

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL
N° :



DOMAINE : Science et techniques
FILIERE : Génie Civil
OPTION : Matériaux

*Mémoire présenté pour l'obtention Du diplôme de
Master Académique*

Par : RADJAI Oussama & BOUREZG Djamel

THEME :

**Effet Combiné des Fumées de Silice et des Fines de Verre
sur les Propriétés du Mortier à base de Sable de dune**

Encadré par :

Encadreur : **Dr. MAZA Mekki**

Co-Encadreur : **Dr. TEBBAL Nadia**

Année universitaire : 2018 /2019

ملخص: يهدف العمل المقدم إلى دراسة إمكانية استخدام رمل الكثبان ، الذي يوجد بكميات معتبرة في الجزائر، لإعداد ملاط ذا مواصفات وخصائص فيزيائية وميكانيكية كافية تؤهله لمختلف التطبيقات والاستخدامات في مجال بناء العمارات. تم تحسين التوزيع الحبيبي لرمل الكثبان عن طريق إضافة مسحوق الزجاج. تستند منهجية صياغة نسب مكونات الخلانط على استبدال رمل الكثبان بمسحوق الزجاج وفق نسب كتلية مختلفة ، كمية الاسمنت المضافة حددت ب 450 غ. و أظهرت النتائج المتحصل عليها أن إضافة هذا المسحوق تجعل الملاط أقل مسامية، وأكثر قدرة على مقاومة قوى الشد والضغط . كما أن إضافة غبار السيليكا تعطي أداء ميكانيكي جيد. هذا يدل على فعالية هذه الإضافات في تحسين خصائص الملاط المختلفة.

الكلمات المفتاحية: رمل الكثبان، غبار السيليكا، مسحوق الزجاج ، الملاط، قابلية التشكل، الخصائص الميكانيكية.

Résumé : Ce présent travail a pour objectif d'examiner l'aptitude d'utiliser le sable de dune qui se trouve de manière abondante dans l'Algérie, pour la confection des mortiers possédant des propriétés, physico-mécaniques suffisantes permettent de les exploiter aux diverses applications de la construction des bâtiments. L'amélioration de la granulométrie de sable de dune, qui est généralement mal étalée, a été faite par l'ajout des fines de verre. La formulation des mélanges se base sur la substitution de sable de dune par les fines de verre à différentes teneurs pondérales, La quantité de ciment est fixée à 450g. Les résultats obtenus montrent que l'introduction de fines de verre aux mélanges rend le mortier moins poreux et plus résistant quel que soit en traction ou en compression. L'addition de fumées de silice donner des bonne performances mécaniques. Ce qui démontre l'efficacité de ces ajouts à l'amélioration des différentes propriétés de mortier.

Mots clés : Sable de dune, fumées de silice, fines de verre, mortier, perméabilité, propriétés mécaniques.

Abstract: This work aims to examine the ability to use dune sand which is abundantly found in Algeria, for the manufacture of mortars with sufficient physico-mechanical properties allow to exploit them to various applications of building construction. The improvement of sand dune granulometry, which is usually poorly spread, was made by the addition of glass fines. The formulation of the mixtures is based on the substitution of dune sand by the glass fines at different contents by weight. The quantity of cement is fixed at 450 g. The results obtained show that the introduction of glass fines to the mixtures makes the mortar less porous and more resistant regardless of traction or compression. The addition of silica fumes give good mechanical performance. This demonstrates the effectiveness of these additions to the improvement of different mortar properties.

Key words: Dune sand, silica fumes, glass fines, mortar, permeability, mechanical properties.

REMERCIEMENT

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

Merci, «Dr. MAZA Mekki » et « Dr TEBBAL Nadia» qui ont encadré ce travail, pour leur disponibilité, ainsi que pour leurs soutiens tout au long de réalisation de ce projet, sans oublier leur gentillesse.

Nous remercions toutes personne qui nous a aidés de près ou de loin pour terminer notre travail.

Et toutes mes amies de la promotion « Matériaux de construction » juin 2019. Et tous mes enseignants du département de génie civil.

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION GENERAL	01
-----------------------------	-----------

CHAPITRE II ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

I.1. INTRODUCTION	04
I.2. LES MORTIERS	04
I.2.1 Les emplois des mortiers	04
I.2.2. Les différents types des mortiers	05
I.2.3 Méthode de préparation des mortiers	05
I.2.4 Les Constituants principales des mortiers de ciment	05
I.3 ADDITIONS MINÉRALES	11
I.3.1 Fumée de silice	11
I.3.2 Fine de verre	12
1.4 CARACTÉRISTIQUES DES MORTIERS	14
1.4.1 La maniabilité	14
1.4.2 Caractéristique mécanique des mortiers	15
1.4.3. La capacité d'absorption d'eau	17
I.5. CONCLUSION	17

CHAPITRE II : CARACTERISATION DES MATERIAUX UTILISEES

II.1. INTRODUCTION	19
II.2. CARACTERISATION DES SABLE ET FINE DE VERRE	19
II.2.1 Préparation de fine de verre	19
II.2.2. Propreté de sable de dune de Boussâada, M'sila	19
II.2.3. Modules de finesse	23
II.2.4. Masses volumiques	27
II.2.5. Porosité	31
II.3. LES FUMÉES DE SILICE	32
II.4. CONCLUSION CHAPITRE	33

CHAPITRE III : METHODES D'ESSAIS ET MATERIELS

III.1. INTRODUCTION	35
III.2. FABRICATION DES EPROUVETTES	35
III.2.1. Préparation des Compositions des éprouvettes	35
III.2.2. Préparation des moules	36
III.2.3. Le malaxage	37
III.2.4. Coulage des éprouvettes	38
III.2.5. Finissions des éprouvettes	38
III.2.6. Séchage des éprouvettes dans les moules	38
III.2.7. Conservation des éprouvettes	38
III.3. ESSAIS SUR LES MORTIERS FRAIS	39
III.3.1. Détermination de la quantité d'eau optimale (essai de maniabilité)	39
III.4. ESSAIS SUR LE MORTIER DURCI	40
III.4.1. Essai de traction par flexion	40
III.4.2. Essai de compression	41

CHAPITRE IV : RESULTATS ET DISCUSSIONS LISTE DES TABLEAUX

IV.1. INTRODUCTION	44
IV.2. PRESENTATION DES RESULTATS	44
IV.3. ESSAI DE MANIABILITE DES MORTIERS	45
IV.4. RESULTATS D'ESSAI DE RESISTANCE A LA TRACTION PAR FLEXION	47
IV.4.1. Effet de la substitution du sable de dune par fines de verre sans fumée de silice	47
IV.4.2. Effet de l'ajout de fumée de silice sur la résistance à la traction du mortier	48
IV.5. ESSAI DE RESISTANCE A LA COMPRESSION	50
IV.5.1 Influence de la substitution du sable de dune par les fines de verre	51
IV.5.2 Influence de l'ajout de la fumée de silice	51
IV.5.3. Détermination de la meilleure composition	52

LISTE DES TABLEAUX

Tableau (I.1) : Quantité des composants de ciment	07
Tableau (I.2) : composition chimiques de la fumée de silice	09
Tableau (I.3): Capacité de recyclage	11
Tableau (II.1) : les valeurs obtenues de l'essai d'équivalent de sable	22
Tableau (II.2): les valeurs d'équivalent de sable indiquent la nature et qualité du sable.	22
Tableau (II.4): Résultats d'analyse granulométrique du sable de dune de Bousaada	25
Tableau (II.5): Résultats d'analyse granulométrique fine de verre	26
Tableau (II.6): Masse volumique absolue de sable de dune de Boussâada	28
Tableau (II.7) : Masse volumique absolue du fine de verre	28
Tableau (II.8): Masse volumique absolue du sable mixte	29
Tableau (II.9): Masse volumique apparente sable de dune	30
Tableau (II.10): Masse volumique apparente de verre	30
Tableau (II.11): Masse volumique apparente du sable mixte	31
Tableau (II.12): Porosité de sable mixte	31
Tableau (II.13): les composants chimique de MEDAPLAST HP	33
Tableau (II.14): caractéristiques générales de MEDAPLAST HP	33
Tableau (II.12): Porosité de sable mixte	
Tableau (III.1): Proportions des compositions des éprouvettes	36
Tableau IV.1 : Nomination des mortiers et leurs compositions	44
Tableau (IV.2) : Résultat de l'essai de maniabilité	45
Tableau (IV.3) : Résultats d'essai de résistance à la traction par flexion	47
Tableau (IV.4) : Résultats d'essai de résistance à la compression.	50

