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

UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA
FACULTE DES SCIENCES APPLIQUE
DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL ET HYDRAULIQUE

Mémoire de Master

Spécialité : Génie civil

Option : Structure

Présenté par :

BELAID Ibtissam BENHADDOU Amira

Thème

Utilisation de déchets de poudre de verre comme un remplaçant partiel du ciment pour la préparation du béton et sable de dune sous un climat aride

Soutenu publiquement devant le jury composé de :

Dr. MENAI Amer	Université Ouargla	Président
Dr. KHELLOU Abderrezak	Université Ouargla	Examinateur
Dr. SAGGAI Sofiane	Université Ouargla	Encadreur

Année universitaire : 2017/2018

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.

Nous remercions l'encadreur ***Dr. SAGGAÏ sofiane*** *ainsi que laboratoire de LTPS.*

Nous tenons remercier aussi vivement les membres du jury :

Mr. MENAI Amer *président jury ;et*

Dr. KKHELLOU Abderrezak *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.*

*Mes deux frères **Haithem** et **Houari**.*

*Mes sœurs **Fatima**, **Hana** et **Abir**.*

A toutes ma famille.

A tous mes amis qui ont toujours été à mes côtés dans les bons et mauvais moments.

A tous mes collègues de la promotion

Belaid Ibtissam

Dédicace

Je dédie ce modeste travail
A mes chers parents, j'espère que leur rêve est réalisé.
A mes frères.
A toutes la famille.
A tous ceux qui m'ont enseigné et aider pour obtenir ce diplôme depuis le primaire jusqu'à l'université.
A tous mes ami(e)s chacun avec son nom et mes collègues.
A tous les enseignants du département Génie Civil et Hydraulique de l'université d'Ouargla.
Finalement je dédie à tous qui sont loin mais pour moi sont proche.

AMIRA

RÉSUMÉ

La réutilisation des déchets est non seulement un moyen de réduire la dégradation de l'environnement, mais également de réduire les coûts de préparation de certains matériaux utilisés dans le béton. Avec La production de ciment que utilisé dans le béton entraîne également l'émission de grandes quantités de dioxyde de carbone (CO2), ce qui affecte négativement l'environnement. L'utilisation de poudre de verre, qui est un déchet inerte dans la préparation du béton aide à résoudre ces problèmes, a déjà été testée dans de nombreux pays. D'où l'idée de notre recherche expérimentales.

Où nous avons remplacé partiellement le ciment par du verre en poudre en proportion variable de 0% (témoin), 10%, 15%, 20% et 25% pour la formulation de béton nouveau et durci ainsi que sa durabilité dans un milieu aride , avec substitution de 5% du Sable de construction par de sable de dune.

Notre travail a donné des résultats acceptables en ce qui concerne la résistance mécanique, la porosité et la vitesse des ondes soniques. Le meilleur résultat est apparu dans la formule contenant 10% de poudre de verre par apport au témoin.

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

ملخص

إن إعادة استخدام النفايات هي وسيلة لا تقلل فقط من التدهور البيئي، بل تقلل من تكاليف إعداد بعض المواد المستعملة في الخرسانة أيضا. كما يترتب من إنتاج الإسمنت المستعمل في الخرسانة انبعاث كميات كبيرة من ثاني أكسيد الكربون CO_2 الذي يؤثر سلبا على البيئة. فان استعمال مسحوق الزجاج وهو عبارة عن نفايات خاملة في إعداد الخرسانة يساعد في حل لهذه المشاكل، حيث تم اختباره بالفعل في العديد من البلدان.فمن هنا بدأت فكرة بحثنا التجريبي.

حيث قمنا باستبدال جزئي للإسمنت بمسحوق الزجاج بنسب : 0 ٪ (شاهد)، ٪10، ٪15، ٪20، ٪25 لصياغة خرسانة جديدة و متصلبة وكذا استدامتها في وسط بيئي جاف,مع استبدال 5٪ من رمل البناء بواسطة رمل الكثبان الرملية.

أعطت تجربتنا نتائج مقبولة فيما يتعلق بالمقاومة الميكانيكية ، النفاذية ،وسرعة انتقال الموجات الصوتية.أحسن نتيجة ظهرت في التركيبة التي تحتوي على 10٪ من مسحوق الزجاج بالنسبة للشاهد.

الكلمات المفتاحية: بودرة الزجاج ، الخرسانة ، الحصى ، الرمال ، الكثبان الرملية ، اسمنت

Abstract

The reuse of waste is not only a way to reduce environmental degradation, but also to reduce the cost of preparing certain materials used in concrete. With the production of cement that used in concrete also causes the emission of large amounts of carbon dioxide (CO2), which negatively affects the environment. The use of glass powder, which is an inert waste in the preparation of concrete helps to solve these problems, has already been tested in many countries. Hence the idea of our experimental research.

Where we partially replaced the cement with powdered glass in variable proportion of 0% (control), 10%, 15%, 20% and 25% for the formulation of new and hardened concrete as well as its durability in an arid environment, with 5% substitution of dune sand for construction sand.

Our work has given acceptable results with respect to the mechanical strength, porosity and velocity of sonic waves. The best result appeared in the formula containing 10% glass powder by adding the control.

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

Sommaire

Résumé
Liste des tableaux
Liste des figures
Introduction générale…….……..... 1
Chapitre I:RechercheBibliographique
I.1.Introduction…….…….. 3
I.2.Historique……..... 3
I.3.Béton……..... 4
I.3.1.Rôle des déférents éléments constituants 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 de génie civil ……..... 13
I.5.1. Verre et agrégat……..….. 13
I.5.2. Poudre de verre …….. ……..…….. 14
I.6. Valorisations de poudre de verre dans le génie civil ……..…… 14
I .7. Conclusion …….…….. 14
Chapitre II:Matériels et méthodes
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. Le Sable de dune…….. 15
II.2.1. 3. 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 physiques et 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.5.3. Essai d'Ultrasonique…… 30
II.5.4. Porosité…… 31
II.6. Conclusion…….……..... 32
Chapitre III: Résultats et discutions
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.3.3. Porosité……... 39
III.3.4. Ultrasonique…….…..... 40
III.4. discutions …….……..... 41
Conclusion général……. 43
Référence bibliographique
Annexe

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 dune et 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 16
Figure (II.2) : Essai d'équivalent de sable 18
Figure (II.3) : Masse volumique absolue 18
Figure (II.4) : Appareil d'apparente 19
Figure (II.5) : Tamis utilisés selon les Classes granulaires 21
Figure (II.6) : Appareil de Vicat 22
Figure (II.7) : Essai de prise 23
Figure (II.8) : Etapes de boryage poudre de verre 24
Figure (II.9) : Optimisation de dosage pondéral des granulats par la méthode DREUX GORISS 26
Figure (II.10) : Affaissement au coned 'Abrams 27
Figure (II.11) : Préparation des éprouvettes 28
Figure (II.12) : Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion (4 points) 29
Figure (II.13) : Machine d'essai de flexion 29
Figure (II.14) : Machine d'essai de compression 30
Figure (II.15) : Appareil de l'ultrasonique 30
Figure (II.16): Essai de porosité 32
Chapitre III
Figure (III.1): Courbe granulométrique du sable de dune 33
Figure (III.2): Courbe granulométrique du sable de construction 34
Figure (III.3) : Analyse granulométrique des graviers (8/15). 35
Figure (III.4) : l'évolution de la résistance à la traction par flexion 37
Figure (III.5) : l'évolution de la résistance à la compression 38
Figure (III.6) : l'évolution de la porosité 39
Figure (III.7) : Vitesse de propagation de son dans le béton en face de 0.28 m 40
Figure (III.8) : Vitesse de propagation de son dans le béton en face de 0.07 m 40

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Le béton est l'un des matériaux de construction les plus utilisés au monde **[Ali, Abdelmoaty, 2016 ; Oluwarotimi, Julins, 2017 ; Nabil, Sherzad, Sanhay, 2017]**.Mais c'est aussi l'un des matériaux dont l'impact négatif sur l'environnement, notamment en raison du ciment utilisé dans sa fabrication. S'il représente seulement 15 % de sa composition, le ciment est responsable de 96 % des émissions de CO2 du béton, 1 tonne de ciment équivalant à 1 tonne de CO_2 **[Khelifa, Rahim, Muzahim, 2004 ; Sadiqul, Rahman, Nayem, 2017 ; Isabelle, 2014]**.

L'utilisation des résidus industriels à l'état solide récupérés et recyclés tel que le déchet de verre en substitution au ciment, permet de réduire les émissions de CO2 et élimine l'accumulation de déchets résultant des différentes activités humaines dans différentes zones de même taille et occupant toujours cet espace pour trouver des lieux d'élimination **[Jérome,2016 ; Ovindara, 2013].**

Pour ce, la recherche d'une solution technico-économique devient très nécessaire. Vu l'abondance du sable de dune dans notre région, son intégration dans le squelette du béton peut remédier à ce problème.

L'incorporation des additions (poudre de verre et sable de dune) est maintenant une technique importante en améliorant les propriétés du béton telle que la résistance, la compression et la durabilité**[Zeghichi, Mezghiche, Merzougui,2007]**.Il est nécessaire de préciser le dosage de mélange optimal dont on dispose et aussi de connaître les caractéristiques de ces nouveaux composants (additions) et leurs actions sur les propriétés des bétons afin d'obtenir la meilleure solution permettant d'optimiser la formulation du béton, pour réaliser un béton dont les qualités soient celles recherchées pour la construction des ouvrages.

Notre étude consiste au remplacement partiel du ciment par la poudre de verre et remplacementde 5% de sable de construction par un sable de dune. Ce travail a pour but de vérifier l'efficacité et le comportement du béton avec différents pourcentage de poudre de verre.

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

- Le premier chapitreest consacré à la recherche bibliographique, qui est destiné le béton et ses composants avec leurs rôles dans le béton ; avec un aperçu sur le recyclage et la valorisation des déchets dans les constructions (préparation du béton) en se basant particulièrement sur les déchets de verre.

- Le deuxième chapitre présente les différentes méthodes expérimentales réalisées pour déterminé les caractéristiques des matériaux utilisés, avec étude la formulation et confection des éprouvettes du béton et leur propriétés physiques et mécaniques.
- Le troisième chapitre décrit les résultats des caractéristiques des matériaux utilisés ; et effectuer quelques essais expérimentaux sur les éprouvettes de béton, à savoir l'essai de résistance à la compression et la flexion par traction, avec la porosité et ultrason.

Et en fin nous allons finaliser notre travail par une conclusion générale suivie de quelques recommandations.

CHAPITRE I

Recherche Bibliographique

I.1. Introduction

Le béton est un élément très important dans la réalisation des constructions. Ces caractéristiques dépendent de ces composantes. Le présent chapitre est destiné pour parler et exposé les différentes parties constituant le béton et pour donner un aperçu sur le recyclage et la valorisation des déchets dans les constructions (préparation du béton) en se basant particulièrement sur les déchets de verre.

I.2. Historique et importance des travaux

L'utilisation de verre recyclé comme agrégat améliore grandement l'attrait esthétique du béton. Recherche récente les résultats ont montré que le béton fait avec recyclé agrégat de verre ont montré une meilleure résistance à long terme et meilleure isolation thermique grâce à ses meilleures propriétés thermiques des agrégats de verre **(Samtur, 1974 ; SeungBum Park et Bong-Chum Lee, 2004).**

Lorsque testé pour lavaleurs de résistance à la compression aux 10%, 40% et 60% remplacement d'agrégat par le verre de rebut avec 0 - 10mmla taille des particules était supérieure de 3%, 8% et 5% àbéton conventionnel.Il a été conclu que 30%la poudre de verre pourrait être incorporée comme remplacement de cimentdans le béton sans effets néfastes à long terme. Jusqu'à50% des agrégats fins et grossiers pourraient également êtreremplacé dans le béton de 32 MPa de qualité avecpropriétés de développement de résistance acceptables.De meilleurs résultatssont atteints lorsque la poudre de verre de rebut a remplacé soit30% ou 70% du sable avec des tailles de particules allantentre 50 µm et 100 µm**(Federio et Chidiac, 2001).**

Le déchets de verre utilisés, de forme cylindriqueempêche la propagation des fissures dans les structures en béton. Durecherches menées sur la poudre de verre par les auteurs, il étaittrouvé que le verre de particules de taille 1,18 à 2,36 mm produitla plus grande expansion où une faible expansion étaitobservé à des tailles de particules plus petites **(Idir, Cyr.M et Tagnit - Hamou, 2009).**

On a observé qu'avec 30%le remplacement du ciment par le contenu en verre ambréla taille des particules 75µm avec des cendres volantes, la compressionla résistance du béton augmente de 25% à 7 jours et de 35%testé pendant 28 jours **(Pereira de Oliveira, Castro - Gomes, Santos, 2008).** Cet effet fournitde nombreuses preuves que les cendres volantes et les déchets de verre peuventêtre utilisés ensemble pour produire des bétons avec relativement élevéforce sans aucune réaction indésirable.Tailles de particules sousce seuil

n'a eu aucun effet sur les variations de longueur. Le verre étaitbroyé à une taille de particules de 300 ou moins, l'alcalila réaction induite par la réaction (ASR) pourrait être réduit.

En fait, les données rapportées dans la littérature montrent que si leles déchets de verre sont finement broyés, moins de 75 µm. Cet effet nepas se produire et la durabilité du mortier est augmentée **(Mageswari et Vivivelli, 2010)**.

