

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET
DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ KASDI MERBAH OUARGLA

FACULTÉ DES SCIENCES APPLIQUÉES

DÉPARTEMENT DE GÉNIE CIVIL ET HYDRAULIQUE



Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de

MASTER

Spécialité : Génie Civil

Option : Construction Civil et Industriel

Présente par :

BOULIFA Marwa

DEBABI Adel

Thème :

Utilisation de poudre de verre dans le mortier

Soutenu publiquement devant le jury composé de:

Mr. BELFERRAG Allaoua

Université Ouargla

Président

Mr. CHAIB Hachem

Université Ouargla

Examineur

Mr. SAGGAI Sofaine

Université Ouargla

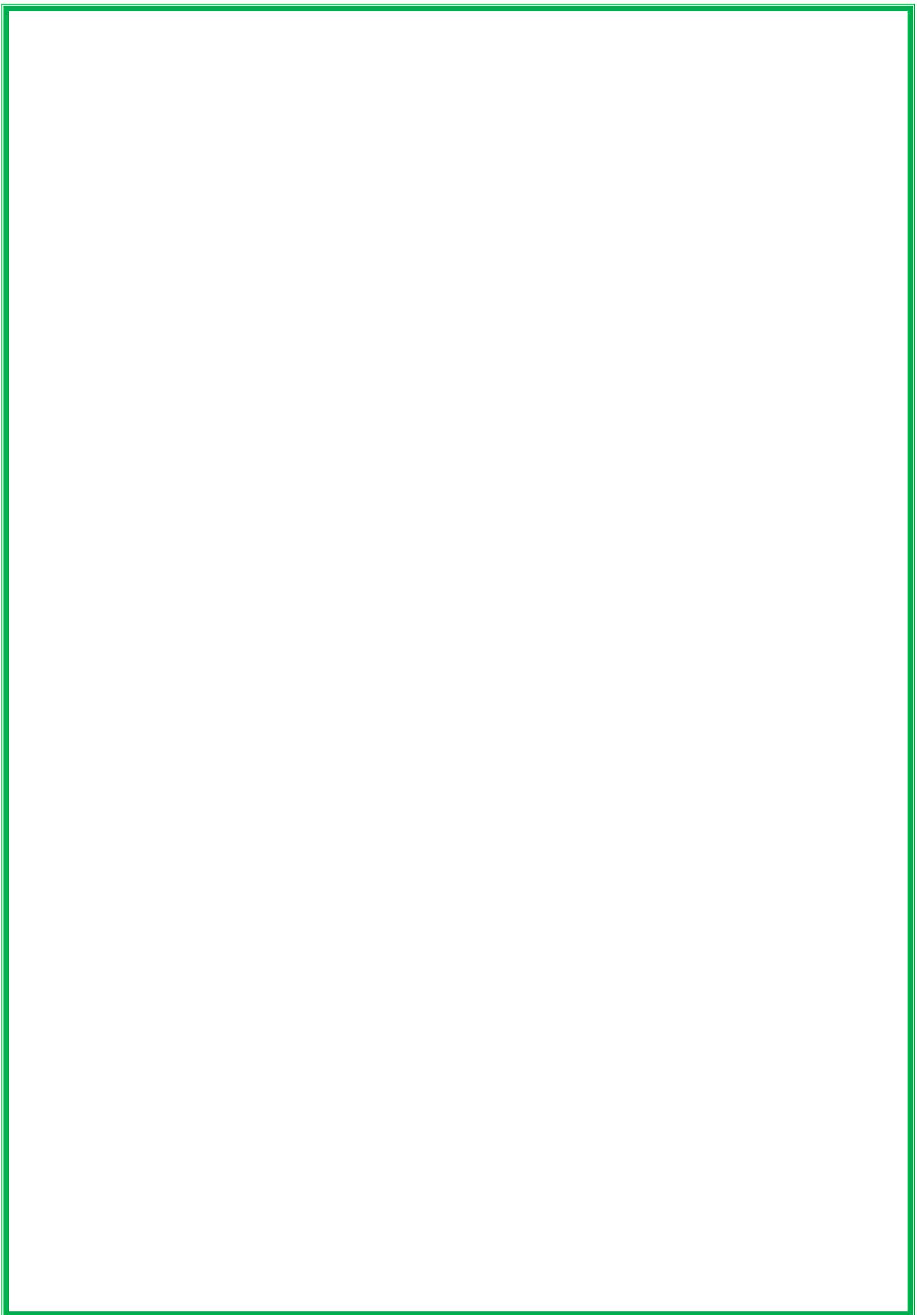
Encadreur

Mr. DAHMANI Saci

Université Ouargla

Co- Encadreur

Année universitaire 2016/2017



Remerciements

Je remercie Allah, le tout puissant, le miséricordieux, de m'avoir permis d'apprendre ce que j'ignorais, de m'avoir donné la santé et tout ce dont j'avais besoin pour réaliser le travail imposé et rédiger ce mémoire.

*Nous tenons à remercier les promoteurs **Dahmani Saci** et **Saggai Soufaine** d'avoir accepté de nous encadrer et sans qui ce travail n'aurait jamais eu lieu. Je le remercie pour sa disponibilité, pour ses éclaircissements scientifiques, ainsi que pour ses précieux conseils et surtout pour m'avoir laissé une grande liberté dans la conception et la rédaction de ce travail.*

*Je remercie vivement les membres du jury de soutenance de ce mémoire : **Mr. Belfarage Alloua** président jury et **Mr. Chaib Hacham** examinateurs qui nous font l'honneur de participer au jury d'explication de ce travail.*

*Je tiens également à remercier tous les enseignants et les fonctionnaires du ministère de la Génie civil de l'Université de OUARGLA pour leur collègue de notre promotion (2016/2017) et spécialement **2^{ème} année Master CCI** qui nous a aidés à réaliser ce travail*

Sommaire

Résumé.....	I
Liste des tableaux	III
Liste des figures.....	VI
Liste des photos	V
Introduction Général	1
Chapitre I : Recherche Bibliographique	
I.1. Introduction.....	2
I.2.Historique.....	2
I.3. Les déchets solides	3
I.3 .1.Définition de déchets.....	3
I.3.2.Les types des déchets.....	3
I.3.2.1.Déchets solides non dangereux.....	4
I.3.2.2.Déchets solides dangereux.....	5
I.3.3.Destination des déchets	7
I.3.3.1.Décharges.....	7
I.3.3.2.Combustion ou incinération.....	7
I.3.3.3.Stations de transfert.....	7
I.3.3.4.Récupération et recyclage.....	7
I.3.3.5.Compostage.....	7
I.3.4Valorisations des déchets dans le génie civil.....	8
I.3.5.Exemples des déchets utilisés.....	8
I.4.Utilisation de verre dans le domaine de génie civil.....	9
I.4.1.Définition de verre.....	9
I.4.2.Le verre et les routes.....	9
I.4.3.Le verre et les bâtiments.....	9
I.5.Valorisations de poudre de verre dans génie civil.....	10

I.5.1.Poudre de verre.....	10
I.5.2.Valorisations de poudre de verre.....	10
I.6.La fabrication de ciment.....	11
I.6.1. Définition.....	11
I.6.2.Fabrication du ciment portland.....	11
I.7.La pouzzolane	12
I.7.1.Définition	12
I.8.Conclusion.....	13
Chapitre II: Méthodes et Matériaux	
II.1.Introduction.....	14
II.2.Méthodes expérimentales.....	14
II.2.1 Equivalent De Sable (NF P 18 598)[25].....	14
II.2.1.1.But de 'essai.....	14
II.2.1.2.Principe de manipulation.....	14
II.2.1.3.Mode opératoire d'essai.....	14
II.2.2.La Masse Volumique (NF P18-301).....	15
II.2.2.1.La masse volumique absolue.....	15
II.2.2.1.1.Définition.....	15
II.2.2.1.2.Mode opératoire d'essai.....	16
II.2.2.2.La Masse Volumique Apparente (NFP 94-064).....	16
II.2.2.2.1.Définition.....	16
II.2.2.2.2Mode opératoire de l'essai.....	17
II.2.3.Analyse Granulométrique Par Tamisage (NFP 18-560).....	17
II.2.3.1.Module De Finesse.....	18
II.2.3.2.Facteur D'uniformité Cu.....	18
II.3.3.Le pourcentage de fines (F).....	18
II.2.4.Masse volumique absolue pour les poudres.....	19
II.2.4.1.Objectif de l'essai.....	19
II.2.4.2.Principe de l'essai.....	19

II.2.4.3.Principe de la mesure.....	19
II.2.4.4.Équipement nécessaire.....	19
II.2.4.5.Conduite de l'essai.....	20
II.2.5.Mesure de la finesse.....	21
II.2.5.1.Objectif de l'essai.....	21
II.2.5.2.Principe de l'essai.....	21
II.2.5.3.Équipement nécessaire.....	21
II.2.5.4.Conduite de l'essai.....	22
II.2.6.Essai sur mortier.....	23
II.2.6.1.Formulation d'un mortier témoin.....	23
II.2.6.2.Malaxage du mortier.....	23
II.2.7.Les essais de maniabilité.....	24
II.2.7.1.Principe de l'essai.....	24
II.2.7.2.L'appareil utilisé.....	24
II.2.7.3.Conduite de l'essai.....	25
II.2.7.4.Préparation des éprouvettes.....	25
II.2.7.4.Conservation des éprouvettes.....	26
II.2.7.5.Les compositions utilisé.....	26
II.2.8.Essai non destructive.....	27
II.2.8.1.Vitesse de propagation d'ondes ultrasoniques.....	27
II.2.8.2.Principe.....	28
II.2.9.La porosité volumique NF P 18-459.....	28
II.2.9.1.Mode d'opérateur.....	28
II.2.10.Essai destructive.....	29
II.2.10.1.Résistances mécaniques des mortiers.....	29
II.2.10.1.1.Résistance à la flexion.....	30
II.2.10.1.2.Résistance à la compression.....	30
II.3.Matériaux.....	31
II.3.1.Sable.....	31
II.3.1.1.Les caractéristiques de Sable.....	32
II.3.1.2.Courbe de sable.....	32

II.3.2.La poudre de verre.....	33
II.3.2.1.Analyse chimique de poudre de verre.....	34
II.3.2.1.2.Propriétés physiques.....	34
II.3.3.Ciment Portland.....	34
II.3.4.Eau.....	35
II.4.CONCLISION.....	35

Chapitre III: Discussion des Résultats

III.1.Introduction.....	36
III.2.maniabilité.....	36
III.3.La porosité.....	37
III.4.La densité.....	39
III.5.Vitesse de propagation d'onde sonique.....	40
III.6.Résistance à flexion.....	41
III.7.Résistance à compression.....	44
III.8.Conclusion.....	48
Conclusion général.....	49
Référence bibliographique.....	51
Annexe	54

Résumé

La recherche d'un liant moins couteux en utilisant des ressources naturelles et déchets industriels est devenue une préoccupation majeure dans la fabrication de ciment. D'après la littérature. Dans ces dernières années, les chercheurs ont trouvé que les déchets de verre, sous forme de poudre, peuvent être introduits au ciment pour obtenir un ciment moins couteux et moins polluant.

Dans Ce travail nous avons étudié l'effet et les caractéristiques de la substitution de poudre de verre en différentes pourcentage (0 à 25%) avec le ciment pour la confection des mortiers, nous avons utilisé deux types de sable, l'un en utilisant le sable de construction normal et l'autre en mélangeant 10 % de sable de dune avec le sable de construction . des essais physique et mécanique a permis de confirmer l'efficacité de cet ajout sur ces caractéristiques.

L'ajout de poudre de verre est donné des résultants acceptable par rapport le témoin, essentiellement la composition contenant de 15 % de poudre de verre amélioré la maniabilité et la résistance mécanique même la vitesse de son est augmente.

L'ajout de sable de dune donne des résultants acceptables cette ajouté conduits à l'amélioration de maniabilité et la résistance mécanique.

Mots clés : mortier, poudre, verre, sable de dune, déchets, ciment, sable, résistance.

الملخص

البحث عن رابط اقل تكلفة و ذلك باستعمال مصادر طبيعية و نفايات صناعية. كما أن صناعة الاسمنت أصبحت تشكل قلق كبير , في السنوات الأخيرة, وجد الباحثون أن استعمال الزجاج في شكل مسحوق, يمكن إدخالها مع الاسمنت للحصول على اسمنت اقل تكلفة و اقل تلوث.

في هذا العمل نقوم بدراسة تأثير و خصائص استبدال مسحوق الزجاج بنسب مختلفة (0% إلى 25%) مع الاسمنت لتحضير الملاط , استعمالنا نوعين من الرمل, استعمالنا رمل البناء عادي و خليط آخر عبارة عن 10% من كتبان رمل و رمل البناء. قمنا بالتجارب الفيزيائية و الميكانيكية للتأكد من هذه الإضافة و خصائصها.

إضافة مسحوق الزجاج أعطى نتائج مقبولة مقارنة مع الشاهد. بالأخص التركيبية التي تحوي 15% من مسحوق الزجاج تحسن في نسبة الماء و المقاومة الميكانيكية كما أن سرعة انتقال الأمواج الصوتية زادت.

إضافة كتبان الرمل أعطى نتائج مقبولة هذه الإضافة أدت إلى تحسين نسبة الماء و المقاومة الميكانيكية.

كلمات المفتاح: ملاط , مسحوق زجاج, كتبان الرمل, نفايات, الاسمنت و المقاومة.

Abstract

The search for a less expensive binder using natural resources and industrial waste has become a major concern in the manufacture of cement. According to the literature. In recent years, researchers have found that glass waste, in the form of powder, can be introduced into cement to obtain less expensive and less polluting cement.

In this work we studied the effect and the characteristics of the substitution of glass powder in different percentage (0 to 25%) with the cement for the making of the mortars, we used two types of sand, one using the sand of normal construction and the other by mixing 10% sand of one with the sand of construction. Physical and mechanical tests confirmed the effectiveness of this addition on these characteristics.

Addition of glass powder is given acceptable results compared to the control, essentially the composition containing 15% of glass powder improved handling and mechanical strength even the sound velocity is increased. The addition of dune sand gives acceptable results this added conducts improved maneuverability and mechanical strength.