LISTE DES FIGURES

Figure(I.1) : les étapes de fabrication de ciment	07
Figure (I.2): la barkhane	09
Figure (I.3) : fumée de silice	11
Figure (I.4): Processus de transformation de déchets de verre	13
Figure (II.1) : machine à secouer électrique	20
Figure (II.2) : Essai d'équivalent de sable	22
Figure (II.3) : Tamis et tamiseur électrique	24
Figure (II.4): Courbe granulométrique d'un sable de dune	25
Figure (II.5): Courbe granulométrique d'un sable de dune	26
Figure (II.6): Courbe granulométrique des sables mixtes	27
Figure (II.7) : éprouvette graduée de la détermination de la masse volumique absolue.	28
Figure (II.8): Essai de détermination de la masse volumique apparente	30
Figure (II.9): Courbe porosités	32
Figure (III.1): balance électronique et différents matériaux utilisés	35
Figure (III.2): moules (4x4x16) cm ³	36
Figure (III.3): malaxeur électrique	37
Figure (III.4): la table à chocs	38
Figure (III.5): la table à chocs	38
Figure (III.6) : Mesure de l'affaissement du mortier.	39
Figure(III.7) : l'essai de résistance { la traction par flexion	40
Figure(III.8) : L'appareil de l'essai de traction par flexion	41
Figure(III.9) : l'essai de compression	42
Figure(III.10) L'appareil de l'essai de compression	42
Figure(IV.1) : Variation du rapport E/C	43
Figure(IV.2) : Evolution de la résistance à la traction par flexion dans le temps (jours)	47
Figure IV.3. Résistance à la traction du mortier en fonction de fines de verre	48
Figure(IV.4) : La résistance à la traction par flexion Dans l'ordre décroissant.	49
Figure(IV.5) : Résultat d'essai de résistance à la compression en fonction des périodes (jours)	50
Figure IV.6 : variation de la résistance en compression en fonction des fines de verre	51
Figure(IV. 7) : La résistance à la compression Dans l'ordre décroissant	52

LISTE DES SYMBOLES ET ABREVIATIONS

p_{app} : La masse volumique apparente.

p_{abs} : La masse volumique absolue.

E.S.V : Equivalant de sable visuel.

E.S.P : Equivalant de sable piston.

A(%) : Capacité d'absorption.

P(%) : Porosité.

E/C : Rapport d'eau (par rapport du ciment).

R_i : refus cumulé en pour cent (%).

M_f : Module de finesse.

S : Section de l'éprouvette.

F : Charge maximal à la compression.

R_c : la résistance à la compression.

R_f : résistance à la flexion.

C : ciment,

SD : sable de dune,

FV : fines de verre,

SM : sable mixte,

FS : fumé de silice

INTRODUCTION

GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

En Algérie, la plupart des bétons courants sont actuellement fabriqués avec des granulats siliceux alluvionnaires. Face à une demande fort croissante, les ressources potentielles en alluvions, bien qu'importantes, sont épuisables et les gisements sont soumis à des contraintes environnementales de plus en plus rigides faisant croître leur coût d'exploitation déjà élevé. Tous ces facteurs incitent les acteurs du secteur du génie civil à rechercher la valorisation d'autres matériaux locaux de substitution qui soient aptes à fournir, si possible, des bétons de qualité équivalente aux bétons ordinaires.

Dans notre pays, malgré l'abondance de sable de dune dans le sud, ce matériau reste inconnu. Sa quantité se chiffre en milliards de m³. Il est disponible dans près de 60% du territoire. Certaines de ses caractéristiques physico-chimiques laissent penser qu'il pourrait être adopté en tant que matériau de construction : indice de propreté élevé et absence dans sa composition de matières organiques et autres matières indésirables telles que les sulfates, sulfures ou carbonates. [16].

Le verre constitue une composante importante des ménages et des déchets industriels en raison de son poids et de sa densité. La composante de verre dans les déchets municipaux est généralement constituée de bouteilles cassées, verrerie, des ampoules et autres articles. Aussi de nombreuses méthodes manuelles de création d'objets en verre ont un taux de défektivité de l'ordre de quarante pour cent.

Plusieurs études ont été effectuées sur les mortiers afin de savoir leurs formulations et de déterminer leurs caractéristiques et leurs comportements rhéologique ces études ont pu prouver que le mortier à base de sable de dune pourrait remplacer avantageusement le mortier ordinaire dans certains secteurs du bâtiment et des travaux publics.

OBJECTIF

L'objectif de ce travail est l'étude de l'effet Combiné des fumées de silice et des fines de verre sur les propriétés du mortier à base de sable de dune et déterminé les meilleures proportions des additifs, pour la contribution à la valorisation de sable de dune le recyclage de déchets de verre.

STRUCTURE DU MEMOIRE

Notre mémoire est structuré en une introduction générale, quatre chapitres et une conclusion générale.

Introduction générale.

Chapitre I: Etude bibliographique

Chapitre II: Caractéristiques des matériaux utilisés

Chapitre III: Méthodes d'essais et matériels

Chapitre IV: Résultats et interprétations

Conclusion générale

CHAPITRE I :

ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

I.1. INTRODUCTION :

Dans ce premier chapitre de notre étude nous allons donner une présentation générale. Nous allons également donner un aperçu sur les mortiers. Nous nous sommes surtout basé sur leurs applications dans la construction, les différents types et les principales caractéristiques.

I.2. LES MORTIERS :

Une construction est généralement réalisée par éléments, dont il faut assurer la liaison ou qu'il faut protéger par un revêtement. On doit alors effectuer des scellements ou divers travaux de reprise, de bouchage, etc. Toutes ces opérations se font à l'aide d'un liant toujours mélangé à du sable, de l'eau – et éventuellement un adjuvant pour obtenir un « Mortier », qui se distingue du béton par l'absence de gravillons. [1]

I.2.1 Les emplois des mortiers :

I.2.1.1 Les joints de maçonnerie : La construction réalisée en éléments maçonnés (blocs de béton, pierres de taille, briques), nécessite leur assemblage avec un mortier qui doit présenter des caractéristiques mécaniques suffisantes pour assurer la transmission des charges et une compacité suffisante pour être étanche. On a généralement intérêt à utiliser des mortiers ne présentant pas un module d'élasticité trop élevé, de façon à pouvoir s'adapter aux variations dimensionnelles des éléments qu'il lie sans fissurer. Les mortiers de joints constituent donc un maillon important de la maçonnerie, qui doit être bien étudié et bien mis en œuvre pour assurer la fonction qui lui est dévolue. C'est notamment le cas de la maçonnerie apparente. La norme XP P 10-202-1 « DTU 20.1. Ouvrage en maçonnerie de petits éléments. Parois et murs. » fournit des indications sur les dosages préconisés pour les mortiers de jointoiement, ainsi que les préconisations pour leur mise en œuvre. [1]

I.2.1.2 Les enduits : Ce domaine d'application, qui constitue l'un des plus vastes débouchés des mortiers. Rappelons simplement qu'à côté des enduits traditionnels en trois couches décrits dans la norme NF P 15-201 (DTU 26.1), se développent aujourd'hui les enduits monocouches épais, ainsi que les enduits isolants considérés encore comme non traditionnels. Ces produits font l'objet d'une procédure d'Avis technique par le CSTB. [1]

I.2.1.3 Les chapes : Les chapes ont pour fonction d'assurer la mise à niveau du dallage et la régularité de sa surface. Les chapes peuvent constituer la finition: on y incorpore alors souvent des produits spécifiques. Elles peuvent aussi constituer le support d'un revêtement de sol. Les chapes doivent présenter une résistance suffisante pour assurer la transmission des charges au support, et parfois résister à l'abrasion ou au poinçonnement (sols industriels). Adhérente ou flottante, la chape peut également avoir une fonction thermique ou acoustique. Ces ouvrages sont décrits dans la norme NF P 14-201 « DTU 26.2. Travaux de bâtiment. Chapes et dalles à base de liants hydrauliques. ». [1]

I.2.1.4 Les scellements et les calages : La multiplicité des problèmes de scellement et de calage a conduit les producteurs de mortiers industriels à mettre au point des produits spécifiques adaptés aux travaux à réaliser: scellements d'éléments de couverture, scellements d'éléments de second œuvre, scellements de mobiliers urbains, scellements de regards de visite, assemblage d'éléments préfabriqués. [1]

I.2.3. Les différents types des mortiers :

Dans les travaux publics on utilise différents types de mortier :

I.2.3.1. Les mortiers de ciment : Les mortiers de ciments sont très résistants, prennent et durcissent rapidement. Le dosage du rapport entre le ciment et le sable est en général volumétrique de 1/3 et le rapport de l'eau sur ciment est environ 1/2. De plus, un dosage en ciment les rend pratiquement imperméables. [6]

I.2.3.2. Les mortiers de chaux : Les mortiers de chaux sont moins résistants par rapport aux mortiers de ciment (gras et onctueux). La durée du durcissement des mortiers de chaux est plus lente que pour les mortiers de ciments. [6]

I.2.2.3. Les mortiers bâtards : Ce sont les mortiers, dont le liant est le mélange de ciment et de chaux. Généralement, on utilise la chaux et le ciment par parties égales, mais des fois on prend une quantité plus ou moins grande de l'un ou l'autre suivant l'usage et la qualité recherchée. [6]

I.2.4 Méthode de préparation des mortiers :

