

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université de RELIZANE  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
Département : Génie Civil et Travaux Publics



**MÉMOIRE DE MASTER**

**En vue de l'obtention du diplôme-projet d'entreprise**

**(Conformément aux dispositions dans le cadre de la décision n° 008  
modifiant et complétant la résolution n° 1275 du 27 septembre 2022) :**

**Diplôme – Startup En Génie Civil**

**Option : Structure**

**Intitulé**

**Étude de l'influence de l'ajout de la poudre de verre sur le comportement  
des mortiers**

**Présenté par :**

Mr : Touahria Lakhdar yassine

Mr : Belmiloud Laid

**Devant les membres de jury :**

**Président :** Dr Ait Mohamed Amer Adem

Maître de conférences (A) (U. Relizane)

**Encadreur :** Dr SAFER Omar

Maître de conférences (A) (U. Relizane)

**Co-Encadreur :** Dr DAHMANE Mouloud

Maître de conférences (B) (ENSH-Blida)

**Examineur :** Dr CHAIB Ouaddah

Maître de conférences (A) (U. Relizane)

**Représentant de l'incubateur :** Dr BELGACEM Souad Maître de conférences (B) (U. Relizane)

**Année universitaire :2024/2025**

# Dédicaces

**Louange à Dieu, par sa grâce les œuvres accomplies  
trouvent leur perfection.**

À ceux qui, après Dieu, furent la source de cet  
accomplissement:

À ma mère et à mon père, vos prières furent la lumière de  
ma réussite.

Je demande à Dieu que ce diplôme soit le commencement  
d'un avenir rempli de bien et de bénédiction.

# Remerciement

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à tous ceux qui ont contribué à la réalisation de ce mémoire, en particulier à Dr **Safer Omar** pour son encadrement scientifique et ses précieuses orientations.

J'adresse également mes sincères remerciements à Monsieur **Ahmed Ameer Messafah**, dont le soutien et l'encouragement ont été d'un grand appui tout au long de ce travail, notamment dans les moments difficiles.

Je ne saurais oublier d'exprimer ma reconnaissance au **Laboratoire de Génie Civil de Relizane** pour les moyens et équipements mis à ma disposition, qui ont grandement facilité la partie expérimentale de ce projet, ainsi qu'au **Laboratoire de Génie Civil de l'École Nationale Polytechnique d'Oran** pour sa contribution efficace et sa collaboration constructive.

# Résumé

L'utilisation des déchets recyclés dans la fabrication des matériaux de construction constitue une solution durable visant à réduire l'impact environnemental et à promouvoir l'économie circulaire. Parmi ces déchets, le verre est un matériau pouvant être réutilisé efficacement, notamment dans la préparation du mortier.

Ce travail se concentre sur l'étude de la possibilité de remplacer une partie du sable naturel dans le mortier par de la poudre de verre recyclé, selon différents pourcentages (0%, 10%, 15%, 20%). Ce remplacement vise à réduire la consommation des ressources naturelles d'une part, et à valoriser les déchets de verre d'autre part.

Plusieurs propriétés physiques et mécaniques des mortiers préparés ont été évaluées, aussi bien à l'état frais (comme la maniabilité et la densité) qu'à l'état durci (telles que la résistance à la compression, le retrait et l'absorption d'eau). Les résultats ont montré que l'incorporation d'une certaine proportion de poudre de verre peut améliorer certaines propriétés sans affecter significativement la performance globale, mettant ainsi en évidence son potentiel en tant que substitut partiel du sable dans la fabrication du mortier.

**Mots clés :** Déchets recyclés, Poudre de verre, Mortiers.

## الملخص

يُعتبر التوجه نحو استخدام النفايات المعاد تدويرها في صناعة مواد البناء من بين الحلول المستدامة التي تهدف إلى تقليل التأثير البيئي وتحقيق اقتصاد دائري. ومن بين هذه النفايات، يُعد الزجاج من المواد القابلة لإعادة الاستخدام بفعالية، خاصة في مجال تحضير الملاط.

يركز هذا العمل على دراسة إمكانية استبدال جزء من الرمل الطبيعي في الملاط بمسحوق الزجاج المعاد تدويره، وذلك بنسب مختلفة (20% 15% 10% 0%) يهدف هذا الاستبدال إلى تقليل استهلاك الموارد الطبيعية من جهة، والتخلص من نفايات الزجاج بطريقة مفيدة من جهة أخرى.

تم تقييم مجموعة من الخصائص الفيزيائية والميكانيكية لعجائن الملاط المحضرة، سواء في الحالة الطازجة (مثل قابلية التشغيل والكثافة (أو في الحالة الصلبة) مثل مقاومة الضغط والانكماش وامتصاص الماء. (وقد أظهرت النتائج أن إدماج مسحوق الزجاج بنسبة معينة يمكن أن يحسن من بعض الخصائص دون التأثير السلبي الكبير على الأداء العام، مما يُبرز إمكانية كبديل جزئي للرمل في تصنيع ملاط البناء.

**الكلمات المفتاحية:** النفايات المعاد تدويرها، مسحوق الزجاج، الملاط

# Abstract

The use of recycled waste in the production of construction materials represents a sustainable solution aimed at reducing environmental impact and promoting a circular economy. Among these wastes, glass is a material that can be effectively reused, particularly in mortar preparation.

This study focuses on the possibility of replacing a portion of natural sand in mortar with recycled glass powder at various percentages (0%, 10%, 15%, 20%). This substitution aims to reduce the consumption of natural resources on one hand, and to add value to glass waste on the other.

Several physical and mechanical properties of the prepared mortars were evaluated, both in the fresh state (such as workability and density) and in the hardened state (such as compressive strength, shrinkage, and water absorption). The results showed that incorporating a certain proportion of glass powder can improve some properties without significantly affecting overall performance, thus highlighting its potential as a partial substitute for sand in mortar production.

**Keywords:** valorization, glass waste, concrete, substitution, mechanical properties.

## Table des matières

الملخص

LISTE DES FIGURES.....	
LISTE DES TABLEAUX.....	
<b>1ème Chapitre:</b> .....	1
I.1 Introduction: .....	1
I.2-L’objectif principal de cette recherche est d’explorer la valorisation des déchet de verre dans la fabrication de béton armé, une démarche qui vise: .....	1
I.3 Domaines d’application du béton .....	1
I.3.1 Caractéristiques: .....	2
I.3.2 Définition de déchets .....	3
II MORTIER .....	4
II.1 Utilisations du mortier de construction :.....	4
II1.1 Les différents mortiers dont vous pourriez avoir besoin .....	5
III Le ciment: .....	7
III.1 Historique du ciment .....	7
III.2 Origine et évolution .....	7
III.3Composition du ciment .....	8
III.4Rôle de l’argile et du sable .....	8
III.5Durcissement et résistance .....	8
Importance du ciment dans la construction .....	10
IV Le sable: .....	11
IV.1 Définition: Le sable .....	11
IV.2 Eau de gâchage: .....	12
IV.3 Valorisation et recyclage des déchets dans le domaine de génie civil: .....	12
V.1 Recyclage des déchets:.....	12
a) Impacts du recyclage sur l’environnement .....	12
b) Procédés du recyclage: .....	13
V.2. Valorisation des déchets de démolition: .....	13
VI Les avantages économiques et environnementaux: .....	13
VI 1 Utilisation de verre dans le domaine de génie civil. ....	13
VI 2 Définition de verre: .....	13
VI.2.1Composants du verre ordinaire:.....	14
VI.2.2. Les différents types de verre: .....	14
VI.3Caractéristiques de la poudre de verre: .....	14
VI.3.1Utilisations de la poudre de verre: .....	14
VI.3.2 Valorisations de poudre de verre dans génie civil .....	15
VI.3.3 Poudre de verre:.....	15
I.5.2 Principales matières premières du verre .....	15
I.5.4 Classification de verre .....	16
Recyclage du verre en Algérie: .....	19
<b>- Conclusion :</b> .....	19

## 2ème Chapitre:

<b>Matériaux et Essais</b> .....	20
II- interdiction : .....	20
II.-Méthodes et Matériaux .....	20
III1. Les matériaux utilisés: .....	20
III2- Equivalent De Sable .....	22
II.3 Essais sur ciment... ..	25
II.3.1 Masse volumique .....	25
II.3.2 La masse volumique absolue .....	26
II.3.3La masse volumique absolue est:.....	26
III.4.Analyse Granulométrique Par Tamisage .....	26
III.5préparation de poudre de verre : .....	30
III.5.1 l'essai Los Angeles: .....	30
III.5.2.Essai sur mortie.....	33
III.5.4Malaxage du mortier: .....	34
III.5.5 Essai au maniabilimètre (NF P 18-452 / EN 413-2).....	37
III5.6 L'appareil utilisé.....	37
IV PREPARATION DES EPROUVETTES ET DEROULEMENT DES ESSAIS .....	38
IV.2.Les compositions utilisé.....	39
IV 2.1 Vitesse de propagation d'ondes ultrasoniques .....	39
IV.2.2Résistance à la flexion.....	40
IV.2.3Résistance à la compression: .....	41
<b>Conclusion :</b> .....	<b>42</b>

## 3ème Chapitre:

<b>RESULTATS EXPERIMENTAUX ET ANALYSES</b> .....	<b>42</b>
I Introduction: .....	43
II.2 Résistances mécaniques des mortiers .....	43
II2.2 Résistance à la compression: .....	43
II.2.1 Résistance à la flexion .....	43
II.1Vitesse de propagation d'onde sonique .....	46
<b>Coclusion general</b> .....	<b>47</b>

**Les figures**



<b>FigureII19</b> : Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion. ....	40
<b>FigureII 20</b> : Résistance à la flexion .....	40
<b>Figure 21</b> : Dispositif de rupture en compression. ....	41
<b>FigureII22</b> L éssai de la compression.....	42

### **3ème Chapitre:**

<b>FigureIII.1.</b> –Effet de l’incorporation de GW% sur la résistance à la compression.....	43
<b>FigureIII.2.</b> –Effet de l’incorporation de GW% sur la résistance à la flexion.....	44
<b>Figure.III.3</b> diagramede ultration .....	50

### **Les tableaux**

#### **Chapitre I**

<b>Tableau. I.1:</b> Composition chimique en oxydes d’un ciment ordinaire et notation cimenterie. [3].....	7
<b>Tableau III.1:</b> Composition minéralogique du clinker .....	21
<b>Tableau III.2:</b> Analyses chimique.....	21
<b>Tableau III.3:</b> Propriétés physique.....	21
<b>Tableau III.5:</b> Résistance à la compression.....	21
<b>Tableau III.4:</b> Temps de prise à 20° .....	22
<b>Tableau II.2:</b> classification des sables selon l’essai E.S .....	24
<b>Tableau II.2</b> Les dimensions nominales normalisées des tamis sont les suivantes.....	27
<b>Tableau(II.2)</b> .Les composition utilisé pour le mortier.....	39

#### **Chapitre 3**

<b>Tableau III.1.</b> Valeurs de Résistance à la compression.....	43
<b>Tableau III.2.</b> Valeurs de Résistance à la flexion.....	44
<b>TableuIII.3</b> :Valeurs des vitesses ultrasonique des différents mortier.....	49

**1**ème Chapitre:

# **RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE**

## **I.1 Introduction :**

Le mortier est un matériau de base en construction, connu pour sa maniabilité et sa résistance. Afin de préserver les ressources naturelles, l'utilisation de poudre de verre recyclé comme substitut partiel du sable présente une solution durable et écologique.

## **I.2-L'objectif principal de cette recherche est d'explorer la valorisation des déchets de verre dans la fabrication de béton armé, une démarche qui vise :**

À réduire l'impact environnemental par le recyclage de ces résidus ;

À promouvoir une approche durable dans l'industrie de la construction.

Ce chapitre propose une synthèse bibliographique des travaux antérieurs portant sur les propriétés des mortiers, la gestion des déchets de béton, et l'utilisation du verre comme matériau alternatif.

## **I.3 Domaines d'application du béton**

### **Principaux domaines d'utilisation du béton**

#### **1. Utilisation du béton dans la construction des barrages**

Ses propriétés telles que sa résistance et son poids élevés en font un matériau plus approprié pour la construction de barrages. Les barrages servent à stocker l'eau et à produire de l'électricité. Les charges imposées au barrage par la pression de l'eau sont très intenses, ce qui fait du béton un matériau adapté à la construction de barrages.

#### **2. Utilisation du béton dans les bâtiments résidentiels**

Le béton est utilisé pour la construction de petits bâtiments, de villas et même d'immeubles de grande hauteur, dont il constitue le squelette depuis les fondations jusqu'aux dalles et, bien sûr, aux colonnes et aux poutres.

#### **3. Utilisation du béton dans les bâtiments commerciaux**

L'utilisation du béton dans les bâtiments commerciaux le rend plus sûr que la plupart des autres matériaux de construction. Il est souvent plus économique que les bâtiments en acier et nécessite moins d'entretien. Il est plus facile de contrôler le transfert de chaleur de l'intérieur vers l'extérieur et vice versa, ce qui permet de réduire l'énergie consommée.

#### **4. Utilisation du béton dans la construction des Routes ou allées**

Les rues, trottoirs et allées en béton sont plus durables et plus solides que les routes en asphalte. La longue durée de vie et le peu d'entretien requis pour les routes en béton en font le premier matériau à choisir pour la construction de routes et d'allées.

## **5. Utilisation du béton dans la construction de structures marines**

Le béton est largement utilisé comme matériau de construction pour les digues, jetées, épis, brise-lames, cloisons et autres structures exposées à l'eau de mer. Ses performances sont généralement bonnes.