Keywords: mortar, powder, glass, sand dune, waste, cement, sand, resistance.

Chapitre II

Tableau(II.1).Type de mortier selon le temps de maniabilité.....	25
Tableau(II.2).Les composition utilisé pour le mortier.....	27
Tableau(II.3): les caractéristiques de sable.....	32
Tableau (II .4): Composition chimique de poudre de verre(en %)......	34
Tableau (II.5). Composition chimique du clinker (en %)......	34
Tableau (II.6).Composition minéralogique du clinker (en %)......	34

Chapitre I

Figure(I.1).les types de déchets solides.....6

Figure(I.2). Fabrication du ciment.....11

Chapitre II

Figure (II.1).essai la masse volumique absolue.....16

Figure (II.2) .essai de traction par flexion.....30

Figure(II.3). Courbe granulométrique sable de dune.....32

Chapitre III

Figure (III.1): maniabilité de mortier en SC.....36

Figure (III.2). Maniabilité de mortier en SM.....36

Figure (III.3).La porosité de mortier à SC.....38

Figure (III.5). la densité de mortier avec SC.....39

Figure (III.6). la densité de mortier avec SM.....39

Figure (III.7).ultrason de mortier avec SC.....40

Figure (III.8).ultrason de mortier avec SM.....41

Figure (III.09).Evolution de la résistance de flexion en fonction de l'âge des éprouvettes en SC.....41

Figure (III.10).Evolution de la résistance flexion en fonction de l'âge des éprouvettes en SM.....42

Figure (III.11). l'effet de poudre de verre en fonction de la poudre verre en SC.....43

Figure (III.12).l'effet de poudre de verre en fonction de la poudre de verre.....44

Figure (III.13).Evolution de la résistance de compression en fonction de l'âge.....45

Figure (III.14). Evolution de la résistance de compression en fonction de l'âge.....46

Figure (III.11). l'effet de poudre de verre en fonction de leur pourcentage avec SC.....47

Figure (III.11). l'effet de poudre de verre en fonction de la poudre verre.....47

Chapitre I

Photo (I.1).Déchets banals.....	8
Photo (I.2). Déchets inertes.....	8
Photo (I.3) .déchets dangereux.....	8
Photo (I.4). Verre.....	9
Photo (I.5).poudre de verre.....	10

Chapitre II

Photo (II.1). Essai d équivalente de sable.....	14
Photo (II.2).Essai la masse volumique apparente.....	17
Photo (II.3). Machine d'Analyse Granulométrique Par Tamisage.....	18
Photo (II.4). La masse volumique pour les poudres.....	20
Photo (II.5). Malaxeur de mortier.....	24
Photo (II. 6). Maniabilimètre de mortier.....	24
Photo (II.7).table de choc et des moules.....	26
Photo (II.8).essai de Vitesse de propagation d'ondes ultrasoniques.....	28
Photo (II.9).essai de la porosité.....	29
Photo (II.10). Essai de compression.....	31
Photo (II.11). Les étapes de broyage de verre.....	33

Introduction Général

Introduction général

Le ciment est le matériau le plus utilisé dans la construction. La production de ciment nécessite une grande énergie qui conduit à la libération d'une quantité important de CO₂. Le CO₂ contribue à environ 65% du réchauffement climatique.

L'industrie du ciment contribue à environ 7% à effet de serre des émissions de gaz à l'atmosphère de la terre. Vu le développement de notre Pays dans le domaine industriel conduit à une augmentation des déchets industriel.

L'accumulation des matériaux à l'état solide résultant de diverses activités humaines dans différents domaines de la même taille et occupant l'espace pour cela devrait toujours travailler sur la recherche d'endroits pour se débarrasser de ces déchets. L'utilisation des résidus industriels récupérés et recyclés tel que le déchet de verre en substitution au ciment permet de réduire l'accumulation de ces déchets.

Les régions sahariennes montrent un énorme gisement de sable de dune qui peut être utilisé dans la construction. Malgré cette disponibilité, ces ressources naturelles reste inexploitée jusqu'au ce jour dans le domaine de génie civil. En conséquence, il est nécessaire de remplacer une partie du ciment par la poudre de verre en faisant substituer ce dernier en différent pourcentages au ciment permet d'améliorer certaine caractéristiques de ciment.

Dans notre travail, nous allons essayer de valoriser la poudre de verre en différents pourcentage par substitution avec le ciment et incorporer un pourcentage de sable de dune avec le sable de construction. Ce travail a pour but de l'amélioration de certains ou de la totalité de béton et les incitations économiques et les avantages environnementaux.

Pour la réalisation de ce projet nous avons proposé le plan de travail suivant:

- ❖ Le premier chapitre est consacré à la recherche bibliographique.
- ❖ Le deuxième chapitre présente les matériaux utilisés et les différentes méthodes expérimentales réalisées pour déterminé les caractéristiques matériaux composites.
- ❖ le troisième chapitre décrit les résultats acquis durant cette étude et leurs interprétations.
- ❖ Finalement, ce mémoire s'achève par une conclusion générale des travaux réalisés et présente les perspectives de l'étude de ce mortier fabriqué avec la poudre de verre.

Chapitre I

Recherche Bibliographique

I.1. Introduction

La pollution est la dégradation d'un écosystème par l'introduction, généralement humaine, de substances ou de radiations altérant de manière plus ou moins importante le fonctionnement de cet écosystème [1]. Par extension, le mot désigne aussi parfois les conséquences de phénomènes géologiques comme une éruption volcanique [2].

La pollution d'origine humaine peut avoir un impact très important sur la santé et dans la biosphère comme en témoigne l'exposition aux polluants et le réchauffement climatique qui transforme le climat de la Terre et son écosystème, entraînant l'apparition de maladies inconnues jusqu'alors dans certaines zones géographiques, des migrations de certaines espèces, voire leur extinction si elles ne peuvent s'adapter à leur nouvel environnement biophysique.

I.2. Historique

C'est après la Seconde Guerre mondiale qu'une prise de conscience des répercussions des activités humaines sur l'environnement voit le jour, parallèlement à la naissance de l'écologisme et de l'écologie. Les préoccupations environnementales conduisent les gouvernements à prendre des mesures pour limiter l'empreinte écologique des populations humaines et pour contrer des activités humaines contaminèrent.

Les premières grandes pollutions semblent avoir été induites par la révolution industrielle, permise par les machines à vapeur et le charbon. Cheminées industrielles, Fumées industrielles généralement chargées de résidus de combustion.

I.3. Les déchets solides

Les déchets solides est l'accumulation de matériaux à l'état solide résultant de diverses activités humaines dans différents domaines de la même taille et occupant l'espace, pour cela devrait toujours travailler sur la recherche d'endroits pour se débarrasser de ces déchets.

Auparavant, les déchets solides ne causaient pas de tout problème environnemental et qu'elle a été exploitée par certaines créatures vivantes et des objets qui sont exploités dans leur vie et dans cette forme, ils sont la récupération et le recyclage de ces matériaux dans la nature du 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 croissante de déchets solides et ainsi accumulée problème des déchets solides est devenue l'un des problèmes environnementaux difficiles face au monde moderne et civilisé [3].

I.3 .1.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).

I.3.2.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.

I.3.2.1. Déchets solides non dangereux

a- Déchets solides municipaux

Comprend tous les objets quotidiens jetés des ménages, des entités commerciales et institutionnelles, l'horticulture et le balayage des routes. Cela comprend des articles tels que l'emballage, le papier, le carton, les déchets alimentaires, les sacs en plastique et les conteneurs, les bouteilles en verre, les coupures de gazon, les meubles, les pneus, les articles électriques et électroniques et les métaux [4].

b- Déchets agricoles et animaux

Les déchets agricoles comprennent les résidus de cultures primaires qui restent dans les champs après la récolte et les résidus de transformation secondaires provenant des récoltes des cultures pendant la production des aliments, des aliments pour animaux et des fibres. Cela est généré au cours de la production et de la distribution par décomposition de denrées alimentaires, de légumes ou de viande, d'enlèvement de pièces non utilisables [5].

c- Déchets industriels

Comprend les déchets produits par 17 fabricants industriels de produits chimiques organiques, de produits chimiques inorganiques, de fer et d'acier, de matières plastiques et de résines, de pierre, d'argile, de verre, de béton, de pâtes et papiers, d'aliments et de produits apparentés[6]. Les déchets industriels ne pénètrent pas dans le flux de déchets solides municipaux et sont donc mis en décharge ou traités séparément.

c.1. Déchets de construction et de démolition

Les déchets comprennent les débris générés pendant la construction, la rénovation et la démolition de bâtiments, de routes et de ponts. Il peut s'agir de matériaux de construction encombrants et lourds composés de béton, de déchets de bois de construction, d'asphalte de routes et de bardeaux de toit, de gypse de plâtre, de métaux, de briques, de blocs, de verre, de matières plastiques, Souches, terre[6].

c.2. Déchets médicaux

Les déchets biomédicaux se composent de tous les déchets produits dans les établissements de santé, y compris les hôpitaux, les cliniques, les cabinets de médecins, les dentistes et les

vétérinaires, les banques de sang, les établissements de soins à domicile, les salons funéraires, les installations de recherche médicale et les laboratoires[7].

c. 3.Déchets inertes

Les déchets inertes sont les déchets les plus stables. En cas stockage en décharge, ils ne subissent aucune modification physique, chimique ou biologique importante et ne présentent pas de danger pour l'homme et l'environnement [8].

Parmi les déchets inertes produits par le secteur du bâtiment on trouve :

- ❖ Béton,
- ❖ Briques,
- ❖ Parpaings,
- ❖ Tuiles et céramiques,
- ❖ Terres et granulats non pollués et sans mélange.

c.4.Déchets banals

Les déchets banals ou les déchets industriels banals (DIB) sont non inertes et non dangereux générés par les activités, publiques ou privées, du commerce, de l'artisanat, de l'industrie ou du service. Ce sont des déchets qui ne présentent pas de danger particulier vis-à-vis des personnes ou de l'environnement et qui peuvent être éliminés dans les mêmes conditions que les ordures ménagères. Il s'agit notamment des cartons, des papiers, des plastiques, de plâtre, de verre, de bois d'ouvrage, des métaux.....etc. [8].

I.3.2.2.Déchets solides dangereux

a- Déchets ménagers dangereux:

Cela comprend les produits ménagers usagés et les restes contenant des composants corrosifs, toxiques, inflammables ou réactifs. Les exemples sont les déchets médicaux, l'huile usée, les peintures, les nettoyeurs, les batteries, les pesticides et les ampoules lampes. Puisqu'ils contiennent des ingrédients potentiellement dangereux, une élimination inappropriée peut entraîner des risques pour la santé humaine et la pollution de l'environnement [9].

b-Déchets industriels dangereux

Les principaux générateurs de déchets dangereux dans toute région sont les installations industrielles, les unités de fabrication et de traitement, les ateliers et les unités de maintenance, les installations nucléaires, les unités chimiques, etc. [9].

c- Déchets universels

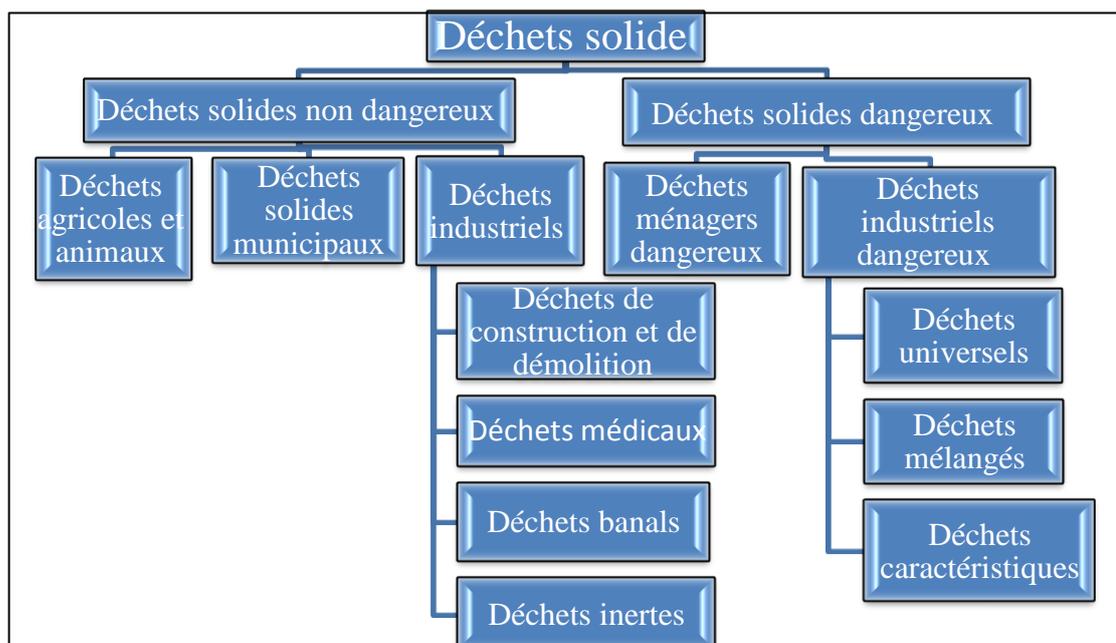
Les déchets dangereux désignés tels que les batteries, les pesticides, le matériel contenant du mercure et les ampoules / lampes comme déchets universels. C'est un moyen de les rationaliser séparément et de contrôler et de faciliter la collecte, le stockage, la récupération ou le traitement appropriés [9].

d-Déchets mélangés:

Il s'agit de déchets qui contiennent à la fois des déchets radioactifs et des déchets dangereux, ce qui les rend complexes à réguler. Les déchets mixtes à faible niveau proviennent de sources telles que les usines industrielles, les hôpitaux et les centrales nucléaires, ainsi que de procédés tels que les tests et la recherche en diagnostic médical, le développement pharmaceutique et biotechnologique, la recherche sur les pesticides [9].

f- Déchets caractéristiques:

Les déchets caractéristiques sont les déchets qui définissent en fonction de leurs caractéristiques spécifiques d'inflammabilité, de corrosivité, de réactivité et de toxicité. Constitués d'huiles usées et de solvants. Les déchets corrosifs comme les acides de batterie sont caractérisé. Les déchets réactifs comprennent des batteries au lithium-soufre et des explosifs qui peuvent provoquer des explosions, Les exemples de déchets toxiques comprennent le mercure et le plomb [9].