I.2.4.1 Les mortiers fabriqués sur le chantier : L'entreprise qui fabrique sur le chantier son mortier doit choisir correctement le liant en fonction de son type et de sa classe, le ou les sables, la teneur en eau (pour obtenir la plasticité désirée) et les adjuvants adaptés à la destination du mortier. Les sables utilisés sont généralement siliceux ou silico-calcaires; leur granulométrie est de préférence continue. Les dosages se feront en poids plutôt qu'en volume comme c'est souvent le cas, afin d'éviter les erreurs de dosage, par suite de l'augmentation de volume du sable humide (foisonnement). [1]

I.2.4.2 Les mortiers industriels secs pré-mélangés : Comme la plupart des produits industriels, ces mortiers font l'objet de contrôles à tous les stades de leur élaboration par le fabricant, ce qui constitue pour l'utilisateur une sécurité. Les autres avantages présentés par ces produits sont les suivants:

- pré-dosage de composition constante, garant de régularité et de qualité;
- pas d'approvisionnement et de stockage sur place des constituants (sables, liants, adjuvants);
- perte de temps limitée (appréciable dans le cas de travaux à effectuer rapidement et lorsque la place fait défaut);
- chantiers plus propres. [1]

I.2.4.3 Les mortiers frais retardés, stabilisés, prêts à l'emploi : Depuis quelques années est apparue une nouvelle génération de mortiers livrés par les centrales de béton prêt à l'emploi, les mortiers frais retardés et stabilisés. Du fait qu'ils sont retardés, ces mortiers peuvent être livrés et stockés en quantité importante. On peut les utiliser dans un délai allant jusqu'à 24 heures sans avoir le souci de préparer de nombreuses petites gâchées. Très maniables et homogènes, ils possèdent des résistances très largement suffisantes pour les travaux auxquels ils sont destinés: maçonnerie et jointoiement. Lorsqu'ils sont étalés en couche mince, la prise de ces mortiers est accélérée (effet d'absorption d'eau par le support et perte par évaporation). [1]

I.2.4.4 Les mortiers de fibres : L'incorporation de fibres de verre ou de polypropylène permet d'obtenir des mortiers présentant une cohésion supérieure et moins fissurables.

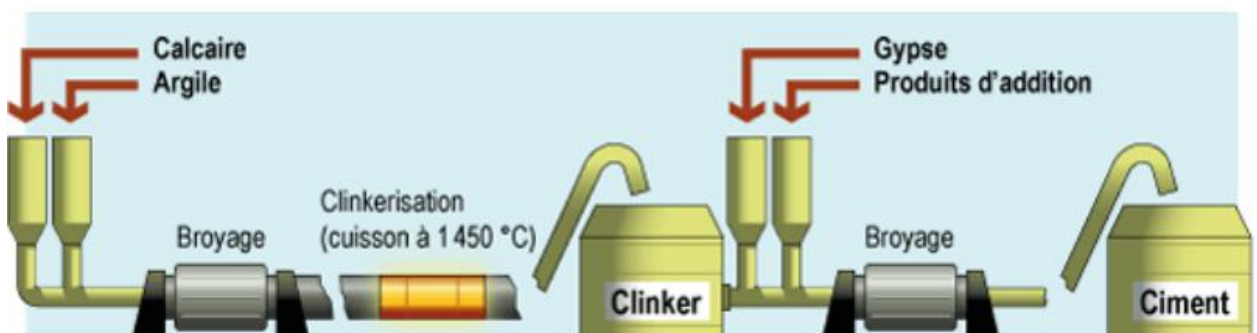
Ce sont soit des mortiers pré-mélangés, livrés en sac, soit des mortiers prêts à l'emploi, livrés par certaines centrales. [1]

I.2.5 Les Constituants principales des mortiers de ciment : Classiquement, un mortier est un mélange simple de liant (ciment), de sable et d'eau.

I.2.5.1 CIMENT:

I.2.5.1.1 Fabrication :

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. Un appareil est placé à l'extrémité inférieure du four pour que la température soit comprise entre 1450 et 1650 °C. Une telle température provoque la fusion partielle des matériaux et transforme chimiquement les matières premières en clinker de ciment. Le clinker se retrouve sous forme de billes ayant un diamètre de 3 à 25 mm. Par la suite, le clinker est refroidi et broyé, puis on ajoute une faible quantité de gypse (environ 3 % de la masse de ciment) pour contrôler la prise du ciment. Le produit ainsi obtenu constitue le ciment Portland. [7]



Figure(I.1) : les étapes de fabrication de ciment

I.2.5.1.2 Composition chimique du ciment portland :

Les principaux oxydes qu'on trouve dans le ciment Portland sont donnés dans le tableau présenté ci-dessous :

Tableau (I.1) : Quantité des composants de ciment [7]

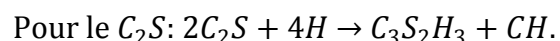
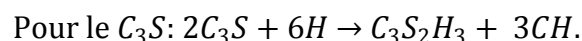
Elément	Chaux CaO	Silice SiO ₂	Alumine Al ₂ O ₃	Oxyde de fer Fe ₂ O ₃	Oxyde de sodium Na ₂ O	Oxyde de potassium K ₂ O	Oxyde de soufre SO ₃	La magnésie MgO
Quantité%	58-67	16-26	4 – 8	2 – 5	0-1	0-1	0,1-0,5	1-5

I.2.5.1.3 L'hydratation du ciment : [20]

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.

- **Hydratation des silicates :** Au contact de l'eau, les silicates tricalciques (C_3S) et les silicates bicalciques (C_2S) se dissolvent sous forme d'ions Ca^{2+} , OH^- et $H_2Si_4^2$. qui interagissent entre eux et forment des silicates de calcium hydratés ($C - S - H$) et de la portlandite ($Ca(OH)^2$). Ces réactions sont exothermiques et peuvent servir de catalyseur à la réaction d'hydratation. Dans le cas du C_2S , la cinétique d'hydratation est plus lente et la quantité de Portlandite formée est plus faible. [20]

À titre indicatif, les équations des réactions d'hydratation des silicates peuvent s'écrire :



- **Hydratation des aluminates :** L'aluminate tricalcique est le composé du ciment le plus réactif avec l'eau. C'est parce que l'hydratation des aluminates est très

- rapide que les cimentiers ajoutent du sulfate sous forme de gypse au clinker pour contrôler ces réactions .
- **Hydratation de L'aluminoferrite tétracalcique C_4AF** : Le C_4AF réagit avec le gypse avec un mode semblable que celui de C_3A , mais dans ce cas, la réaction est beaucoup plus lente. La réaction d'hydratation du ciment combine les réactions d'hydratation des principaux composants du clinker et, éventuellement, celles de
- ses composants secondaires. Cependant, les réactions sont plus complexes du fait des interactions chimiques et thermiques qui se produisent au cours du processus d'hydratation et du fait des impuretés présentes dans la solution solide qui influencent beaucoup l'hydratation de chaque phase.

I.2.5.2 Sable de dune :

I.2.5.2.1 Mécanismes de formation : Les dunes se forment dans des zones où le sable est riche et non fixé par la végétation (désert, plage, lit fluvial à l'étiage). Il est transporté aux ras du sol par saltation, puis s'accumule quand la compétence du vent chute (versant sous le vent). Une dune peut se déplacer par érosion du versant au vent et accumulation sur le versant opposer. [7]

I.2.5.2.2 Physique des dunes :

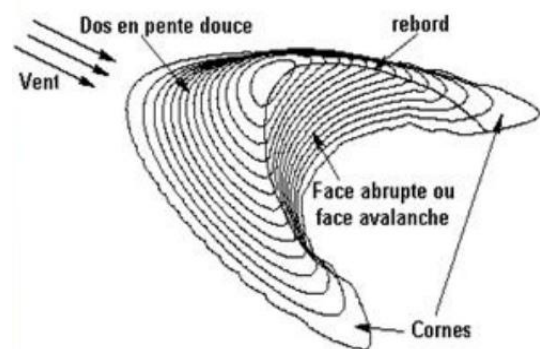


Figure (I.2): la barkhane [7]

Une barkhane est une dune de la forme d'un croissant allongé dans le sens du vent. Elle apparaît là où l'apport de sable est faible et sous des vents unidirectionnels. Le vent fait rouler le sable pour qu'il remonte la pente du dos de la dune jusqu'à la crête et vienne former de petites avalanches sur le versant plus pentu du front. Les dunes les plus

simples ont une forme de croissant et portent le nom arabe de barkhane. Elles se forment dans des conditions particulières avec des volumes de sable limités et se déplacent sur un substrat stable sous l'action d'un vent qui vient toujours de la même direction. Leur crête sépare le dos de la dune, incliné de 5 à 20° et le front nettement plus raide (32 à 35°) qui se prolonge par deux cornes dans la direction du vent. [18]

I.2.5.2.3 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. [18]

I.2.5.2.4 Classification des sables : On peut classer les sables selon trois paramètres dont

- **Granulométrie** Elle permet de séparer les sables en trois catégories :
 - **Sables fins** : plus de 75% des éléments supérieurs à 80µm, sont inférieurs à 0,5mm. Ces sables doivent être notablement corrigés pour acquérir des propriétés comparables à celles des graves.
 - **Sables moyens** : Moins de 20% des éléments sont supérieurs à 2mm et plus de 50% des éléments supérieurs à 80µm sont compris entre 0,2 et 2mm.
 - **Sables grossiers** : Plus de 20% des éléments sont supérieurs à 2mm et plus de 50% des éléments supérieurs à 80µm sont compris entre 0,5 et 5mm. Ces sables ont des propriétés qui se rapprochent des graves.

