

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 :

**BIRAZ Malak et NOUIOUA Nada**

# **Effet de l'incorporation des déchets miniers sur les performances des mortiers résistants**

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
MAZA Mekki	Professeur	Co-Encadrant

**2023/2024**

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ  
1438



## Remerciements

Avant d'entrer dans le vif du sujet, nous tenons à vous remercier

Fortement:

M. Rahmouni Zine El Abidine, M. Maza Mekki et Mme Tebbal Nadia pour tout le soutien et les conseils qu'il nous a donnés.

Nous tenons également à remercier les membres du jury ainsi que tous les enseignants du département de Génie Civil et tous ceux qui nous ont aidé ou contribué de près ou de loin à notre formation et à l'élaboration de ce mémoire.

À tous ceux dont le soutien nous a été utile et nécessaire

BIRAZ Malak



## Remerciements

On remercie dieu le tout puissant de nous avoir donné la santé et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire. Tout d'abord, ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu avoir le jour sans l'aide et l'encadrement de Mr RAHMOUNI Zine El Abidine , on le remercie pour la qualité de son encadrement exceptionnel, pour sa patience, sa rigueur et sa disponibilité durant notre préparation de ce mémoire.

Notre remerciement s'adresse au Pr MAZA Mekki et Pr Nadia TEBBAL et pour son aide pratique et son soutien moral et ses encouragements.

Nos remerciement s'adresse également à tous nos professeurs pour leurs générosités et la grande patience dont ils ont su faire preuve malgré leurs charges académiques et professionnelles.

NOUIOUA Nada





---



*Dédicace:*

C'est avec profonde gratitude et sincères mots, que nous dédions ce modeste travail de fin d'étude à nos chers parents; qui ont sacrifié leur vie pour notre réussite et nous ont éclairé le chemin par leurs conseils judicieux.

Nous espérons qu'un jour, nous pourrons leurs rendre un peu de ce qu'ils ont fait pour nous, que dieu leur prête bonheur et longue vie.

Nous dédions aussi ce travail à nos frères et sœurs, nos familles, nos amis, tous nos professeurs qui nous ont enseigné et à tous ceux qui nous sont chers.

On remercie dieu le tout puissant de nous avoir donné la santé et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire.

Tout d'abord, ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu avoir le jour sans l'aide et l'encadrement de Mr SAL Rachid, on le remercie pour la qualité de son encadrement exceptionnel, pour sa patience, sa rigueur et sa disponibilité durant notre préparation de ce mémoire.



---



NOUIOUA Nada



---

*Dédicace:*



Merci Allah (mon dieu) de m'avoir donné la capacité d'écrire et de réfléchir, la force d'y croire, la patience d'aller jusqu'au bout du rêve et le bonheur , de lever mes mains vers le ciel et de dire " Ya Karim "

Je dédie ce modeste travail à celle qui m'a donné la vie, le symbole de tendresse, qui s'est sacrifiée pour mon bonheur et ma réussite, à ma mère « Lila »

A mon père « Mohamed », école de mon enfance, qui a été mon ombre durant toutes les années des études, et qui a veillé tout au long de ma vie, à m'encourager, à me donner l'aide et à me protéger.

Que dieu les gardes et les protège. Et toute ma famille

A mes sœurs : «Zina, Nour El Houda, Anfel, et la plus douce Sajida »



---

BIRAZ Malak



### **Résumé** :

Les déchets miniers représentent des rejets issus de l'extraction et du traitement des minerais. Pour cette raison une réutilisation des déchets miniers comme matière première alternative dans les matériaux de construction est une solution environnementale prometteuse. L'incorporation de déchets miniers dans les mortiers vise généralement à valoriser ces résidus industriels tout en améliorant les performances des mortiers. Les principaux avantages suivant:

- Résistance mécanique :Les déchets miniers peuvent influencer positivement ou négativement la résistance mécanique des mortiers. Cela dépend de la nature des déchets, de leur traitement et de leur proportion dans le mélange.
- Caractéristiques physiques :L'incorporation de déchets miniers peut modifier les propriétés physiques des mortiers .
- Aspect environnemental : Réutiliser les déchets miniers dans la construction peut offrir des avantages environnementaux en réduisant l'empreinte carbone et la nécessité d'enfouissement.

Cependant, des précautions sont nécessaires comme contrôler la teneur en déchets incorporés pour éviter des effets contraires, ainsi que leur nature minéralogique. Les déchets métallurgiques requièrent une attention particulière vis-à-vis des métaux lourds potentiellement relargables. Dans l'ensemble, une incorporation contrôlée de certains déchets miniers permet d'allier valorisation des résidus et amélioration des propriétés d'usage des mortiers.

Mots clés: L'incorporation, déchets miniers, performance, résistance, mortiers. laitier des haut fourneaux

### **Abstract :**

Mining wastes are residues generated from mineral extraction and processing. Reusing these wastes as alternative raw materials in construction materials represents a promising environmental solution. Incorporating mining wastes into mortars aims to both utilize these industrial residues and enhance mortar performance. Key advantages include:

- Mechanical strength: Mining wastes can positively or negatively influence mortar strength depending on their nature, treatment, and proportion in the mix.
- Physical characteristics: Incorporating mining wastes can alter the physical properties of mortars.
- Environmental impact: Reusing mining wastes in construction can provide environmental benefits by reducing carbon footprint and the need for landfill disposal.

However, precautions are necessary, such as controlling the amount of incorporated wastes to avoid adverse effects, especially concerning their mineralogical nature. Metallurgical wastes require particular attention due to potentially leachable heavy metals. Overall, controlled incorporation of certain mining wastes allows for the combination of waste valorization and improvement in mortar properties for practical use.

**Keywords:** Incorporation, mining wastes, performance, strength, mortars, blast furnace slag

## ملخص:

تمثل نفايات التعدين الناتجة عن استخراج ومعالجة المعادن مخلفات تحتاج إلى تصريف. لهذا السبب، فإن إعادة استخدام هذه النفايات كمواد خام بديلة في البناء يُعدّ حلاً بيئياً واعداً. يهدف دمج النفايات التعدينية في الملاط عادة إلى استغلال هذه النفايات الصناعية بالإضافة إلى تحسين أداء الملاط. وتشمل الفوائد التالية:

- المقاومة الميكانيكية: يمكن أن تؤثر النفايات المعدنية إيجاباً أو سلباً على المقاومة الميكانيكية للأسمنت، وذلك يعتمد على طبيعة النفايات، ومعالجتها، ونسبتها في الخليط.
- الخصائص الفيزيائية: يمكن أن تغير إدخال النفايات المعدنية الخصائص الفيزيائية للأسمنت .
- الجوانب البيئية: إعادة استخدام النفايات المعدنية في البناء يمكن أن يوفر فوائد بيئية من خلال تقليل الكربون والحاجة إلى دفن النفايات.

ومع ذلك، فهناك حاجة لاتخاذ احتياطات مثل التحكم في محتوى النفايات المدمجة لتجنب الآثار السلبية، بالإضافة إلى تحديد الطبيعة المعدنية لهذه النفايات. تتطلب النفايات المعدنية اهتماماً خاصاً بالمعادن الثقيلة وخاصة فيما يتعلق بالمعادن الثقيلة التي يحتمل أن تكون قابلة للترشيح. بشكل عام، يمكن للتضمين المراقب لبعض النفايات التعدينية أن يجمع بين استفادة من النفايات وتحسين استخدام الملاط.

**الكلمات المفتاحية:** الدمج، نفايات التعدين، الأداء، القوة، الملاط، خبث الفرن العالي

# Sommaire

## Remerciements

Dédicace

Résumé

Abstract

ملخص

Sommaire

Liste figure

Liste tableau

Liste abréviation

1.Introduction générale ..... 1

2.L'objectif: ..... 2

3. Plan de mémoire:..... Erreur ! Signet non défini.

## CHAPITRE 01

### ÉTUDE BIBLIOGRAPHIQUE

*Introduction:*..... 5

*1. Les mortiers* ..... 5

*1.1 .Généralité:* ..... 5

*1.2 . Rôle d'utilisation de mortier :* ..... 5

*1.3.1 .Ciment :*..... 5

*1.3.2 Le sable :*..... 6

*1.3.3 . Eau gâchage :* ..... 6

*1.3.1 Les caractéristiques principales des mortiers sont:*..... 6

*1.5. Les liants :* ..... 7

*1.5.1 .Les liants minéraux :* ..... 7

*1.5.2. Les liants organique :* ..... 7

*1.5.3 Les liants hydrauliques :* ..... 7

*1.5.4. Les liants spéciaux routiers :* ..... 8

*1.6 . Type des mortiers :* ..... 8

*1.6.1 . Mortiers chaux :* ..... 8

*1.6.2 . Mortiers batard :* ..... 8

*1.6.3 .Mortiers ciment :* ..... 8

1.7. Domaine d'utilisations :	8
2. Les déchets :	9
2.1 . Introduction :	9
2.2. Définition des déchets :	9
2.2.1 . Approche réglementaire :	10
1.2.2 . <i>Approche économique</i> :	10
1.2.3. <i>Approche fonctionnellement</i> :	10
3. Classification des déchets :	11
3.1. Selon leur nature :	11
4 . Déchets miniers :	13
1.4.1. Généralité :	13
1.4.2. Historique :	13
1.5. Type de déchets miniers :	13
1.6 . L'impact sur l'environnement des rejets miniers :	15
1.7 La pollution minière dans le district du domaine minier algérien :	16
1.8 Stokage des déchets miniers :	16
1.8.1. Le drainage minier acide (DMA) :	16
1.8.2. Rupture des barrages :	16
1.9. Les traitements du minier :	17
Conclusion:	17

## CHAPITRE 02

### LES AJOUTS CIMENTAIRES

Introduction .....	19
2.1 . Ciment: .....	19
2.1.1 . Définition : .....	19
2.1.2. Constituants type de ciment : .....	19
2.1.3. Les propriété du ciment variant en fonction pourcentage de ces différentes phases. ....	19
2.1.4. La fabrication du ciment : .....	20
2.1.5. Les différents types de ciment : .....	23
2.1.6 . Indice d'hydraulicité : .....	24
2.1.7 . Ciment Portland: .....	25
2.1.8. Hydratation du ciment Portland : .....	25
2.1.9. Hydratation du C <sub>3</sub> S et C <sub>2</sub> S.....	25
2-1.10. Hydratation des CLA et CAF .....	26
2.2.Les laitiers : .....	26

2.2.1 Généralité sur les laitiers : .....	26
2.2.2 Défférente du type des laitiers : .....	26
2.2.3 Definition du laitier haut fourneau : .....	27
2.2.4 Fabrication du laitier haut fourneau : .....	27
2.2.5 Méthode d`analyse : .....	28
2.2.6 . L`activité du laitier haute fourneau : .....	28
2.3.1 .Laitier cristallisé : .....	29
2.3.1.1..Définition : .....	29
2.3.1.2 .Propriété du laitier cristallisé : .....	29
2.3.1.3 Distribution granulométrique et caractéristique de fabrication : .....	30
2.3.1.3 Densité: .....	30
2.3.1.4. Absorption: .....	30
2.3.1.5. État de surface: .....	31
2.3.1.6 .Utilisations du laitier cristallisé: .....	31
2.4.1 . Laitier granulé : .....	31
2.4.1.2- Caratéristique chimique de laitier granulé : .....	31
2.4.1.3. La reactivity du laitier granulé : .....	32
2.4.1.4 . Compositon chimique du laitier granulé : .....	32
2.4.1.5. Les indices d'activité du laitier granulé : .....	33
2.4.1.6 .Utilisations du laitier granulé : .....	33
2.4.1.7. Influence du laitier propriété mécanique: .....	34
2.4.1,8 Résistance en traction .....	34
Conclusion: .....	34

## CHAPITRE 03

### CARACTERISATION DES MATERIAUX UTILISEES

1. INTRODUCTION: .....	36
2. Matériaux de base: .....	36
3.1 Caractéristiques des matériaux : .....	36
3.1.1. Sable: .....	36
3.1.2. Analyse granulométrique : [NA EN 933-5] : .....	36
3.1.3.Masse volumique absolue : la norme NFP 18-301 : .....	38
3.1.4.Masse volumique apparente: NF P 18-554 : .....	38
3.2.1 .Porosité et Compacité: .....	39
3.4.2.2.Masse volumique du laitier cristallin : .....	41
3.4.3.3.:La porosité et compacité du laitier cristallin: .....	42

3.5.1. <i>Les mélanges (sable de dune + laitier cristallin)</i> : .....	42
3.5.1.1. <i>Analyse granulométrique des mélanges</i> : .....	42
3.5.2.2. <i>Masse volumique des mélanges</i> .....	44
3.6.1. <i>Sable du laitier granulé</i> : .....	46
3.6.1.1. <i>Analyse granulométrique du laitier granulé</i> : .....	46
3.6.2.2. <i>Masse volumique du laitier granulé</i> : .....	47
3.7.1. <i>Les mélanges (sable de dune + laitier granulé)</i> : .....	48
3.7.1.1. <i>Analyse granulométrique des mélanges</i> : .....	48
3.7.2.2. <i>Masse volumique des mélanges</i> .....	50
3.8.1. <i>Caractéristiques de ciment utilisé</i> : .....	52
3.8.1.1. <i>Caractéristiques chimique de ciment MATINE</i> : .....	52
3.9.1. <i>L'eau de gâchage</i> : .....	55
3.10.1. <i>Les adjuvants</i> : .....	56
3.11.1. <i>Formulation du mortier normal(EN 196-1)</i> : .....	56
3.11.1.1. <i>Formulation de notre travail</i> : .....	57
3.11.2.2. <i>Préparation des éprouvettes</i> .....	Erreur ! Signet non défini.
3.12.1. <i>Les essais physico-mécanique</i> : .....	58
3.12. 1.1 <i>Mesure des résistances mécaniques</i> : .....	58
3.12.3.3. <i>Essai de compression</i> : .....	59
3.13.1. <i>Porosité accessible à l'eau [28]</i> .....	59
3.5. <i>Conclusion</i> : .....	60

## CHAPITRE 04

### RESULTATS ET DISCUSSIONS

4.1. <i>Introduction</i> : .....	62
<i>Conclusion</i> .....	68
<i>Conclusion générale</i> : .....	70

#### Références

#### Annexes

## Listes des figures

Figure 1.1: Définition fonctionnelle des déchets .....	10
Figure 1.3 : Photo du parc à rejets miniers (Mine de Goro, Nouvelle Calédonie .....	15
Figure 1.4 : Digue de tailing dans complexe minier de kherzet youssef, wilaya de sétif .....	15
Figure 2.1 : Diagramme schématique. ....	23
Figure 2.3: Élaboration du laitier cristallisé .....	29
Figure 2.5: Obtention du laitier granulé par le procédé de granulation .....	31
Figure 2.6: DRX du laitier granulé.....	33
Figure 3.1 : Colonne de tamis de l'essai de l'analyse granulométrique du sable .....	37
Figure 3.2 : Courbe analyse granulométrique de sable Djamaa.....	38
Figure 3.3 : Essai de l'équivalent de sable Djamaa.....	39
Figure 3.4 : Courbe analyse granulométrique du laitier cristallin.....	41
Figure 3.5 : Courbe Analyse granulométrique des mélanges.....	43
Figure 3.6 : Courbe la Porosité et la compacité .....	46
Figure 3.7: Courbe analyse granulométrique du laitier granulé.....	47
Figure 3.8 : Courbe Analyse granulométrique des mélanges.....	49
Figure 3.9: Courbe la Porosité et la compacité .....	52
Figure 3.10 : Ciment MATINE [ Fiche Technique _ Matine _ FR ] .....	53
Figure 3.11: Essais de masse volumique absolue du échantillon de laitier granulé, (laboratoire de Lafarge, (Hammam Dallaa – M'silla). ....	54
Figure 3.12 : Courbe Diffraction au rayon X du laitier granulé d'El-Hadjar .....	55
Figure 3.13 : Essai surface spécifique sur laitier granulé, (laboratoire de Lafarge, Hammam Dallaa – M'silla). ....	55
Figure 3.14 : Appareillage de confection des éprouvettes (Laboratoire Géo matériaux universités -M'SILA).....	58
Figure 3.16 : Résistance à la flexion (Laboratoire Géo matériaux universités -M'SILA) .....	59
Figure 3.18: Essai de la porosité accessible à l'eau (Laboratoire Géo matériaux universités - M'SILA) .....	60
Figure 4.3 : Courbe résistance à la flexion des mélanges .....	65
Figure 4.4 : Courbe la résistance à la compression des mélanges.....	65
Figure 4.5 : Porosité des mélanges.....	66
Figure 4.6 : Porosité des mélanges de laitier cristallin et sable.....	67

## Listes des tableaux

Tableau 2.1 : Les différents types de ciment. ....	24
Tableau 2.2 : Indice d'Activité Hydraulique du Laitier Granulé .....	33
Tableau 3.1. Analyse granulométrique de sable Djamaa: .....	37
Tableau 3.2.Masse volumique absolue du sable de Djamaa :.....	38
Tableau 3.3. La masse volumique apparente du sable de Djamaa.....	38
Tableau 3.4.la porosité et compacité pour le sable de Boussaâda.....	39
Tableau 3.5: Equivalent de sable Djamaa: .....	39
Tableau 3.6.Analyse granulométrique du laitier cristallin .....	40
Tableau 3.7.Masse volumique absolue du laitier cristallin. ....	41
Tableau 3.8.:Masse volumique apparente de laitier cristallin.....	41
Tableau 3.9: .La porosité et compacité pour le sable de laitier cristallin. ....	42
Tableau 3.10. Analyse granulométrique des mélanges: .....	42
Tableau 3.11.:Masse volumique absolue des mélanges: .....	44
Tableau 3.12: .Masse volumique apparente des mélanges: .....	45
Tableau 3.13:La porosiét et la compacité des melanges : .....	45
Tableau 3.14: Analyse granulométrique du laitier cristallin.....	46
Tableau 3.15. Masse volumique absolue du laitier granulé.....	47
Tableau 3.18.Analyse granulométrique des mélanges: .....	48
Tableau 3.19.Masse volumique absolue des mélanges : .....	50
Tableau 3.20.Masse volumique apparent des mélanges :.....	51
Tableau 3.21: La podosité et compacité pour le sable de mélange :.....	51
Tableau 3.22: Analyse chimique de ciment. ....	52
Tableau 3.23: Compositon chimique. ....	52
Tableau 3.25: Propriété mécanique. ....	53
Tableau 3.26: Caratéristique du laitier granulé ,(laboratoire de Lafarge, (Hammam Dallaa – M'silla). ....	54
Tableaux 3.27 : Composition chimique du laitier granulé ,(laboratoire de Lafarge, (Hammam Dallaa – M'silla). ....	54
Tableau 3.28:Analyse du laitier granulé ,(laboratoire de Lafarge, (Hammam Dallaa – M'silla) .....	54
Tableau3.29: Composition des déférant mortar (laitier cristallin + sable).....	57
Tableau 3.30 : Composition des déférant Morat (laitier granulé broyé + Ciment .....	57
Tableau 3.31 : Composition des différents mortiers (laitier granulé broyé + Ciment ..... <b>Erreur ! Signet non défini.</b>	
Tableau 4.1: Résistance mécanique du mélange de laitier granulé et sable : .....	63
Tableau 04.02: Résistance mécanique du mélange de laitier cristallisé et sable : .....	64
Tableau 04.03 : Résistance mécanique du mélange de laitier granulé et ciment résistance mécanique du mélange de laitier granulé et ciment :.....	66
Tableau 04.04 :Porosité mélange du laitier granulé et sable .....	66
Tableau 04.05 : La porosité du mélange entre laitier cristallin et sable . ....	70
Tableau 04.06 : La porosité dumélange entre laitier granulé et Ciment .....	70

## LISTE DES ABREVIATIONS

<b>C<sub>3</sub>A</b>	Aluminate tricalcique
<b>C<sub>3</sub>S</b>	Silicate tricalcique également dénommée «alite»
<b>C<sub>2</sub>S</b>	Silicate bicalcique ou «bélite»
<b>CPJ</b>	ciment portland avec ajout
<b>CPA</b>	Ciment portland sans ajout
<b>C</b>	Ciment
<b>E</b>	Eau
<b>Sd</b>	Sable du dune
<b>Lc</b>	Laitier cristallin
<b>Lg</b>	Laitier granulé
<b>ES</b>	Équivalent de sable
<b>Esv</b>	Équivalent de sable visuel
<b>Esp</b>	Équivalent de sable piston
<b>E/C</b>	Rapport eau/ciment
<b>P</b>	Masse volumique
<b>Pabs</b>	Masse volumique absolue
<b>Papr</b>	Masse volumique apparente
<b>%</b>	pourcent
<b>Rc</b>	résistance à la compression
<b>Rf</b>	résistance à la flexion
<b>MPa</b>	Mégapascal
<b>CHF</b>	Ciment au laitier de haut fourneau
<b>CPA</b>	Ciment portland
<b>CAF</b>	Ciment alumineux fondu
<b>C<sub>4</sub>AF</b>	Aluminoferrite tétracalcique
<b>CAL</b>	Ciment d'aluminate de calcium

# **INTRODUCTION GÉNÉRALE**

# INTRODUCTION GENERALE

---

## *Introduction générale*

Les processus de fabrication, les industries de services et les déchets de solides génèrent de nombreux déchets et sous-produits. En conséquence, la prise en charge des déchets solides est devenue l'un des problèmes environnementaux les plus importants. Il est nécessaire de trouver de nouvelles solutions pour assurer un développement adéquat en raison de la consommation élevée des ressources naturelles, de la production de grandes quantités de déchets industriels et de la pollution environnementale.

Au cours des dernières années, l'utilisation des déchets et des sous-produits dans les matériaux de construction est devenue de plus en plus importante. Les problèmes écologiques et environnementaux peuvent être partiellement résolus en utilisant les déchets et les sous-produits. Leur utilisation ne se limite pas à les rendre applicables au ciment, au béton et à d'autres matériaux de construction. Elle contribue également à diminuer les dépenses liées à la production de ciment et de béton, tout en offrant plusieurs avantages indirects tels que la diminution des frais de décharge, la préservation de l'énergie et la protection de l'environnement contre les éventuels effets de pollution.

L'objectif de l'exploitation minière est d'extraire les minéraux ou métaux qui se trouvent à la surface du globe et qui ont une valeur économique, que ce soit dans les mines souterraines ou hors de terre.

Néanmoins, on empile en surface les stériles francs et les stériles de sélectivité dans des halles à stériles, on stocke les résidus de concentrateur dans des piles à résidus, et on conserve les boues de traitement dans des bassins étanches. En conséquence, ces déchets peuvent représenter des dangers pour l'environnement en fonction de leur état, de leur composition et de leur mode de stockage.