La résistance à la traction et à la flexion est affectéepar l'ajout sur les déchets pour remplacer l'agrégat vierge, àun niveau de remplacement de 30% pour l'agrégat fin, lela résistance à la traction a diminué de 3%, en comparaison aveccontrôle du béton conventionnel **(SeungBum Park et BongChumLee, 2004).**

I.3. Béton

Le béton est un matériau de construction formé par l'association de gravillons, de sable, de ciment et d'eau. Ce mélange est mis en œuvre, à l'état plastique, dans un moule appelé coffrage. Après durcissement, le béton se présente sous la forme d'un élément de construction monolithique très résistant [**Kummer, 2004**]. En faisant varier la nature et les proportions des composants, on obtient des bétons aux propriétés et caractéristiques très différentes. Les adjuvants et les additions servent à améliorer certaines caractéristiques du béton frais ou durci [**Zidol, 2014**].

I.3.1. Rôle des différents éléments constituants le béton

- **Ciment :** c'est le constituant qui va réagir chimiquement avec l'eau, devenir résistant, et lier 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

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 à

un matériau solide qui conserve sa résistance et sa stabilité même sous l'eau. Ainsi, Le ciment est le matériau le plus utilisé dans la construction [**Kosmatka, et al., 2004**].

a. Fabrication du ciment portland

La fabrication du ciment Portland se fait à partir de la pierre calcaire et de l'argile. Ces matériaux sont extraits des carrières, concassés et stockés, puis l'analyse chimique est faite pour déterminer le dosage des matières premières. Après avoir été dosées, les matières premières sont broyées et mélangées. La poudre ainsi obtenue est introduite dans l'extrémité supérieure d'un four rotatif légèrement incliné [**yacine, zahredine,** ***2006***].

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

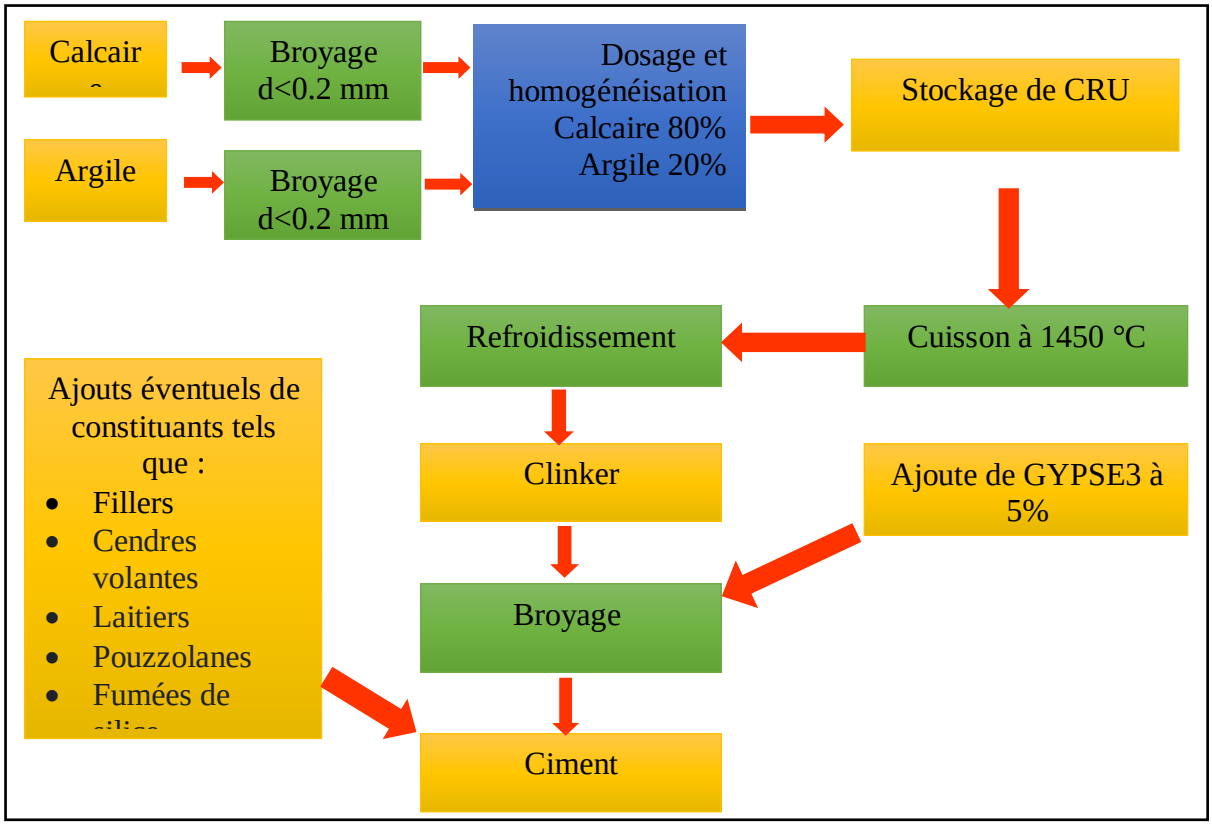


Figure (I.1) : Etapes de fabrication du ciment [**yacine c., zahredine, 2006**].

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

c. Classification des cimentsindustriels

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 [**Miller, 1993**].

***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 fait intervenir les réactions de ses constituants avec l'eau de gâchage. Les anhydres du ciment vont réagir avec l'eau du gâchage pour former des hydrates. Ces anhydres se sont principaux minéraux de clinker purs cités auparavant.

Les anhydres et les hydrates cités dans ce paragraphe sont résumés dans le tableau (I.2) ci-dessous

Tableau (I.2) : Anhydres et les hydrates de ciment [**Anonyme, 2009**].

Notation Abrégée	FormuleChimiqueenoxyde	Dénomination
C3S	(CaO)3-SiO2	Silicate tricalcique
C2S	(CaO)2-SiO2	Silicate bicalcique
C3A	(CaO)3-Al2O3	Aluminate tricalcique
C4AF	(CaO)4-Al2O3-Fe2O3	Aluminoferritetétracalcique
CH	Ca(OH)2	Portlandite
C-S-H	(CaO)x-SiO2-(H2O)y	Silicate de calcium hydraté

C3A.(C3S)3.H32	(CaO)6-Al2O3-(SO3)3-(H2O)32	Ettringiteou “Aft”
C3A. (C2S) .H12	(CaO)6-Al2O3-(SO3)-(H2O)12	Monosulfoaluminate de calcium hydrate ou “Afm”
C2AH8	(CaO)2-Al2O3-(H2O)8	Aluminate dicalciquehydraté
C3AH6	(CaO)3-Al2O3-(H2O)6	Aluminate tricalcique hydraté
C4AH13	(CaO)4-Al2O3-(H2O)13	Aluminate tétracalciquehydraté

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) [**Richard, 2001**].

Généralement, les granulats (sable et graviers) occupent environ les trois quarts du volume totale du béton. Pour cela, il n’est pas étonnant que leurs propriétés affectent les performances du béton : ouvrabilité, résistance, durabilité, …etc. Donc on ne peut pas confectionner un bon béton avec des granulats dont les propriétés sont médiocres [**Anonyme, 2004**].

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.

Les sables artificiels sont des sables provenant du recyclage de résidus industriels ou de matériaux de construction. La matière d’agrégation est un sable. En cas de mélange de plusieurs sables, le mélange composé répond aux exigences minimales du présent cahier des charges type [**Gray, Ventilla, 1971**].

Le sable est un matériau granulaire constitué de petites particules provenant de la désagrégation de matériaux d'origine minérale (essentiellement des roches) ou organique (coquilles, squelettes de coraux…) dont la dimension est comprise entre 0,063 (limon) et 2 mm (gravier) selon la définition des matériaux granulaires en géologie. Sa composition

peut révéler jusqu'à 180 minéraux différents (quartz, micas, feldspaths) ainsi que des débris calcaires [**Harris, 1972**].

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 [**E.P.A. 2017**].

Figure (I.2) : Sable de dune et sable de construction.

b. Gravier :

Notons que le gravier peut provenir de roches variées: le calcaire, le granite, le basalte, le grès, les diorites, le quartz ou encore le silex.

Aussi, le gravier offre un large choix de couleurs : noir, blanc, rose, beige, vert, gris ou encore, bleu.Cette couleur est mise en avant dans le béton décoratif, et tout particulièrement le béton désactivé ou encore le béton coloré.Il existe une multitude de gravier, difficile parfois de choisir celui qui correspondra 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 [Anonyme, 2010].

Figure (I.3): Gravier.

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 [**NF P 18-303**].

En général toutes les eaux conviennent si elles ne contiennent pas d'éléments nocifs qui influenceraient défavorablement le durcissement (matières organiques telles que huiles, graisses, sucres...) ou la corrosion des armatures (acides humiques, eaux de mer...). L'eau potable du réseau de distribution convient très bien mais l'eau puisée en eau courante ou dans la nappe phréatique peut en général convenir. On évitera toujours l'approvisionnement en eaux stagnantes odoriférantes. Le rapport E/C de résistance finale d'un béton courant varie entre 0.4 (qualité supérieure) et 0.6 (béton de fondation).

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 divise et pouvant être ajoute 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 de l'eau et de former à l'issue de cette réaction des produits manifestant des propriétés liantes [**Jean-Paul Kurtz, 2004**]. Ceux sont exploités pour la production des ciments composés. Les ciments aux pouzzolanes sont obtenus en mélangeant pouzzolaniques finement broyées avec le 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 [**Jean-Paul Kurtz, 2004**].
- Ils permettent la réduction de la quantité de clinker utilisée dans la composition du ciment.

I.4. Déchets solides

I.4.1. Définition de déchet

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 [**E.P.A. 2017**].

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.

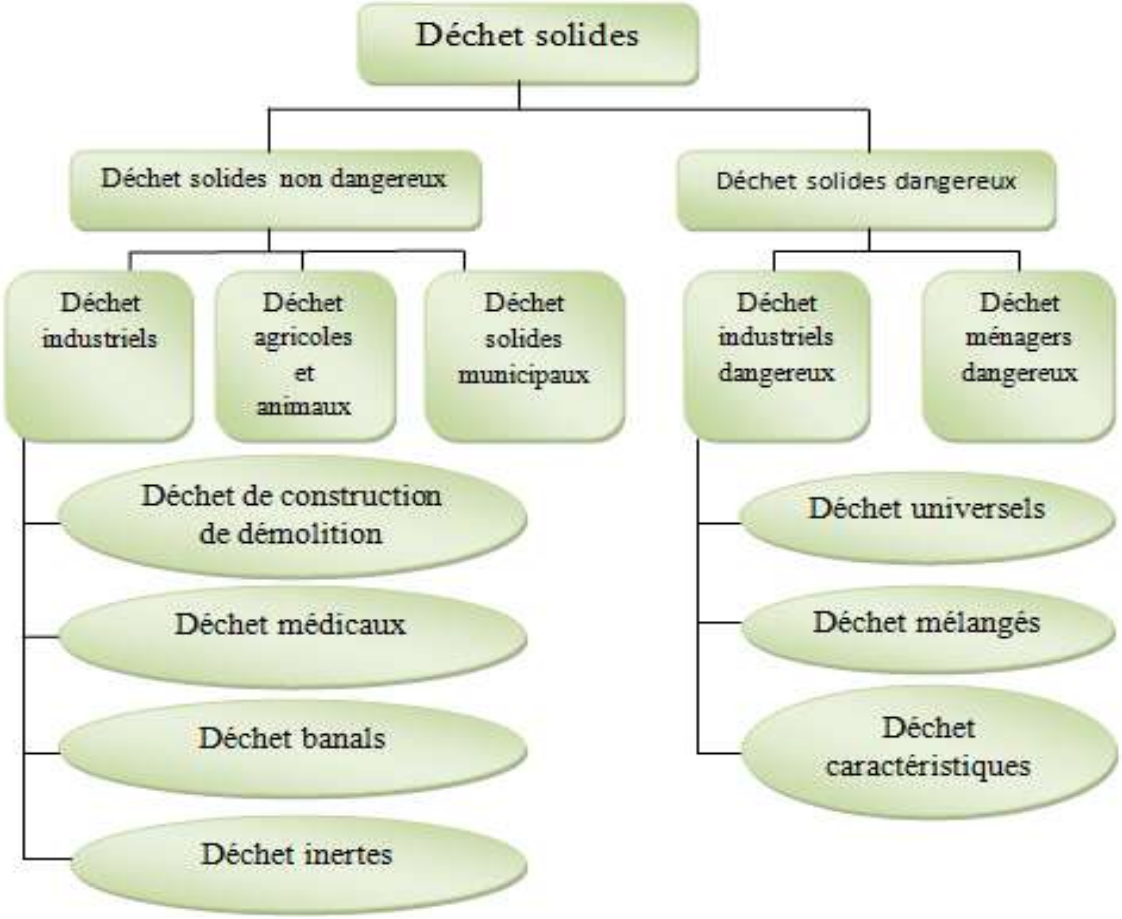
Pour augmenter la quantité de déchets solides plusieurs raisons, y compris:

- 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 [**E.P.A. 2017**].

I.4.2. 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 [**Belferrag A., Kriker A., et Khenfer E, 2007**].



Figure(I.4) : Types de déchets solides [**Belferrag A., Kriker A., et Khenfer E, 2007**].

I.4.3. 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 [**Barkat.A, 2006**].

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 [**shekhawat b., aggarwal d., 2014**].