- **Propreté** : La propreté d'un sable est une caractéristique déterminante ; elle est appréciée soit par l'essai d'équivalent de sable, soit l'essai au bleu de méthylène. Afin de donner des limites pour chaque type de sable, le deuxième essai est plus
- précis, car il est réalisé sur la totalité du sable en écrétant toute fois le matériau à 6,3mm. Le résultat obtenu doit être exprimé en gramme de bleu. Pour 100
- grammes de sable, la valeur de bleu de méthylène est notée VBS, Dans cette classification, on distingue quatre (04) catégories définies comme suit:
 - $VBS < 0,2$: sable propre
 - $0.2 < 0,4$: sable légèrement pollué.
 - $0.4 < VBS \leq 1$: sable très pollué.
- **Nature minéralogique** : En général, les sables peuvent être classés comme suit:
 - Sables siliceux.
 - Sables silico-calcaires.
 - Sable calcaires. [9]

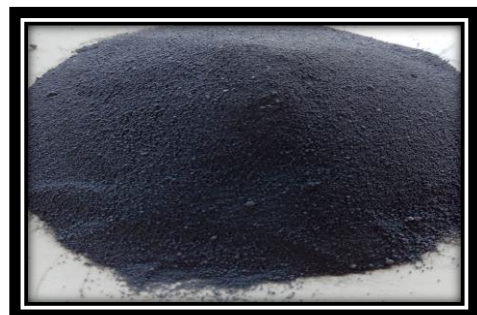
I.2.5.3 L'eau de gâchage : L'eau de gâchage est la quantité totale d'eau que l'on utilise pour faire le béton ou mortier .il joue deux fonctions principales :

- 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.

En sachant le rôle de l'eau dans le mortier on peut dire que toutes les eaux ne peuvent être utilisé pour gâcher du mortier parce qu'elles contiennent, dans certains cas, un excès d'impuretés qui détériorent les propriétés physiques et mécaniques (prise et consistance), les propriétés esthétiques (tache, efflorescences), la durabilité (corrosion des armatures, stabilité du mortier).

I.3 Additions minérales :

I.3.1 Fumée de silice : Les fumées de silice sont des particules très fines (taille moyenne des grains environ $1 \mu\text{m}$) présentant une très forte teneur en silice amorphe. Elles proviennent de la réduction de quartz de grande pureté par du charbon dans les fours à arc électrique utilisés pour la production de silicium et d'alliage Ferro silicium. [17]



Figure(I.3) : fumées de silice

Tableau (I.8) : composition chimiques de la fumée de silice.

composés	Silicium (grise)	Ferrosilicium (grise)	Blanch
S_iO_2	93.7	87.3	90
Al_2O_3	0.6	1.0	1.0
C_aO	0.2	0.4	0.1
Fe_2O_3	0.3	4.4	2.9
M_gO	0.2	0.3	0.2
Na_2O	0.2	0.2	0.9
K_2O	0.5	0.6	1.3
Pertes au feu	2.9	0.6	1.2

I.3.2 Fine de verre

I.3. 2.1 Definition de verre

Le dictionnaire indique que le mot verre vient du mot latin vitrum qui désigne une substance minérale transparente et isotrope.

le verre est un solide obtenu par figeage d'un liquide qui n'a pas été cristallisé limite le terme verre aux seuls produits obtenus par refroidissement d'un liquide.

Au sens chimique et physique, le verre n'est pas un solide, mais plutôt un liquide solidifié. Les molécules sont totalement désordonnées et ne forment pas de réseau cristallin. [19]

I.3. 2.2 Le recyclage du verre

Le verre constitue une composante importante des ménages et des déchets industriels en raison de son poids et de sa densité. La composante de verre dans les déchets municipaux est généralement constituée de bouteilles cassées, verrerie, des ampoules et autres articles. Aussi de nombreuses méthodes manuelles de création d'objets en verre ont un taux de défektivité de l'ordre de quarante pour cent.

Le recyclage du verre est le processus de transformation de déchets de verre en produits utilisables (figure I.1). Pour ce faire, les déchets de verre doivent être séparés

par leur composition chimique (séparés en différentes couleurs) car le verre conserve sa couleur après le recyclage, et ensuite, en fonction de l'utilisation finale et les capacités

locales de transformation. Cette procédure permet d'utiliser moins d'énergie que la fabrication du verre à partir de sable, de chaux et de soude. [3]

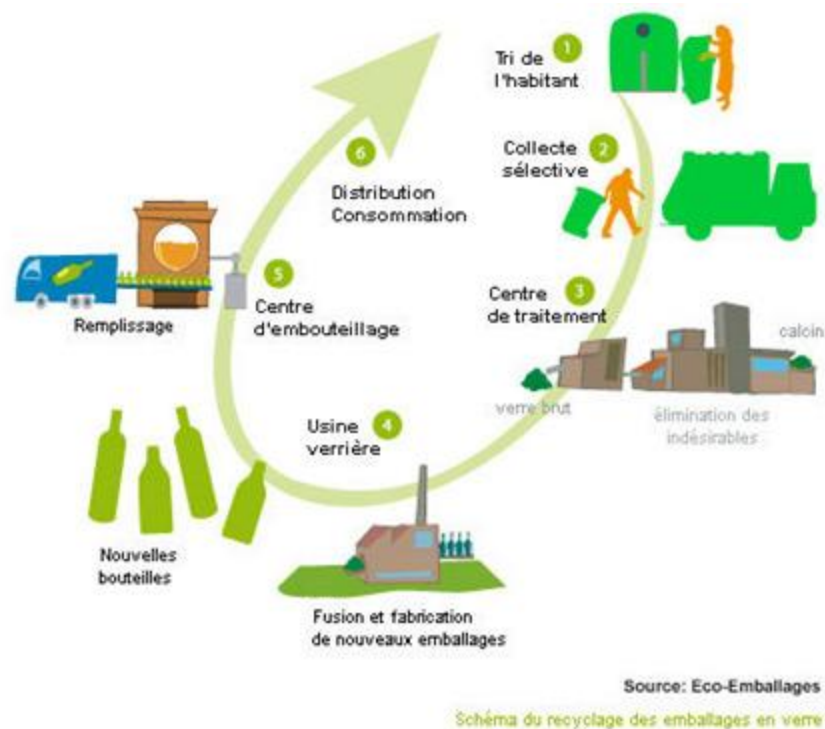


Figure (I.4): Processus de transformation de déchets de verre [4]

I.3. 2.3 Recyclage du verre en Algérie :

La composition des déchets solides produits en Algérie se caractérise par une part très significative des produits organiques avec un taux moyen de 72%. Quant au plastique, il ne représente que 10% de ces déchets et 9,3 % pour le papier/carton, 4,14% pour le chiffon et autres, 3,2% pour les métaux et 1,36% pour le verre. La capacité de recyclage de ces déchets est donnée dans le (tableau I.2).[5]

Tableau (I.2): Capacité de recyclage[3]

Nature des déchets	Quantité en tonne/ an
Papier	385.000
Plastique	130.000
Métaux	100.000
Verre	50.000
Matières diverses	95.000
Total	760.000

I.3. 2.4 Domaines de recyclage des déchets de verre : Le recyclage du verre d'emballage possède de nombreux avantages, et celui notamment d'être utilisé à l'infini. Le verre après broyage peut être réutilisé sous plusieurs formes dans plusieurs secteurs d'activité. La construction : il remplace les gravillons qu'on peut trouver dans les parpaings, et possède des qualités d'acoustique et de légèreté.

