

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA  
FACULTÉ DES SCIENCES APPLIQUÉES  
DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE



## Mémoire de Master

Spécialité : Génie Mécanique

Option : Fabrication Mécanique et Productique

Présenté par :

MEFATIH Azzeddine

### *Thème*

**Contribution a l'étude de la caractérisation du béton  
renforcé par des déchets de verres**

**Soutenu publiquement devant le jury composé de :**

CHAIB Hachem	M.C.A	UKM OUARGLA	Président
KEMERCHOU Imad	M.A.B	UKM OUARGLA	Examineur
BOUAKBA Mustapha	P.R	UKM OUARGLA	Encadreur

**Année universitaire : 2021/2022**

## ***Remerciements***

*Nous exprimons toute notre reconnaissance et gratitude à l'administration et à l'ensemble du corps enseignant de l'Université Kasdi Merbah-Ouargla pour leurs efforts à nous garantir la continuité et l'aboutissement de ce programme de Master.*

*Remerciements particuliers à Doyen du Collège*

***Pr. Kriker.***

*Nous remercions l'encadreur **Pr. BOUAKBA***

***Mustapha*** ainsi que laboratoire de LTPS.

*Nous tenons remercier aussi vivement les membres du jury :*

***Dr. CHAIB Hachem*** président jury ;et

***Dr. KEMERCHOU Imad*** examinateur qui nous ont fait l'honneur d'examiner ce travail.

*Nous remercions enfin tous ceux qui d'une manière ou d'une autre, ont contribué à la réussite de ce travail.*



# Dédicace

*A ma mère source de mon courage et mon inspiration.*

*A mes soeurs en particulier.*

*A toutes ma famille.*

*A ceux qui attendaient ce jour et le destin nous les a pris.*

*À benhaddou Amira, dr. Iman Alloui, à Maya et à tous les travailleurs du laboratoire de génie civil, un merci spécial à vous pour toute votre aide.*

*A qui m'ont soutenu et me soutiennent encore à ma petite princesse Nana, et tout le monde que j'aime.*

*A tous mes amis lakhdar et Hicham ..etc, qui ont toujours été à mes côtés contre vents et marées.*

*A tous mes collègues*



## RÉSUMÉ

Le recyclage des déchets n'est pas seulement un moyen de réduire la dégradation de l'environnement, mais il peut également réduire le coût de fabrication de certains matériaux utilisés dans le béton. En plus du ciment utilisé dans la fabrication du béton, une grande quantité de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) est émise, ce qui a un impact négatif sur l'environnement. La poudre de verre est un déchet inerte dans le processus de préparation du béton, l'utilisation de poudre de verre aide à résoudre ces problèmes et a été testée dans de nombreux pays. D'où l'idée de notre étude expérimentale. Nous avons partiellement remplacé le ciment par différentes proportions de poudre de verre à 0% (témoin), 10%, 15%, 20% et 25% pour la formulation du nouveau béton durci et sa durabilité en milieu aride.

Nos travaux ont donné des résultats acceptables concernant la résistance mécanique. Le meilleur résultat a été observé dans la formule contenant 10 % de poudre de verre par rapport au témoin.

**Mots clés :** poudre de verre, béton, gravier, sable, ciment.

## ملخص

لا تعد إعادة تدوير النفايات وسيلة لتقليل التدهور البيئي فحسب ، بل يمكنها أيضًا تقليل تكلفة تصنيع بعض المواد المستخدمة في الخرسانة. بالإضافة إلى الأسمنت المستخدم في صناعة الخرسانة ، تنبعث كمية كبيرة من ثاني أكسيد الكربون (CO<sub>2</sub>) ، مما يؤثر سلبيًا على البيئة. مسحوق الزجاج هو نفايات خاملة في عملية تحضير الخرسانة ، واستخدام مسحوق الزجاج يساعد في حل هذه المشاكل وقد تم اختياره في العديد من البلدان. ومن هنا جاءت فكرة دراستنا التجريبية.

استبدلنا الأسمنت جزئيًا بنسب مختلفة من مسحوق الزجاج بنسبة 0% (تحكم) ، و 10% ، و 15% ، و 20% و 25% لصياغة الخرسانة الجديدة المتصلبة وماتنتها في بيئة قاحلة. أعطى عملنا نتائج مقبولة فيما يتعلق بالمقاومة الميكانيكية. لوحظت أفضل نتيجة في الصيغة المحتوية على 10% مسحوق زجاجي مقارنةً بالتحكم.

**الكلمات المفتاحية:** بودرة الزجاج ، الخرسانة ، الحصى ، الرمال ، اسمنت

## **Abstract**

Recycling waste is not only a way to reduce environmental degradation, but it can also reduce the manufacturing cost of certain materials used in concrete. In addition to the cement used in the manufacture of concrete, a large amount of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) is emitted, which has a negative impact on the environment. Glass powder is an inert waste in the concrete preparation process, the use of glass powder helps solve these problems and has been tested in many countries. Hence the idea of our experimental study.

We partially replaced the cement with different proportions of glass powder at 0% (control), 10%, 15%, 20% and 25% for the formulation of the new hardened concrete and its durability in an arid environment.

Our work gave acceptable results concerning the mechanical resistance. The best result was observed in the formula containing 10% glass powder compared to the control.

**Key words:** glass powder, concrete, gravel, sand, cement.

# Sommaire

Résumé	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Introduction générale.....	1
<b>Chapitre I:RechercheBibliographique</b>	
I.1.Introduction.....	3
I.2.Historique.....	3
I.3.Béton.....	4
I.3.1.Rôle des déférents éléments constitutants de béton .....	4
I.3.2.Constituants des Béton .....	4
I.3.2.1.Ciment.....	4
a. Fabrication du ciment.....	5
b. Composition chimique du ciment portland.....	5
c. Classification des ciments industriels.....	6
d. hydratation du ciment.....	6
I.3.2.2.Granulat.....	7
a. sable .....	7
Définition .....	7
Diversesutilisations.....	8
b. Gravier.....	9
I.3.2.3. Eau de gâchage.....	10
I.3.2.4. Addition.....	10
a. Définition.....	10
b. La pouzzolane.....	11
I.4. Déchet solides.....	11
I.4.1. Définition de déchet .....	11
I.4.2. Type des déchets .....	12
I.4.3. Récupération et recyclage.....	12
I.4.4. Valorisations des déchets dans le domaine de génie civil :.....	13
I.5. Utilisation de verre dans le domaine du BTP .....	13
I.5.1. Verre et agrégat.....	13
I.5.2. Poudre de verre .....	14
I.6. Valorisations de poudre de verre dans BTP .....	14
I.7. Conclusion .....	14
<b>Chapitre II:Matériels et méthodes</b>	
II.1. Introduction.....	15
II.2. Caractéristiques des Matériaux utilisés.....	15
II.2.1. Le Sable .....	15
II.2.1.1. Le Sable de construction.....	15
II.2.1. 2. Caractéristiques de sable .....	15
a. Analyses granulométrique .....	15
b. Module de finesse .....	16
c. Equivalant de sable.....	17
d. La masse volumique .....	18
II.2.2. Gravier.....	19

II.2.2.1. Caractéristique de gravier .....	19
a. Composition chimique.....	19
b. La Masse Volumique.....	20
c. Propriété du gravier.....	20
d. Coefficient d'absorption.....	21
e. Analyse granulométrique.....	21
II.2.3. Ciment.....	21
II.2.3.1. Caractéristiques du Ciment .....	21
a. Essai de consistance de ciment.....	21
b. Essai de prise.....	22
c. Analyse chimique de ciment.....	23
II.2.4. Eau De Gâchage.....	23
II.2.5. Poudre de verre.....	24
II.3. Formulation et Confection du Béton.....	25
II.3.1. Définition de Méthode DREUX-GORISSE.....	25
II.3.2. Optimisation de squelette granulaire par la méthode DREUX-GORISSE....	26
II.3.3. Affaissement au cone d'Abrams .....	27
II.4. Confection et cure des éprouvettes .....	27
II.5. Propriétés mécaniques des éprouvettes.....	28
II.5.1. Essai de résistance à la traction par flexion.....	28
II.5.2. Essai de résistance à la compression.....	29
II.6. Conclusion.....	31
<b>Chapitre III: Résultats et discussions</b>	
III.1. Introduction.....	33
III.2. Résultats d'analyse des matériaux utilisés .....	33
III.2.1. sable.....	33
a. Analyses granulométrique .....	33
b. Module de finesse .....	34
c. Equivalant de sable.....	34
d. La masse volumique .....	34
III.2.2. Gravier .....	35
a. Composition chimique.....	35
b. caractéristique physique.....	35
c. Analyse granulométrique.....	35
III.2.3. Ciment .....	35
III.2.4. Eau de Gâchage.....	36
III.2.5. Poudre de verre.....	36
III.3. Résultats d'analyse de Béton .....	36
III.3.1. Résistance à la flexion par traction .....	36
III.3.2. Résistance à la Compression.....	38
III.4. discussions .....	39
Conclusion général.....	41
Référence bibliographique	

## **Liste des tableaux**

Tableau (I.1) : Quantité des composants de ciment	5
Tableau (I.2): Anhydres et les hydrates de ciment	6
Tableau (II.1) : Composition chimique du gravier	19
Tableau (II.2) : qualité du béton en fonction de la vitesse de la propagation des ondes ultrasoniques	31
Tableau (III.1) : Résultats d'essai de module de finesse	34
Tableau (III.2) : Résultats d'essai de l'équivalent de sable	34
Tableau (III.3) : Résultats de calcul de la masse volumique	34
Tableau (II.4): Composition chimique du gravier	35
Tableau (II.5) : Caractéristiques Physique	35
Tableau (II.6): Caractéristiques physiques du ciment	35
Tableau (III.7): Analyse chimique du ciment	36
Tableau (III.8) : Analyse chimique d'eau	36
Tableau (III.9) : Caractéristiques physiques de la Poudre de verre	36
Tableau (III.10) : Analyse chimique de la Poudre de verre	36



## Liste des figures

### Chapitre I

Figure (I.1) : Etapes de fabrication du ciment	5
Figure (I.2) : sable de construction	8
Figure (I.3) : Gravier	9
Figure (I.4) : Types de déchets solides	12
Figure (I.5) : déchets solides	13
Figure (I.6) : Verre	13
Figure (I.7) : Poudre de verre	14

### Chapitre II

Figure (II.1) : Colonne de tamis	17
Figure (II.2) : Essai d'équivalent de sable	19
Figure (II.3) : Masse volumique absolue	19
Figure (II.4) : Appareil d'apparente	20
Figure (II.5) : Tamis utilisés selon les Classes granulaires	22
Figure (II.6) : Appareil de Vicat	23
Figure (II.7) : Essai de prise	24
Figure (II.8) : Etapes de boryage poudre de verre	25
Figure (II.9) : Optimisation de dosage pondéral des granulats par la méthode DREUX GORISS	27
Figure (II.10) : Affaissement au coned 'Abrams	28
Figure (II.11) : Préparation des éprouvettes	29
Figure (II.12) : Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion (4 points)	30
Figure (II.13) : Machine d'essai de flexion	30
Figure (II.14) : Machine d'essai de compression	31

### Chapitre III

Figure (III.1): Courbe granulométrique du sable	35
Figure (III.2) : Analyse granulométrique des graviers (8/15).	37
Figure (III.3) : l'évolution de la résistance à la traction par flexion	38
Figure (III.4) : l'évolution de la résistance à la compression	38

# INTRODUCTION GENERALE

## Introduction Générale

### INTRODUCTION GÉNÉRALE

Le béton est l'un des matériaux de construction les plus utilisés dans le monde [1], [2], [3]. Mais c'est aussi un de ces matériaux qui a un impact négatif sur l'environnement, notamment à cause du ciment utilisé dans sa fabrication. Bien que le ciment ne représente que 15 % de sa composition, le ciment représente 96 % des émissions de CO2 dans le béton et 1 tonne de ciment équivaut à 1 tonne de CO2 [4], [5].

Utiliser des déchets de verre recyclés et d'autres résidus industriels solides pour remplacer le ciment, réduire les émissions de CO2 et empêcher les déchets causés par différentes activités humaines de s'accumuler dans différentes zones d'une même taille et occupant toujours cet espace pour trouver des lieux d'élimination [6], [7].

Pour cela, il faut rechercher des solutions techniques et économiques. Compte tenu de la quantité importante de déchets de verre, leur intégration dans l'ossature béton pourrait résoudre ce problème.

L'ajout d'additifs (poudre de verre) est aujourd'hui une technique importante pour améliorer les propriétés du béton telles que la résistance à la compression, la résistance à la traction et la durabilité [8]. Il est nécessaire de préciser la quantité optimale de mélange à utiliser. Comprendre les propriétés de ces nouveaux composants (additifs) et leur effet sur les propriétés du béton afin d'obtenir la meilleure solution pour optimiser la formulation du béton afin de produire un béton de la qualité requise pour la construction des ouvrages.