# INTRODUCTION GENERALE

---

## **L'objectif:**

L'objectif principal de l'incorporation des déchets miniers dans les mortiers est généralement d'explorer des solutions écologiques pour la valorisation et l'élimination de ces déchets. Cela permet de réduire l'impact environnemental de l'industrie minière tout en produisant des matériaux de construction performants. Les principaux objectifs spécifiques peuvent être :

- Étudier les propriétés physiques et mécaniques des mortiers incorporant différents types de déchets miniers à différents taux de substitution.
- Évaluer l'influence de l'incorporation des déchets miniers sur la résistance à la compression, la résistance à la flexion, la porosité, etc. des mortiers.
- Déterminer les taux optimaux d'incorporation des déchets miniers pour obtenir des performances satisfaisantes tout en valorisant un maximum de déchets.
- Comprendre les interactions entre les déchets miniers et la matrice cimentaire afin d'expliquer les changements de propriétés observés.
- Étudier les aspects économiques et environnementaux liés à la production de ces mortiers valorisants pour en évaluer la viabilité.
- Proposer des formulations optimisées de mortiers incorporant des déchets miniers répondant à des critères de performances pour des applications dans la construction.
- L'objectif général est donc de développer des matériaux de construction durables et performants à partir de déchets miniers, contribuant ainsi à la gestion durable des ressources et à la réduction des impacts environnementaux.

## ***Plan du Mémoire :***

Le mémoire se divise en quatre chapitres :

***Le premier chapitre*** : est consacré à présenter la définition et les généralités sur les mortiers, les déchets en général et les déchets miniers.

***Le deuxième chapitre*** : est consacré à la définition du ciment et à l'origine du laitier de haut fourneau, les caractéristiques physicochimiques et minéralogiques de ce matériau, leur valorisation et leur utilisation.

***Le troisième chapitre*** : concerne la description des moyens expérimentaux, la caractérisation des matières premières utilisées dans ce travail, et les constituants minéraux de la matrice cimentaire, à savoir le ciment et le laitier, lesquels seront analysés en premier lieu sur leurs compositions chimiques et minéralogiques.

***Le quatrième chapitre*** : est une présentation des résultats obtenus en laboratoire, discutés afin de connaître l'effet de l'activation chimique du laitier.

Ensuite, dans la conclusion, nous ferons un bilan des acquis de ce travail et nous présenterons la valorisation d'un sous-produit métallurgique (le laitier de haut fourneau) par activation chimique alcaline, en améliorant ainsi ses propriétés hydrauliques. Cela permettra

## **INTRODUCTION GENERALE**

---

de mieux comprendre la masse volumique, l'absorption d'eau et le comportement mécanique (les résistances en compression et en flexion) des différents échantillons testés. Enfin, des perspectives et des recommandations seront présentées.

# **CHAPITRE 01**

## **ÉTUDE BIBLIOGRAPHIQUE**

***Introduction:***

Le présent chapitre est une étude bibliographique des travaux de recherche sur les mortiers, les déchets en général et les déchets miniers .

***1. Les mortiers******1.1 .Généralité:***

Le mortier est un matériau polyvalent composé de ciment, de sable et d'eau. La mise en œuvre de ce matériau, tel que le béton ou le mortier, et les traitements à la chaux ou aux liants hydrauliques (ciments ou liants routiers) confèrent à ces matériaux des caractéristiques mécaniques et une insensibilité à l'eau satisfaisante.

Le mortier représente le matériau qui relie les pierres et qui contribue à transmettre et distribuer les charges dans la maçonnerie. La résistance du mortier est influencée par sa composition chimique. Le mortier ancien était utilisé avant la fabrication du ciment en 1850.[1]

***1.2 . Rôle d'utilisation de mortier :***

La pâte plastique réalisée peut remplir diverses fonctions essentielles:

- ✓ Garantir la connexion et la cohérence des éléments de maçonnerie entre eux, ce qui garantit la solidité de l'ouvrage et le rend unifié.
- ✓ Préserver les bâtiments de l'humidité causée par les conditions météorologiques ou le remontage du sol.
- ✓ En utilisant des enduits aériens.
- ✓ En utilisant des écrans étanches.
- ✓ Créer des chapes d'usure, dont l'un est destiné aux dalles en béton.
- ✓ Devenir le principal matériau utilisé pour la production de blocs manufacturés, de carreaux, de tuyaux et de différents éléments moulés.
- ✓ Être le complément indispensable du béton
- ✓ Améliore la solidité de certains sols de fondations en les injectant. [2]

***1.3 .Constituants des mortiers :***

Les mortiers sont principalement constitués de ciment, sable et d'eau :

***1.3.1 .Ciment :***

Le ciment est un liant hydraulique, c'est-à-dire un matériau minéral finement moulu qui, gâché avec de l'eau, forme une pâte qui fait prise et durcit par suite de réactions et de processus d'hydratation et qui, après durcissement, conserve sa Résistance et sa stabilité même sous l'eau. La chaleur d'hydratation du ciment, exprimée en Joule par gramme de ciment est la quantité de chaleur dégagée par son hydratation. Exigences de durabilité: dans de nombreuses applications, et notamment dans des conditions environnementales sévères, le choix du ciment a une influence sur la durabilité du béton, du mortier et des coulis, par exemple vis-à-vis de la résistance au gel, de la résistance à l'action de substances chimiques, et vis-à-vis de la protection des armatures. [4]

### 1.3.2 Le sable :

Le sable est le principal granulat employé dans les mortiers, il est généralement désigné par un nom spécifique qui correspond à son origine ou sa nature. Par définition le sable est Particules de roches altérées, généralement riche en silice, plus petites que le gravier, et plus grosse que les limons, entre environ 0.06 mm et 0.5 mm. Les particules sont dures et ne s'effritent pas. Contracte le retrait qui se produit avec le durcissement des mortiers de chaux Aide à la cristallisation du  $\text{CaCO}_3$ , en formant des conduits à travers lesquels la quantité nécessaire de  $\text{CO}_2$  peut avoir accès et agir sur les particules de  $\text{Ca}^{2+}$  sous la surface. Améliore la cohésion du mélange, les particules de chaux adhèrent plus facilement au sable que les uns aux autres. Agit comme filler pour augmenter le volume de la masse. Augmente la résistance. Ont étudiés les facteurs affectant le comportement mécanique des mortiers à base de chaux. Plusieurs aspects liés aux granulats peuvent avoir un impact sur la résistance du mortier. Les sables plus couramment utilisés sont les sables siliceux qui sont durs et chimiquement inertes. Ont d'ailleurs étudié l'effet des types d'agrégats sur les propriétés des mortiers à base de chaux aérienne. [5]

### 1.3.3 . Eau gâchage :

L'eau joue un double rôle : elle hydrate le ciment et favorise sa capacité à s'ouvrir. Il est important de souligner que les exigences concernant l'eau de gâchage varient. Très important pour les mortiers et le béton. Il est recommandé que les mortiers contiennent la quantité d'eau maximale afin d'assurer une ouvrabilité optimale. Le maniabilimètre défini par la norme NF P 18-452 [5] est utilisé pour évaluer la maniabilité des mortiers (sans adjuvants). Son objectif est d'évaluer l'efficacité d'un adjuvant, ou d'un super plastifiant, sur la fluidité d'un mortier ou sa réduction d'eau qu'il permet de réaliser à consistance égale. [1]

### 1.3.1 Les caractéristiques principales des mortiers sont :

Caractéristiques principales des mortiers sont:

1. Ouvrabilité.
2. Prise.
3. Résistances mécaniques.

4. Retraits et gonflements, etc. [3]

## 1.5. Les liants :

### 1.5.1 .Les liants minéraux :

Le terme "liants minéraux" englobe toutes les substances, généralement sous forme de poudre, constituées de matière minérale et qui, en présence d'un solvant (l'eau), réagissent pour créer une pâte qui se durcit par différents mécanismes en agglomérant des grains pour former un bloc solide et durable. La plupart des liants minéraux sont fabriqués artificiellement (seules les pouzzolanes naturelles sont exemptes de cela, mais n'ont un effet liant qu'en présence de chaux, elle-même fabriquée artificiellement). Les ciments et la chaux sont les liants les plus fréquemment employés dans la construction en terre crue. Il est également possible d'utiliser certains sous-produits industriels en complément ou en substitution partielle dans ces deux types de liants. [7]

### 1.5.2. Les liants organiques :

Dans cette section, l'accent est mis sur les liants organiques naturels en comparaison avec les polymères organiques synthétiques et les déchets de pétrole. Dans son rapport de 2013 (Anger et al. 2013), Paterre+ pnrcc recense les produits organiques utilisés pour stabiliser la terre. Le présent rapport a été élaboré en se basant sur divers documents et témoignages collectés à travers le monde. Le principal trait commun des produits présentés dans ce rapport est qu'ils proviennent tous d'animaux et de végétaux, et sont des produits issus des activités agro-alimentaires humaines. [7]

### 1.5.3 Les liants hydrauliques :

Les liants hydrauliques sont des substances qui s'hydratent lorsqu'elles sont exposées à de l'eau, créant ainsi des espèces cristallines insolubles et solides qui consolident les éléments granulaires du sol. Ce phénomène, communément appelé "prise hydraulique", donne au sol une cohésion durable dont l'importance varie selon les circonstances : [8]

1. De la composition du matériau,
2. Le genre de liant.
3. La quantité apportée.
4. De l'atteinte de la compacité à la mise en place.
5. De l'environnement thermique et de l'âge du mélange.
6. Selon la réglementation en vigueur, les liants hydrauliques courants sont classés en cinq catégories en fonction de leur composition :

\_ CEM 1 : est un ciment Portland.

\_ CEM 2 : composé de ciment Portland;

\_ CEM 3 : est un ciment de haut fourneau.

- \_ CEM 4 : est un ciment pouzzolannique
- \_ CEM 5 : est un ciment composé

#### ***1.5.4. Les liants spéciaux routiers :***

Un liant hydraulique routier, préparé en usine, est un produit achevé et distribué prêt à être utilisé. C'est une poudre minérale qui, avec de l'eau, se transforme en une pâte qui prend et se durcit peu à peu, à l'air comme sous l'eau. La formation d'éléments hydratés stables, peu solubles dans l'eau et ayant un fort pouvoir d'assemblage entre eux est responsable de ces phénomènes de prise et de durcissement, ainsi que des sols ou granulats destinés au traitement. Ils favorisent peu à peu l'agglomération des pâtes et des mélanges. [8]

### **1.6 . Type des mortiers :**

#### **1.6.1 . Mortiers chaux :**

Le mortier, utilisé depuis longtemps dans la construction, est composé d'un mélange de liant, de sable et d'eau. Les mortiers de chaux, en particulier, ont joué un rôle essentiel dans les constructions anciennes avant l'avènement du ciment et du béton au 19<sup>ème</sup> siècle. Aujourd'hui, avec la revitalisation des projets de rénovation et de préservation du patrimoine architectural, les mortiers de chaux connaissent un regain d'intérêt, suscitant diverses recherches historiques, archéologiques et expérimentales. [5]

#### ***1.6.2 . Mortiers bâtard :***

Le mortier bâtard est un mélange de sable, de ciment et de chaux, à proportion plus ou moins égale.

Il combine la solidité du ciment avec la flexibilité de la chaux. Le fait qu'il soit onctueux facilite son travail et réduit le risque de fissuration.

Sable, eau et ciment. Le mortier de ciment

- Méthanol + eau + chaux = mortier de chaux.
- Sable + eau + ciment + chaux = mortier batard. [6]

#### ***1.6.3 .Mortiers ciment :***

Le mortier de ciment, composé de sable et de ciment, est extrêmement solide et se développe rapidement. Grâce à sa forte teneur en ciment, il est peu sensible à la vapeur d'eau. [6]

### **1.7. Domaine d'utilisations :**

En règle générale, les différents types de mortiers sont directement liés à leur utilisation très étendue. Une typologie des mortiers basée sur leur utilisation permet de citer les catégories

Suivantes : [6]

- Mortier de pose.
- Le mortier de joints.
- Matériau utilisé pour les crépis.
- Mortier pour la surface.
- Mortier destiné aux stucs.
- Injecteur de mortier.
- Mortier utilisé dans les mosaïques.
- Mortier qui s'auto-place.
- Fibres de mortier.

## **2. Les déchets :**

### **2.1 . Introduction :**

L'industrie métallurgique, un secteur clé de l'économie, repose sur deux filières principales qui génèrent des laitiers sidérurgiques. La première, la filière fonte, produit de l'acier à partir du minerai de fer fondu en haut-fourneau pour obtenir de la fonte, ensuite convertie en acier dans des aciéries. La seconde, la filière ferrailles, mise sur le recyclage des métaux refondus dans des aciéries à arc électrique, produisant des laitiers spécifiques subdivisés en "filiale carbone" et "filiale inox". En 2008, la production annuelle française atteignait environ 5,7 millions de tonnes, avant de subir un impact significatif de la crise financière. Si les laitiers de haut-fourneau sont principalement valorisés dans l'industrie cimentière et les techniques routières, les stocks de laitiers d'aciéries restent importants, avec environ 20 % sans débouchés. La Directive Cadre Déchets de 2008, intégrée au droit français en 2010, ouvre la possibilité pour certains déchets de changer de statut juridique. Toutefois, les laitiers conservent leur classification comme déchets industriels non dangereux. Le règlement REACH impose aux producteurs de maîtriser les risques environnementaux et sanitaires. Malgré leur statut, certains laitiers sont utilisés depuis longtemps en techniques routières et dans l'industrie cimentière, sous des normes strictes. [9]

### **2.2. Définition les déchets :**

L'idée à l'origine de toute mesure spécifique visant les déchets est que la notion même de déchets peut être définie. Cependant, la majorité des écrivains sont d'accord pour dire qu'il n'y a actuellement aucune définition satisfaisante du déchet. Leroy 94].Selon Galaup 96] et London 96]. Effectivement, en fonction des acteurs concernés et du contexte auquel on fait référence, la notion de déchet peut s'appliquer à des objets de nature et de fonctions variées.

Afin d'éviter les confusions, les divers intervenants dans la gestion de l'environnement ont essayé de définir le terme déchet. En fait, il y a plusieurs définitions, chacune

correspondant à un objectif spécifique. Chaque définition a pour objectif d'identifier tous les objets qui devront être étudiés par un groupe d'acteurs. [10]

### 2.2.1 . Approche réglementaire :

Étant tout bien meuble abandonné ou destiné à l'abandon par son propriétaire. Le but principal du législateur était de réguler le traitement des déchets en interdisant leur rejet dans l'environnement ou leur revente afin d'échapper aux obligations légales.

Il était donc nécessaire d'avoir une définition précise de ce qui faisait partie de la loi.

En France, on peut distinguer deux définitions : celle qui provient de la législation nationale et celle qui provient de la réglementation européenne.

Le déchet est défini par la loi française du 15 juillet 1975 comme « tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau, produit ou plus généralement propriétaire ». On dit souvent que pour le législateur français, "c'est l'intention qui fait le déchet", car la notion de déchet est basée sur l'intention. [10]

### 1.2.2 . Approche économique :

Du point de vue économique, un déchet désigne une matière ou un objet dont la valeur économique est négative ou nulle pour son propriétaire à un moment et dans un lieu spécifiques. [Maystre 94] Dans cette définition, une grande partie des déchets recyclables, même petits, sont exclus. Il est possible que certaines entreprises soient tentées de qualifier certains déchets de sous-produits afin de les échapper à la loi. [10]

### 1.2.3. Approche fonctionnelle :

Enfin, il est possible d'opter pour une approche plus « fonctionnelle » pour le déchet, comme le montre la figure 1-1. Dans cette perspective, le déchet est perçu comme une émission de matière provenant d'une unité fonctionnelle, qui représente une activité ou un ensemble d'activités. [10]

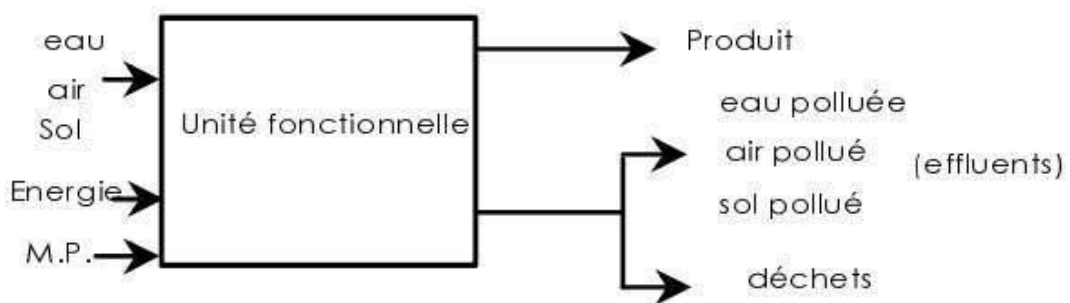


Figure 1.1: Définition fonctionnelle des déchets [10].

En entrée de l'unité fonctionnelle, on peut identifier plusieurs flux matières premières, énergie et éléments de l'environnement eau, air, sol. Les flux en sortie sont constitués par les produits et les résidus. Les produits correspondent, de la manière la plus générale aux résultats

recherchés dans le cadre de l'unité fonctionnelle. Il peut s'agir de résultats matériels (objet, matière, énergie) ou immatériels (déplacement, information, alimentation, loisir...).

### 3. *Classifications des déchets :*

Il est fréquent de différencier les déchets en fonction de leur provenance :

- Les déchets urbains, comprennent les déchets domestiques ainsi que les déchets des municipalités.
- déchets industriels,
- Les déchets agricoles.

Au niveau réglementaire, cette différence se manifeste par une répartition des responsabilités. La responsabilité de la gestion des déchets urbains incombe aux communes, tandis que celle des déchets industriels est directement confiée au producteur. [11]

#### 3.1. *Selon leur nature :*

D'après l'article 5 de la loi N 01-19 du 12 décembre 2001 concernant la gestion, le contrôle et l'élimination des déchets, les définitions de ces grandes familles de déchets sont établies en fonction de la nature du danger qu'elles représentent pour l'environnement : [11]

- **Déchets inertes :**

Un déchet inerte désigne un déchet qui ne subit aucune transformation significative à l'échelle physique, chimique ou biologique. Les déchets inertes ne se dégradent pas, ne brûlent pas, ne génèrent aucune réaction physique ou chimique, ne sont pas biodégradables et ne dégradent pas d'autres matières avec lesquelles ils entrent en contact de manière à provoquer une pollution de l'environnement ou à nuire à la santé humaine.

- **Déchets ménagers et assimilés :**

Ils proviennent des ménages, des commerçants, des artisans, des entreprises et industries dans la mesure où ils ne présentent aucun caractère spécial ni dangereux. Ce sont : [11]

- Les ordures ménagère
- Les déchets de nettoyage (balayage des rues et des espaces publics)
- Les déchets encombrants
- Les déchets non dangereux des industries, des commerces et des artisans
- Les déchets verts
- Les boues de décantation et de stations d'épuration

- **Déchets spéciaux :**

Ces déchets constituent des dangers pour la santé humaine ou l'environnement en raison de leur composition ou de leurs caractéristiques physico-chimiques (corrosifs, explosifs, toxiques, inflammables, cancérigènes, infectieux, etc.). Bien que les foyers n'en

produisent généralement qu'en petites quantités (produits phytosanitaires, équipements électroniques, etc.), ils ne devraient pas être jetés dans la poubelle des ordures ménagères.

Il est donc essentiel que ce genre de déchets subisse un ensemble de traitements adéquats afin de diminuer sa toxicité et le risque de contamination. Ils requièrent donc des méthodes particulières pour les collecter, les transporter, les traiter, les recycler et les éliminer.[11]

## **4. Déchets miniers :**

### **1.4.1. Généralité :**

On peut définir les rejets miniers comme le résultat de l'activité minière. Celle-ci consiste à extraire des substances naturelles bénéfiques et à les traiter à l'aide d'un procédé métallurgique. Il est possible que ces produits soient naturels (comme des produits stériles ou des minerais inexploitablement) ou artificiels, provenant du traitement du minerai (comme les déchets et les scories), et ils peuvent parfois contenir des additifs chimiques ou des minéraux organiques. Les résidus miniers peuvent causer des dommages à l'environnement en raison de leur quantité, de leur mode de stockage, de l'environnement naturel dans lequel la mine est située et de la méthode d'exploitation utilisée dans la mine. Par ailleurs, la nature même des résidus aura un impact direct sur le niveau de nuisance qu'ils peuvent entraîner. [12]

### **1.4.2. Historique :**

Il est inutile de mentionner le potentiel minier du Nord-Est algérien. C'est un terrain exploité depuis près d'un siècle et demi. Le fer, le plomb, le zinc, l'antimoine et le mercure sont les principaux minerais exploités par le passé. L'étude bibliographique des données de la période coloniale à la fin des années 70 démontre à quel point les minéraux de cette région ont été l'objet de recherches et d'exploitation. Plusieurs gisements ont été exploités, créant des centres miniers majeurs tels que Quenza et Boukhadra, ainsi que des concessions plus modestes comme la mine de Kef Oum Teboul (Taref) et Mokta El Hadid (Annaba).

Malgré une brusque baisse de la production nationale depuis la fin des années 80, la production métallique de ce district demeure relativement élevée par rapport au reste de l'Algérie (1017 000 tonnes de phosphate et 1 097 000 tonnes de fer, soit 84% de la production). [12]

## **1.5. Type de déchets miniers :**

- ***Les stériles francs de découverte :***

Le minerai est recouvert par des sols et des terrains morts, décapés pour une exploitation à ciel ouvert, ou par des matériaux stériles recueillis lors du percement de galeries, de puits ou de descenderies dans le cas d'une mine souterraine.

En général, ces déchets renferment des niveaux faibles de métaux et d'éléments accompagnateurs, correspondant à la grandeur de l'anomalie géochimique causée par les processus de dispersion naturelle, de remaniement mécanique ou de diffusion chimique des métaux du minerai dans sa roche encaissante.

Les caractéristiques physiques et chimiques de ce type de résidu ne se distingueront pas, d'une certaine manière, de celles des matériaux qui auront été modifiés lors de la construction de tout autre ouvrage d'art (autoroute, tunnel, barrage, etc.) dans le même contexte régional. [11]

- *Les résidus d'exploitation (stériles de sélectivité) :*

Lors de l'exploitation, le mineur opérera un tri précoce entre le minerai vendable et le minerai pauvre où la récupération des substances valorisables sera non économique dans tel contexte. Dans le cas de mines modernes de métaux de base, les stocks de ce type de résidu sont souvent traités en fin d'exploitation.

Cette limite est opérationnelle seulement quand la masse minérale exploitée présentera une gamme continue de teneurs décroissantes en fer suivant les conditions géologiques responsables de sa formation. Le résidu minier dans ce cas aura, en effet, des teneurs en métal très voisines du minerai.