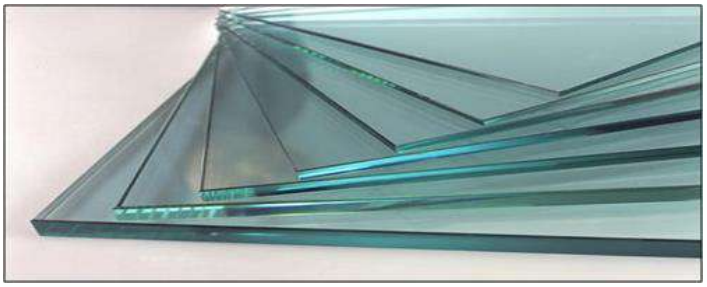
Figure(I.5) : Déchets solides.

I.5. Utilisation de verre dans le domaine de génie civil

I.5.1. Verre et agrégat

Matériau transparent, brillant, solide, du fait de sa nature amorphe et qu'il contient des quantités relativement appréciables de silice, le verre est en général considéré comme étant pouzzolanique s'il est finement broyé. Ainsi il pourrait être utilisé en remplacement du ciment Portland dans les bétons [**Chekireb S., 2015**].

Plusieurs travaux ont été conduits dans les années soixante sur l'utilisation du verre comme granulats dans les bétons. Depuis, l'idée a été en partie abandonnée. Ce n'est que depuis une vingtaine d'année que le sujet est redevenu d'actualité. En effet, pour des raisons économiques et environnementales, l'utilisation du verre recyclé dans les ciments et bétons a suscité l'intérêt d'innombrables municipalités et celles-ci ont encouragé de nouvelles études [**Isabelle Fily-Paré, 2014**].



Figure(I.6) : Verre.

I.5.2. Poudre de verre

La poudre de verre est obtenue en broyant à une certaine finesse le verre récupéré. Lorsqu'il est incorporé au béton en remplacement d'une portion de ciment, le verre ainsi réduit en poussière se lie avec les éléments de chaux en vertu de ses propriétés pouzzolanique [**MEASSON M., 1981**].

Figure(I.7) : Poudre de verre

I.6. Valorisations de poudre de verre dans génie civil

Les déchets de verre sont contaminés et nuisibles pour l'environnement. Dans ce contexte, il semblerait avantageux de recycler ce verre en remplacement partiel du ciment. Cela permet de diminuer le prix de revient du Béton, de limiter l'utilisation des ressources naturelles et d'atténuer la production de gaz à effet de serre. L'objectif principal de cette étude est le développement d'un béton économique et écologique contenant la poudre de verre comme ajout cimentaire [**Belferrag A., Kriker A., Khenfer E., 2007**], [**shekhawat b., aggarwal d., 2014**].

I.7. Conclusion

Nous avons abordés dans cette partie les constituants des bétons utilises 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 avons présenté la caractérisation des matériaux utilisés dans la confection des éprouvettes du béton à étudier ; à partir des essais physiques, chimiques, et mécaniques ont été effectués selon les normes au sein des laboratoires suivants :

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

En outre études la formulation et confection des éprouvettes de béton et leur propriétés physiques et mécaniques (la porosité, ultrason, la résistance à la compression et à la traction par flexion).

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. Le Sable de dune : l'échantillon utilisé est prélevé de dune SIDI KHOUILED (Ouargla).

II.2.1.3.Caractéristiques de Sable

a. Analyses granulométrique "NFP18-554"

Il est défini par la norme **NFP 18-554** ; l'analyse granulométrique par tamisage c'est un ensemble des opérations aboutissant à la séparation selon leur grosseur des éléments constituant l'échantillon, en employant des tamis à maille carrée afin d'obtenir une représentation de la répartition des particules à l'état sec en fonction de leur dimension.

- **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**

L'essai consiste à classer les différents grains constituants l'échantillon en utilisant une série de tamis, emboîtés les uns sur les autres, dont les dimensions des ouvertures sont

décroissantes du haut vers le bas. Le matériau étudié est placé en partie supérieure des tamis et les classements des grains s'obtiennent par vibration de la colonne de tamis, 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.

- **Matériel nécessaire**

Des tamis dont les ouvertures carrées, de dimension normalisée, sont réalisés soit à partir d'un maillage métallique. Pour un travail d'essai aux résultats reproductibles, il est conseillé d'utiliser une machine à tamiser électrique qui comprime un mouvement vibratoire horizontal, ainsi que des secousses verticales, à la colonne de tamis. La dimension nominale de tamis se suit dans une progression géométrique de raison.

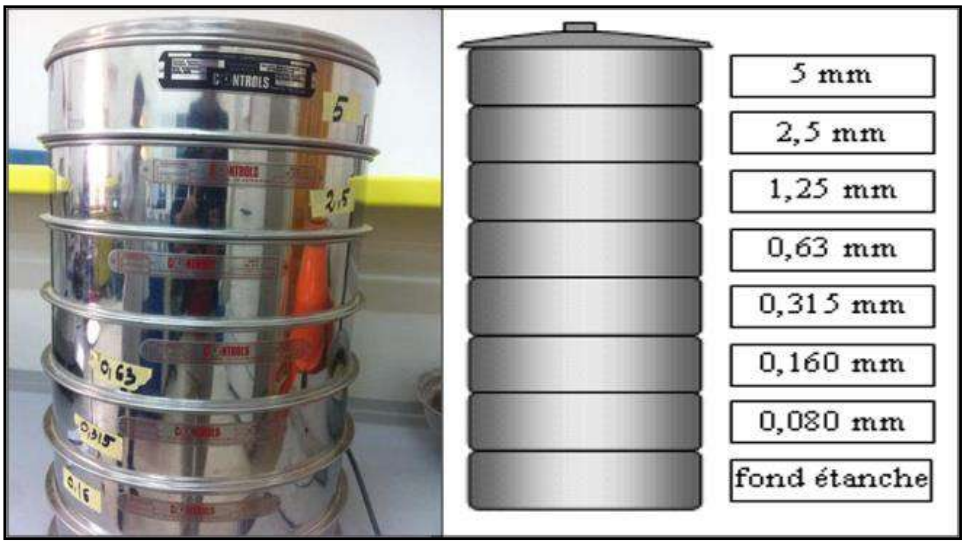


Figure (II.1) : Colonne de tamis.

b. Modules de finesse " NF P18 -304"

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).

Les sables doivent présenter une granulométrie telle que les éléments fins ne soient ni en excès, ni en trop faible proportion. S'il y a trop de grains fins, il sera nécessaire d'augmenter le dosage en eau du béton tandis que si le sable est trop gros, la plasticité du mélange sera insuffisante et rendra la mise en place difficile. Le caractère plus ou moins fin d'un sable peut être quantifié par le calcul du module de finesse (Mf).

$$Mf = \frac{\Sigma \text{ RC}}{100}$$

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; cet essai permettant démesurer la propreté d'un sable, est effectué sur la fraction d'un granulat passant au tamis à mailles carrées de 5mm. Il rend compte globalement de la quantité et de la qualité des éléments fin, en exprimant un rapport conventionnel volumétrique entre les éléments sableux qui sédimentent et les éléments fins qui floculent.

- **But de l'essai**

Cet essai utilisé de manière courante pour évaluer la propreté des sables entrant dans la composition des bétons. L'essai consiste à séparer les particules fines contenues dans les soldes éléments sableux plus grossiers, une procédure normalisée permet de détermination un coefficient d'équivalent de sable qui quantifie la propreté de celui-ci.

- **Principe de l'essai**

L'essai est effectué sur la fraction 0/5 mm du matériau à étudier. On lave l'échantillon, selon un processus normalisé, et on laisse reposer le tout. Au bout de 20 minutes, on a mesuré les éléments suivants :

➢ Hauteur **h1**: sable propre +éléments fins,

➢ Hauteur **h2**: sable propre seulement.

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

$$ES = \frac{\text{h2}}{\text{h1}} X\ 100$$

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

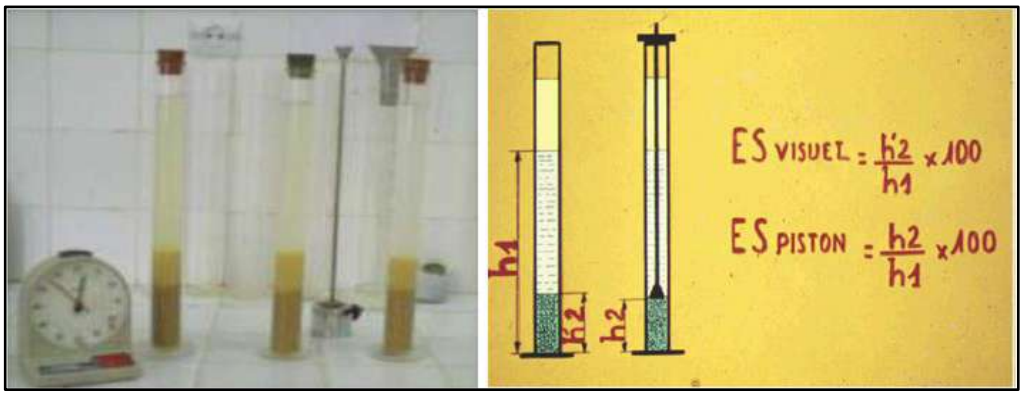


Figure (II.2) : Essai d'équivalent de sable.

d. Masses volumiques (NF P18-554)

- **Masse volumique absolue**

Cet essai est régi par la norme NF P18-554, elle est définie comme étant la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat, sans tenir compte des vides pouvant exister entre les grains.

$$\rho s = \frac{\mathrm{Ms}}{\mathrm{V2} - \mathrm{V1}}$$

ρs : Masse volumique absolue kg/m3
Ms: Masse des grains solides
$V1$: Volume de l'eau
$V2$: Volume total (grains + vide).

Figure (II.3) : Masse volumique absolue.

- **Masse volumique apparente**

Cet essai est régi par la norme NF P18-554**,** elle est définie comme étant la masse de l'unité de volume apparente du corps, c'est-à-dire celle du volume constitué par la matière du corps et les vides qu'elle contient.

$$\rho a = \frac{\mathrm{M}}{\mathrm{V}}$$

ρa : Masse volumique apparente kg/m3
M : Masse totale de l'échantillon
V : Volume total de l'échantillon.

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

II.2.2. Gravier

Pour la confection de nos échantillons, le gravier utilisé et de provenance BEN IBRAHIM, Des études ont affirmé qu'on obtient les meilleurs résultats avec des granulats.

II.2.2.1. Caractéristiques de Gravies

a. Composition Chimique (NF P18-461)

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

Calcite (C_3SO_3)	Sulfate ($CaSO_42H_2O$)	INSOLUBLES
55 à 70 %	0 à 5%	Le rest

b. Masse Volumique (NFP18-554)

- **Masse volumique absolue**

Elle est la masse par unité du volume de la matière qui constitue le granulat, sans tenir compte des vides qui peuvent prendre place dans ou entre les grains La formule qui permet de calculer ce paramètre est:

$$\delta_{\mathbf{s}} = \frac{M}{Vs}$$

Tels que :

$\delta_{\mathbf{s}}$ **:** La masse volumique absolue (t/m3, g/cm3,…).

M : La masse de l'échantillon. (g).
Vs : Le volume absolu de l'échantillon. (cm3).

- **Masse volumique apparente**

Elle est la masse du granulat occupant l'unité du volume, tous les vides sont inclus .Elle est déterminée par la relation suivante**:**

$$\delta_{\mathbf{a}} = \frac{M}{Va}$$

Tels que :

$\delta_{\mathbf{a}}$: masse volumique apparente (g/cm3).

M : masse de l'échantillon (g).
Va : volume apparent de l'échantillon (cm3).

c. Propreté du gravier (NFP18-591)

Cet essai consiste à peser un échantillon bien déshydraté, puis le laver à grande eau jusqu'à atteindre sa propreté parfaite, et puis, le sécher et peser de nouveau.
Le pourcentage d'impuretés est donné par la relation suivante

$$PI = \frac{P1 - P2}{P2}$$

P1 et **P2** sont, respectivement, les masses du gravier sec avant et après le lavage.

d. Coefficient d'absorption (NFP18-555)

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

$$Ab = \frac{Ma - Ms}{Ms}$$

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

Ma: masse de l'échantillon imbibé.

e. Analyse granulométrique (NFP18-560)

L'analyse granulométrique permet de classer un granulat dans les différentes lasses granulaires. Il est atteint par le tamisage automatique d'un échantillon dans une série de tamis et de déterminer le pourcentage de passants et du refus sur chaque tamis.

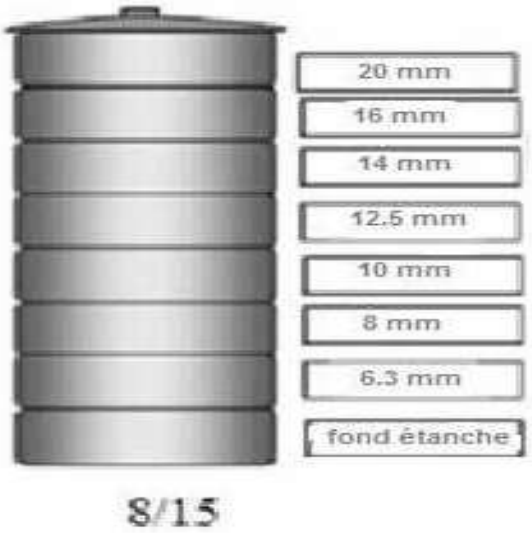


Figure (II.5) : Tamis utilisés selon les Classes granulaires

II.2.3.Le Ciment

Ciment portland composé **CPJ-CEM II/B 42.5N (NA 442)** provient de la cimentaire **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= 6mm ± 1mm » : si « d > 7 mm »:il n'ya pas assez d'eau, si « d < 5 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.