Nos recherches incluent le remplacement partiel du ciment par de la poudre de verre. Ce travail vise à vérifier l'efficacité et le comportement du béton avec différents pourcentages de poudre de verre.

Pour réaliser ce projet, nous proposons le plan de travail suivant :

- Le premier chapitre est une étude bibliographique centrée sur le béton et ses composants et leur rôle dans le béton, un aperçu de récupération et recyclage des déchets dans la construction (préparation du béton) en se basant sur les déchets de verre.

## **Introduction Générale**

- le deuxième chapitre présente les différentes méthodes expérimentales mises en œuvre pour déterminer les propriétés des matériaux utilisés, ainsi que des études sur la formulation et la fabrication d'éprouvettes de béton et leurs propriétés mécaniques.
- Le troisième chapitre décrit les résultats des propriétés des matériaux utilisés ; certains essais expérimentaux sont réalisés sur des éprouvettes de béton, à savoir des essais de compression et de traction en flexion.

Enfin, nous terminerons notre travail par des conclusions générales et quelques recommandations.

# CHAPITRE I

## *Recherche Bibliographique*

### **I.1. Introduction**

Le béton est un élément très important dans la réalisation du bâtiment. Ces propriétés dépendent de ces composants. Ce chapitre a pour objectif de discuter et de révéler les différentes parties qui composent le béton et de donner un aperçu de la valorisation et du recyclage des déchets (préparation du béton) dans la construction, notamment les déchets à base de verre.

### **I.2. Historique et importance des travaux**

L'utilisation de verre recyclé comme agrégat améliore grandement l'esthétique du béton. Des découvertes récentes suggèrent que le béton fabriqué avec des granulats de verre recyclé a de meilleures propriétés thermiques que les granulats de verre, et donc une meilleure résistance à long terme et une meilleure isolation thermique [9],[10].

Les valeurs de résistance à la compression du remplacement de 10 %, 40 % et 60 % d'agrégats par des déchets de verre d'une granulométrie de 0 à 10 mm sont supérieures de 3 %, 8 % et 5 % à celles du béton conventionnel. Il a été conclu que la poudre de verre à 30 % pouvait être incorporée dans le béton comme substitut du ciment sans effets indésirables à long terme. Jusqu'à 50 % d'agrégats fins et grossiers peuvent également être remplacés dans un béton de classe 32 MPa avec des caractéristiques de développement de résistance acceptables. Lorsque la poudre de verre usagé remplace 30 % ou 70 % de la granulométrie à 50 µm et 100 µm [11].

Les déchets de verre utilisés ont une forme cylindrique qui empêche la propagation des fissures dans la structure en béton. Dans l'étude de l'auteur sur les poudres de verre, il a été constaté que le verre avec des tailles de particules allant de 1,18 à 2,36 mm produisait la plus grande expansion, tandis qu'une faible expansion était observée à des tailles de particules plus petites [12],[13].

Il a été observé que le remplacement de 30 % de ciment par du verre ambré de granulométrie 75 µm par des cendres volantes augmentait la résistance à la compression du béton de 25 % à 7 jours et de 35 % à 28 jours [9].

Cet effet fournit de nombreuses preuves que les cendres volantes et les déchets de verre peuvent être utilisés ensemble pour produire du béton avec une résistance plus élevée sans aucun effet indésirable. Taille des particules inférieure à ce seuil

Aucun effet sur les changements de longueur. Le broyage du verre à une taille de particules de 300 ou moins réduit la réaction induite par la réaction de base (ASR).

En effet, des données rapportées dans la littérature indiquent que si les déchets de verre sont broyés finement, ils sont inférieurs à 75 µm. Cet effet ne se produit pas et la durabilité du mortier augmente [10].

Les résistances à la traction et à la flexion sont affectées par l'ajout de ferraille pour remplacer l'agrégat vierge, avec une réduction de 3 % de la résistance à la traction à un niveau de remplacement d'agrégat fin de 30 % par rapport aux essais de béton conventionnels [5].

### **I.3. Béton**

Le béton est un matériau de construction composé d'un mélange de gravier, de sable, de ciment et d'eau. Ce mélange est mis en oeuvre à l'état plastique dans un moule appelé gabarit. Après durcissement, le béton prend la forme d'un élément structural monolithique très résistant [11]. En changeant la nature et les proportions des ingrédients, on obtient des bétons aux propriétés et propriétés très différentes. Adjuvants et additifs utilisés pour améliorer certaines propriétés du béton frais ou durci [12].

#### **I.3.1. Rôle des différents éléments constituant le béton**

- **Ciment** : C'est un ingrédient qui réagit chimiquement avec l'eau, devient résistant et lie tous les ingrédients
- **L'eau** : c'est elle qui va hydrater le ciment et rendre le mélange malléable.
- **Le gravier** : ils vont former une disposition plus ou moins ordonnée qui va conférer au béton sa résistance.
- **Le sable** : il permet de remplir les trous qui subsistent entre les gros granulats.

#### **I.3.2. Constituants des Béton**

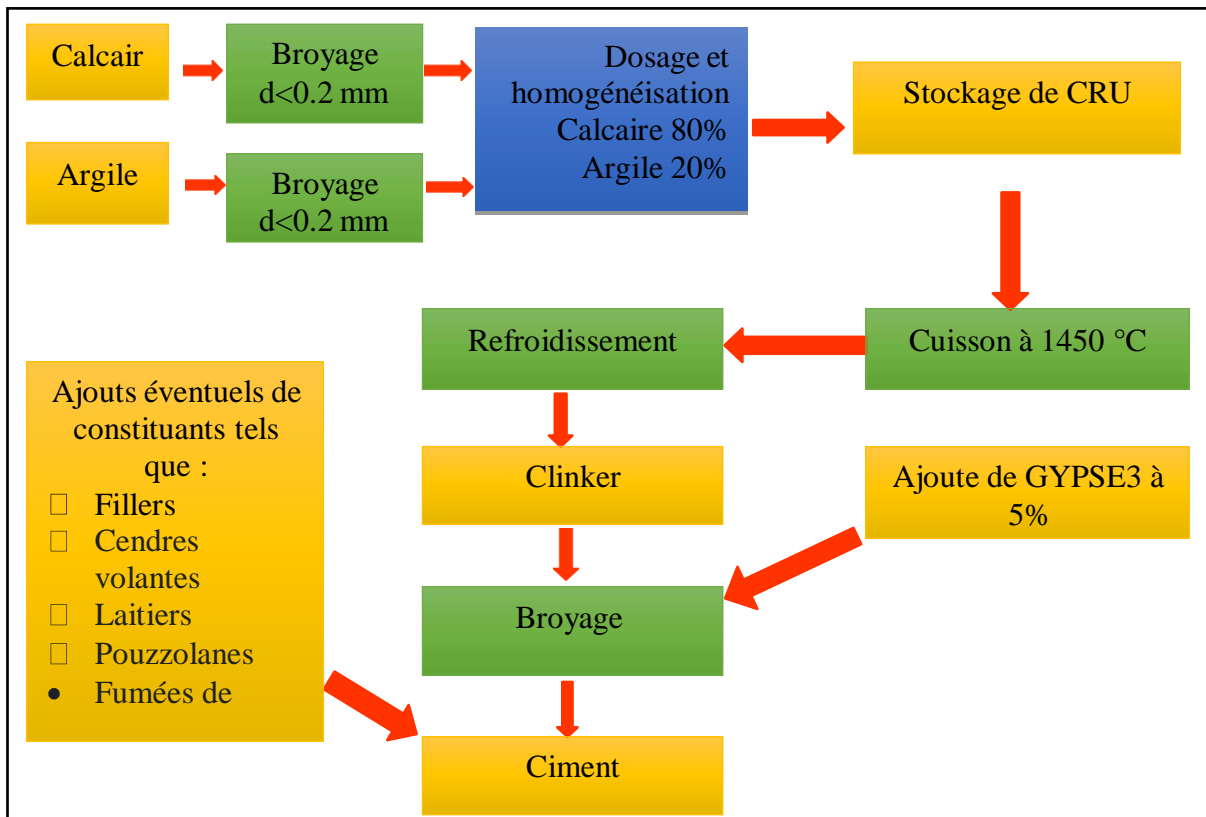
##### **I.3.2.1. Ciment**

Le ciment est un liant hydraulique sous forme d'une fine poudre chimique composée de silicates et d'aluminates de calcium, qui s'hydrate en présence d'eau pour former un matériau solide qui conserve sa résistance et sa stabilité même sous l'eau. Le ciment est donc le matériau le plus utilisé dans la construction [13],[14].

##### **a. Fabrication du ciment portland**

Le ciment Portland est fabriqué à partir de calcaire et d'argile. Ces matériaux sont extraits de carrières, concassés et stockés, puis analysés chimiquement pour déterminer la quantité de matières premières. Après le dosage, les ingrédients sont broyés et mélangés. La poudre ainsi obtenue est introduite dans l'extrémité supérieure du four rotatif légèrement incliné [16],[8].

Le processus de fabrication de ciment Portland est schématisé dans la figure (I.1).



**Figure (I.1) :** Etapes de fabrication du ciment [15].

**b. Composition chimique du ciment portland**

Les principaux oxydes qu'on trouve dans le ciment Portland sont

**Tableau (I.1) :** Quantité des composants de ciment.

Elément	Chaux	Silice	Alumine	Oxyde	Oxydede	Oxyde de	Oxydede	La
	CaO	SiO2	AL2O3	de fer	sodium	potassium	soufre	Magnésie
				Fe2O3	Na2O	K2O	SO3	MgO



### c. Classification des ciments industriels

Les ciments sont classés en fonction de leur composition, en cinq types principaux selon les normes NF P 15-301 et EN 197-1 :

- \* **CPA-CEM I** : ciment Portland artificiel (CPA dans la notation française)
- \* **CPJ-CEM II** : ciment Portland composé (CPJ)
- \* **CHF-CEM III** : ciment de haut fourneau
- \* **CPZ-CEM IV** : ciment pouzzolanique
- \* **CLC-CEM V** : ciment au laitier et aux cendres (ciment composé).

En plus des ciments courants cités précédemment, il existe des ciments courants à caractéristiques complémentaires comme le cas des ciments résistant aux sulfates (CRS), ciments pour travaux à lamer, ciments pour travaux au contact d'eaux très pures [16],[17].

#### \*Liants :

- Les ciments normalisés (gris ou blanc);
- Les ciments spéciaux (alumineux fondu, prompt);
- Les liants à maçonner ;
- Les chaux hydrauliques naturelles ;
- Les chaux éteintes

### d. Hydratation du ciment

L'hydratation du ciment implique la réaction de ses composants avec l'eau de gâchage. L'anhydride de ciment réagira avec l'eau du mélange pour former des hydrates. Ces anhydrides sont les principaux minéraux purs du clinker mentionnés ci-dessus.

Les anhydrides et hydrates mentionnés dans ce paragraphe sont résumés dans le tableau ci-dessous (I.2).

**Tableau (I.2) : Anhydres et les hydrates de ciment [18].**

Notation Abrégée	Formule Chimique en oxyde	Dénomination
<b>C3S</b>	$(\text{CaO})_3\text{-SiO}_2$	Silicate tricalcique
<b>C2S</b>	$(\text{CaO})_2\text{-SiO}_2$	Silicate bicalcique
<b>C3A</b>	$(\text{CaO})_3\text{-Al}_2\text{O}_3$	Aluminate tricalcique
<b>C4AF</b>	$(\text{CaO})_4\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3$	Aluminoferrite tétracalcique
<b>CH</b>	$\text{Ca}(\text{OH})_2$	Portlandite
<b>C-S-H</b>	$(\text{CaO})_x\text{-SiO}_2\text{-(H}_2\text{O)}_y$	Silicate de calcium hydraté

<b>C3A.(C3S )3.H32</b>	$(\text{CaO})_6\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-(SO}_3)_3\text{-(H}_2\text{O)}_{32}$	Ettringite ou "Aft"
<b>C3A. (C2S) .H12</b>	$(\text{CaO})_6\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-(SO}_3)_3\text{-(H}_2\text{O)}_{12}$	Monosulfoaluminate de calcium hydrate ou "Afm"
<b>C2AH8</b>	$(\text{CaO})_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-(H}_2\text{O)}_8$	Aluminate dicalcique hydraté
<b>C3AH6</b>	$(\text{CaO})_3\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-(H}_2\text{O)}_6$	Aluminate tricalcique hydraté
<b>C4AH13</b>	$(\text{CaO})_4\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-(H}_2\text{O)}_{13}$	Aluminate tétracalcique hydraté

### I.3.2.2. Granulat

Les granulats sont des matériaux inertes qui, aggloméré par un liant, constituent le squelette du béton. Selon la grosseur des grains on distingue les granulats suivants :

- Le sable dont les grains ont une dimension inférieure à 2 mm.
- Les gravillons ou le gravier (dimension comprise entre 2 et 20mm) [19]. En règle générale, les granulats (sable et gravier) représentent environ les trois quarts du volume total de béton. Pour cette raison, il n'est pas surprenant que leurs propriétés affectent les propriétés du béton : maniabilité, résistance, durabilité, etc. Donc on ne peut pas faire du bon béton avec des granulats médiocres [18].