Figure(I.1).les types de déchets solides.

I.3.3. Destination des déchets

I.3.3.1. Décharges

Ce sont des zones conçues techniquement où les déchets sont disposés scientifiquement. Ils sont caractérisés par des doublures qui empêchent les infiltrations des matériaux candidats aux eaux souterraines. Il existe différentes conceptions pour les décharges [4].

I.3.3.2. Combustion ou incinération:

La combustion ou l'incinération des déchets réduisent la quantité d'espace d'enfouissement nécessaire à la combustion des déchets de manière contrôlée et génère également de l'électricité grâce à des technologies d'élimination des déchets comme la gazéification, la pyrolyse, la digestion anaérobie, la fermentation, etc.

I.3.3.3. Stations de transfert

Les stations de transfert sont des installations intermédiaires où les déchets solides municipaux collectés sont déchargés des camions de collecte, compactés pour réduire le volume des déchets, et conservés pendant une courte période avant de les recharger sur des camions ou des conteneurs plus larges ou à grande distance pour l'expédition Aux décharges ou à d'autres installations de traitement et d'élimination.

I.3.3.4. Récupération et recyclage

Les déchets sont également de bonnes sources de matières premières. La récupération et le recyclage des déchets peuvent aider à réduire l'utilisation de matériaux vierges pour la production de nouveaux produits. Le recyclage des déchets de construction et de démolition peut également conserver l'espace dans les décharges et de grandes quantités de matériaux comme les métaux, le verre, les plastiques et les cartons peuvent être récupérés. [9].

I.3.3.5. Compostage

Le compostage est un moyen de ramener les nutriments dans l'environnement en permettant aux microorganismes de transformer les déchets en fumier. L'application de ce fumier à des terres agricoles peut améliorer la fertilité du sol en lui fournissant des éléments nutritifs essentiels [4].

I.3.4 Valorisations des déchets dans le 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.



Photo (I.1).Déchets banals.



Photo (I.2). Déchets inertes.



Photo (I.3) .déchets dangereux.

I.3.5.Exemples des déchets utilisés

Lors de travaux de démolition, les briques récupérées peuvent être nettoyées et réutilisées sur le même chantier ou ailleurs. Par ailleurs, certaines briques anciennes ont une grande valeur architecturale et sont recherchées pour les rénovations historiques.

Lors de travaux de construction, le béton pré-mélangé en excès peut être utilisé dans la fabrication de bordures de terrains de stationnement, de jardinières ou dans l'aménagement paysage [10].

I.4.Utilisation de verre dans le domaine de génie civil.

I.4.1.Définition de verre

Matériau transparent, brillant, solide, tel que ceux utilisés dans les fenêtres, flacon, ou des lunettes.

Verre scientifique sur toute structure de matière solide ne possède pas un cristal montre un décalage de verre lorsqu'il est chauffé vers la composition liquide.

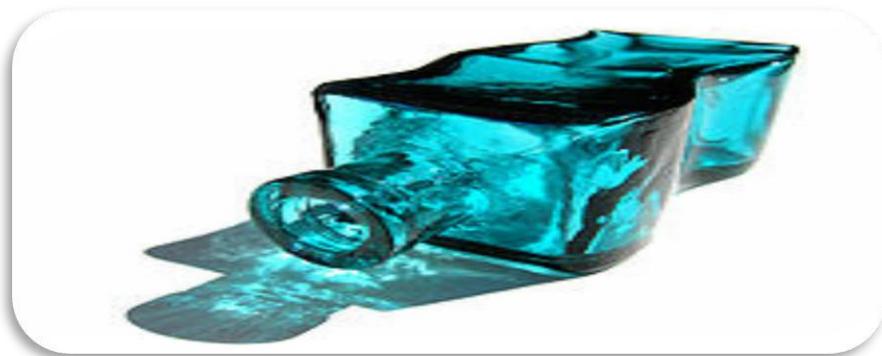


Photo (I.4). Verre.

I.4.2.Le verre et les routes

(Glasphalt): Peut-être utiliser de déchets de verre dans les routes au lieu de gravier ou de petits cailloux de mélange de quelques pourcentages, et ce type d'industrie fut un grand succès en Amérique et avéré très réussie à conserver la température, comme sa propriété, et est la résistance au glissement sur la route.

(Read repair materiel): est un mélange de verre et de l'huile usée, le ciment et l'utilisation de cet article est utilisé pour bricoler sur la route ou pour remplir les trous et les ébauches de forage et au-dessus de la route.

I.4.3.Le verre et les bâtiments

(Terrezzo): est un mélange de particules de verre, de marbre et de ciment Portland gris ou de couleur blanche est utilisé pour les planchers et les murs.

(brique et tuiles en verre moussé): est Un mélange de verre avec un matériau en caoutchouc a faible densité et en ajoutant des substances chimiques qui ont la capacité de résister à la température et de la résistance, est considéré comme un matériau insonorisant.

I.5.Valorisations de poudre de verre dans génie civil

I.5.1.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 SiO_2 lui confère des propriétés pouzzolaniques en se combinant avec la chaux pour produire d'autres hydrates.

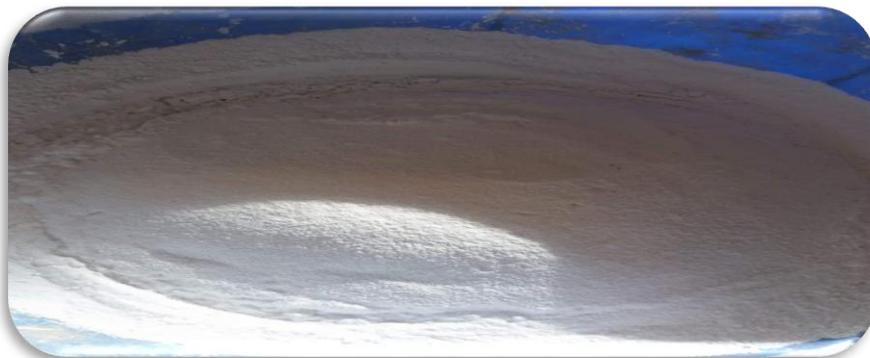


Photo (I.5).poudre de verre.

I.5.2.Valorisations de poudre de verre

Les méthodes par lesquelles il peut être supprimé et de grandes recherches récentes aux États-Unis et le Royaume-Uni a permis de considérer le verre recyclé comme une construction en béton potentiellement "adapté à l'usage" matériel. Les premières recherches effectuées dans les années 1960, 1970 et 1980 sur l'étude de la réaction de silice alcaline de l'agrégat de verre ont conclusions définitive.

Parallèlement à ces progrès scientifiques, les modifications apportées à la législation environnementale encouragent positivement les granulats secondaires dans le béton et les déchets de verre sont disponibles en plus grandes quantités en tant que conteneur, en fin de vie [11].

I.6. La fabrication de ciment

I.6.1. Définition :

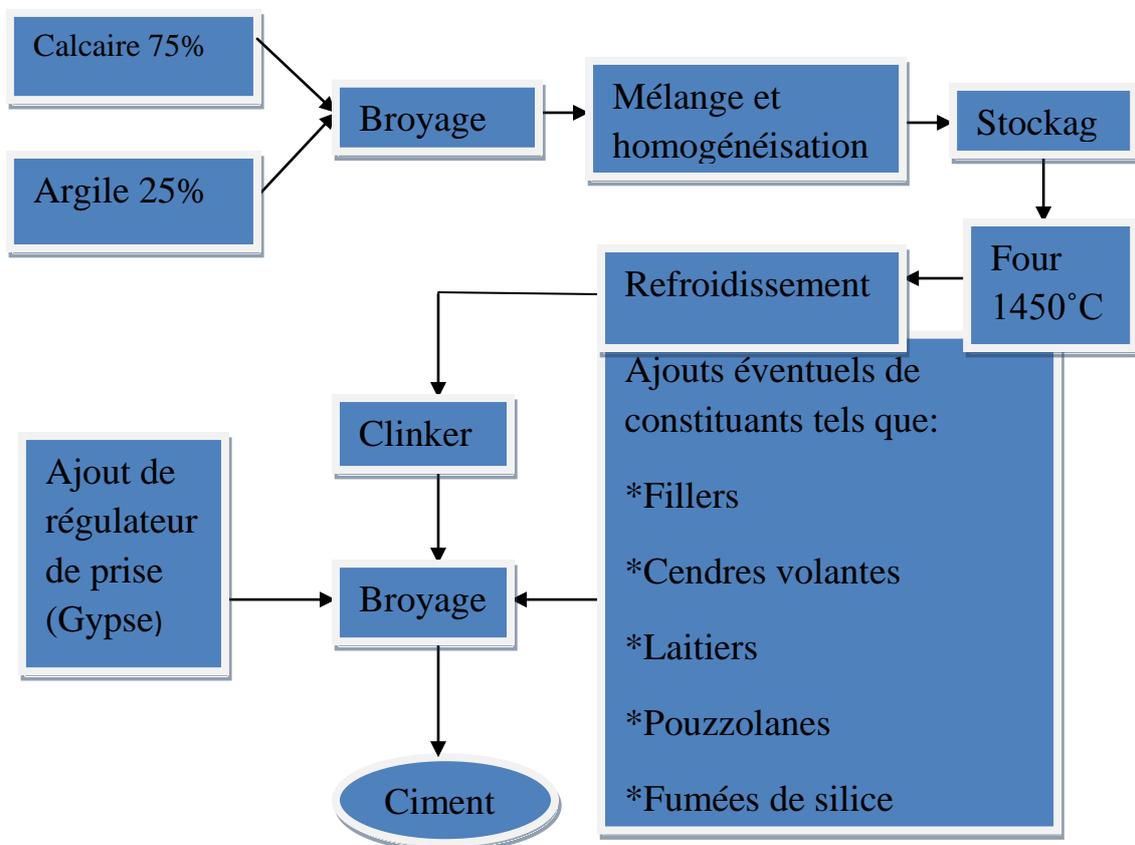
Les ciments sont des liants hydrauliques en forme des poudres fine chimiques constituées de silicates et d'aluminates de chaux qui s'hydratent en présence d'eau pour donner naissance a un matériau solide qui conserve sa résistance et sa stabilité même sous l'eau [12].

I.6.2. Fabrication du ciment portland:

Le ciment portland est fabrique essentiellement à partir de matière calcaires, comme le calcaire ou la craie (environ 80 %) et a partir d'alumine et silice présentent dans l'argile et schistes argileux (environ 20%) [12].

Le procédé de fabrication du ciment consiste essentiellement a broyer des matières premières les mélanger dans certains proportions puis a les cuire dans un four rotatif a une température atteignant environ 1450 °C [12] a la quelle le matériau fond partiellement jusqu'a former le clinker.

Le clinker est refroidi puis broyé en poudre fine, opération au cours de la quelle on ajoute le gypse (indispensable pour différer la prise) et des additions minérales éventuelles (pour certains ciments composes), le produit ainsi obtenu constitue le ciment portland universellement utilise dans le monde.



Figure(I.2). Fabrication du ciment.

I.7.La pouzzolane

I.7.1.Définition

Les pouzzolanes sont exploitées pour la production des ciments composés. Ceux sont des matériaux naturels ou artificiels riches en silice et en alumine capables de réagir avec la chaux en présence de l'eau et de former à l'issue de cette réaction des produits manifestant des propriétés liantes [13,14].

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 [15].

Ils permettent la réduction de la quantité de clinker utilisée dans la composition du ciment [16].

Les ciments aux pouzzolanes sont obtenus en mélangeant pouzzolaniques finement broyées avec le portland.

La pouzzolane confère aux bétons les propriétés suivants:

A l'état frais, les pouzzolanes améliorent l'ouvrabilité, la plasticité, la rétention d'eau et une bonne homogénéité couplées à une réduction de la tendance au ressuage. Elles réduisent la chaleur d'hydratation, cet effet se traduit par une réduction sensible de fissuration [17].

A l'état durci, les pouzzolanes améliorent la cohésion interne ainsi qu'une augmentation de compacité de la pâte de ciment, la réduction de porosité qui en découle pour tout la matricée ciment se traduit par une série d'effets très favorables:

- ❖ Accroissement de la résistance finale.
- ❖ Légère diminution du retrait et du fluage.
- ❖ Réduction de la perméabilité à l'eau jusqu'à des valeurs d'étanchéité.
- ❖ Amélioration de la résistance aux sulfates, aux chlorures et à d'autres types d'agressions chimiques.
- ❖ Protection des armatures contre la corrosion.
- ❖ Une réduction générale de la teneur en hydroxyde de calcium dans le béton.

I.8 Conclusion

Ce chapitre est un aperçu général sur déchets solide et impact sur l'environnement, passant par différent types de déchets, et en détaille pour les déchets de verre, ensuite nous avons donné quelque caractéristique de ce dernier, et parlé du ciment et ses composants, enfin nous avons terminé ce chapitre par les pouzzolanes par ce que est le point commun entre le verre et le ciment.

Chapitre II

Méthodes et Matériaux

II.1.Introduction

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.

II.2.Méthodes expérimentales

II.2.1 Equivalent De Sable (NF P 18 598)[18]

II.2.1.1.But de 'essai

L'essai de l'équivalent de sable utilise de manière courante pour évaluer la propreté des sables.

Cet essai consiste à séparer les particules fines contenues dans le granulat des éléments sableux plus grossier. Une procédure normalisée permet de terminer un coefficient d'équivalent de sable qui quantifie la propreté.

II.2.1.2.Principe de manipulation

L'essai est effectuée sur la fraction 0/5 mm du matériau à étudier. Le tamisage se fait par voie humide pour ne pas perdre les éléments fins.

II.2.1.3.Mode opératoire d'essai

- ❖ Remplir les éprouvettes avec la solution lavant, jusqu'au premier trait (inférieur).
- ❖ Verser la quantité de sable 120g et laissé au repos 10 min.
- ❖ Boucher les éprouvettes et les agiter par des mouvements rectilignes horizontaux de 20 cm d'amplitude, 90 allés en 30 secondes (effectués de manière automatique par la Machine, si possible).
- ❖ Laver et remplir les éprouvettes, avec le tube plongeur.

