(mm)	h2(mm)	EDV%
1	9.9	10.25	103.5
2	9.5	10.2	107.3
3	9.9	10.2	103.5

##### B. Equivalent de déchet piston (E.D.P) :

**Tableau II.2.7 : E.D.P**

ESSAIS	h1(mm)	h'2(mm)	EDP%
1	9.9	5.55	56.06
2	9.5	5.5	57.89
3	9.9	5.5	56.06

#### 4.3.1.2 La masse volumique de déchet :

##### a. La masse volumique apparente :

Volume de récipient = 900cm<sup>3</sup>

**Tableau II.2.8:la masse volumique apparente de déchet.**

Essais	M1	M2	$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\rho$ moye
1	117	856	0.82	0.82
2	117	855	0.82	0.82
3	117	869	0.83	0.82

**b. La masse volumique absolue :**

**Tableau II.2.9 : la masse volumique absolue de déchet.**

essais	M (g)	V0(ml)	V' (ml)	$\rho$ (g/ml)	$\rho$ Moye
1	50	130	150	2.5	2.7
2	52	130	168	2.8	2.7
3	54	130	186	3	2.7

**4.3.1.3 L'analyse granulométrique de déchet d'aluminium par tamisage :**

Le poids de déchet : m=1kg.

**Tableau II.2.10: l'analyse granulométrique de déchet.**

N° de tamis	Poids de tamis (g)	Poids de « tamis+ Refus » (g)	Poids de refus (g)	Refus cumulé (g)	Refus cumulé %	Tamisât %
5	656	673	17	17	1.7	98.3
2.5	602	606	4	21	2.1	97.9
1.25	508	511	3	24	2.4	97.6
0.63	501	503	2	26	2.6	97.4
0.315	462	474	12	38	3.8	96.2
0.16	282	536	254	292	29.2	70.8
0.08	434	887	453	745	74.5	25.5
fond	451	706	255	1000	100	0

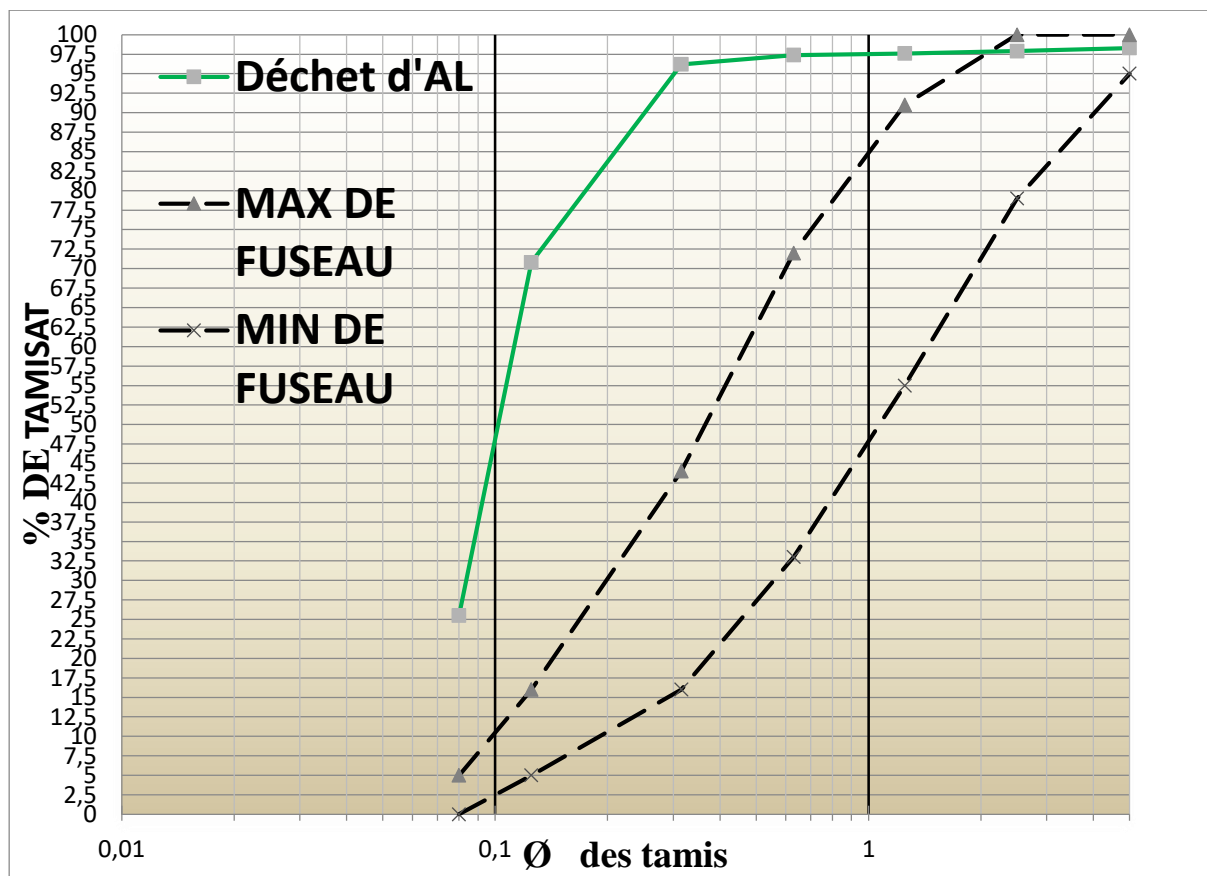
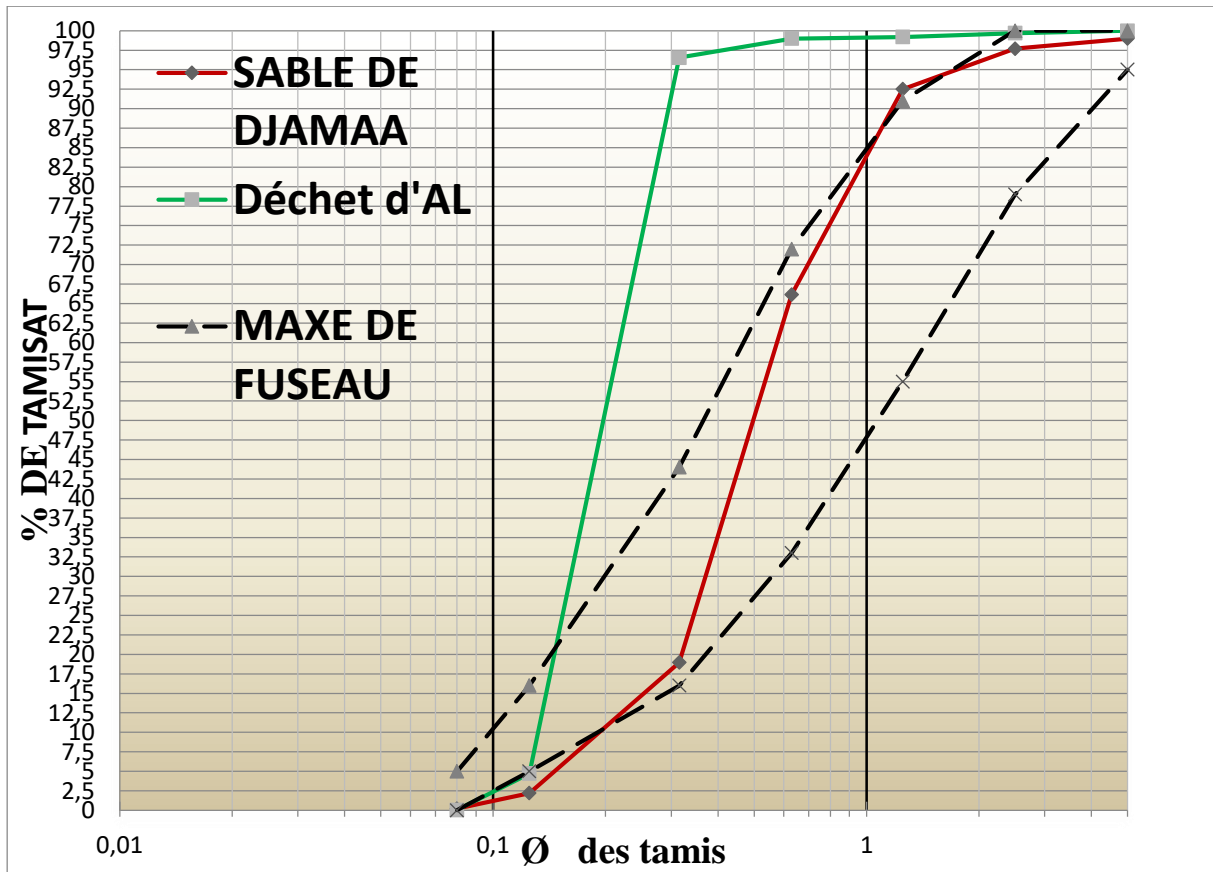