#### a. Sable

- **Définition**

On appelle sables, les matériaux granulaires inertes conformes à la. Les sables naturels résultent

- soit de la désagrégation naturelle de roches généralement siliceuses : ce sont les sables ronds.
- soit du concassage de roches ou de gravier : ce sont les sables de concassage.
- soit du mélange de sables ronds et de concassage : ce sont les sables mixtes.

Le sable artificiel est du sable issu du recyclage de résidus industriels ou de matériaux de construction. Le matériau de remplissage est du sable. Dans le cas de plusieurs mélanges de sable, le mélange composite répond aux exigences minimales de ce cahier des charges standard [20].

Le sable est un matériau granulaire composé de petites particules d'origine minérale (principalement des roches) ou de matière organique (coquillages, squelettes coralliens, etc.) décomposées, dont la taille varie entre 0,063 (limon) et 2 mm (gravier) Matériau granulaire

géologiquement moyen Définition. Sa composition peut révéler jusqu'à 180 minéraux différents (quartz, mica, feldspath) ainsi que des fragments de calcaire [21],[8].

Ce sable est un sable commun, humide et non tamisé. Il est idéal pour tous genres de projets de construction. Il est utilisé entre autre dans la préparation des mélanges ciment-sable.

- **Diverses utilisations**

Les sables sont un élément essentiel du processus sédimentaire et représentent une ressource très importante du point de vue économique : remblais, granulats pour béton, matériaux de construction, sables siliceux pour l'industrie. Ces derniers (appelés autre fois sable industriels) constituent l'essentiel de la matière première de l'industrie du verre, des moules, des noyaux de fonderie ; ils entrent aussi dans la fabrication des céramiques et des mortiers spéciaux. Le sable est aussi le milieu naturel où s'accumulent les minéraux lourds alluvionnaires. Les placers d'ilménite (Oxyde naturel de fer et de titane, que l'on trouve dans certains schistes cristallins), ou « sables noirs », sont importants économiquement pour la fabrication des pigments de la peinture blanche (gisements côtiers en Australie) et comme source du titane-métal.

Les sables jouent également un grand rôle comme réservoirs potentiels pour les nappes d'eau (aquifères) ou les hydrocarbures. Il importe que l'exploitation du sable, souvent anarchique, soit réglementée pour éviter de perturber de fragiles équilibres naturels: érosion des plages dont l'alimentation naturelle en sable a été coupée; destruction à terre de la nappe phréatique...etc [22].



**Figure (I.2) :** sable de construction [22].

**b. Gravier :**

À noter que le gravier peut provenir de roches très variées : calcaire, granit, basalte, grès, diorite, quartz et même silex.

De plus, le gravier est disponible dans une variété d'options de couleurs : noir, blanc, rose, beige, vert, gris et même bleu. Cette couleur est mise en valeur dans les bétons décoratifs, notamment les bétons handicap ou colorés. Avec autant de graviers, il était parfois difficile de choisir celui qui convenait le mieux à notre projet.

Il se caractérise par :

**\*La couleur :** Prenez en considération le style de votre habitation (construction neuve, contemporaine, rustique...), la couleur de vos façades, la couleur de votre toiture afin d'établir une harmonie avec votre maison.

**\*La forme :** Nous évoquerons deux types :

Le roulé, produit arrondi qui adouci le regard et le touché (agréable lorsqu'on marche nus pieds aux abords d'une piscine par exemple).

Le concassé, produit anguleux qui favorise la stabilisation, idéal pour des voies ou des cours carrossables.

**\*La texture :**Le choix de la texture est primordial en fonction de la destinée finale du gravier. On privilégie un produit issu de roche dure tel que le grès, le porphyre granite ou le marbre pour des voies de circulations avec une forte résistance à la pression (cour, parking, allée carrossable).

On retiendra plutôt un produit tendre tel que le calcaire ou une roche volcanique type pouzzolane pour des massifs peu fréquentés par le piétinement.

**\*Le calibre :**On parle généralement de granulométrie, ce qui correspond à la taille du produit en mm. La granulométrie comprend deux valeurs, un mini et un maxi [23].



**Figure (I.3):**Gravier [23].

**I.3.2.3. Eau de gâchage**

L'eau de gâchage est la quantité totale d'eau que l'on utilise pour faire le béton ou mortier .il joue deux fonctions principales :

- Attribue au mortier sa maniabilité à l'état frais (ses propriétés rhéologique)
- Assure l'hydratation des grains de ciment pour une prise et un durcissement.

Pour accorder à la confection de béton ou mortier, les eaux ne doivent contenir ni composés risquant d'attaquer chimiquement le ciment, les granulats ou les armatures, ni particules en suspension dont la quantité pourrait modifier ses qualités originelles. La norme **P 18-303** limite à cet effet le pourcentage de matières en suspension à 2 ou 5 g/l et la teneur en sels dissous à 15 ou 30 g/l suivant la nature du mortier et béton précontraint ou non armé. Lorsque ces eaux comportent des éléments fins provenant des matériaux entrant dans la confection des bétons (ciments. Fines des sables...). Il est possible de les utiliser après passage dans des bassins de remplacement :

- \* les eaux de pluie et de ruissellement, les eaux pompées ;
- \* les eaux usées ;
- \* les eaux vannes ou contenant des détergents ;
- \* les eaux industrielles susceptibles de contenir des rejets organiques ou chimiques.

Ces différentes eaux doivent obligatoirement subir des analyses concluant à leur non- nocivité avant tout emploi [24].

En général, toutes les eaux conviennent si elles ne contiennent pas d'éléments nocifs qui nuisent au durcissement (substances organiques telles que les huiles, les graisses, les sucres) ou à la corrosion des armatures (acide humique, eau de mer, etc.). ...l'eau potable du réseau de distribution convient très bien, mais généralement l'eau du robinet ou l'eau souterraine peut être utilisée pour le captage. Une alimentation en eau stagnante odorante doit toujours être évitée. Le rapport de résistance finale E/C du béton ordinaire varie entre 0,4 (qualité supérieure) et 0,6 (béton de base).

**I.3.2.4. Additions****a. Définition**

Les additions pour le béton sont définies dans la norme **NF EN 206-1**. Une addition est un matériau minéral finement divisé et pouvant être ajouté au béton pour améliorer certaines de ses propriétés, ou pour lui conférer des propriétés particulières.

**b. Pouzzolane**

Les pouzzolanes sont des matériaux naturels ou artificiels riches en silice et en alumine capables de réagir avec la chaux en présence d'eau et de former en fin de réaction des produits présentant des propriétés liantes [Jean-Paul Kurtz, 2004]. Ceux-ci ont été développés pour la production de ciment composite. Le ciment pouzzolane est obtenu en mélangeant de la pouzzolane finement broyée avec du Portland.

Les avantages du remplacement partiel du ciment par les matériaux pouzzolaniques sont divers :

- Ils participent au renforcement de la résistance aux attaques chimiques et la durabilité, à la réduction des réactions alcalins-agrégats et retrait au séchage
- Ils permettent la réduction de la quantité de clinker utilisée dans la composition du ciment. [25].

**I.4. Déchets solides****I.4.1. Définition de déchet**

Les déchets solides sont des matières solides accumulées par diverses activités humaines dans différentes zones de même taille et espace occupé, car cela doit toujours être fait pour trouver un endroit où se débarrasser de ces déchets.

Auparavant, les déchets solides ne posaient aucun problème environnemental, ils étaient utilisés par certains organismes et objets utilisés dans leur vie, et sous cette forme ces matériaux étaient récupérés et recyclés dans le processus.

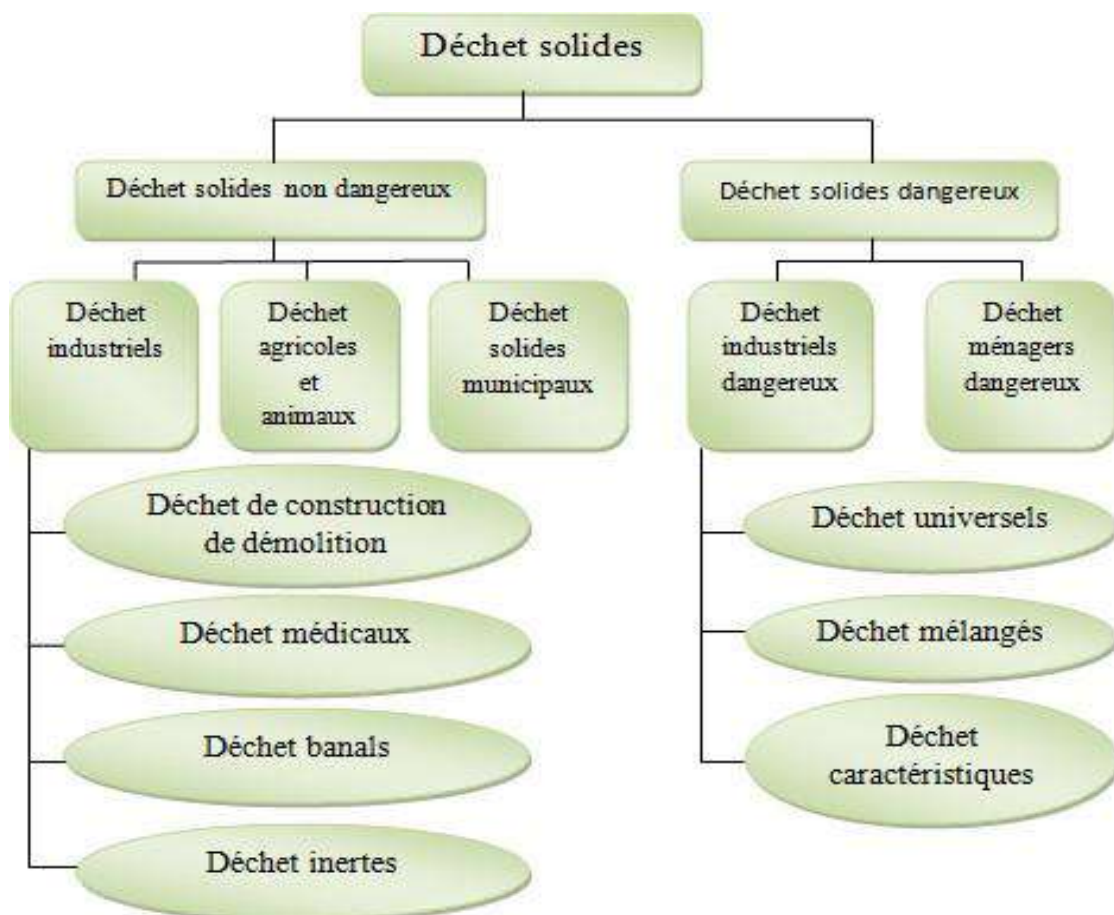
Pour augmenter la quantité de déchets solides plusieurs raisons, y compris:

- ❖ Augmenter le clan humain dans le monde (augmentation de la population).
- ❖ Augmenter le ratio de consommation.
- ❖ Le développement industriel et l'augmentation ratio de production.
- ❖ Le développement agricole.
- ❖ Le développement technologique.
- ❖ Le manque de sensibilisation à l'environnement au sein de la population.
- ❖ Le non-respect des moyens appropriés pour faire face aux déchets solides.

Ces facteurs ont conduit à une augmentation substantielle de la quantité de déchets solides, et l'accumulation de déchets solides est devenue l'un des graves problèmes environnementaux auxquels est confronté le monde civilisé moderne. [22].

**I.4.2. Types des déchets**

D'autre part, l'adjectif solide signifie énorme ou solide. Les solides conservent leur volume (ou leur taille) et leur forme grâce à la forte cohésion des molécules. De cette façon, il se distingue des autres états agrégés de la matière, tels que liquide ou gazeux [26],[5].



Figure(I.4) : Types de déchets solides [26].

**I.4.3. Récupération et recyclage**

Les déchets sont également une bonne source de matières premières. Le recyclage et le recyclage des déchets permettent de réduire l'utilisation de matériaux vierges dans la production de nouveaux produits. Le recyclage des déchets de construction et de démolition permet également d'économiser de l'espace dans les décharges et peut recycler de grandes quantités de matériaux tels que le métal, le verre, le plastique et le carton. [27].

**I.4.4. Valorisations des déchets dans le domaine de génie civil**

Dans le cadre de travaux de génie civil, on distingue trois catégories principales de déchets : les déchets inertes, les déchets banals et les déchets dangereux [25].