L'abrasion : les microbilles de verre pour traiter des surfaces sans les endommager ou la poudre de verre afin de préparer des surfaces à travailler, et les billes de verre pour le broyage Les pigments pour la peinture : dans les enduits pour un effet esthétique particulier ou dans la peinture pour la signalisation routière. Les matériaux de décoration : dans les roches décoratives pour la mosaïque par exemple Le nettoyage : par la libération de soude et de potasse, ainsi que grâce à ses microparticules, qui possèdent des qualités de détergents. [3]

1.4 Caractéristiques des mortiers : Les caractéristiques principales des mortiers sont:[8]

1.4.1 La maniabilité : est une qualité essentiel du béton ; elle peut se définir comme la facilité offerte à la mise en œuvre du béton pour remplissage parfait du coffrage et du ferrailage . L'ouvrabilité du béton dépend de la toute une série de facteurs : Genre de ciment teneur à l'eau et en mortier de ciment, grosseur des agrégats, contenu de sable. Les bétons de même composition, mais avec des ciments différents ont une fluidité (ouvrabilité) différent, ceci s'explique par le fait que le besoin en eau des ciments

varie de l'un à l'autre. La fluidité du mélange de béton croit avec l'augmentation de la qualité d'eau. Au fur et à mesure de l'augmentation de la teneur en pâte de ciment la fluidité du mélange de béton croit elle aussi, si la teneur en pâte de ciment est plus haute, la pâte non seulement remplit les vides et enrobe les grains des agrégats, mais elle écarte également les uns des autres, en créant entre eux des couches abondantes qui diminuent le frottement entre les grains ceci provoque l'augmentation de la fluidité. Si les agrégats sont plus gros, la somme de la surface est moindre, par conséquent, pour une même qualité de pâte de ciment. Les couches intermédiaires entre les grains des agrégats se trouvent plus épaisses ce qui rend le mélange de béton plus fluide. L'augmentation de la quantité de sable au-dessus de la quantité optimale déterminée par la pratique, diminue la fluidité de la pâte par suite de l'accroissement de la surface totale des agrégats. La forme des grains influe aussi sur la fluidité : la surface des grains étant arrondie et lisse, la surface totale et le frottement entre eux sont plus petites que les formes angulaires et la surface rugueuse. Donc, le mélange de béton au gravier et au sable roulé est plus fluide que le mélange formé de pierre concassée et de sable d'arène. Il existe de nombreux essais et tests divers pour la mesure de certaines caractéristiques dont dépend l'ouvrabilité. Nous n'en citerons que quelques uns, les plus couramment utilisés dans la pratique.

1.4.2 Caractéristique mécanique des mortiers : La résistance mécanique de mortier après durcissement dépend du rapport eau/ciment. Cette résistance mécanique est caractérisée par sa classe de résistance à la rupture par compression et traction par flexion.

1.4.2.1 Résistances mécaniques : Les essais sont souvent effectués sur les éprouvettes prismatiques de 4x4x16cm conservés dans l'eau à 20°C. Les éprouvettes sont rompues en traction par flexion puis en compression. Les résistances, aussi bien en traction par flexion qu'en compression, progressent à peu près comme logarithme du temps (entre 1 et 28 jours). Les résistances des mortiers dépendent de très nombreux facteurs:[1]

- Nature et dosage en ciment.
- Rapport E/C
- Granulométrie et nature du sable.

- Energie de malaxage et mise en œuvre.
- Protection des premiers jours.

1.4.2.1.1 Résistance à la compression : L'essai de compression consiste à soumettre une éprouvette de forme prismatique, placée entre les plateaux d'une presse, à deux forces axiales opposées. [21]

1.4.2.1.2 Résistance à la flexion : L'essai de flexion permet également de mesurer la résistance à la rupture d'un matériau. Une barrette du matériau à tester est placée sur deux appuis et l'on applique au centre de la barrette une force croissante jusqu'à rupture.

1.4.2.1.3 Résistance à la traction : La résistance à la traction à 28 jours est désignée par f_{c28} , plusieurs essais peuvent être réalisés.

a)-En traction directe : La mesure se fait par mise en traction de cylindres identiques aux précédents mais l'essai est assez délicat à réaliser car il nécessite, après sciage des extrémités, le collage des têtes de traction parfaitement centrées, l'opération devant avoir lieu sans aucun effort de flexion parasite.

b)-En traction par fendage : L'essai consiste à écraser un cylindre de béton suivant deux génératrices opposées entre les plateaux d'une presse.

c)-En traction par flexion : C'est l'essai le plus couramment utilisé. La résistance est mesurée par flexion 3 ou 4 points sur des éprouvettes prismatiques de côté a et de longueur $4a$. [2]

1.4.2.1.4 Module d'élasticité : La valeur du module tangent à l'origine peut être évaluée par la formule ci-après :

$$E_{ij} = 1750 \sqrt{\rho_s^3} \cdot \delta_j'$$

ρ_s : est la masse volumique en kg/m^3 ;

δ_j' : la résistance caractéristique en (MP).

III.4.3. La capacité d'absorption d'eau :

Il est couramment admis que le comportement mécanique d'un matériau à matrice cimentaire dépend de sa porosité ; plus un matériau est compact, plus sa

résistance attendue va être élevée. Dans cette étape de notre étude nous avons voulu suivre l'évolution de la capacité d'absorption d'eau (qui donne une indication sur la porosité), en fonction du taux de participation des fines. Pour cela, nous avons mesuré la capacité d'absorption d'eau suivant la procédure décrite ci-après. Cette méthode consiste à mesurer la quantité d'eau nécessaire pour saturer un corps poreux. [9]

a- Définitions :

Masse volumique apparente sèche : rapport de la masse sèche d'un corps à son volume apparent, exprimé en g/cm³ ou Kg/m³.

Volume apparent : somme des volumes de matière solide, des pores ouverts et des pores fermés dans un corps poreux.

Pores ouverts : pores qui sont pénétrés par l'eau.

Pores fermés : pores qui ne sont pas pénétrés par le liquide de d'immersion.

Porosité accessible à l'eau : rapport du volume total des pores ouverts dans un corps poreux à son volume apparent. Elle s'exprime en pourcentage.

I.5. Conclusion : Cette partie de l'étude bibliographique a permis de nous donner une idée sur les principaux éléments constituant notre axe de travail, notamment ce qui concerne les mélanges cimentaires à base de sable de dune. Ces connaissances sont considérées très importantes pour mieux analyser notre étude de recherche, plus particulièrement en ce qui concerne la partie expérimentale de notre étude.

CHAPITRE II :

CARACTERISATION DES MATERIAUX UTILISEES

II.1. Introduction:

Dans ce chapitre nous avons essayé de déterminer les différentes caractéristiques des matériaux utilisés, entrant dans la composition des mortiers à confectionner et cela par des essais au laboratoire, ces matériaux sont :

- Sable de dune de Boussâada, M'sila.
- Fine de verre de déchets de vitres .
- Fumé de silice
- Le ciment CPJ – CEM II/B 42,5 R NA 442.
- Eau de gâchage (l'eau de robinet du laboratoire).

II.2. CARACTERISATION DES SABLE ET FINE DE VERRE:

Comme le fine de verre est granuleux comme du sable, nous pouvons identifier les propriétés du sable, du verre et du mélange de la même manière.

II.2.1 Préparation de fine de verre : Les verres utilisés dans notre travail sont de déchets de verre des vitres.

- a- lavage et élimination des impuretés:** Avant leur utilisation, ils sont soumis à des lavage et élimination des impuretés, et laisse ces déchets à l'aire libre pour le séchage.
- b- Broyage :** Premièrement on concasse les déchets de verre manuellement, ensuite, nous mettons les déchets à l'intérieur du machine MICRO DEVAL pour les broyer à des fines de verre.
- c- Tamisage :** en fin, nous tamisons les fines de verre avec un tamis de 3.15 mm.

II.2.2. Propreté de sable de dune de Boussâada, M'sila : Le sable employés pour le mortier doivent être propres, car les impuretés perturbent l'hydratation du ciment, d'une part, la teneur en fines argileuses ou autres particules adhérentes à la surface des grains, ce qui se vérifie sur le chantier par les traces qu'elles laissent lorsqu'on frotte les granulats entre les mains. d'autre part, les impuretés susceptibles de nuire à la qualité du mortier, parmi lesquelles on peut citer les scories, le charbon, les particules de bois, les feuilles mortes, les fragments de racine. Pour déterminer la propreté du sable nous avons effectué l'essai d'équivalent de sable.

II.2.2.1 Equivalent de sable : Norme NF P 18 -598

a- Définition et But de l'essai : il permet de mettre en évidence la proportion relative de poussière fine nuisible ou d'éléments argileux dans les sols ou agrégats fins. Pour un mortier, ces fines risquent d'inhiber l'hydratation du liant et gênent l'adhérence avec les agrégats. le degré de propreté est fourni par un essai appelé "équivalent de sable piston (Esp)" qui consiste à séparer le sable des particules très fines qui remontent par floculation à la partie supérieure de l'éprouvette où l'on a effectué le lavage. L'essai est fait uniquement sur la fraction de sable 3.15 mm.

Le lavage à l'eau ne donnerait pas des résultats précis fidèles lors de l'essai. On utilise une solution spéciale qui permet la floculation des éléments fins et en régularise la sédimentation. Cette solution est composée pour 1 l de solution de :

- 111 g \pm 1 g de chlorure de calcium,
- 480 g \pm 5 g de glycérine,
- 12 à 13 g de solution aqueuse de formaldéhyde. La solution est à compléter à 5 litres avec l'eau distillée pour être conservée entre 2 à 4 semaines.

b- Matériel utilisé : Tube en matière plastique avec 2 traits repères ($\Phi_{int} = 32$ mm; h=430mm), entonnoir, tamis (3.15mm), balance, récipients, Machine agitatrice électrique(Figure II.1), piston (masse 1 kg).