Figure II.8 : La courbe granulométrique de déchet d'aluminium.



**Figure II.9: Courbe granulométrique de sable DJAMAA et déchet d'aluminium.**

**4.4 L'entraîneur d'air :**

L'agent entraîneur d'air utilisé est le MEDA - AIR de la société GRANITEX Oued Samar, (Wilaya d'Alger), diluer dans l'eau et conforme à la norme EN 934 – 20. (voir l'ANNEXE 2)

**Tableau II.2.11: Caractéristiques physico-chimiques de l'entraîneur d'air.**

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

**4.5 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.5. Les essais sur le mortier :**

**5.1 Essai de compression/ flexion par traction :**

**-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 4cm 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.12: L'essai de compression et de flexion par traction.**

**5.2 Essai de la porosité :**

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

La porosité  
c'est le  
pourcentag

e des vides, est calculée par la formule suivante : [12]

Où :

P : porosité ou volume des vides (%) ;

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

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

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

### **5.3 La masse volumique :**

Avant chaque date d'essai destructif des éprouvettes, leurs masses est mesurées. La masse volumique du béton étudié est la masse sur le volume de l'éprouvette (10x10x10cm<sup>3</sup>).

La masse volumique est donnée par la formule suivante

$$\rho = M/V [\text{g/cm}^3]$$

### **5.4 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.

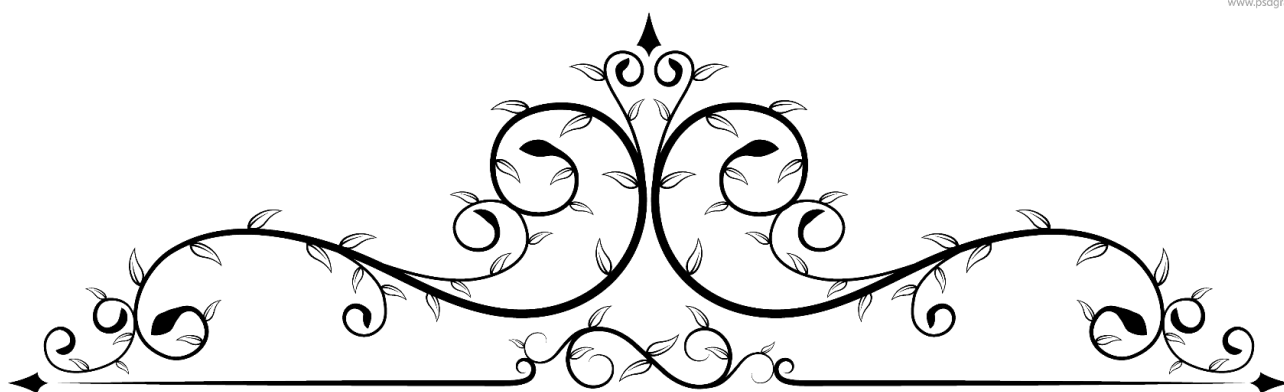
En fin, il faut qu'elle soit bien arasée à l'aide d'une règle métallique et placée lentement sur la face du moule.

### **5.5 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 le jour de l'essai.

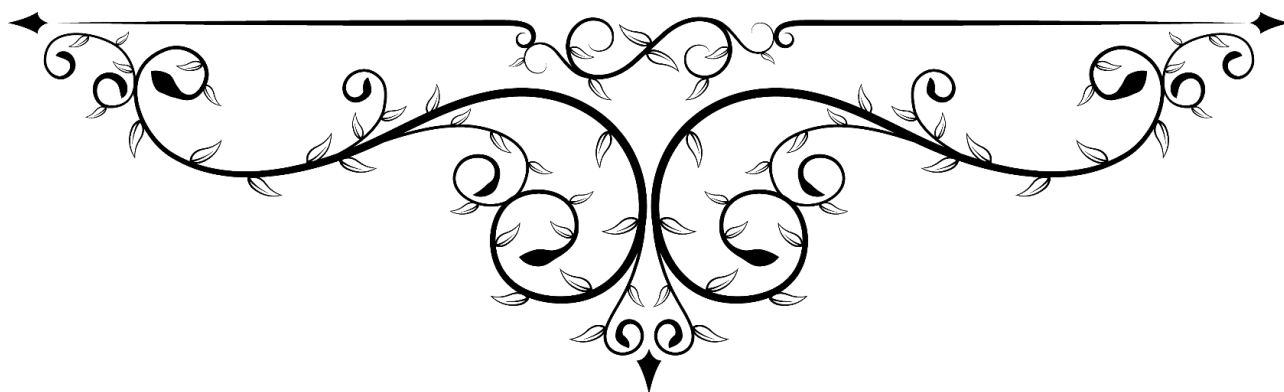
### **Conclusion :**

Dans ce chapitre nous avons étudié les caractéristiques des matières utilisées dans la formulation de notre mortier ainsi que les différents essais réalisés sur les mortiers et la méthodologie suivie pour préparer les éprouvettes.