## **6. Utilisation du béton dans la construction de ponceaux et de canalisations**

Les travaux d'assainissement et de construction souterraine nécessitent des matériaux de construction solides et durables, et le béton est idéal pour cela. Les ponceaux, les piliers, les fondations et les culées sont fabriqués à l'aide d'un mélange de béton spécial.

## **7. Utilisation du béton dans les fondations**

Les fondations des bâtiments hauts ou bas sont généralement construites en béton armé car il est durable et possède une grande capacité de charge. Nous avons mentionné le béton armé dans nos articles précédents.

## **8. Les Clôtures**

Le développement de l'industrie du béton préfabriqué a également développé l'industrie des clôtures en béton. La production et l'installation d'éléments de clôture à l'aide de préfabriqués sont plus rapides que la méthode traditionnelle de construction de clôtures en béton. En outre, il est plus beau et plus attrayant.

## **9. Ponts en béton**

La solidité, la durabilité, la ductilité, la résistance aux intempéries, la résistance au feu et la longévité du béton armé font du béton la meilleure solution pour construire des ponts. Le béton précontraint, le béton postcontraint et le béton auto-compacté sont différents types de béton qui peuvent être utilisés dans la construction de ponts

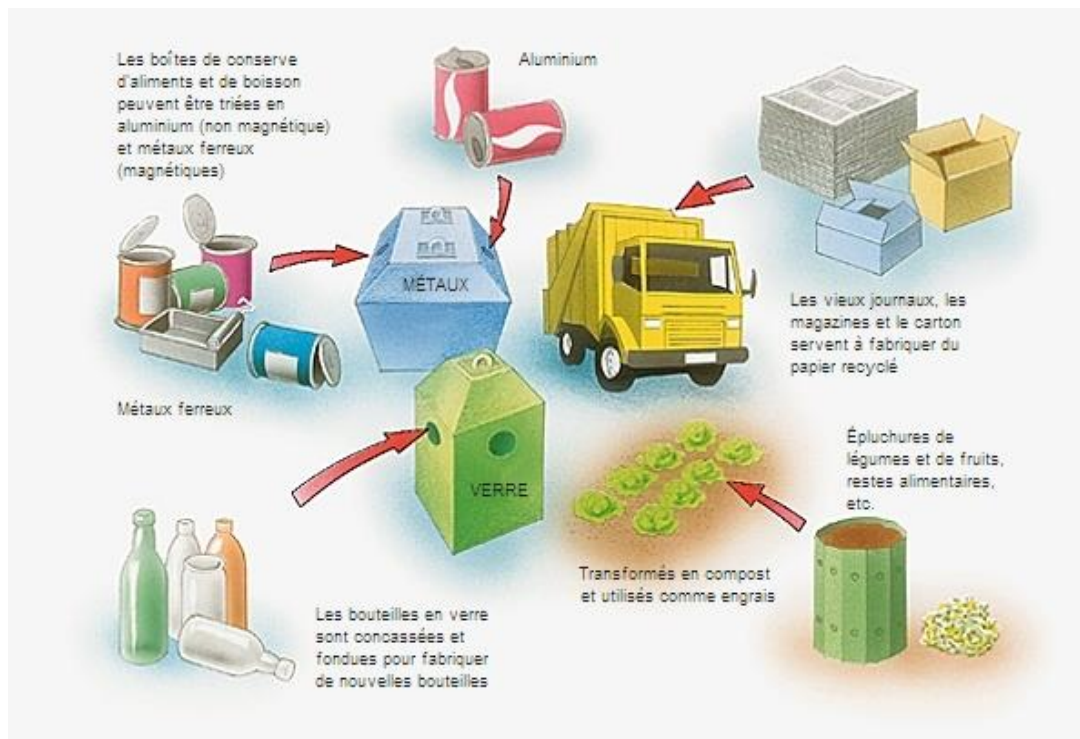
### **I.3.1 Caractéristiques:**

1. Le béton étant un élément important d'un bâtiment, il est plus couramment utilisé comme matériau de construction que le bois.
2. Une fois coulé et durci, le béton ne nécessite aucun entretien et peut résister aux conditions climatiques.
3. Le béton ne brûle pas, ne moisit pas et ne pourrit pas, ce qui en fait un matériau inerte.
4. Son intégrité structurelle supérieure offre une protection supplémentaire contre les intempéries et les tremblements de terre.
5. Le béton est produit à partir de matériaux disponibles localement et offre un niveau élevé de durabilité tout en ayant un faible impact sur l'environnement.

6. Le béton peut être moulé dans une variété de formes lorsqu'il est fraîchement mélangé.
7. Un sol en béton peut être estampillé pour créer une surface attrayante. Il peut accepter la lumière naturelle pendant la journée et transmettre la lumière artificielle après le travail.
8. Il possède toutes les propriétés requises pour une utilisation souterraine et constitue un matériau durable et rentable.

### I.3.2 Définition de déchets

Un déchet est un matériau qui est rejetée après qu'il ait accompli un travail ou qu'il ait rempli sa mission. C'est donc quelque chose devenue inutile, désormais de la poubelle, et qui n'a aucune valeur économique pour la plupart des personnes. Les résidus peuvent être éliminés (lorsqu'ils sont destinés à l'enfouissement dans les décharges ou à être enterrés) ou recyclés (obtenant ainsi un nouvel usage).



**Figure I.1 recyclés les décharges**

### Les types des déchets

Les types des déchets L'adjectif solide, d'autre part, mentionne ce qui est massif ou ferme. Un corps solide conserve son volume (ou sa taille) et sa forme constants grâce à la grande cohésion des molécules. De cette façon, il se distingue des autres états d'agrégation de la matière, tels que l'état liquide ou l'état gazeux.

## II.MORTIER

**Mortier de maçon Histoire de commencer sur de bonnes bases, rappelons ce qu'est un mortier. De manière basique, un mortier de construction est un mélange plus ou moins épais :**

De sable,

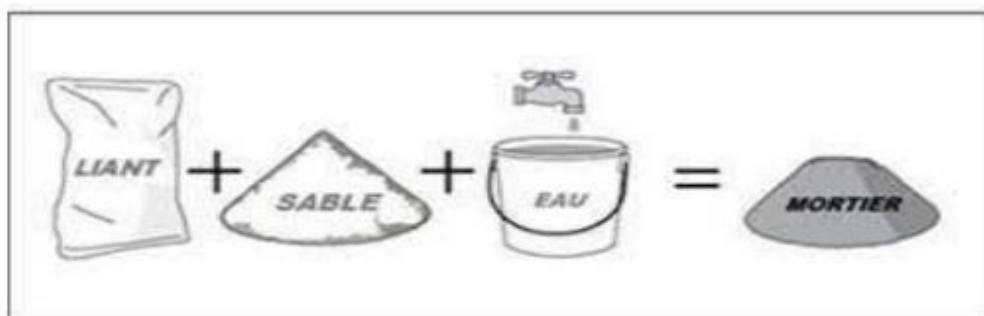
De liant (par exemple le ciment),

D'eau.

On peut y ajouter ou non des additifs de manière à l'ajuster à l'utilisation qui doit en être faite. Il existe des préparations pour mortier, auxquelles on ajoute uniquement de l'eau, mais il est également possible de préparer un mortier de ciment soi-même.



FigureI.2 : Mortier



FigureI.3. Composition de mortier

## II.1 Utilisations du mortier de construction :

**Les mortiers sont des éléments indispensables à toute construction. Selon vos besoins, un mortier peut être utile pour :**

Lier des briques ou des pierres entre elles,

Effectuer l'enduit d'un mur,

Sceller des éléments,

Mieux répartir les charges de construction.

Il s'agit donc d'un matériau indispensable pour monter un mur en brique, mais aussi pour la plupart des travaux de construction et de rénovation en maçonnerie.

Important: pour les gros travaux de construction, on utilise généralement du mortier préparé en usine, directement livré sur le chantier et à utiliser dans la journée

#### II.1.1 Les différents mortiers dont vous pourriez avoir besoin

**Il est bon de savoir qu'il existe de multiples types de mortiers, plus ou moins adaptés en fonction des usages. Voici les mortiers les plus fréquemment utilisés sur les chantiers:**

##### **Le mortier-ciment**

Le mortier-ciment est le produit le plus basique qui soit, indispensable pour construire un mur et lier les pierres ou briques entre elles. Il s'agit d'un mélange classique de ciment, de sable et d'eau.

Pour les jointements et les scellements, on peut envisager de se passer de sable.

Ce matériau vous sera utile pour toutes les constructions classiques (murs, chapes, etc.), qui ne nécessitent pas l'usage d'un mortier spécifique. L'avantage du ciment est qu'il profite d'une excellente résistance à la compression. Il sèche également plus vite que la plupart des autres solutions.

Voici quelques recommandations pour le dosage du mortier ou du béton, en fonction de vos besoins de constructions.

Important: avant l'achat d'un sac de ciment, vérifiez les usages recommandés, et les conseils de dosage.

##### **Le mortier hydrofuge**

Comme son nom l'indique, le mortier hydrofuge est un mortier résistant à l'eau, qui permet d'éviter les problèmes d'humidité sur une surface.

Il permet de:

Boucher des fissures,

Enduire un mur,

Réaliser des chapes.

On l'utilise avant tout dans les lieux humides (salle de bain, extérieur, etc.) ou encore pour concevoir des réalisations étanches, comme un bassin de piscine.

##### **Le mortier réfractaire**

Le mortier réfractaire est un mortier résistant aux hautes températures. Selon les préparations, il peut généralement résister à des températures de 900° ou moins.

**En toute logique, il est uniquement utilisé pour les constructions qui sont exposées à ce type de températures, à savoir pour le montage et le jointement des :**

Foyers de cheminée,

Des barbecues maçonnés.

Ce matériau protège ainsi les joints et la structure des constructions exposées aux flammes et à la chaleur. Il n'est cependant jamais utilisé sur des constructions qui n'en ont pas besoin?

Important: pensez à utiliser également des briques réfractaires (déjà présentées sur Travaux Maçonnerie) si vous envisagez de concevoir un barbecue ou une cheminée.

### **Le mortier de chaux**

La chaux est l'un des liants les plus utilisés dans les anciennes constructions. À tel point qu'on utilise encore fréquemment des mortiers à la chaux.

Il faut dire que ce type de mortier permet au mur de mieux respirer et dispose également de capacités hydrofuges (idéales pour les pièces humides).

### **On trouve deux types de chaux:**

La chaux aérienne: elle a l'avantage de durcir lentement, et uniquement au contact de l'air.

La chaux hydraulique: elle durcit au contact de l'eau, puis de l'air.

L'usage de chaux dans un mortier permet généralement une application plus facile, grâce à un temps de séchage un peu plus long. Ces mortiers sont cependant plus complexes à doser que le ciment.

### **Le mortier bâtard**

Ce nom qui peut sembler vulgaire désigne tout simplement un mortier qui utilise à la fois du ciment et de la chaux.

L'intérêt d'ajouter de la chaux à un mortier en ciment est qu'elle rend le mélange nettement plus souple, et donc généralement plus facile à manipuler.

L'inconvénient principal (mais qui n'en est pas toujours un!) est qu'un mortier bâtard met plus de temps à sécher qu'un mortier-ciment.

### **Le mortier-colle**

Citons enfin l'existence du mortier-colle. Il s'agit, comme son nom l'indique, d'un mortier adhésif, qui permet de coller un revêtement contre un mur ou un sol.

Ce matériau est utilisé pour coller des plaquettes de parement, des carrelages muraux ou au sol, ou encore des dalles. Selon le mortier-colle choisi, l'utilisation peut se faire en intérieur et/ou en extérieur.

Important: attention à bien opter pour un mortier colle bien adapté à l'usage que vous allez en faire (matériaux à coller, pose murale ou au sol, usage intérieur ou extérieur).

## **III Le ciment:**

Le ciment est un matériau hydraulique qui résulte de la combinaison de substances minérales calcinées, telles que le calcaire et la silice, avec d'autres éléments chimiques. Il est utilisé comme liant dans la

fabrication du béton, permettant de fixer les particules de sable, d'argile et de gravier entre elles. Le ciment est caractérisé par sa propriété de durcissement en présence d'eau, formant ainsi une masse solide et résistante. Cette réaction chimique, appelée hydratation, permet au ciment de créer une structure solide et durable, faisant de lui un matériau essentiel dans la construction de bâtiments et de travaux publics.

**Tableau. I.1:** Composition chimique en oxydes d'un ciment ordinaire et notation cimenterie. [3]

Oxydes	CAO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaSO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>
<b>Composition en (%)</b>	50-70%	5-10%	15-30%	5-10%	0-5%	0-2%	0-5%
<b>Notation Cimenterie</b>	C	A	S	F	CS	H	S

Le ciment usuel est aussi appelé liant hydraulique, car il a la propriété de s'hydrater et de durcir en présence d'eau car cette hydratation transforme la pâte liante, qui a une consistance de départ plus ou moins fluide, en un solide pratiquement insoluble dans l'eau. Ce durcissement est dû à l'hydratation de certains composés minéraux, notamment des silicates et des aluminates de calcium [4]. L'expression de « pâte de ciment durcissant » sera utilisée pour désigner la pâte de ciment dans la transformation d'un état plus ou moins fluide en un état solide [5]. Le ciment ordinaire anhydre est constitué de clinker Portland, de gypse et éventuellement d'additions comme les fillers et fumée de silice [6].

### III.1 Historique du ciment

Le ciment a une longue histoire remontant à l'Antiquité, où les Romains utilisaient déjà un mélange de chaux et de pouzzolane pour construire des bâtiments et des infrastructures.