- *Les résidus de traitement :*

La mise en valeur du minerai vendable implique de réaliser diverses opérations de préparation. Les minéraux économiques sont concentrés. Ces opérations génèrent différents types de résultats. Solides : l'un enrichi en matières premières valorisables (le "concentré") et un ou plusieurs qui en sont constitués. Indigents. Pour les métaux de base et l'or, les déchets provenant de l'usine (connue sous le nom de "la En général, les laveries sont composées de particules finement broyées, de sables fins et de limons. Produits par gravité ou flottation du minerai. Ils sont fréquemment enfouis dans des sédiments. Les bacs de décantation sont choisis à partir de digues stériles ou déposés en terre. Dans le but de diminuer les dépenses. La laverie sera située en aval de la mine (transport par gravité) pour les coûts de transport. Les détritrus de lavage seront évaporés dans l'eau.



*Figure 1.2: Photo d'un parc à halde miniers (Mine abandonnée à l'Ouest de l'Australie*

[11].



*Figure 1.3 : Photo du parc à rejets miniers (Mine de Goro, Nouvelle Calédonie) [11]*

### 1.6 . L'impact sur l'environnement des rejets miniers :

D'après leurs quantités et leurs caractéristiques chimiques et physiques, certains des résidus ou déchets issus de l'exploitation minière peuvent avoir un impact sur divers éléments de l'environnement, notamment l'eau, le sol, le paysage, la faune et la flore . La qualité de l'environnement est influencée par ces derniers, qui peuvent inclure divers éléments tels que la composition chimique des eaux, du sol et la qualité visuelle et esthétique du paysage [12].



*Figure 1.4 : Digue de tailling dans complexe minier de kherzet youssfe , wilaya de sétif ,*

(attoucheik USTHB FSTGAH Mars 2006) , et le complexe minier de kherzet youssfe (Rezigtat Noredine ,Imchal Karim ,université ferhat Abess de Sétif , 2006) . [12]

## **1.7 La pollution minière dans le district du domaine minier algérien :**

Malgré les nombreux travaux de recherche sur la pollution minière en Algérie, cette dernière demeure peu connue. En effet, la plupart des travaux effectués visent des sites contaminés bien connus, comme le bassin d'Ain Azzel et le complexe mercuriel d'Azzaba. D'autres sites plus petits et délaissés depuis des décennies peuvent constituer un véritable danger pour l'environnement et surtout pour l'homme. Effectivement, l'absence de mesures spécifiques visant à préserver l'environnement accroît le risque de contamination de l'écosystème et il est inévitable de contaminer l'habitat humain .. [12]

## **1.8 Stokage des déchets miniers :**

Les déchets miniers peuvent être définis comme tout produit minéral résultant de la recherche, de l'exploitation minière ou du traitement du minerai. La chute des concentrations et l'accroissement de la profondeur des mines entraînent une hausse considérable des quantités des déchets miniers produits. A titre d'exemple, une seule mine Chilienne produit près de trois fois plus de déchets que l'ensemble des ménages français, soit 80 millions de tonnes par an. Les caractéristiques des résidus dépendent à la fois de la roche mère, de la/des substances recherchée, de la technique de concentration, et enfin de la méthode de stockage choisie en fonction de la topographie et du climat. Le lecteur aura donc compris que, sous le vocable «déchets miniers», on regroupe une incroyable diversité de matériaux. Ces déchets n'ont pas subi d'étape d'enrichissement ni broyage, ni lixiviation, ni criblage... Le plus souvent ils ne présentent aucun risque, le plus gros impact environnemental est alors la perte du sol arable. Les rejets de concentrateurs sont plus problématiques. [13].

### **1.8.1. Le drainage minier acide (DMA) :**

La principale problématique environnementale des déchets miniers se nomme drainage minier acide.

Lorsque les travaux miniers placent brutalement de grands volumes de roche concassée en condition oxydante, les minéraux sulfurés s'oxydent et génèrent de l'acide sulfurique. Ces effluents ont un haut pouvoir de lixiviation des métaux. Et très riche en sels dissous. Cette nuisance est considérée par certains comme la pire atteinte de l'homme à l'environnement aquatique. Afin de lutter contre les DMA, il convient d'isoler le déchet d'au moins un des deux éléments suivant l'eau ou l'oxygène. [13].

### **1.8.2. Rupture des barrages :**

Les rejets de concentrateurs ont souvent une teneur solide comprise entre 20 et 40%, ils ont donc un comportement plus ou moins liquide et les barrages sont souvent nécessaires à leur stockage en surface. Ces boues très basiques forment un mélange hautement toxique contenant entre autre du titane, du manganèse, du vanadium, du chrome hexavalent, du plomb et du cadmium.

### 1.9. Les traitements du minier :

Le mineral extrait doit ensuite être transporté vers le concasseur et le concentrateur. L'objectif est d'obtenir une concentration suffisante pour assurer la rentabilité de l'opération. Au Québec, la séparation par gravité est utilisée principalement pour le minerai de fer. Cette technique est utilisée lorsque la densité du minerai est supérieure à celle de la gangue. D'autres substances peuvent aussi être utilisées, comme des déprimants ou des activants qui agissent sur l'efficacité du collecteur ainsi que des réactifs pour modifier le pH. [14].

#### **Conclusion:**

L'utilisation de déchets issus de l'industrie minière comme additions minérales dans les mortiers est une voie prometteuse pour valoriser ces résidus tout en réduisant l'impact environnemental de la construction. De nombreuses études ont été menées sur différents types de déchets tels que les stériles, les résidus de concentrateur ou les cendres volantes.

Ces ajouts pouzzolaniques permettent de diminuer la quantité de ciment Portland utilisé, réduisant ainsi les émissions de CO<sub>2</sub> liées à sa production. Ils peuvent aussi améliorer certaines propriétés des mortiers comme la résistance, la durabilité ou la résistance aux attaques chimiques.

Cependant, la composition variable de ces déchets et la présence potentielle d'éléments indésirables comme des métaux lourds nécessite une caractérisation poussée avant utilisation. Des traitements préalables peuvent être requis. Les réglementations sur les matériaux de construction doivent également être respectées.

Dans l'ensemble, bien que des défis subsistent, la valorisation des déchets miniers dans les mortiers semble une piste durable et économiquement intéressante, permettant de réduire l'impact environnemental du secteur de la con.

# **CHAPITRE 02**

## **LES AJOUTS CIMENTAIRES**

## Introduction

Dans ce chapitre, une étude bibliographique est présentée sur les caractéristiques des ciments et des ajouts les plus couramment utilisés. Tout d'abord, des renseignements généraux sur les méthodes de fabrication du ciment, son hydratation, puis les divers ajouts utilisés dans l'industrie cimentière et leurs interactions avec le ciment.

### 2.1 . Ciment:

#### 2.1.1 . Définition :

Le ciment est considéré comme un liant hydraulique, ce qui signifie qu'il peut s'infiltrer dans l'eau. Il se présente sous la forme d'une poudre très fine qui, avec de l'eau, se transforme en une pâte qui prend et se durcit au fil du temps. L'hydratation de certains minéraux, tels que les silicates et les aluminates de calcium, entraîne un durcissement, ce qui nécessite une proportion de chaux et de silice réactive d'au moins 50% de la masse du ciment. [15]

#### 2.1.2. Constituants type de ciment :

Les ciments courants ont pour constituant le clinker, auquel il peut être ajouté suivant leur type:

- ✓ du calcaire,
- ✓ du laitier de haut fourneau,
- ✓ des cendres volantes.
- ✓ des fines calcaires.
- ✓ de la pouzzolane naturelle.
- ✓ des schistes calcinés.
- ✓ des fumées de silice.

Dans le but de modifier certaines de leurs propriétés et de proposer une gamme de produits capables de résoudre les différents problèmes qui se posent lors de la réalisation de certains ouvrages, soit en raison des conditions d'environnement, soit pour des raisons de performances mécaniques. [15]

#### 2.1.3 Les propriétés des ciments varient en fonction des pourcentages de ces différentes phases.

C'est ainsi que:

- le CS qui libère au cours de l'hydratation une quantité de chaleur voisine du double de celle libérée par le C, S. donne au ciment une résistance rapide et élevée; cette phase est responsable des résistances aux premiers âges.

- Le  $C_2S$  permet au ciment d'atteindre des résistances élevées à moyen et long terme, à fort pourcentage, la chaleur d'hydratation dégagée par le phénomène de prise est plus faible.
- L'aluminate tricalcique CA est la phase présentant la plus grande vitesse de réaction initiale d'où l'obtention de résistances initiales élevées. C'est la phase dont la réaction d'hydratation est la plus exothermique. De ce fait elle contribue essentiellement à la prise de la pâte de ciment alors qu'elle contribue assez peu à la résistance finale. Elle est par ailleurs facilement attaquée par les sulfates.
- L'alumino-ferrite tétracalcique CAF, qui forme une solution solide de  $C_2A$  et  $C_2F$ . réagit moins vite que CA: son rôle est mineur dans les réactions de durcissement du ciment.

En dehors de ces quatre principales phases, le clinker comporte également :

- de la chaux libre dont le pourcentage ne doit pas excéder 2% dans le clinker pour ne pas risquer de provoquer une expansion en présence d'eau;
- de l'oxyde de magnésium  $MgO$ . encore appelé périclase, qui, non combiné, peut être à l'origine d'une expansion par réaction avec l'eau.

De ce qui précède, il ressort qu'un ciment contenant par exemple 60% de  $C_2S$  ainsi qu'un pourcentage en CA supérieur à 10%. Présentera de fortes résistances initiales et pourra être avantageusement utilisé par temps froid, alors qu'un ciment dont le pourcentage en  $C_1S$  est supérieur à 40% et celui en CA n'excède pas 5%. présentera une chaleur d'hydratation réduite et sera avantageusement utilisé par temps chaud. [15]

#### 2.1.4. La fabrication du ciment :

- **Principe de fabrication des ciments courants :**

Sans vouloir approfondir la fabrication des ciments, il est toutefois essentiel de comprendre les principes généraux et les différentes étapes.

Le clinker est fabriqué à partir de matières premières telles que le calcaire et l'argile, avec des proportions respectives de 80 et 20%.

Le calcium est fourni par le calcaire, tandis que l'argile fournit la silice  $SiO_2$ , l'alumine  $Al_2O_3$  et l'oxyde ferrique  $Fe_2O_3$ , qui sont indispensables pour la formation du clinker.. [15]

La fabrication du ciment comporte les étapes suivantes:

- **Extraction :**

En général, l'extraction du calcaire implique l'extraction de la roche à l'explosif dans des carrières généralement à ciel ouvert. Cela permet de la fragmenter en blocs qui sont ensuite transportés dans des dumpers pour alimenter les concasseurs. En revanche, l'argile, qui est

beaucoup plus meuble, est exploitée à l'aide d'excavateurs ou de roues-pelles avant d'être transportée par camions. [15]

- **Concassage :**

L'objectif principal du concassage des matériaux extraits des carrières, qui peuvent avoir des granulométries grossières allant jusqu'à 3 m, est de limiter leur granulométrie à 50, voire 100 mm au maximum. Les équipements employés à cet effet peuvent être à la fois mobiles et fixes.

- **Préparation du cru :**

Le processus de préparation du cru consiste à mélanger de manière homogène le calcaire et l'argile dans des proportions spécifiques en fonction de leurs compositions chimiques, mais toujours en respectant le rapport 80 de calcaire pour 20 d'argile. Il existe différentes méthodes pour obtenir un clinker dont la teneur moyenne des différents oxydes constitutifs est d'environ :

- 65% de CaO fourchette de 60 à 69%.
- 21 % de SiO<sub>2</sub> fourchette de 18 à 24%.
- 6% d'Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> fourchettes de 4 à 8%,
- 3% de Fe, O, fourchette de là 8%.
- 2% de MgO fourchette de 0 à 5% maximum.
- 1% d'alcalis fourchette de 0 à 2% maximum,
- 1% de SO fourchette de 0 à 3% maximum,

La fabrication par voie sèche, comporte les phases suivantes :

- **Préhomogénéisation :**

Le but de cette étape, qui vise à effectuer un mélange préliminaire, est de déposer les matériaux essentiels du cru en couches successives, de faible épaisseur, créant ainsi le « tas de préhomogénéisation ».

- **Broyage-séchage**

Le mélange précédent est recueilli à l'aide de roues-pelles ou de gratteurs et envoyé à la station de broyage pour être transformé en une poudre de grains inférieurs à 160 microns.

- **Séparation**

Selon le type de séparateur utilisé, cette étape implique de renvoyer au broyeur les particules qui n'ont pas été suffisamment broyées et de récupérer les fines présentes dans les gaz.

- **Homogénéisation**

Pendant cette étape, il est possible d'obtenir un produit parfaitement homogène, de caractéristiques chimiques uniformes, qui peut être cuit grâce à un brassage pneumatique ou mécanique vigoureux.

- **Cuisson :**

Effectuée dans des fours rotatifs dont les dimensions les plus fréquentes sont de 5 m de diamètre et de 80 à 100 m de longueur pour la méthode sèche (de 150 m pour la méthode humide). La cuisson à une température allant de 1 400 à 1 500 °C permet de transformer le cru en clinker, le processus de traitement comprenant les étapes suivantes :

- le préchauffage qui s'effectue dans un échangeur de chaleur situé à l'amont du four, les gaz chauds provenant du four y brassant la farine à contre-courant;
- la décomposition des argiles qui se situe au dessus de 500°;
- la décarbonatation des calcaires qui s'effectue à 950 °C dans la partie médiane du four dont les températures sont comprises entre 550 et 1 000 °C;
- la formation du clinker ou clinkérisation à 1 450 °C qui s'effectue en partie aval du four près du brûleur.

- **Refroidissement :**

L'objectif de cette intervention est de réduire la température du clinker, qui varie entre 1 200 et 1 450 °C à la sortie du four, à environ 50/250 °C en fonction des types de refroidisseurs. Le refroidissement trop lent peut également avoir un impact sur la qualité du ciment, ce qui peut entraîner la libération de chaux libre et la transformation du CS en C, S, ce qui entraîne une diminution des résistances.

- **Broyage :**

Le processus est effectué en permanence dans des broyeurs alimentés par des stocks de clinker et des divers composants et additifs.

Le broyage vise, d'une part, à diminuer les granules de clinker en poudre, d'autre part à ajouter le gypse (qui régule le phénomène de prise) et les éventuels autres composants (laitier, cendres...), ce qui permet d'obtenir les divers types de ciments normalisés.

- **Stockage, ensachage et expédition :**

Lorsqu'il sort du broyeur, le ciment est déplacé vers des silos de stockage, où il est soit ensaché, soit expédié en bouteilles. L'ensachage, qui n'occupe qu'environ 30 % de la production de ciment dans les pays industrialisés, se fait dans des sacs de papier kraft sur des machines capables de remplir de 2 000 à 4 000 sacs par heure. On assure la livraison en vrac à l'aide de camions, de wagons ou de péniches.

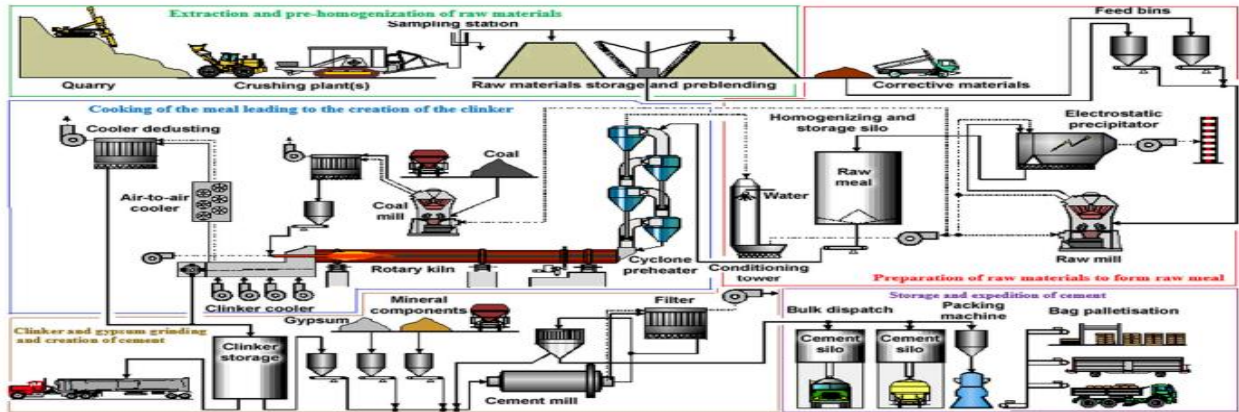


Figure 2.1 : Diagramme schématique. [27]

### 2.1.5. Les différents types de ciment :

Selon que des constituants, autres que le gypse, sont ou non ajoutés au clinker lors des opérations de fabrication, on obtient les différents types de ciments définis par la

Norme. Le tableau ci-dessous donne la liste des différents types de ciments courants. Normalisés avec indication, pour chacun d'eux, de leur désignation propre et des pourcentages respectifs de constituants qu'ils comportent. [15]

Tableau 2.1 : Les différents types de ciment.

Désignations	Types de ciments	Teneur en clinker	Teneur en % de l'un des constituants suivants: laitier pouzzolanes - cendres calcaires - schistes fumées de silice	Teneur en constituants secondaires
CPA-CEM I	Ciment Portland	95 à 100%	<ul style="list-style-type: none"> <li>de 6 à 20% de l'un quelconque des constituants, sauf dans les cas où le constituant est des fumées de silice auquel cas la proportion est limitée à 10% (*):</li> <li>de 21 à 35% avec les mêmes restrictions que ci-dessus (*).</li> </ul>	0 à 5%
CPJ-CEM II/A CPJ-CEM II/B	Ciment Portland composé	80 à 94% 65 à 79%	<ul style="list-style-type: none"> <li>36 à 65% de laitier de haut-fourneau</li> <li>66 à 80% de laitier de haut-fourneau <ul style="list-style-type: none"> <li>81 à 95% de laitier de haut-fourneau</li> </ul> </li> </ul>	0 à 5%
CHF-CEM III/A CHF-CEM III/B CLK-CEM III/C	Ciment de haut-fourneau	35 à 64% 20 à 34% 5 à 19%	<ul style="list-style-type: none"> <li>36 à 65% de laitier de haut-fourneau</li> <li>66 à 80% de laitier de haut-fourneau <ul style="list-style-type: none"> <li>81 à 95% de laitier de haut-fourneau</li> </ul> </li> </ul>	0 à 5%
CPZ-CEM IV/A CPZ-CEM IV/B	Ciment pouzzolanique	65 à 90% 45 à 64%	<ul style="list-style-type: none"> <li>10 à 35% de pouzzolanes, cendres siliceuses ou fumées de silice, ces dernières étant limitées à 10%.</li> <li>36 à 55% comme ci-dessus</li> </ul>	0 à 5%
CLC-CEM V/A CLC-CEM V/B	Ciment au laitier et aux cendres	40 à 64% 20 à 39%	<ul style="list-style-type: none"> <li>18 à 30% de laitier de haut-fourneau et 18 à 30% de cendres siliceuses ou de pouzzolanes.</li> <li>31 à 50% de chacun des 2 constituants comme ci-dessus</li> </ul>	0 à 5%

(\*) Le pourcentage de fillers est limité à 5%

### 2.1.6 . Indice d'hydraulicité :

L'indice d'hydraulicité ou indice de Vicat est le rapport de la fraction acide du ciment à la fraction basique: [15]

$$I = \frac{\text{fraction acide}}{\text{fraction basique}} = \frac{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3}{2\text{CaO} + \text{MgO}} =$$

La résistance chimique des ciments est d'autant meilleure que leur indice d'hydraulicité est plus élevé:

- quand  $I > 0.5$ , le ciment est dit basique (Portland);
- quand  $I < 0.5$ , le ciment est dit neutre (riche en laitier);
- quand  $I \neq 1$ , le ciment est dit acide (conventionnellement); ce sont ceux qui font prise en mettant en liberté non de la chaux mais de l'alumine (ciment alumineux).

Actuellement on préconise les règles suivantes:

$$1,40 < \text{CaO} / \text{SiO} < 1,45$$

$$0,45 < \text{SiO}_2 / \text{AL}_2\text{O}_3 < 0,50$$

### 2.1.7 . Ciment Portland:

Ces ciments doivent être conformes à la norme NF P 15-301. Ils sont constitués d'au moins 95% de clinker, le reste étant des constituants secondaires.

La classe 42.5 signifie une résistance inférieure caractéristique de 42.5 MPa à 28 jours respectée à 95%, la résistance moyenne mesurée étant voisine de 55 MPa. [16]

### 2.1.8. Hydratation du ciment Portland :

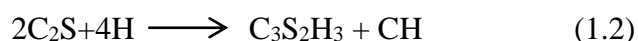
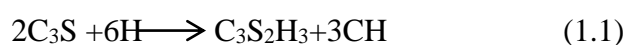
La pâte de ciment hydraté est le résultat de la réaction chimique entre l'eau et le ciment. C3S. Quelques heures après, le matériau fait prise. [16]

#### Mécanisme de l'hydratation :

Les processus physico-chimiques des réactions d'hydratation du ciment sont complexes. Lorsqu'on ajoute de l'eau au ciment, les produits anhydres vont progressivement passer en solution pour donner les ions suivants : Ion calcium  $\text{Ca}^{2+}$  Ion hydroxyle:  $\text{OH}^-$  Ion silicates:  $\text{SiO}_4^{4-}$ ,  $\text{SiO}_3^{2-}$ ,  $\text{SiO}_2\text{H}_2^-$ ,  $\text{SiO}_2\text{H}_3^-$ ,  $\text{SiO}_2\text{H}_4^{2-}$ . Ion aluminates  $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ ,  $\text{AlO}_2^-$ , Ion sulfate:  $\text{SO}_4^{2-}$ . Ces derniers vont sursaturer la solution et déclencher la précipitation d'hydrates. Ceci va réduire la concentration des espèces en solution et donc permettre à nouveau le passage en solution des constituants anhydres.

### 2.1.9. Hydratation du $\text{C}_3\text{S}$ et $\text{C}_2\text{S}$

Les deux silicates s'hydratent immédiatement en présence de l'eau de gâchage selon les réactions chimiques suivantes:

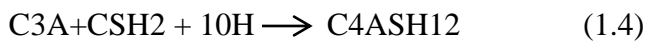
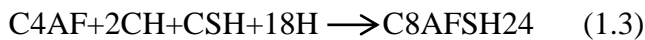


Les hydrates ainsi obtenus sont

Les silicates de calciums hydratés (C-S-H); il s'agit d'un gel qui influence la plupart des propriétés de la pâte. - La chaux hydratée  $\text{Ca}(\text{CH})_2$ ; (CH on portlandite); dans la pâte de ciment hydraté. Elle devient instable (lixiviation) lorsque le pH devient inférieur à environ 12.5. Elle participe peu au développement de la résistance du béton.