Figure (II.1) : machine à secouer électrique.

c- Mode opératoire :

- Remplir les 3 tubes avec solution lavante jusqu'au 1er repère, ensuite verser la quantité de sable tarée (50g),
- Eliminer les bulles d'air en frappant chaque tubes contre la paume de la main et laisser reposer 10 minutes, boucher les tubes et les agiter à l'aide d'une machine à secouer (pendant 30 secondes).
- Laver et remplir les tubes avec le tube laveur en rinçant le bouchon, lavant les parois intérieures de toutes les tubes et laver la masse du sable en y faisant remonter et descendre lentement le tube ainsi les fines remontent en surface.
- On ferme le robinet lorsque la solution atteint le 2eme trait (supérieur) et on sort le tube laveur.
- On laisse reposer 20 minutes en évitant toute vibration.

On mesure à vue les hauteurs h_1 et h_2 (Tableau II.2), où :

- *Hauteur h_1* : sable propre +éléments fins,
- *Hauteur h_2* : sable propre seulement.
- Pour effectuer la mesure de façon plus précise, on introduit le piston à travers le flocculat, le manchon prenant appui sur le bord supérieur de tube et on l'immobilise au contact du sable, mesure h'_2 (Tableau II.2) ;
- Calculer l'équivalent de sable ES_v et ES_p par les relations (II.1) et (II.2) (Tableau II.2) :

$$ES_v = \frac{h_2}{h_1} \times 100 \quad \text{II.1}$$

$$ES_p = \frac{h'_2}{h_1} \times 100 \quad \text{II.2}$$

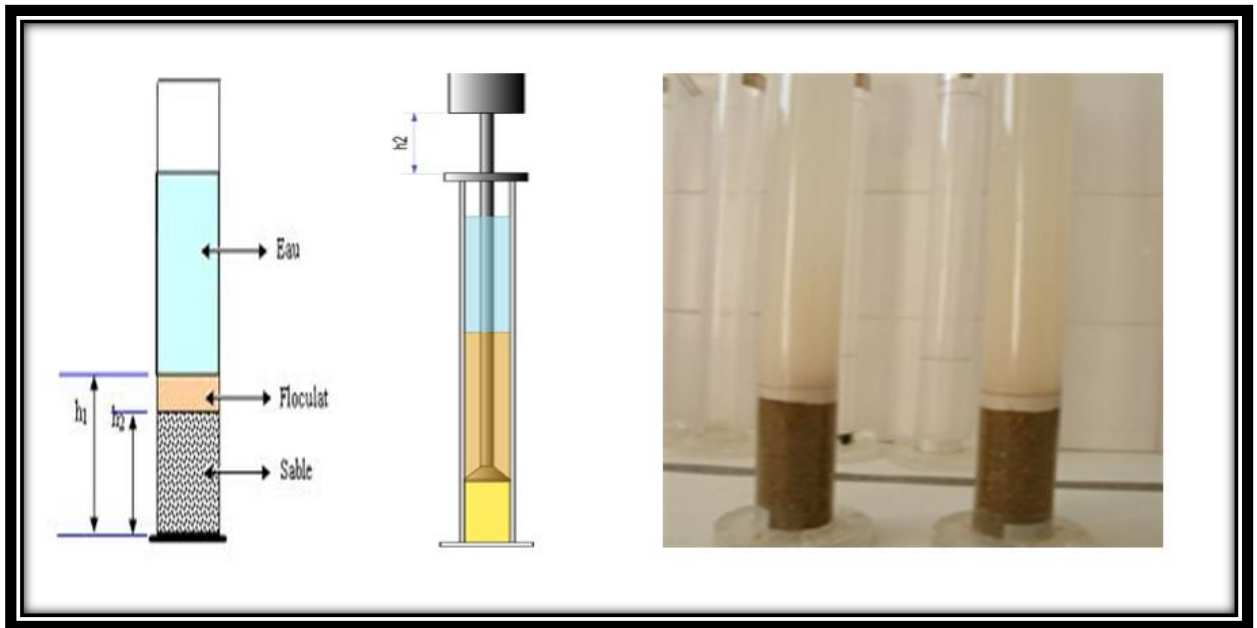


Figure (II.2) : Essai d'équivalent de sable.

d- Résultat :

Tableau (II.1) : les valeurs obtenues de l'essai d'équivalent de sable

N° d'essai	h1(cm)	h 2(cm)	ES _V (%)	h' 2(cm)	ES _P (%)
01	6.8	9.6	77.1	5.8	85.29
02	13.1	9.5	72.5	8.6	64.88
03	10.98	8.7	79.23	8.5	66.66
Moyen	10.88	9.26	76.27	8.56	72.27

Pour indiquer la nature et qualité du sable, nous déterminons la plage de valeurs obtenue par le tableau suivant :

Tableau (II.2): les valeurs d'équivalent de sable indiquent la nature et qualité du sable.

ES _V	ES _P	Nature et qualité du sable
ES _V < 65	ES _P < 60	Sable argileux : Risque de retrait ou de gonflement à rejeter pour des bétons de qualité.
65 < ES _V < 75	65 < ES _P < 70	Sable légèrement argileux de propriété admissible pour des bétons de qualité courante quand on ne craint pas particulièrement le retrait.
75 < ES _V < 85	70 < ES _P < 80	Sable propre à faible pourcentage de fine argileux convient parfaitement pour des bétons de haute qualité.
ES _V ≥ 85	ES _P ≥ 80	Sable très propre : l'absence totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau.

* Selon le tableau II.2, ce sable est propre à faible pourcentage de fine argileux convient parfaitement pour des mortiers de hautes qualité.

II.2.3. Modules de finesse : Norme NF P18 304

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 mortier 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 (M_f).

$$M_f = \frac{\sum R_c}{100} \quad \text{II.3}$$

Lorsque M_f est comprise entre :

- 1.8 - 2.2 : le sable est à majorité de grains fins ;
- 2.2 - 2.8 : on est en présence d'un sable préférentiel ;
- 2.8 - 3.3 : le sable est un peu grossier, Il donnera des bétons résistants mais moins maniables [13].

R_c : les refus cumulé en (%) et pour les déterminer nous menons l'essai d'analyse granulométrique.

II.2.3.1. Analyse granulométrique : NF P 18-560

a- Définition et But de l'essai Après la préparation des échantillons (sable, fine de verre et sable mixte) qu'on va utiliser dans cet recherche, une analyse granulométrie de ces échantillons est effectuée pour détermine les distribution granulaire des grains et pour déduire le module de finesse (MF).

b- Matérielle utilise : Une balance ; Tamis à mails carres de différentes ouvertures ; Un tamiseur électrique ; La série de tamis qu'on va utiliser est la suivante : 3.15 - 2.25 - 1.25 - 0.63 - 0.315 - 0.16 - 0.08 mm.

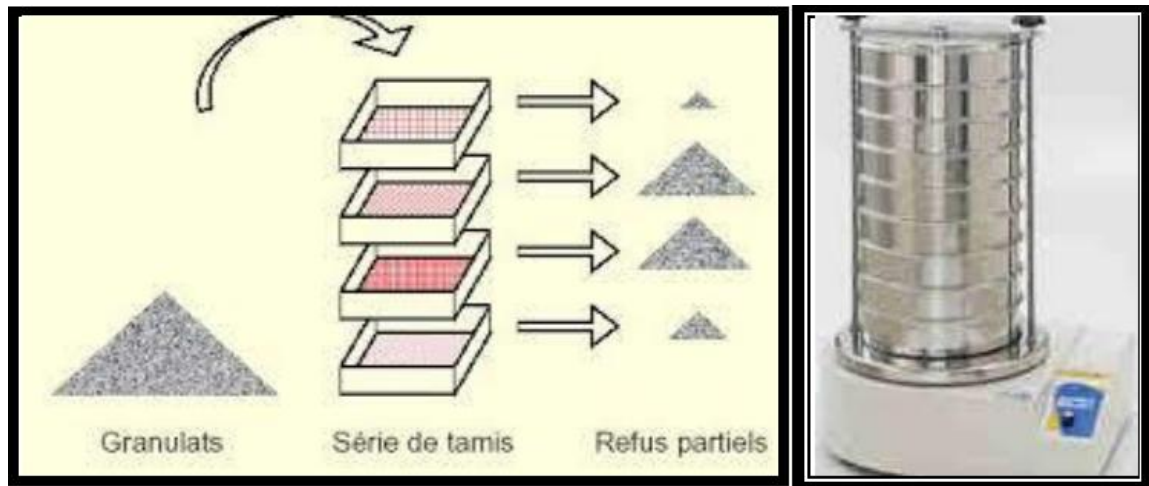


Figure (II.3) : Tamis et tamiseur électrique .