Usine de ciment de Timqten

### III.2 Origine et évolution

L'origine du ciment remonte à l'époque romaine, où les ingénieurs romains ont découvert que le mélange de chaux et de pouzzolane créait un matériau solide et résistant. Au fil du temps, cette technique s'est répandue dans tout l'Empire romain et a été améliorée par les Byzantins et les Arabes. Au Moyen Âge, les architectes européens ont adopté cette technique pour construire des cathédrales

et des châteaux. Cependant, il fallut attendre le XIXe siècle pour que le ciment moderne apparaisse, grâce aux recherches de Louis Vicat et de Joseph Aspdin.

Ces derniers ont développé des techniques de production plus efficaces et ont créé des ciments plus résistants et plus durables. Depuis, le ciment a connu une évolution constante, avec l'apparition de nouveaux types de ciments et d'applications variées dans la construction et l'ingénierie.

### **III.3 Composition du ciment**

Le ciment est un mélange complexe de composants chimiques, notamment de la chaux, de la silice, de l'alumine et du fer, qui confèrent au béton ses propriétés de résistance et de durabilité.

### **III.4 Composants chimiques**

Les composants chimiques du ciment sont essentiels pour définir ses propriétés et son comportement.

Les principaux composants chimiques du ciment sont :

La chaux (CaO) : apporte la propriété de liaison au ciment,

La silice (SiO<sub>2</sub>) : améliore la résistance mécanique et la durabilité du béton,

L'alumine (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) : contribue à la résistance aux agents chimiques et à la durabilité,

Le fer (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) : apporte une couleur grise au ciment et améliore sa résistance aux chocs.

Ces composants chimiques interagissent entre eux pour former des phases minérales spécifiques qui confèrent au ciment ses propriétés de durcissement et de résistance;

### **III.5 Rôle de l'argile et du sable**

L'argile et le sable sont deux composants essentiels du béton, intervenant dans la formation de la pâte de ciment. L'argile, en tant que matériau fin, permet d'améliorer la plasticité de la pâte, facilitant ainsi la mise en œuvre du béton.

D'un autre côté, le sable, en tant que matériau grossier, apporte une résistance mécanique élevée au béton. Le mélange optimal d'argile et de sable permet d'obtenir une pâte de ciment stable et résistante, capable de supporter les contraintes mécaniques exercées sur le bâtiment.

La combinaison de ces deux composants avec le ciment permet de créer un matériau solide et durable, adapté à de nombreuses applications dans le domaine de la construction et de l'ingénierie.

### **Propriétés du ciment**

Le ciment présente des propriétés physico-chimiques remarquables, notamment sa capacité de durcissement, sa résistance mécanique élevée et sa grande force de liaison avec les autres composants du béton.

### **III.5 Durcissement et résistance**

Le durcissement du ciment est un processus complexe qui implique une réaction chimique entre les composants du ciment et l'eau. Cette réaction entraîne la formation d'un gel hydraulique qui se solidifie

au fil du temps, conférant ainsi au béton sa résistance mécanique.

La résistance du ciment est mesurée en fonction de sa capacité à supporter des contraintes mécaniques telles que la compression, la traction et la flexion. Les facteurs influençant la résistance du ciment incluent la qualité des matières premières, la proportion des composants, la température et l'humidité. Les propriétés de durcissement et de résistance du ciment en font un matériau idéal pour la construction de bâtiments et d'ouvrages d'art qui nécessitent une grande solidité et une longue durée de vie.

### **Exemples d'utilisation du ciment**

Le ciment est utilisé dans de nombreux domaines, notamment la construction de bâtiments, les travaux publics, la rénovation et la décoration, ainsi que dans la fabrication de produits préfabriqués tels que les dalles et les éléments de façade.

### **Construction de bâtiments :**



**FigureI.4 : Construction de batiments**

Dans le domaine de la construction de bâtiments, le ciment joue un rôle crucial en tant que liant entre les différents composants tels que le béton, l'argile et le sable. Il permet de créer des structures solides et résistantes, capables de supporter des charges importantes. Le ciment est utilisé pour la fabrication des fondations, des murs, des planchers et des éléments de toiture. Il est également utilisé pour la création de surfaces de finition telles que les sols et les murs intérieurs.

Grâce à ses propriétés de durcissement et de résistance, le ciment permet de créer des bâtiments qui répondent aux normes de sécurité et de qualité les plus élevées. Les architectes et les ingénieurs

utilisent le ciment pour concevoir des bâtiments durables et fonctionnels, qui répondent aux besoins des utilisateurs.

### **Travaux publics**

Dans le domaine des travaux publics, le ciment est utilisé pour la construction d'infrastructures critiques telles que les routes, les autoroutes, les ponts, les canaux et les barrages. Il est employé pour la fabrication de béton armé, qui permet de créer des structures résistantes et durables.

Le ciment est également utilisé pour la réalisation de revêtements de routes et de chaussées, ainsi que pour la construction de trottoirs et de pistes cyclables. Les travaux publics nécessitent des matériaux de haute qualité, capables de résister aux intempéries et aux charges mécaniques importantes. Le ciment répond à ces exigences, offrant une grande résistance et une longue durée de vie.

En somme, le ciment est un matériau essentiel dans les travaux publics, permettant de créer des infrastructures solides et durables qui répondent aux besoins de la collectivité.

En résumé, le ciment est un matériau indispensable dans la construction et les travaux publics, offrant une grande résistance et une longue durée de vie, ce qui en fait un élément clé de l'architecture moderne.



**Figure 1.5 :** Travaux publics

### **Importance du ciment dans la construction**

Le ciment joue un rôle crucial dans la construction de bâtiments et d'infrastructures, car il permet de lier ensemble les différents composants tels que le béton, l'argile et le sable, formant ainsi une structure solide et résistante.

Cette propriété de liaison confère au ciment une importance capitale dans la réalisation de nombreux

projets de construction, qu'ils soient résidentiels, commerciaux ou publics.

De plus, le ciment offre une grande résistance aux forces mécaniques et aux intempéries, ce qui en fait un matériau idéal pour les travaux publics et les infrastructures qui nécessitent une longue durée de vie.

En somme, l'importance du ciment dans la construction ne peut être sous-estimée, car il est à la base de nombreux édifices et infrastructures qui font partie de notre quotidien.

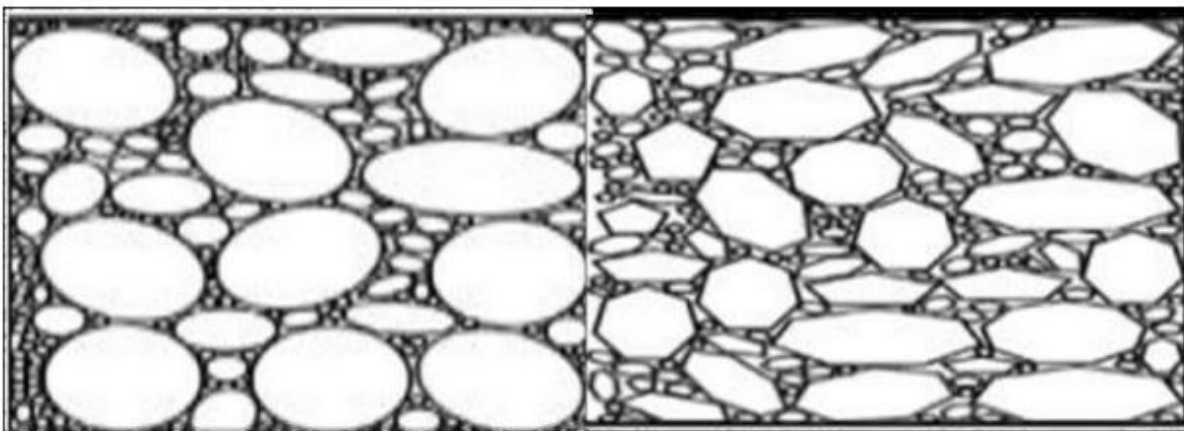
#### **IV Le sable:**

##### **IV.1 Définition:**

Le sable est le constituant du squelette granulaire qui a le plus d'impact sur le mortier [11]. Il joue un rôle primordial en réduisant les variations volumiques, les chaleurs dégagées et le prix de revient des bétons. Il doit être propre et ne pas contenir d'éléments nocifs.



**FigureI.6** sable



**FigureI.7.:** Sable roulé (naturel) et Sable concassé (artificiel).

##### **IV.2 Eau de gâchage:**

C'est la quantité d'eau totale ajoutée au mélange sec de mortier. Elle est nécessaire pour l'hydratation du liant, le mouillage des granulats et la facilité de mise en place du mortier. Cette eau est d'une grande importance, elle est soumise à certaines exigences. On conçoit donc, en premier lieu, les impuretés nocives comme les chlorures, Les sulfates, Les matières organiques, Les nitrates, Les sels de sodium (Na) et de potassium (K)...etc. La qualité de l'eau de gâchage peut avoir une influence sur le temps de prise, le développement des résistances du mortier. Ce qui nécessite une analyse chimique pour déterminer les impuretés qui s'y trouvent. Et aussi l'acidité ((pH) doit être supérieure à

4). L'eau potable convient toujours. Le gâchage à l'eau de mer est à éviter, surtout pour le béton armé. Les caractéristiques des eaux requises pour la confection des mortiers et des Bétons sont précisées dans la norme NF P 18-303 [12].

#### **IV.3 Valorisation et recyclage des déchets dans le domaine de génie civil:**

La valorisation est définie comme L'élimination des déchets comporte les opérations de collecte, transport, stockage, tri et traitement nécessaires à la récupération des éléments et matériaux réutilisables ou de l'énergie, ainsi qu'au dépôt ou au rejet dans le milieu naturel de tous autres produits dans des conditions propres à éviter les nuisances [14].

#### **V.1 Recyclage des déchets:**

Le recyclage permet de réduire les volumes de déchets, et donc leur pollution, et de préserver les ressources naturelles en réutilisant des matières premières déjà extraites. Le recyclage s'inscrit dans la stratégie de traitement des déchets dits des trois R;

- Réduire.
- Réutiliser.
- Recycler

. Le recyclage apporte une contribution importante à la baisse des quantités de déchets à éliminer par enfouissement et par incinération, mais il n'est pas suffisant pour contrer l'augmentation de la production des déchets ou y suffit à peine. [14]

#### **a) Impacts du recyclage sur l'environnement: Les bénéfices économiques et environnementaux du recyclage sont considérables:**

- Il permet de protéger les ressources, de réduire les déchets, de créer des emplois, de protéger la nature et d'économiser les matières premières.
- L'acier recyclé permet d'économiser du minerai de fer.
- Chaque tonne de plastique recyclé permet d'économiser 700 kg de pétrole brut.
- Le recyclage de 1 kg d'aluminium peut économiser environ 8 kg de bauxite, 4 kg de produits chimiques et 14 kWh d'électricité.
- L'aluminium est recyclable à 100%; 1 kg d'alu donne 1 kg d'aluminium (après avoir été fondu).

– Chaque feuille de papier recyclé fait économiser 1 L d'eau et 2,5W d'électricité en plus de 15 g de bois [15].

#### **b) Procédés du recyclage:**

##### **Il existe trois grandes familles de techniques de recyclage:**

- chimique ‘mécanique et organique.

iser environ 8 kg de bauxite, 4 kg de produits chimiques et 14 kWh d'électricité.

– L'aluminium est recyclable à 100%; 1 kg d'alu donne 1 kg d'aluminium (après avoir été fondu).

– Chaque feuille de papier recyclé fait économiser 1 L d'eau et 2,5W d'électricité en plus de 15 g de bois [15].

- Le recyclage dit « chimique » utilise une réaction chimique pour traiter les déchets, par exemple pour séparer certains composants. - Le recyclage dit « mécanique » est la transformation des déchets à l'aide d'une machine, par exemple pour broyer ou pour séparer par courants de Foucault. - Le recyclage dit « organique » consiste, après compostage ou fermentation, à produire des engrais et du carburant tel que le biogaz. [16].

#### **V.2. Valorisation des déchets de démolition:**

La démolition des ouvrages en béton et l'industrie des matériaux de construction sont toujours accompagnées par des produits secondaires ou des déchets, le stockage de tels déchets solides dans Le béton recyclé est simplement du vieux béton broyé pour produire des granulats. Il peut être utilisé dans les couches de fondation comme dans du béton maigre et comme seule source de granulats ou remplacement partiel des granulats dans du béton neuf. Les études et les recherches pour le recyclage et la valorisation des déchets de construction pour leur utilisation une autre fois, d'où certain pays ont introduit ces nouvelles techniques pour la nouvelle construction comme les USA, le Japon, la Hollande, L'Allemagne. [17]

#### **V.2 Les avantages économiques et environnementaux:**

– Réduire l'effet de serre par la réduction des dégagements du CO<sub>2</sub> produit par les cimenteries.

– Préserver la matière première par l'utilisation des déchets du béton.

– Réduire le volume des quantités transportées par le recyclage sur les lieux de stockage des restes de démolition.

– Le recyclage d'une tonne de ciment engendre une économie de 5156.5 Litre d'eau. [18]

#### **VI.1Utilisation de verre dans le domaine de génie civil.**

##### **VI.2.1Définition de verre:**

Le verre est un matériau inorganique, cassant, solide, transparent et amorphe, c'est-à-dire qu'il n'a pas de structure régulière ou bien définie. En même temps, il est obtenu à partir de l'amalgamation de sable

de silice avec du carbonate de sodium et du calcaire, puis il est formé à haute température pour obtenir son aspect final. [20]

#### **VI.2.1 Composants du verre ordinaire:**

75% de silice (oxyde de silicium).

15% de soude (oxyde de sodium).