## **CHAPITRE III**

### **Résultats et interprétation des différents essais**



### **III. 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 le comportement mécanique et physique d'onze formulations de mortier à savoir :

- **Formulation 1** : mortier témoin formulé avec 0% de déchet d'aluminium et sans entraîneur d'air.
- **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 0.08% d'entraîneur d'air.
- **Formulation 6** : mortier formulé avec 0.1% d'entraîneur d'air.
- **Formulation 7** : mortier formulé avec 0.15% d'entraîneur d'air.
- **Formulation 8** : mortier formulé avec 2% de déchet d'aluminium et 0.08% d'entraîneur d'air.
- **Formulation 9** : mortier formulé avec 1% de fibre d'acier et 0.08% d'entraîneur d'air.
- **Formulation 10** : mortier formulé avec 2% de déchet d'aluminium, 0.08% d'entraîneur d'air et 1% de fibre d'AL.
- **Formulation 11** : mortier formulé avec 2% de déchet d'aluminium, 0.08% d'entraîneur d'air et 1.5% de fibre d'acier.

#### **III .1. Composition du mortier :**

On a formulé onze types de mortier avec :

- Trois pourcentages de déchet d'aluminium (2%, 5% ,7%).
- Trois pourcentages d'entraîneur d'air (0.08%, 0.1%, 0.15%).
- Deux pourcentages de fibre d'acier (1%, 1.5%).
- Sable de djamaa - Oued Souf.

La confection des mortiers selon la norme EN 196-1 [13]. Les compositions des différents types de formulations de mortier sont présentées sur le tableau suivant :

Tableau III.3.1: La composition des différents types de formulations de mortier.

	Sable(g)	Ciment (g)	Déchet d'AL(g)	Fibre d'acier(g)	E.A (g)	L'eau (g)	E/C
Formulation1	1500	500	0	0	0	259	0.5
Formulation2	1470	500	30	0	0	265	0.53
Formulation3	1425	500	75	0	0	275	0.55
Formulation4	1395	500	105	0	0	280.2	0.56
Formulation5	1500	500	0	0	0.4	220	0.44
Formulation6	1500	500	0	0	0.5	190	0.38
Formulation7	1500	500	0	0	0.75	181.5	0.36
Formulation8	1470	500	30	0	0.4	195.6	0.39
Formulation9	1500	500	0	5	0.4	175.4	0.35
Formulation10	1470	500	30	5	0.4	230	0.46
Formulation11	1470	500	30	7.5	0.4	220	0.44

### III.2 Le comportement mécanique et physique :

#### 2.1 Le comportement mécanique :

##### 2.1.1 La résistance à la flexion / compression :

Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau suivant :

Tableau III.3.2 : La résistance mécanique des formulations étudiées.

Confection	Age=7jrs		Age=14jrs		Age=28jrs	
	Rf (MPa)	Rc (MPa)	Rf (MPa)	Rc (MPa)	Rf (MPa)	Rc (MPa)
M. témoin	3.92	26.21	4.65	29.46	4.51	39.1
E.A0.08%	1.77	10.63	2.16	10.04	3.42	22.09
E.A0.1%	2.64	12.44	2.63	9.77	2.64	15.64
E.A0.15%	3.46	13.92	2.80	9.97	3.32	18.14
AL2%	3.29	11	3.44	14.73	4.8	24.13
AL5%	1.75	3.37	2.52	7.75	4.71	23.06
AL7%	0.68	1.45	0.97	2.01	2.03	5.09
E.A0.08% ;AL2%	1.80	4.10	1.86	6.56	2.76	11.40
F1% ;AL2%	1.30	6.92	2.79	12.90	3.12	13.29
F1% ;E.A0.08% ;AL2%	2.13	5.94	5.10	13.05	3.42	11.07
F1.5% ;E.A0.08% ;AL2%	1.96	6.09	3.33	7.29	3.09	12.17

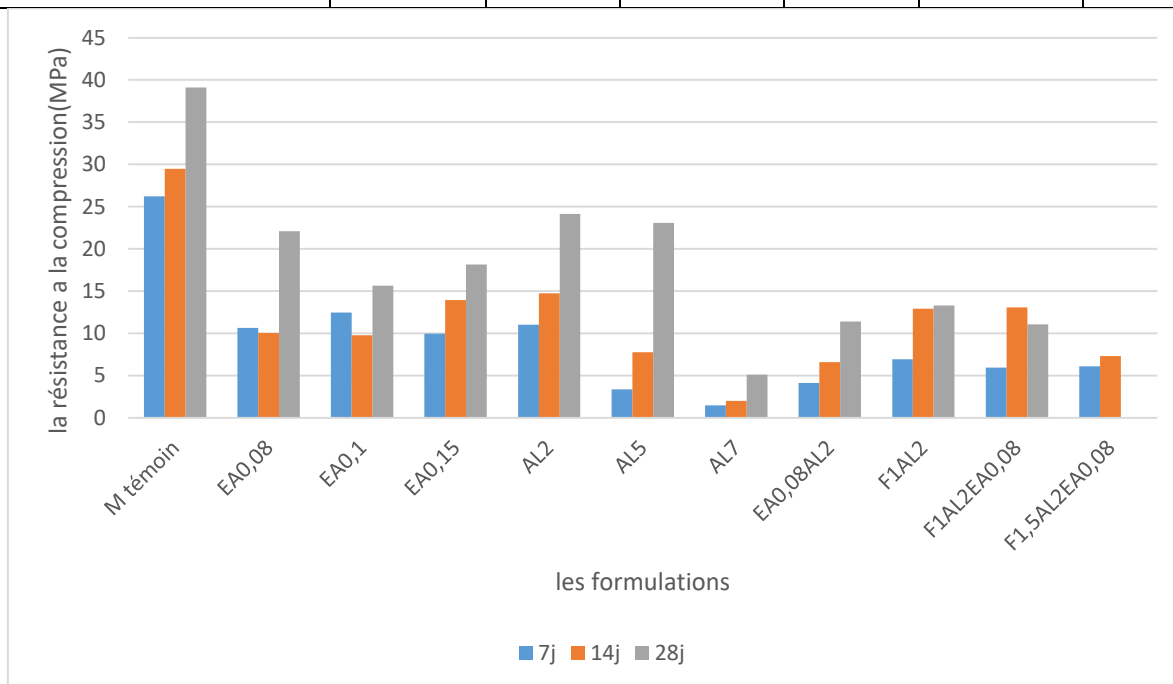
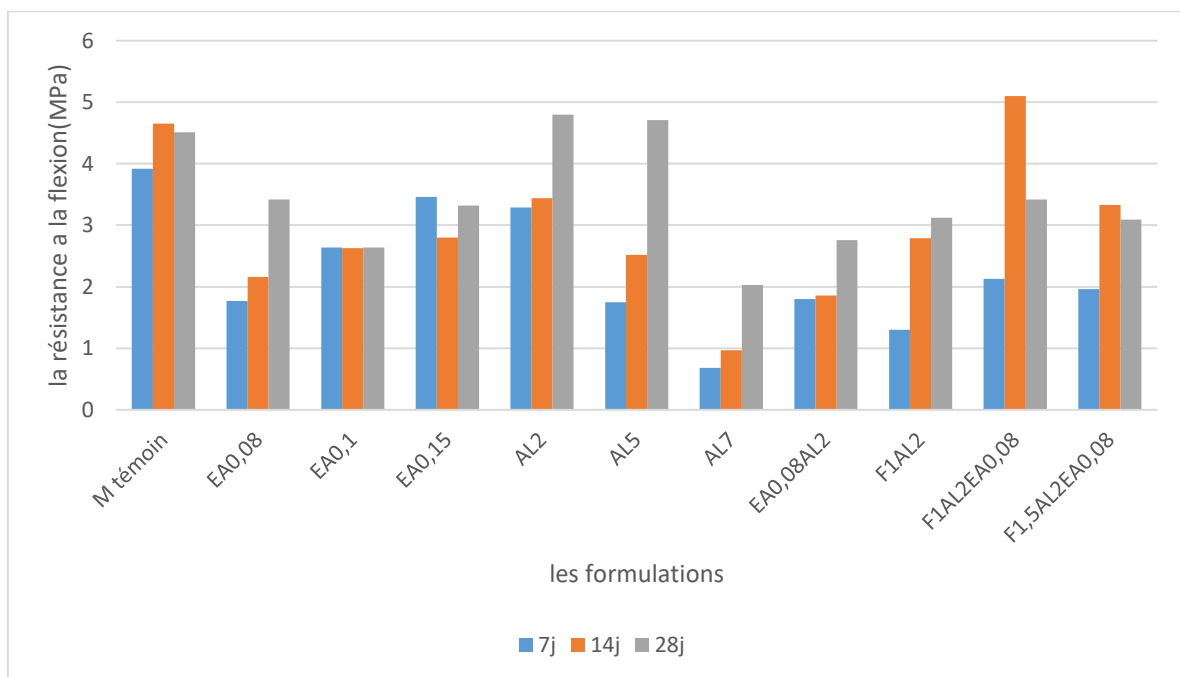