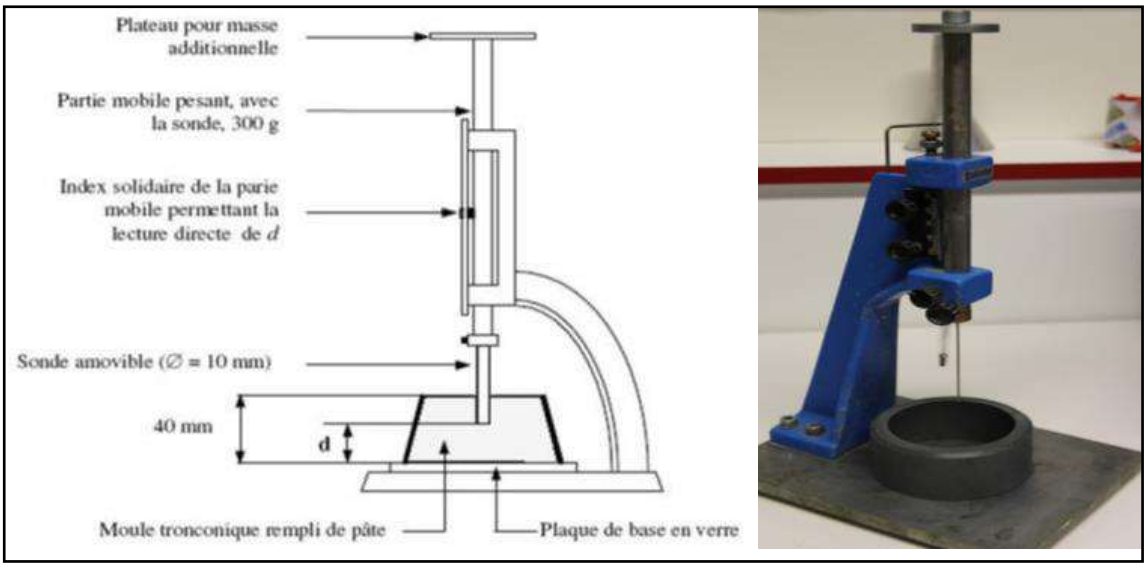


Figure (II.6) : Appareil de Vicat.

b. Essai de prise (EN 196-3)

- **Définition et But de l'essai**

La présence de régulateur de prise dans la masse des liants hydrauliques offre à ces derniers, après gâchage, une prise qui commence après quelques heures. Il est donc nécessaire de connaître le temps de début de prise des liants hydrauliques en vue de déterminer le temps disponible pour la mise en œuvreinsitu des mortiers et des bétons dont ils sont confectionnés.

Les essais se font à l'aide de l'aiguille de Vicat qui donne deux repères pratiques :
Le début de prise et la fin de prise.

- **Matériel utilisé**

C'est le même appareil qui est utilisé (dans les mêmes conditions) à l'exception de las onde qui cisaille l'échantillon, le diamètre est beaucoup plus petit (Φ = 1.13 mm).Mode opératoire. Une fois la pâte à consistance normale obtenu, on procède au changement de la sonde de Vicat par l'aiguille de Vicat et on l'amène à la surface de l'échantillon et relâchée sans élan (sans vitesse). L'aiguille 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.

➢ Recommencer l'opération à des intervalles de temps convenablement espacés (~ 10-15min) jusqu'à ce que d = 4mm± 1mm.

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

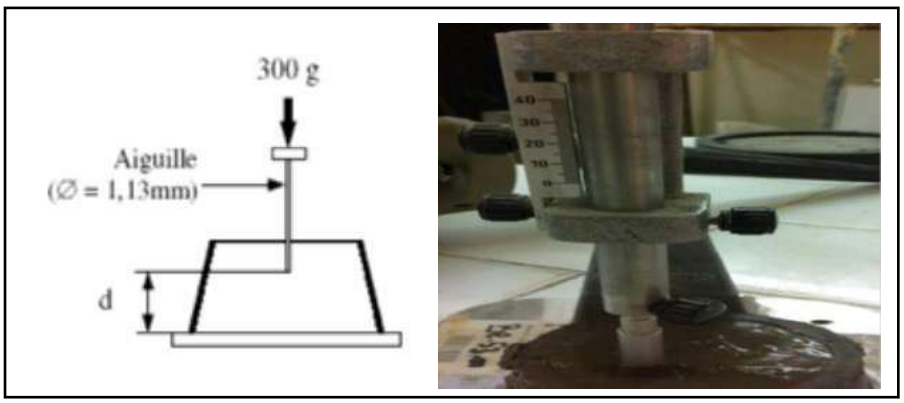


Figure (II.7) : Essai de prise

c. Analyse chimique de ciment

L'analyse chimique du ciment utilisé a révélé l'existence des éléments, Les principaux oxydes qu'on trouve dans le ciment Portland.

II.2.4. Eau de Gâchage (NF P 18-305)

A travers l'étude que nous faisons, il doit être l'eau que nous utilisons dans le mélange de béton, pur, propre, exempte de sels et de matières organiques, pour notre cas on utilisée à la potable « eau du robinet» fournie au laboratoire LTPS.

II.2.5. Poudre de verre

La poudre de verre que nous avons utilisée extraite de broyage après concassage de déchets de verre, pour obtenir poudre de verre en posse un ensemble des étapes comme suivant :

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 d'un béton consiste à définir le mélange optimal des granulats, où l'on dispose le dosage en ciment et en eau afin de réaliser un béton dont les qualités sont celles recherchées pour la construction de l'ouvrage désiré.

Généralement les qualités recherchées avec une telle composition 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 conclure que la formulation d'un béton doit permettre de respecter les qualités de consistance et de résistance aux moindres coûts possibles.

Plusieurs méthode de formulation ont été élaborées par : **ABRAMS**, **BOLOMEY**, **CAQUOT**, **FAURY**…etc. Mais, dans notre cas, nous avons choisi la méthode **(DREUX-GORISSE)** parce qu'elle a l'avantage d'être issue de nombreuses formulations ayant été testées sur chantiers et ayant donné une satisfaction, d'une part, et d'autre part, elle est très simple à utiliser puisqu'elle ne demande que de connaître les courbes granulométriques des granulats utilisés.

II.3.1. Définition de Méthode DREUX-GORISSE

Cette méthode a pour but de réaliser une composition du béton à partir de son ouvrabilité et résistance recherchées. Ces deux qualités sont liées par des abaques selon le dosage en ciment connu.

Les proportions de différents granulats sont déterminées à Travers la courbe de référence.

Cette courbe est tracée à travers les courbes granulométriques des granulats qui doivent être utilisées. Un coefficient de compacité est probablement donné au béton, il permet, avec la connaissance des masses volumiques des granulats, de déterminer les dosages pondéraux de notre béton. Quelque essais préliminaires de plasticité doivent avoir lieu pour fixer le dosage en eau afin d'adapter la maniabilité désirée.

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

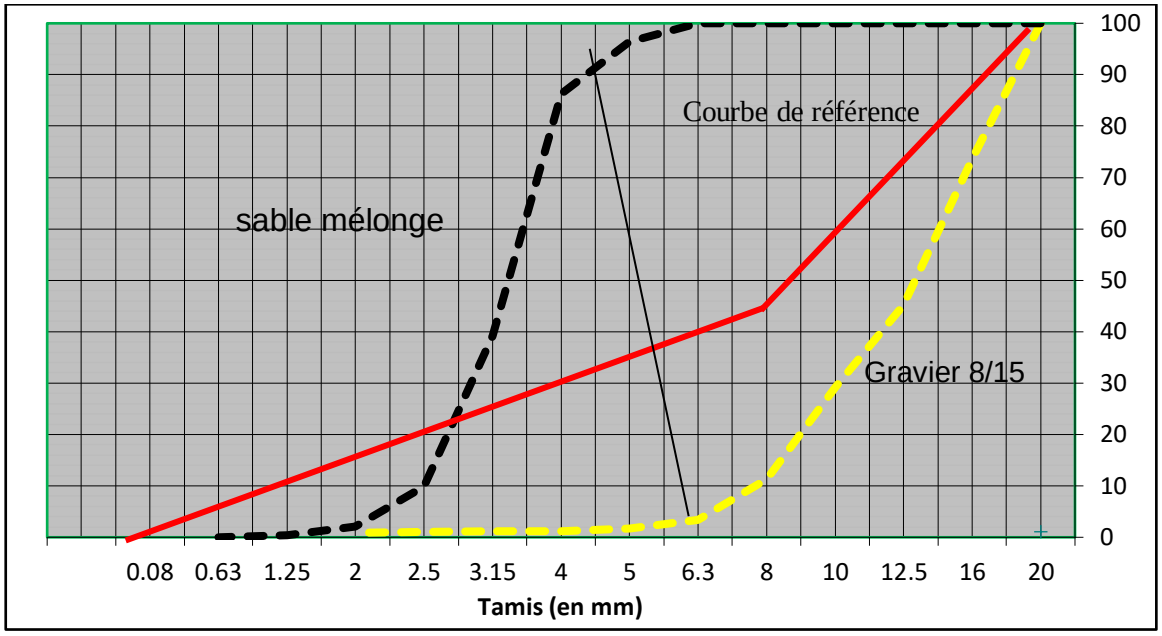


Figure (II.9) : optimisation de dosage pondéral des granulats parla méthode DREUX-GORISS.

La courbe granulaire de référence OAB, est déterminée par trois points : l'origine (0,0) ; B (D max, 100% tamisât) et un point de brisure A (X, Y), dont les coordonnées sont :

- L'abscisse X=16/2= 8 si : $D_{max} \leq 20mm$
- L'ordonne Y=50 - $\sqrt{Dmax}$ +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 γ = 0,825 – 0 ,01= 0,815.

Le dosage volumétrique des constituants est :

- volume absolu total.....V = 1000 x γ = 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 x 685,97 x 2,169 = 682,69 kg
- $G_{8/15}$……0,62 x 685,97x 2,568 = 1092,17 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 = 682,69 kg ……..V = 260,66 L
- Gravillon (8/15) G = 1092,17 kg ……V = 425,3 L
- Eau E = 216L

II.3.3. Affaissement au cône d'Abrams

L'ouvrabilité du béton composé a été appréciée à partir des mesures de consistance par affaissement au cône d'Abrams, avant la confection des éprouvettes au laboratoire LTPS. L'essai d'affaissement a été effectué conformément à la norme européenne NF EN12350-2 On remplit en trois couches, piquées chacune de 25 coups par une tige de Ø16 mm, un moule tronconique en tôle (D =20 cm ; d =10 cm ; h=30 cm). Le moule est retiré lentement et la mesure de l'affaissement est réalisée. Dans notre cas l'affaissement est de 9 cm.

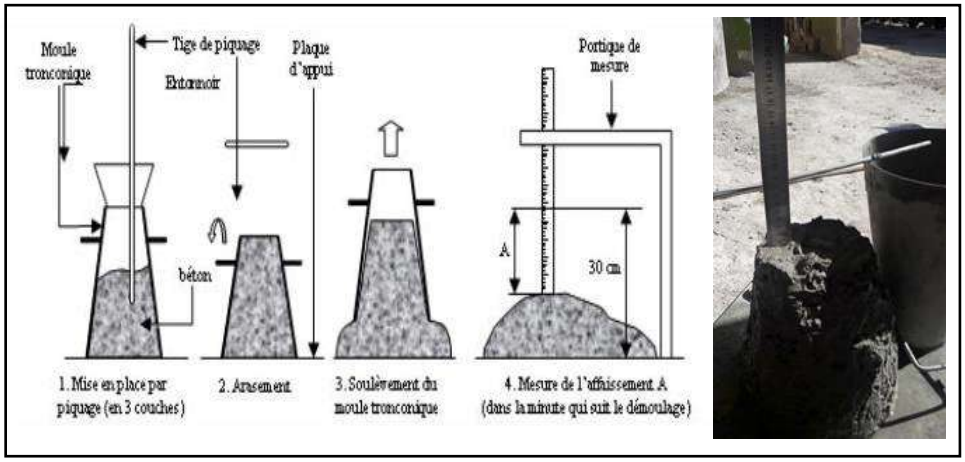


Figure (II.10) : Affaissement au cône d'Abrams.

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

Conformément à la norme européenne NF EN12390 -1**,** nous avons utilisé les moules prismatique (7 x 7 x 28) cm^3pour la confection des éprouvettes par tous les essais réalisés dans cette étude.

Dans notre travail, nous avons préparé environ 120 éprouvettes pour la caractérisation physique et mécaniques du béton confectionné en différent pourcentage de poudre de verre, de sable et de gravier.

La préparation des mélanges a été effectuée suivant un dosage pondéral des granulats et conformément à la norme française NF P18 – 404**,** qui consiste à:

- Introduire, en premier lieu, dans un malaxeur à béton, les constituants dans l'ordre suivant : gravillons, sable (construction + sable de dune), la poudre de verre, ciment.

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

Nous avons prélevé la quantité volume pour le remplissage des moules en deux couches pour les moules prismatiques. Le serrage du béton doit être effectué immédiatement après le remplissage, par table vibrante, pour chaque couche du béton introduite.

Figure (II.11) : Préparation des éprouvettes.

II.5. Propriétés physiques et mécaniques des éprouvettes

Différents essais ont été effectués afin de déterminer les propriétés de béton Selon le mode de conservation et comparer ceux-ci aux propriétés de béton témoin conservé au laboratoire.