- ❖ Sortir le tube, fermer le robinet lorsque le niveau du liquide atteint le trait supérieur puis laisser reposer 20 min en évitant toute vibration. La tolérance sur le temps de repos est faible (plus ou moins 10 sec) car la hauteur du floculat dépend fortement de celui-ci.
- ❖ Mesurer à vue les hauteurs h_1 et h_2 . Procéder à la mesure à l'aide d'une règle la hauteur h_1 du niveau supérieur du floculat et h_2 à l'aide d'un piston descendu jusqu'à ce qu'il repose sur le sédiment.

$$E_s = \frac{h_1}{h_2} \times 100 \quad (\text{II.1})$$



Photo (II.1). Essai d'équivalente de sable.

II.2.2.La Masse Volumique (NF P18-301)

La masse volumique absolue et apparente permet le passage de la masse au volume des différentes classes granulaires, elle est souvent très nécessaire.

II.2.2.1.La masse volumique absolue

II.2.2.1.1.Définition

La masse volumique absolue est la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat, sans tenir compte des vides pouvant exister dans ou entre les grains [19].

II.2.2.1.2. Mode opératoire d'essai

- ❖ 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 $V = V_2 - V_1$

La masse volumique absolue est :

$$M_{V_{abs}} = \frac{M_S}{(V_2 - V_1)} \quad (II.2)$$

$M_{V_{abs}}$: Masse volumique absolue.

M_S : Masse des grains solides

V_1 : volume de l'eau

V_2 : volume total (grains solides+ eau).

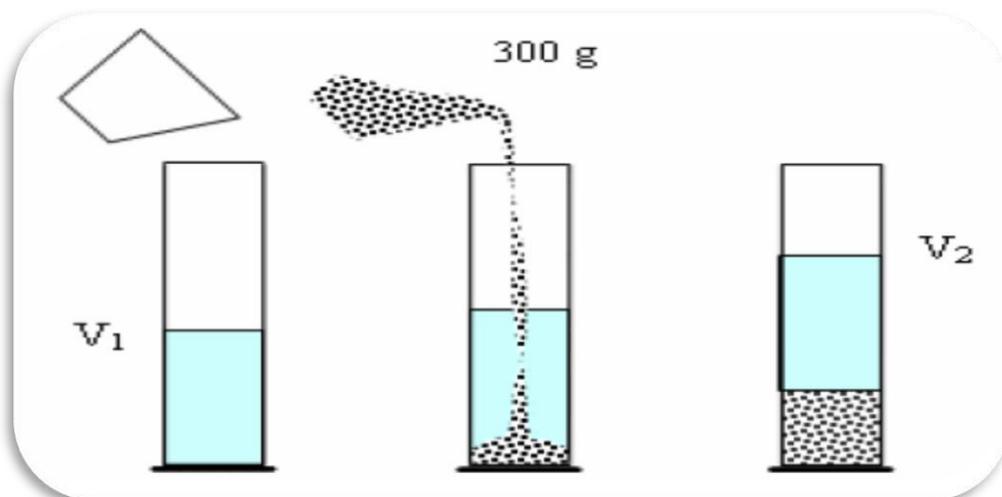


Figure (II.1).essai la masse volumique absolue.

II.2.2.2. La Masse Volumique Apparente (NFP 94-064)

II.2.2.2.1. Définition

C'est la masse de l'unité de volume apparent du corps, c'est-à-dire du volume constitué par la matière du corps et les vides qu'elle contient [19].

II.2.2.2 Mode opératoire de l'essai

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:

$$M_{Vapp} = \frac{M_T - M_0}{V} \quad (II.3)$$

Avec :

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.



Photo (II.2).Essai la masse volumique apparente.

II.2.3. Analyse Granulométrique Par Tamisage (NFP 18-560)

L'analyse Granulométrique par tamisage est une méthode d'essai qui consiste à tamiser le granulat sur une série de tamis à mailles carrées [18] de dimensions d'ouverture décroissantes et à peser le refus sur chaque tamis. On trace ensuite la Courbe Granulométrique, courbe exprimant les pourcentages cumulés, en poids, de grains passant dans les tamis successifs.

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).

$$M_F = \frac{\sum \% refus}{100} \quad (\text{II .4})$$

II.2.3.2. Facteur D'uniformité C_u

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.

D_{60} : représente l'ouverture du tamis auquel passe 60% du poids des grains, De même pour D_{10} .

Pour $(D_{60}/D_{10}) > 2$, la granulométrie est dite étalée.

ET pour $(D_{60}/D_{10}) < 2$, 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 :

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

M_1 : masse de la prise d'essai, en Kg.

M_2 : masse séchée du refus à 0.08 mm, en Kg.

P : masse du tamisât dans le fond, en Kg.



Photo (II.3). Machine d'Analyse Granulométrique Par Tamisage.

II.2.4.Masse volumique absolue pour les poudres

II.2.4.1.Objectif de l'essai

Il s'agit de mesurer la masse volumique absolue du ciment anhydre qui varie en fonction de la composition du ciment, tout en restant comprise entre 2,9 et 3,20 g/cm³.

II.2.4.2.Principe de l'essai

On repère en comparant la masse (m_c) d'un volume connu de ciment (V_c) à la masse (m_t) d'un même volume d'un liquide dont la masse volumique (ρ_l) est connue.

II.2.4.3Principe de la mesure

Il consiste à mesurer le déplacement du niveau de liquide contenu dans un récipient à col étroit, lorsqu'on y introduit la poudre dont on cherche la masse volumique absolue. La méthode nécessite également une balance au décigramme, un volumétre et un liquide inerte vis-à-vis de la poudre: ce sera par exemple du tétrachlorure de carbone ou du pétrole, si la poudre est du ciment.

II.2.4.4.Équipement nécessaire

- ❖ un volumétre Le Chatelier d'une contenance minimale de 50 cm³.
- ❖ un récipient contenant de l'eau à 20 ±1 °C.
- ❖ un liquide inerte vis-à-vis du ciment, du toluène, de l'alcool à brûler ou de l'eau à défaut.

- ❖ une balance. La précision de la balance devra être adaptée à la masse de l'échantillon utilisé.
- ❖ un thermomètre, précis à 0,1 °C, permettant de connaître la température du laboratoire.

II.2.4.5. Conduite de l'essai

Remplir l'appareil par le liquide inerte jusqu'à ce que le niveau parvienne entre les divisions zéro et 1. Éviter de mouiller les parois lors du remplissage. Immerger le volumétre dans un récipient contenant de l'eau à 20±1 °C. Pendant l'équerrage de température, peser une masse de ciment de 64 g à 0,1 g près.

Repérer exactement le niveau atteint N_0 . Verser le ciment très lentement (en ¼ d'heure environ) dans l'appareil en prenant garde à ne pas laisser de dépôt sur les parois.

Déplacer le volumétre contenant le ciment, de récipient et le poser sur la table. Boucher le volumétre, l'incliner à 45° par rapport à la table et le faire rouler avec un mouvement de va-et-vient de manière à faciliter le départ de l'air.

Replacer l'appareil dans le bain et lire le niveau N_1 du liquide après équilibrage de température.

La masse volumique absolue est donnée par le rapport:

$$M_V = \frac{64}{(N_1 - N_0)} \quad (\text{II.6})$$

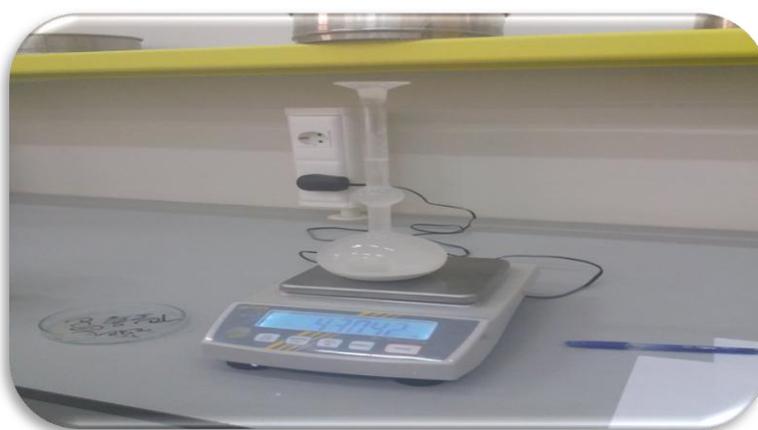


Photo (II.4). La masse volumique pour les poudres.

II.2.5. Mesure de la finesse (surface spécifique)

II.2.5.1. Objectif de l'essai

Les ciments se présentent sous forme de poudre finement divisée. Cette finesse est une caractéristique importante : lors du gâchage, plus la surface de ciment en contact avec l'eau est grande et plus l'hydratation est rapide et complète. La finesse d'un ciment est généralement exprimée par sa surface massique: c'est la surface totale des grains contenus dans une unité de masse de poudre. La surface massique est généralement exprimée en cm^2 de surface des grains de ciment par gramme de poudre.

II.2.5.2 Principe de l'essai

L'essai a pour but de calculer le débit d'air susceptible de passer à travers la poudre. La surface massique du ciment étudié n'est pas mesurée directement, mais par comparaison avec un ciment de référence dont la surface massique est connue. Il s'agit de faire passer un volume d'air connu à travers une poudre de ciment. Plus la surface massique de cette poudre est importante et plus le temps t mis par l'air pour traverser la poudre est long. Dans les conditions normalisées décrites, la surface est proportionnelle à \sqrt{t} .

II.2.5.3. Équipement nécessaire

- ❖ un appareil appelé «Perméabilimètre de Blaine». Il se compose pour l'essentiel d'une cellule dans laquelle est placé le ciment à tester et d'un manomètre constitué d'un tube en verre en forme de U rempli, jusqu'à son repère inférieur d'une huile légère. La cellule est équipée d'une grille en sa partie inférieure. Un piston sert à tasser le ciment dans la cellule sous un volume V défini.
- ❖ une balance précise à 0,001 g.
- ❖ un chronomètre précis à 0,2 s près.
- ❖ du ciment de référence de surface massique (S_0) et de masse volumique (ρ_0) connues (les deux).
- ❖ des rondelles de papier filtrent adaptées au diamètre de la cellule.
- ❖ du mercure pour mesurer le volume V de la couche tassée.
- ❖ un thermomètre précis à 0,1 °C près pour mesurer la température de l'air.

II.2.5.4. Conduite de l'essai

Le liant hydraulique dont on désire mesurer la surface spécifique doit être à porosité constante (égale à 0,500).

- Méthode : peser à 0,01 g près, une masse m de liant telle que, compte tenu de son volume V après tassement dans la cellule, sa porosité soit égale à 0,500.
- La masse de matière à prendre s'écrit: $m = (1 - e) \rho V$ avec ρ et V sont respectivement la masse volumique et le volume utile de la cellule.

Placer la grille au fond de la cellule. Appliquer sur cette grille, au moyen d'une tige à face inférieure plane et d'une équerre, un disque neuf de papier filtre.

Verser le liant dans la cellule en utilisant un entonnoir.

Donner quelques légères secousses à la cellule pour niveler la couche supérieure du liant, puis placer sur celui-ci un autre disque neuf de papier filtre.

Tasser avec précaution au moyen du piston en évitant la remontée de la poudre au-dessus du papier filtre jusqu'à ce que le collier vienne buter contre le haut de la cellule.

Retirer le piston lentement (Il est commode de pratiquer une légère rotation alternative).

Vérifier le niveau du liquide du manomètre qui doit affleurer au trait inférieur. Enduire de vaseline la partie ronde de la cellule et la placer sur son ajutage en lui imprimant un léger mouvement de rotation pour répartir la vaseline ; veiller au cours de cette opération à ne pas altérer le tassement de la couche.

Aspirer lentement au moyen de la poire l'air du tube jusqu'à ce que le niveau du liquide atteigne le trait supérieur. Fermer le robinet. Mettre en marche un chronomètre sensible au cinquième de seconde quand le niveau de liquide atteint le deuxième trait. L'arrêter quand le niveau de liquide atteint le troisième trait. Noter le temps écoulé t ainsi que la température de la pièce.

Faire trois mesures et prendre la moyenne arithmétique des trois temps.

La surface spécifique est calculée en utilisant la formule:

$$S = K \frac{\sqrt{e^3} \cdot \sqrt{t}}{\rho(1-e)\sqrt{\eta}} \quad (\text{II.7})$$

S: Surface spécifique (cm^2/g).

K : Constante de l'appareil.

e: Porosité de la couche tassée.

t : Temps mesuré en secondes.

ρ : Masse volumique (g/cm^3).

η : Viscosité de l'air à la température d'essai.

II.2.6.Essai sur mortier

La composition du mortier est définie par la norme EN 196-1. Le mortier doit être composé en masse, d'une partie de ciment, de trois parties de sable normalisé et d'une demi-partie d'eau (le rapport eau / ciment = 0.50).

Chaque gâchée pour trois éprouvettes d'essai doit comporter $450 \text{ g} \pm 2 \text{ g}$ de ciment, $1350 \text{ g} \pm 5 \text{ g}$ de sable et $225 \text{ g} \pm 1 \text{ g}$ d'eau.

II.2.6.1.Formulation d'un mortier témoin

Pour la composition du mortier de sable témoin, nous vous utilisons un dosage en ciment et sable correspondant à celui qui est un mortier normalisé; c'est à dire une part de ciment et trois parts de sable. Concernant le dosage en eau nous utilisons la maniabilité, pour la détermination de la quantité d'eau qui correspond à un mortier "plastique"[20]

II.2.6.2.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.



Photo (II.5). Malaxeur de mortier.

II.2.7. Essais de maniabilité (consistance de mortier)

Elle nous permis d'apprécier la fluidité d'un mortier qu'est l'objet des essais définis par les normes NF P18-452 et NF P 15-437 [20]

II.2.7.1.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.2.7.2.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, équipe d'un vibreur et muni d'une cloison amovible.



Photo II.(6). Maniabilimètre de mortier.