c- Principe de l'essai : L'essai consiste à fractionner au moyen d'une série de tamis un matériau en plusieurs classes granulaires de tailles décroissantes. Les dimensions de mailles et le nombre des tamis sont choisis en fonction de la nature de l'échantillon et de la précision attendue. Les masses des différents refus ou celles des différents tamisages sont rapportées à la masse initiale de matériau, les pourcentages ainsi obtenus sont exploités, soit sous leur forme numérique, soit sous une forme graphique (courbe granulométrique). Préparation la série des tamis, en les classant de haut vers le bas dans l'ordre de mailles décroissantes sans oublier le fond afin de récupérer les fines, et le couvercle afin d'éviter la perte de matériau et la dispersion de la poussière, à l'ordre suivant : 3.15 - 2.25 - 1.25 - 0.63 - 0.315 - 0.16 - 0.08 mm. On va peser une quantité de 1500 g de chaque matériaux (sable, fine de verre et sable mixte) à l'aide d'un balance électrique et mettre dans le haute de la série de tamis, on va régler la tamiseuse électrique pendant 10 au 15min. L'essai d'analyse granulométrique a été effectué sur un échantillon de 1,5 kg, nous avons répété l'expérience trois fois pour réduire le taux d'erreur, Où nous l'avons fait avec tous les matériaux (sable, fine de verre et sable mixte), puis nous avons pris les valeurs moyennes, les résultats sont représentés dans le tableau ci-dessous ainsi que la courbe obtenue.

d- Résultat :

Tableau (II.4): Résultats d'analyse granulométrique du sable de dune de Bousaada.

Tamis	Refus partiels (Kg)	Refus cumulés (Kg)	Refus cumulés (%)
3.15	0.006	0.006	0.4
2.25	0.128	0.134	8.93
1.25	0.49	0.624	41.6
0.6.3	0.296	0.92	61.33
0.315	0.241	1.161	77.4
0.16	0.189	1.35	90
0.08	0.111	1.461	97.4
Fond	0.041	1.5	100

A partir de la relation (II.3) et du Tableau (II.4), on peut calculer le module de finesse du sable de dune :

$$M_f = 1.9$$

$1.8 < M_f = 1.9 < 2.2$: Alor le sable de dune de Bousaada est à majorité de grains fins.

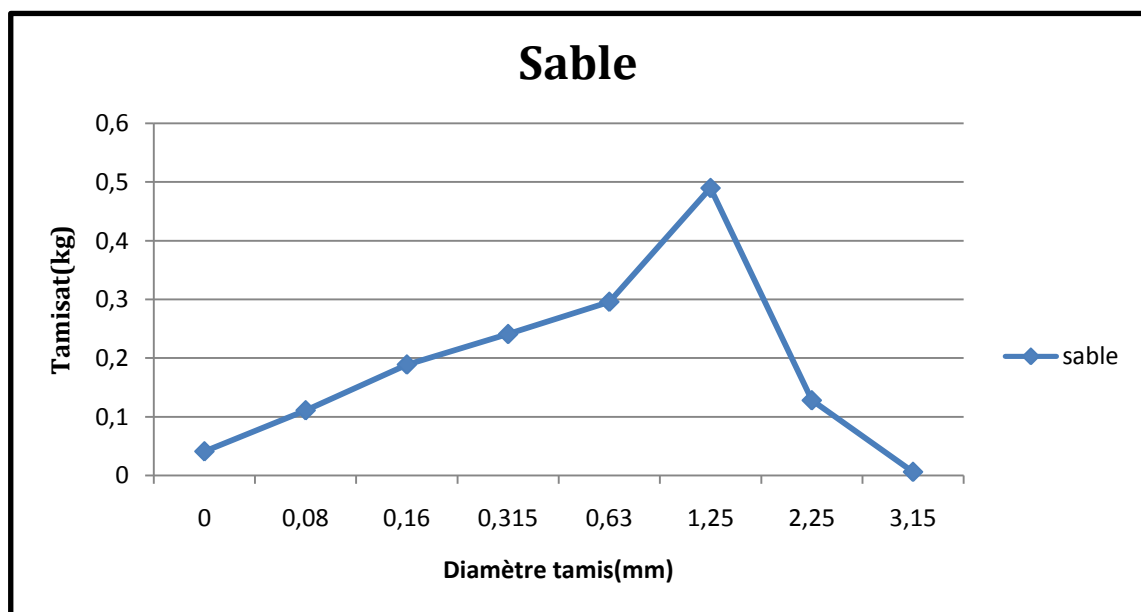
*Figure (II.4): Courbe granulométrique d'un sable de dune*

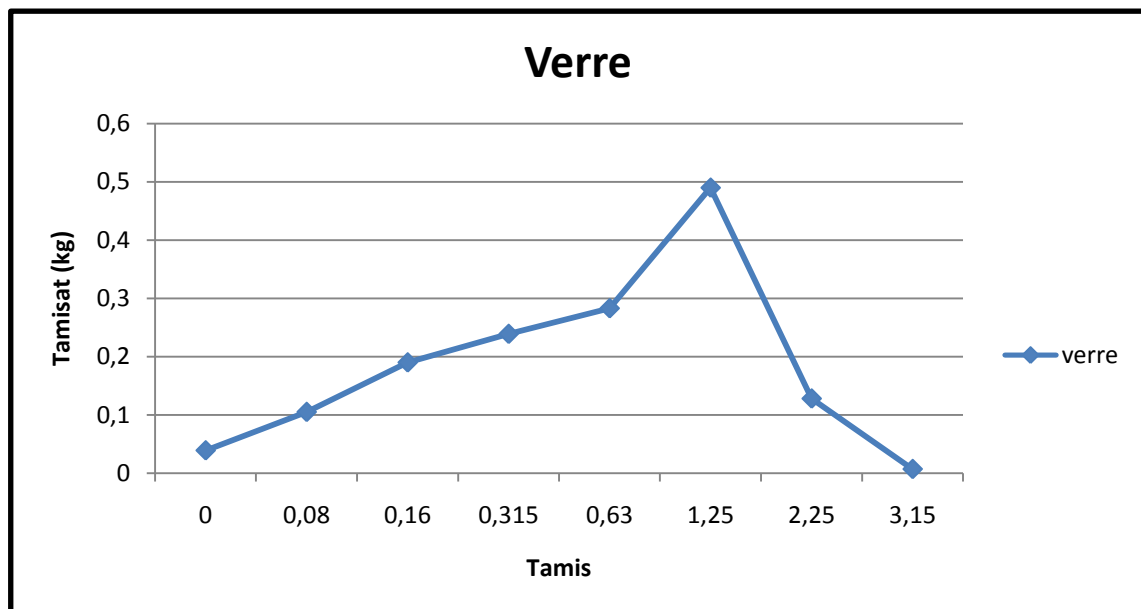
Tableau (II.5): Résultats d'analyse granulométrique fine de verre

Tamis	Refus partiels (Kg)	Refus cumulés (Kg)	Refus cumulés (%)
3.15	0.007	0.007	0.4
2.25	0.128	0.135	9
1.25	0.49	0.625	41.66
0.6.3	0.283	0.908	60.53
0.315	0.293	1.201	80.06
0.16	0.19	1.391	92.73
0.08	0.105	1496	99.73
Fond	0.039	1.5	100

A partir de la relation (II.3) et du Tableau (II.5), on peut calculer le module de finesse de fine de verre:

$$M_f = 1.09$$

$M_f = 1.09 < 1.8$: Alors les grains de verre concassés sont classés comme fins.

*Figure (II.5): Courbe granulométrique de fine de verre*

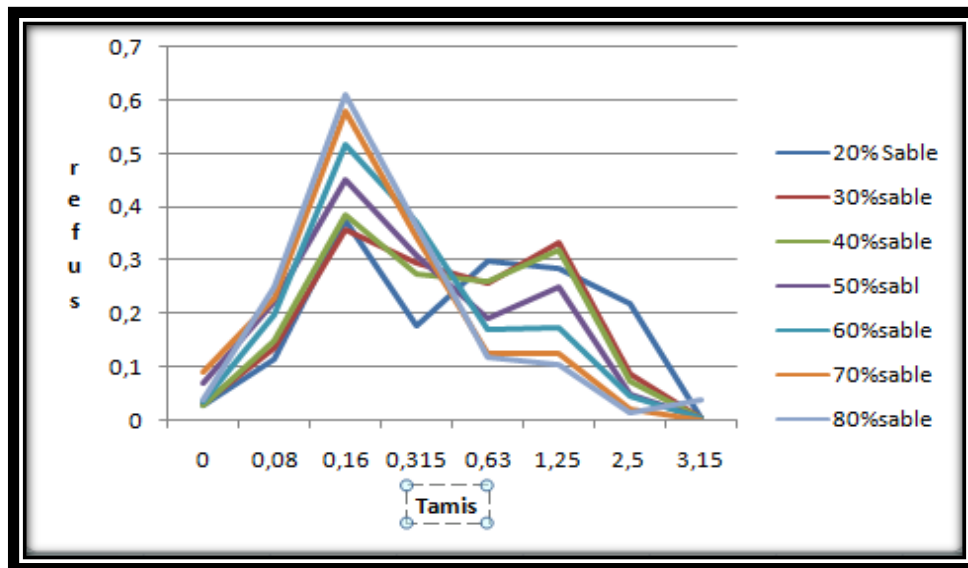


Figure (II.6): Courbe granulométrique des sables mixtes

II.2.4. Masses volumiques :

II.2.4.1. Masse volumique absolue : norme NF P18-301

Cet essai est régi par la norme NF P18-301, 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 [12].

$$\rho_s = \frac{M_s}{V_2 - V_1} \quad \text{II.4}$$

ρ_s : Masse volumique absolue kg/m³

M_s : Masse des grains solides

V_1 : Volume de l'eau

V_2 : Volume total.