Les essais sont effectués en collaboration avec

- ❖ Laboratoire LTPS unité d'Ouargla.

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

Les essais de la traction par flexion (4 points) ont été réalisés au laboratoire LTPS unité d'Ouargla. L'essai a été effectué conformément à la norme française NF P 18 - 407 , par l'emplacement de l'éprouvette prismatique (7 x 7 x 28 cm^3) dans l'appareil de chargement de la machine d'essai, en prenant comme faces de chargement, les faces de moulage.

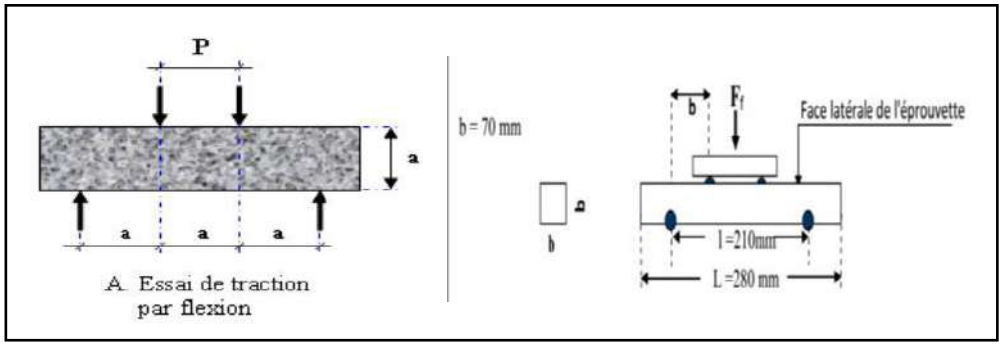


Figure (II.12) : dispositif pour l'essai de résistance à la flexion (4 points).

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

$$Rf = \frac{3Ff}{b^2}$$

Avec:

-Rf: résistance à la flexion en MPa.

- Ff: charge de rupture de l'éprouvette en flexion (N).
- b: côte de l'éprouvette est égal à70mm

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

II.5.2. Essai de résistance à la compression (Rc) (NF EN 12390 – 3)

Les essais de compression ont été réalisés au laboratoire LTPS unité de Ouargla, conformément à la norme européenne NF EN12390 – 3, par application d'un effort de chargement sur une éprouvette prismatique, jusqu'à la rupture, sous une presse .la résistance du béton est donnée par la formule suivant :

$$Rc = \frac{F}{Ac}$$

Avec:

- F : la charge maximale à la rupture de l'éprouvette (en Newton).
- Ac : l'aire de la section chargée de l'éprouvette (en mm^2).

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

II.5.3. Essai d'Ultrasonique (NFP18 – 418)

L'essai d'auscultation dynamique, par vitesse du son, consiste à mesurer le temps de propagation d'ondes sonique dans une éprouvette de béton à l'aide d'un appareil à ultrasons, L'essai a été effectué conformément à la norme française P18 - 418 .La vitesse de propagation du son est calculée par la formule suivante :

$$V = \frac{d}{t}(m/s)$$

Où:

D: Distance entre faces de l'éprouvette mesurée en mètres,

T: Temps de propagation d'ondes en secondes

V: les vitesses de propagation du son calculées, sont exprimées en mètres par seconde, sous la forme de la moyenne des valeurs mesurées sur trois éprouvettes.

Figure (II.15) : appareil de l'ultrasonique.

La vitesse de propagation du son est d'autant plus élevée que le béton est plus dense donc plus résistant. Elle fournit une indication sur les qualités des bétons, telles que:

- Homogénéité du béton.
- Cavités, fissures, défauts dus à l'effet du feu ou du gel.
- Module d'élasticité.
- Résistance à la compression.

La mesure de la vitesse du son dans le béton permet d'évaluer sa qualité de manière non destructive. Cette méthode est intéressante lorsqu'il faut contrôler la régularité du béton d'un élément d'un ouvrage.

L'état du béton totalement inconnu peut se détermine approximativement selon la vitesse mesurée V (vitesses) = L (distance) / T (temps).

Tableau (II.2) : qualité du béton en fonction de la vitesse de la propagation des ondes ultrasoniques**[BONATTI-HMD, 2015].**

Qualité	vitesse de propagation (m/s)
Excellent	Supérieur a 4500
Bonne	3500-4500
AssetBonne	3000-3500
Mauvaise	2000-3000
Trèsmauvaise	Inférieur à 2000

II.5.4.Porosité (NF P 18-459)

La porosité est faite sur des échantillons des éprouvettes après 28 jours . La détermination de la porosité se conduit comme suit:

➢ Apres avoir laissé l'échantillon 24 heures dans l'étuve on pèse sa masse sèche M_{seche}

➢ On le laisse dans l'eau pendant 48 heures puis on pèse sa masse hydrostatique M_{air}

➢ On pèse la masse de l'échantillon dans l'eau M_{eau}

La porosité est obtenue par la formule suivant :

$$n = \left(\frac{M_{air} - M_{seche}}{M_{air} - M_{eau}}\right) \times 100$$

Figure (II.16) : Essai de porosité.

II.6. Conclusion

Pour la recherche expérimentale dans notre travail; on a déterminé les matériaux utilisés(sable de dune, sable de construction, gravier, ciment, poudre de verre et l'eau de gâchage),sont bien caractérisés .On a choisi la méthode très simple (DREUX-GORISSE) pour la formulation et confection des éprouvettes de Béton ; Ces différentes formulations seront utilisées études des propriétés physiques et mécaniques (l'ultrasonique, la résistance à la compression et la résistance à la flexion par traction) effectués sur les éprouvettes de béton.

CHAPITRE III

Résultats et Discussion

III.1. Introduction

Dans les chapitres précédents, nous avons montrées les matériaux utilisés et les méthodes effectués sur celle pour déterminer leurs caractéristiques, ainsi que la formulation des bétons et les paramètres physiques et mécaniques pour déterminer leurs propriétés.

Dans ce chapitre, exposer les résultats de déférents essais, en particulier les essais de résistance à la compression, à la traction, avec la porosité et ultrason. L'objectif de ces essais est de vérifier: substitutions du ciment par poudre de verre avec des proportions variables ; et remplacement de 5% de sable de construction par sable de dune dans la confection du béton destiné aux différents ouvrages.

III.2. Résultats d'analyse des matériaux utilisés

III.2.1. sable

a. Analyse granulométrique " NFP18-554"

L'essai d'analyse granulométrique a été effectué sur un échantillon de Sable (Sable de dune et Sable de construction), les résultats sont représentés dans les Figures ci-dessous.

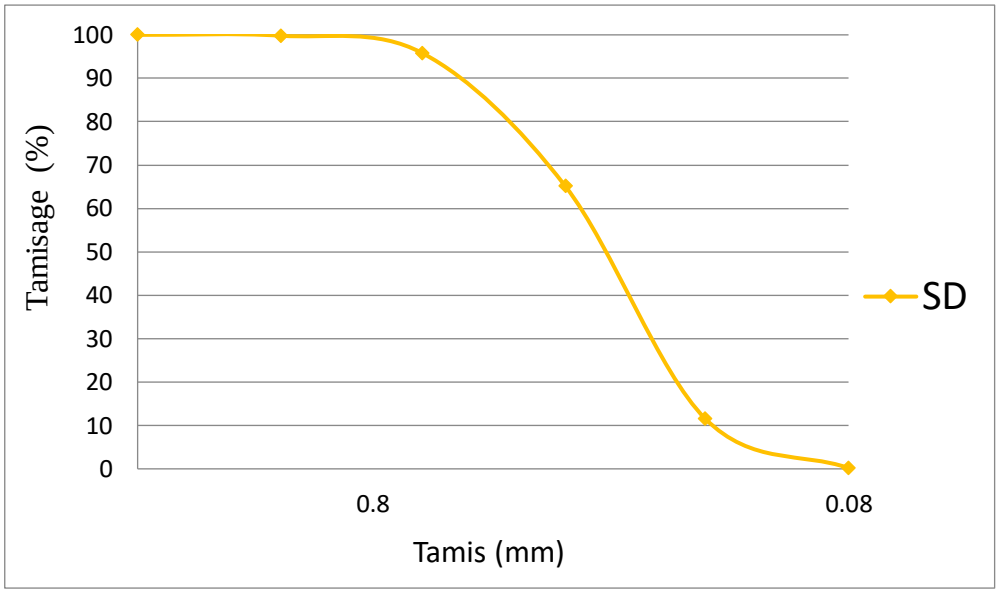


Figure (III.1): Courbe granulométrique du sable de dune

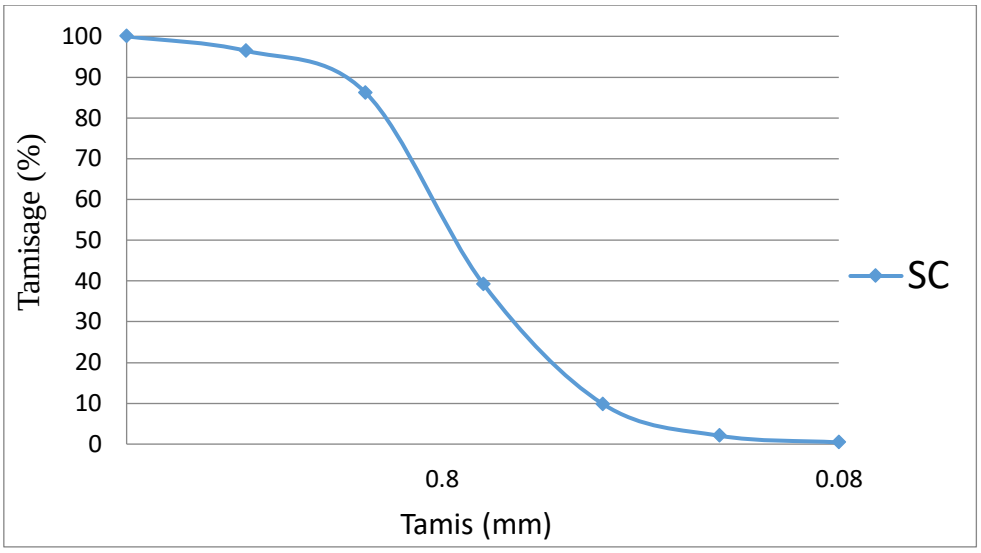


Figure (III.2) : Courbe granulométrique du sable de construction

b. Modules de finesse " NF P18 -304"

Pour les sables utilisés dans notre étude on a trouvé la valeur suivante

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

	module de finesse (M_f)
sable de construction	2.67
sable dunes	1.23

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

Les résultats obtenus sont établis sur le tableau suivant.

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

	Equivalent de sable	**Observation**
Sable de dune	75 %	Sable propre
sable de construction	87.43 %	Sable très propre

d. Masses volumiques "NF P18-554"

Les résultats des essais de la masse volumique apparente ρa et la masse volumique absolueρs des sables sont enregistré dans le tableau :

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

	Absolue (ρs)(g/m^3)	**Apparent (ρa)(g/m^3)**
Sable de dune	2.55	1.46
Sable de construction	2.56	1 .94

III.2.2. Gravier

Les tableaux suivants indiquent les résultats de l'analyse chimique et physique du gravier.

a. Composition Chimique "NF P18-461"

Tableau (III.4) : Composition chimique du gravier

	CaCO3	SO3	SO4-2	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_{vs} (kg/l)	Absorption	Mva (g/m^3)
Graver 8/15	2.56	1.87 %	1.68

c.Analyse Granulométrique " NFP18-560"

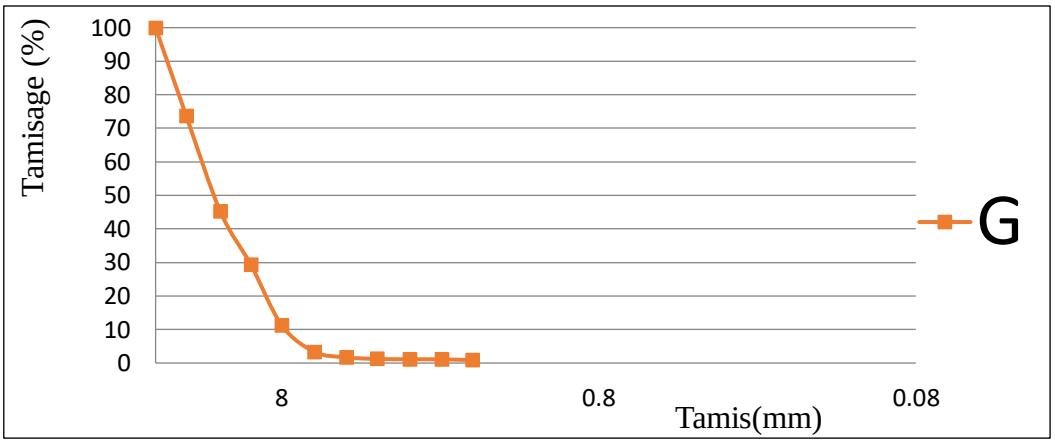


Figure (III.3) : Analyse granulométrique des graviers (8/15).

III.2.3. Ciment

Les tableaux suivant indiquent les résultats de l'analyse chimique et physique du ciment.