Figure III.1. : La résistance à la compression des mortiers étudiés.

On peut observer que :

- La résistance à la compression des mortiers avec entraîneur d'air de la durée de 7jrs (0.1%) est élevée par rapport aux autres pourcentages, mais sa résistance diminue à 28 jrs comme elle a augmenté a (0.08%) de manière significative.
- Le mortier avec le déchet d'AL est élevé dans la durée de (7,14,28 jrs) avec le pourcentage de 2%.

Mais le mortier témoin dépasse les autres jusqu'à 50%.



**Figure III.2: La résistance à la flexion des mortiers étudiés.**

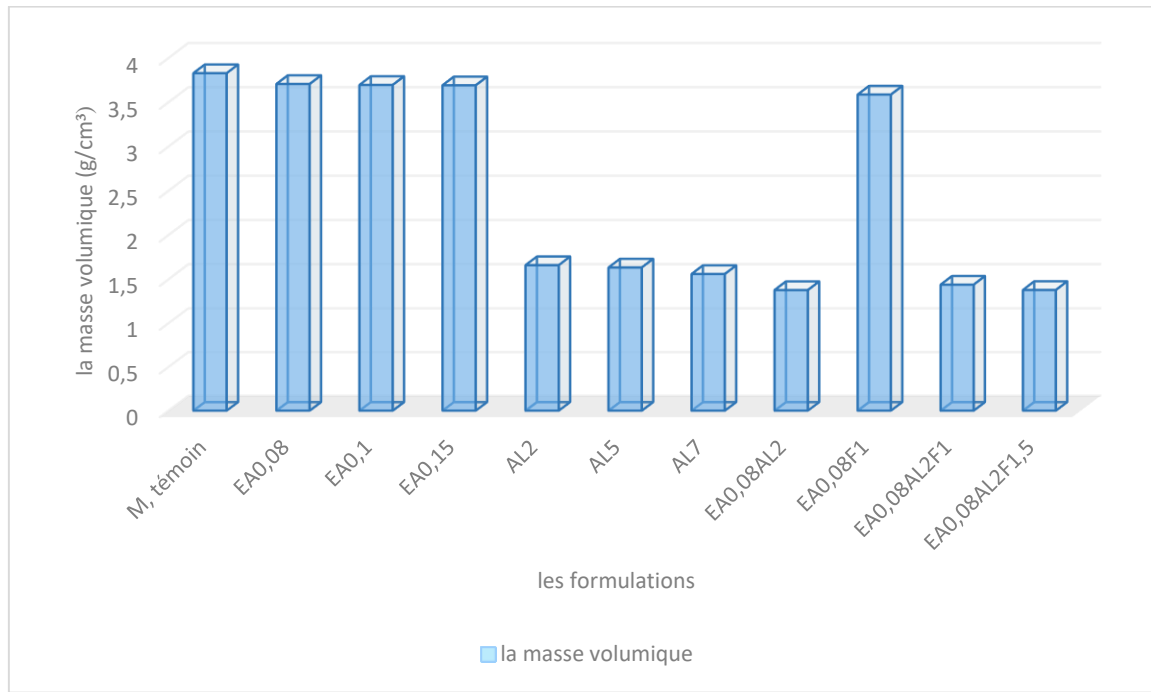
On peut observer que :

- la résistance à (0.15%) est généralement plus élevée que les autres pourcentages de l'entraîneur d'air.
- La résistance à (0.1%) d'entraîneur d'air est stable dans les trois dates d'essai destructif.
- La Rf du mortier avec déchet d'AL 2% est plus élevée que le mortier témoin.
- Le mélange de E.A et déchet d'AL a diminué la Rf par rapport aux autres facteurs.

## 2.2 Le comportement physique :

### 2.2.1 La masse volumique :

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



**Figure III.3: La masse volumique des mortiers étudiés.**

Les données nous montrent que la masse volumique se réduit avec l'augmentation de l'entraineur d'air, et nous avons obtenu le même résultat avec le taux d'aluminium s'il augmente la masse volumique diminue.

D'autre part, on a constaté que si on utilise l'entraineur d'air et l'aluminium ensemble, cette utilisation va causer une diminution plus notable dans la masse volumique comparée à leurs utilisations séparées.

Par rapport à la densité, à cause des bulles d'air, la masse volumique d'aluminium se réduit avec un taux de 60% plus que celle d'EA.

Cela explique que le mortier d'EA et d'AL ensemble est plus léger que les autres.

### 2.2.2 Le Gonflement :

Nous remarquons que le gonflement des mortiers augmente avec l'augmentation du taux d'aluminium.