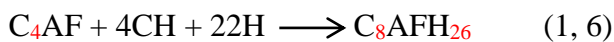
### 2-1.10. Hydratation des CLA et CAF

Une partie des CH obtenus dans les équations (1.1) et (1.2) réagit ensuite, avec les deux autres minéraux restants, selon les réactions d'hydratation suivantes:



Où le  $\text{CSH}_2$  est le gypse ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ).

Ces réactions donnent un nouveau hydrate, le tri sulfoaluminate, appelé sel de CANDLOT ou plus souvent ettringite ( $\text{C}_n\text{ASH}_{3n}$ ). Il se dépose à la surface des grains de  $\text{C}_3\text{A}$  formant une couche protectrice. Ce composé apparaît généralement sous forme de fines aiguilles enchevêtrées ou d'oursins très caractéristiques. Après la consommation totale du gypse, les deux équations (1.3) et (1.4) deviennent:



## 2.2. Les laitiers :

### 2.2.1 Généralité sur les laitiers :

Les usines sidérurgiques produisent du laitier en utilisant des hauts fourneaux pour la fabrication de la fonte. Dans les hauts fourneaux modernes, on produit environ 280 à 340kg de laitier pour  $\text{Im}^3$  du métal en fusion. En Algérie, on estime qu'il y a une production annuelle de 500 000 tonnes de laitier, qui n'a que de rares applications. Le laitier granulé est le seul ajout au ciment Portland en cimenterie, obtenu par refroidissement rapide, pour le maintenir à l'état vitreux. Le laitier est capable de réagir en raison de sa structure vitreuse métastable, qui a une énergie de cristallisation non dissipée d'environ 200 kilo-joule/kg, le laitier n'a pas de propriétés liantes en soi, mais lorsqu'il est broyé et en présence d'eau, il réagit chimiquement avec la chaux et l'eau pour former des composés ayant des valeurs liantes. [17]

### 2.2.2 Différente du type des laitiers :

L'industrie métallurgique, un secteur clé de l'économie, repose sur deux filières principales qui génèrent des laitiers sidérurgiques. La première, la filière fonte, produit de l'acier à partir du minerai de fer fondu en haut-fourneau pour obtenir de la fonte, ensuite convertie en acier dans des aciéries. La seconde, la filière ferrailles, mise sur le recyclage des métaux refondus dans des aciéries à arc électrique, produisant des laitiers spécifiques subdivisés en "filiale carbone" et "filiale inox". En 2008, la production annuelle française

atteignait environ 5,7 millions de tonnes, avant de subir un impact significatif de la crise financière. Si les laitiers de haut-fourneau sont principalement valorisés dans l'industrie cimentière et les techniques routières, les stocks de laitiers d'aciéries restent importants, avec environ 20 % sans débouchés. La Directive Cadre Déchets de 2008, intégrée au droit français en 2010, ouvre la possibilité pour certains déchets de changer de statut juridique. Toutefois, les laitiers conservent leur classification comme déchets industriels non dangereux. Le règlement REACH impose aux producteurs de maîtriser les risques environnementaux et sanitaires. Malgré leur statut, certains laitiers sont utilisés depuis longtemps en techniques routières et dans l'industrie cimentière, sous des normes strictes... [18]

### 2.2.3 Définition du laitier haut fourneau :

Le laitier de haut fourneau est un produit issu de la fabrication de la fonte dans un haut fourneau, isolé et rejeté de la fonte liquide par flottation.

Le laitier de haut fourneau, essentiellement composé de silico-aluminate de calcium, a pour rôle de rassembler les éléments non volatiles apportés par la gangue des minerais, les cendres de combustible et les fondants rajoutés à la charge.

L'histoire du laitier montre que ce matériau, considéré à l'origine comme un sous-produit fatal, est devenu aujourd'hui très recherché du fait de la diversification de son utilisation. Le laitier de haut fourneau se présente donc sous plusieurs formes principales: le laitier granulé, bouleté ou cristallisé. [19]



*Figure 2.2: Processus d'élaboration des différents types de laitiers [19]*

### 2.2.4 Fabrication du laitier haut fourneau :

La fonte est la première étape de la production d'acier, où le minerai de fer est fusionné avec du coke dans un haut fourneau. En fusion du haut-fourneau, le fer fondu (fonte) et le laitier sont sous-tirés. La fonte produit environ 300 kg de laitier par tonne. Deux familles sont identifiées en fonction du processus de refroidissement du laitier en fusion :

Le LHF cristallisé On obtient cela en le refroidissant lentement à l'air, ce qui lui permet de cristalliser en une roche dure artificielle. Après cela, on arrose le laitier pour réduire sa

température et le fragmenter grossièrement par choc thermique. Ensuite, après la cristallisation, le matériau est concassé et criblé afin d'obtenir des granulats de taille Le laitier en fusion est abondamment arrosé sous une pression élevée afin de le vitrifier. Le choc thermique déclenche son explosion et génère immédiatement du laitier vitrifié, également connu sous le nom de laitier granulé appropriée.

### 2.2.5. Méthode d`analyse :

Une approche naturaliste a été utilisée pour l'étude des scories paléosidérurgiques, similaire à celle utilisée par les pétrographes pour caractériser les roches naturelles. On effectue des analyses approfondies par ICP-MS/AES en tenant compte des différences possibles, sur les différentes formes de scories et autres matériaux associés . On utilise des lames minces et polies pour couper les éléments courants ainsi que les zones qui présentent une texture originale. Les observations sont réalisées à l'aide d'un microscope optique. , par transmission de lumière et par réflexion de lumière . [20]

### 2.2.6 . L`activité du laitier haute fourneau :

L'activation classique du laitier consiste à activer le laitier par l'ajout de chaux sous forme de poudre, où à partir du ciment Portland (activation calcique) ou par l'ajout du gypse (activation sulfatique). Ce type d'activation est connu depuis fort longtemps. A partir des années 70, l'activation alcaline du laitier a bénéficié de plusieurs études et publications, et a connu plusieurs applications en URSS et aux Pays Bas.

L'activation alcaline se réfère principalement à l'activation par:

- Les alcalis caustiques (NaOH, KOH, ...).
- Les sels non siliceux ( $R_2CO_3$ ,  $R_2SO_3$ ,...).
- Les sels siliceux ( $R_2O$ , m)  $SiO_2$ . (Où R représente Na, Ket Li) (Zeghichi, 2004).

Le processus de l'activation est influencé par la composition chimique du laitier, l'activant utilisé et la phase vitreuse (teneur en verre). Les activants ne sont pas de simples catalyseurs permettant le déroulement des réactions, mais également des réactifs entrant dans les réactions de la formation des hydrates (Voinovitch et Dron, 1976). Ils ont comme rôle de :

- Accélérer la solubilité des composants du laitier.
- Favoriser la formation de quelques hydrates.
- Favoriser la formation du réseau de la structure des hydrates (Runzhang, 1988).
- Les bénéfices qui pouvaient être tirés en utilisant les ciments de laitier sont multiples:
- Ecologiques et environnementaux (utilisation d'un sous produit et la diminution de l'émission de  $CO_2$ ).

Economiques (le coût du laitier est le coût de son transport; l'économie du coût du combustible pour la production de la même quantité de ciment). -Techniques (amélioration des propriétés mécaniques des bétons, durabilité largement améliorée) (Malhotra, 1987). [17]

### 2.3.1 .Laitier cristallisé :

#### 2.3.1.1\_ Définition :

Le laitier rocheux est obtenu par refroidissement très lent du laitier liquide dans des fosses qui peuvent être situées tout près ou à une certaine distance du haut fourneau. Après le début de solidification, le laitier est arrosé afin d'en abaisser la température et de le fragmenter. Cette porosité a une influence directe sur la masse volumique absolue et la conductivité thermique du matériau qui est sensiblement inférieure à celle des matériaux naturels tel que le calcaire et le granite.

- Les travaux routiers en tout-venant, il peut être employé comme remblai: concassé et classé, il est utilisé comme grave (0-20mm); comme gravillons, recouvert par un liant hydrocarbure (l'enrobé), il permet d'établir les couches de roulement des routes.
- En travaux de génie civil après concassage, il peut être utilisé comme granulats pour béton ou bien dans la fabrication de parpaings. Dans ce domaine, les granulats du laitier cristallisé qui présentent à la fois une résistance mécanique élevée et une faible conductivité thermique, offrent des avantages indéniables quant à l'isolation thermique et la protection au feu.
- ballast de voies ferrées ou encore dans la fabrication de vitrocéramique. [16]

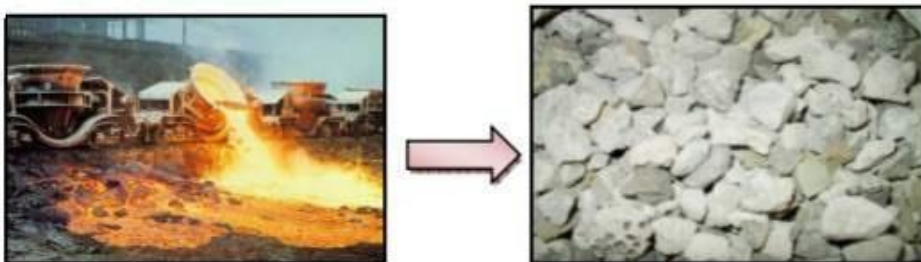
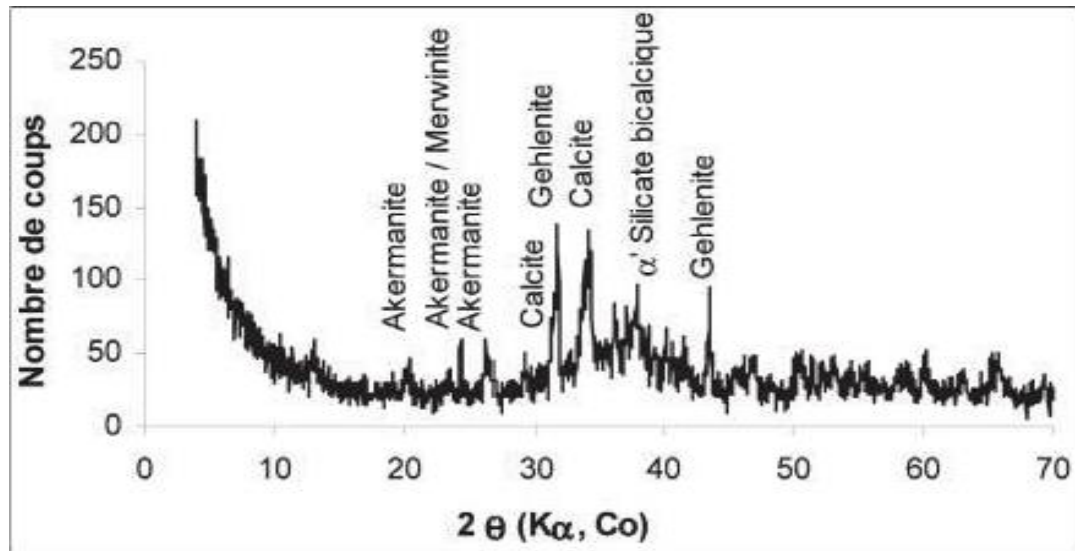


Figure 2.3: Élaboration du laitier cristallisé [29]

#### 2.3.1.2 .Propriété du laitier cristallisé :

Il est impossible d'assurer un refroidissement uniformisé du laitier dans toute sa masse, car les couches qui sont en contact avec l'air refroidissent plus rapidement et forment la partie vitreuse du laitier cristallisé DRX révèle principalement la présence de la Mélilite, une solution solide de Gehlinite et d'Akermanite , de la Merwinite , des additions de Yons X à 000, avec une Å, sur une plage allant de 0,02° à 0,05°, ainsi qu'un silicate bicalcique et sa calcite .Les additions ont été broyées dans les conditions identiques (même broyeur, mêmes quantités de corps broyant et de matériaux, même durée de broyage). Les trois additions présentent des caractéristiques de broyabilité différentes, ce qui entraîne des finesses différentes. [21]



*Figure 2.4: DRX du laitier cristallisé [21]*

Le diagramme DRX du laitier cristallisé présenté par la figure 2.4, montre l'existence d'une phase vitreuse. Le refroidissement lent du laitier ne peut être uniforme dans toute la masse, les couches au contact de l'air refroidissent plus rapidement et constitue la partie vitreuse du laitier cristallisé. Les principaux minéraux mis en évidence par DRX sont la mélanite qui est une solution solide de Gehlenite ( $C_2AS$ ) et d'Akermanite ( $C_2mS_2$ ), la merwinite ( $C_3S_2$ ), le silicate bicalcique ( $C_2S$ ) et la calcite ( $CaCO_3$ ).

### 2.3.1.3 Distribution granulométrique et caractéristique de fabrication :

Les particules fines des scories sont souvent inférieures à celles des granulats naturels. Toutefois, cette caractéristique ne peut être généralisée car elle diffère considérablement selon le type de laitier utilisé, les techniques de broyage et le type de granulat naturel auquel on le compare.

Les laitiers sont souvent broyés et utilisés sous forme de granulats grossiers comme le 5-20 ou le 5-14. Si la granulométrie du laitier cristallin ne satisfait pas aux critères d'un fuscau granulaire CSA A.23.1, il faut ajouter un granulat naturel pour améliorer l'ouvrabilité du mélange à l'état frais et ses propriétés mécaniques. [22]

### 2.3.1.3 Densité:

Le granulat de laitier présente une densité relative supérieure à celle du granulat naturel : Selon la littérature, la densité relative des laitiers cristallins est généralement comprise entre 3 et 4, tandis que les granulats naturels ont une densité d'environ 2,75.

### 2.3.1.4. Absorption:

Dans les recherches sur les laitiers cristallins, il est fréquent de mesurer l'absorption pour comprendre la rhéologie du béton. En général, elle est plus élevée que celle des granulats naturels utilisés dans l'étude pour fabriquer un béton de référence. En général, les valeurs d'absorption des laitiers cristallins varient de 1 à 5%, tandis que pour un granulat naturel, elles

sont souvent inférieures à 1%. L'évaluation de l'absorption d'un granulat est une méthode facile qui permet d'évaluer sa qualité. Cette caractéristique revêt une importance capitale car elle influence la quantité d'eau à ajouter au mélange pour une certaine maniabilité.[22]

### 2.3.1.5. État de surface:

La majorité des laitiers cristallins présentent une forte porosité et une surface rugueuse. La porosité des laitiers par rapport aux granulats naturels a un impact sur leur capacité d'absorption. De son côté, la surface rugueuse des laitiers aura un impact sur la zone de transition entre la pâte et le granulat dans le béton. On peut observer cette surface poreuse et rugueuse .

### 2.3.1.6 .Utilisations du laitier cristallisé:

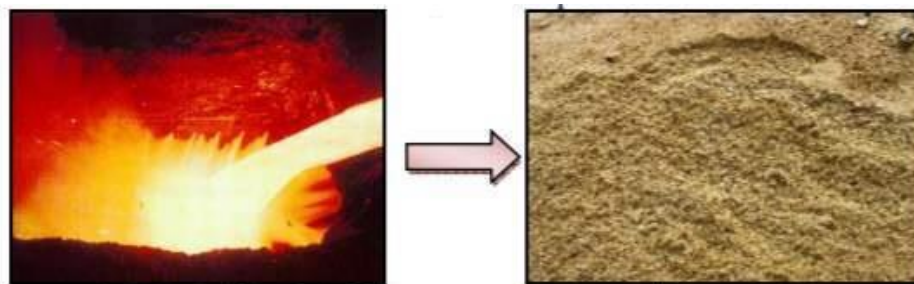
Les laitiers de hauts fourneaux peuvent être considérés comme des matériaux de classes GTR D21 ou D31 en fonction de leurs dimensions granulométriques. Certains granulats de laitier cristallisé concassé, en raison de leurs caractéristiques mécaniques, peuvent être utilisés.

Sont adaptés à la production d'enrobés hydrocarbonés, notamment pour la création de couches de surface. Les laitiers vitrifiés jouent un rôle essentiel dans le secteur du ciment et offrent la possibilité de produire de nombreux ciments de construction normaux. [18]

## 2.4.1 Laitier granulé :

### 2.4.1.1 Définition :

Le granulat de laitier (La) est un produit secondaire de la fonte et est produit dans l'usine de fonte d'El- Hadjar Annaba. Il s'agit d'un laitier fondu dans les bassins d'eau, ce qui entraîne une importante quantité de phase vitreuse. Il est ensuite séché et écrasé en poudre fine. [23]



*Figure 2.5: Obtention du laitier granulé par le procédé de granulation[29]*

### 2.4.1.2 Caractéristique chimique de laitier granulé :

Les granules de laitier utilisés sont de forme vitreuse et d'un gris clair, issus des hauts fourneaux du complexe sidérurgique d'El Hadjar (Annaba), prélevés avec une humidité de 10 %. Son poids apparent, son poids absolu et sa porosité sont de 890 Kg/m<sup>2</sup>. 2370 Kg/m<sup>3</sup> et

respectivement 62 %. Le tableau 3 résume la composition chimique du laboratoire de Génie Sider d'El Hadjar. Son indice de performance est : [24]

$$M_b = (\text{CaO}\% + \text{MgO}\%) / (\text{SiO}_2\% + \text{Al}_2\text{O}_3\%) = 1,11 > 1 \quad \longrightarrow \quad \text{le laitier est basique}$$

### 2.4.1.3 La reactivity du laitier granulé :

Les facteurs déterminant l'hydraulicité du laitier granulé (matériau hydraulique latent) sont l'état vitreux, l'indice d'hydraulicité et les principaux constituants le C<sub>2</sub>S et le C<sub>2</sub>AS.

Cependant la présence de l'oxyde de fer dans le laitier fondu faciliterait la granulation mais abaisserait la quantité ou le pouvoir hydraulique. Ainsi il faut veiller à ce que la présence de l'oxyde de fer dans le laitier soit négligeable (opération de réduction).

Par ailleurs la propriété latente de l'hydratation du laitier granulé peut être mise en évidence par la mesure du degré d'hydratation qui, à son tour, se détermine soit par (Oner et al. 2003):

- l'analyse qualitative des réactifs résiduels,
- la détermination de la quantité d'eau non évaporable, la chaux et le gypse libre,
- la mesure de la chaleur d'hydratation.

Toutes ces méthodes confirment la propriété latente de l'hydratation du laitier, nécessitant l'emploi d'un bon activant chimique, thermique ou mécanique (Barnet et al. 2006).

Le ciment au laitier (C.P.J: ciment portland composé) s'hydrate plus lentement que le ciment portland (C.P.A: ciment portland artificiel sans ajout) et se caractérise par un faible dégagement de la chaleur d'hydratation ce qui rend son emploi préférable dans certains cas de la pratique, béton de masse, bétonnage par temps chaud et dans les milieux agressifs (meilleure résistance aux agressions chimiques) [25]

### 2.4.1.4 Compositon chimique du laitier granulé :

Le laitier granulé de haut fourneau utilisé dans notre étude expérimentale est un silico-aluminate de calcium et de magnésium, il est constitué essentiellement de quatre oxydes qui sont: (SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-CaO-MgO). [25]

Les indices de basicité «M» indiquent si un laitier est basique ou acide. Les indices les plus utilisés sont les suivants :

$$M_{b1} = \frac{\%CaO + \%MgO}{\%SiO_2} = 1,14$$

$$M_{b2} = \frac{\%CaO}{\%SiO_2} = 1,04$$

$$M_{b3} = \frac{\%CaO + \%MgO}{\%SiO_2 + Al_2O_3} = 1,01$$

*Figure 2.6: DRX du laitier granulé [21]***2.4.1.5. Les indices d'activité du laitier granulé :**

Le diagramme DRx du laitier granulé (LG) présenté par la figure 2.6 montre qu'il est essentiellement composé d'une phase amorphe. La teneur en verre est d'environ 97% , mais présente une faible réactivité hydraulique .Le laitier Granulé contient de faibles quantités de fer et de calcite.

Il faut noter que les facteurs qui influent sur le pouvoir hydraulique du laitier granulé

Sont en général au nombre de trois: [26]

- la composition chimique (elle nécessite des quantités suffisantes en chaux et en alumine),
- le degré de vitrification (dissolution des produits amorphes),
- la surface spécifique (surface de contact eau-laitier).

L'indice hydraulique (taux ou degré de vitrification richesse du laitier en éléments silicatés) sert d'indication de l'activité hydraulique du laitier de haut fourneau:

L'indice d'activité hydraulique (méthode de Keil) est calculé de la façon suivante:

$$a = (S_{\{p\}} * F) / 1000 = 43,86 \text{ equiv } 44$$

Avec:

S, surface spécifique de Blaine des fines du laitier ( $S_{\{P\}} = 2580 \text{ cm}^2/\text{g}$ ),

F: pourcentage des fines du laitier (Friabilité:  $< 80\mu$  dans notre cas:  $F = 17\%$ )

Le Tableau I donne la classification de l'indice d'activité hydraulique du laitier granulé (le coefficient a varie en général entre 15 et 100):

**Tableau 2.2 : Indice d'Activité Hydraulique du Laitier Granulé**

Classe	a	Type de laitier
1	$a < 15$	Laitier très pauvre
2	$15 < a < 40$	Laitier pauvre
3	$40 < a < 55$	Laitier acceptable
4	$55 < a < 85$	Laitier bon
5	$85 < a < 100$	Laitier très bon
6	$a > 100$	Laitier excellent

Le laitier granulé d'El-Hadjar a un coefficient à moyen de 44 (laitier acceptable)

**2.4.1.6 .Utilisations du laitier granulé :**

- utilisé en mélange avec du ciment portland et c'est la portlandite formée par hydratation du clinker qui active l'hydratation du laitier. [23]

- utilisé comme liant grâce à son hydraulicité , dans la fabrication de matériaux pour assises routières (graves laitiers). [24]
- Emploi des matériaux locaux, diminution du coût du ciment composé et protection de l'environnement [25]

#### **2.4.1.7. Influence du laitier propriété mécanique:**

La première phase d'hydratation du laitier est extrêmement lente, car elle repose sur l'attaque du verre par les ions hydroxydes libérés lors de l'hydratation du clinker Portland. Ainsi, les bétons utilisant du laitier broyé comme substitut au ciment présentent des résistances initiales inférieures à celles des bétons fabriqués à partir d'un ciment Portland à température ambiante.