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

Propriété	Ciment - CPJ
Masse volumique (g/m3)	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 (%)			
SIO_4	***AL2O3***	***Fe2O3***	***MgO***	***RI***	***CaO***	***SO_3***	***PAF***	***C3S***	***C2S***	***C3A***	***C4AF***
22	5.02	2.94	2.07	0.73	64.36	1.94	0.64	51.28	24.68	8.33	8.94

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

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

	Salinité	O_2 dissent	PH	température
Analyse d'eau	1.24 psu	0.5 %	7.71	17.87 c°

III.2.5.Poudre de verre

Les tableaux suivant indiquent 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/m³)	1.542
Masse volumique absolues (g/m³)	2.470

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

	SO_4^{-2}	CaCO3	SO_3	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"

Les résultats obtenus de l'essai de résistance à la flexion sont enregistrés dans le Figure ci-dessous

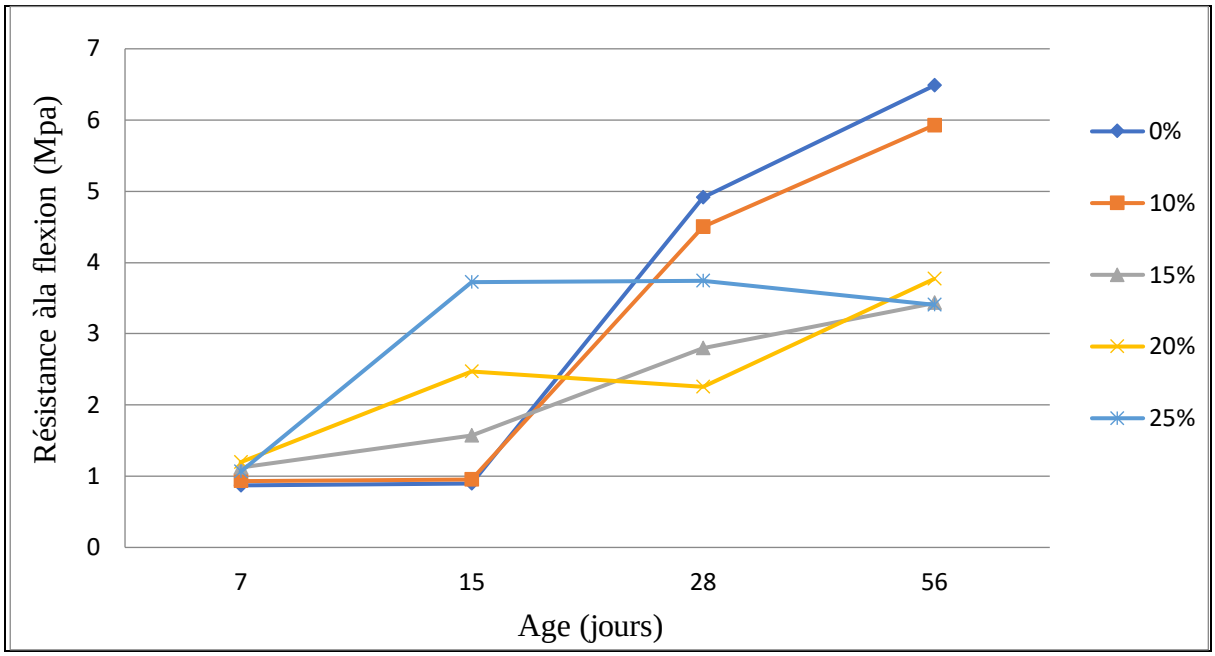


Figure (III.4) : Evolution de la résistance à la traction par flexion.

Les résultats représentés dans la Figure (III.4), montrent généralement que la résistance à la flexion augmente avec le temps pour toutes les éprouvettes.

Après 07 jours, la résistance à la flexion du béton pour les différents dosages (10 %,15%, 20% et 25%) ont des valeurs proches entre elles et grande par rapport au béton témoin, avec des différences comprises entre 0.931et 1.196MPa.

Après 15 jours, nous remarquons l'augmentation de résistance à la flexion du béton pour les différents dosages (10 %,15%, 20% et 25%) par rapport au béton témoin, avec des différences comprises entre 0.95et 3.723MPa.

Après 28 jours, la résistance à la flexion du béton pour le dosage de 10% est élevés et très proche celle béton témoin, avec de taux 4.501 MPa ; pour les autres cas (15%, 20% et 25%) est relativement faible par rapport aux autres cas, les diminutions sont estimées successivement 2.801, 2.251, 3.743 MPa.

Après de 56 jours, la résistance à la flexion du béton pour le dosage 10% est la plues élevées avec une différence de 5.928 MPa, c'est la valeur la plus proche de celle de béton témoin, nous remarquons que aussi que pour les autres dosages (15%, 20% et 25%) on a des valeurs très faible par rapport au témoin et très proches entre elles, avec des taux sont successivement 3.43, 3.77 et 3.409 MPa.

À la fin de cette analyse, nous déduit sont que généralement la résistance à la flexion est meilleurs pour le cas de l'éprouvette de 10 %poudre de verre.

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

Les résultats obtenus de l'essai de résistance à la Compression sont enregistrés dans le Figure ci-dessous :

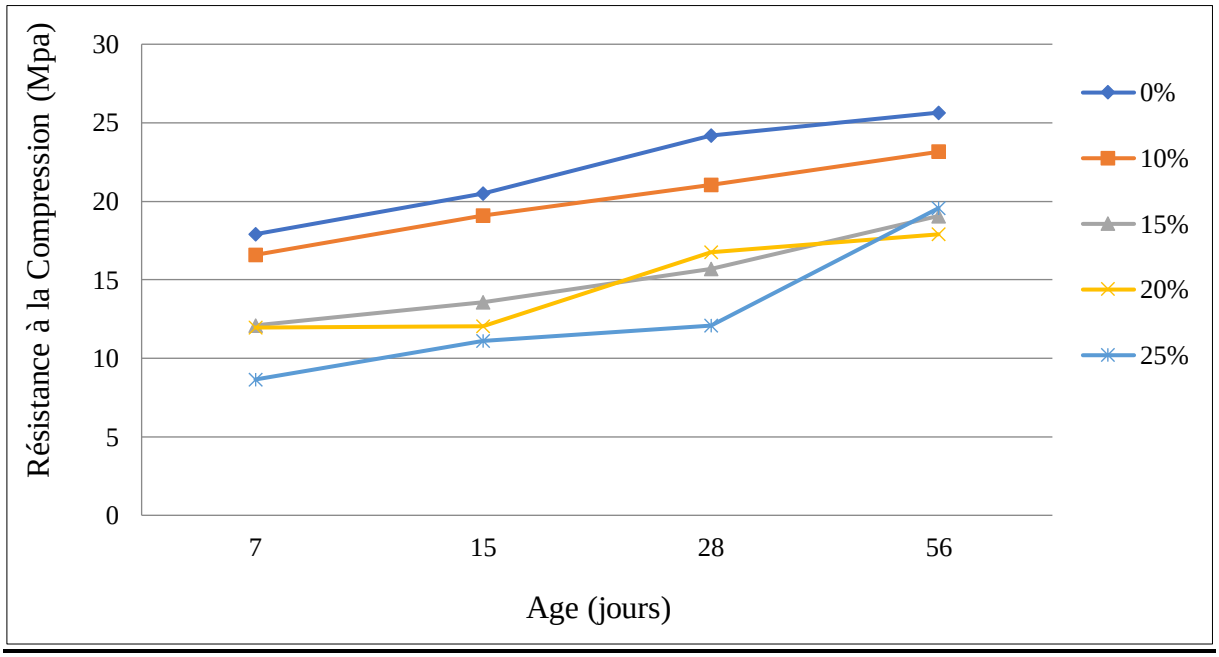


Figure (III.5) : Evolution de la résistance à la compression.

Les courbes de Figure (III.5), montrent généralement que la résistance à la compression augmente relativement avec le temps pour toutes les éprouvettes ; mais l'augmentation de dosage de poudre de verre contribue à l'affaiblissement de la résistance à la compression par rapport au béton témoin.

Nous remarquons que obtenons le meilleur résultat après l'ajoute de 10 % de poudre de verre par rapport les autres dosages, avec de valeurs comprises entre 16.587MPa après 07 jours et 23.15 MPa après 56 jrs. Ces valeurs est important et très proche de celle de béton témoin ; donc il donne une bonne qualité de béton

III.3.3. Porosité " NF P 18-459 "

Les résultats de l'essai sont résumés au Figure suivant

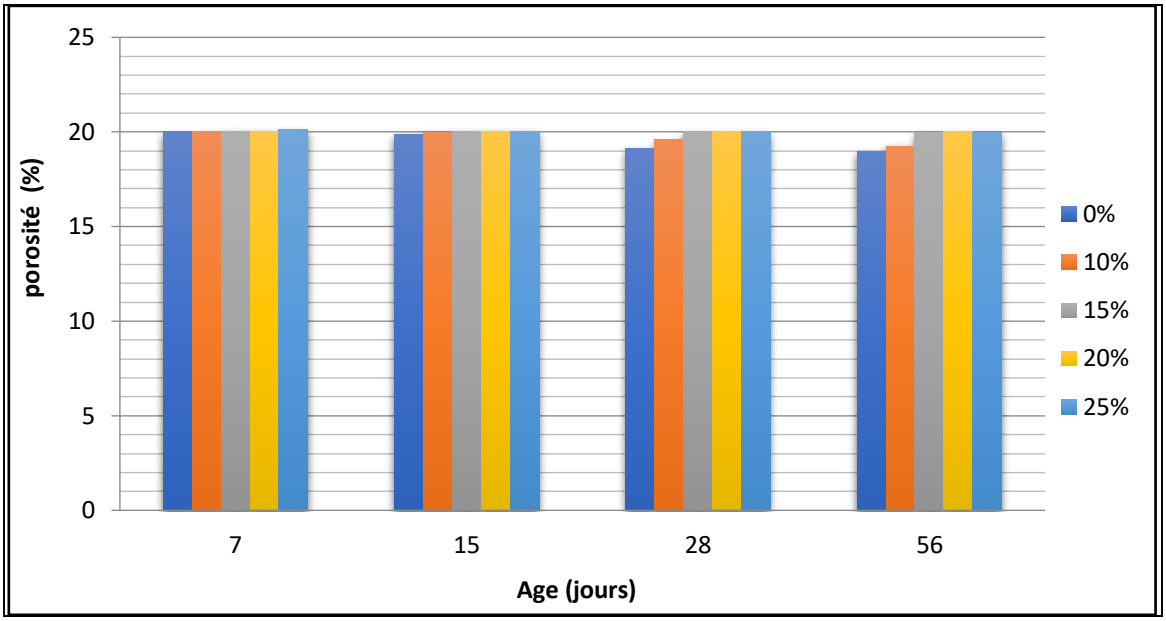


Figure (III.6) : Evolution de la porosité.

Selon les histogrammes de la Figure (III.6),la porosité des bétons contenant (5%, 10% ,15% et 25%) de poudre de verre est faible par rapport au béton témoin, les taux élevés sont compris entre 19.24 et 20.11 %.

Nous remarquons que l'ajoute de poudre de verre augmente légèrement la porosité du béton par rapport au béton témoin; il donne le meilleur résultat pour le dosage 10 % avec de taux 19.24% ; généralement nous obtenons une bonne qualité de béton.

III.3.4. Ultrasoniques

Les résultats de l'essai en diffèrent faces de 0.28m et 0.07m sont présentes dans les Figure suivant

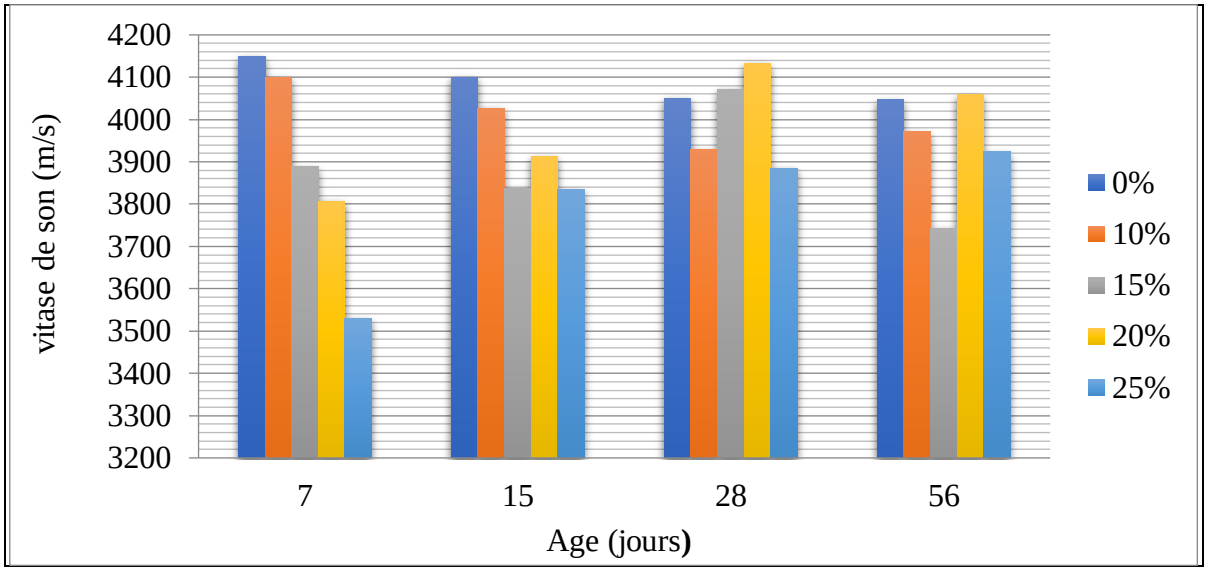


Figure (III.7) : Vitesse de propagation de son dans le béton en face de 0.28 m.