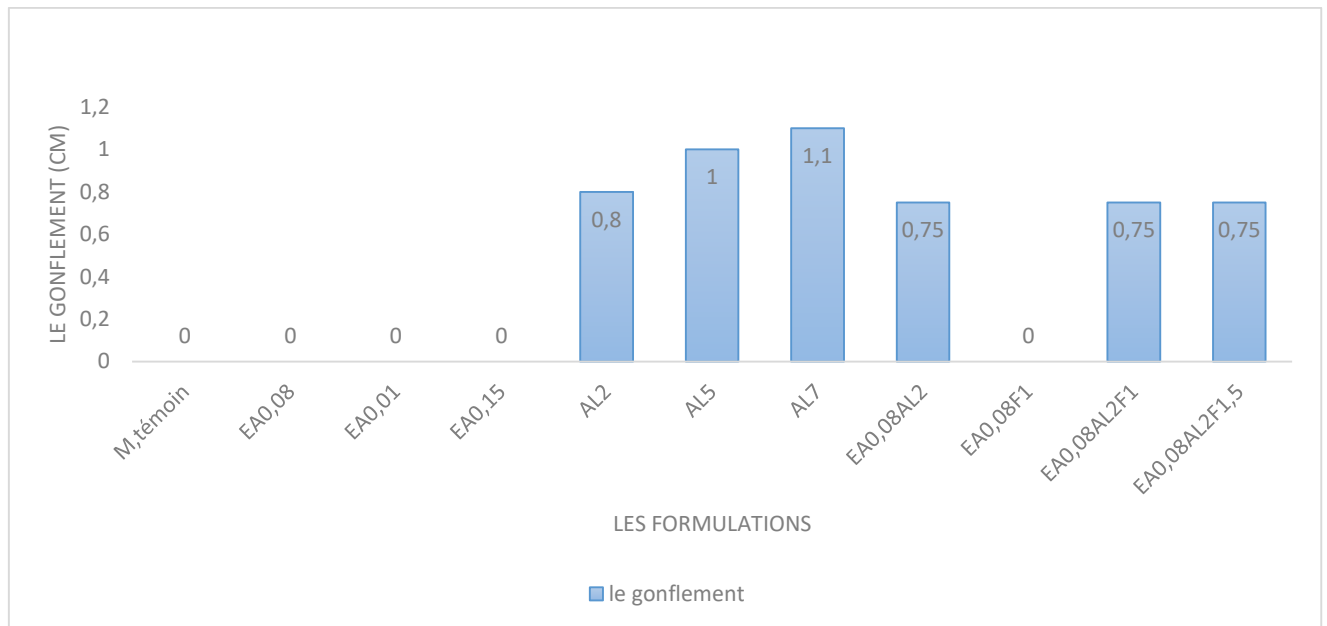


Figure III.4 : Le gonflement en présence de déchet d'aluminium.

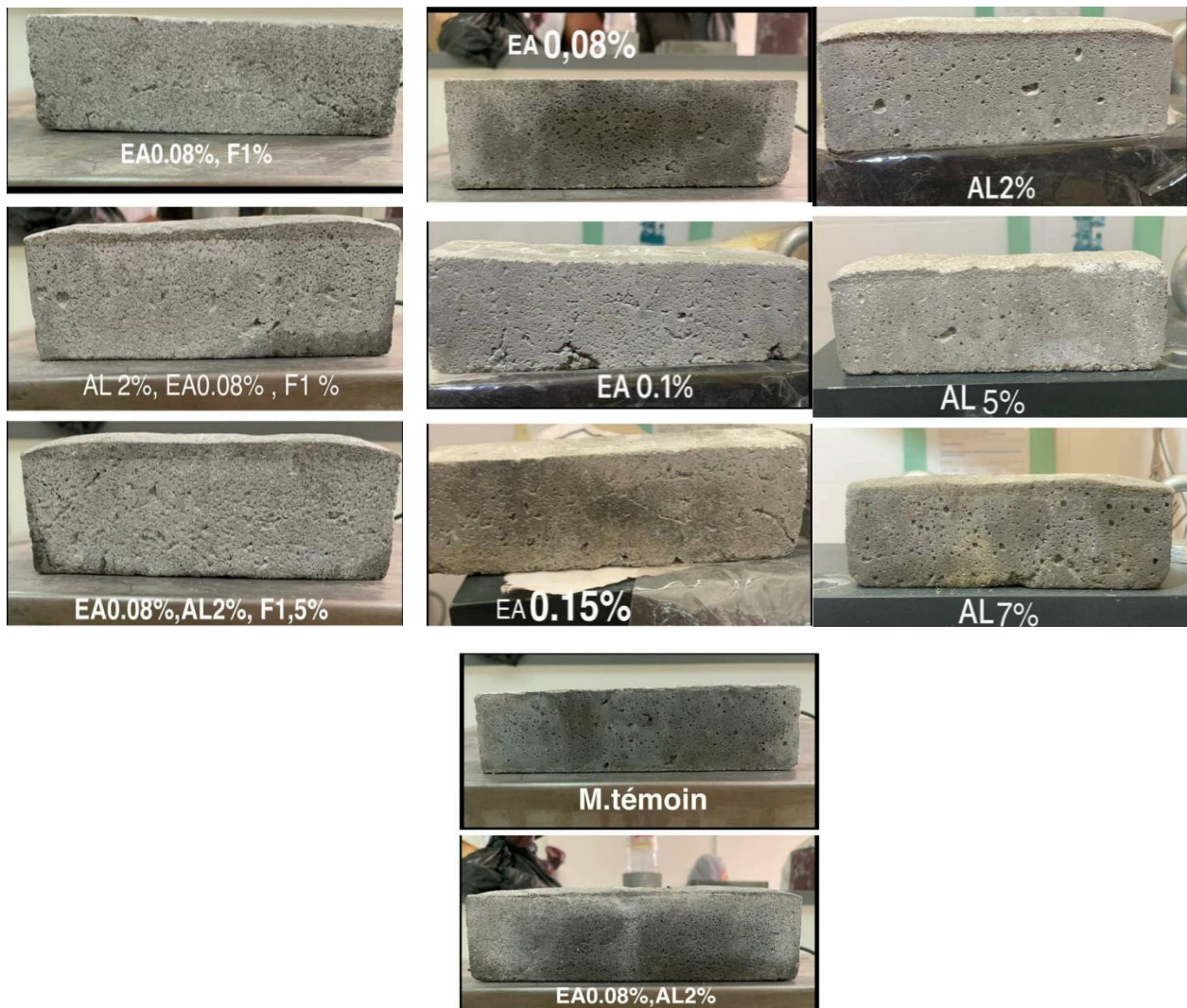
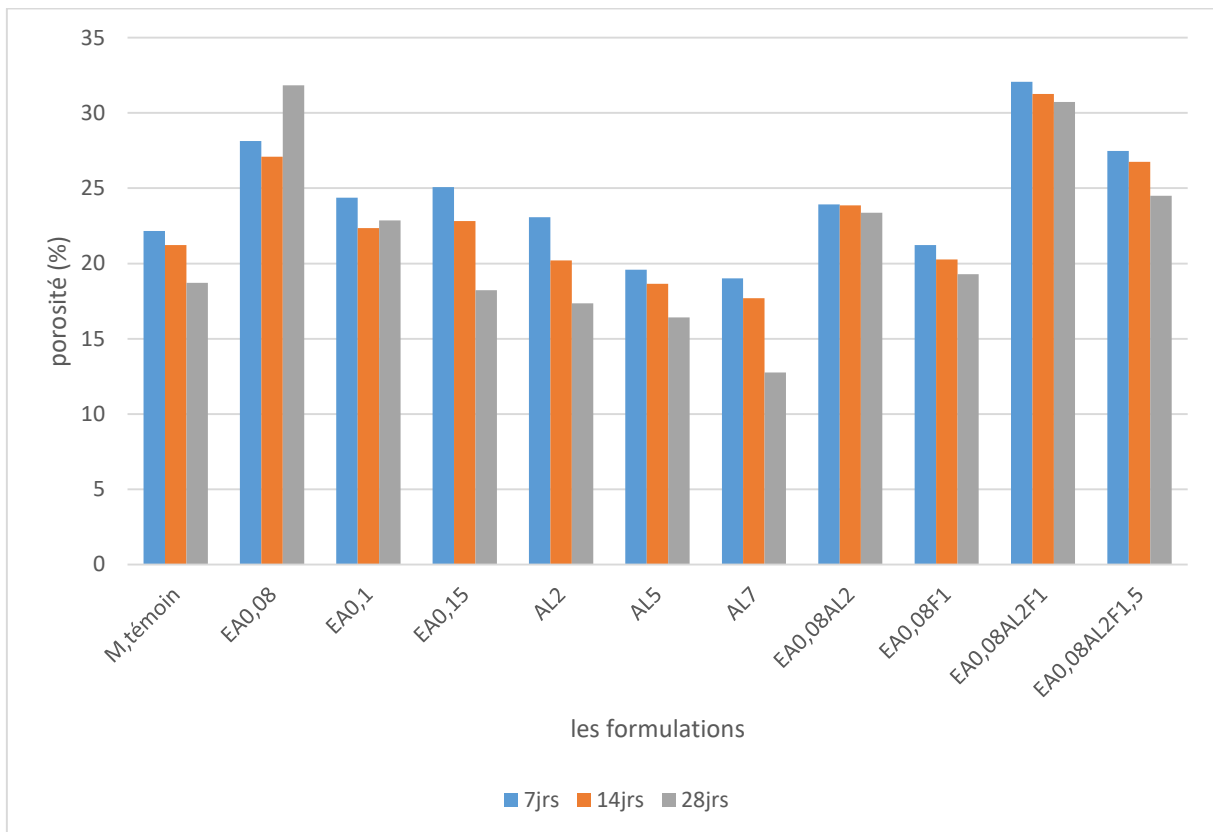