La finesse accrue du laitier favorise un développement plus efficace de la résistance. Ont examiné l'impact de la granulométrie du laitier et du clinker sur la capacité du ciment à se comprimer avec du laitier . [16]

#### **2.4.1,8 Résistance en traction**

Dans l'ensemble, à moyen et long terme, la résistance en flexion des ciments à base de laitier est similaire, voire supérieure, à celle du ciment portland seul. Le béton contenant 60% de laitier a montré une résistance à la flexion plus élevée que celle du béton témoin après 90 jours. Dans leur étude sur l'impact de la cure sur la résistance en flexion, à une température de cure de 42°C, ils ont constaté que la résistance d'un béton contenant 40% de laitier est supérieure à celle du béton témoin au niveau de la résistance en flexion.

#### **Conclusion:**

Différents types de laitier sont fabriqués dans l'industrie sidérurgique, mais seul le laitier granulé est employé comme additif dans l'industrie du ciment. Plusieurs facteurs influencent la réactivité hydraulique de ce dernier, tels que sa composition chimique, son contenu en verre et sa finesse de mouture. En utilisant le laitier dans le béton, il améliore les caractéristiques à l'état frais en augmentant la capacité d'ouverture et la solidité. Les ciments à base de laitier ont une hydratation faible, des caractéristiques mécaniques à long terme bonnes mais faibles au début de leur utilisation.

# **CHAPITRE 03**

## **CARACTERISATION DES MATERIAUX UTILISEES**

## **1. INTRODUCTION:**

Ce chapitre est consacré à la présentation des matériaux utilisés, Les différentes techniques expérimentales utilisées pour les caractérisations granulométrique, chimique des matériaux.

## **2. Matériaux de base:**

Nous avons utilisé pour la confection du mortier des matériaux locaux dont les caractéristiques sont déterminées expérimentalement au laboratoire de génie civil de l'université de M'Sila.

On à utilisé :

- Le ciment de MATINE la cimenterie Lafarge de Hammam Dalaa wilaya de M'SILA.
- Le sable fin de région de Djamaa (Oued Souf).
- Eau de gâchage: L'eau potable du laboratoire.
- Les adjuvants: le MEDAPLAST SP40 de Granitex (Super plastifiant).
- Les ajouts: Laitiers granulés et laitier cristallisé d'El-Hadjar de Annaba.

## **3.1 Caractéristiques des matériaux :**

### **3.1.1. Sable:**

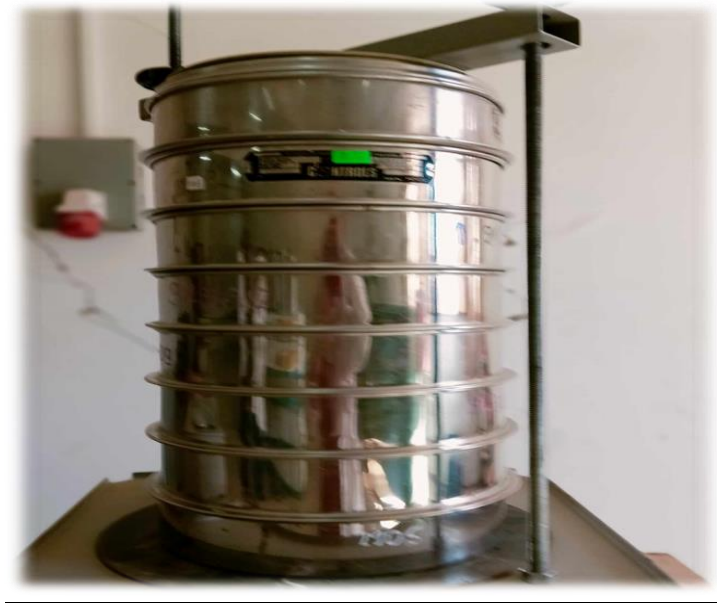
Le sable a été soumis à plusieurs essais au laboratoire de Génie civil de l'université de M'sila, suivant les normes françaises AFNOR

### **3.1.2. Analyse granulométrique : [NA EN 933-5] :**

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

**Tableau 3.1. Analyse granulométrique de sable Djamaa:**

Tamis (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumulés		Tamisat(%)
		(g)	(%)	
5	0	0	0	100
2,5	0	0	0	100
1,25	100	100	5	95
0,63	1016	1116	55,8	44,2
0,315	652	1768	88,4	11,6
0,16	194	1962	98,1	1,9
0,08	27	1989	99,45	0,55
Fond	3	1992	99,6	0,4



***Figure 3.1 : Colonne de tamis de l'essai de l'analyse granulométrique du sable***

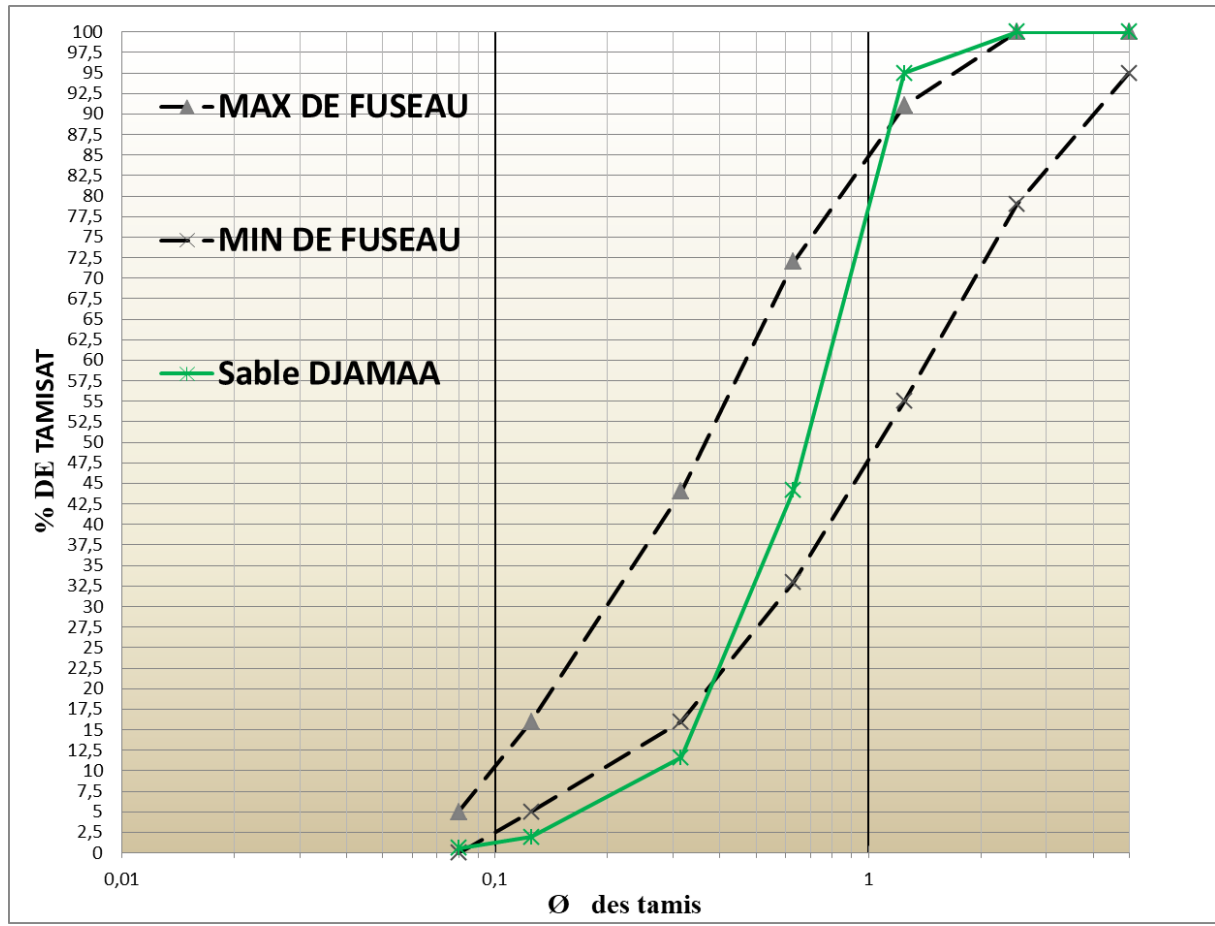


Figure 3.2 : Courbe analyse granulométrique de sable DJAMAA.

3.1.3..Masse volumique absolue : la norme NFP 18-301 :

Tableau 3.2.Masse volumique absolue du sable de DJAMAA :

N. d'essais	Masse utilise M(g)	Volume utilisée (ml)	V 1(g)	$\delta$ (ml)	$\delta_{moy}$ (g/c1 <sup>2</sup> )
1	61	120	146	2,34	2,56
2	70,3	120	172	2,70	
3	90,2	120	206	2,60	

3.1.4 \_Masse volumique apparente: NF P 18-554 :

Tableau 3.3. La masse volumique apparente du sable de DJAMAA.

N.d'essais	Volume récipient (ml)	M1(g)	M2(g)	$\delta_{app}(ml)$	$\delta_{app}(ml)$
1	900	115,7	1521,9	1,56	1,55
2	900	115,7	1516,5	1,55	
3	900	115,7	1519,9	1,56	

**3.2.1 Porosité et Compacité:**

C'est le volume des vides entre les grains du sable où le rapport du volume des vides au volume total du sable. On calcul la porosité selon la formule suivante :

$$P=1-\left(\frac{Y_{app}}{p}\right).100$$

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 absolue des grains au volume apparent du matériau.

La compacité donnée par la formule :

$$C= Y_{app}/P$$

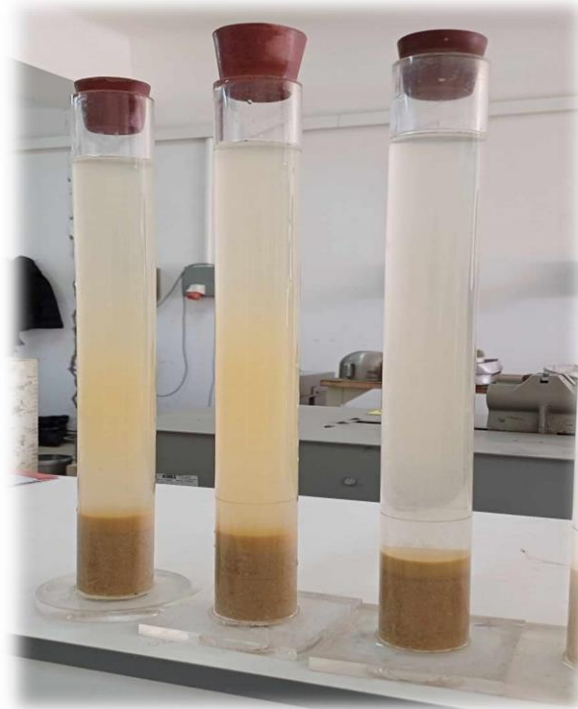
**Tableau 3.4.la porosité et compacité pour le sable .**

La Porosité%	La compacité%
39,46%	60,54%

**3.3.1 Equivalent de sable (la norme NF P 18 -598): [85]**

**Tableau 3.5: Eequivalent de sable DJAMAA:**

Essai	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	E.S.V%	E.S.V <sub>moy</sub>	H <sub>2</sub> '	E.S.P	E.S.P <sub>moy</sub>
1	6,6	5,7	86,36	86,36	5,5	83,33	83,83
2	6,6	5,7	86,36		5,5	83,33	
3	6,6	5,7	86,36		5,6	84,84	



**Figure 3.3 : Essai de l'équivalent de sable DJAMAA**

Donc :

E.S.V > 85

E.S.P > 80

Sable très propre : l'absence presque totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattrapper par une augmentation du dosage en eau

### ***3.4.1. Sable du laitier cristallin :***

#### ***3.4.1.1. Analyse granulométrique du laitier cristallin :***

**Tableau 3.6. Analyse granulométrique du laitier cristallin**

Tamis (mm)	Refus partiele (g)	Refus cunute		Tamisat
		(g)	( % )	
5	0	0	0	100
2,5	139	139	9,2	90,8
1,25	506	645	43	57
0,63	490	1135	75,66	24,34
0,315	253	1388	92,53	27,47
0,16	55	1443	96,2	3,8
0,08	30	1473	98,2	1,8
fond	25	1498	99,86	0,14

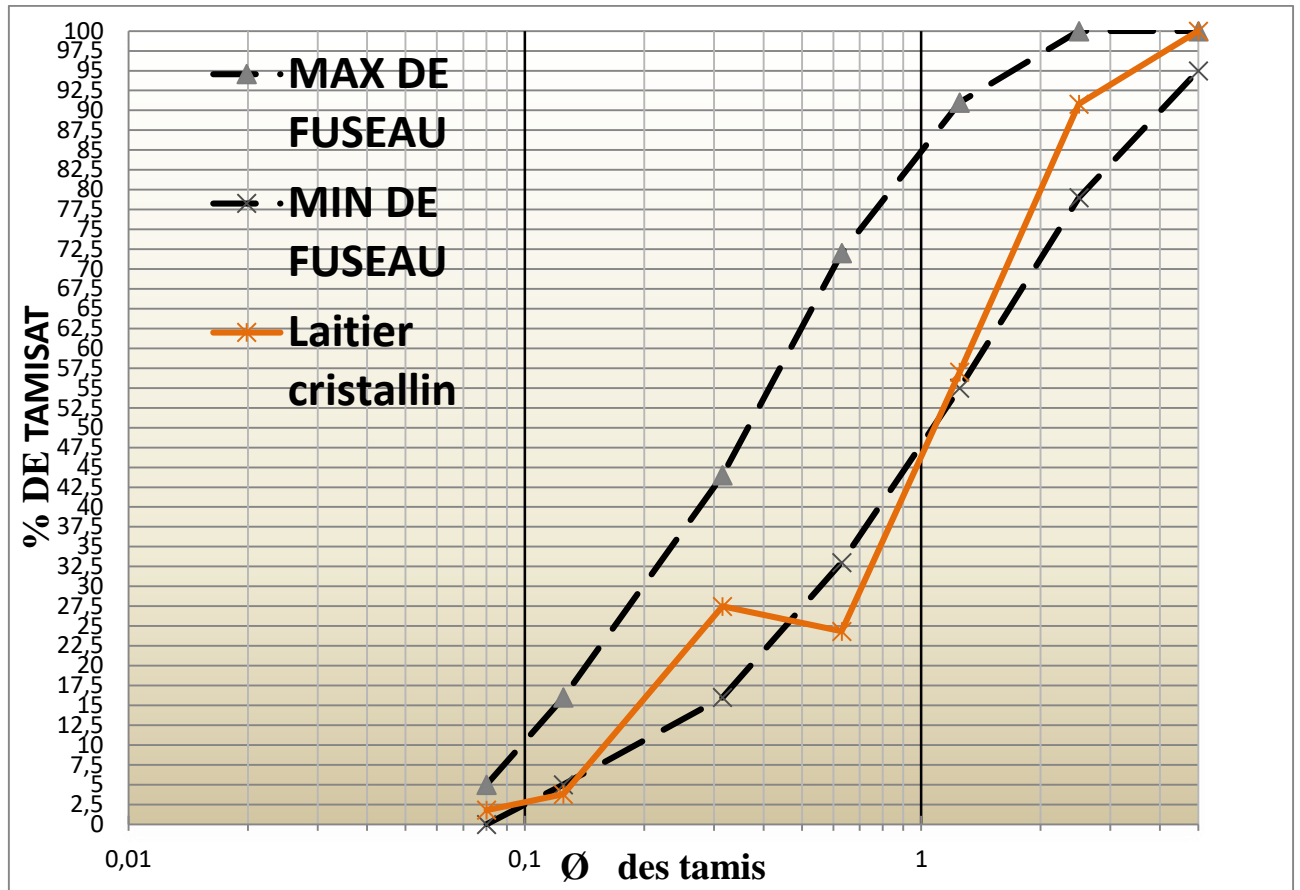


Figure 3.4 : Courbe analyse granulométrique du laitier cristallin

3.4.2.2.Masse volumique du laitier cristallin :

Tableau 3.7.Masse volumique absolue du laitier cristallin.

N°d'essai	Volume utilise (ml)	Masse utilise (g)	V <sub>2</sub> (ml)	ρ <sub>ab</sub> (g/ml)	ρ <sub>ab</sub> moy (g/ ml)
1	120	51	144	2,12	2,28
2	120	55	165	2,61	
3	120	64	195	2,13	

Tableau 3.8.:Masse volumique apparente de laitier cristallin

N°d'essai	Volume utilisè (ml)	M1(g)	M2(g)	ρ <sub>ap</sub> (g/ml)	ρ <sub>ap</sub> moy (g/ml)
1	900	115,7	1111	1,10	1,10
2	900	115,7	1109	1,10	
3	900	115,7	1112	1,10	

### 3.4.3.3.: La porosité et compacité du laitier cristallin:

Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau suivant :

**Tableau 3.9: La porosité et compacité pour le sable de laitier cristallin.**

Porosité	Compacité
P = 51,76 %	C=48.28%

### 3.5.1. Les mélanges (sable de dune + laitier cristallin) :

#### 3.5.1.1. Analyse granulométrique des mélanges :

Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau suivant :

**Tableau 3.10. Analyse granulométrique des mélanges:**

Tamis Melange	90%sd 10%Lc	80%sd 20%Lc	70%sd 30%Lc	60%sd 40%Lc	50%sd 50%Lc	40%sd 60%Lc	30%sd 70%Lc	20%sd 80%Lc	10%sd 90%Lc
5	100	100	100	100	100	100	100	100	100
2,5	98,6	98,27	97,47	96,27	94,94	94,74	93,34	96,4	94,6
1,25	92	89,14	57,2	51	44,14	42,67	71,47	74,14	68,27
0,63	68,67	63,27	56,67	50,47	43,67	41,67	38,54	36,6	27,07
0,315	30,14	24,8	22,67	17,2	15,43	15,74	14,34	11,8	7,6
0,16	7,07	6,27	7	4,54	4,54	4,74	5	3,94	2,34
0,08	1,2	1,14	3,07	0,94	1,07	1,47	1,15	1,07	0,8
fond	0,4	0,2	0,2	0,27	0	0,34	0	0,27	0,14

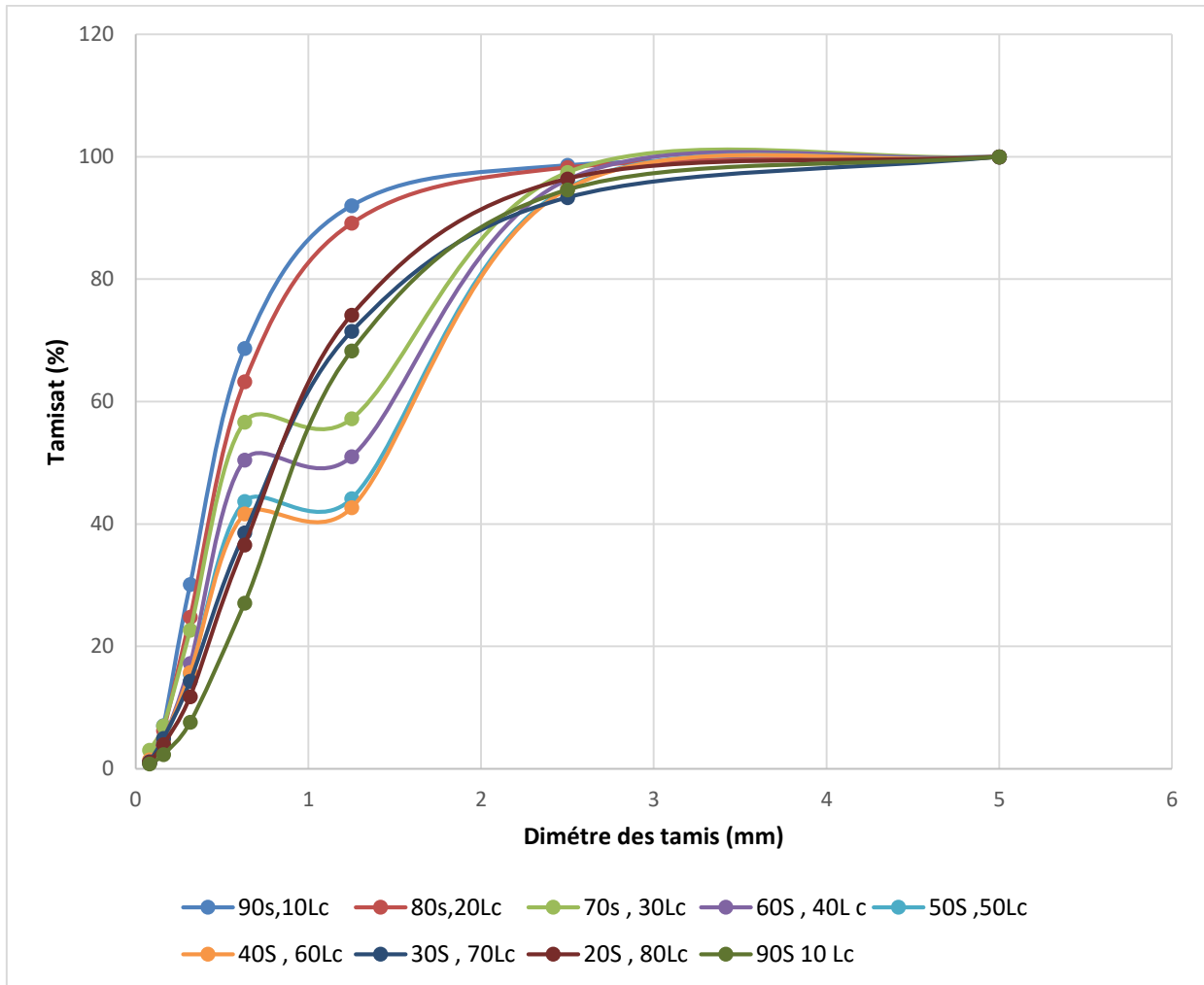


Figure 3.5 : Courbe Analyse granulométrique des mélanges

## 3.5.2.2. Masse volumique des mélanges

Tableau 3.11: Masse volumique absolue des mélanges.

Mélange	N° d'essai	M (g)	V1 (ml)	V2 (ml)	Mv(g/ml)	Mv moy (g/ml)
90%Sd 10%Lc	1	53	120	142	2,40	2,75
	2	59,4	120	142	3,96	
	3	50,5	120	142	1,88	
80%Sd 20%Lc	1	50,9	120	142	2,31	2,51
	2	57,2	120	164	2,6	
	3	58	120	168	2,63	
70%Sd 30%Lc	1	53,5	120	144	2,22	2,42
	2	69,4	120	172	2,47	
	3	54,4	120	193	2,59	
60%Sd 40%Lc	1	58	120	145	2,32	2,47
	2	62	120	169	2,58	
	3	58	120	192	2,52	
50%Sd 50%Lc	1	50	120	162	1,19	2,12
	2	56,9	120	184	2,58	
	3	57	120	206	2,59	
40%Sd 60%Lc	1	57,5	120	146	2,21	2,36
	2	60,1	120	170	2,50	
	3	61,3	120	195	2,45	
30%Sd 70%Lc	1	53,5	120	164	2,21	2,06
	2	55	120	186	2,5	
	3	54,8	120	208	2,45	
20%Sd 80%Lc	1	59,5	120	148	2,12	2,13
	2	50,1	120	168	1,92	
	3	61,4	120	194	2,36	
10%Sd 90%Lc	1	50,8	120	144	2,11	2,16
	2	56,9	120	166	2,58	
	3	64,1	120	194	2,28	

Tableau 3.12: Masse volumique apparente des mélanges.