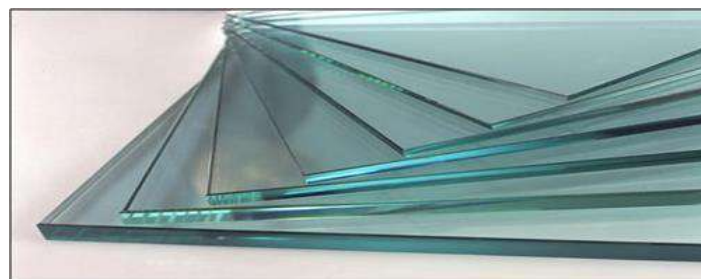
**Figure(I.5) :** Déchets solides [25].

**I.5. Utilisation de verre dans le domaine du BTP**

**I.5.1. Verre et agrégat**

Le verre est un matériau solide transparent et brillant qui est généralement considéré comme de la pouzzolane s'il est finement broyé en raison de sa nature amorphe et du fait qu'il contient une quantité considérable de silice. Par conséquent, il peut être utilisé comme substitut du ciment Portland dans le béton [29].

Plusieurs études ont été menées dans les années 1960 sur l'utilisation du verre comme granulats dans le béton. Depuis, l'idée a été partiellement abandonnée. Ce n'est que deux décennies plus tard que le sujet est redevenu un sujet brûlant. En effet, l'utilisation du verre recyclé dans le ciment et le béton a suscité l'intérêt d'innombrables villes pour des raisons économiques et environnementales, ce qui a encouragé de nouvelles recherches [30].



**Figure(I.6) :** Verre [30].



**I.5.2. Poudre de verre**

Le verre récupéré est broyé à une certaine finesse pour obtenir de la poudre de verre. Lorsqu'il est incorporé au béton pour remplacer une partie du ciment, le verre est ainsi réduit en poussière, lié à l'élément chaux par ses propriétés pouzzolaniques [31],[8].



**Figure(I.7) :** Poudre de verre [31].

**I.6. Valorisations de poudre de verre dans BTP**

Les déchets de verre sont pollués et nocifs pour l'environnement. Dans ce cas, il semble avantageux de recycler ce verre en remplacement partiel du ciment. Cela permet de baisser le prix de revient du béton, de limiter l'utilisation des ressources naturelles et de réduire la production de gaz à effet de serre. L'objectif principal de cette recherche est de développer un béton économique et écologique contenant de la poudre de verre comme additif cimentaire [26], [28].

**I.7. Conclusion**

Nous avons abordés dans cette partie les constituants des bétons utilisés et leur rôle dans le béton.

Nous avons indiqués du recyclage des déchets et leur réutilisation dans la composition de béton et leur valorisation dans le domaine économique (les déchets solides exploités dans notre recherche c'est la poudre de verre).

# CHAPITRE II

## *Matériels et Méthode*

## **II.1. Introduction**

Dans ce chapitre, nous décrivons les propriétés des matériaux utilisés pour fabriquer les éprouvettes de béton à étudier ; des essais physiques, chimiques et mécaniques ont été réalisés selon les normes des laboratoires suivants :

- Laboratoire LTPS d'Ouargla.
- Laboratoires de département de Génie Civil d'Universitaire Kasdi Merbah Ouargla.

De plus, la formulation et la fabrication d'éprouvettes de béton et leurs propriétés mécaniques (flexions en compression et en traction) sont étudiées.

## **II.2. Caractéristiques des Matériaux utilisés**

**II.2.1. Sable :** On utilisé deux sables :

**II.2.1.1. Le Sable de construction :** l'échantillon utilisé est prélevé de gisement SIDI SLIMANE Touggourt, c'est un sable alluvionnaire de classe granulaire (0/5).

### **II.2.1.2. Caractéristiques de Sable**

#### **a. Analyses granulométrique "NFP18-554"**

Elle est définie par la norme NFP 18-554 ; le tamisage granulométrique est un ensemble d'opérations qui séparent selon la taille des éléments qui composent un échantillon, à l'aide d'un tamis à mailles carrées, d'obtenir une représentation de la répartition des particules dans l'état sec, en fonction de leur taille.

- **But de l'essai**

L'analyse granulométrique s'intéresse à trois buts

- Déterminer les dimensions des grains.
- Déterminer les proportions de grains de même dimension
- En déduire le Module de finesse (Mf) de sable.

- **Principe de l'essai**

Le test consiste à trier les différents grains qui composent l'échantillon à l'aide d'une série de tamis, imbriqués les uns au-dessus des autres, avec des ouvertures de taille décroissante de haut en bas. Le matériau à étudier est placé sur la partie supérieure du tamis, et la classification du grain est obtenue par la vibration de la colonne du tamis et la pesée des impuretés sur chaque tamis. Une courbe granulométrique est alors tracée, qui représente le

pourcentage cumulé (en poids) de particules qui passent à travers des tamis successifs

- **Matériel nécessaire**

Les écrans avec des ouvertures carrées de taille standard sont en treillis métallique. Pour les travaux de test avec des résultats reproductibles, un cribleur électrique est recommandé pour comprimer les vibrations horizontales et verticales sur la colonne de criblage. Le maillage nominal suit une progression géométrique.



**Figure (II.1) : Colonne de tamis.**

**b. Modules de finesse " NF P18 -304"**

C'est un module qui nous permet de caractériser la finesse de différents types de sable en additionnant les pourcentages de rejet cumulés des tamis de la série suivante (0,16, 0,315, 0,63, 1,25, 2,5, 5 mm).

La granulométrie du sable doit être telle que les éléments fins ne soient ni excessifs ni excessifs. S'il y a trop de particules fines, il faut augmenter la quantité d'eau ajoutée au béton, tandis que si le sable est trop grossier, la plasticité du mélange sera insuffisante et il sera difficile à couler. La plus ou moins grande finesse du sable peut être quantifiée en calculant le module de finesse (Mf).

$$Mf = \frac{\Sigma RC}{100} \quad (1)$$

RC : refus cumulé en (%) sous les tamis de module 5 à 0,16.

Lorsque Mf est comprise entre :

- 1.8 et 2.2: le sable est à majorité de grains fins
- 2.2 et 2.8: on est en présence d'un sable préférentiel
- 2.8 et 3.3: le sable est un peu grossier, Il donnera des bétons résistants mais moins maniables.

### c. Equivalent de sable " NF P 18 -598"

Il est défini par la norme NFP 18-598 ; ce test permet de mesurer la propreté du sable, effectué sur la portion de granulat passant au travers d'un tamis à mailles carrées de 5 mm. Il fournit une description complète de la quantité et de la qualité des éléments fins en exprimant le rapport volumique conventionnel entre les éléments sableux sédimentaires et les éléments fins floculés.

- **But de l'essai**

Ce test est couramment utilisé pour évaluer la propreté du sable utilisé dans les compositions de béton. Le test consiste à séparer les particules fines contenues dans le bilan élémentaire du sable grossier, et une procédure normalisée permet de déterminer un facteur d'équivalence sable qui quantifie la propreté du sable.

- **Principe de l'essai**

Les essais sont effectués sur des sections de 0/5 mm du matériau à étudier. Les échantillons ont été lavés et laissés au repos selon des procédures standardisées. Après 20 minutes, les éléments suivants ont été mesurés :

- Hauteur **h1**: sable propre +éléments fins,
- Hauteur **h2**: sable propre seulement.

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

$$ES = \frac{h2}{h1} \times 100 \quad (2)$$

Selon que la hauteur **h2** est mesurée visuellement ou à l'aide d'un piston, on détermine **Esv** (équivalent de sable visuel) ou **Esp** (équivalent de sable au piston).

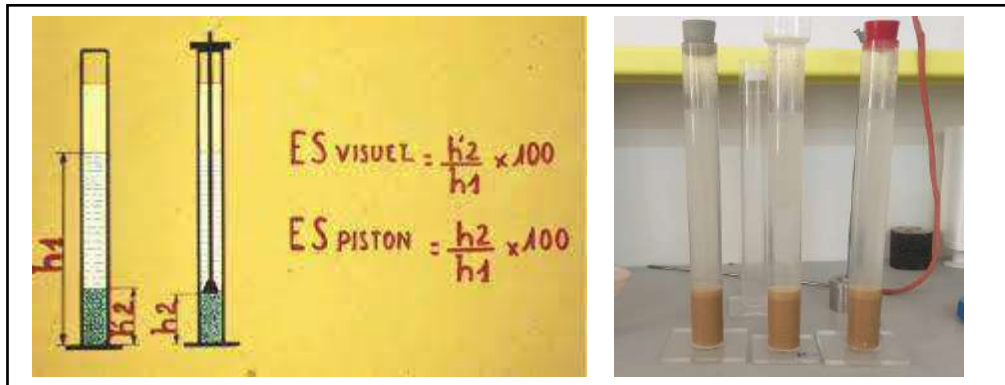


Figure (II.2) : Essai d'équivalent de sable.

**d. Masses volumiques (NF P18-554)**

- **Masse volumique absolue**

Cet essai est régi par la norme NF P18-554 qui est définie comme la masse volumique de matériau composant le granulat, sans tenir compte des vides pouvant exister entre les particules.

$$\rho_s = \frac{M_s}{V_2 - V_1} \quad (3)$$

$\rho_s$  : Masse volumique absolue kg/m<sup>3</sup>

$M_s$  : Masse des grains solides

$V_1$  : Volume de l'eau

$V_2$  : Volume total (grains + vide).



Figure (II.3) : Masse volumique absolue.

- **Masse volumique apparente**

Cet essai est régi par la norme NF P18-554, qui est définie comme la masse en unités de volume apparent d'un objet, c'est-à-dire le volume constitué par la matière de l'objet et les vides qu'il contient.

$$\rho_a = \frac{M}{V} \tag{4}$$

$\rho_a$  : Masse volumique apparente kg/m<sup>3</sup>

M : Masse totale de l'échantillon

V : Volume total de l'échantillon.



**Figure (II.4) :** Appareil d'apparente.

### II.2.2. Gravier

Pour la préparation de nos échantillons, du gravier et du BEN IBRAHIM d'origine ont été utilisés, des études ont confirmé que les meilleurs résultats sont obtenus avec l'utilisation de granulats.

#### II.2.2.1. Caractéristiques de Gravies

##### e. Composition Chimique (NF P18-461)

**Tableau (II.1) :** Composition chimique du gravier.

Calcite (C <sub>3</sub> SO <sub>3</sub> )	Sulfate (CaSO <sub>4</sub> 2H <sub>2</sub> O)	INSOLUBLES
55 à 70 %	0 à 5%	Le rest

**f. Masse Volumique (NFP18-554)**

- **Masse volumique absolue**

C'est la masse par unité de volume de matériau qui compose le granulat et ne tient pas compte de l'intérieur des particules ou des vides éventuels entre les particules. La formule de calcul de ce paramètre est :

$$\delta_s = \frac{M}{V_s} \quad (5)$$

Tels que :

$\delta_s$  : La masse volumique absolue (t/m<sup>3</sup>, g/cm<sup>3</sup>,...).

**M** : La masse de l'échantillon. (g).

**V<sub>s</sub>** : Le volume absolu de l'échantillon. (cm<sup>3</sup>).

- **Masse volumique apparente**

C'est la masse de granulat occupant une unité de volume, y compris tous les vides. Déterminé par la relation :

$$\delta_a = \frac{M}{V_a} \quad (6)$$

Tels que :

$\delta_a$  : masse volumique apparente (g/cm<sup>3</sup>).

**M** : masse de l'échantillon (g).

**V<sub>a</sub>** : volume apparent de l'échantillon (cm<sup>3</sup>).

**g. Propreté du gravier (NFP18-591)**

Le test consiste à peser une quantité suffisante. Les échantillons déshydratés sont ensuite lavés à grande eau jusqu'à ce qu'ils soient complètement propres, puis séchés et pesés à nouveau.

Le pourcentage d'impuretés est donné par la relation suivante

$$PI = \frac{P_1 - P_2}{P_2} \quad (7)$$

**P<sub>1</sub>** et **P<sub>2</sub>** sont, respectivement, les masses du gravier sec avant et après le lavage.



**h. Coefficient d'absorption (NFP18-555)**

Le coefficient d'absorption est défini comme le rapport de l'augmentation de masse d'un échantillon immergé dans l'eau à la masse sèche de cet échantillon. Le coefficient d'absorption est obtenu par :

$$Ab = \frac{Ma - Ms}{Ms} \quad (8)$$

**Ms:** masse de l'échantillon sec après passage à l'étuve à 105°C.

**Ma:** masse de l'échantillon imbibé.

**i. Analyse granulométrique (NFP18-560)**

L'analyse granulométrique permet de classer les agrégats en différentes couches de particules. Il le fait en tamisant automatiquement l'échantillon dans une série de tamis et en déterminant le pourcentage de réussite et de rejet sur chaque tamis.