Figure III.5: Texture des mortiers étudiés.

**2.2.3 La porosité :**

L’incorporation de l’entraîneur d’air et de déchet d’aluminium et le fibre d’AL entraîne une augmentation de la porosité.

Cependant, on a remarqué que si les deux sont séparément utilisés on trouve que si le taux d’entraîneur d’air est faible la porosité augmente et si le taux d’aluminium est élevé la porosité se réduit.



**Figure III.6: Variation de la porosité en fonction de déchet d’aluminium et l’entraîneur d’air.**

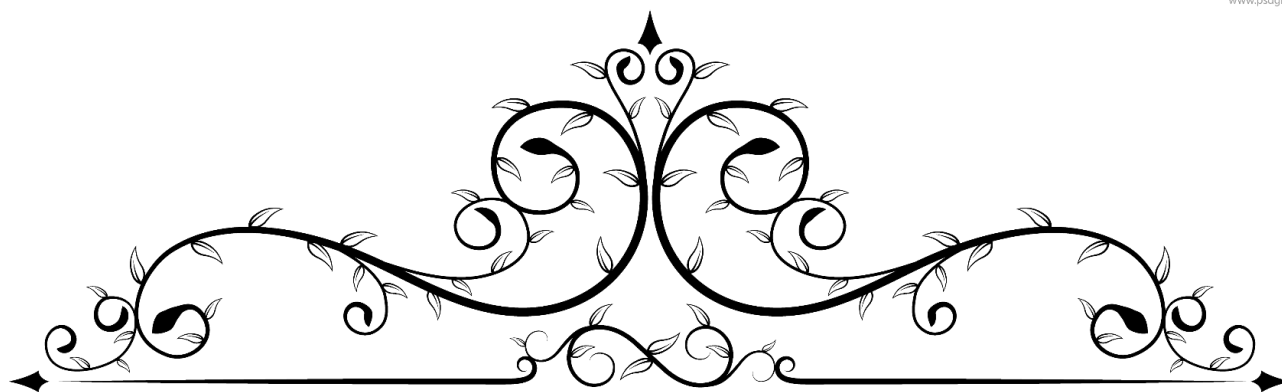
**Conclusion :**

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

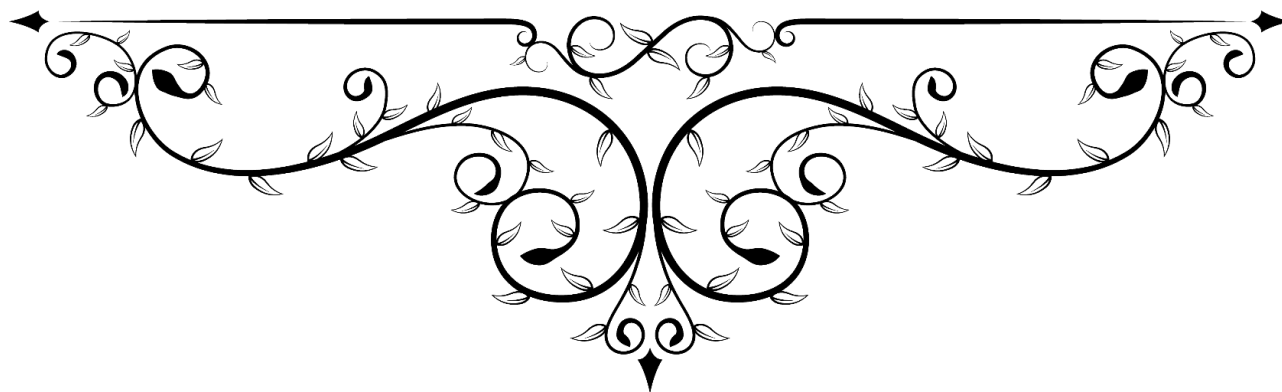
- Le comportement mécanique et physique,
- Des interprétations sur ces résultats avec des discussions.

Les conclusions tirées sont :

- On a obtenu un résultat considérablement supérieur dans le cas de la résistance à la compression d'environ 22,09 MPa dans la proportion 0,08% EA et dans proportion De Al 2%  $R_c = 24,13$ MPa. A 28 jours par rapport aux résultat obtenue du mélange entre les deux avec une diminution de 50% de  $R_c$ .
- La résistance à la flexion à (0.15%) est généralement plus élevée que les autres pourcentages de l'entraineur d'air.
- La  $R_f$  du mortier avec déchet d'AL 2% est plus élevé que le mortier témoin.
- L'ajout de l'entraineur d'air réduit la masse volumique s'il est augmenté.
- Les deux additifs EA et Al mélangés ensemble ont donné un effet faible sur la masse volumique par rapport aux autres formulations du mortier.
- L'addition des deux additifs EA et Al augmentent la porosité.
- L'addition de EA avec un taux faible entraine une augmentation de porosité. Et l'ajout de Al avec un taux élevé réduit la porosité.