10% de chaux (pierres calcaires qui contiennent de l'oxyde de calcium). [27]

#### **VI.2.2. Les différents types de verre:**

**Pour obtenir le verre à l'état fini, on amène le mélange décrit au point de fusion ( $\approx 1500^{\circ}\text{C}$ ) en suite, on le refroidit et le transforme. Plusieurs types de verre peuvent être fabriqués selon le procédé utilisé. Parmi les produits verriers, on distingue:**

- Les produits de base spéciaux, c'est-à-dire les produits verriers (obtenus à la sortie des fours sans traitement ultérieur) dont la composition diffère de celle du verre silico-sodo calcique.
- Les produits transformés, c'est-à-dire les produits obtenus par transformation, après fabrication, des produits de base ou produits de base spéciaux, aboutissant à de nouveaux produits aux qualités différentes [21].

#### **VI.3 Caractéristiques de la poudre de verre:**

1. La poudre de verre a une bonne transparence, une dureté élevée et une distribution uniforme de la taille des particules.
2. La poudre de verre a une bonne dispersibilité et une bonne compatibilité avec les autres composants du système de résine et de peinture.
3. La poudre de verre a été traitée plusieurs fois et remplie dans le système de peinture, et le film de peinture ne contient pas de lumière bleue et a un bon revêtement.
4. Utilisé dans les couches de finition professionnelles résistantes aux rayures, il peut augmenter la dureté et la ténacité de la couche de finition, améliorer la résistance aux rayures du film de peinture, avoir un effet mat et améliorer la résistance aux intempéries du film de peinture.
5. Par rapport au talc, la poudre de verre est plus facile à précipiter une fois la peinture diluée, de sorte que les mesures anti-sédimentation doivent être renforcées de manière appropriée.

#### **VI.3.1 Utilisations de la poudre de verre:**

La poudre de verre peut être appliquée sur la peinture polyuréthane, la peinture nitro, la peinture acrylique, la peinture vinylique, la peinture résine insaturée PE, etc., spécifiquement utilisée dans la peinture pour bouteilles de vin, l'apprêt transparent, la peinture pour panneaux de bois, la peinture pour échecs, la peinture pour piano, etc.

1. Améliorez la dureté du matériau, améliorez considérablement la résistance aux rayures et à l'usure, adapté aux couches de finition professionnelles et aux encres résistantes aux rayures;

2. Excellente performance optique, peut absorber une partie de la lumière bleue, bon recouvrement, faible extinction mais n'affecte pas la transparence du revêtement;
3. La distribution scientifique de la taille des particules, un bon anti-naufage, une faible valeur d'absorption d'huile, peut économiser la consommation de résine et réduire les coûts;
4. Faible teneur en impuretés, haute pureté, n'affecte pas la teinte du film de peinture

### **VI.3.2 Valorisations de poudre de verre dans génie civil**

#### **VI.3.3 Poudre de verre:**

La poudre de verre est un ajout cimentaire alternatif de couleur blanche. Elle est obtenue après la collecte et le broyage des fragments de verre coloré. Sa haute teneur en silice amorphe  $\text{SiO}_2$  lui confère des propriétés pouzzolaniques en se combinant avec la chaux pour produire d'autres hydrates.

La poudre de verre est un matériau pouzzolanique qui peut être ajouté au béton, au mortier ou à la pâte de ciment. Les matériaux pouzzolaniques sont des matériaux naturels ou industriels qui contiennent de la silice active (amorphe), qui ont des propriétés de liaison lorsqu'ils interagissent avec l'hydroxyde de calcium ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) en présence d'eau et à des températures normales. L'hydroxyde de calcium est l'un des produits du processus d'interaction ciment-eau [23].



**Figure I.8 : poudre de verre**

#### **VI.4 Principales matières premières du verre**

Le verre doit être constitué de 4 éléments principales: un VITRIFIANT, le dioxyde de silicium ( $\text{SiO}_2$ ), constituant à plus de 98% du sable, qui va rendre le produit vitreux; Un FONDANT, l'oxyde de sodium ( $\text{Na}_2\text{O}$ ), qui va abaisser la température de fusion du verre; Un STABILISANT l'oxyde de calcium ( $\text{CaO}$ ), l'oxyde de magnésium ( $\text{MgO}$ ), etc., enfin d'autres éléments peuvent être ajoutés comme du Calcin qui favorise la vitrification.

## **VI.4.1 Classification de verre**

### **A. Verre naturel**

Des substances à l'état vitreux existent rarement dans la nature ce sont essentiellement les verres volcaniques ou la vitrification survient lorsque la lave fondu arrive à la surface de la croûte terrestre et y subit une brusque refroidissement. Parmi ces verres on peut citer par exemple les Obsidiennes et les Pechstein. [10]

### **B. Verre artificiel**

Bien que des substances très variées puissent former des verres, seul un nombre restreint de ceux-ci ont acquis une importance pratique. Dans ce qui suit, nous citons les principaux types de verres, leurs caractérisations principales et leurs domaines d'utilisation.

#### **- Verre d'oxyde**

Les verres d'oxyde sont historiquement les plus anciens et industriellement les plus exploités. La plupart de verres sont constitués par des oxydes ou des mélanges d'oxydes tel que:  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{B}_2\text{O}_3$ ,  $\text{GeO}_2$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ .

#### **- Verre de silice**

Les verres de silice sont le plus important et représentent plus de 9.5% de tonnage des verres produits industriellement. Ils sont des matériaux transparents compose de sable de silice ( $\text{SiO}_2$ ) fondant à une température très élevée ( $1750\text{-}2000\text{C}^\circ$ ), constitué par un assemblage désordonné de tétraèdre ( $\text{SiO}_4$ ). Ce matériau possède une excellente transparence dans le domaine ultraviolet. De ce fait, il est très utilisé dans les lampes à vapeur de mercure. En revanche, dans le domaine d'IR, il absorbe certaines bandes puis est totalement opaque à partir de  $5.10^{-6}$  m. Les verres de silices possèdent aussi une bonne isolation thermique. Ainsi

le coefficient de dilatation est de l'ordre de  $10^{-7}$  (K-1) qui lui confère une très bonne tenue au choc thermique. Les qualités optiques de la silice, le rend susceptible de réaliser des dispositifs sous former de guides d'onde ou de constituants de cœur de fibre optique pour les télécommunications. De nombreuses utilisations pour les synthèses chimiques: vaisselle, creusets, tubes,...

#### **- Verre sodocalssique**

C'est un des matériaux de base de l'industrie moderne, il se compose de 70% mol de  $\text{SiO}_2$ , 20% mol de  $\text{Na}_2\text{O}$  et de 10 (% mol.) de  $\text{CaO}$ . Il possède une bonne stabilité chimique et un coefficient de dilatation très élevé. Il est utilisé comme un verre plat et creux (des ampoules électrique et en bouteille).

#### **- Verres de borates**

Les verres de borate sont constitués de l'anhydride borique  $\text{B}_2\text{O}_3$  qu'il est passant systématiquement à l'état vitreux au refroidissement. A cause de son hygroscopicité (le verre de  $\text{B}_2\text{O}_3$  est très soluble dans

l'eau), le verre de borate n'est jamais utilisé seul dans la pratique mais entre la composition de nombreuses verres industriels. Les verres de borates ont fait l'objet de nombreux travaux à cause de leur température d'élaboration moins élevée que celle des silicates. Les boro-aluminates du système  $\text{CaO-B}_2\text{O}_3\text{-Al}_2\text{O}_3$  possèdent une isolation électrique élevée qu'ils trouvent lieu dans les applications électrotechnique. La famille de borosilicate du système  $80\text{SiO}_2\text{-15B}_2\text{O}_3\text{-5Na}_2\text{O}$  est la plus adoptée dans les verres de Pyrex, Simax ou Vycor. Ces verres sont utilisés essentiellement en chimie pour la verrerie de laboratoires à cause de leur faible coefficient de dilatation thermique (voisin de  $3.10^{-6}\text{K}^{-1}$ ) et leur bonne résistance chimique.

#### **- Verre de phosphate**

Les verres phosphatés se singularisent des silicates par leur faible température de fusion, leur grande transparence dans l'UV et leur faible transparence dans l'IR. Les verres phosphates sont très performants surtout lorsqu'ils sont dopés aux ions de terres rares tels que  $\text{Er}^{3+}$ . Ils s'avèrent être d'excellents candidats pour les applications à gain élevé (amplificateurs optiques compacts) [11]. Cependant, les verres phosphates s'accompagnent d'une faible durabilité chimique. Pour pallier cet inconvénient, il est possible de stabiliser la matrice phosphatée en modifiant sa composition. De séries de verre phosphaté ont été développées tel que le verre boro-phosphaté qui se trouve dans des applications majeures (scellement, revêtement) ainsi que le verre silico-phosphaté qui a été développé pour la technologie de conducteurs optiques (photonique).

#### **- Verres de Germinâtes**

[12] L'oxyde de germanium  $\text{GeO}_2$  forme un verre iso-structural de la silice à base de tétraèdres  $\text{GeO}_4$ . Du fait de son prix qui est très élevé, sa faible réfractivité et sa moindre résistance aux agents corrosifs, il est rarement utilisé dans les compositions verrières. Cependant son importance est surtout d'ordre fondamental lorsqu'on l'ajoute comme dopant dans le verre de silice pour augmenter l'indice de réfraction, ce qui en fait un élément de choix pour la réalisation du cœur des fibres optiques pour la télécommunication à longue distance.

#### **- Verre d'oxydes lourds**

Les verres d'oxydes lourds se composent essentiellement des oxydes:  $\text{PbO}$ ,  $\text{WO}_3$ ,  $\text{Sb}_2\text{O}_3$ ,  $\text{As}_2\text{O}_3$ ,  $\text{GeO}_2$ ,  $\text{TeO}_3$ . Ils forment des verres avec des indices de réfractifs plus élevés et une transmission dans l'infrarouge plus étendue jusqu'à  $8\mu\text{m}$ . Ils sont utilisés dans la mise en œuvre des instruments optiques de précision (lentilles objectifs), ils jouent aussi le rôle de filtre (verre de protection) ou guide d'onde pour la transmission des signaux. □ Verre de Chalcogénures On appelle un chalcogène les éléments S, Se, Te. Ils peuvent former de verre eux-mêmes à eux tout seul ou avec l'association d'autres éléments du groupe IV (Ge, Si, Sn) et le groupe V (Sb, As) [13]. Ils forment des verres binaires tel que  $\text{As}_2\text{S}_3$ ,

As<sub>2</sub>Se<sub>3</sub>, GeS<sub>2</sub> ou ternaires tel que As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>-Ag<sub>2</sub>S, Sb<sub>2</sub>S<sub>3</sub>-Ag<sub>2</sub>S, B<sub>2</sub>S<sub>3</sub>-Li<sub>2</sub>S [14]

.Dans un domaine de vitrification plus étendu. La plupart des verres chalcogénures sont opaques dans le domaine de visible et transparents dans l'infrarouge (jusqu'à 30μm). Ils possèdent également une température de ramollissement entre 100-300C° et une faible résistance chimique. De ce fait ils sont utilisés principalement au domaine d'optique infrarouge (lentilles, capteurs infrarouge, xérographie,...).

#### **- Verre métallique**

Les premiers alliages métalliques amorphes furent obtenus en couches minces, mais le premier verre métallique obtenu par une hypertrempe de liquide fut décrite en 1960 et c'est un alliage Or-Silicium. Les verres métalliques se partagent en deux classes principales: a) Alliage métal-métalloïde, où le métal est métal de transition: Au, Pd, Pt, Fe, Ni, Mn et le métalloïde: Si, Ge, P, B. On trouve par exemple Pd<sub>80</sub>Si<sub>20</sub> et Ni<sub>80</sub>P<sub>20</sub> et le verre commercial Fe<sub>40</sub>Ni<sub>40</sub>P<sub>14</sub>B<sub>6</sub>. b) Alliage métal-métal: On a Mg<sub>65</sub>Cu<sub>35</sub>, Au<sub>55</sub>Cu<sub>45</sub>, Sn<sub>90</sub>Cu<sub>10</sub>, Zr<sub>72</sub>Co<sub>28</sub>, Zr<sub>50</sub>Cu<sub>50</sub>, Ni<sub>60</sub>Nb<sub>40</sub>. On a également Pd<sub>40</sub>Cu<sub>30</sub>Ni<sub>30</sub>P<sub>20</sub>. Les verres métalliques ont fait l'objet de nombreuses recherches en raison des leurs propriétés mécaniques remarquables. L'une de ces propriétés le plus intéressantes est leur haute résistance à la corrosion; C'est pour quoi ils peuvent être utilisés comme revêtement anticorrosion.

#### **VI.4.3 Recyclage du verre en Algérie:**

Com01 Com02 Com03 Com04 14 28 Age (Jours) 180 La composition des déchets solides produits en Algérie se caractérise par une part très significative des produits organiques avec un taux moyen de 72%. Quant au plastique, il ne représente que 10% de ces déchets et 9,3 % pour le papier/carton, 4,14% pour le chiffon et autres, 3,2% pour les métaux et 1,36% pour le verre [25].

#### **- Conclusion :**

Dans ce chapitre nous avons présenté une étude bibliographique sur le béton et les mortiers, les déchets des verres et leurs valorisations d'une façon générale. Nous avons également donné une description sur les caractéristiques de déchets de verre et béton.

## **2<sup>ème</sup> Chapitre :**

# **Matériaux et Essais**

## **I- interdiction :**

Ce chapitre présente dans un premier temps les différents constituants du mortier à base de déchets de béton et de verre. Il expose ensuite les principaux essais réalisés pour identifier les matériaux utilisés dans l'élaboration des divers mélanges de mortiers.

Par ailleurs, le choix de tests appropriés s'avère essentiel afin d'assurer un meilleur contrôle des propriétés mécaniques.

Les essais d'identification ont été effectués au sein des laboratoires de génie civil de l'université de relizane ainsi qu'au laboratoire école polytechnique oran.