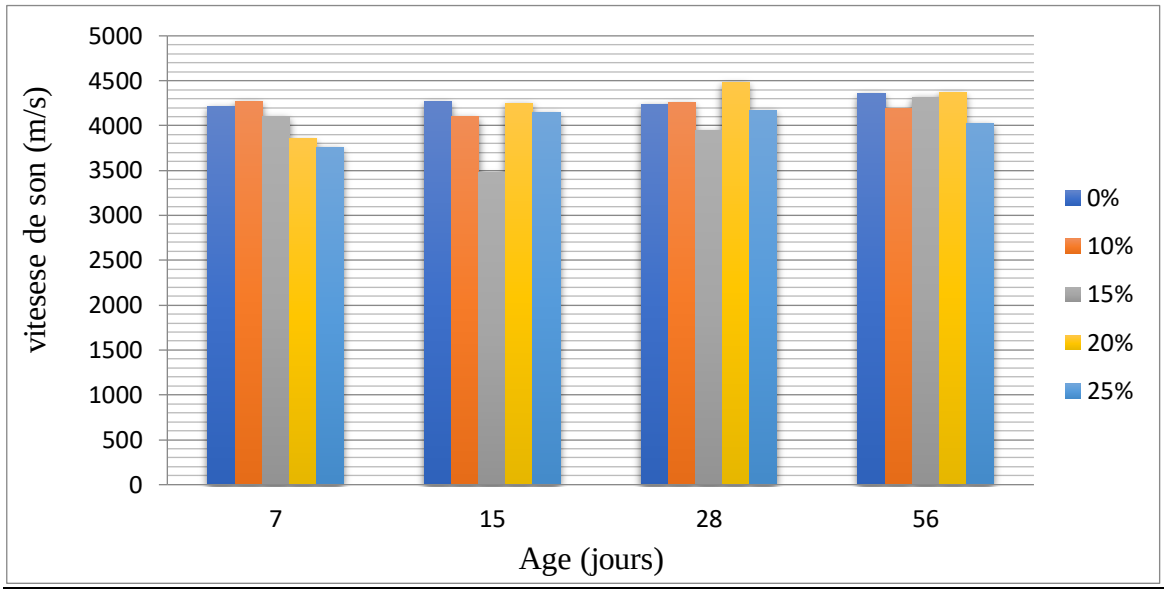


Figure (III.8) : Vitesse de propagation de son dans le béton en face de 0.07 m.

D'après les Figures (III.7) et (III.8)les résultats d'essais ultrasoniques montrent généralement que les vitesses du son dans le béton sont supérieures à 3500 m/s à quatre faces des éprouvettes pour les différentes compositions (10%, 15%, 20% et 25%).

III.4. Discussion

Le Sable utilisé dans notre travail est un sable très propre [**NF P 18 -598,1991**], fin à moyen à et de bonne finesse **[NF P18 -304, 1990]**. Pour le Gravier moyen, les caractéristiques physique los Angeles fort résistance [**NF P 18-573, 1990**], et micro deval bon qualité [**NF P 18-572, 1990**]et Absorption faible [**NFP18-555,1990**].En ce qui concerne Ciment consistance (Vicat) normale d=6mm [**EN 196-3, 2001**]. Poudre de verre siliceuse, très fin (bonne finesse).

L'influence d'additions de poudre de verre avec proportion variables (10%, 15%, 20% et 25%) a été étudiée et discutée à partir des nombreux essais sur le béton. Chaque condition expérimentale a été testée en triplicatas. Les résultats présentés sont les valeurs moyennes obtenues pour chaque condition dosage en poudre de verre testé.

Pour chacune d'elles la performance mécanique pour différents taux de substitution est analysée et les conclusions tirées sont :

La résistance en traction par flexion présente une augmentation plus importante en additionnant la poudre de verre au béton avec le temps. Ce phénomène s'explique par la forte adhérence entre granulats et l'augmentation de la réaction de leurs liaisons entre elle avec le temps, Ceci peut être attribué à la réaction pouzzolanique de la poudre de verre à long terme, l'activité pouzzolanique est lente au jeune âge et se développe tardivement. Ce phénomène s'explique par l'interaction entre la silice réactive qui se situe dans la poudre de verre et le $Ca(OH)_2$ libéré par l'hydratation du ciment[**R-Idir, 2009**].

(Max=6.484 Mpa; min=0.871 Mpa; $déf_{max-min}$= 0.056 %)

La résistance à la traction par flexion du béton comparée à celle du mortier [**BoulifaM., Debabi A., 2016**] montre que l'allure est différente.

La résistance à la compression présente une légère augmentation avec le temps ; On peut expliquer par la réaction pouzzolanique, mais elle réduit avec l'augmentation de teneur de la poudre de verre au béton ; ce phénomène explique par l'augmentation des grains fins par rapport les granulats dans le béton, où ils affectent considérablement à classement granulométrie des grains de ce mélange ; donc il nécessite d'ajoute une teneur optimale de la poudre de verre**[R-idir, 2009].**

(Max= 25.647 ; min=8.651 ; $déf_{max-min}$= 0.1699 %)

La résistance à la compression du béton comparée à celle du mortier [**BoulifaM., Debabi A., 2016**] montre que l'allure est différente.

L'augmentation de porosité en ajoutant de la poudre de verre au béton; Ce phénomène peut s'expliquer par la réduire de volume des particules de poudre de verre en parallèle augmentation de volume de vide entre les grains de gravier et de sable en présence de ciment, donc le rapport de porosité est augmente.

(Max= 20.113 ; min=18.98 ; défi $_{max-min}$= 1.133 %)

La porosité du béton comparée à celle du mortier [**BoulifaM., Debabi A., 2016**] montre que l'allure est le même par rapport l'année passée.

On remarque aussi qu'il ya une augmentation d'ultrasonique en ajoutant de la poudre de verre au béton; Ce qui peut s'expliquer par le rôle de la poudre qui comble les interstices granulaires et rend le mélange plus compact **[Bonatti H., 2015].**

(Max=4480 ; min=3479 ; défi $_{max-min}$= 10.01 %)

Ultrasonique du béton comparée à celle du mortier [**BoulifaM., Debabi A., 2016**] montre que l'allure est le même.

*La poudre de verre exerce un effet physique (remplissage) et chimique (réaction pouzzolanique) sur le ciment **[Zeghichi L., Mezghiche B., Merzougui A., 2007].**

*La poudre de verre a un rôle de ciment dans l'adhésion granulaire (matrice cimentaire) **[Zainab Z., Enas A., 2009].**

*Le mélange de poudre de verre et le sable de dune améliores les propriétés physiques et mécaniques du liant et donnait des résultats acceptables dans tous les essais.

Conclusion

Conclusion Générale

Le remplacement partiel de ciment par une quantité donnée de poudre de verre est une technique qui connu une large utilisation dans le monde [**Zainab Z., enas A., 2009**]. Elle permet non seulement de minimiser la fabrication du ciment et par conséquence la réduction de l'émission de $\mathbf{CO_2}$ dans l'atmosphère mais aussi de récupérer les déchets de verre qui sont comptes en millions de tonnes par an.

Notre travail a porté sur l'examinassions de cette approche sous nos conditions arides et par l'ajout d'un matériau local qui est le sable de dune.

Les résultats obtenus et comparais avec d'autres études on montrée que pour le mélange de sable de dune (5%) avec le sable de construction est de bonne qualité pour la préparation du béton. En ce qui concerne la traction par flexion et la compression, on bien remarque que les meilleurs résultats sont dans les cas de 0%,10%,15%,20 % et 25%. Ces résultats vont avec ceux de plusieurs auteurs [**Isabelle FP., 2014**].

Ainsi, pour la porosité les résultats obtenus sont liés aux résultats précédents de la compression, que les résultats de compression sont bons, que les résultats de porosité elles sont même. Finalement l'augmentation d'ultrason que n'explique le phénomène par la compaction de béton. Donc on obtenus des bonnes résultats.

Notre travail n'est que la suite d'un travail précédent sur le mortier dont l'objectif est de voire l'effet de l'ajout du gravier (béton) sur les performeuses des éprouvettes. Il est aussi le point de dépend pour d'autre recherches sur le même thème (valorisation des déchets de poudre de verre et de sable de dune dans le domaine des constructions).

Pour cela et pour être plus efficace dans l'avenir, on recommande de varie le gravier utilisé pour la préparation du béton pour mieux connaitre l'influence de cette composante. On recommande de varie la quantité de sable de dune pour connaitre les effets sur les caractéristiques de mortier et de béton. En fin, on précuise de faire ce même travail dans d'autres conditions climatiques (aride, semi aride et humide).

Références bibliographiques

Références bibliographiques

AdelA., AbdelmoatyM.; 2016, utilization of Ali wastepowder in the production of cement and concrete.Construction and builmaterials.volume 124. Pages 866-877.

AiminXu and Ahmad shayam, "Value – added utilization of waste glass in concrete", Cement and concrete research, vol.34,81- 89,2004.

Anonyme ; 2004, TBA1110, Les granulats courants pour béton. *www.larousse.fr/dictionnaires/francais/granulat/37888.*

Anonyme ; 2003, Le ciment et ses applications. Chapitre 3 : les constituants des mortiers et bétons. Disponible sur :http://www.infociments.fr/telecharger/CT-G10.42-48.

Anonyme ; 2009, Hydratation du ciment Portland.

Barkat, A. 2006, Valorisation des déchets de brique dans la réalisation des ouvrages en béton (Doctoral dissertation, Université KasdiMerbah de Ouargla).

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.

Carpenter,A.J. and Cramer,C.M, " Mitigation of ASR in pavement patch concrete that incorporates highly reactive fine aggregate", Transportation Research Record 1668, Paper No. 99-1087,pp.60- 67,1999.

Chi sing lam, chi sun poon and Dixon chan, " Enhancing the performance of pre – cast concrete blocks by incorporating waste glass – ASR consideration", Cement and concrete composites, vol: 29pp, 616-625,2007.

Christopher cheeseman, " Production of sintered light weight aggregate using waste ash and other industrial residues", Belgium, 2011.

Chekireb_Sihem_MScA_2015.pdf (9.378Mb).

Dr.D.Govindara J.; 2013, studies on glass powder as partial remplacement of cement in concrete production, International journal ingeering and thecnologyAfrica.pages 153-157.

Références bibliographiques

E.P.A. 2017, Advancing Sustainable Materials Management: Facts and Figures, Environmental Protection Agency, United States.https://www.epa.gov/smm/advancingsustainable-materials-management-facts-and-figuresb

E.P.A. 2017, Advancing Sustainable Materials Management: Facts and Figures, Environmental Protection Agency, United States.https://www.epa.gov/smm/advancingsustainable-materials-management-facts-and-figures.

E.P.A. 2017, Hazardous Waste, Environnemental Protection Agency, 2017 United States. https://www.epa.gov/hw.

Federio.L.M and Chidiac S.E, " Waste glass as a supplementary cementitious material in concrete – Critical review of treatment methods", Cement and Concrtet Composites, vol,31,606-610,2001.

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.

IIkerbekirtopcu and mehmetcanbaz, " Properties of concrete with glass ", Cement and Concrete Research, vol:34,267-274,2004.

Jérome C.,2016, polymer cement composites containing waste perlite powder, Matoials, University of technology. Al amrilydowej 16. Warsaw 00-637. Poland.

Jin.W, Meyer.C, and Baxter.S, "Glasscrete – Concrete with glass aggregates", ACI Materials Journal, vol. 97.pp. 208-213, 2000.

Harris, R. P; 1972, Seasonal changes in the meiofauna population of an intertidal sand beach. J. mar. biol. Ass. UK, 52, 389-403.

Isabelle F.P., 2014, 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.

Références bibliographiques

Idir R. ; 2009, 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).

Gray JS. Ventilla RJ; 1971, Pollution effects on micro-and meiofauna of sand. Marine Pollution Bulletin, 2(3), 39-43https://www.futura/sciences.com/planete/definitions/geologie-sable-6009.

Kurtz JP.; 2004, *Dictionary of Civil Engineering*, Springer Science & Business Media, (lire enligne [archive]), p. 951.

Khelifa R., Rahim N., Muzahim A. ; 2004, 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.

Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, MacLeod et McGrath. 2004, Dosage et contrôle des mélanges de béton 7e édition, page 22.

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.

MalekBatayneh, Iqbal Marie, Ibrahim Asi, " Use of Selected waste Materials in Concrete Mixes", Waste Management, vol. 27, 2007.

C.Meyer, S.Baxter and W.Jin, " alkali – Aggregate Reaction in Concrete with waste Glass as Aggregate", Proceedings of the 4th Materials Engineering Conference : Materials for the new millennium, ASCE, Reston, V.A,pp.1388-1397, 1996.

Miller, e. w. 1993. Blendedcements-Applications and implications. Cement and Concrete Composites, vol. 15, no 4, p. 237-245.

Measson, m. 1981, Etude de l'activité pouzzolanique de matériaux naturels traités thermiquement, en vue de la réalisation de liants hydrauliques. Thèse de doctorat.

Nabil E.N., Sherzad I.I., Sanhay K.S., 2017, effect of glass powder on the compression strength and the workability of concrete, cogent engineringjournal.volume 4, Issue 1.

Références bibliographiques

Narayanan Neithalath, “ An overview of the benefits of using glass powder as a partial cement replacement material in concrete”, The Indian concrete journal, 9-18, 2011.