Mélange	N°d`essai	V (ml)	M1(g)	M2 (g)	M <sub>vapp</sub> (g/ml)	M <sub>vapp</sub> moy (g/ml)
90%Sd 10%Lc	1	900	115,7	1489	1,52	1,52
	2	900	115,7	1490	1,52	
	3	900	115,7	1489	1,52	
80%Sd 20%Lc	1	900	115,7	1451	1,48	1,47
	2	900	115,7	1441	1,47	
	3	900	115,7	1455	1,48	
70%Sd 30%Lc	1	900	115,7	1408	1,43	1,43
	2	900	115,7	1399	1,42	
	3	900	115,7	1412	1,44	
60%Sd 40%Lc	1	900	115,7	1346	1,36	1,37
	2	900	115,7	1365	1,38	
	3	900	115,7	1360	1,38	
50%Sd 50%Lc	1	900	115,7	1296	1,31	1,33
	2	900	115,7	1328	1,34	
	3	900	115,7	1323	1,34	
40%Sd 60%Lc	1	900	115,7	1231	1,23	1,26
	2	900	115,7	1268	1,28	
	3	900	115,7	1269	1,28	
30%Sd 70%Lc	1	900	115,7	1172	1,17	1,19
	2	900	115,7	1198	1,20	
	3	900	115,7	1221	1,22	
20%Sd 80%Lc	1	900	115,7	1155	1,15	1,16
	2	900	115,7	1171	1,17	
	3	900	115,7	1178	1,18	
10%Sd 90%Lc	1	900	115,7	1092	1,08	1,10
	2	900	115,7	1121	1,11	
	3	900	115,7	1128	1,12	

Tableau 3.13:La porosité et la compacité des melanges .

Mélanges	Porosité (%)	Compacité(%)
90 Sd, 10Lc	44,52	55,47
80Sd ,20Lc	41,43	58,56
70Sd ,30 Lc	40,90	59,09
60Sd ,40Lc	44,53	55,46
50Sd ,50 Lc	37,26	61,79
40Sd ,60Lc	46,61	53,38
30Sd ,70Lc	42,23	57,76
20Sd ,80Lc	45,53	54,46
10Sd ,90Lc	49,07	50,92

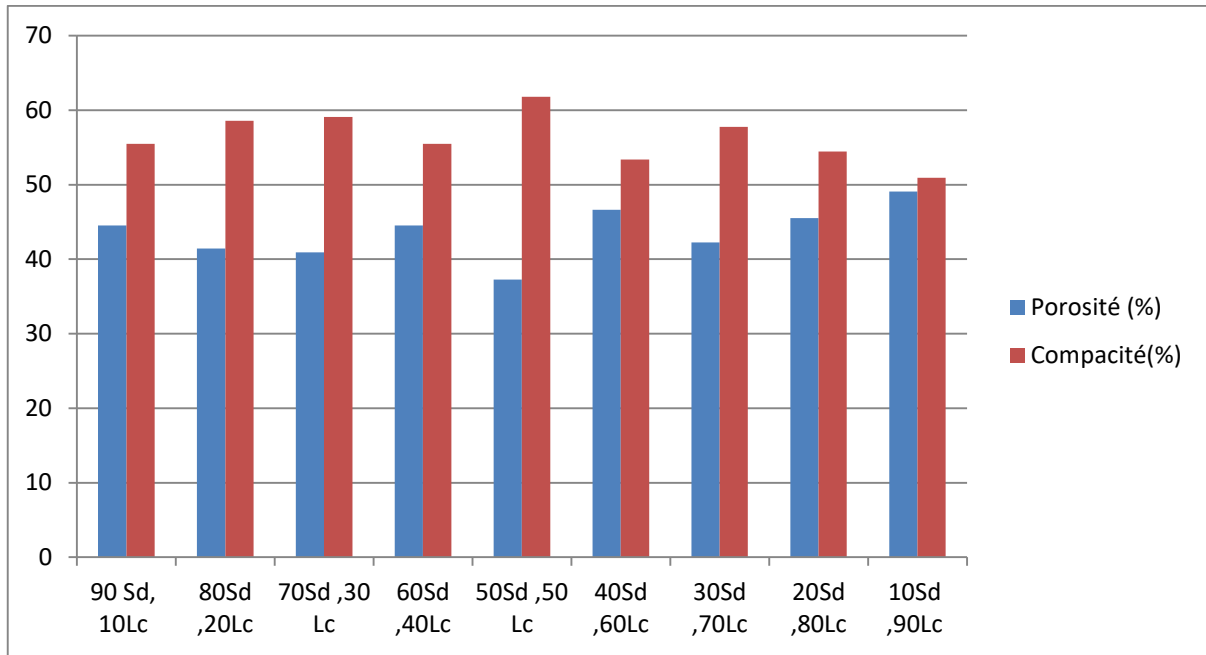


Figure 3.6 : Courbe la Porosité et la compacité.

Commentaire : on remarque que les mélange : ( 60Sd+40Lc ,50Sd+50LC , 40 Sd+ 60LC) sone les plus compact avec une porosité minimale .

Donc: dans notre travail on utilise le mélange 60Sd+40Lc ,50Sd+50LC , 40 Sd+ 60LC) .

3.6.1.Sable du laitier granulé :

3.6.1.1.Analyse granulométrique du laitier granulé :

Tableau 3.14: Analyse granulométrique du laitier cristallin.

Tamis (mm)	Refus partiel	Refus cumulé		Tamisat
		(g)	( % )	
5	0	0	0	100
2,5	0,103	103	5,15	94,85
1,25	1269	1372	68,6	31,4
0,63	311	1683	84,15	15,85
0,315	181	1864	93,2	6,8
0,16	53	1917	95,85	4,15
0,08	45	1962	98,1	1,9
fond	16	1978	98,9	1,1

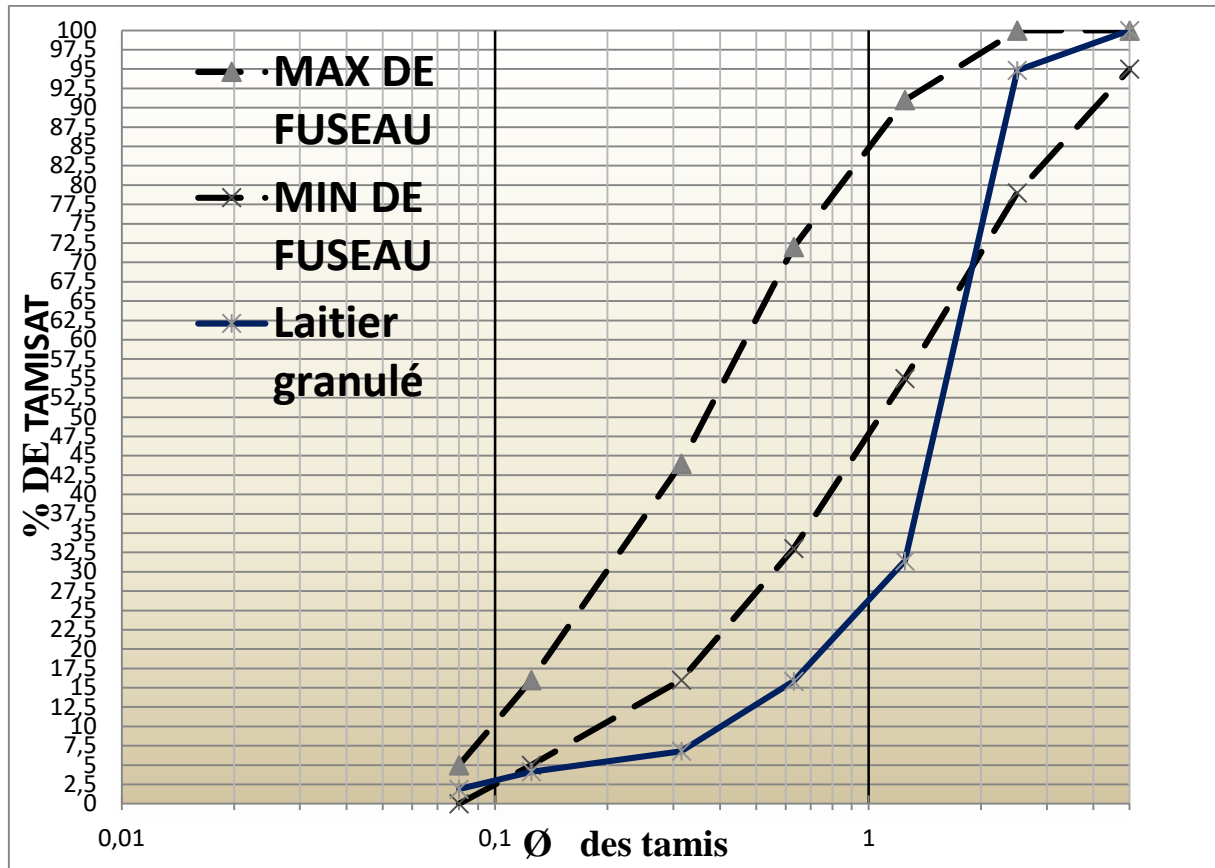


Figure 3.7: Courbe analyse granulométrique du laitier granulé.

3.6.2.2. Masse volumique du laitier granulé:

Tableau 3.15 : Masse volumique absolue du laitier granulé.

N.d 'essais	Masse utilise M(g)	Volume utilisée (ml)	V 1(g)	V2 (g/ml)	δap moy (g/ml)
1	52,2	120	142	2,34	2,32
2	60,1	120	167	2,40	
3	70,3	120	200	2,19	

Tableau 3.16: Masse volumique apparente du laitier cristallin .

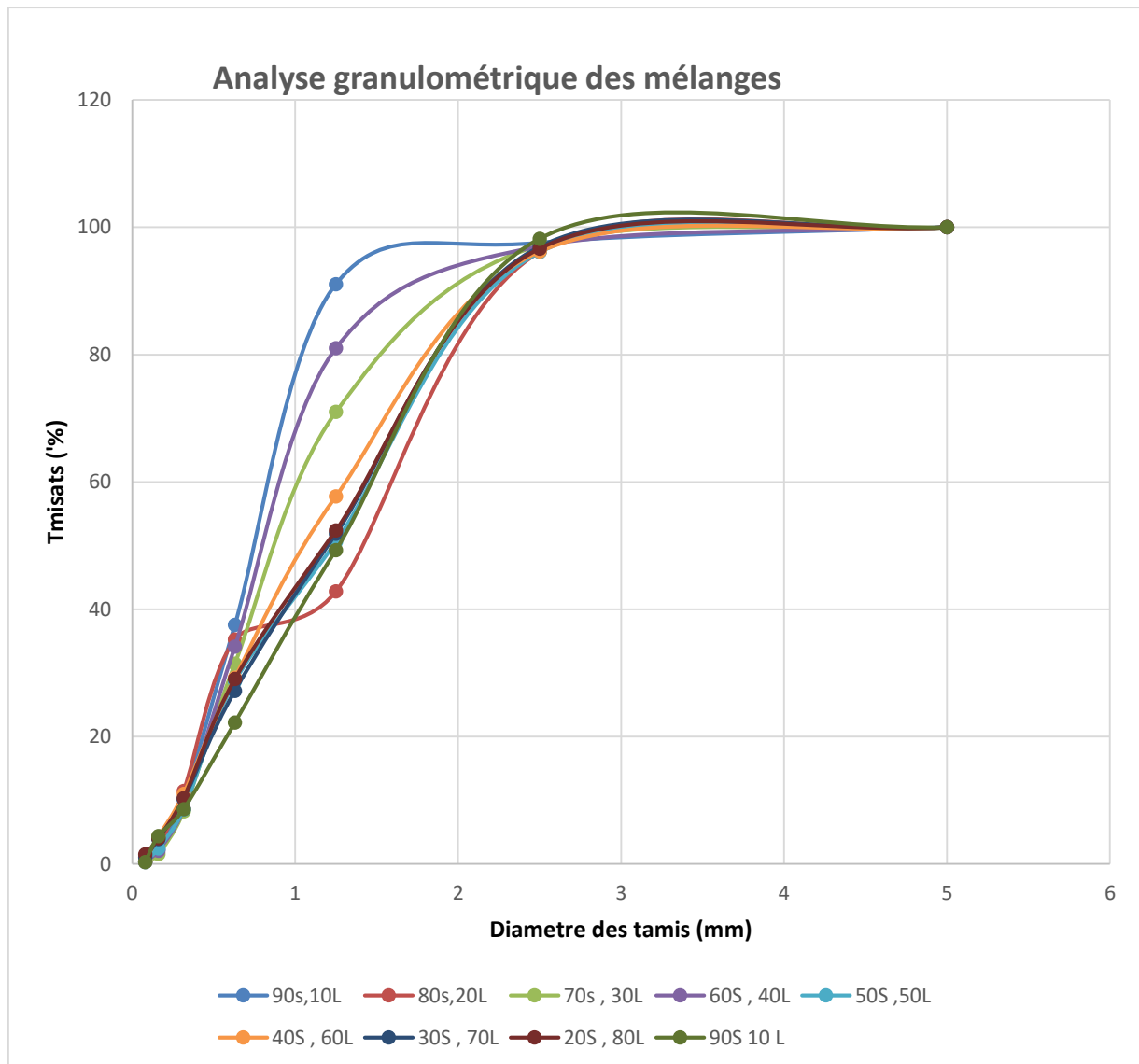
N.d'essais	Volume réeipient (ml)	M1(g)	M2(g)	δap (ml)	δap moy (ml)
1	900	115,7	1017	1,001	1,01
2	900	115,7	1027	1,01	
3	900	115,7	1042	1,02	

Tableau 3.17 : .La porosité et compacité du laitier granulé.

Porosité	Compacité
P= 56,64%	C= 43.53%

**3.7.1. Les mélanges (sable de dune + laitier granulé):****3.7.1.1. Analyse granulométrique des mélanges :****Tableau 3.18 :Analyse granulométrique des mélanges.**

Tamis	90%Sd 10%Lg	80%Sd 20%Lg	70%Sd 30%Lg	60%Sd 40%Lg	50%Sd 50%Lg	40%Sd 60%Lg	30%Sd 70L%Lg	20%Sd 80%Lg	10%Sd 90%Lg
5	100	100	100	100	100	100	100	100	100
2,5	97,55	96,15	97,2	97	96,1	96,2	96,95	96,65	98,2
1,25	91,05	42,8	71	81	50,6	57,75	51,85	52,4	49,3
0,63	37,55	35,25	31,45	34,15	28,7	29,25	27,2	29,05	22,2
0,315	10,2	11,45	8,25	8,65	8,55	11	10,15	10,35	8,6
0,16	2,3	2,75	1,55	2,1	2,45	4,25	3,9	4,05	4,4
0,08	0,3	0,35	0,35	0,35	0,45	0,5	1,05	1,5	0,3
fond	0,05	0	0	0	0	0	0	0,1	0,05



*Figure 3.8 : Courbe granulométrique des mélanges*

## 3.7.2.2 Masse volumique des mélanges :

Tableau 3.19 :Masse volumique absolue des mélanges.

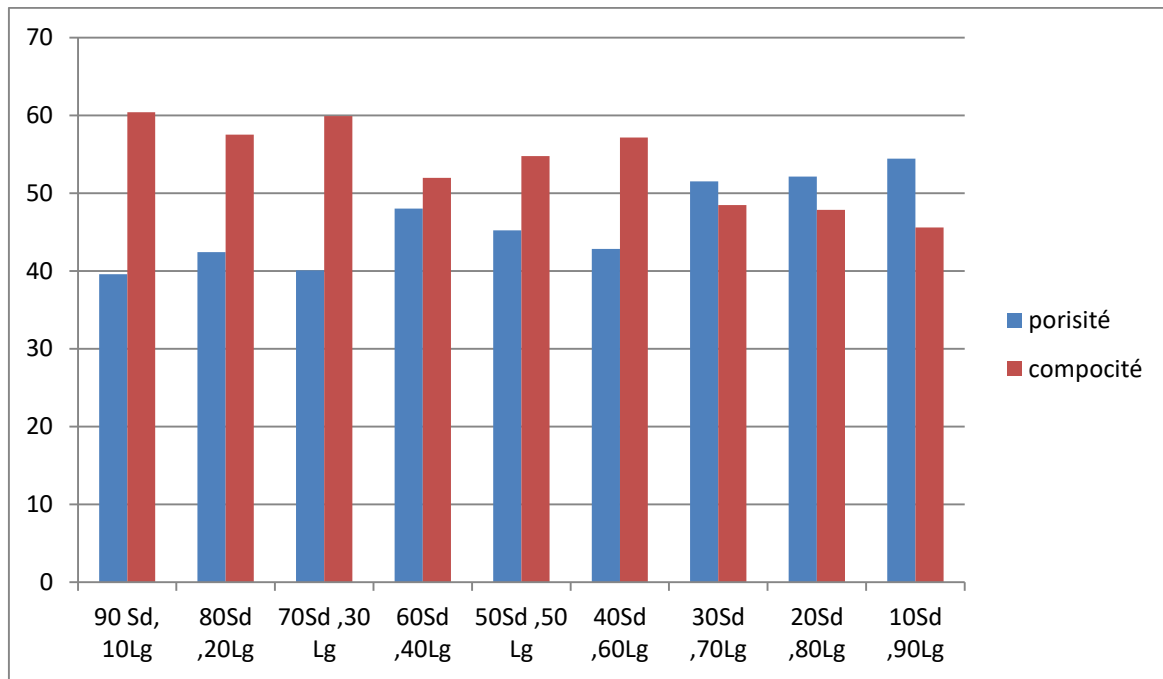
Mélange%	N`d`essai	M(g)	V1 (ml)	V2 (ml)	M <sub>Vab</sub> (g/ml)	M <sub>Vab</sub> moy (g/ml)
90%Sd 10%Lg	1	59,9	120	146	2,30	2,46
	2	56,4	120	170	2,35	
	3	54,9	120	190	2,70	
80%Sd 20%Lg	1	59,4	120	145	2,30	2,45
	2	52,5	120	166	2,50	
	3	52,7	120	187	2,50	
70%Sd 30%Lg	1	54,5	120	142	2,47	2,43
	2	58	120	166	2,41	
	3	58,4	120	190	2,41	
60%Sd 40%Lg	1	56,9	120	144	2,37	2,52
	2	51,2	120	166	2,32	
	3	51,7	120	184	2,87	
50%Sd 50%Lg	1	55,8	120	146	2,14	2,30
	2	62,6	120	170	2,60	
	3	56,6	120	194	2,17	
40%Sd 60%Lg	1	50	120	142	2,27	2,35
	2	51,9	120	164	2,35	
	3	53,9	120	186	2,45	
30%Sd 70%Lg	1	50,3	120	142	2,28	2,27
	2	57,5	120	168	2,21	
	3	51,1	120	190	2,32	
20%Sd 80%Lg	1	53,8	120	144	2,24	2,34
	2	53,7	120	166	2,44	
	3	54,7	120	189	2,36	
10%Sd 90%Lg	1	50,6	120	143	2,20	2,35
	2	51,2	120	164	2,43	
	3	53,6	120	186	2,43	

Tableau 3.20 :masse volumique apparente des mélanges.

Mélange%	N°d'essai	V (g ml)	M1 (g)	M2 (g)	$\rho$ (g/ml)	$\rho_{moy}$ (g/ml)
90%Sd 10%Lg	1	900	115,7	1450	1,48	1,48
	2	900	115,7	1452	1,48	
	3	900	115,7	1453	1,48	
80%Sd 20%Lg	1	900	115,7	1386	1,41	1,41
	2	900	115,7	1385	1,41	
	3	900	115,7	1403	1,43	
70%Sd 30%Lg	1	900	115,7	1330	1,34	1,36
	2	900	115,7	1345	1,36	
	3	900	115,7	1361	1,38	
60%Sd 40%Lg	1	900	115,7	1287	1,30	1,31
	2	900	115,7	1307	1,32	
	3	900	115,7	1315	1,33	
50%Sd 50%Lg	1	900	115,7	1227	1,23	1,26
	2	900	115,7	1267	1,27	
	3	900	115,7	1291	1,30	
40%Sd 60%Lg	1	900	115,7	1107	1,10	1,12
	2	900	115,7	1133	1,13	
	3	900	115,7	1140	1,13	
30%Sd 70%Lg	1	900	115,7	1091	1,08	1,10
	2	900	115,7	1106	1,10	
	3	900	115,7	1133	1,13	
20%Sd 80%Lg	1	900	115,7	1111	1,10	1,12
	2	900	115,7	1131	1,12	
	3	900	115,7	1149	1,14	
10%Sd 90%Lg	1	900	115,7	1079	1,070	1,075
	2	900	115,7	1086	1,078	
	3	900	115,7	1086	1,078	

Tableau 3.21: La porosité et compacité pour le sable de mélange .

Mélanges	porosité	compacité
90 Sd, 10Lg	39,59	60,4
80Sd ,20Lg	42,44	57,55
70Sd ,30 Lg	40,08	59,91
60Sd ,40Lg	48,01	51,98
50Sd ,50 Lg	45,21	54,78
40Sd ,60Lg	42,85	57,14
30Sd ,70Lg	51,54	48,46
20Sd ,80Lg	52,13	47,86
10Sd ,90Lg	54,46	45,59



**Figure 3.9: Courbe la Porosité et la compacité**

**Commentaire :** on remarque que les mélange : ( 80Sd+20Lg , 70Sd+30Lg ,60Sd+40Lg ) sont les plus compact avec une porosité minimale .