# **CONCLUSION GENERALE**



### **Conclusion Générale :**

Notre étude expérimentale a été élaborée pour étudier l'effet de déchet d'Aluminium et l'entraîneur sur le comportement de mortiers légers.

Les principales conclusions que nous avons pu tirer de cette étude peuvent être résumées comme suit :

- Quand on a utilisé le déchet d'aluminium et l'entraîneur d'air ensemble, cette utilisation a causé diminution plus notable dans la masse comparée à leurs utilisations séparément.
- La masse volumique s'est diminuée avec l'augmentation de l'entraîneur d'air et de déchet d'aluminium.
- Mortier témoin a une résistance plus élevée que les mortiers avec l'entraîneur d'air et aluminium qui sont moins résistants à cause de la forte absorption d'eau.
- La résistance à compression augmente pour tous types de mortiers avec le temps.
- Le gonflement des mortiers augmente avec l'augmentation du taux d'aluminium.
- Le malaxage entre l'entraîneur d'air et déchet d'aluminium dans le mortier a diminué le gonflement à presque (5%).
- L'incorporation de l'entraîneur d'air et de déchet d'aluminium et la fibre d'acier entraîne une augmentation dans la porosité.

D'autre part, L'utilisation de E A et de l'Aluminium séparément a donné un résultat opposant et différent si le taux d'entraîneur d'air est faible la porosité s'augmente et si le taux d'aluminium est élevé la porosité se réduit.

### **Recommandation :**

A notre étude expérimentale plusieurs conclusions importantes ont été tirées, guidant ainsi nos recommandations pour des applications futures. Les observations principales sont les suivantes :

- L'utilisation combinée des déchets d'aluminium et des entraîneurs d'air entraîne une diminution de la masse volumique par rapport à leur utilisation séparée. Il est donc recommandé d'exploiter cette synergie pour obtenir des mortiers plus légers.

## ***Conclusion générale***

---

- Le gonflement des mortiers augmente avec un taux élevé de déchets d'aluminium, mais l'ajout combiné d'un entraîneur d'air peut réduire ce gonflement jusqu'à environ 5%. Il est recommandé de calibrer soigneusement les proportions pour minimiser les déformations tout en améliorant la légèreté.
- L'incorporation d'entraîneurs d'air, de déchets d'aluminium et de fibres d'acier augmente la porosité. Cependant, l'utilisation séparée de ces composants montre des résultats divergents : un faible taux d'entraîneur d'air augmente la porosité, tandis qu'un taux élevé d'aluminium la réduit. Un équilibre doit être trouvé pour obtenir la porosité souhaitée sans compromettre la performance mécanique.

### **Perspectives :**

Cette étude suggère d'autres pistes d'investigations pour montrer les avantages d'incorporer des matériaux recyclés comme le déchet d'Aluminium Et les additifs adjuvants comme l'entraîneur d'air. A cet effet, cette étude propose :

- Etude des caractéristiques thermiques de mortier avec le déchet d'aluminium.
- Etude de l'utilisation de mortier avec déchets d'aluminium dans les applications de maçonnerie.

## Les références :

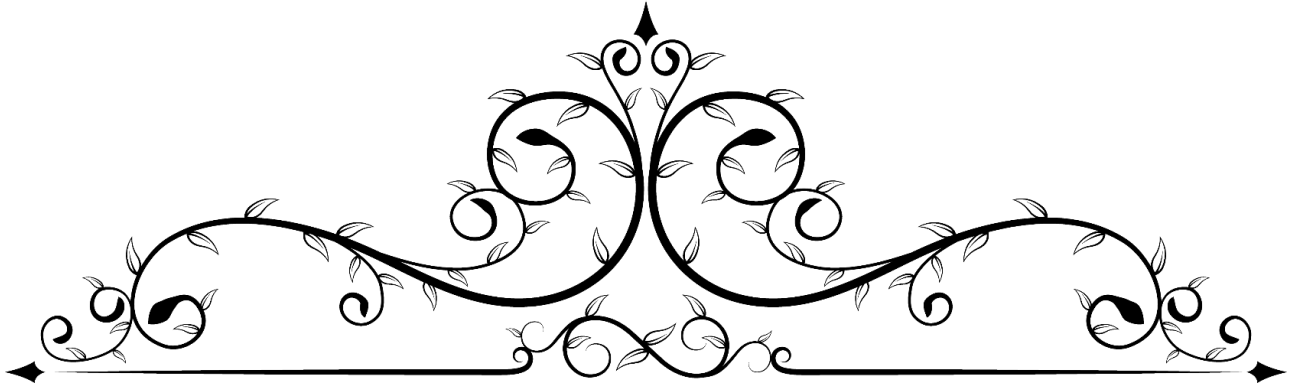
- [1] Cours de technologie des matériaux, Université de Annaba, Berredjem Layachi, 2022/2023.
- [2] Mokhtar, N. (2021). *Comportement Mécanique D'un Mortier De Ciment A Base De Fibre Végétale* (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou).
- [3] Dreux, G. (1981). *Nouveau guide du béton*, 8<sup>ème</sup> Edition. Ed. Eyrolles.
- [4] DAD, Celia. *Etude comparative de l'utilisation du sable de dune en substitution du sable de rivière : cas des mortiers normalisés*. 2019. Thèse de doctorat. Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou.
- [5] info ciments : bétons : adjuvants disponible sur : <https://www.infociments.fr/betons/adjuvants>, consulté le 20/04/2024 à 13h20.
- [6] Mr : Youssef OUHAMI : les adjuvants du béton d F.S.T de Settat –Licence Professionnelle - Option : Génie Civil - 2011 / 2012, p4-43
- [7] Mougari, B. (2016). *Etude expérimentale d'un mortier renforcé par des fibres végétales* (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou).
- [8] DELALDJA, Dalila. Valorisation des déchets industriel dans la formulation des mortiers soumis à des températures élevées. 2018. Mémoire de MASTER. Université Mohamed Boudiaf – M'sila.
- [9] Norme Française XP P 18-598 : Granulats- Equivalent de sable, AFNOR, 1991.
- [10] CHABIA, Raihana, 2016. Contribution à l'étude des caractéristiques physico-mécaniques de béton se sable de dunes et l'influence de milieux de coacervation, mémoire mastère, Université Ouargla.
- [11] Mlle HADJADJA Taous « Influence des paramètres constitutifs d'un béton sous l'efficacité d'un confinement » Mémoire de Master Académique Option : Structure- Université Mouloud Mammeri –Tizi Ouzou,2018
- [12] **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.
- [13] : **Cours science des matériaux de construction** (Travaux pratique) : Université Aboubekr Belkaid préparé par M. GHOMARI F. & Mme BENDI-OUISAL.
- [14] : **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.
- [15] <https://www.gothrasher.com/about/news-and-events/48806-why-diy-concrete-leveling-is-a-bad-idea.html>, consulté le 12/04/2024 à 15h00.