## **II-Méthodes et Matériaux**

La caractérisation des matériaux utilisés dans la composition d'un mortier joue un rôle très important sur ses propriétés et ses performances ultérieures, les propriétés essentielles du mortier sont largement influencées par les caractéristiques de ses constituants. De ce fait, la normalisation des modes d'essais et d'identification des composants d'un mortier, selon les normes en vigueur Dans ce chapitre, on présente les différents matériaux à utiliser dans la confection du mortier à étudier ainsi que les essais à effectuer selon les normes françaises et les modes opératoires en vigueur.

### **III.1 Les caractérisation des matériaux utilisés:**

Le choix des matériaux s'est porté sur leur disponibilité dans la région relizane. Les matériaux utilisés sont:

#### **✓ Sable :**

Un type de sable est utilisé dans cette étude, un sable normalisé CEN (sable normalisé ISO) est un sable naturel, siliceux notamment dans ses fractions les plus fines. Il est propre, les grains sont de forme généralement isométrique et arrondie. Il est séché, criblé et préparé dans un atelier moderne offrant toutes garanties de qualité et de régularité.

Le sable est conditionné en sachets de polyéthylène contenant chacun  $1\ 350 \pm 5$  g.

Les livraisons se font à l'unité, carton de 16 sachets pesant 21.6 kg. Egalement sur palette de 2 à 54 cartons, protégés par une housse en polyéthylène (transport routier) ou en carton renforcé (transport maritime).

Sable conforme à la norme EN 196-1 permettant la préparation de la gâchée de mortier pour l'essai de détermination de la résistance mécanique.

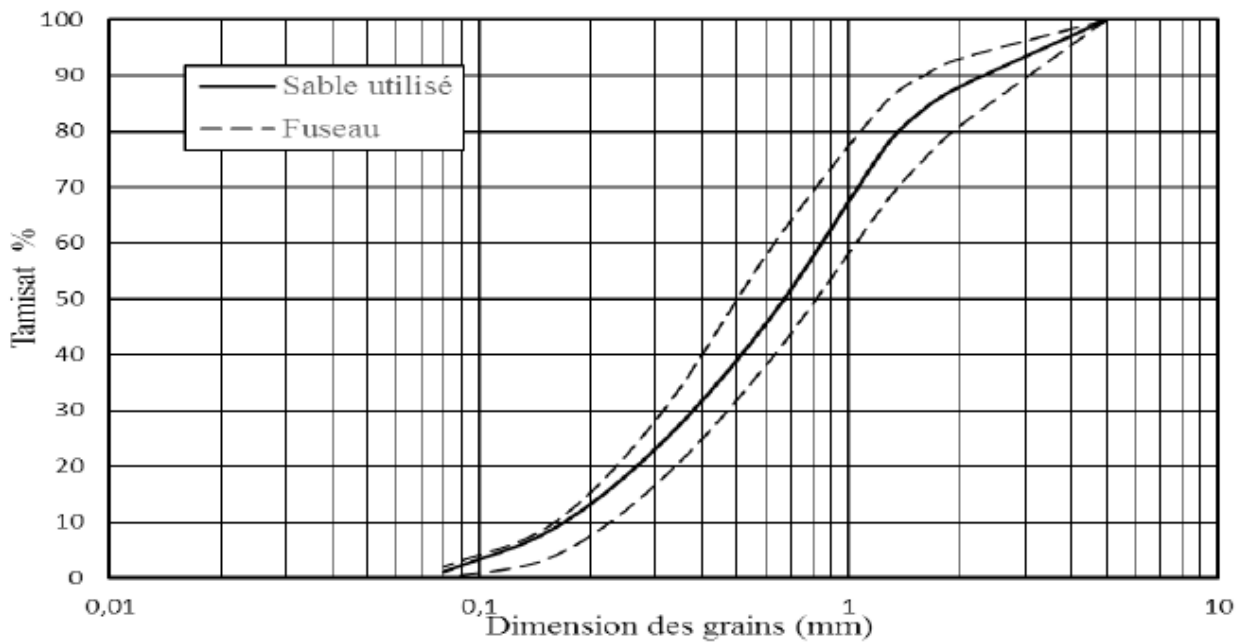


Figure III 1 : Courbe granulométrique du sable.

### 2.1.1. Le ciment

CPJ42.5: de cimenterie au laboratoire de génie civil de l'Université de Relizane (Ahmed Zabana).

2. Le liant utilisé dans le cadre de cette étude est le ciment CPJ CEM II/A-M (L-S) 42.5N SCHS dont la masse volumique est prise égale à 3.1 t/m<sup>3</sup>.

Tableau III.1: Composition minéralogique du clinker

Composition minéralogique du clinker (Bogue)	VALEUR
C3S(%)	60±3
C3A(%)	7.5±1

Tableau III.2: Analyses chimique

Analyses chimique	Valeur
Perte au feu (%) (NA5042)	10.0±2
Teneur en sulfates (SO <sub>3</sub> ) (%)	2.5±0.5
Teneur en oxyde de magnésium MgO (%)	1.7±0.5
Teneur en chlorures (NA5042) (%)	0.02-0.05

Tableau III.3: Propriétés physique

Propriétés physique	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

Tableau III.5: Résistance à la compression.

Résistance à la compression	valeur
2 jours (MPa)	$\geq 10.0$
28 jours (MPa)	$\geq 42.5$

**Tableau III.4:** Temps de prise à 20°

Temps de prise à 20° (NA 230)	valeur
Début de prise (min)	150±30
Fin de prise (min)	230±50

**✓ Eau de gâchage:**

L'eau de gâchage utilisé est issue de robinet de Laboratoire de laboratoires de génie civil d'université Ahmed Zabana Relizane.

**✓ La poudre de verre:**

**Les adjuvants :**

Les adjuvants sont des produits chimiques que l'on utilise dans le cas des bétons, l'adjuvant est un produit incorporé au moment du malaxage du béton à un dosage inférieur ou égal à 5 % en masse du poids de ciment du béton, pour modifier les propriétés des bétons et des mortiers dans le mélange à l'état frais

et / ou à l'état durci.

Chaque adjuvant est défini par une fonction principale, qui présenter une ou plusieurs fonctions secondaires, additionner aux mortiers en fonction du besoin envisagé, tels que :

Les plastifiants (réducteurs d'eau);

Les entraîneurs d'air;

Les modificateurs de prise (retardateurs, accélérateurs);

Les hydrofuges [6].

• Les étapes nécessaires pour obtenir une poudre de verre et béton recycle sont; 1-Nettoyage -2- concassage -3- Broyage -4- Tamisage par tamis 5mm -5- Tamisage par tamis 0.08

**- Equivalent De Sable**

### II.2.2.2 Equivalent de sable

#### Définition et But de l'essai

Permet de mettre en évidence la proportion relative de poussière fine nuisible ou d'éléments argileux dans les sols ou agrégats fins. Pour un béton, ces fines risquent d'inhiber l'hydratation du liant et gênent l'adhérence avec les agrégats.

#### -Principe

Dans le cas des sables, le degré de propreté est fourni par un essai appelé "équivalent de sable piston (Esp)" qui consiste à séparer le sable des particules très fines qui remontent par floculation à la partie supérieure de l'éprouvette où l'on a effectué le lavage. L'essai est fait uniquement sur la fraction de sable 0/2 mm.

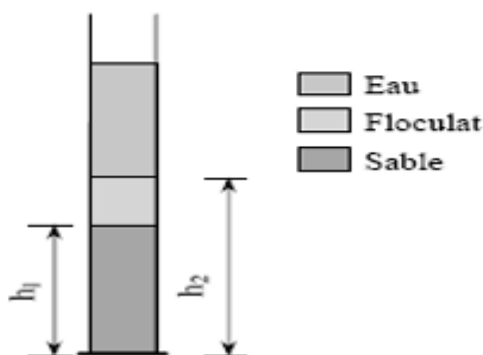


Figure II 2 l'essai Equivalent de sable

#### Matériel utilisé

Éprouvettes, en matière plastique, avec 2 traits repères ( $\Phi_{int} = 32$  mm;  $h = 430$  mm), Entonnoir, tamis, spatule, balance, thermomètre, récipients, Machine agitatrice électrique ou manuelle, Réglet de mesure et piston taré comporte 3 vis formant des butées (masse 1 kg).

Mode opératoire.

- remplir les 2 éprouvettes de solution lavant jusqu'au 1er repère, ensuite verser la quantité de sable tarée,
- éliminer les bulles d'air en frappant chaque éprouvette contre la paume de la main et laisser reposer 10 minutes,
- boucher les éprouvettes et les agiter d'un mouvement rectiligne, horizontal, sinusoïdal de 20 cm d'amplitude à l'aide d'une machine à secouer (90 allers et retours en 30 secondes).
- laver et remplir les éprouvettes avec le tube laveur en rinçant le bouchon, lavant les parois intérieures de toutes les éprouvettes et laver la masse du sable en y faisant remonter et descendre lentement le

tube ainsi les fines remontent en surface,

- on ferme le robinet lorsque la solution atteint le 2eme trait (supérieur) et on sort le tube laveur,
- on laisse reposer 20 minutes en évitant toute vibration,
- on mesure à vue les hauteurs  $h_1$  et  $h_2$  ( $h_2$  est entachée d'incertitude)
- pour effectuer la mesure de façon plus précise, on introduit le piston taré à travers le flocculat, le manchon prenant appui sur le bord supérieur de l'éprouvette et on l'immobilise au contact du sable,
- mesure  $h'_2$ ,
- noter la température. 42

Valeurs préconisées pour l'équivalent de sable par DREUX.



**FigureII3** : Équipement de sable

[25] **Tableau II.2:** classification des sables selon l'essai E.S

PS	Nature et qualité du sable
< 60	"Sable argileux" risque de retrait ou de gonflement, à rejeter pour des bétons de qualité
60 ≤ PS < 70	"Sable légèrement argileux" de propreté admissible pour béton de qualité quand on ne craint pas particulièrement de retrait.
70 ≤ PS < 80	"Sable propre" à faible pourcentage de fines argileuses convenant parfaitement pour les bétons de haute qualité.
PS > 80	"Sable très propre" l'absence presque totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau.

### II.2.2.3 Analyse chimique

L'analyse chimique des granulats utilisés est indispensable dans le but de savoir le taux des matières nuisibles qui peuvent affecter la qualité du béton ou mortier.

## II.3 Essais sur ciment...

### II.2.1 Essais sur ciment

#### II.3.1 Masse volumique

##### II.2.1.1.1 La masse volumique apparente

###### Définition

La masse volumique apparente d'un liant est la masse volumique d'un mètre cube du matériau pris en tas, comprenant à la fois des vides perméables et imperméables de la particule ainsi que les vides entre particules.

###### Mode opératoire :

Prendre l'échantillon dans les deux mains.

Verser l'échantillon toujours au centre du récipient, jusqu'à ce qu'il déborde tout autour en formant un cône, raser à la règle et peser le contenu.

Calculer la masse volumique apparente à partir de la formule suivante:

$$m_{vapp} = \frac{MT - M_0}{V}$$

**Avec:**

$M_{vapp}$ : la masse volumique apparente.

$M_0$ : la masse du récipient de mesure vide.

$M_T$ : la masse du récipient avec l'échantillon.

$V$ : le volume du récipient de mesure.

### II.3.2 La masse volumique absolue

Définition La masse volumique absolue (encore appelée masse spécifique) est le rapport entre la masse du matériau et le volume de matière pleine sans aucun vide entre dans les grains (volume absolu de la matière). Mode opératoire Mettre dans une éprouvette un volume  $V_1$  d'eau.

Peser une masse  $M$  du corps et l'introduire dans l'éprouvette.

Lire de nouveau le volume  $V_2$ .

Le volume absolu est  $V = V_2 - V_1$

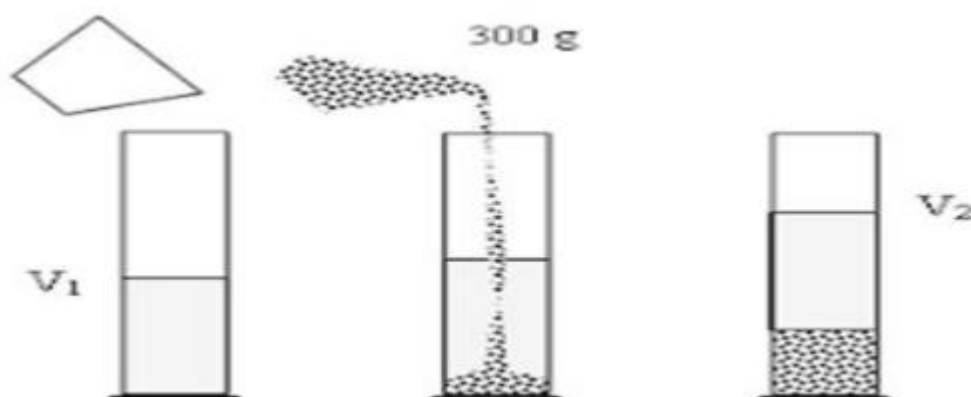


Figure II 4: Détermination de la masse volumique absolue d'un matériau.

### II.3.3 La masse volumique absolue est:

$$M_{vabs} = \frac{M_s}{V_2 - V_1}$$

$M_{vabs}$  : Masse volumique absolue.

$M_s$  : Masse des grains solides

$V_1$ : volume de l'eau

$V_2$ : volume total (grains solides+ eau).

### III.4.1 Analyse Granulométrique Par Tamisage

Cet essai intitulé analyse granulométrique permet de déterminer la grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs des différentes familles de grains constituant l'échantillon. C'est la norme NF EN 933-1 qui précise dans quelles conditions et comment l'essai doit se dérouler, et donne ainsi la façon d'interpréter les résultats. II.

**But:**

L'analyse granulométrique permet de déterminer la grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs des différentes familles de grains constituant l'échantillon. L'analyse granulométrique permet ainsi de connaître les différentes classes granulaires en fractionnant les matériaux à l'aide des tamis. III.