Dans notre travail on utilise le mélange : ( 80Sd+20Lg , 70Sd+30Lg ,60Sd+40Lg )

**3.8.1 Caractéristiques de ciment utilisé :**

**3.8.1.1:Caractéristiques chimique de ciment MATINE:**

**Tableau 3.22: analyse chimique de ciment.**

Analyses chimiques	Valeur
Perte au feu (%) (NA5042)	10,0+/- 2
Teneur en Sulfates (SO3) (%)	2,5+/-0,5
Teneur en oxyde de magnesium MgO (%)	1,7+/-0,5
Teneur en chlorures (NA5042) (%)	0,02-0,05

**Tableau 3.23: compositon chimique.**

Composition minéralogique du clinker (Bogue)	Valeur
C <sub>3</sub> S (%)	60-/+ 3
C <sub>3</sub> A (%)	7,5+/- 1

*Tableau 3. 24 : propriété physique.*

<i>Propriétés physiques</i>	<i>Valeur</i>
<i>Consistance Normale (%)</i>	26,5-/+2,0
<i>Finesse suivant la method de Blaine (cm<sup>2</sup>/g) (NA231)</i>	3700-5200
<i>Retrait à 28 jours (µm/m)</i>	<1000
<i>Expansion</i>	≤3,0

<i>Temps de prise à 20 ° (NA 230)</i>	<i>Valeur</i>
<i>Début de prise (min)</i>	150+/-30
<i>Fin de prise (min)</i>	230+/-50

**Tableau 3.25: propriété mécanique.**

<i>Résistance à la compression</i>	<i>Valeur</i>
<i>2 jours (MPA)</i>	≥ 10,0
<i>18 Jours (MPA)</i>	≥42,5



**Figure 3.10 : Ciment MATINE**

*Caractiristiques du laitier granulé :*

*Caractéristiques physiques du laitier granulé :*



**Figure 3.11:** essais de masse volumique absolue du echantillon de laitier granulé, (laboratoire de Lafarge, (Hammam Dallaa – M'silla).

**Tableau 3.26:** caratéristique du laitier granulé ,(laboratoire de Lafarge, (Hammam Dallaa – M'silla).

Caractéristiques	Laitier granulée
Masse volumique absolue (g/cm <sup>3</sup> )	2.628
Masse volumique apprante (g/cm <sup>3</sup> )	1.008
Surface spéciphique (g/cm <sup>3</sup> )	3822

**Tableau 3.27 :** Composition chimique du laitier granulé ,(laboratoire de Lafarge, (Hammam Dallaa – M'silla).

Samplename	Merwinite	Melilite	Bredigite	Quartz	Calcite	Bfs_amorphous
	%	%	%	%	%	%
SLAG	0,96	0,06	3,07	0	1,58	94,32

**Tableau 3.28:**Analyse du laitier granulé ,(laboratoire de Lafarge, (Hammam Dalaa – M'sila).

Code	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	LoI	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	a
stag	39,20	8,22	0,84	42,87	3,40	1,15	0,8	0,18	0,93	0,023

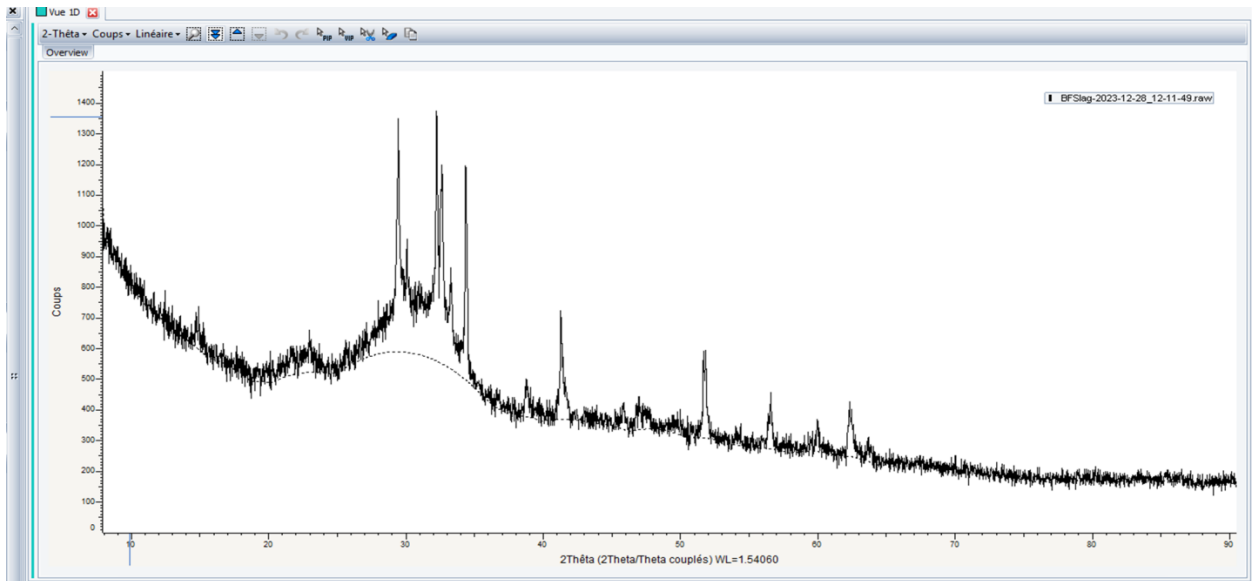


Figure 3.12 : Courbe Diffraction au rayon X du laitier granulé



Figure 3.13 :essai surface spécifique sur laitier granulé, (laboratoire de Lafarge, Hammam Dallah – M'sila).

3.9.1: L'eau de gâchage:

L'eau joue un double rôle en hydratant le ciment, et ce qui est plus crucial, elle favorise son ouverture. Il est important de souligner que les exigences concernant l'eau de gâchage varient considérablement pour les mortiers et le béton. Il est préférable d'avoir un rapport eau-ciment faible pour le béton. 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.

Nous avons employé l'eau provenant du réseau du service public de la ville de M'Sila (Algérie) pour fabriquer les divers mortiers. L'analyse chimique de cette eau a été effectuée au laboratoire de L'Algérienne des eaux et les résultats sont exposés dans

**Tableau :** Analyse physico-chimique de l'eau de gâchage (laboratoire de chimie Msila) le tableau . Ils répondent aux prescriptions de la norme XP P 18-303 et NF EN 1008 (IDC P 18-211), (2003).

Elément	Tc <sup>0</sup>	PH	NO <sup>-3</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sup>-4</sup>	Ca <sup>+2</sup>
Teneur (mg/l)	21.00	7.57	15.00	220.1	272.4	176.00

**3.10.1 Les adjuvants:**

MEDAPLAST SP 40, un adjuvant polymère à base de polymères combinés, est un super plastifiant fourni par l'entreprise GRANITEX (Alger - Algérie). Il est conseillé pour fabriquer des bétons et des mortiers de grande qualité. Outre son rôle principal de super plastifiant, il réduit considérablement la concentration d'eau dans le béton.

L'adjuvant MEDAPLAST SP 40 offre la possibilité d'accroître les capacités mécaniques à long terme. Il convient à tous les types de ciment qui respectent la norme EN 934-2 NA 774.

La recommandation est d'utiliser entre 0,6 % et 2,5 % du poids de ciment [87].

Les caractéristiques physico-chimiques de l'adjuvant « MEDAPLAST SP 40 » sont les suivantes :

- ✓ Aspect..... Liquide
- ✓ Couleur..... Marron
- ✓ PH...8.2
- ✓ Densité.....1.20+0.01
- ✓ Teneur en eau..... <1g/l
- ✓ Extrait sec.....40%

**3.11.1 : Formulation du mortier normal(EN 196-1):**

- Sable = 1350g (+/\_ 5g)
- Ciment = 450 g
- Eau de gâchage = 225 ml

**3.11.1.1: Formulation de notre travail :****Tableau 3.29: composition des différent mortiers (laitier cristallin + sable).**

Formulation	C(g)	S(g)	E(g)	L`C(g)	Adj(%)	AF (cm)	E/C
60%Sd 40%LC	450	810	241,83	540	1,5	3	0,53
50%Sd 50%LC	450	675	263,46	675	1,5	4	0,58
40%Sd 60%LC	450	540	271,56	810	1,5	4	0,60
0%Sd 100%LC	450	0	330	1350	1,5	3	0,73
100%Sd 0%LC	450	1350	225	0	1,5	4	0,5

**Tableau 3.30: composition des différent mortiers (laitier granulé+ sable)**

Formulation	C(g)	S(g)	E(g)	LC(g)	Adj(%)	AF (cm)	E/C
80%Sd20%Lg	450	1080	187,2	270	1,5	3	0,41
70%Sd 30% Lg	450	945	217,76	405	1,5	3	0,47
60%Sd 40%Lg	450	810	218,33	540	1,5	3	0,48
0%Sd 100%Lg	450	0	366,66	1350	1,5	3	0,80
100%Sd 0% Lg	450	1350	225	0	1,5	4	0,5

**Tableau 3.31 : composition des différents mortiers (laitier granulé broyé + Ciment).**

Formulation	C(g)	S(g)	E(g)	LC(g)	Adj(%)	AF (cm)	E/C
80%C,20%Lg	1350	360	90	170,4	1,5	3	0,39
70%C,30%LG	1350	315	135	178,1	1,5	3	0,39
60%C,40%LG	1350	270	180	176,2	1,5	3	0,37

**3.11.2.2:Préparation des éprouvettes**

La préparation des éprouvettes doit suivre le mode opératoire suivant :



Figure 3.14 : Appareillage de confection des éprouvettes (Laboratoire Géo matériaux universités -M'SILA)



Figure 3.15: les éprouvettes des mortiers a l'état humide (Laboratoire Géo matériaux , Universités de M'SILA).

### 3.12.1.: Les essais physico-mécanique:

#### 3.12. 1.1 Mesure des résistances mécaniques :

##### a) Résistance à la flexion:[22]

La résistance à la flexion a été évaluée en utilisant un dispositif appelé «PILOT/CONTROLS» pour observer un dispositif de flexion à trois points.

On effectue les tests de flexion sur l'appareil de flexion en positionnant l'éprouvette symétrique et centrée sur le plateau de la presse hydraulique, puis on applique une charge continue sur l'éprouvette jusqu'à ce qu'elle se brise. L'écran de l'appareil où la lecture est réalisée affiche la charge  $P$  en KN et la résistance à la flexion  $R_f$  en MP [901.]. Les tests sont réalisés en respectant la Norme NF EN 196-1.



**Figure 3.16 : Résistance à la flexion (Laboratoire Géo matériaux , Université -M'SILA)**

### 3.12.3.3. Essai de compression :

On évalue la résistance à la compression des mortiers en utilisant les demi-prismes obtenus après rupture en flexion, en se basant sur la norme EN 196-1 (NF EN 196-1, 2006). Les tests ont été effectués avec la même vitesse de traverse que celle de la flexion sur la même machine (figure 3.23). Les tests à court terme (14, 28, 56, et 90 jours) et à long terme (120, 180, 565, et 900 jours) ont été effectués sur les mortiers d'étude. Les résistances à la compression de six éprouvettes sont moyennes. [28]



**Figure 3.17 :Appareil de compression et de traction (Laboratoire Géo matériaux Université -M'SILA).**

### 3.13.1: Porosité accessible à l'eau [28]

La détermination de la porosité des mortiers a été effectuée par la méthode de pesée hydrostatique, sur trois échantillons pour chaque formulation. La procédure de l'essai est basée sur la méthode (UNE 83980). Les échantillons ont été séchés dans une étuve à une température de 60° C jusqu'à l'obtention d'une masse constante qui représente le poids sec. Pour le poids saturé, les spécimens sont placés dans un récipient avec de l'eau, et bouilli

jusqu'à masse constante (3 heures pour le présent cas). Au final, le poids hydrostatique est obtenu grâce à une balance spéciale (figure 3.27). [28]

On utilise la formule (3.4) pour calculer la porosité:

$$P = \frac{\text{poids saturé} - \text{poids sec}}{\text{poids hydrostatique}} \times 100$$



**Figure 3.18: Essai de la porosité accessible à l'eau (Laboratoire Géo matériaux, Université -M'SILA)**

### **3.5. Conclusion:**

Pendant toutes les étapes de ce travail, le respect du plan du mémoire et des normes en vigueur pour les différents essais réalisés a permis d'améliorer l'organisation de la partie pratique. Cependant, plusieurs facteurs peuvent avoir un impact sur l'étude des propriétés du mortier en laboratoire, car cela demande du temps et des moyens de grande précision pour comparer les différents mortiers.

Cette étude se divise en deux volets distincts pour faciliter la compréhension du sujet. D'abord, les caractéristiques physiques et chimiques des matériaux utilisés, et ensuite, la formulation des différents types de mortier élaborés.

# **CHAPITRE 04**

## **RESULTATS ET DISCUSSIONS**

**4.1. Introduction :**

Pour ce travail de mémoire, les mortiers qui ont été étudiés sont les suivants :

1. Mortier traditionnel.
2. Mortier fabriqué à partir de 100% laitier cristallin.
3. Mortier fabriqué à partir de laitier cristallin et de laitier granulé.
4. Mortier contenant 40% de laitier cristallin et 60% de sable de dune.
5. Mortier composé de 50 % de laitier cristallin et 50 % de sable de dune.
6. Mortier composé de 60% de laitier cristallin et 40% de sable de dune.
7. Mortier composé de granules de laitier (20 %) et de sable de dune (80 %).
8. Mortier composé de granules de laitier (30 %) et de sable de dune (70 %).
9. Mortier composé de granules de laitier (40%) et de sable de dune (60%).
10. Mortier composé de granulés de laitier (20 %) et de ciment de MATINEE (80 %).
11. Le mortier est fabriqué à partir de laitier granulé (30%) et de ciment de MATINEE (70%).
12. Mortier composé de 60% de laitier granulé et 40% de ciment de MATINEE.

Tableau 4.1: Résistance mécanique du mélange de laitier granulé et sable .

Formulation	Conservation à l'eau					
	Résistance Mécanique (MPa)					
	7j		14 j		28 j	
	Flexion	Compression	Flexion	Compression	Flexion	Compression
100% Sd, 0% Lg	6,83	37,53	7,99	51,85	8,97	59,39
80% Sd, 20%Lg	5,63	20,97	7,43	42,51	7,83	52,91
70% Sd, 30% Lg	6,03	29,01	6,38	39,06	7,93	25,31
60% Sd, 40% Lg	6,43	34,55	6,31	35,7	8,09	37,61
0% Sd, 100% Lg	4,66	17,29	4,03	19,84	4,36	24,01

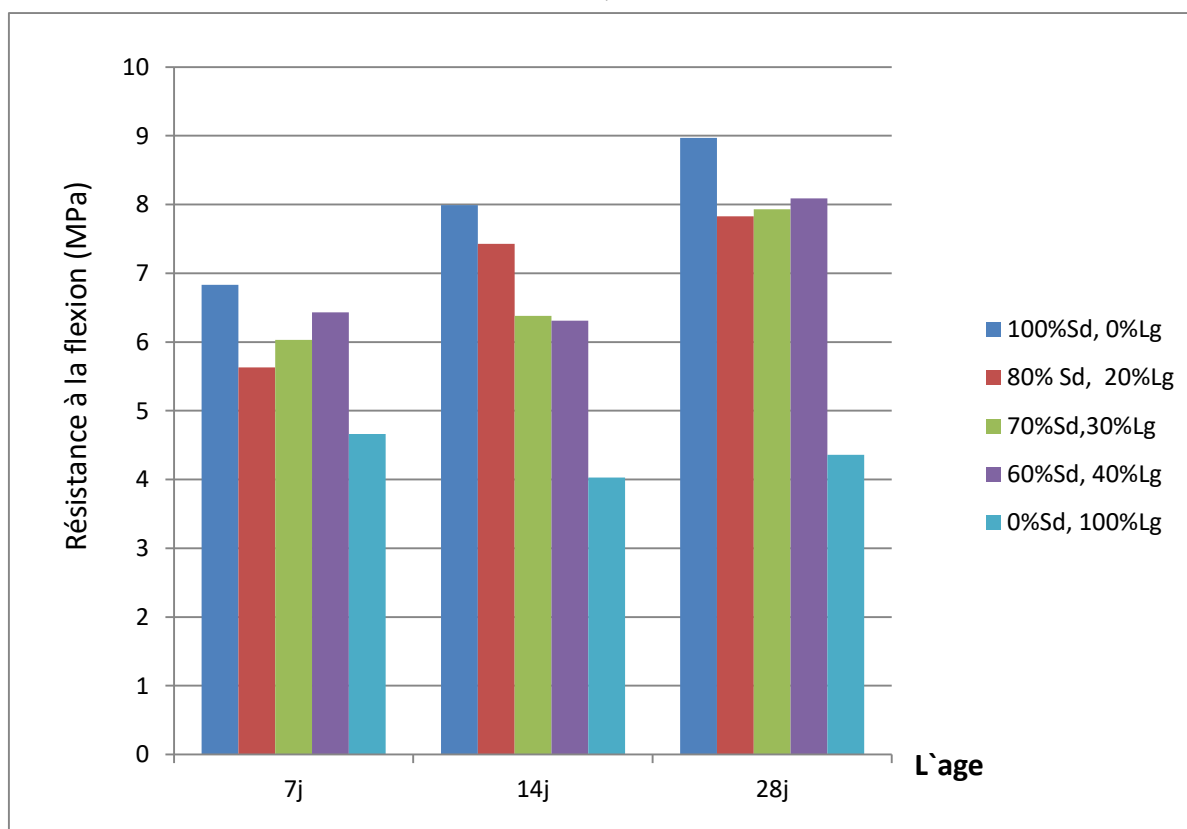


Figure 4.1 : Courbe résistance à la flexion des mélanges.

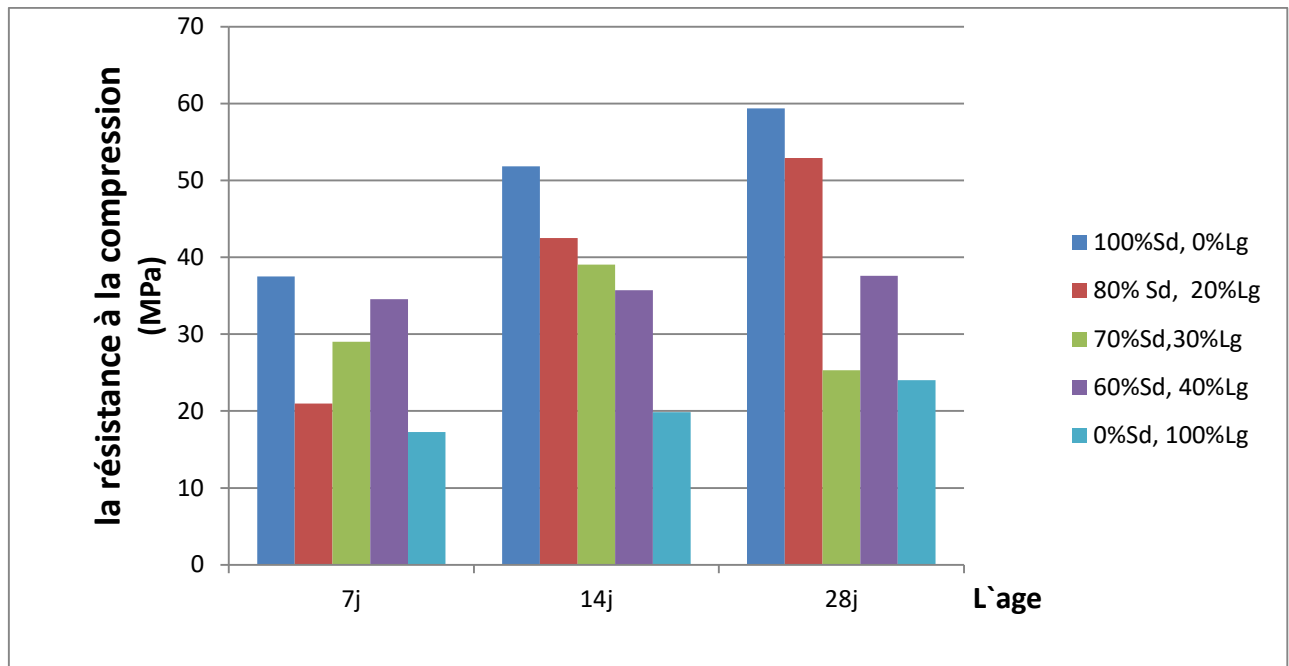
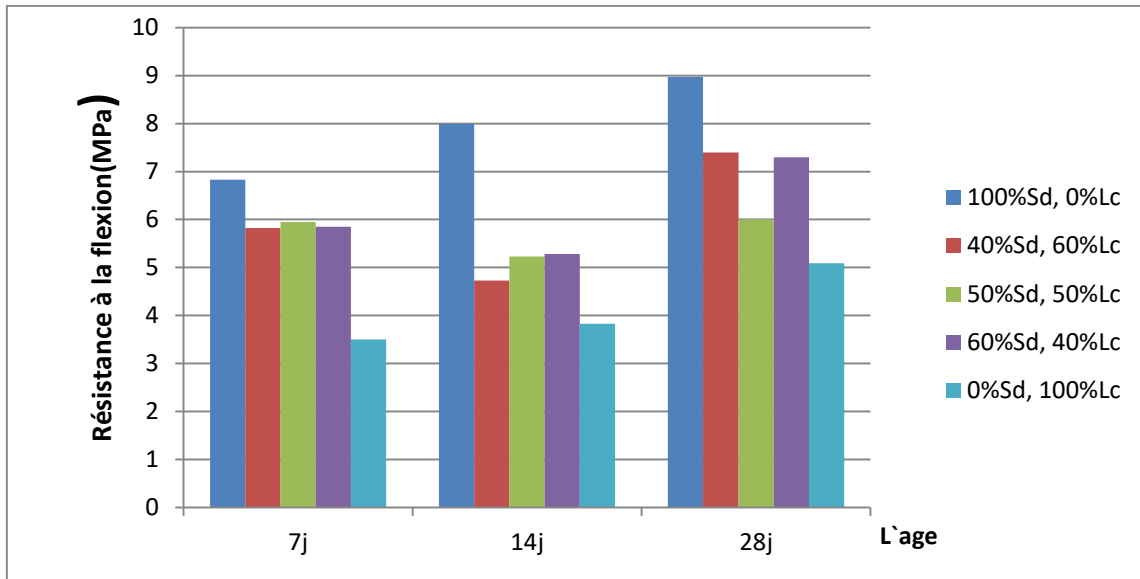


Figure 4.2 : Courbe la résistance à la compression des mélanges

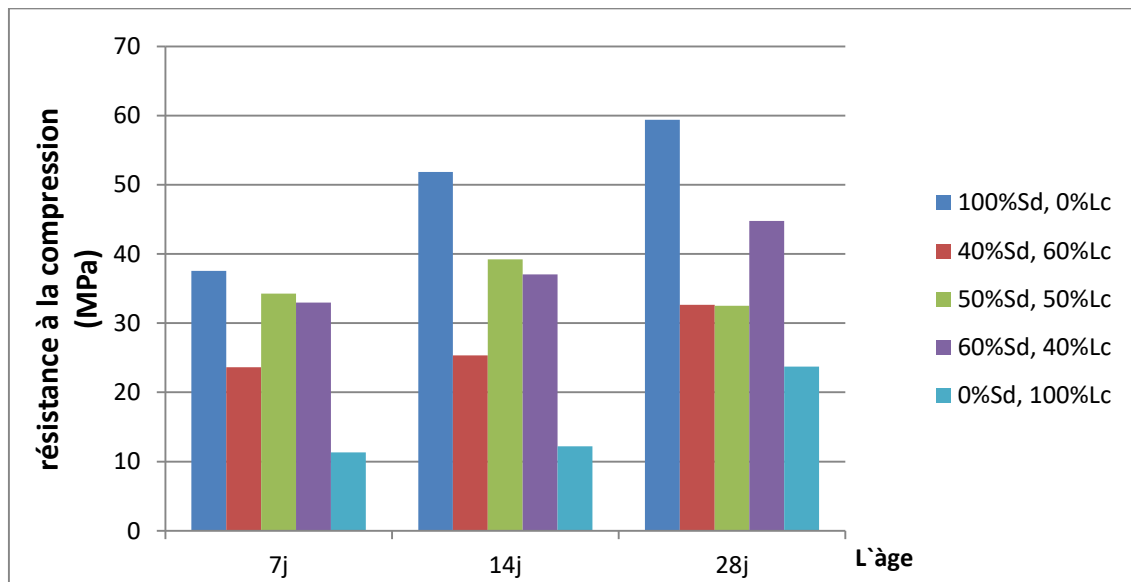
La résistance mécanique en compression et en flexion des mortiers est notablement améliorée , elle atteint des valeurs très appréciables. Pour le mortier à base de sable de Djamaa à 80%laitier granulée , à l’âge de 28 jours, la résistance à la compression atteint une valeur de 52.91Mpa, et 7.83 MPA en flexion.