II.2.7.3. Conduite de l'essai

Le mortier est introduit dans la partie la plus grande délimitée par la cloison et mis en place par piquage en quatre couches. Quatre minutes après la fin du malaxage, la cloison est retirée, provoquant la mise en route du vibreur et le déclenchement d'un chronomètre par l'opérateur. Sous l'effet de la vibration le mortier s'écoule. Le chronomètre est arrêté quand le mortier atteint un trait repère sur la paroi opposée du boîtier [20].

Tableau(II.1). Type de mortier selon le temps de maniabilité [20].

Classe de consistance	Durée (s)
Ferme	$t \geq 40$
Plastique	$20 < t \leq 30$
Très plastique	$10 < t \leq 20$
Fluide	$t \leq 10$

II.2.7.4. Préparation des éprouvettes :

Les éprouvettes sont de forme prismatique 4cm x 4cm x 16cm. Elles doivent être moulées le plus vite possible après la confection du mortier.

Le moule métallique à trois alvéoles et sa hausse étant fermement fixés à la table à choc, on introduit la première des deux couches de mortier. La couche est étalée uniformément en utilisant la grande spatule puis serrée par 60 chocs. La deuxième couche est alors introduite, nivelée avec la petite spatule et serrée à nouveau par 60 chocs.

Le moule est enlevé de la table à choc, et après avoir retiré la hausse, on enlève l'excédent de mortier par arasage. La surface des éprouvettes est ensuite lissée.



Photo (II.7).table de choc et des moules.

II.2.7.4.Conservation des éprouvettes :

Le moule rempli de mortier est convenablement identifié, puis placé jusqu'au moment du démoulage couvert d'un couvercle, sur un support horizontal dans laboratoire dont la température de $24\pm 2^{\circ}\text{C}$ et humidité de $50\pm 5\%$.

Le démoulage est effectué entre 20 h et 24 h après le moulage. Les éprouvettes sont alors marquées convenablement avec un crayon résistant à l'eau. Les éprouvettes sont placées dans l'eau et conservé dans une chambre humide sous conditions de température de $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ et $90\pm 5\%$ d'humidité

II.2.7.5.Les compositions utilisé

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

SN : Sable de construction (100% sable de construction)

SM : Sable modifié (90% sable de construction +10% sable de dune).

C : Ciment.

V : Verre.

E : Eau.

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

compositions	E/C	C%	SC/C	SM/C	V%
C01	46	100	3	0	0
C02	45	95	3	0	5
C03	45	90	3	0	10
C04	44	85	3	0	15
C05	44	80	3	0	20
C06	44	75	3	0	25
S01	46	100	0	3	0
S02	46	95	0	3	5
S03	46	90	0	3	10
S04	45	85	0	3	15
S05	45	80	0	3	20
S06	45	75	0	3	25

II.2.8.Essai non destructive

II.2.8.1.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 homogénéité du béton car les résultats dépendent de la formulation de béton de la densité, de la porosité, de l'humidité.

II.2.8.2 Principe

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.



Photo (II.8).essai de Vitesse de propagation d'ondes ultrasoniques.

II.2.9. La porosité volumique NF P 18-459

Indique que la prosimètre à l'eau peut être une méthode plus réaliste que la prosimètre par intrusion. car l'eau peut pénétrer dans des espaces d'une taille de 0.5µm. A partir du volume de l'éprouvette, on peut alors calculer sa porosité volumique représentant le rapport de son volume poreux à son volume total.

II.2.9.1. Mode d'opérateur

Les éprouvettes sont séchées dans une étuve à 105 °C pendant 24 heures, puis immergées dans l'eau pendant 48 heures, l'échantillon est mis ensuite dans un bain d'eau bouillante pendant 5 heures, les éprouvettes sont retirées pour être pesées à l'air et à l'eau (pesée hydrostatique). Sur une base expérimentale, soit par la pesée hydrostatique d'une éprouvette saturée, on détermine alors le volume total de l'éprouvette (fraction poreuse et solide) et on calcule ainsi sa porosité volumique, Calcule ainsi sa porosité volumique, $\varepsilon_{expé}$ selon la formule suivante :

$$\varepsilon_{expé}(\%) = \frac{M_{SSS} - M_{sèche}}{M_{SSS} - M_{eau}} \times 100\% \quad (II.8)$$

Où :

ε_{exp} : Porosité volumique établie expérimentalement par pesée hydrostatique, excluant le volume d'air piégé et/ou entraîné (%).

M_{SSS} : Masse de l'éprouvette saturée, superficiellement sèche (g).

$M_{sèche}$: Masse sèche de l'éprouvette (g).

M_{eau} : Masse de l'éprouvette saturée, superficiellement sèche, pesée dans l'eau (g).

La connaissance de la masse de l'éprouvette dans ces trois états (sèche, saturée immergée et saturé dans l'air) nous permet également de déterminer la densité D des échantillons.

$$D = \frac{M_{sec}}{M_{sat} - M_{sat}^{imm}} \quad (II.9)$$



Photo (II.9).essai de la porosité.

II.2.10.Essai destructive

II.2.10.1.Résistances mécaniques des mortiers

Pour la détermination de la résistance à la flexion, on utilise 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.

II.2.10.1.1. 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 N/s ± 10 N/s, jusqu'à rupture

Conserver les demi-prismes humides jusqu'au moment des essais en compression. La résistance en flexion R_f (en N/mm²) 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.

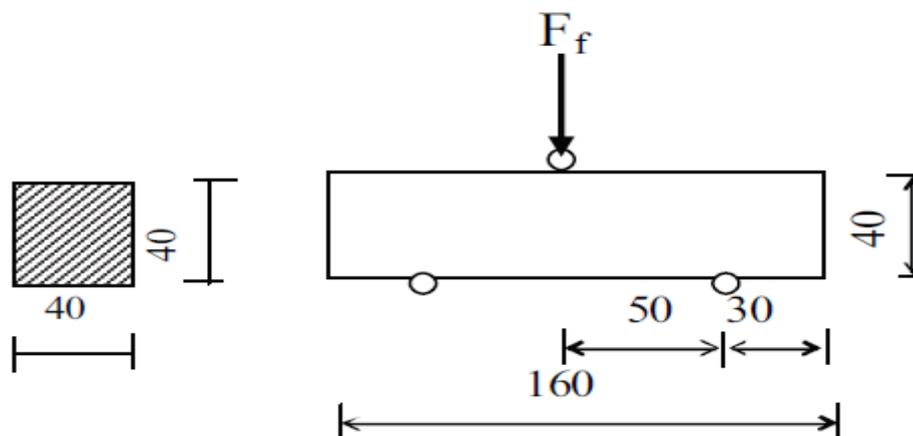


Figure (II.2) .essai de traction par flexion.

II.2.10.1.2. Résistance à la compression

- ❖ Centrer chaque demi-prisme latéralement par rapport aux plateaux de la machine à ± 0.5 mm près et longitudinalement de façon que le bout du prisme soit en porte-à-faux par rapport aux plateaux d'environ 10 mm.

- ❖ Augmenter la charge avec une vitesse de $2400 \text{ N/s} \pm 1200 \text{ N/s}$ durant toute l'application de la charge jusqu'à la rupture (compenser la décroissance de vitesse de la charge à l'approche de la rupture).
- ❖ La résistance en compression R_C (en N/mm^2) est calculée au moyen de la formule :

$$R_C = \frac{F_c}{1600} \quad (\text{II.9})$$

R_C : est la résistance en compression, en newtons par millimètre carré ou en MPa.

F_c : est la charge maximale à la rupture, en newtons.



Photo (II.11). Essai de compression.

II.3. Matériaux

II.3.1. Sable

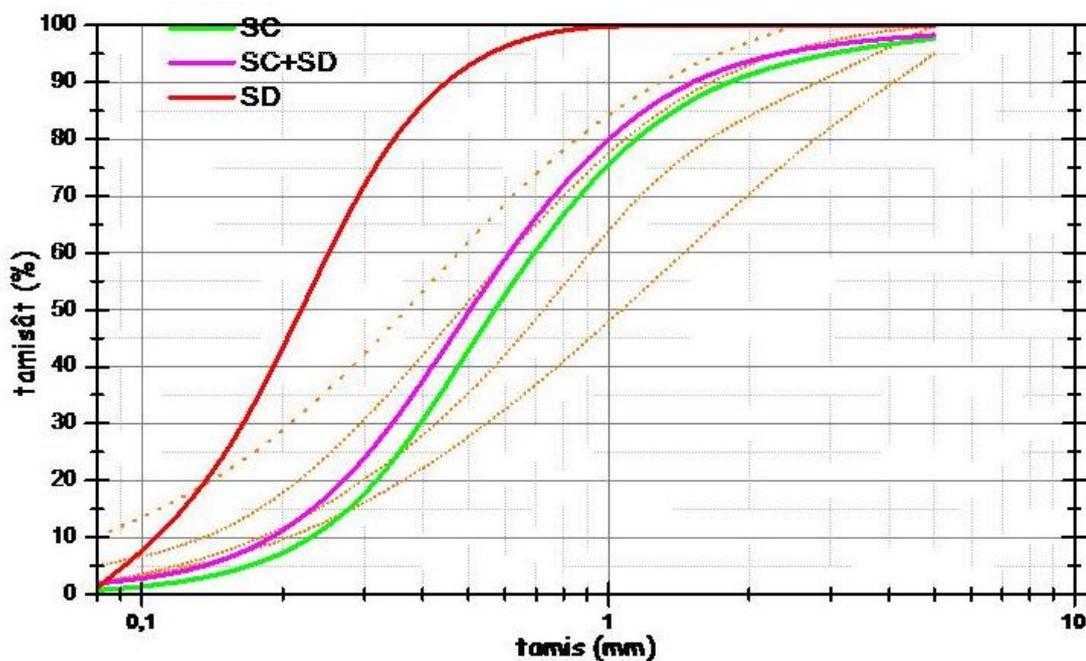
On utilise deux sables: Le sable de construction utilisé de gisement de SIDI SLIMANE TOUGGOURT est un sable alluvionnaire de classe granulaire (0/5) à couleur jaune. Et le sable de dune exploité dans cette étude de provenance de dune d'AIN BEIDA OUARGLA, c'est un sable doré fine.

II.3.1.1. Les caractéristiques de Sable.

Tableau03: les caractéristiques de sable.

	SC	SD	SM
P_f (%)	1.375	2.2	4.54
C_u	3.04	2.08	3.2
M_F	2.47	0.97	2.25
ES_V (%)	88.85	90.76	89.041
ES_P (%)	88.36	84.86	88.01
M_{Vapp} (g/cm ³)	1.54	1.43	1.4003
M_{Vabs} (g/cm ³)	2.52	2.6	2.294

II.3.1.2. Courbe de sable



Figure(II.3). Courbe granulométrique sable de dune.

II.3.2.La poudre de verre

Pour obtenir poudre de verre en posse un ensemble des étapes :



1-Nettoyage -



2- Concassage



3- Broyage



4- Tamisage par tamis 5 mm



5- Tamisage par tamis 0.08

Photo (II.12). les étapes de broyage de verre

- apporter les déchets de verre.
- Nettoyez le verre et tout ce qui existe même des propriétés de verre ne changent pas.
- Concassage de verre en petits morceaux et les mettre dans le broyeur.
- Mettre le verre concassé dans le broyeur quelque temps.
- tamiser de verre à tamis 0.08 le reste est ramené au broyeur et réserve le passant.

II.3.2.1. Analyse chimique de poudre de verre

Tableau 04: Composition chimique de poudre de verre(en %).

SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	BaO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	MnO	Cr ₂ O ₃	NiO	PbO
71.9	0.054	1.705	0.248	10.905	1.299	0.035	13.063	0.575	0.095	0.026	0.111	0.006	0.028

II.3.2.1.2. Propriétés physiques

*Masse volumique apparente = 988 kg/m³

*Masse volumique absolue = 2469 kg/m³

*Surface spécifique BLAINE SSB = 3300 cm²/g

II.3.3. Ciment Portland

Le ciment utilisé est un ciment Portland de CPJ CEMII A 32,5 Mpa. Il résulte du broyage du avec environ 5 % du gypse, pour la régularisation de la prise. Le ciment utilise est celui de la cimenterie d'Ain-Touta (Batna).

Tableau (II.5). Composition chimique du clinker (en %)

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	RI	SO ₃	PAF
22	5,02	2,94	64,36	2,07	0,73	1,94	0,64

Tableau (II.6). Composition minéralogique du clinker (en %)

C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
51,28	24,68	8,33	8,94

*Masse volumique apparente = 1085 kg/m³

*Masse volumique absolue = 3050 kg/m³

*Surface spécifique BLAINE SSB = 3892 cm²/g

II.3.4. Eau

L'eau utilisée pour les différentes gâchées de mortier est issue du robinet de laboratoire de béton du département de génie civil et hydraulique d'UNIVERSITÉ KASDI MERBAH OUARGLA. C'est eau propre et potable

II.4.CONCLISION

Dans ce chapitre, nous avons présenté les différents matériaux utilisés dans le cadre de cette étude. Le détail des différentes formulations a été présenté dans cette partie.

Ces différentes formulations seront utilisées pour la réalisation de notre campagne expérimentale: études des propriétés physiques et mécaniques.

Chapitre III

Résultats et Discussion

III.1.Introduction

Nous présentons dans ce chapitre les résultats et l'analyse des essais physiques et mécaniques (maniabilité, la porosité, la masse volumique, ultrason, la résistance à la compression, et la résistance à la traction par flexion) effectués sur les éprouvettes de mortier.

III.2. Maniabilité

Dans un premier temps, nous avons pris le temps d'écoulement de mortier dans la boîte de maniabilimètre à l'intervalle $(23 \pm 2s)$ comme un mortier à consistance normale.

Les histogrammes de la figure III.1 représentent la variation de la maniabilité en fonction du pourcentage de poudre de verre pour le cas de sable construction.