**Principe de l'essai:**

L'essai consiste à fractionner au moyen d'une série de tamis emboîtés les uns sur les autres dont les dimensions des ouvertures sont décroissantes du haut vers le bas un matériau en plusieurs classes granulaires de tailles décroissantes. Le matériau est placé dans le tamis supérieur et le classement des grains s'obtient par vibration de l'ensemble de la colonne des tamis. Cette vibration peut être mécanique ou manuelle.

**Le matériel utilisé pour l'essai:**

L'équipement nécessaire pour l'analyse granulométrique est:

un ensemble de tamis normalisés qui sont constitués d'un maillage métallique définissant des trous carrés de dimensions normalisés. Les dimensions nominales normalisées des tamis sont les suivantes:

**Tableau II.2** Les dimensions nominales normalisées des tamis sont les suivantes:

Module	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Tamis (mm)	0.08	0.100	0.125	0.160	0.200	0.250	0.315	0.400	0.500	0.630	0.800
Module	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41
Tamis (mm)	1.00	1.25	1.60	2.00	2.50	3.15	4.00	5.00	6.30	8.00	10
Module	42	43	44	45	46	47	48	49	50		
Tamis (mm)	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80		

La norme NF EN 933-2 préconise l'utilisation des tamis suivants: 0,063 - 0,125 - 0,25 - 0,5 - 1 - 2 - 4 - 8 - 16 - 31,5 - 63 - 125

- Une précise balance électronique



**FigureII 5 :** balance électronique

- Un pinceau pour le nettoyage des tamis



**FigureII6 :** Un pinceau

- Une machine à tamiser dans le cadre d'un laboratoire équipé, dans le cas contraire le tamisage se fera manuellement.



**Figure II7 :** Une machine à tamiser

- Étuve de séchage



**FigureII8 :** Étuve de séchage

### **II.2.3.1.Module De Finesse**

C'est un module qui nous permet de caractériser la finesse des différents types de sable par la somme des pourcentages des refus cumulés pour les tamis de série suivant (0.16,0.315, 0.63,1.25, 2.5, 5 mm).

### **(II.4) II.2.3.2.Facteur D'uniformité Cu**

C'est un coefficient pour la classification des agrégats. On définit l'uniformité d'une granulométrie

par le coefficient de HAZEN ou coefficient d'uniformité.

D60: représente l'ouverture du tamis auquel passe 60% du poids des grains, De même pour D10.

Pour  $(D60/D10) > 2$ , la granulométrie est dite étalée.

ET pour  $(D60/D10) < 2$ , la granulométrie est dite serrée [18].

### **II.3.3.Le pourcentage de fines (F)**

Le pourcentage de fines (F) passant à travers le tamis de 0.08 mm est égale à:

$$F(\%) = \frac{M_1 - M_2 + P}{M_1} \times 100 \quad (\text{II.5})$$

M1: masse de la prise d'essai, en Kg.

M2: masse séchée du refus à 0.08 mm, en Kg. P: masse du tamisât dans le fond, en Kg.

### **Préparation de poudre de verre:**

#### **III.5.1 l'essai Los Angeles:**

L'utilisation de matériaux recyclés dans les travaux de génie civil prend une importance croissante pour répondre aux exigences de durabilité environnementale. Le verre recyclé, sous forme de granulats, constitue une alternative aux granulats naturels dans certaines applications routières ou bétons non structurels. Avant son emploi, il est indispensable d'évaluer sa résistance mécanique. L'essai Los Angeles est un test normalisé qui permet de mesurer la résistance à l'usure et à la fragmentation des granulats. Cet essai peut également être adapté pour évaluer la performance du verre recyclé en tant que granulat.



**Figure II 9:** Machine de découpe



**Figure II.10 :** Los Angeles

**But de l'essai**

Le but de l'essai Los Angeles est de déterminer la résistance à la fragmentation du verre recyclé utilisé comme granulats, sous l'effet de chocs et d'abrasion mécaniques. Il permet d'estimer la durabilité du matériau lorsqu'il est soumis à des sollicitations mécaniques, comme celles rencontrées dans les couches de roulement ou les bétons

### **Principe de l'essai**

L'essai consiste à placer un échantillon de granulats (ici, le verre concassé) dans une machine Los Angeles, contenant une charge abrasive (généralement des boulets en acier). Le tambour de la machine est mis en rotation, ce qui provoque des chocs et frottements entre les granulats et les boulets. Après un nombre défini de révolutions (généralement 500), le matériau est tamisé pour déterminer la quantité de fines produites. Le coefficient Los Angeles (LA) exprime le pourcentage de perte en masse de l'échantillon initial.

### **Matériel utilisé**

Machine Los Angeles (tambour en acier rotatif)

Boulets en acier normalisés

Échantillon de verre concassé (granulométrie définie, généralement 10-14 mm ou 10-20 mm)

Tamis normalisé (normalement 1,6 mm ou 2 mm selon la norme)

Balance de précision

Pelle, brosse, récipient de pesée

### **Mode opératoire**

Préparation de l'échantillon: Sélectionner et peser un échantillon de verre concassé selon la granulométrie et la masse définies par la norme (ex. NF EN 1097-2).

Chargement: Introduire l'échantillon dans le tambour avec le nombre requis de boulets en acier (généralement 12).

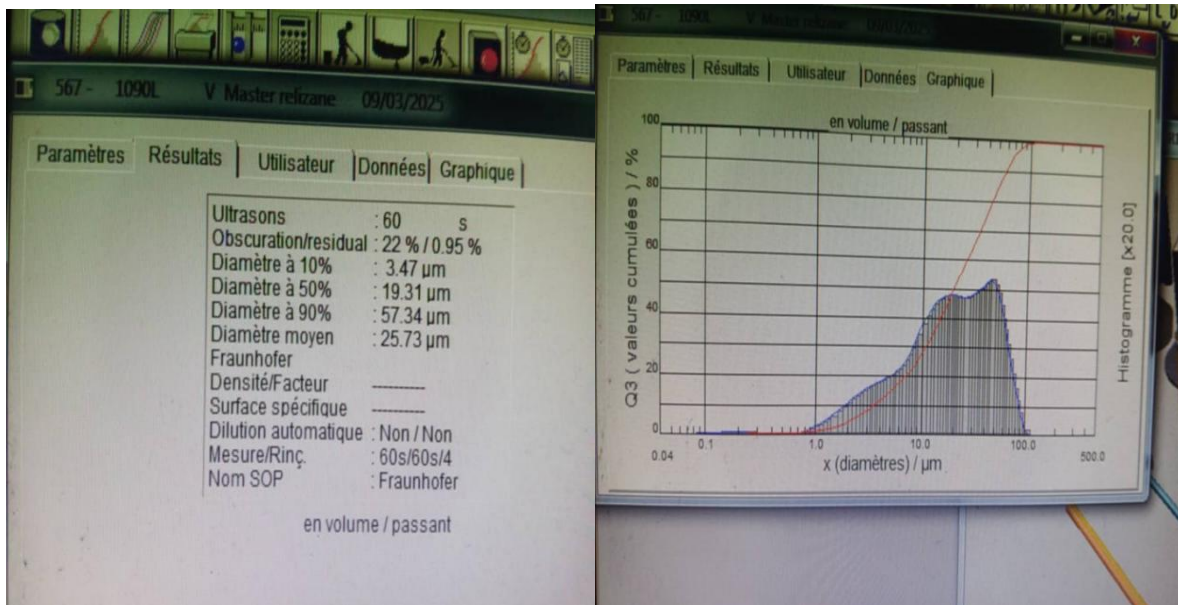
Rotation: Faire tourner le tambour à 30-33 tours/min pour un total de 500 tours.

Récupération: Extraire le contenu, retirer les boulets, puis tamiser les granulats à travers un tamis de 1,6 mm.

Pesée des fines: Peser la fraction passant à travers le tamis.

### **Analyse de la poudre de verre :**

L'analyse de la poudre de verre (ou verre broyé finement) est une étape essentielle pour évaluer sa pertinence comme adjuvant ou substitut partiel dans la fabrication du béton armé. Voici les principaux aspects à analyser :



**Figure II.11 :** Les diagrammes d'analyse de poudre de verre

## II.5.2.Essai sur mortier

### Définition du mortier normal:

Le mortier normal est un mortier qui sert à définir certaines caractéristiques des ciments notamment la résistance à la compression. Ce mortier est réalisé conformément à la norme en 196-1. Le mortier normal est le mélange d'éléments secs 1:3 avec un rapport E/C = 0,5.

### Principe:

-L'essai consiste à préparer un mortier normal à l'aide d'un sable

### Matériel utilisé:

- a) - Un malaxeur à deux vitesses: lente et rapide,
- b) - une balance précise au gramme, de portée au moins égale à 10 kg
- c)- des bacs

### Mortier normal :

Pour préparer un mortier normal on pèse les constituants suivants :

Sable normalisé : 1535 ±5g ;

Ciment : 511 ±2g

Eau de gâchage : 250 g (le rapport E/C est égale 0.5).

### Elaboration des différentes formulations

Après l'analyse et caractérisation de tous les constituants, nous présentons les principaux essais faits dans laboratoire d'université de Relizane sur les propriétés des mortiers fibrés à base des fibres métallique.

Les différents mortiers étudiés sont notés comme suit :

M0 : mortier normal sans poudre de verre

M10 : mortier +10% de poudre de verre

M15 : mortier +15% de poudre de verre

M20 : mortier +20 % de poudre de verre

#### **conformément aux prescriptions de la norme:**

Introduire l'eau en premier dans la cuve du malaxeur; y verser ensuite le ciment; aussitôt après, mettre le malaxeur en marche à vitesse lente.

Après 30 s de malaxage introduire régulièrement le sable pendant les 30s suivantes. Mettre alors le malaxeur à sa vitesse rapide et continuer le malaxage pendant 30s supplémentaires. Arrêter le malaxeur pendant 1 min 30 s.

Pendant les 15 premières secondes enlever au moyen d'une raclette tout le mortier adhérent aux parois et au fond du récipient en le repoussant vers le milieu de celui-ci.

Reprendre ensuite le malaxage à grande vitesse pendant 60 s. [26]

Le mortier prêt, le verser dans des moules prismatiques 7x7x28 cm. La mise en place est réalisée par vibration

#### **II.5.3. Malaxage du mortier:**

Il faut malaxer chaque gâchée de mortier mécaniquement au moyen du malaxeur spécifié.

Verser l'eau dans le récipient et introduire le ciment.

- Mettre alors immédiatement le malaxeur en marche à petite vitesse et après 30 s, introduire régulièrement tout le sable (pendant les 30 s suivantes).
- Mettre le malaxeur à sa vitesse la plus grande et continuer à mélanger pendant 30s supplémentaires.
- Arrêter le malaxeur pendant 1 min 30 s. Pendant les 15 premières secondes, enlever au moyen d'une raclette en caoutchouc tout le mortier adhérent aux parois et au fond du récipient en le repoussant vers le milieu de celui-ci.
- Reprendre ensuite le malaxage à grande vitesse pendant 60 s [20].
- dans notre travail nous avons utilisé un malaxeur automatique de marque CONTROLS.

#### **Tableau III.16 : Opérations de malaxage du mortier**

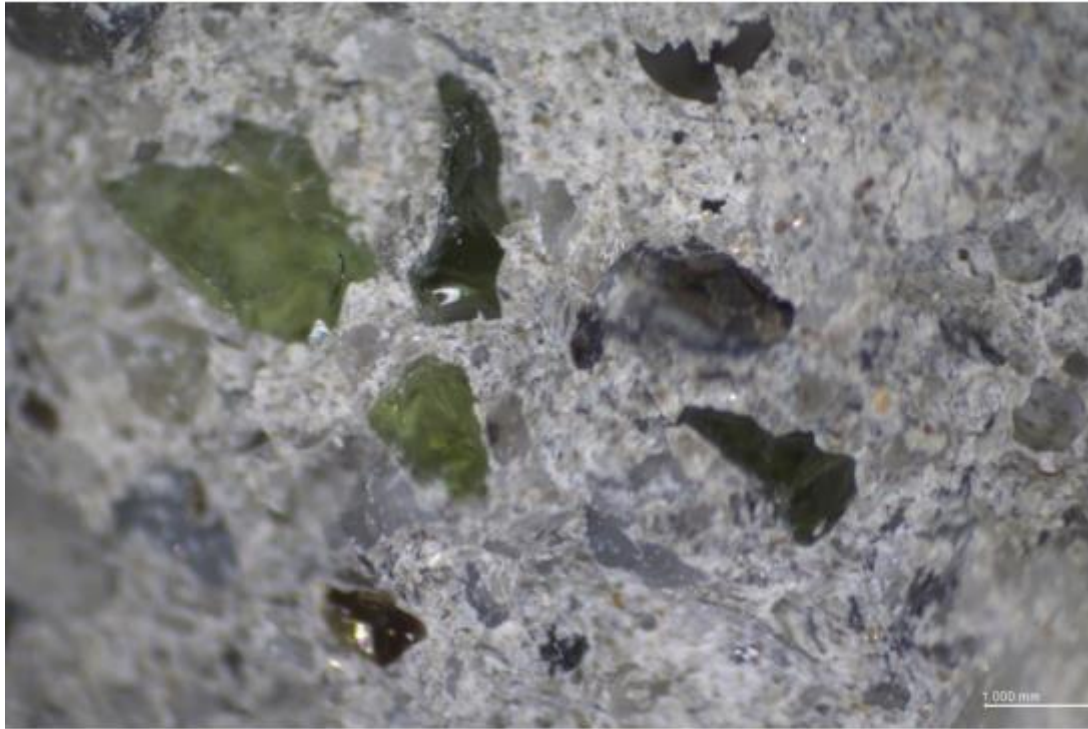
Opérations	Introduction de l'eau	Introduction du ciment	/	Introduction du sable	Raclage de la cuve	/	/
Durée	/	/	30 s	30 s	15 s	1 min 15 s	60 s
Etat du malaxeur	Arrêt		Vitesse lente		Arrêt		Vitesse rapide



**FigureII.12:** Malaxage du mortier



**FigureII.13.** Images au microscope optique de la microstructure du mortier



**Figure II.14 :** Images au microscope optique de la microstructure du mortier contenant 10 % de calcin de verre.

#### **III.5.4 Essai au maniabilimètre (NF P 18-452 / EN 413-2)**

Le maniabilimètre est un appareil conçu pour déterminer la maniabilité dynamique des mortiers de béton. Il se compose de deux compartiments inégaux séparés par une paroi amovible. Le mortier est placé dans le grand compartiment, puis l'appareil est soumis à des vibrations, permettant au mortier de s'écouler vers le petit compartiment. Le temps nécessaire à cet écoulement est mesuré, fournissant une indication de la maniabilité du mortier

#### **III.5.5 Conservation des éprouvettes:**

Les éprouvettes doivent restées dans le moule et être protégées contre les chocs, les vibrations et les dessiccations pendant un minimum de 16h (à une température de  $20 \text{ C}0 + 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Après démoulage, les éprouvettes doivent être entreposées dans l'eau pendant 28 jours à une température de  $20 \text{ }^{\circ}\text{C} + 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , ainsi dans une chambre à  $28 \text{ }^{\circ}\text{C} + 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Les éprouvettes de mortier classique et de déchet de verre et béton sont conservées dans l'eau pendant 7, 14 et 28 jours.