Tableau 04.02: Résistance mécanique du mélange de laitier cristallisé et sable :

Formulation	Conservation à l'eau					
	Résistance Mécanique (MPa)					
	7j		14j		28j	
	Flexion	Compression	Flexion	Compression	Flexion	Compression
100%Sd, 0%Lc	6,83	37,53	7,99	51,85	8,97	59,39
40%Sd, 60%Lc	5,82	23,63	4,73	25,33	7,40	32,65
50%Sd, 50%Lc	5,95	34,28	5,23	39,24	6,00	32,53
60%Sd, 40%Lc	5,85	32,97	5,28	37,05	7,30	44,78
0%Sd, 100%Lc	3,50	11,31	3,83	12,21	5,09	23,72



**Figure 4.3 : Courbe résistance à la flexion des mélanges**



**Figure 4.4 : Courbe la résistaance à la compression des mélanges**

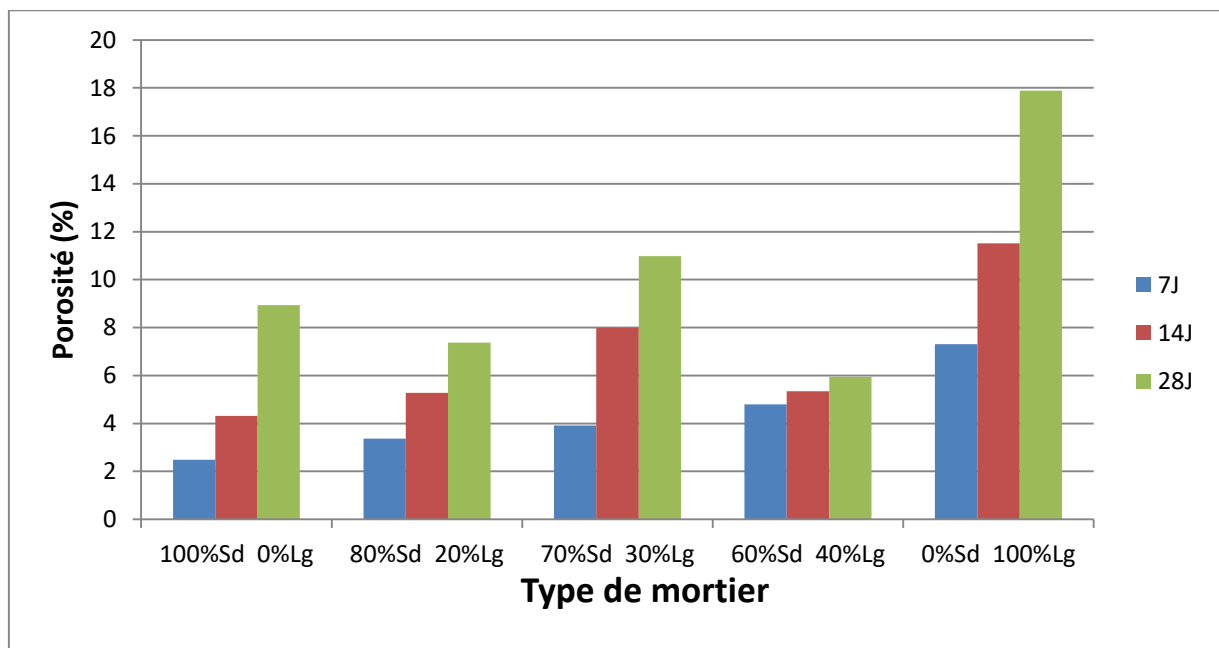
La résistance mécanique en compression et en flexion des mortiers est notablement améliorée elle atteint des valeurs très appréciables. Pour le mortier à base de sable de oude Djamaa à 60 % et 40 % laitier cristallin, à l'âge de 28 jours, la résistance à la compression atteint une valeur de 44.78 MPa, et 7.30 MPa en flexion.

**Tableau 04.03 : Résistance mécanique du mélange de laitier granulé et ciment** résistance mécanique du mélange de laitier granulé et ciment :

Formulation	Conservation à l'eau	
	Résistance Mécanique (Mpa)	
	28J	
	Flexion	Compression
80%C ,20% Lg	4,28	41.16
70%C ,30% Lg	4,46	39.86
60%C ,40% Lg	6,14	23,12

**Tableau 04.04 : Porosité mélange du laitier granulé et sable**

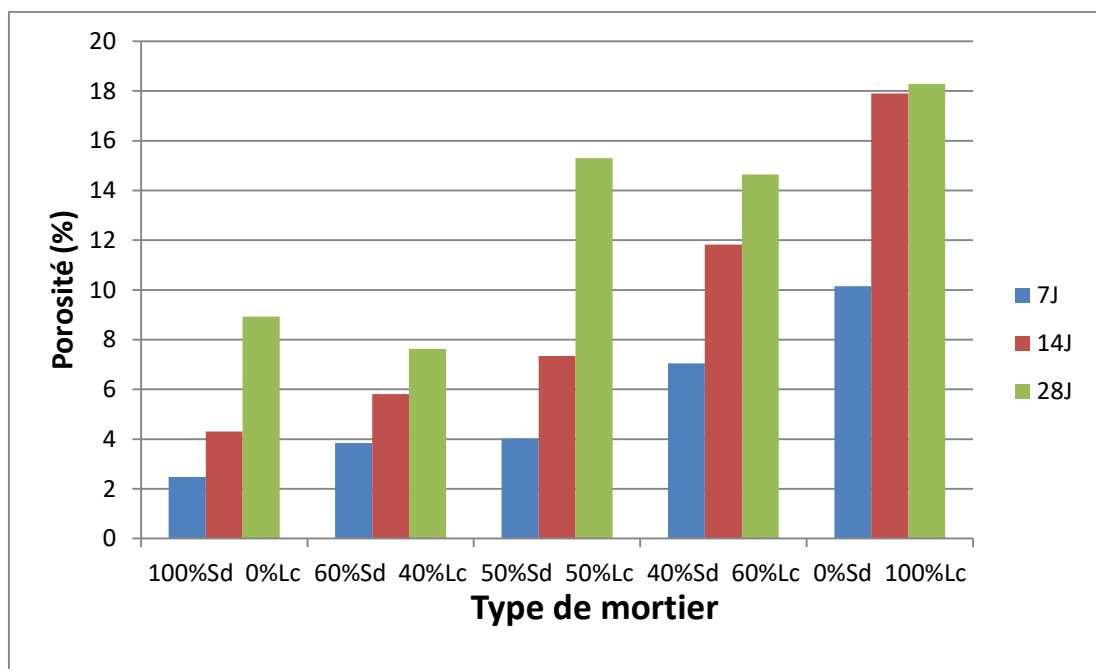
Formulation	Conservation à l'eau		
	La porosité accessible à l'eau %		
	7j	14j	28j
100% Sd, 0% Lg	2,48%	4.31%	8.93%
80% Sd, 20% Lg	3.37%	5.28%	7.37%
70% Sd, 30% Lg	3.92%	7,99%	10,98%
60% Sd, 40% Lg	4.80%	5.34%	5.94%
0% Sd, 100% Lg	7,30%	11,52%	17,88%



**Figure 4.5 : Porosité des mélanges**

**Tableau 04.05 : La porosité du mélange entre laitier cristallin et sable .**

Formulation	Conservation à l'eau		
	La porosité accessible à l'eau %		
	7J	14J	28J
100%S, 0%Lc	2,48	4.31.	8.93
60%Sd, 40%L c	3,84	5,81	7,63
50%Sd, 50%Lc	4.02	7.34	15,3
40%Sd, 60%Lc	7,05	11,82	14,64
0%Sd, 100%Lc	10,15	17.90	18,29



**Figure 4.6 : Porosité des mélanges de laitier cristallin et sable.**

**Tableau 04.06 : La porosité dumélange entre laitier granulé et Ciment .**

Formulation	Conservation à l'eau
	La porosité accessible à l'eau %
	28 J
80%C 20%Lg	7,52%
70%C 30%Lg	8,55%
60%C 40%Lg	11,79%

La baisse de porosité engendrée par l'ajout de laitier cristallisé et laitier granulé est suivi par une amélioration De la résistance mécanique en compression et en flexion. Le mortier 60Sd,40 Lg pour laitier cristallin et 80Sd 20Lg pour laitier granulé présentent la plus faible Porosité donne Des meilleurs résultats.

**Conclusion**

Le chapitre 4 est consacré aux résultats et analyses obtenus au cours de cette Étude ainsi. Il présente un intérêt physio – mécaniques à la fois pour le laitier cristallisé et laitier granulé. Les résultats confirment l'intérêt de l'ajout de laitier cristallisé et laitier granulé et son effet sur les mortiers .

# **Conclusion générale**

## **Conclusion Générale**

---

### **Conclusion générale :**

Les résultats obtenus nous permet de tirer les conclusions suivantes

1. Le mortier à base de 20 % de laitier granulé et 80 % sable Djamaa donne les meilleurs caractéristiques mécaniques ( à la compression et à la flexion ) par rapport aux mortiers qui contiennent 30 et 40 % de laitier granulé.
2. Le mortier à base de 40 % de sable laitier cristallisé et 60 % sable Djamaa donne les meilleurs caractéristiques mécaniques ( à la compression et à la flexion ) par rapport aux mortiers qui contiennent 50 et 60 % de laitier granulé.
3. Le mortier à base de 20 % de laitier granulé donne les meilleurs caractéristiques mécaniques ( à la compression et à la flexion ) par rapport aux mortiers de qui contiennent 40, 60 et 80 % de laitier granulé.
4. Le mortier à base de 20 % de laitier granulé broyé et Ciment donne les meilleurs caractéristiques mécaniques ( à la compression et à la flexion ) par rapport aux mortiers qui contiennent 30 et 40% De laitier granulé broyé.
5. La baisse de porosité engendrer par l'ajout de laitier cristallisé et laitier granulé est suivi par une amélioration De la résistance mécanique en compression et en flexion. Le mortier 60Sd, 40Lg pour laitier cristallin et 80Sd 20Lg pour laitier granulé présentent la plus faible Porosité donne Des meilleurs résultats.

En résumé, l'ajout soigneusement de certains déchets miniers bien identifiés peut être avantageux pour améliorer les performances des mortiers, tout en valorisant ces déchets et en diminuant l'impact environnemental du ciment.

## Conclusion Générale

---

### Perspectives:

Des observations et des analyses pouvant aider à développer cette recherche dans le domaine du recyclage en intégrant des matériaux recyclés tels que les déchets. Ainsi, le travail sera complété par:

- Etude la durabilité d'un mortier à base de 40% laitier cristallisé et 20 % laitier granulé.
- Etude de l'effet du traitement chimique d'un mélange déchet de laitier granulé broyé.

**Références  
bibliographiques**

## Références bibliographiques

---

- [1] Chaabane, L. A., & Sebaibi, Y. (2015). Influence des conditions environnementales et mécaniques sur le mortier de jeune âge. *Journal of Renewable Energies*, 18(3), 429-437.
- [2] Saidi Khadidja .Etude d'un mortier au laitier granulé renforcé par des fibres De jute, Mémoire présenté pour l'obtention Du diplôme de Master Académique UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF – M'SILA, Année universitaire 2016 /2017.
- [3] Gharib, T. (2015). Renforcement des structures historiques en maçonnerie par matériaux composites: application aux murs en pierres calcaires (Doctoral dissertation, Université Claude Bernard-Lyon I).
- [4] NIGRI, G. (2018). Nouvelle élaboration d'un liant hydraulique (Doctoral dissertation).
- [5] Amira, A. (1955). Contribution à l'élaboration et la caractérisation d'un Eco-mortier d'enduit à base de chaux et déchets de briques pour la réhabilitation du vieux bâti. Université du, 20.
- [6] Ouahbi, F., & Ouahbi, R. Étude des propriétés mécaniques d'un mortier à base de déchet de béton et du verre réutilise (Doctoral dissertation, Université Kasdi Merbah Ouargla)..
- [7] Ouedraogo, K. A. J. (2019). Stabilisation de matériaux de construction durables et écologiques à base de terre crue par des liants organiques et/ou minéraux à faibles impacts environnementaux (Doctoral dissertation, Université Paul Sabatier-Toulouse III).
- [8] BENLAHRACHE, B., & CHENINE, A. Z. raitement chimique d'un mélange tuf/déchet de brique broyés (Doctoral dissertation, UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA)..
- [9] RAJAEADDOU, Kinda Hannawi Salmo, AGBODJAN, William Prince, et ZENASNI, Mohamed. Impact des déchets stériles de charbon en tant qu'ajouts sur les propriétés physiques des mortiers.
- [10] Debray, B. (1997). Systèmes d'aide à la décision pour le traitement des déchets industriels spéciaux (Doctoral dissertation, INSA de Lyon).
- [11] Imane, Z. S. (2023). Contribution à l'étude d'un enrichissement des déchets miniers: cas des stériles francs du gisement de phosphate de Djebel Onk-Tébessa (Doctoral dissertation, Université Badji Mokhtar–Annaba).
- [12] Samir BOUAZIZ, Ali SDIRI and Amjad KALLEL .Georessources & New Geological Data ,Volume I.Hammamet-Tunisia, 17 – 20 May 2013.
- [13] Bourgès-Gastaud, S., Touze-Foltz, N., & Durkheim, Y. (2013, April). Perspectives d'utilisation des géocomposites dans l'industrie minière. In 9èmes Rencontres Géosynthétiques (pp. 10-p).
- [14] Pascal Charbonneau .Essai présenté au Centre universitaire de formation en environnement et développement durable. En vue de l'obtention du grade de maître en environnement, (M. Env.) Sous la direction de Monsieur Jean Laperrière .MAÎTRISE EN ENVIRONNEMENT UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE. Juin 2014.

## Références bibliographiques

---

- [15] Dreux G., Festa J., Nouveau guide du béton et de ses constituants, Huitième édition, Eyrolles, France, 1998.
- [16] Hadj Sadok, A. (2011). Comportement des mortiers et bétons à base de ciments au laitier d'el Hadjar dans des milieux agressifs (Doctoral dissertation, Blida).
- [17] Zeghichi, L., Mezghiche, B., & Merzougui, A. (2007). L'INFLUENCE DE L'ACTIVATION DU LAITIER SUR LE COMPORTEMENT MECANIQUE DES. Lebanese science journal, 8(2), 105.
- [18] MALASSINGNE, O., COULON, H., PREVOT, G., & ROUXEL, N. Utilisation des laitiers sidérurgiques dans les ouvrages portuaires et maritimes.
- [19] Cherfa, H., & Mokhtar, K. A. Utilisation de granulats de laitier cristallisé comme matériau de construction en technique routière. XXIXe Rencontres Universitaires de Génie Civil. Tlemcen, 29, 128-137.
- [20] de Veslud, C. L. C., Dieudonné-Glad, N., & Ploquin, A. (1998). Des laitiers obtenus dans un bas fourneau? Étude chimique et minéralogique des scories d'Oulches (Indre). Archeosciences, revue d'Archéométrie, (22), 91-101.
- [21] Ali-Boucetta, T., Behim, M., Laifa, W., & Lambare, G. (2012, November). Influence de la réactivité des additions sur les propriétés des bétons autoplaçants. In Annales du bâtiment et des travaux publics (Vol. 5, pp. 6-15). Editions ESKA.
- [22] ALLAL Meftah, BERBICHE Younes .Propriétés et durabilité des pâtes de laitier Cristallin dans les milieux agressifs, diplôme de Master Académique .UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF – M'SILA .Année universitaire : 2019 /2020.
- [23] Zemouli, S., & Chelghoum, N. (2018). Utilisation du laitier granulé broyé des hauts fourneaux dans la stabilisation des sols. Synthèse: Revue des Sciences et de la Technologie, 36, 103-114.
- [24] RIAD. Derabla1 , MOHAMED Larbi Benmalek2 .PROPRIETES PHYSICO – MECANQUES DE CIMENTS ET MORTIERS ELABORES A BASE DE SOUSPRODUITS DES HAUTS FOURNEAUX DU COMPLEXE SIDERURGIQUE D'EL HADJAR (ALGERIE) .Département de Génie civil, université 20 Aout 55 Skikda, Algérie 2 Département de Génie civil, université 8 Mai 45 Guelma, Algérie .9-11 février 2007 – Tunisie.
- [25] Naceri, A., & Messaoudene, I. (2006). Effet de l'activation mécanique du laitier de haut fourneau sur le comportement mécanique du mortier. Lebanese Science Journal, 7(2), 85-96.
- [26] Telmat, D. E., Cherfa, H., & Mokhtar, K. A. (2013, August). Étude d'un matériau routier composé de laitier de haut fourneau et de sable de dune. In CFM 2013-21ème Congrès Français de Mécanique. AFM, Maison de la Mécanique, 39/41 rue Louis Blanc-92400 Courbevoie.

## Références bibliographiques

---

[27] Bisulandu, B. J. R. M., & Marias, F. (2019). Modélisation de la chimie du clinker et de l'ingénierie du processus de fabrication du ciment: Etat de l'art. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 25(2), 528.

[28] Taha, Y. (2017). Valorisation des rejets miniers dans la fabrication de briques cuites: Évaluations technique et environnementale (Doctoral dissertation, Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue).

[29] Munoz, M. E., & Santamaria, A. Utilisation d'une grave traitée au laitier de haut fourneau pour les couches de chaussée Cherfa H, Ait Mokhtar K. Séminaire International, INNOVATION & VALORISATION EN GENIE CIVIL & MATERIAUX DE CONSTRUCTION, Tunis, 3 Nov 2022.

# **Annexes**



ALGÉRIE

**ماتين**  
**MATINE**

50kg



### **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.









## Annexes

### 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 (cm <sup>2</sup> /g) (NA231)	3 700 - 5 200
Retrait à 28 jours (µm/m)	< 1 000
Expansion (mm)	≤ 3.0

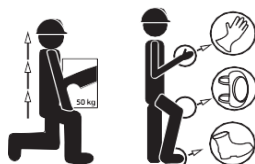
### CONSIGNES DE SÉCURITÉ

Conditionnement: Sac et vrac

**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 SOUAKRI



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

**LAFARGE**  
لافارج

# MEDAPLAST HP

Conforme à la norme NFP 18-502

Ajout à base de micro silice

## DESCRIPTION

Le **MEDAPLAST HP** est un ajout en poudre pour confection de bétons à hautes performances (BHP). Il permet :

- D'obtenir des bétons durables à résistances mécaniques élevées
- D'obtenir des bétons résistants aux agressions chimiques et atmosphériques

## DOMAINES D'APPLICATION

- Bétons à hautes performances
- Autoroutes, pistes d'aéroport
- Ouvrages d'art, ouvrages hydrauliques
- Bétons très sollicités
- Bétons soumis aux impacts et aux chocs
- Bétons soumis à des milieux agressifs
- Sols industriels
- Silos

## PROPRIÉTÉS

Grâce à ses propriétés le **MEDAPLAST HP** permet :

### Sur béton frais :

- Améliorer la cohésion
- Éviter le ressuage et la ségrégation

### Sur béton durci :

- Augmenter les résistances mécaniques
- Obtenir des bétons possédant une excellente imperméabilité
- Augmenter la résistance à l'érosion et à l'abrasion
- Obtenir des bétons résistants aux agressions chimiques
- Augmenter la durabilité du béton

L'ajout d'un superplastifiant est recommandé (**MEDAPLAST SP, SP40**) afin d'améliorer la fluidité du béton et de diminuer le rapport E/C. Le béton obtenu, une fois appliqué, ne présente aucun ressuage.

## CARACTÉRISTIQUES

- Aspect ..... Poudre
- Densité ..... 0,5
- Densité absolue .....  $2,3 \pm 0,1$
- Composants :
  - SiO<sub>2</sub> ..... > 85(%)
  - SO<sub>3</sub> ..... < 2,5 (%)
  - Cl- ..... < 0,2 (%)
- Surface spécifique ..... > 15 (m<sup>2</sup>/gr)
- Humidité par étuve à 105°C ..... < 1 (%)
- Taille des particules ..... < 0,1 (microns)

## MODE D'EMPLOI

Le **MEDAPLAST HP** est mélangé à sec avec les composants du béton, avant l'ajout de l'eau de gâchage, pendant 1 minute au moins. Après ajout de l'eau de gâchage mélanger encore pendant 2 minutes au minimum.

Malaxer ensuite jusqu'à homogénéisation du béton.

Il est nécessaire de procéder à une cure de plusieurs jours du béton obtenu (**MEDACURE**) surtout par temps chaud ou en présence de vents.

### DOSAGE

Le dosage du **MEDAPLAST HP** varie de 5 à 10% du poids du ciment. Ce dosage dépend des performances recherchées.

## CONDITIONNEMENT ET STOCKAGE

Le **MEDAPLAST HP** est conditionné en sacs de 2 kg et 25 kg . Disponible aussi en Bigbag.

Délai de conservation :

Une année dans son emballage d'origine, à l'abri du gel et de la chaleur.

## PRÉCAUTION 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)

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 convenue pour déterminer la fourchette d'utilisation tenant compte des conditions réelles de chantier.