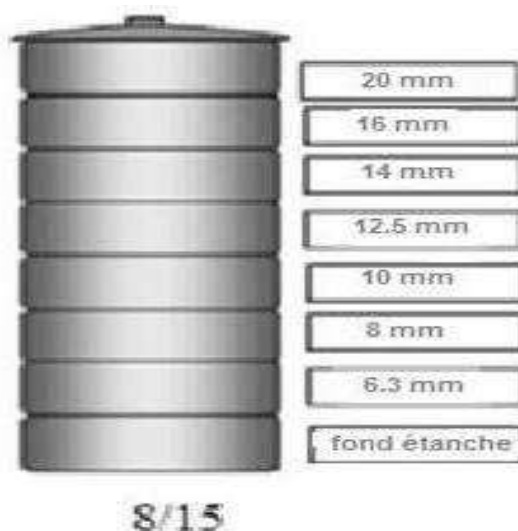


Figure (II.5) : Tamis utilisés selon les Classes granulaires

**II.2.3 Le Ciment**

Ciment portland composé **CPJ-CEM II/B 42.5N (NA 442)** provient de la cimenterie d'**AINTOUTA** (wilaya de Batna) classe **42.5**.

**II.2.3.1. Caractéristiques du Ciment****a. Essai de consistance de ciment (EN 196-3)**

On procède par tâtonnements :

➤ Préparer 0.5 kg de ciment, une pâte pure de rapport E/C=0,30 Verser l'eau dans la cuve du malaxeur contenant le ciment ;

- Mettre le malaxeur en marche et déclencher le chronomètre ;
- La pâte est alors rapidement introduite dans le moule tronconique posé sur une plaque de verre, sans tassement ni vibration excessive.
- Il faut enlever l'excès de pâte par un mouvement de va-et-vient effectué avec une truelle maintenue perpendiculairement à la surface supérieure du moule. Puis l'ensemble est placé sur la platine de l'appareil de Vicat.
- La sonde est amenée à la surface de l'échantillon et relâchée sans élan (sans vitesse). La sonde alors s'enfonce dans la pâte. Lorsqu'elle est immobilisée (ou après 30 s d'attente), relever la distance « d » séparant l'extrémité de l'aiguille de la plaque de base.
- La pâte sera à consistance normale si «  $d = 6\text{ mm} \pm 1\text{ mm}$  » : si «  $d > 7\text{ mm}$  » : il n'y a pas assez d'eau, si «  $d < 5\text{ mm}$  » : il y a trop d'eau.
- Dans les 2 cas, jeter la pâte, nettoyer et sécher le matériel et recommencer avec une nouvelle quantité d'eau.

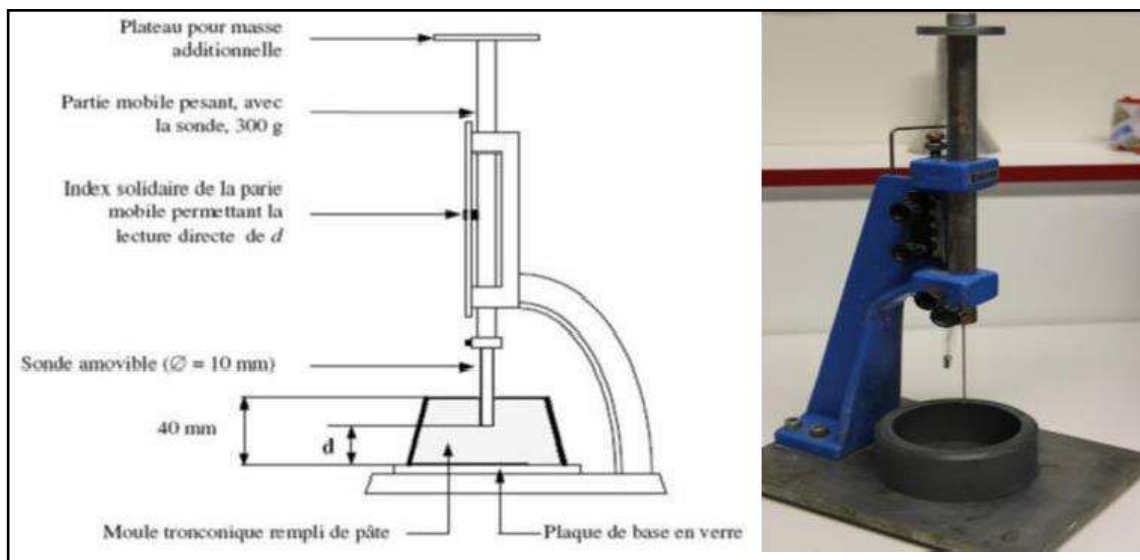


Figure (II.6) : Appareil de Vicat.

### a. Essai de prise (EN 196-3)

La présence de régulateurs de prise dans la qualité des liants hydrauliques leur fournit, et après mélange, la prise commence après quelques heures. Par conséquent, il est nécessaire de savoir quand les liants hydrauliques commencent à prendre afin de déterminer quand les mortiers et bétons à partir desquels ils sont fabriqués peuvent être utilisés pour des applications sur le terrain.

Le test est réalisé à l'aide de l'aiguille de Vicat qui donne deux repères utiles :

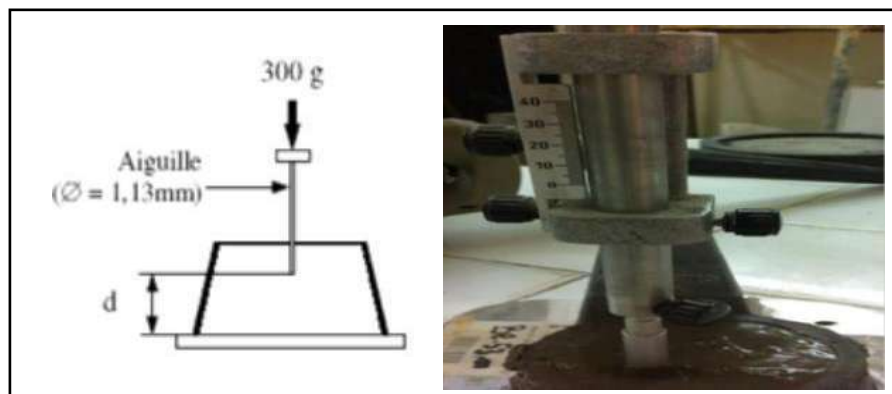
le début du montage et la fin du montage.

- **Matériel utilisé**

Avec le même équipement (dans les mêmes conditions), à l'exception de l'onde cisailant l'échantillon, le diamètre est beaucoup plus petit ( $\Phi = 1,13 \text{ mm}$ ). mode de fonctionnement. Une fois que la pâte a atteint une consistance normale, la sonde Vicat est remplacée par l'aiguille Vicat et elle est amenée à la surface de l'échantillon et libérée sans impulsion (pas de vitesse). Puis l'aiguille s'enfonce dans la pâte pendant qu'elle est fixée (ou après avoir attendu 30 secondes), notez la distance  $d$  entre l'extrémité de l'aiguille et la plaque de fond.

➤ Recommencer l'opération à des intervalles de temps convenablement espacés ( $\sim 10\text{-}15\text{min}$ ) jusqu'à ce que  $d = 4\text{mm} \pm 1\text{mm}$ .

➤ Cet instant mesuré à 5 mn près est le temps de début de prise pour le ciment testé.



**Figure (II.7) : Essai de prise**

### **b. Analyse chimique de ciment**

L'analyse chimique du ciment utilisé indique la présence d'éléments, les principaux oxydes trouvés dans le ciment Portland.

### **II.4. Eau de Gâchage (NF P 18-305)**

grâce à nos recherches en cours, dans notre cas, il doit s'agir de l'eau que nous utilisons dans le mélange de béton, pure, propre, exempte de sels et de matières organiques, nous utilisons de l'eau potable fournie au laboratoire LTPS "L'eau du robinet".

**II.2.5. Poudre de verre**

La poudre de verre que nous utilisons est extraite du broyage après broyage des déchets de verre pour obtenir La poudre de verre comme suit :

1. apporter les déchets de verre.



2. Nettoyez le verre et tout ce qui existe même des propriétés de verre ne changent pas.



3. Concassage de verre en petits morceaux et les mettre dans le broyeur.



4. Mettre le verre concassé dans le broyeur quelque temps.



5. tamiser de verre à tamis 0.08 le reste est ramené au broyeur et réserve le passant.



### **II.3. Formulation et Confection du Béton**

L'étude de la composition du béton comprend la détermination du mélange optimal d'agrégats, où la quantité de ciment et le placement de l'eau sont destinés à la production d'un type de béton dont la masse est celle nécessaire pour construire l'ouvrage souhaité. D'une manière générale, les qualités recherchées dans cette combinaison sont :

- Une consistance adaptée à sa destination.
- Des qualités de résistance à différentes échéances, le plus souvent à 28 jours.
- Des qualités de durabilité qui conduisent à imposer un dosage minimum en ciment et un rapport E/C maximum.

On peut en conclure que la formulation du béton doit pouvoir respecter la qualité de consistance et de résistance au moindre coût possible.

Plusieurs méthodes de formulation ont été développées par **ABRAMS, BOLOMEY, CAQUOT, FAURY,**.. etc. Cependant, dans notre cas nous avons choisi la méthode (**DREUX-GORISSE**) car ses avantages proviennent de nombreuses formulations testées sur les chantiers et d'une part elle est satisfaisante et d'autre part il est très utile d'utiliser Simple car il suffit de savoir la courbe granulométrique du granulat utilisé.

#### **II.3.1. Définition de Méthode DREUX-GORISSE**

Le but de cette méthode est d'obtenir des compositions de béton en fonction de leur maniabilité et de leur résistance requises. Ces deux qualités sont liées graphiquement en fonction de la quantité connue de ciment utilisée.

Le rapport des différents agrégats est déterminé par référence à la courbe. La courbe est tracée à partir de la courbe granulométrique du granulat à utiliser. Le béton peut recevoir un facteur de compactage qui permet de déterminer la dose pondérale de notre béton en connaissant la densité des granulats. Quelques tests de plasticité préalables sont à faire pour régler le dosage d'eau en fonction de l'usinabilité recherchée.

II.3.2. Optimisation de squelette granulaire par la méthode DREUX-GORISSE

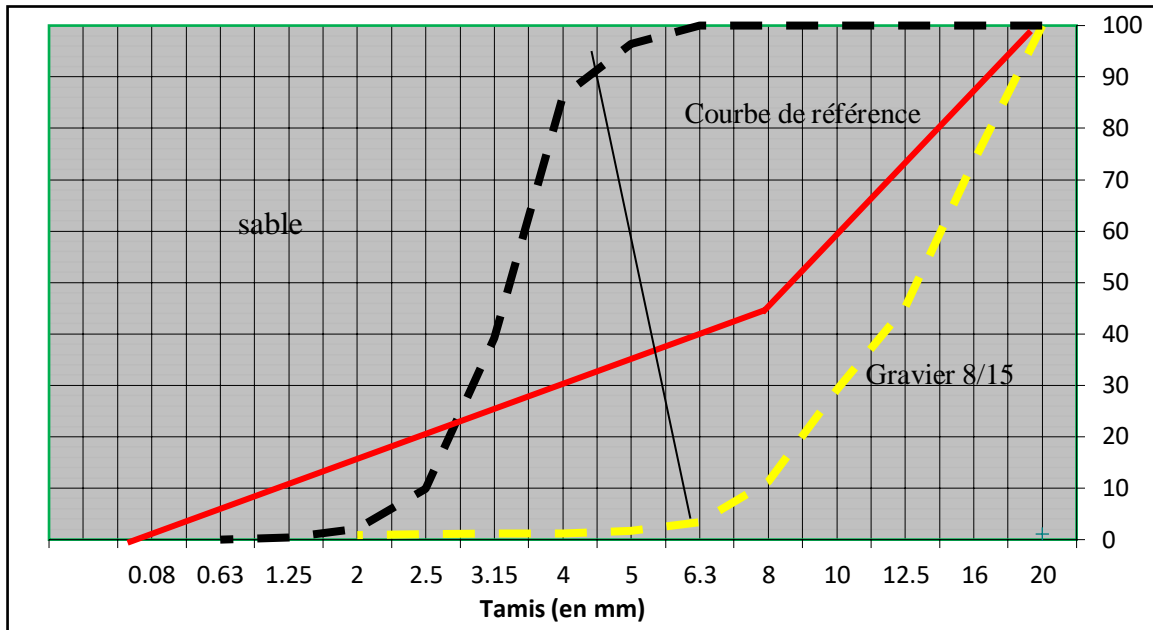


Figure (II.9) : optimisation de dosage pondéral des granulats par la méthode DREUX-GORISS.