#### **Principe de l'essai**

Dans ces essais, la consistance est caractérisée par le temps que met le mortier pour s'écouler sous l'effet d'une vibration.

### II.5.6. L'appareil utilisé

L'appareil utilisé est appelé maniabilimètre LCL, et aussi illustré consiste en un boîtier parallélépipédique métallique (7.5cm× 7.5cm×15cm), posé sur des supports en caoutchouc, équipé d'un vibreur et muni d'une cloison amovible.



**FigureII15** : La maniabilité du mortier les moule



**FigureII16** : L'essai de maniabilité

## IV PREPARATION DES EPROUVETTES ET DEROULEMENT DES ESSAIS

Les essais sont effectués sur des éprouvettes prismatiques en mortier de dimensions (4×4×16) cm<sup>3</sup>, à raison de trois éprouvettes par essai et compactés mécaniquement à l'aide d'une table à choc. Les moules ont été couverts de film plastique et stockés dans l'environnement du laboratoire. Après 24 heures, les échantillons ont été démoulés et conservés jusqu'à la période de l'essai dans l'eau à une température de 20 ± 1°C. Les résistances mécaniques des mortiers ont été déterminées à l'âge de 7 14 et 28 jours selon la norme EN 196-1.

Les liants ont été préparés à partir de différents pourcentages d'ajouts de filler et de pouzzolane naturelle. Toutes les substitutions sont faites relativement à la masse de ciment.

### IV.2Les compositions utilisé :

Dans notre travail, nous avons préparé environ 150 éprouvettes pour la caractérisation physique et mécaniques des mortiers confectionnés en différent pourcentage de poudre de verre et de sable de dune. On donne les nomenclatures nommées dans le travail :

**Tableau(II.2) . Les composition utilisé pour le mortier.**

Mix	Ciment (g)	Eau (g)	Ad (g)	Sable (g)	Verre (%)	Verre (g)
M0	511	250	1.5%	1535	0	0
M1	511	250	1.5%	1382	10	154
M2	511	250	1.5%	1304.5	15	230.5
M3	511	250	1.5%	1228	20	307

#### **IV.2.1 Vitesse de propagation d'ondes ultrasoniques**

Le contrôle par ultrasons est une méthode de contrôle non destructif permettant la détection de défaut à l'intérieur d'un matériau.

Le contrôle par ultrasons est basé sur la transmission et la réflexion d'onde de type ultrasons à l'intérieur d'un matériau. Les ondes utilisées peuvent être libres (de compression ou de cisaillement) ou guidées (de surface ou de plaque).

Il est destiné surtout pour tester l'homogénéité du béton car les résultats dépendent de la formulation de béton de la densité, de la porosité, de l'humidité.



**FigureII 17 : Vitesse de propagation d'ondes ultrasonique**



**FigureII 18 : Appareil utilisai**

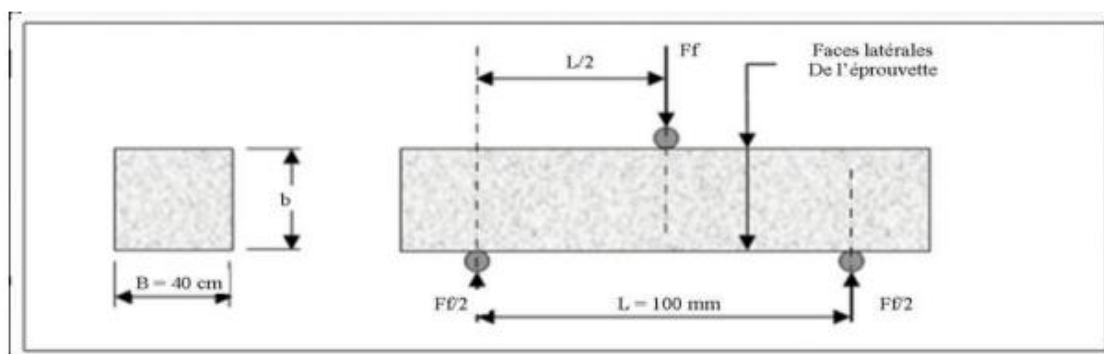
#### **II.2.8.2Principe**

Une onde ultrasonore est émise par un transducteur placé sur la surface du matériau à contrôler et se propage dans le matériau. Il existe des méthodes par contact. Dans le cas de la méthode par contact, il

est nécessaire d'ajouter un couplant (eau ou gel) entre le palpeur et la pièce pour assurer la transmission des ondes.

#### IV2.1 Résistance à la flexion

Placer le prisme dans le dispositif de flexion avec une face latérale de moulage sur les rouleaux d'appui et son axe longitudinal perpendiculaire à ceux-ci. Appliquer la charge verticalement par le rouleau de chargement sur la face latérale opposée du prisme et l'augmenter de  $50 \text{ N/s} \pm 10 \text{ N/s}$ , jusqu'à rupture



**Figure III19** : Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion.

Conserver les demi-prismes humides jusqu'au moment des essais en compression. La résistance en flexion (en  $\text{N/mm}^2$ ) est calculée au moyen de la formule:

$$R_f = \frac{1.5 \times F_f \times l}{b^3} \quad (\text{II.10})$$

$R_f$  : est la résistance en flexion, en newtons par millimètre carré ou en MPa.

$b$  : est le côté de la section carrée du prisme, en millimètres.

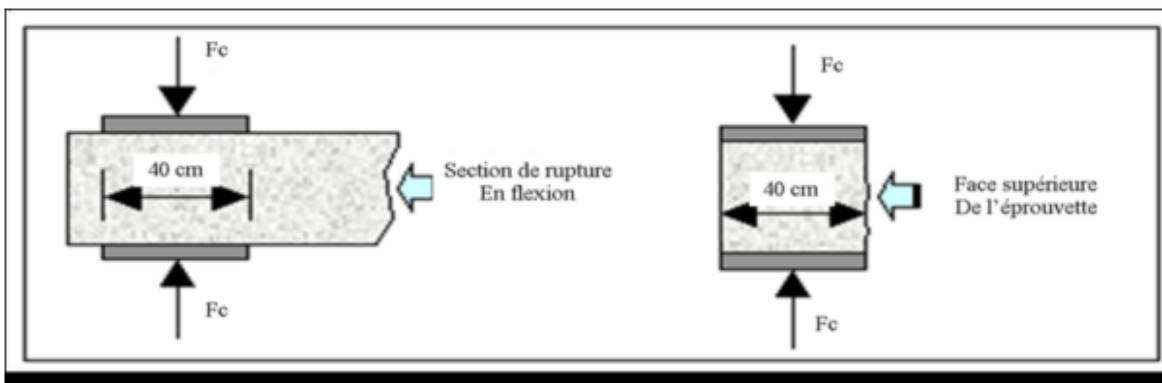
$f_f$  : est la charge appliquée au milieu du prisme à la rupture, en newtons.

$l$  : est la distance entre les appuis, en millimètres.



**FigureII 20:** Résistance à la flexion

**IV2.2 Résistance à la compression :**



**Figure 21:** Dispositif de rupture en compression.



**FigureII22 L** essai de la compression

**Conclusion :**

Dans ce chapitre, nous avons présenté les différents matériaux utilisés dans cette étude. Le détail des différentes formulations a été également présenté dans cette partie. Ces différentes formulations seront utilisées pour la réalisation des essais expérimentaux (études des propriétés physiques et mécaniques).

## **3<sup>ème</sup> Chapitre:**

# **RESULTATS EXPERIMENTAUX ET ANALYSES**

## I. Introduction:

Après avoir analysé les propriétés physiques et chimiques des matériaux utilisés et élaboré de nouveaux mélanges, ce chapitre s'intéresse au comportement mécanique d'un mortier incorporant des déchets de verre. Nous y évaluons notamment sa résistance à la compression, tout en examinant l'impact de l'ajout de ces déchets sur les différentes propriétés physiques et mécaniques du mélange. Les résultats obtenus sont ensuite comparés afin de mieux comprendre les effets de ces modifications.

## II.2. Résistances mécaniques des mortiers

### II.2.2 Résistance à la compression:

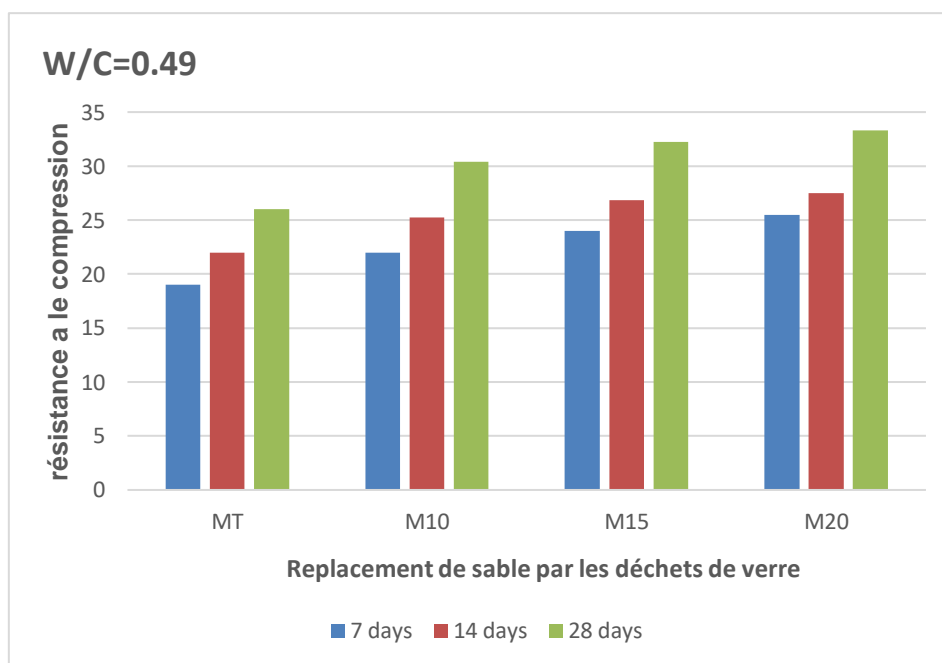
L'évolution de la résistance à la compression a été étudiée à l'âge de 7, 14, 28 jours de

conservation dans l'eau, les résultats sont présentés dans le tableau suivant :

**Tableau III.1.** Valeurs de Résistance à la compression

	<b>MT</b>	<b>M10</b>	<b>M15</b>	<b>M20</b>
<b>7 DAYS</b>	19	22	24	25.45
<b>14 DAYS</b>	22	25.22	26.86	27.5
<b>28 DAYS</b>	26	30.42	32.24	33.28

Pour le pourcentage de l'adjuvant on prend 1,6%



**FigIII.1:** Effet de l'incorporation de GW% sur la résistance à la compression.

Le graphique présente l'évolution de la résistance à la compression du mortier pour un rapport eau/ciment (E/C) de 0,49, en fonction du pourcentage de remplacement du sable par des déchets de

verre (GW).

Les résultats indiquent une augmentation progressive de la résistance à la compression avec le temps de cure (7, 14 et 28 jours), ce qui est typique des matériaux à base de ciment. Cette tendance confirme l'hydratation continue du ciment, responsable du gain de résistance mécanique dans le temps.

Le mortier témoin (MT), sans ajout de verre, affiche une résistance de départ d'environ 19 MPa à 7 jours, atteignant près de 27 MPa à 28 jours. Cependant, l'incorporation de verre broyé comme substitut partiel du sable améliore globalement la résistance, en particulier aux jeunes âges.

Pour une substitution de 10 % (M10), la résistance atteint environ 22 MPa à 7 jours, puis 28 MPa à 14 jours, et environ 31 MPa à 28 jours.

À 15 % de substitution (M15), les performances sont encore meilleures, culminant à environ 32 MPa à 28 jours.

Enfin, à 20 % de remplacement (M20), la résistance reste élevée, proche de 33 MPa à 28 jours.