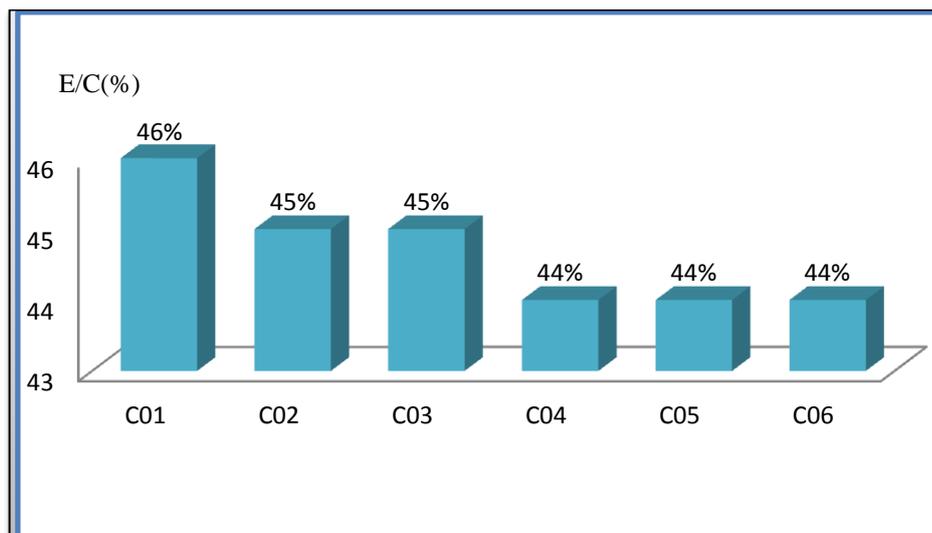


Figure III.1:Maniabilité de mortier en SC.

Les histogrammes de la figure III-2 représentent la variation de la maniabilité en fonction du pourcentage de poudre de verre pour le cas de sable modifié.

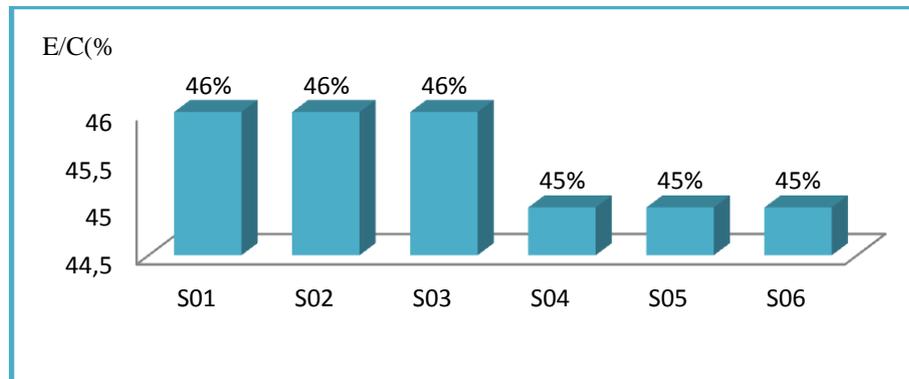


Figure III.2. Maniabilité de mortier en SM.

La figure III, 1 montre que le pourcentage d'eau dans le mortier témoin était plus grand, par rapport aux mortiers qui contiennent 5% et 10% de poudre de verre. En outre, le pourcentage a continué à diminuer dans les mortiers contenant 15% à 25% de poudre de verre. Ce qui laisse dire que la poudre de verre n'absorbe pas de l'eau.

Pour la figure III. 2, le pourcentage d'eau dans le mortier contenant le sable modifié pour les différentes proportions de poudre de verre était grand dans les trois premières composantes par rapport au mortier témoin.

Pour en résumer, l'ajout de la poudre de verre réduit le pourcentage d'eau dans les mortiers pour les deux scénarios (SC et SM) ; et l'ajout de sable de dune contribue à l'augmentation du pourcentage d'eau dans le mortier parce que le sable de dune est fin et absorbant.

III.3.La porosité

La figure III. 3 représente la variation de la porosité en fonction du pourcentage de poudre de verre pour le cas de sable de construction.

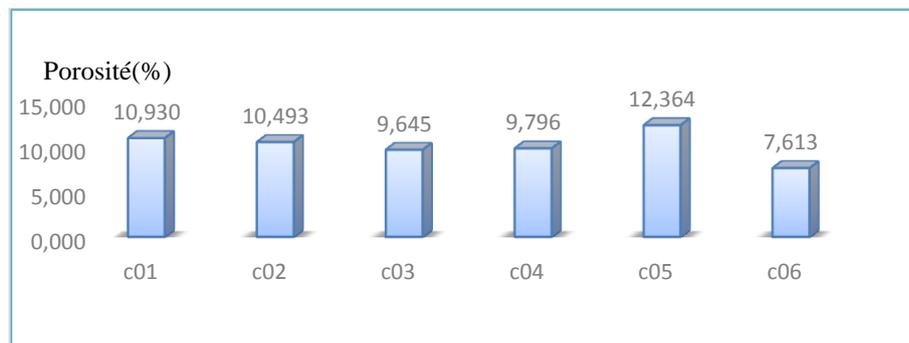


Figure III.3.La porosité de mortier avec SC.

La figure III- 4 représente la variation de la porosité en fonction du pourcentage de poudre de verre dans le cas de sable modifié.

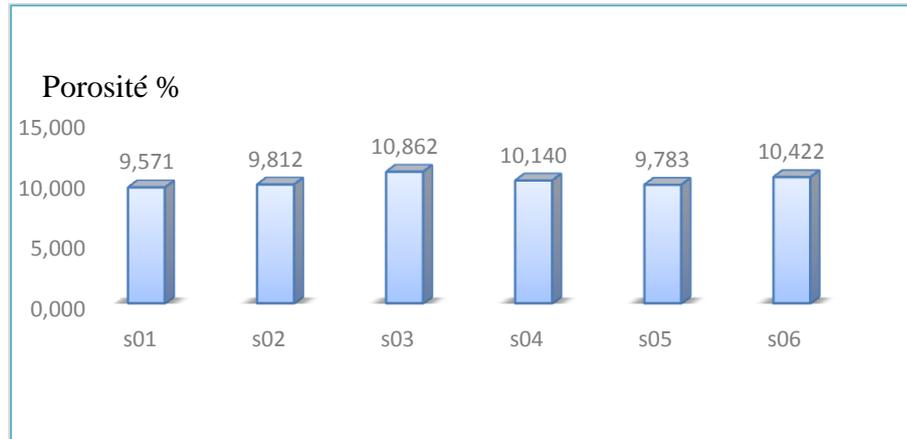


Figure III.4. La porosité de mortier à SM.

D'après la figure III. 3 la porosité des mortiers contenant 5%, 10% ,15% et 25%de poudre de verre est faible par rapport au mortier témoin. Par contre le plus grandpourcentage de porosité est remarqué pour un pourcentage de verre de 20%.

Pour la de figure III, 4. la porosité est faible dans les différentes composantes. Elle est aussi faible par rapport au mortier témoin.

L'incorporation de sable de dune dans la confection de mortier a réduit la porosité des éprouvettes comparées à celles confectionnées en sable de construction.En comparant les éprouvettes confectionné pour différents pourcentages de poudre de verre et de sable, le mortier de 25% de poudre de verre et en sable de construction donne le meilleur résultat de porosité.

III.4.La densité

Les histogrammes de la figure III.5 représenté la variation de la densité en fonction de pourcentage de poudre de verre pour le cas de sable de construction.

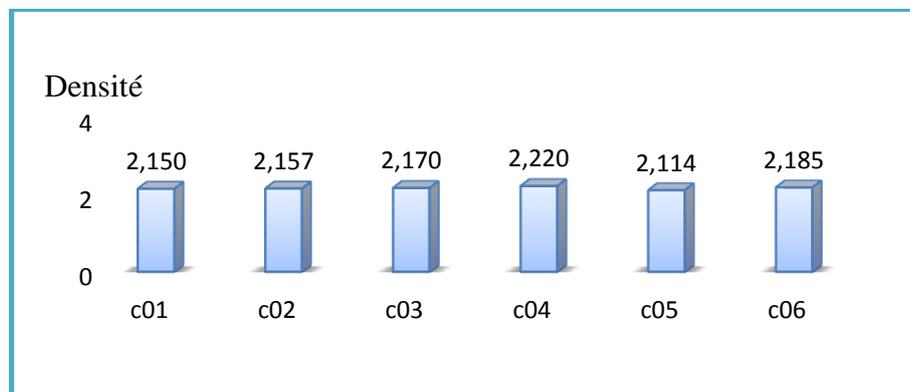


Figure III.5. Densité de mortier avec SC.

La figure III-6 présenté la variation de densité en fonction de pourcentage de poudre de verre pour le cas de sable modifié.



Figure III.6. Densité de mortier avec SM.

Selon la figure III. 5, à l'exception du mortier contenant 20% de poudre de verre, la densité est forte dans les autres composantes comparée à celle de mortier témoin.

Pour la figure III, 6 la densité est importante par rapport au mortier témoin sauf pour les cas où le mortier contient 15% et 25% de poudre de verre.

Donc l'ajoute de la poudre de verre et le sable de duneaugmente la densité ; et la composition contenant à 10% de poudre de verre et de sable modifié donne le meilleur résultat.

III.5.Vitesse de propagation d'onde sonique

La figure III.7 .représente la variation de la vitesse de propagation de son en fonction de pourcentage de poudre de verre dans le cas de sable de construction.

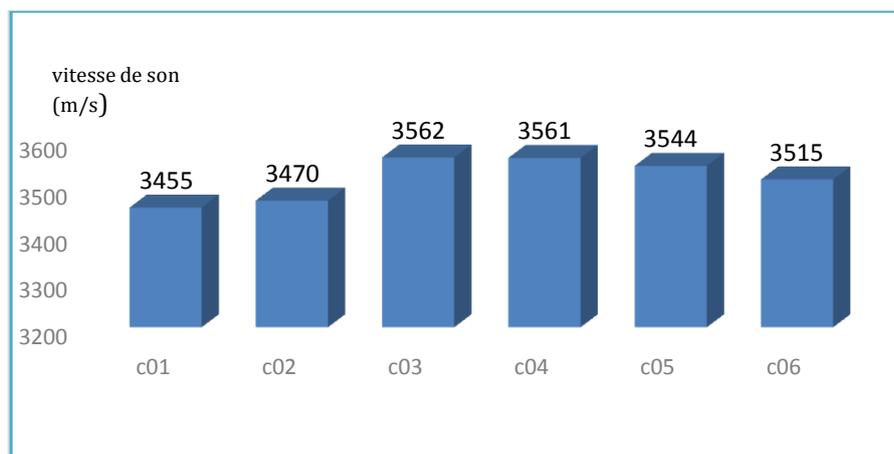


Figure III.7.Vitesse e propagation de son dans le mortier en SC.

La figure III.8 représente la variation de la vitesse de propagation de son en fonction de pourcentage de poudre de verre dans le cas de sable modifié.

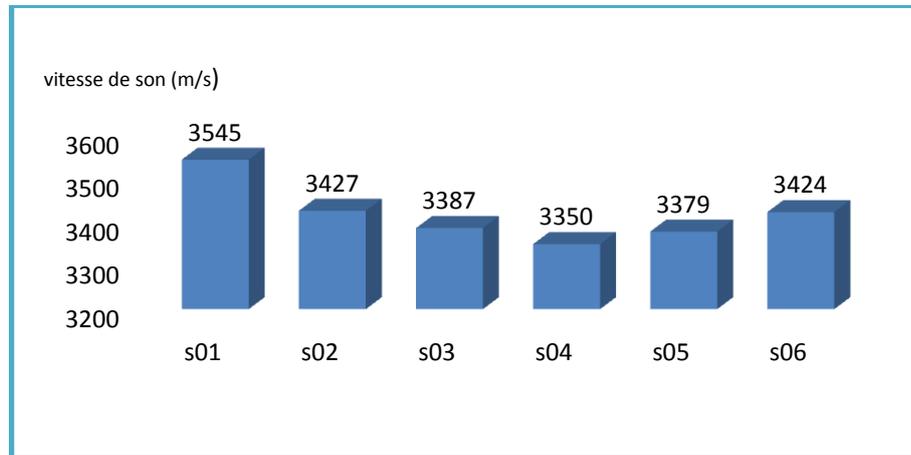


Figure III.8. Vitesse de propagation de son dans le mortier en SM.

La figure III.7 montre que les vitesses de propagation d'ondes pour les différentes compositions C02, C03, C04, C05 et C06 de mortier sont plus importantes que celle de mortier témoin les différences en pourcentage par rapport au témoin sont respectivement 0.45%, 3.09%, 3.06%, 2.58% et 1.73%.

Dans la figure III.8 ; nous voyons que la vitesse de propagation d'ondes pour les différents compositions S02, S03, S04, S05 et S06 de mortier sont aussi faible par rapport au mortier témoin avec des différences en pourcent de 0.8%, 2.22%, 3.03%, 2.19% et 0.9%. Mais pour la composition S01 la différence est supérieure et de l'ordre de 2.6% par rapport le témoin.

Pour en résumer, l'ajoute de poudre de verre augmente le vitesse de propagation d'ondes mais la mélange de poudre de verre avec sable modifié conduit à une diminution de la vitesse de propagation d'ondes. Donc, la vitesse de propagation d'onde est bonne pour les compositions C02, C03, C04, C05, C06 et S01 comparée au témoin mais pour les autres composantes, elle est mauvaise.

III.6.Résistance à flexion

Les courbes de la figure III.9 définissent la variation de la résistance à la flexion en fonction de l'âge pour le mortier avec sable de construction.

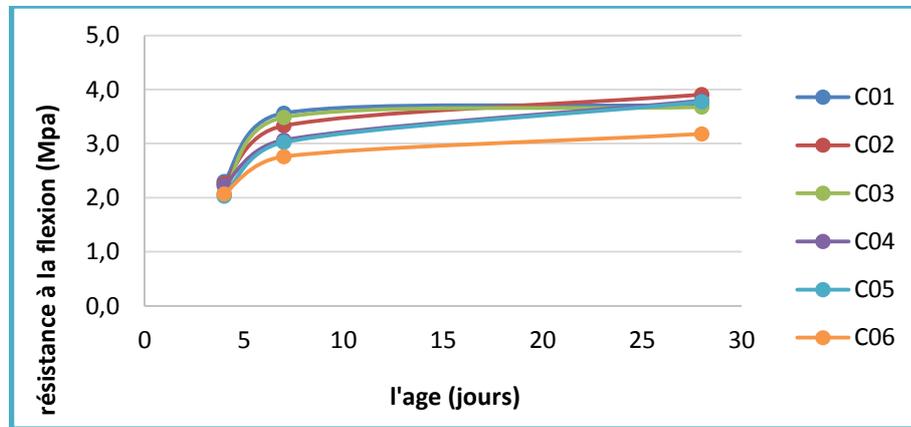


Figure III.09.Evolution de la résistance de flexion en fonction de l'âge des éprouvettes en SC.