La courbe particulière de référence OAB est déterminée par trois points : origine (0.0) ; B (D max, 100% sous tamis) et un point d'arrêt A (X, Y) dont les coordonnées sont :

- ♦ L'abscisse  $X=16/2= 8$  si :  $D_{max} \leq 20mm$
- ♦ L'ordonnée  $Y=50 - \sqrt{D_{max}} +k$  ; d'où  $Y = 45,53$

D'après la courbe granulométrique Figure (II.15) : on obtient :

- ♦ Sable = 38%
- ♦ Gravier 8/15= 62%

On prend le coefficient de compacité égale à  $\gamma = 0,825 - 0,01 = 0,815$ .

Le dosage volumétrique des constituants est :

- ♦ volume absolu total.....  $V = 1000 \times \gamma = 815$  L
- ♦ volume absolu de ciment .....  $V_c = 400 / 3.1 = 129,03$  L
- ♦ volume absolu des granulats .....  $V_g + V_s = 815 - 129,03 = 685,97$  L

Le dosage pondéral des matériaux secs pour un  $m^3$  (en  $kg/m^3$ ) est :

- ♦ le sable.....  $0,38 \times 685,97 \times 2,564 = 668,35$  kg
- ♦  $G_{8/15}$ .....  $0,62 \times 685,97 \times 2,618 = 1113,43$  kg
- ♦ Ciment ..... 400 kg
- ♦ Eau..... 216 kg

La composition finale de béton de référence est la suivante :

- ◆ Ciment C = 400 kg ..... V = 129,03 L
- ◆ Sable S = 668,35 kg ..... V = 260,66 L
- ◆ Gravillon (8/15) G = 1113,43 kg ..... V = 425,3 L
- ◆ Eau E = 216L

**II.3.3. Affaissement au cône d'Abrams**

La maniabilité du béton composite a été évaluée par des mesures de consistance d'affaissement du cône d'Abrams avant que les éprouvettes ne soient fabriquées dans le laboratoire LTPS. Le test de coulure a été réalisé selon la norme européenne NF EN12350-2, avec trois couches, chaque couche a été percée 25 fois avec une tige Ø16 mm, remplie d'un moule conique en tôle (D = 20 cm ; d = 10 cm ; h = 30cm). Retirez lentement le moule et prenez une mesure d'affaissement. Dans notre cas, l'affaissement est de 9 cm.

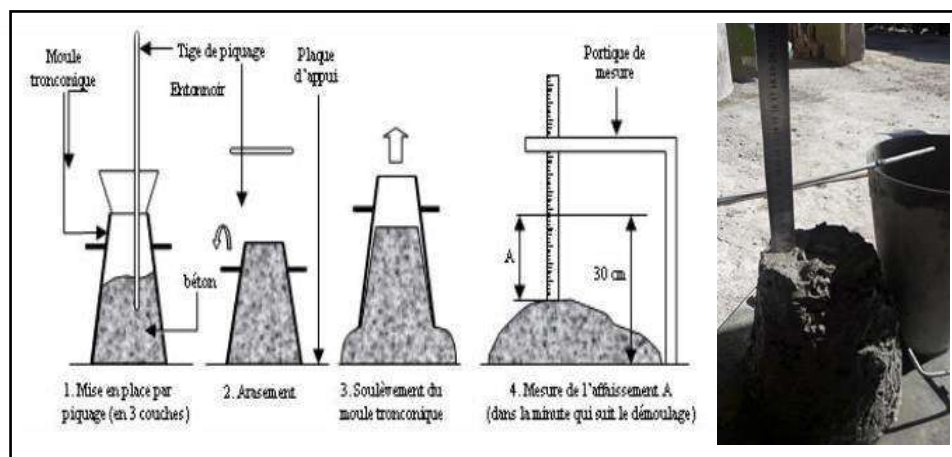


Figure (II.10) : Affaissement au cône d'Abrams.

**II.4. Confection et cure des éprouvettes (NF EN12390 -1)**

Selon la norme européenne NF EN12390-1, nous avons utilisé un moule prismatique (7 x 7 x 28) cm<sup>3</sup> pour fabriquer les éprouvettes pour tous les essais menés dans cette étude.

Dans nos travaux, nous avons préparé environ 120 échantillons pour la caractérisation mécanique du béton constitué de pourcentages variables de fritte de verre, de sable et de gravier.

La préparation du mélange est réalisée selon le dosage pondéral du granulat et la norme française NF P18 – 404, qui comprend :

- Introduction, tout d'abord, dans une bétonnière, des ingrédients dans l'ordre suivant : gravier, sable (construction ), poudre de verre, ciment.

- ✦ Malaxer à sec les éléments de l'ordre de 1 min.
- ✦ Ajouter l'eau de gâchage et poursuivre le malaxage.

On a pris le volume du moule bicouche qui remplissait le prismatique quantité de moule. Chaque couche de béton doit être renforcée avec une table vibrante immédiatement après le serrage du béton.



**Figure (II.11) : Préparation des éprouvettes.**

## **II.5. Propriétés mécaniques des éprouvettes**

Différents essais ont été réalisés pour déterminer les performances du béton en fonction de son stockage et pour les comparer aux performances d'un béton témoin stocké en laboratoire.

Le test a été réalisé en collaboration avec

- ❖ Laboratoire LTPS unité d'Ouargla.

### **II.5.1. Essai de résistance à la traction par flexion (NF P 18 - 407)**

Des essais de traction par flexion (4 points) ont été réalisés au laboratoire unité LTPS de Ouargla. L'essai a été réalisé conformément à la norme française NF P 18-407, une éprouvette prismatique (7 x 7 x 28 cm<sup>3</sup>) a été placée dans le dispositif de chargement de la machine d'essai, en prenant comme faces de chargement, les faces de moulage.



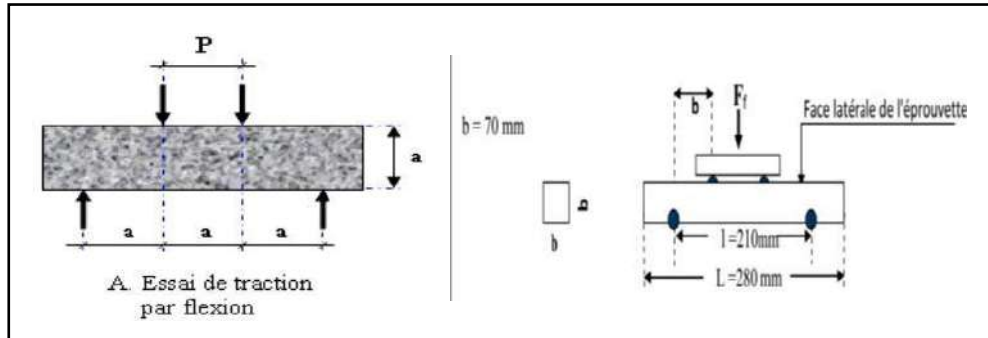


Figure (II.12) : dispositif pour l'essai de résistance à la flexion (4 points).

La résistance à la flexion du béton est donnée par la formule suivant :

$$R_f = \frac{3F_f}{b^2} \quad (9)$$

Avec:

- R<sub>f</sub>: résistance à la flexion en MPa.
- F<sub>f</sub>: charge de rupture de l'éprouvette en flexion (N).
- b: côté de l'éprouvette est égal à 70mm

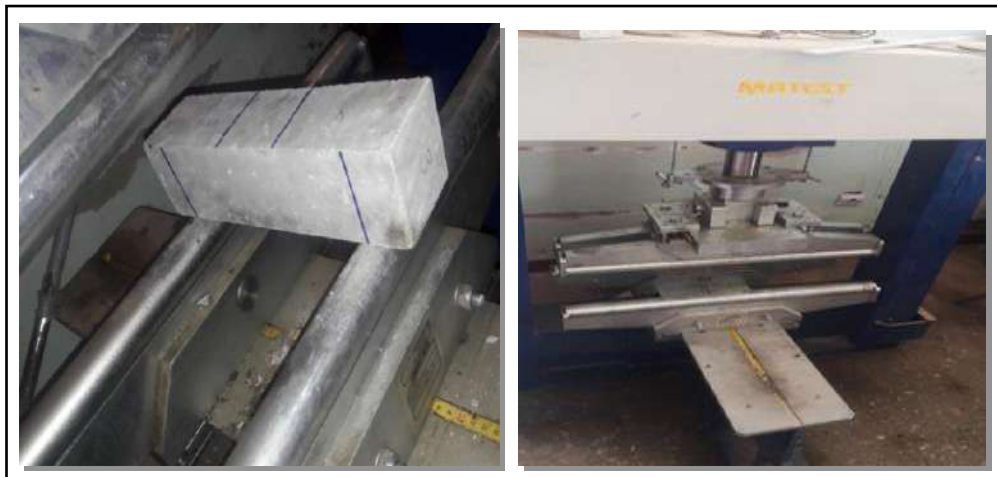


Figure (II.13) : Machine d'essai de flexion.

### II.5.2. Essai de résistance à la compression (R<sub>c</sub>) (NF EN 12390 – 3)

Les essais de compression ont été réalisés au laboratoire de l'unité LTPS à Ouargla selon la norme européenne NF EN12390-3 en appliquant une force de charge sur les échantillons prismatiques jusqu'à leur rupture sous pression. Spécifiquement donné par la formule suivante :

$$R_c = \frac{F}{A_c} \quad (10)$$

Avec:

- $F$  : la charge maximale à la rupture de l'éprouvette (en Newton).
- $A_c$  : l'aire de la section chargée de l'éprouvette (en  $\text{mm}^2$ ).



**Figure (II.14) :** Machine d'essai de compression.

## **II.6. Conclusion**

Dans cette recherche expérimentale de notre travail, nous avons identifié les matériaux utilisés (sable, gravier, ciment, fritte de verre et eau mitigée) avec de bonnes propriétés. Nous avons choisi une méthode très simple (DREUX-GORISSE) pour formuler et fabriquer des échantillons de béton ; ces différentes formulations seront utilisées pour étudier les propriétés mécaniques (la résistance à la compression et la résistance à la flexion par traction) des échantillons de béton.

# CHAPITRE III

## *Résultats et Discussion*

### III.1. Introduction

Dans les chapitres précédents, nous avons présenté les matériaux utilisés et les méthodes utilisées pour déterminer leurs propriétés, ainsi que la formulation du béton et les paramètres mécaniques qui déterminent ses propriétés.

Dans ce chapitre, les résultats de différents tests sont présentés, notamment la résistance à la compression, la résistance à la traction. Ces essais ont pour but de vérifier : le remplacement du ciment par différentes proportions de poudre de verre ; Résultats d'analyse des matériaux utilisés

### III.2. Résultats d'analyse des matériaux utilisés

#### III.2.1. sable

##### a. Analyse granulométrique " NFP18-554"

Des tests d'analyse granulométrique ont été effectués sur des échantillons de sable (sable de construction) et les résultats sont présentés dans la figure ci-dessous.

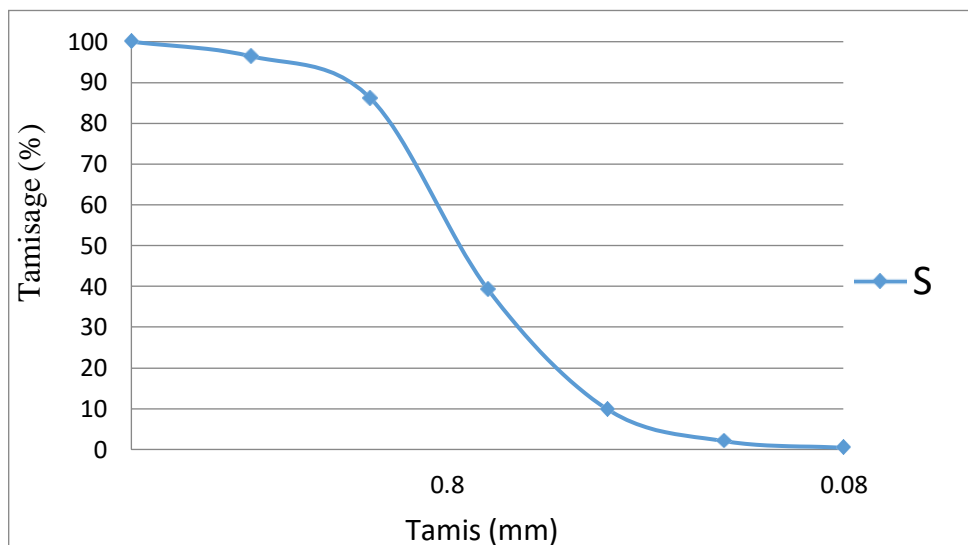


Figure (III.1) : Courbe granulométrique du sable de construction

**b. Modules de finesse " NF P18 -304"**

Pour le sable utilisé dans notre étude, les valeurs suivantes ont été trouvées.