Narayanan Neithalath and Nathan Schwarz, “ Properties of Cast – in – Place Concrete and Precast Concrete Blocks Incorporating Waste Glass Powder”, The open Construction and Building Technology Journal, vol:3,42-51, 2009.

Norme Française P18-554, Déc. 1990,"Essai pour Analyse granulométrique de sable ", Edition AFNOR, Paris, 1990.

Norme Française NF P18 -304, Déc. 1990," Granulats - Modules de finesse" , Edition AFNOR, Paris, 1990.

Norme Française NF P 18 -598, Oct. 1991,"Granulats - Equivalent de sable", Edition AFNOR, Paris, 1991.

Norme Française NF P18-554, Déc. 1990," Granulats -Essai Masses volumiques ", Edition AFNOR, Paris 1990.

Norme Française NF P18-461, Déc. 1990," Granulats -Essai Composition Chimique", Edition AFNOR, Paris, 1990.

Norme Française NFP18-591, Déc. 1990," Granulats - Essai Propreté du gravier ", Edition AFNOR, Paris, 1990.

Norme Française NFP18-555, Déc. 1990" Granulats -Essai Coefficient d’absorption" , Edition AFNOR, Paris, 1990.

Norme Française NF P 18-561, Sep. 1990," Granulats -Essai d’aplatissement" , Edition AFNOR, Paris, 1990.

Norme Française NF P 18-573, Déc. 1990," Granulats - Essai Los Angeles", Edition AFNOR, Paris, 1990.

Norme Française NFP18-560, Sep .1990, "Essai Analyse granulométrique", Éditions AFNOR, Paris, 1990.

Norme Française NF P 18-572, Déc. 1990," Granulats -Essai micro-deval ", Edition AFNOR, Paris, 1990.

Références bibliographiques

Norme EN 196-3, fév 2001,"Essai de consistance de ciment", Edition AFNOR, Paris, 2001.

Norme européenne EN 196-3, fév 2001,"Essai de prise", Edition AFNOR, Paris, 2001.

Norme Française NF P 18-305, Déc. 1999, " Eau de Gâchage pour Béton", Edition AFNOR, Paris, 1999.

Norme Européenne NF EN 12350-2, Déc. 1999, "Essai pour Béton Frais –Partie

2: Essai d'Affaissement ", Éditions AFNOR, Paris, 1999.

Norme Européenne NF EN 12390-1, Oct. 2001, "Essai pour Béton Durci –Partie1: Forme, Dimensions et autres Exigences relatIIes aux Éprouvettes et aux Moules ", Éditions AFNOR, Paris, 2001.

Norme Française NF P 18-404, Déc. 1981, "Bétons – Essais d'Etude, de Convenance et de Contrôle –Confection et Conservation des Eprouvettes ", Edition AFNOR, Paris, 1981.

Norme Française NF P 18-407, Déc. 1981, "Bétons –Essai de Flexion ", Éditions

AFNOR, Paris, 1981.

Norme Européenne NF EN 12390-3, Fév. 2003, "Essai pour Béton Durci –Partie 3 : Résistance à la Compression des Éprouvettes ", Éditions AFNOR, Paris, 2003.

Norme Française NF P 18-418, Déc. 1989, "Béton –Auscultation Sonique, Mesure du Temps de Propagation d'Ondes Soniques dans le Béton", Éditions AFNOR, Paris, 1989.

Norme Française NF P 18-459, Déc. 1990, "Béton– Porosité", Éditions AFNOR, Paris, 1990.

Oluwarotimi M., JulinsM. ; 2017, 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.

Peiry; Kummer K. 2004, Pollution and transboundary transfer of potentially hazardous substances: concepts.UNSW. http://www.ecoconsult.ch/uploads/1144-IEL_Slide4_Pollution-hazwastes.pdf.

Références bibliographiques

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.

Richard Maillot ; 2001, Mémento technique des granulats, École des mines de Paris,

Rapport constitue une synthèse des résultats des essais ultrasoniques et scleromètrique conformément à la norme NF P18-417, NF 12504-4 et NF P18-417 en suite.

Samtur.H.R, “ Glass Recycling and Reuse,” university of Wisconsin, Madison Institute for Environmental Studies, Report No.17, March 1974.

Seung Bum Park and Bong-Chum Lee, “ studies on expansion properties in mortar containing waste glass and fibers”, Cement and concrete Research, vol:34,1145-1152, 2004.

Shekhawat, b. &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.

Sadiqul I., Rahman MH., NayemK. ; 2017, waste powder glass as partiel remplacement of cement for sustainable concrete practice, International journal of sustainable iul environment. Volume 6, Issue 1, page 37-44.

Yacine, c. et zahredine, n. 2006. Éléments de matériaux de construction et essais. Thèse de doctorat.

Zidol A. 2014, *Durabilité en milieux agressifs des bétons contenant de la poudre de verre*. Thèse de Doctorat, Université de Sherbrooke, Canada, 234 p.

Zeghichi L., Mezghiche B., MerzouguiA. ; 2007, L’influence de l’activation du laitier sur le comportement mécanique des bétons. Libanaise science journal, 8, N° 2, P 105 – 113.

Zainab Z., enas A., 2009, Recycling of wast glass as partial remplacementfon fine aggrergate in concrete, waste management, pages 665-659.

ANNEXE 1

MATINE
Ciment pour béton exigeant
CEM II/B 42,5 N NA 442

FICHE TECHNIQUE
Réf : DC/FT MT. v03

Analyses et caractérisation

Analyses chimiques	
Perte au feu (%), (NA 5042):	7,50 – 12,00
Résidus insolubles (%), (NA 5042):	0,7 – 2,00
Teneur en sulfates SO3 (%), (NA 5042):	2,00 – 2,70
Teneur en oxyde de magnésium MgO (%) :	1,00 – 2,20
Teneur en chlorures (%), (NA 5042):	0,01 – 0,05
Teneur équivalent en alcalis (%) :	0,3 – 0,75
Composition hypothétique du clinker (Bogue)	
Silicates tricalciques C3S (%) :	58 - 64
Silicates bicalciques C2S (%) :	12 - 18
Aluminates tricalciques C3A (%) :	6,00 – 8,00
Aluminoferrites tetracalciques C4AF (%) :	10,00 – 12,00
Propriétés physiques	
Consistance normale de la pâte de ciment (%) :	25 – 28,50
Finesse suivant la méthode de Blaine (NA 231) :	4150 – 5250
Retrait à 28 jours en µm/m	<1 000
Expansion en mm	0,3 – 2,5
Temps de prise à 20°C (NA 230)	
Début de prise (min)	140 - 195
Fin de prise (min)	195 - 290
Résistance à la compression (NA 234)	
02 jours (MPa)	≥ 10,0
28 jours (MPa)	≥ 42,5

Algerian Cement Company (SPA)
Hammam Dalaa, M'sila (ACC)
Tel: +213.35.50.78.20
Fax: +213.35.55.70.30

Direction générale
33, Rue des Pins, Hydra, Alger
Tél.: +213 (0) 21 48 16 65
Fax : +213 (0) 21 48 16 71

Ciment Blanc Algérien (SPA)
Usine Oggaz (CiBA)
BP 67, 29350, Mascara
Tél. / Fax : +213 (0) 45 84 88 98

LAFARGE لافارج

FICHE TECHNIQUE

Réf : DC/FT MT. v03

MATINE

Ciment pour béton exigeant

CEM II/B 42,5 N NA 442

MATINE est un ciment gris de hautes résistances initiales et finales, résultat de la mouture du clinker obtenu par cuisson jusqu'à la fusion partielle (clinkérisation) d'un mélange convenablement dosé et homogénéisé de calcaire et d'argile.

Ce ciment est constitué d'oxydes minéraux dont les principaux sont la chaux (CaO) à fonction basique et la silice (SiO^2) à caractère acide. On trouve également l'alumine (Al^2O^3) et le fer (Fe^2O^3). ils sont rendus aptes à réagir entre eux et avec l'eau par traitement thermique à des températures comprises entre 1300 et 1500°c. En présence d'eau a lieu la réaction d'hydratation consistant en la formation d'un réseau résistant (propriété hydraulique) constitué principalement de micro-cristaux de silicates de calcium hydratés.

MATINE présente des performances mécaniques et des caractéristiques physico-chimiques conforment à la norme NA 442, EN 197-1 et à la norme NF P 15-301/94.

Domaine d'utilisation :

MATINE est utilisé pour tous les projets de construction qui nécessitent de hautes résistances mécaniques mais qui ne présentent pas un besoin spécifique en bétons exposés à des conditions sévères comme l'attaque des sulfates du sol ou de l'eau, ainsi que dans les ouvrages dans lesquels le béton n'est pas affecté par le taux de chaleur d'hydratation du ciment.

Les principales applications de ce ciment sont :

- Secteur habitat (logements et d'autres constructions civiles) :
- Secteur travaux publics (tunnels, ponts, port, aéroport .etc.) :
- Secteur hydraulique (barrages, châteaux d'eau, stations d'épuration, stations de dessalement,. .etc.) ;
- Secteur industriel.

Algerian Cement Company (SPA)
Hammam Dalaa, M'sila (ACC)
Tel: +213.35.50.78.20
Fax: +213.35.55.70.30

Direction générale
33, Rue des Pins. Hydra. Alger
Tél.: +213 (0) 21 48 16 65
Fax : +213 (0) 21 48 16 71

Ciment Blanc Algérien (SPA)
Usine Oggaz (CIBA)
BP 67, 29350, Mascara
Tél. / Fax : +213 (0) 45 84 88 98

LAFARGE لافارج

MEDAFLOW 40HR

Superplastifiant - Haut réducteur d'eau / *Conforme à la norme EN 934-2*

DESCRIPTION

Le **MEDAFLOW 40 HR** est un superplastifiant très haut réducteur d'eau de la nouvelle génération. Il est conçu à base de polycarboxylates d'éther combinés et son utilisation dans le béton permet l'obtention d'un rapport E/C très bas et un maintien d'ouvrabilité remarquable.
Le **MEDAFLOW 40 HR** permet d'obtenir des bétons et mortiers de très haute qualité.
Le **MEDAFLOW 40 HR** ne présente pas d'effet retardateur.

CARACTERISTIQUES

- Forme ..... Liquide
- Couleur ..... Ocre clair
- pH ..... 5.5 - 6.5
- Densité ..... 1,10 ± 0,01
- Teneur en chlore ..... < 1g/L
- Extrait sec 42%

PROPRIETES ET EFFETS

Grâce à ses propriétés le **MEDAFLOW 40 HR** permet :

Sur béton frais :
- l'obtention d'un E/C très bas
- l'amélioration considérable de la fluidité
- une très bonne maniabilité
- un long maintien de l'ouvrabilité
- de faciliter la mise en œuvre du béton
- décoffrage rapide

Sur béton durci :
- d'augmenter les résistances mécaniques
- de diminuer la porosité
- d'augmenter la durabilité
- de diminuer le retrait

DOMAINES D'APPLICATION

- Bétons à hautes performances
- Bétons auto - plaçant
- Bétons auto - nivelant
- Bétons pompés
- Bétons précontraints
- Bétons architecturaux

DOSAGE

Plage de dosage recommandée :
0,5 à 2,0 % du poids de ciment.

Le dosage optimal doit être déterminé sur chantier en fonction du type de béton et des effets recherchés.

MODE D'EMPLOI

Le **MEDAFLOW 40 HR** est introduit dans l'eau de gâchage.
Il est recommandé d'ajouter l'adjuvant dans le béton après que 50 à 70% de l'eau de gâchage ait déjà été introduite.
Il est recommandé de réaliser des essais dans les conditions de chantier afin de déterminer le dosage fournissant les résultats recherchés.
Par temps chaud, le **MEDAFLOW 40 HR** peut être combiné à un retardateur de prise tel que **MEDARETARD GR.**

CONDITIONNEMENT ET STOCKAGE

Le **MEDAFLOW 40 HR** est conditionné en bidon de 11 kg et fût de 225 kg.

Délai de conservation :
12 mois dans son emballage d'origine, à l'abri du gel et de la chaleur (5°C < t < 35°C).

Les renseignements donnés dans cette notice sont basés sur notre connaissance et notre expérience à ce jour. Ils sont donnés à titre indicatif. Il appartient au client de s'assurer que le produit convient à l'utilisation envisagée.

Granitex
Zone industrielle Oued Smar – BP85 Oued Smar – 16270 Alger
Tél: 213 (0) 21 51 66 81 / 82 Fax: 213 (0) 21 51 64 22 / (0) 21 51 65 23
Site Web: www.granitex.dz - E-mail: granitex@granitex.dz

ANNEXE 2

E.S à visuel	E.S au piston	Nature et qualité du sable
ES< 65%	**ES<60%**	**Sable argileux :** risque de retrait ou de gonflement. Sable à rejeter pour des bétons de qualité ou vérification plus précise de la nature des fines par un essai au bleu de Méthylène
65%≤ES<75%	**60%≤ES<70%**	**Sable légèrement argileux de propreté admissible :** pour les bétons de qualité courante quand le retrait n'a pas de conséquence notable sur la qualité du béton
75%≤ES<85%	**70%≤ES<80%**	à faible proportion de fines argileusesconvenant parfaitement pour les bétons de haute qualité.
ES≥85%	**70%≤ES<80%**	**Sable très propre :** L'absence presque totale de finesargileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité dubéton qu'il faudra compenser par une augmentation dudosage en eau.

Tableau : les valeurs d'équivalent de sable indiquent la nature et qualité du sable.