Les courbes de la figure III.10 définissent la variation de la résistance à la flexion en fonction de l'âge pour le mortier avec sable modifié.

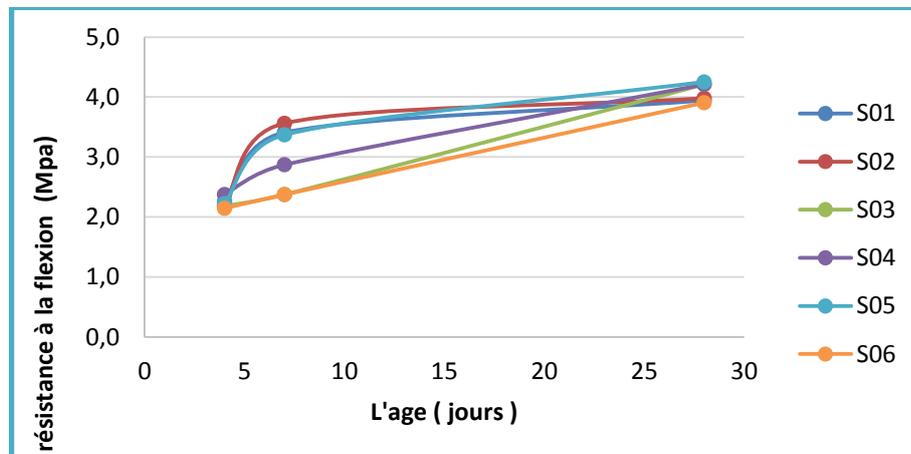


Figure III.10.Evolution de la résistance flexion en fonction de l'âge des éprouvettes en SM.

La figure III.09 permet de dire que la résistance à la flexion augmente en fonction de l'âge pour toutes les éprouvettes.

Pour 4 jours, la résistance à la flexion du mortier avec sable de construction pour les différentes composantes est faible par rapport le témoin. Les taux de diminution sont estimés à 1,69% et à 3,35% pour les compositions C02 et C04, mais pour les autres compositions les taux de diminution sont respectivement 10,01%, 11,7% et 10,02% pour les compositions C03, C05 et C06 à respectivement par rapport du mortier témoin.

Pour 7 jours, la résistance à la flexion du mortier avec sable de constructions pour les différentes composantes est faible par rapport le témoin. Les taux diminution dans les différentes proportions estimée 6.45%, 2.16%, 13.98%, 15.05% et 22.52% pour les compositions C02, C03, C04, C05 et C06 à respectivement.

Pour 28 jours la résistance à la flexion du mortier avec sable de construction nous remarquons que tous les compositions C02, C03, C04, C05 et C06 sont plus importantes par rapport le témoin et les taux de différence sont estimée 23,06%, 15,81%, 19,43%, 18,84% et 0,12%.

La figure II.10 montre que la résistance à la flexion augmente en fonction de l'âge pour toutes les éprouvettes.

Pour 4 jours, la résistance à la flexion du mortier avec sable modifié nous remarquons que toutes les valeurs des éprouvettes sont faibles par rapport au témoin. Les taux de diminution par rapport au témoin sont, S02, S03, S05 et S06 diminution est estimée 1.69%(S01), 5.04% (S02), 3.35% (S03) et 6.7% (S05), sauf la composition S04, il y a un taux positif de l'ordre 3,3% par rapport autémoin.

Pour 7 jours, la résistance à la flexion du mortier avec sable modifié nous remarquons que toutes les valeurs de résistance à la flexion des éprouvettes sont faibles par rapport à celle du témoin. Les taux de diminution par rapport au témoin pour les compositions S01, S03, S04, S05 et S06 sont respectivement 4.29%, 33%, 19.34%, 5.36% et 33%, sauf la composition S02 qui est en égalité avec le témoin.

Pour 28 jours, la résistance à la flexion du mortier avec sable modifié nous remarquons que les valeurs de cette résistance pour les éprouvettes sont supérieures à celle du témoin. Les taux de différence pour les compositions S01, S02, S03, S04, S05 et S06 sont respectivement 24.25%, 25.39%, 29.86%, 29.86%, 33.9% et 23.06%.

Les courbes de la figure III.11 représentent de l'effet de poudre de verre en fonction de leur pourcentage avec sable de construction.

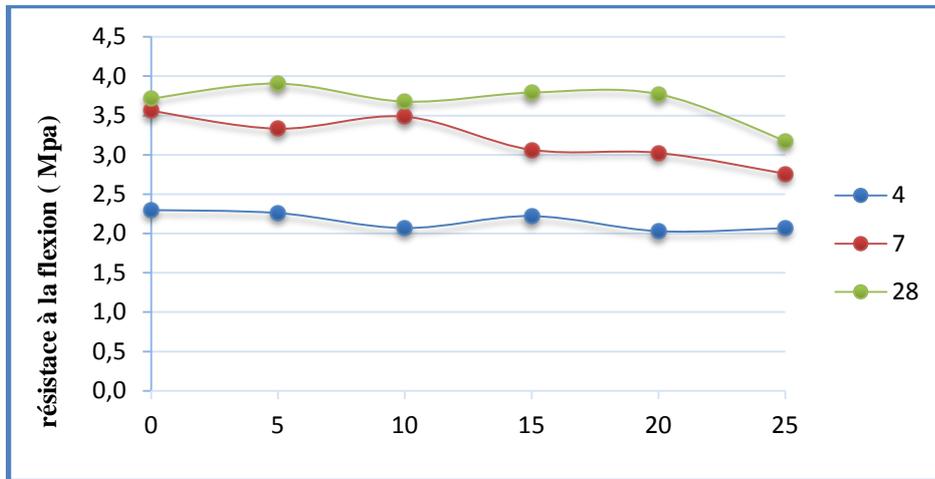


Figure III.11. Résistance à la flexion pour SC.

La courbe de figure III.12. Présenté l'effet de poudre de verre a fonction de leur pourcentage avec sable modifié.

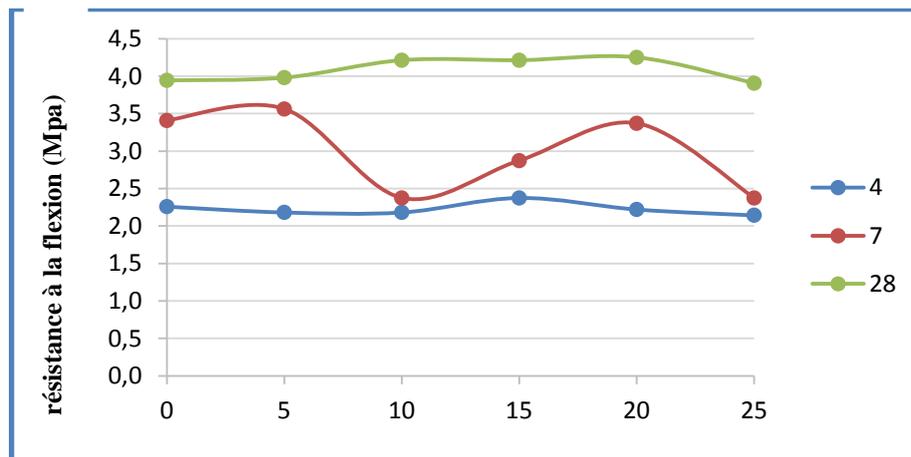


Figure III.12. Résistance à la flexion pour SM

Les courbes de figure III.11 montrent que :

Pour une durée de 4 jours, la résistance à la flexion pour les éprouvettes de mortier avec poudre et sable de construction est faible par rapport à celle de témoin. Les taux de diminution sont estimés à 1,69% et 3,35% pour les compositions C02 et C04 ; ils sont de l'ordre de 10,01%, 11,7% et 10,02% pour les compositions C03, C05 et C06.

Pour l'effet de poudre de verre sur la flexion du mortier avec sable de constructions après 7 jours, nous remarquons que la résistance à la flexion est faible pour toutes les éprouvettes est faible par rapport à celle de témoin. Les taux de diminution sont estimés à 6,45%, 2,16%, 13,98%, 15,05% et 22,52% pour les compositions C02, C03, C04, C05 et C06.

Après 28 jours, la résistance à la flexion pour les éprouvettes de mortier de poudre de verre avec sable de construction est haute dans les compositions C02, C03, C04, C05 et C06 par rapport à celle de témoin ; et les taux d'augmentation sont respectivement 23.06%, 15.81%, 19.43%, 18.84% et 0.12.

La figure (II.12). Montre que :

Après 4 jours, la présence de la poudre de verre dans le cas de mortier avec sable modifié diminue la résistance à la flexion de mortier comparé au témoin. Les taux de diminution par rapport au mortier témoin pour les compositions S01, S02, S03, S05 et S06 sont respectivement 1.69%, 5.04%, 3.35% et 6.7%, sauf pour la composition S04 où le taux augmente par rapport au témoin (3.3%).

Pour le cas de 7 jours, la présence de la poudre de verre avec différentes proportions dans le mortier préparé par sable modifié diminue la résistance à la flexion comparée au témoin. Les taux de diminution pour les compositions S01, S03, S04, S05 et S06 sont respectivement 4.29%, 33%, 19.34%, 5.36% et 33%, sauf pour la composition S02 où le taux est nul.

Pour le cas de 28 jours, nous remarquons que la résistance à la flexion pour les éprouvettes S01, S02, S03, S04, S05 et S06 est forte par rapport au témoin et les taux d'augmentation sont respectivement 24.25%, 25.39%, 29.86%, 29.86%, 33.9% et 23.06%.

III.6. Résistance à compression

Les courbes de figure (III.13) représentent la variation de résistance à la compression en fonction de l'âge pour le mortier de sable normalisé.

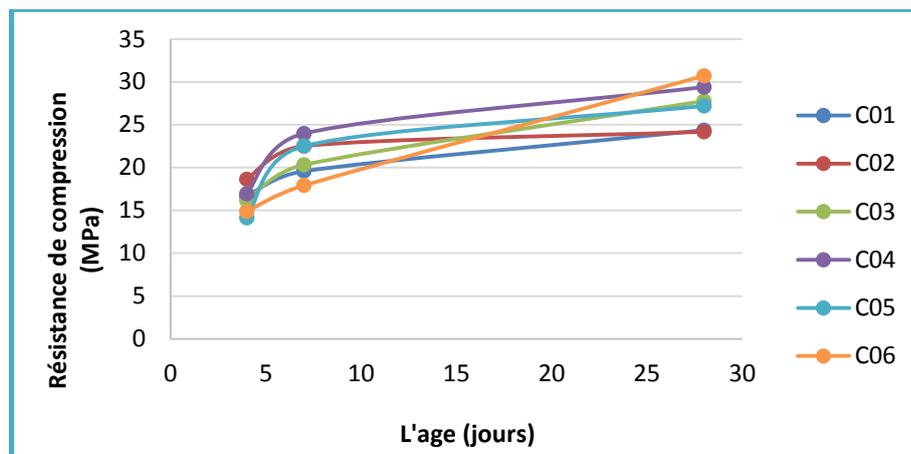


Figure III.13. La résistance à la compression en fonction de l'âge de mortier en SC.

La figure III.14 représente la variation de résistance à la compression en fonction de l'âge pour le mortier de sable modifié.

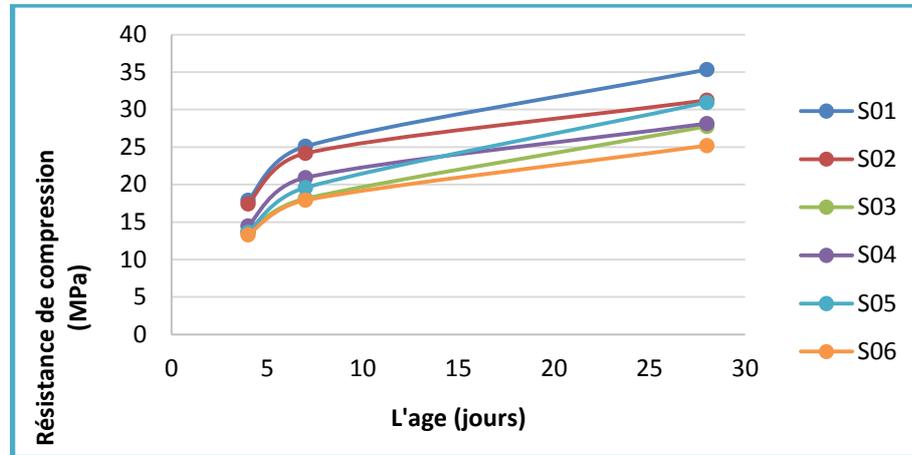


Figure III.14. La résistance à la compression en fonction de l'âge de mortier en SM.

La figure III.13 montre que la résistance à la compression augmente en fonction de l'âge pour toutes les éprouvettes.

Dans le cas de 4 jours, la résistance à la compression du mortier avec sable de construction est faible dans les compositions C03, C05 et C06 avec des taux de 2.99%, 15.25% et 10.75% ; mais pour les autres compositions C02 et C04 les taux sont 11.74% et 1.62%.

Pour le cas de 7 jours, la résistance à la compression du mortier avec sable de construction est forte pour les compositions C02, C03, C04 et C05 et les taux sont respectivement 14.89%, 3.72%, 22.34% et 14.89% par rapport au témoin. Sauf pour la composition C06 où le taux est faible par rapport au témoin et estimé à 8.5%.

En ce qui concerne le cas de 28 jours la résistance à la compression du mortier avec sable de construction est supérieure à celle de mortier témoin pour les compositions C03, C04, C05 et C06 avec des taux de 13.94%, 20.61%, 11.63% et 26.01%, mais pour la composition C02 le taux de diminution est minimum et estimé à 0.76% .