**Tableau (III.1) : Résultats d'essai de module de finesse**

	module de finesse ( $M_f$ )
sable	2.67

**c. Equivalent de sable " NF P 18 -598"**

Les résultats obtenus sont répertoriés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau (III.2) : Résultats d'essai de l'équivalent de sable.**

	Equivalent de sable	Observation
sable	87.45 %	Sable très propre

**Equivalent de sable :** est un indicateur, utilisé en géotechnique, caractérisant la propreté d'un sable ou d'une grave. Il indique la teneur en fines, éléments de diamètre inférieur à 0,5 mm, d'origine essentiellement argileuse, végétale ou organique à la surface des grains.

**d. Masses volumiques "NF P18-554"**

La densité apparente  $\rho_a$  et la densité absolue  $\rho_s$  du sable ont été enregistrées dans le tableau des résultats des tests :

**Tableau (III.3) : Résultats de calcul de la masse volumique.**

	Absolue ( $\rho_s$ )( $g/m^3$ )	Apparent ( $\rho_a$ )( $g/m^3$ )
Sable	2.56	1 .94

### III.2.2. Gravier

le tableau suivant montre les résultats de l'analyse chimique et physique du gravier.

#### a. Composition Chimique "NF P18-461"

Tableau (III.4) : Composition chimique du gravier

	CaCO <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub> -2	CL-	NaCl	Insolubles
Analyse de Gravier (%)	64	1.430	4.682	0	0	25.33

#### b. Caractéristiques Physique

Tableau (III.5) : Différentes caractéristiques du gravier utilisé.

Taille	M <sub>vs</sub> (kg/l)	Absorption	Mva (g/m <sup>3</sup> )
Graver 8/15	2.61	1.87 %	1.68

#### c. Analyse Granulométrique " NFP18-560"

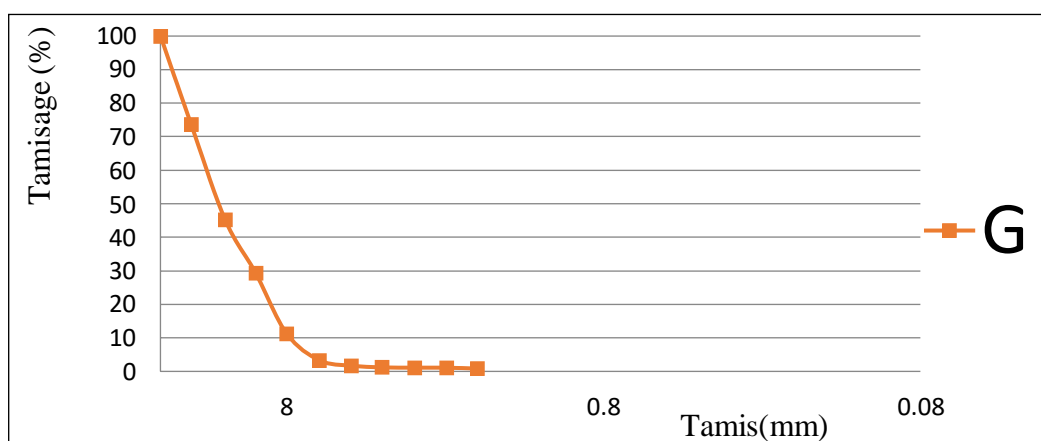


Figure (III.2) : Analyse granulométrique des graviers (8/15).

### III.2.3. Ciment

Le tableau ci-dessous montre les résultats de l'analyse chimique et physique du ciment.

Tableau (III.6) : Caractéristiques physiques du ciment.

Propriété	Ciment - CPJ
Masse volumique (g/m <sup>3</sup> )	3.05
consistance de ciment	30%
Début de prise (h)	1.45
Fin de prise (h)	2.50
Résistance maximale à la compression à 28j (MPa)	42.5

Tableau (III.7) : Analyse chimique du ciment.

Analyse chimique (%)								Analyse minéralogique (%)			
<i>SIO<sub>4</sub></i>	<i>AL<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i>	<i>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i>	<i>MgO</i>	<i>RI</i>	<i>CaO</i>	<i>SO<sub>3</sub></i>	<i>PAF</i>	<i>C<sub>3</sub>S</i>	<i>C<sub>2</sub>S</i>	<i>C<sub>3</sub>A</i>	<i>C<sub>4</sub>AF</i>
22	5.01	2.93	2.03	0.73	64.42	1.97	0.64	51.31	24.66	8.34	8.96

### III.2.4. Eau de Gâchage " NF P 18-305 "

Tableau (III.8) : Analyse chimique de l'eau.

	Salinité	O <sub>2</sub> dissent	PH	température
Analyse d'eau	1.24 psu	0.5 %	7.71	17.87 c°

**PH** : Le pH est exprimé sur une échelle logarithmique de 0 à 14 unités. L'eau "neutre" a un pH de 7. Un pH inférieur à 7 indique que l'eau est acide, tandis qu'un pH supérieur à 7 indique qu'elle est alcaline.

### III.2.5. Poudre de verre

Le tableau ci-dessous montre les résultats de l'analyse chimique et physique de poudre de verre.

Tableau (III.9) : Caractéristique physique de la poudre de verre

Masse volumique apparent (g/m <sup>3</sup> )	1.544
Masse volumique absolues (g/m <sup>3</sup> )	2.472

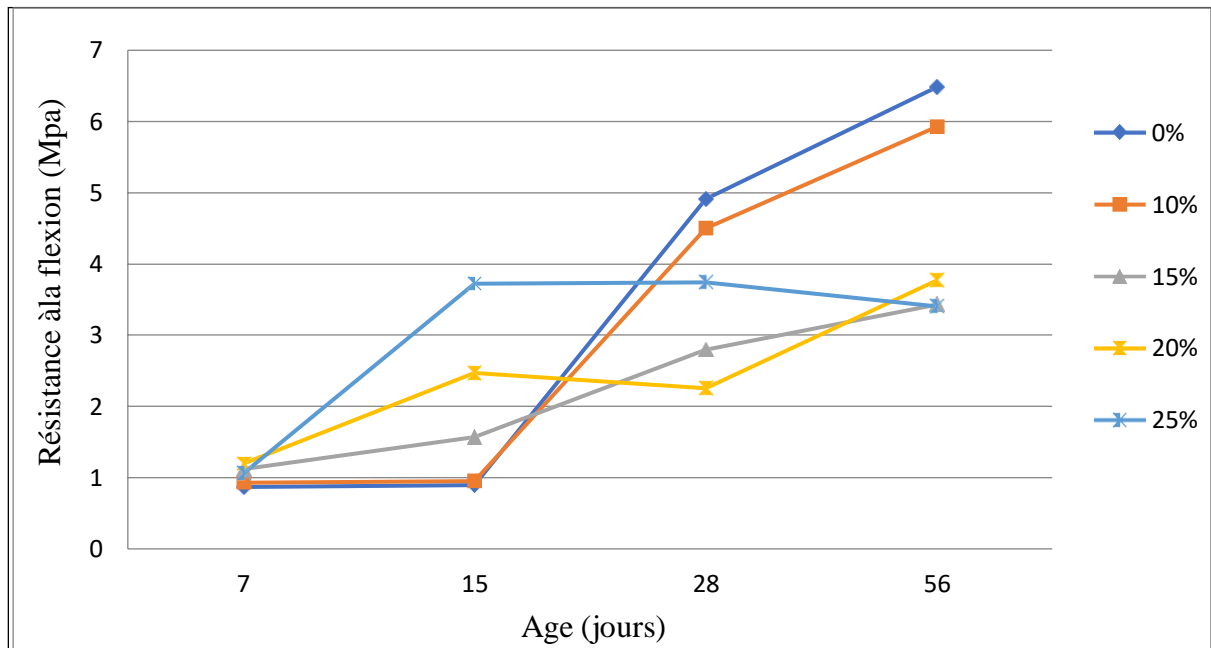
Tableau (III.10) : Analyse chimique de la Poudre de verre

	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	CaCO <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>	CL-	NaCL	Insolubles
analyse de verre (%)	0.939	0	0.175	0.003	0.006	99.03

## III.3. Résultats d'Analyse de béton

### III.3.1. Résistance à la Traction par Flexion " NF P 18 – 407"

essai de résistance à la flexion obtenu Les résultats sont consignés dans la figure ci-dessous



**Figure (III.3) :** Evolution de la résistance à la traction par flexion.

Les résultats sont présentés dans la figure (III.4) et montrent généralement la résistance à la flexion dans le temps pour toutes les éprouvettes.

**Après 07 jours**, les valeurs de résistance à la flexion du béton avec différents dosages (10%, 15%, 20% et 25%) étaient proches et supérieures au béton témoin, et la différence était comprise entre 0,933 et 1,198 MPa.

**Après 15 jours**, nous avons constaté une augmentation de la résistance en flexion du béton avec différents dosages (10%, 15%, 20% et 25%) par rapport au béton témoin, avec une différence entre 0,96 et 3,732 MPa.

**Après 28 jours**, la résistance à la flexion du béton 10 % est très élevée, très proche du béton témoin, à 4,503 MPa ; pour les autres cas (15 %, 20 % et 25 %), elle est relativement faible par rapport au autres cas, et on estime qu'elle diminue séquentiellement de 2,804 ; 2,256 ; 3,747 MPa.

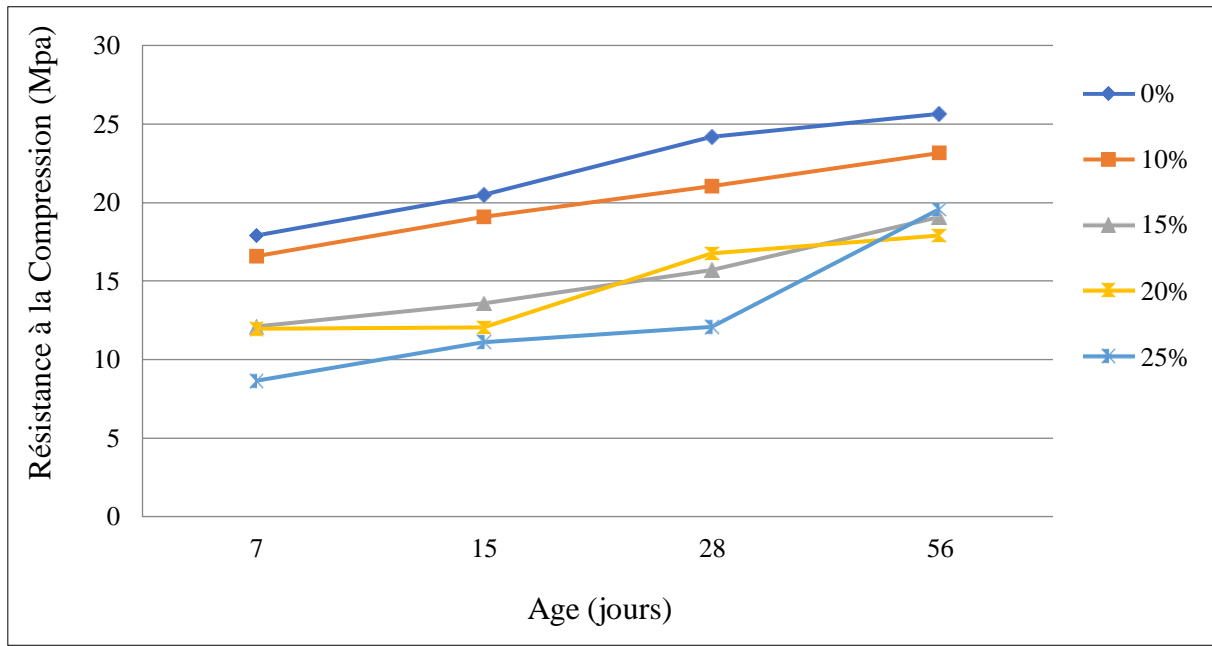
**Après de 56 jours**, la résistance à la flexion du béton avec le dosage de 10 % était la plus élevée, avec une différence de 5,932 MPa, qui était la valeur la plus proche du béton témoin, nous avons remarqué que les autres dosages (15 %, 20 % et 25 %) par rapport au témoin, nos valeurs sont très faibles et très proches les unes des autres, avec des vitesses de 3,432 ; 3,771 et 3,412 MPa.



Au terme de cette analyse, nous avons conclu qu'en général, la résistance à la flexion de l'échantillon de poudre de verre à 10 % était meilleure.

### III.3.2. Résistance à la Compression " NF EN12390 - 3"

Les résultats obtenus à partir du test de résistance à la compression sont consignés dans le graphique suivant :



**Figure (III.4) :** Evolution de la résistance à la compression.

Les courbes de la figure (III.5) montrent généralement une augmentation relative de la résistance à la compression de tous les spécimens avec le temps ; cependant, une augmentation de la quantité de fritte de verre a entraîné une diminution de la résistance à la compression par rapport au béton témoin.