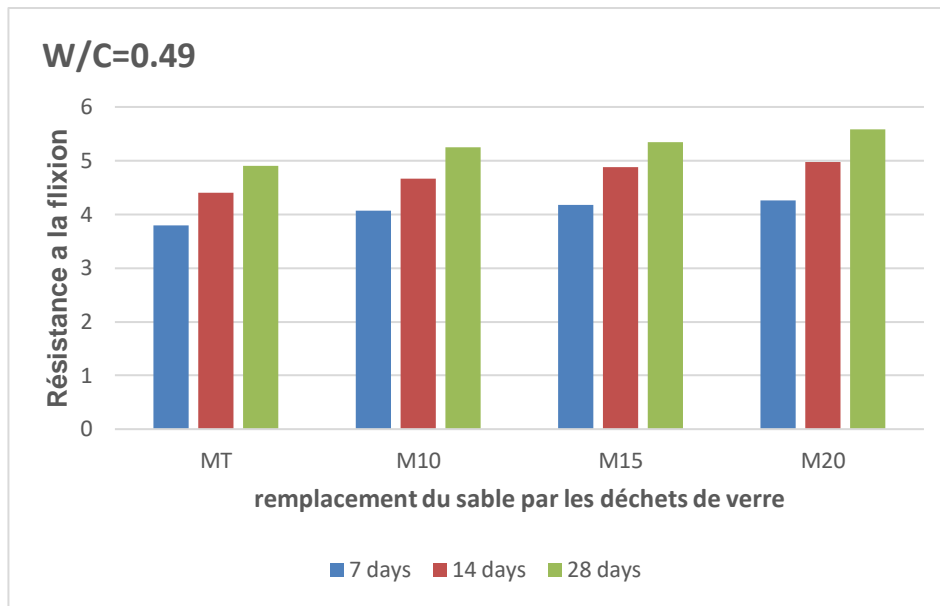
Ces résultats montrent que le remplacement partiel du sable par des déchets de verre, jusqu'à 20 %, améliore les performances mécaniques du mortier, probablement grâce à l'effet pouzzolanique du verre finement broyé et à sa contribution à une meilleure compacité de la matrice. Cela permet non seulement de valoriser un déchet problématique (le verre), mais aussi de produire un matériau plus performant et durable sur le plan environnemental.

### II.2.1 résistance à la flexion

Pour déterminer de la résistance à la flexion, nous avons utilisé la méthode de la charge concentrée à mi portée au moyen du dispositif de flexion normalisé. Les demi-prismes obtenus dans l'essai de flexion doivent être essayés en compression sur les faces latérales de moulage sous une section de 4cm x 4cm x 16 cm

**Tableau III.2.** Valeurs de Résistance à la flexion :

	<b>MT</b>	<b>M10</b>	<b>M15</b>	<b>M20</b>
<b>7 days</b>	3,8	4,066	4,18	4,256
<b>14 days</b>	4,4	4,664	4,884	4,972
<b>28 days</b>	4,9	5,243	5,341	5,586



**FigIII.2:** Effet de l'incorporation de GW% sur la résistance à la flexion.

Le graphique illustre l'évolution de la résistance à la flexion du mortier pour un rapport eau/ciment (E/C) de 0,49, en fonction du pourcentage de remplacement du sable par des déchets de verre (GW), à 7, 14 et 28 jours de cure.

Comme observé dans le cas de la résistance à la compression, on constate ici une augmentation régulière de la résistance à la flexion avec le temps, ce qui reflète le développement progressif de la microstructure cimentaire.

Le mortier témoin (MT), sans substitution, présente une résistance initiale d'environ 3,8 MPa à 7 jours, atteignant environ 4,8 MPa à 28 jours. L'incorporation de déchets de verre améliore légèrement la résistance à la flexion pour tous les niveaux de substitution étudiés.

À 10 % de remplacement (M10), la résistance passe à environ 4,1 MPa à 7 jours, pour atteindre 5,1 MPa à 28 jours.

À 15 % (M15), la résistance continue d'augmenter, atteignant environ 5,3 MPa à 28 jours.

À 20 % (M20), la résistance maximale enregistrée avoisine les 5,5 MPa à 28 jours, ce qui constitue l'amélioration la plus significative par rapport au témoin.

Ces résultats suggèrent que le remplacement partiel du sable par du verre broyé n'a pas d'effet négatif sur la résistance à la flexion, au contraire : jusqu'à 20 % de substitution, une amélioration progressive est observée. Cette performance peut être attribuée à la forme angulaire et à la dureté du verre, qui améliorent l'adhérence à la pâte cimentaire et la capacité du mortier à résister aux efforts de flexion.

Ainsi, l'usage de déchets de verre comme substitut du sable se révèle bénéfique non seulement pour la durabilité mécanique du matériau, mais également pour l'environnement grâce à la valorisation de déchets non biodégradables.

## II.1 Vitesse de propagation d'onde sonique

Tableau II.3: Valeurs des vitesses ultrasoniques des différents mortier.

Résistance à la compression (mpa)	Test de vitess d impulsion ultrasonore (m/S)
22	3000
25.22	3385
26.86	3435
27.5	3600
26	3470
30.42	3688
32.24	3804
33.28	3890

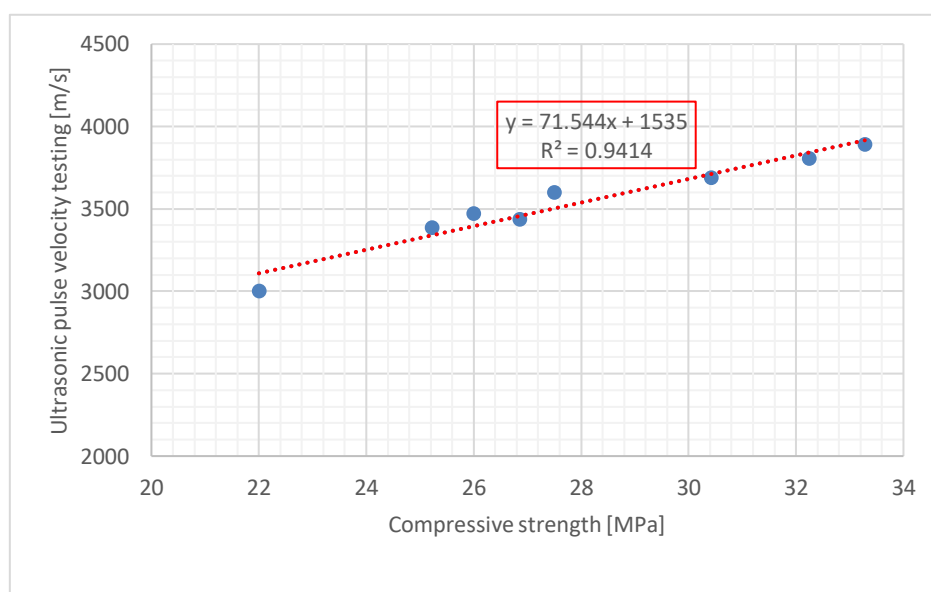


Figure.III.3 : diagramme de ultration

Le graphique présente une relation linéaire entre la résistance à la compression du mortier (exprimée en MPa) et la vitesse de propagation des impulsions ultrasonores (UPV, exprimée en m/s). Cette relation est représentée par une droite de régression dont l'équation est :

$$y = 71.544x + 1535$$
$$R^2 = 0.9414$$

Ce modèle de régression indique que :

Il existe une corrélation linéaire forte entre les deux paramètres ( $R^2 \approx 0,94$ ), ce qui suggère que l'UPV peut être utilisée comme indicateur indirect fiable pour estimer la résistance à la compression.

Pour chaque augmentation de 1 MPa de la résistance à la compression, la vitesse des ondes ultrasonores augmente en moyenne de 71,544 m/s.

L'ordonnée à l'origine (1535 m/s) représente la vitesse estimée pour une résistance quasi nulle — bien que cette valeur soit théorique et n'ait pas d'intérêt pratique direct.

L'évolution positive et linéaire de la courbe montre que plus le matériau est dense et résistant, plus la propagation des ondes est rapide, ce qui est cohérent avec le comportement physique attendu

# ***Conclusion générale***

## Conclusion générale

Les résultats de l'étude montrent que le remplacement partiel du sable par des déchets de verre (jusqu'à 20 %) dans la composition du mélange cimentaire a un effet positif sur les propriétés mécaniques du mortier, comme suit :

### Résistance à la compression :

- La résistance augmente avec le temps de cure (7, 14, 28 jours).
- La performance maximale a été atteinte pour des taux de remplacement de 15 % et 20 %, où la résistance a dépassé 32 MPa après 28 jours, ce qui indique la contribution du verre à l'amélioration de la densité et de la cohésion du mélange.

### Résistance à la flexion :

- Tous les taux de remplacement ont montré une amélioration continue de la résistance, particulièrement à 20 %, où elle a dépassé 5,5 MPa après 28 jours.
- Cela indique une amélioration de la ductilité et de la capacité à supporter la traction dans le matériau, attribuable à la forme angulaire du verre et à ses propriétés physiques.

### Relation entre la résistance à la compression et la vitesse des ondes ultrasonores (VOS) :

- Une forte relation linéaire ( $R^2 = 0,9414$ ) a été enregistrée entre la résistance à la compression et la VOS, confirmant que la mesure ultrasonore peut être un outil fiable pour évaluer les propriétés mécaniques de façon non destructive.
- Plus la résistance du matériau est élevée, plus la vitesse des ondes augmente, en raison de l'amélioration de la densité et de l'homogénéité interne.

Les déchets de verre peuvent être considérés comme un matériau alternatif prometteur et durable au sable naturel dans la fabrication du mortier, à condition que le taux de remplacement ne dépasse pas 20 %. Cela permet d'obtenir une bonne performance mécanique tout en renforçant l'aspect environnemental grâce au recyclage des déchets et à la réduction de la dépendance aux ressources naturelles.

# **Références de Bibliographiques**

## Liste des Références

- [1] F. Deby, *\*Le béton : formulation et mise en œuvre\**, Paris: Eyrolles, 2014.
- [2] M. Cyr, E. Sellami et M. Lachemi, “Recyclage des déchets de verre dans le béton,” *\*Revue française de génie civil\**, vol. 10, no. 2, pp. 165-180, 2012.
- [3] P. Chabannet, *\*Matériaux de construction\**, 4e éd., Paris: Dunod, 2015.
- [4] N. Bouzoubaa et M. Zhang, “Hydratation des ciments Portland avec ajouts minéraux,” *\*Cement and Concrete Research\**, vol. 33, pp. 1683-1689, 2003.
- [5] J. Baron, *\*Technologie du béton\**, 2e éd., Paris: Presses de l’ENPC, 2006.
- [6] A. Bentur et S. Mindess, *\*Fibre Reinforced Cementitious Composites\**, 2nd ed., CRC Press, 2007.
- [7] C. Meyer, “The greening of the concrete industry,” *\*Cement and Concrete Composites\**, vol. 31, no. 8, pp. 601-605, 2009.
- [8] J. F. Lamond et J. H. Pielert, *\*Significance of Tests and Properties of Concrete and Concrete-Making Materials\**, ASTM International, 2006.
- [9] D. Courard, *\*Utilisation des matériaux recyclés dans le béton\**, Liège: Presses universitaires de Liège, 2010.
- [10] J. P. Ollivier et J. Marchand, *\*Matériaux de construction : propriétés, durabilité\**, Paris: Hermès Science, 2007.
- [11] H. F. W. Taylor, *\*Cement Chemistry\**, 2nd ed., London: Thomas Telford Publishing, 1997.
- [12] Association Française de Génie Civil (AFGC), *\*Recommandations pour l’utilisation de l’eau dans le béton\**, Paris, 2005.
- [13] NF EN 933-1, “Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats – Partie 1: Analyse granulométrique,” AFNOR, 2012.
- [14] ADEME, *\*Le recyclage des déchets du BTP\**, Paris: Agence de l’Environnement et de la Maîtrise de l’Énergie, 2020.

- [15] D. Perrin, “Avantages environnementaux du recyclage,” *\*Revue Environnement & Technique\**, no. 290, pp. 22-26, 2017.
- [16] M. Bodin, *\*Les procédés du recyclage des déchets solides\**, Paris: Lavoisier, 2013.
- [17] B. Khoshnevisan et al., “Utilisation du béton recyclé dans les constructions,” *\*Construction and Building Materials\**, vol. 98, pp. 102-113, 2015.
- [18] P. Claisse, *\*Civil Engineering Materials\**, Oxford: Butterworth-Heinemann, 2016.
- [19] R. Dhir, M. Newlands et J. Halliday, *\*Recycling and Reuse of Glass Cullet\**, CRC Press, 2001.
- [20] G. W. Walters, *\*Glass Science\**, New York: Wiley-Interscience, 1974.
- [21] C. S. Pye, “Types de verre et leurs applications,” *\*Journal of Materials Science\**, vol. 34, pp. 2123-2135, 2000.
- [22] Ministère de l’Environnement (Algérie), *\*Rapport sur la gestion des déchets ménagers et assimilés\**, Alger, 2023.
- [23] M. Soutsos, *\*Concrete Durability and Performance\**, CRC Press, 2020.
- [24] ASTM C618, “Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete,” ASTM International, 2012.
- [25] L. Bennacer et A. Kadri, *\*Performance des bétons recyclés\**, Paris: Hermès-Lavoisier, 2011.
- [26] EN 196-1, “Méthodes d’essai des ciments – Partie 1: Détermination de la résistance mécanique,” AFNOR, 2016.

**Figure 9 et 10 laboratoire de GC polyphonique oran**

**Figure II.11 les étude sur laboratiore de GC polyphonique oran**

**FigureII.8 FigureII.12 Figure II15 FigureII16 FigureII17 Figure II18 Figure II20 Figure II22 sur laboratoire Gc Ahmed zabana relizane.**

**Figure III1 figrue III2 figrue III3 les étude sur laboratiore De Génie civil Ahmed zabana relizane**