[16] <https://www.lesmatériaux.fr/uploads/categories/background/91-mortier.jpg>. Consulté le 12/04/2024 18.30.

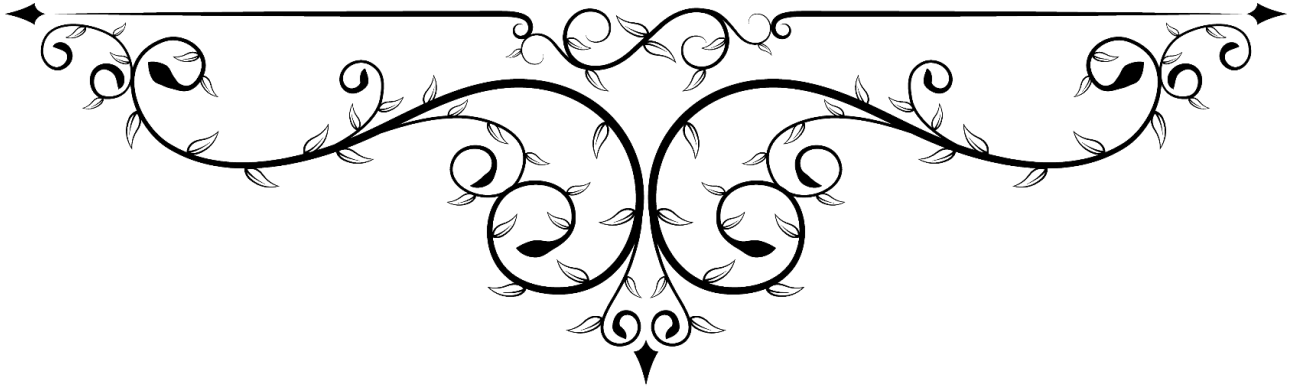
[17] [https://www.cotemaïson.fr/devis-travaux-renovation/6-choses-a-savoir-sur-la-chaux\\_13200.html](https://www.cotemaïson.fr/devis-travaux-renovation/6-choses-a-savoir-sur-la-chaux_13200.html) consulté le 15/04/2024 à 10h00

[18] <https://www.aluminium.fr/cycle-de-vie-et-recyclage/> consulté le 20/04/2024 à 13h20

[19] <https://www.latribune.fr/entreprises-finance/industrie/au-havre-novamet-investit-pour-traiter-les-dechets-d-aluminium-914831.html>  
consulté le 20/04/2024 à 18h00



# **Annexes**



ALGÉRIE



50kg

ماتين  
MATINE

**LAFARGE**  
Construire  
des villes meilleures™



### 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.

**L** A member of  
**LafargeHolcim**

**H** to achieve a  
better world

• Meilleure durabilité du béton

900000

## 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

### Temps de prise à 20° (NA 230)

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

### Composition minéralogique du Clinker (Bogue)

	Valeur
C3S (%)	60±3
C3A (%)	7,5±1

### Résistance à la compression

	Valeur
2 jours (MPa)	≥ 10,0
28 jours (MPa)	≥ 42,5

### 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

## 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,

**CILAS**  
CIMENTES LAFARGE ET SOLUDES



Conditionnement: Sac et vrac

### LAFARGE ALGÉRIE

Centre commercial Bab Ezzouar, Tour n°02,  
Etages 05 & 06, Bab Ezzouar Alger, Algérie  
Tél: + 213 (0) 21 98 54 54  
Fax: + 213 (0) 23 92 42 94  
www.lafargealgerie.com  
dz.satisfaction-clients@lafargeholcim.com  
Tél: 021 55 55 98

**LAFARGE**  
لافارج

# MEDA-AIR

Conforme à la norme EN 934-2: Tab 8

## Entraîneur d'air

### DESCRIPTION

Le **MEDA-AIR**, est un entraîneur d'air sous forme liquide à diluer dans l'eau.

Le **MEDA-AIR** permet d'augmenter la quantité d'air occlus dans le béton en y formant des micro bulles d'air uniformément réparties qui protègent le béton contre le cycle gel/dé-gel.

### DOMAINES D'APPLICATION

- Béton soumis aux cycles de gel dé-gel
- Bétonnage par temps froid
- Ouvrages exigeant de hautes résistances à la compression tels que les ouvrages d'art, barrages, digues...
- Béton extrudés
- Utilisé pour les bétons en milieux agressifs

### PROPRIÉTÉS

#### Sur béton frais :

- Augmentation de la cohésion
- Diminution de la ségrégation
- Amélioration de la maniabilité

#### Sur béton durci :

- Amélioration des résistances aux cycles gel dé-gel.
- Amélioration de l'aspect au démoulage

### CARACTÉRISTIQUES

- Forme ..... Liquide
- Densité ..... 1,00 ( $\pm$  0,01)
- pH ..... 7-8
- Ions chlorés ..... < 1%

### MODE D'EMPLOI

Mélanger le **MEDA-AIR** avant son utilisation afin de l'homogénéiser.

**MEDA-AIR** est introduit dans le malaxeur mélangé

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

Ne pas introduire le **MEDA-AIR** sur les composants secs du béton.

Le **MEDA-AIR** peut être utilisé en association avec les plastifiants et super plastifiants :

**MEDAPLAST SP, MEDAFLUID SF, MEDAPLAST SP 40 et MEDAFLOW 30 .**

**NB : La couleur n'a aucune incidence sur les caractéristiques techniques du produit.**

### DOSAGE

Plage de dosage recommandée :

0,01% à 0,1% du poids de ciment, soit 0,01 litre à 0,1 litre par 100 kg de ciment.

Le dosage dépend de la quantité d'air occlus désirée mais aussi de la composition du béton et de ses caractéristiques.

Il est recommandé de procéder à des essais préalables afin de déterminer le dosage optimal.

Tout surdosage entraînera des pertes de résistance.

### CONDITIONNEMENT ET STOCKAGE

En bidon de 10 kg en fût de 225 kg.

Stocker à l'abri du soleil à une température comprise entre 5°C et 35°C.

#### Durée de conservation :

Une année dans son emballage d'origine et à l'abri du gel.

### PRÉCAUTIONS D'EMPLOI

Manipulation non dangereuse.

Se référer à la Fiche de Données de Sécurité disponible sur : [www.granitex-dz.com](http://www.granitex-dz.com)

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

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



Zone industrielle Oued Smar – BP85 Oued Smar – 16270 Alger

Tél : (213) 021 51 66 81 & 82

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

[www.granitex-dz.com](http://www.granitex-dz.com) - E-mail: [granitex@granitex-dz.com](mailto:granitex@granitex-dz.com)