Nous avons remarqué que nous obtenions les meilleurs résultats après avoir ajouté 10% de fritte de verre par rapport aux autres doses, avec des valeurs comprises entre 16,591 MPa après 07 jours et 23,152 MPa après 56 jours. Ces valeurs est important et très proche de celle de béton témoin; il fournit donc un béton de haute qualité

### **III.4. Discussion**

L'effet de l'ajout de différentes proportions (10 %, 15 %, 20 % et 25 %) de fritte de verre a été étudié et discuté à partir de nombreux essais sur béton. Chaque condition expérimentale a été testée en triple. Les résultats présentés sont les valeurs moyennes obtenues pour chaque condition de dosage de poudre de verre testée.

Pour chacun d'eux, les propriétés mécaniques des différents taux de substitution ont été analysées et il a été conclu que :

L'ajout de poudre de verre au béton a montré une plus grande augmentation de la résistance à la traction en flexion au fil du temps. La raison de ce phénomène est la forte adhérence entre les agrégats et l'augmentation de la réaction de liaison entre eux avec le temps, ce qui peut être attribué à la réaction pouzzolanique de la poudre de verre à long terme, et l'activité pouzzolanique est plus lente et se développe à un jeune âge plus tard. Ce phénomène peut s'expliquer par l'interaction entre la silice réactive localisée dans la poudre de verre et le  $\text{Ca(OH)}_2$  issu de l'hydratation du ciment [40].

La résistance à la traction par flexion du béton comparée à celle du mortier [45] montre que l'allure est différente.

La résistance à la compression augmente légèrement avec le temps ; peut s'expliquer par la réaction pouzzolanique, mais diminue avec l'augmentation de la teneur en fritte de verre dans le béton ; ce phénomène peut s'expliquer par une augmentation des fines par rapport aux granulats dans le béton, où elles affectent de manière significative la classification granulométrique des les particules de ce mélange, il nécessite donc l'ajout d'une quantité optimale de poudre de verre [40],[44].

La résistance à la compression du béton comparée à celle du mortier, montre que l'allure est différente[45].

\*La poudre de verre exerce un effet chimique (réaction pouzzolanique) sur le ciment [47].

\*La poudre de verre agit comme ciment dans l'adhérence des particules [49].

\*Le mélange de poudre de verre a amélioré les propriétés mécaniques de l'adhésif et a donné des résultats acceptables dans tous les tests.

# *Conclusion*

## **Conclusion Générale**

Le remplacement partiel du ciment par une quantité donnée de poudre de verre est une technique largement utilisée dans le monde [49]. Non seulement il minimise la production de ciment, réduisant ainsi les émissions de dioxyde de carbone dans l'atmosphère, mais il recycle également des millions de tonnes de déchets de verre chaque année.

Notre travail s'est concentré sur l'examen de cette approche dans nos conditions arides.

Les résultats obtenus et la comparaison avec d'autres études ont montré que ce mélange est de bonne qualité pour la préparation du béton. Concernant la traction par flexion et la compression, nous avons remarqué que les meilleurs résultats étaient à 0%, 10%, 15%, 20% et 25%. Ces résultats sont cohérents avec ceux de plusieurs auteurs [30].

Ainsi, les résultats obtenus sont liés aux résultats de compression précédents, et les résultats de compression sont bons, et les résultats de traction en flexion sont proches des résultats de flexion précédents. Nous avons donc obtenu de bons résultats.

Notre travail n'est que la continuation des travaux antérieurs sur le mortier, qui visaient à observer l'effet de l'ajout de gravier (béton) sur les propriétés des échantillons d'essai. C'est aussi le point de départ d'autres études sur le même sujet (recyclage des déchets de poudre de verre ).

## *Références bibliographiques*

## Références bibliographiques

### Références bibliographiques

- [1] Adel A., Abdelmoaty M.; utilization of Ali wastepowder in the production of cement and concrete. Construction and builmaterials. volume 124. Pages 866-877, 2016.
- [2] Ayodele Adessina : Caractérisation expérimentale et modélisation multi-échelle des propriétés mécaniques et de durabilité des bétons à base de granulats recyclés..THÈSE DE DOCTORAT.Université Paris-Est 2018.
- [3] Khelifa R., Rahim N., Muzahim A. ; L'influence des ciments à base d'ajouts minéraux locaux sur les propriétés mécaniques des mortiers et des bétons. XXIIème rencontres AU GC – ville et génie civil, 2004.
- [4] Jérôme C., polymer cement composites containing waste perlite powder, Matoials, University of technology. Al amrilydowej 16. Warsaw 00-637. Poland,2016.
- [5] J.M. Khatib, E.M. Negim, H.S. Sohl and N. Chileshe, “Glass Powder Utilisation in Concrete Production”, European Journal of Applied Sciences 4 (4): 173-176, 2012
- [6] Federio.L.M and Chidiac S.E, “ Waste glass as a supplementary cementitious material in concrete – Critical review of treatment methods”, Cement and Concrctet Composites, vol,31,606-610,2001.
- [7] Idir.R,Cyr.M and Tagnit – Hamou.A, “ Use of waste glass as powder and aggregate in cement based materials”, SBEIDCO – 1 st international Conference on Sustainable Built Environment Infrastructures in Developing Countries ENSET Oran (Algeria) – October 12-14, 2009.
- [8] Shi, C. and Zheng, K., “A review on the use of waste glasses in the production of cement and concrete”, Resources, Conservation, and Recycling, Vol. 52, pp. 234-247, 2007.
- [9] Pereira de Oliveira. L.A, J.P. castro – Gomes, P. Santos, “ Mechanical and Durability Properties of concrete with Ground waste Glass Sand”, International conference on durability of Building Materials and components, Turkey, 2008.
- [10] Mageswari.L.M and B.Vidivelli, “ The use of Sheet Glass Powder as Fine Aggregate Replacement in Concrete”, the open Civil Engineering Journal, vol:4,65-71, 2010.
- [11] Peiry; Kummer K., Pollution and transboundary transfer of potentially hazardous substances:concepts.UNSW.[http://www.ecoconsult.ch/uploads/1144-IEL\\_Slide4\\_Pollution-hazwastes.pdf](http://www.ecoconsult.ch/uploads/1144-IEL_Slide4_Pollution-hazwastes.pdf),2004.
- [12] Zidol A. Durabilité en milieux agressifs des bétons contenant de la poudre de verre,2004.

## **Références bibliographiques**

- [13] Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, MacLeod et McGrath., Dosage et contrôle des mélanges de béton 7e édition, page 22, 2004.
- [14] G.Vijayakumar , H.Vishaliny , D. Govindarajulu , “Studies on Glass Powder as Partial Replacement of Cement in Concrete Production”, International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering, Volume 3, Issue 2, February 2013.
- [15] Yacine, c. et zahredine, n. Éléments de matériaux de construction et essais. Thèse de doctorat,2006.
- [16] Miller, e. w. Blendedcements-Applications and implications. Cement and Concrete Composites, vol. 15, no 4, p. 237-245,1993.
- [17] I.A.Kassem , H.I.Al-khatib , I.S.Fathi , “SOME PROPERTIES OF MORTAR WITH CRUSHED GLASS AS FINE AGGREGATE”, Journal for Engineering Sciences , 2011.
- [18] Anonyme ; Hydratation du ciment Portland,2009.
- [19] Richard Maillot ; Mémento technique des granulats, École des mines de Paris,2001.
- [20] Gray JS. Ventilla RJ; , Pollution effects on micro-and meiofauna of sand. Marine Pollution Bulletin,2(3),39-43 ,1971.  
<https://www.futura/sciences.com/planete/definitions/geologie-sable-6009>.
- [21] Harris, R. P; Seasonal changes in the meiofauna population of an intertidal sand beach. J. mar. biol. Ass. UK, 52, 389-403,1972.
- [22] E.P.A. , Advancing Sustainable Materials Management: Facts and Figures, Environmental Protection Agency ,United States,2017.  
<https://www.epa.gov/smm/advancingsustainable-materials-management-facts-and-figuresb>.
- [23] Anonyme ; TBA1110, Les granulats courants pour béton, 2004.
- [24] Norme Française NF P 18-305, Déc. 1999, " Eau de Gâchage pour Béton", Edition AFNOR, Paris, 1999.
- [25] Kurtz JP.; Dictionary of Civil Engineering, Springer Science & Business Media, (lire enligne [archive]), p. 951,2004
- [26] Belferrag, a., kriker, a., et khenfer, e, Valorisation des fibres métalliques issues des déchets pneumatiques dans les matériaux de constructions en zones sahariennes. Annales de la Faculté des Sciences et des Sciences de l'Ingénieur, vol. 1, no 2, p. 6-12, 2007
- [27] Barkat, A. Valorisation des déchets de brique dans la réalisation des ouvrages en béton (Doctoral dissertation, Université KasdiMerbah de Ouargla),2006.



## **Références bibliographiques**

- [28] Shekhawat, b. & aggarwal, d. v. Utilisation of Waste Glass Powder in Concrete—A Literature Review. International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology, vol. 8753, 2014.
- [29] Chekireb\_Sihem\_MScA\_2015.pdf (9.378Mb)
- [30] Isabelle F.P., Québec, Canada. Revalorisation du verre dans le béton projeté Étude sur le remplacement partiel du ciment par de la poudre de verre en le béton projeté par voie sèche. P34-37,2014.
- [31] Measson, m., Etude de l'activité pouzzolanique de matériaux naturels traités thermiquement, en vue de la réalisation de liants hydrauliques. Thèse de doctorat,1981.
- [32] Meena A. Comparative Study of Waste Glass Powder as Pozzolanic Material in Concrete. Department of Civil Engineering National Institute of Technology Rourkela, Thesis 2012.
- [33] Hamlaoui Ch Amira, Moussaoui H: Valorisation des déchets de caoutchouc des pneus et déchets de verre dans le béton de sable. UNIVERSITE A M O BOUIRA 2018.
- [34] Wu C.d. Investigate the best percentage by weight of glass powder, as fillers in phenolic resins by using tensile tests. University of Southern Queensland Student Research Project (2009).
- [35] MEDAR M AMINE, DJADI B: Valorisation des déchets de verre dans la fabrication des granulats légers : Application dans les matériaux isolants, UNIVERSITE M B BOUMERDES 2015.
- [36] Rahma, A. Concrete mix design method, according to a referential structure and the aggregates specific surface area. Journal of Engineering Science, Damascus University, Vol 29, N 2. 2013.
- [37] Khatib, J.M., Negim, E.M., Sohl, H.S., and Chileshe, N. Glass Powder Utilisation in Concrete Production. European Journal of Applied Sciences 4 (4): 173-176, 2012.
- [38] Idir R. ; Mécanismes d'action des fines et des granulats de verre sur la réaction alcali-silice et la réaction pouzzolanique. Thèse doctorat. INSA de TOULOUSE en cotutelle avec l'UNIVERSITE DE SHERBROOKE (CANADA),2009.
- [39] Oluwarotimi M., JulinsM. ; application of waste powder as a partel cement substitute towards more sustamidle concrete production, Introductional journal of engineering recherche in africa. Volume 31.pages 77-93, 2017.
- [40] Nabil E.N., Sherzad I.I., Sanhay K.S., effect of glass powder on the compression strength and the workability of concrete, cogent engineeringjournal.volume 4, Issue 1, 2017.
- [41] Sadiqul I., Rahman MH., NayemK. ; waste powder glass as partiel remplacement of cement for sustainable concrete practice, International journal of sustainable iul

## **Références bibliographiques**

- environment. Volume 6, Issue 1, page 37-44, 2017.
- [42] Shayan, A., Xu. A. Performance of glass powder as a pozzolanic material in concrete - A field trial on concrete slabs. Cement and Concrete Research 36 (2006) 457–468.
- [43] BOULIFA Marwa., DEBABI Adel.,: utilisation de poudre de verre dans le mortier. université kasdi merbah ouargla.2016.
- [44] Dr.D.Govindara J.;studies on glass powder as partial replacement of cement in concrete production, International journal ingeering and thecnologyAfrica.pages 153-157, 2013.
- [45] Zeghichi L., Mezghiche B., MerzouguiA. ; L'influence de l'activation du laitier sur le comportement mécanique des bétons,2007.
- [46] Bashar Taha,Ghassan Nounu: Utilizing Waste Recycled Glass as Sand/Cement Replacement in Concrete. J. Mater. Civ. Eng.ASCE21(12) 709-21,2009.
- [47] Degirmenci N., Yilmaz A. & Cakir O.A. Utilization of waste glass as sand replacement in concrete mortar. Indian Journal of Engineering & Material Sciences, Vol. 18, August 2011, pp. 303-308.
- [48] Seung Bum Park ,Bong Chun Lee,Jeong Hwan Kim :Studies on mechanical properties of concrete containing waste glass aggregate 2004.
- [49] Zainab Z Ismail , Enas A Al-Hashmi: Recycling of waste glass as a partial replacement for fine aggregate in concrete 2009.