Pour la figure III.14, elle montre que la résistance à la compression augmente en fonction de l'âge pour toutes les éprouvettes.

Après 4 jours, la résistance de compression du mortier avec sable modifié diminue dans les compositions S03, S04, S05 et S06 avec des taux de 17.25%, 13.12%, 18.25% et 20.24%, mais pour les deux compositions S01 et S02 le taux augmente de 7.37% et de 4.49%.

Après 7 jours, la résistance de compression du mortier avec sable modifié diminue dans les deux compositions S03 et S06 avec des taux de 7.44% et 8.5%, pour la composition S05 le

taux est nul par rapport au mortier témoin. Pour les autres compositions S01, S02 et S04 les taux augmentent de 28.19%, 23.4% et 6.81% par rapport le mortier témoin.

Après 28 jours, la résistance de compression du mortier avec sable modifié augmente pour toutes les compositions S01, S02, S03, S04, S05 et S06 avec des taux de 45.08%, 28.31%, 13.94%, 15.48%, 27.03%, 3.42%.

La figure III.15 représente l'effet de pourcentage de poudre de verre fonction de la résistance à la compression pour SC.

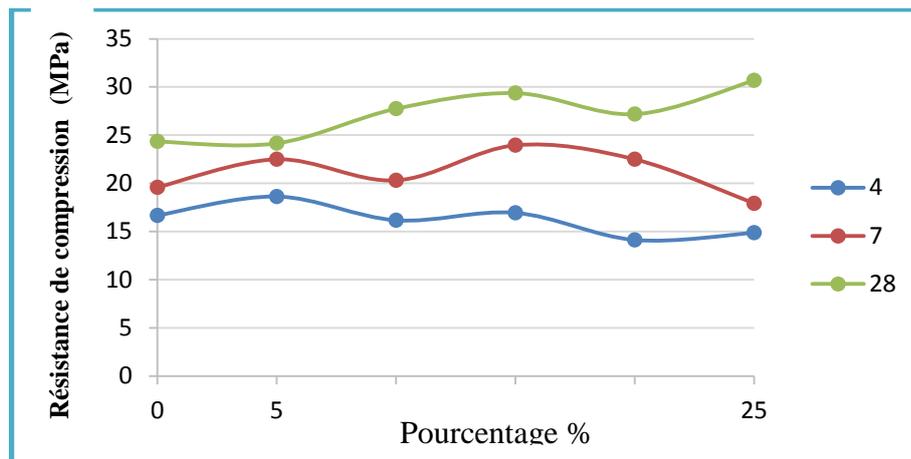


Figure III.15. Résistance à la compression avec SC.

La courbe de figure III.16 représente l'effet de pourcentage de poudre de verre fonction de la résistance à la compression pour SM.

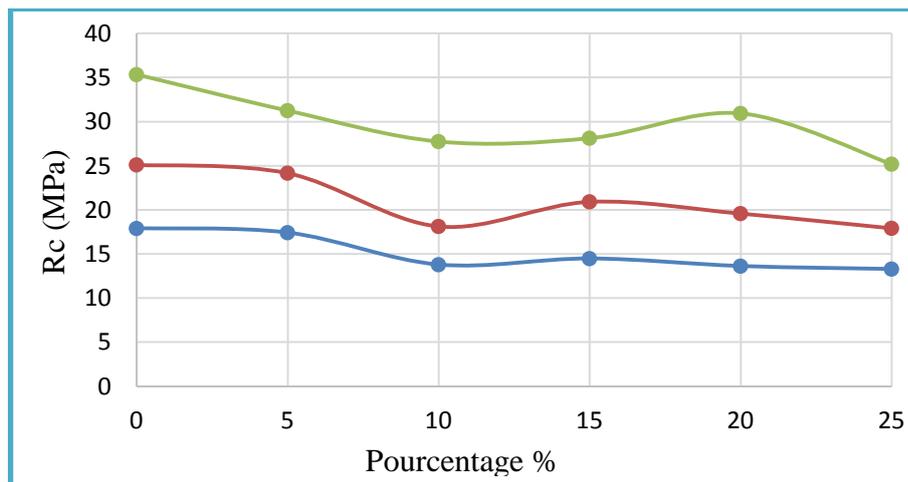


Figure III.16. Résistance à la compression avec SM.

La figure III.15 montre que:

Après 4 jours, la présence de poudre de verre réduit la résistance à la compression pour les compositions C03, C05 et C06 avec des taux de 2.99%, 15.25% et 10.75%, mais pour les autres compositions C02 et C04 le taux augmente avec 11.74% et 1.62%.

Après 7 jours, la présence de poudre de verre contribue à l'augmentation de la résistance à la compression pour les compositions C02, C03, C04 et C05 avec des taux de 14.89%, 3.72%, 22.34% et 14.89%, sauf pour la composition C06 où le taux diminue avec 8.5%.

Après 28 jours, la présence de poudre de verre augmente la résistance à la compression du mortier avec sable de construction pour les compositions C03, C04, C05 et C06 avec des taux de 13.94%, 20.61%, 11.63% et 26.01% respectivement, mais pour la composition C02 le taux diminue légèrement avec 0.76%.

La figure III.16 montre que :

Après 4 jours, la résistance à la compression du mortier avec sable modifié pour différentes proportions de poudre de verre diminue dans les compositions S03, S04, S05 et S06 avec des taux 17.25%, 13.12%, 18.25% et 20.24% respectivement, mais pour les deux compositions S01 et S02 la résistance augmente avec les taux 7.37% et 4.49% respectivement.

Après 7 jours, la résistance à la compression du mortier avec sable modifié pour différentes proportions de poudre de verre diminue pour les deux compositions S03 et S06 avec des taux de 7.44% et 8.5%. Pour la composition S05, sa résistance est égale à celle de mortier témoin. Mais pour le reste des compositions (S01, S02 et S04) les taux par rapport au témoin sont positifs et sont estimés respectivement à 28.19%, 23.4% et 6.81%.

Après 28 jours la résistance à la compression du mortier avec sable modifié pour différentes proportions de poudre de verre augmente pour toutes les compositions S01, S02, S03, S04, S05 et S06 par rapport au témoin et les taux d'augmentation sont respectivement 45.08%, 28.31%, 13.94%, 15.48%, 27.03%, 3.42%.

III.7. Conclusion

L'influence de deux additions (sable de dune et poudre de verre) a été étudiée et discutée à partir des nombreux essais sur le mortier. Pour chacune d'elles la performance mécanique pour différents taux de substitution est analysée et les conclusions tirées sont :

- ❖ Le mélange de poudre de verre et le sable de dune donnait des résultats acceptables dans tous les essais.

- ❖ L'ajout de poudre de verre augmente la résistance à la compression. Nous avons remarqué que la composition 15% de la poudre de verre donne les meilleurs résultats par rapport au témoin.
- ❖ L'ajout de sable de dune affecte positivement les résistances mécaniques de mortier confectionné. A travers les résultats obtenus, nous avons remarqué que 10% du sable de dune donnait un résultat très acceptable.

Conclusion Général

Conclusion Générale

Conclusion générale

Les déchets industriels augmente en raison du développement technologique et l'augmentation de la population. Nous avons donc pensé à l'exploitation dans une autre région pour les réduire, on a choisi les déchets de verre sous forme de poudre et en partie pour le remplacer par du ciment.

En autre coté on notera que l'abondance des sables de dunes dans notre région, d'où la nécessité de prendre en considération l'intérêt global de l'introduction des sables de dunes dans l'industrie de construction. Nous avons préparé plusieurs mélanges (différent pourcentage) pour étudier l'influence de deux additions (sable de dune et la poudre de verre) sur les caractéristiques physique et mécaniques.

On conclue aussi que :

L'ajout de poudre de verre est donné des résultants acceptables par rapport à la composition témoin, essentiellement la composition contenant de 15 % de poudre de verre amélioré la maniabilité et la résistance mécanique même la vitesse de son est augmenté.

L'ajout de sable de dune donne des résultants acceptables cet ajout conduit à l'amélioration de maniabilité et la résistance mécanique.

L'utilisation des déchets dans la fabrication de ciment peut donner un autre type de ciment de caractéristiques différentes ce qui influe à la matrice cimentaire et la durabilité des ouvrages.

Recommandations

Afin de compléter cette étude et de cerner de près les lois qui réagissent le comportement du poudre de verre, nous recommandons pour un travail futur, d'aborder les points suivants :

- ❖ Etude de l'Utilisation de déchet de verre en grain sur les mortiers et bétons.
- ❖ Valorisation des ressources naturelle des zones sahariennes dans le domaine de génie civil.
- ❖ Effet des ajouts minéraux sur le comportement de la pâte de ciment.
- ❖ Etude de béton à base de poudre de verre au milieu aride.

Références Bibliographiques

- [1] **PEIRY, Katharina Kummer.** Pollution and transboundary transfer of potentially hazardous substances: concepts. UNSW 2004. http://www.ecoconsult.ch/uploads/1144-IEL_Slide4_Pollution-hazwastes.pdf
- [2] **Anonyme.2017.** Pollution. <https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Pollution&oldid=135382805>
- [3] عوضية عوض الكريم عبد الباقي, & أشرف/صلاح ميرغني متوكل. (2015). أثر النفايات الصلبة على البيئة في مدينة بورتسودان (Doctoral dissertation)
- [4] **E.P.A. 2017a.** Advancing Sustainable Materials Management: Facts and Figures, Environmental Protection Agency, United States. <https://www.epa.gov/smm/advancing-sustainable-materials-management-facts-and-figures>
- [5] **E.P.A. 2017b.** Resource Conservation and Recovery Act (RCRA) Laws and Regulations, Environmental Protection Agency, 2017 United States. <https://www.epa.gov/rcra>
- [6] **E.P.A. 2017c.** Environmental Topics, Environmental Protection Agency, 2017 United States. <https://www.epa.gov/environmental-topics>
- [7] **E.P.A. 2017d.** Medical Waste, Environmental Protection Agency, 2017 United States. <https://www.epa.gov/rcra/medical-waste>
- [8] **BARKAT, A. 2006.** Valorisation des déchets de brique dans la réalisation des ouvrages en béton. Thèse de doctorat. Université Kasdi Merbah de Ouargla.
- [9] **E.P.A. 2017e.** Hazardous Waste, Environmental Protection Agency, 2017 United States. <https://www.epa.gov/hw>
- [10] **Barkat, A. (2006).** Valorisation des déchets de brique dans la réalisation des ouvrages en béton (Doctoral dissertation, Université Kasdi Merbah de Ouargla).
- [11] **SHEKHAWAT, B. S& AGGARWAL, D. V.2014.** Utilisation of Waste Glass Powder in Concrete—A Literature Review. International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology, vol. 8753.

- [12] **YACINE, C. et ZAHREDINE, N.** 2006. Éléments de matériaux de construction et essais.
- [13] **BIDJOCKA, C., TUSSET, J., MESSI, A,** et al. 1993. Etude et évaluation de l'activité pouzzolanique des pouzzolanes de Djoungo (Cameroun). Annales de la Faculté des Sciences de l'Université de Yaoundé, p. 133-145.
- [14] **MEASSON, M.** 1981. Etude de l'activité pouzzolanique de matériaux naturels traités thermiquement, en vue de la réalisation de liants hydrauliques. Thèse de doctorat.
- [15] **MILLER, E. W.** 1993. Blended cements—Applications and implications. Cement and Concrete Composites, vol. 15, no 4, p. 237-245.
- [16] **BAI, J., CHAIPANICH, A., KINUTHIA, J. M.,** et al. 2003. Compressive strength and hydration of wastepaper sludge ash—ground granulated blastfurnace slag blended pastes. Cement and Concrete Research, vol. 33, no 8, p. 1189-1202.
- [17] **SLIMANE ZITONNE A, CHIKH DAHMANE A.** 2011. Amélioration de la durabilité du mortier ciment phréatique avec ajout de silice broyé. Mémoire de master génie civil. Université Kasdi Merbah Ouargla.
- [18] **BENSEKRANE. K** 2012. Durabilité des ouvrages en béton armé destinés à l'évacuation des eaux usées au niveau de la vallée de Ouargla. Thèse MAGISTER Université Kasdi Merbah de Ouargla.
- [19] **BELFERRAG, A., KRIKER, A., et KHENFER, E,** 2007. 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.
- [20] **DUPAIN, R., LANCHAN, R., et SAINT AROMAN, J. C.** 1995. Granulats, sols, ciment et bétons, caractérisation des matériaux de génie civil par mes essais de laboratoire. Edition Casteilla,

Annexe



Photo 01: Appareille de broyage.



Photo 02: Moule 4*4*16(cm²)



Photo 03: Balance électronique.



Photo 04: Presse de compression.

Annexe



Photo 05: Sable de dune.



Photo 06: préparation des éprouvettes.



photo 07: les éprouvettes dans eau.

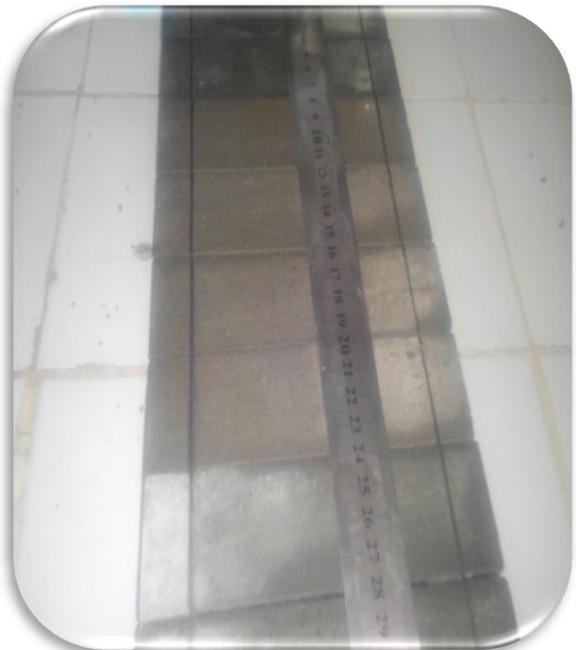


Photo 08: Taracage des éprouvettes.