- a- But de l'essai :** Cet essai a pour but de permettre de connaître la masse d'une fraction granulaire lorsque par exemple on élabore une compression de béton. Ce paramètre permet, en particulier, de déterminer la masse ou le volume des différentes classes granulaire malaxées pour l'obtention d'un béton dont les caractéristiques sont imposées.

b- Conduite de l'essai :

- Remplir une éprouvette graduée avec un volume V_1 d'eau.
- Peser un échantillon sec M_s de granulats (50, 100, 150g) et l'introduire dans l'éprouvette en prenant soin d'éliminer toutes les bulles d'air.
- Le liquide monte dans l'éprouvette.
- Lire le nouveau volume V_2



Figure (II.7) : éprouvette graduée de la détermination de la masse volumique absolue.

c- Résultat :

Tableau (II.6): Masse volumique absolue de sable de dune de Boussâada

N° d'essai	M_s (g)	V_2 (ml)	V_1 (ml)	ρ_s (g/ml)	ρ_s moyen(g/ml)
01	50	370	350	2.5	2.5
02	100	390	350	2.5	
03	150	410	350	2.5	

Tableau (II.7): Masse volumique absolue du fine de verre

N° d'essai	M_s (g)	V_2 (ml)	V_1 (ml)	ρ_s (g/ml)	ρ_s moyen(g/ml)
01	50	370	350	2.5	2.64
02	100	385	350	2.85	
03	150	408	350	2.58	

Tableau (II.8): Masse volumique absolue du sable mixte

Fine de verre (%)	Sable de dune (%)	Masse volumique absolue (g/ml)
0	100	2,50
10	90	2,57
15	85	2,55
20	80	2,59
30	70	2,50
40	60	2,61
50	50	2,56
60	40	2,53
70	30	2,61

II.2.4.2. Masse volumique apparente :

Cet essai est régié par la norme NF P18-554, NP18-555, EN P1097-3, EN 1097-6; 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 [9-10]

$$\rho_a = \frac{M}{V} \quad \text{II.5}$$

ρ_a : Masse volumique apparente kg/m³

M : Masse totale de l'échantillon

V : Volume total de l'échantillon.



Figure (II.8): Essai de détermination de la masse volumique apparente.

Résultat :

Tableau (II.9): Masse volumique apparente sable de dune

N° d'essai	M (g)	V (ml)	ρ_a (g/ml)	ρ_a moyen(g/ml)
01	1480	900	1.64	1.649
02	1487	900	1.652	
03	1490	900	1.655	

Tableau (II.10): Masse volumique apparente de verre

N° d'essai	M (g)	V (ml)	ρ_a (g/ml)	ρ_a moyen(g/ml)
01	1292.3	900	1.435	1.434
02	1297.5	900	1.441	
03	1283.7	900	1.426	

Tableau (II.11): Masse volumique apparente du sable mixte

Fine de verre (%)	Sable de dune (%)	Masse volumique absolue (g/ml)
0	100	1649
10	90	1402,9
15	85	1403,5
20	80	1399,43
30	70	1420,83
40	60	1420,23
50	50	1416,8
60	40	1406,4
70	30	1384,26

II.2.5. Porosité : La porosité d'un matériau est le rapport du volume total, elle représente donc le degré de remplissage de son volume occupé par les vides. Cette propriété ou notion de porosité est importante car elle influe sur certain caractéristique fondamentale tel que :

- Résistance mécanique élevée, donc porosité faible.
- Capacité d'absorption d'eau (A) élevée, donc la porosité grand.

La porosité est donnée par la relation suivante :

$$P(\%) = \left[1 - \frac{\rho_a}{\rho_s}\right] \times 100 \quad \text{II.6}$$

Tableau (II.12): Porosité de sable mixte

Pourcentage de verre (%)	ρ_a (g/ml)	ρ_s (g/ml)	P(%)
0	1649	2,5	39,7
10	1402,9	2,57	39,4
15	1403,5	2,55	36,82
20	1399,43	2,59	40,00
30	1420,83	2,5	39,8
40	1420,23	2,61	39,4
50	1416,8	2,56	38,6
60	1406,4	2,53	38,3
70	1384,26	2,61	41,1

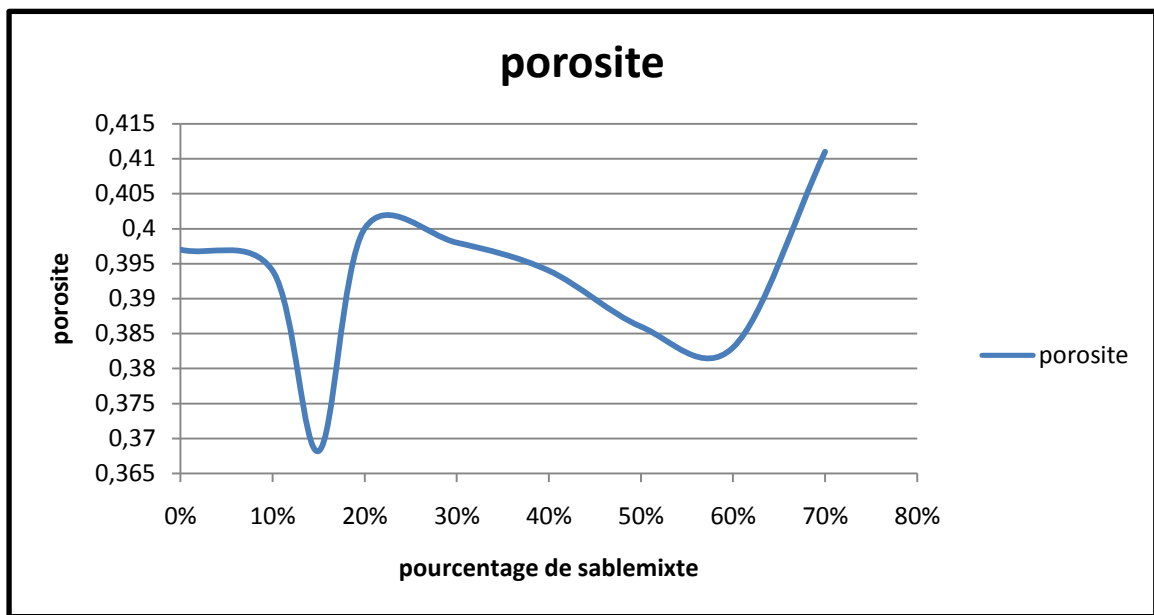


Figure (II.9): Courbe porosités

On remarque que la valeur minimale de porosité présente dans le sable mixte 15% de verre.

II.3. LES FUMÉES DE SILICE : Les fumées de silice appelés MEDAPLAST HP C'est un sous-produit de la fabrication du silicium (Si) et du Ferro silicium (Si Fe). Du point de vue chimique la fumée de silice est composée essentiellement de silice (SiO_2). Elle se présente sous forme de sphères ayant un diamètre variant entre 0,1 et 2μ . Ce qui veut dire 100 fois moins grande qu'une particule de ciment. Vu sa finesse, la fumée de silice dans le mortier remplit les vides qui se trouvent entre les particules de ciment, ce qui donne un mortier dense : c'est l'adhérence parfait pategranulats. En présence d'un superplastifiant, l'addition de la fumée de silice réduit considérablement le ressuage.[14]

Tableau (II.13): les composants chimique de MEDAPLAST HP (Annexe.A)

SiO_2	So_3	cl^-
>(80%)	<2.5(%)	<0.2 (%)

Tableau (II.14): caractéristiques générales de MEDAPLAST HP (Annexe.A)

Aspect	Densité	Densité absolu	Surface spécifique	Humidité	Taille des particules
poudre	0.5	2.3±0.1	>15(m ² /g)	<1(%)	<0.1 μ

II.4. CONCLUSION

Ce chapitre nous a permis de présenter les différentes méthodes de caractérisation du matériau utilisé. Ces méthodes de caractérisation devraient permettre de déterminer la porosité minimale, où nous l'avons trouvée dans le sable mixte 15% de verre, qui nous l'utilisons dans les essais de résistance mécanique.

CHAPITRE III :

METHODES D'ESSAIS

ET MATERIELS

III.1. INTRODUCTION:

Dans ce chapitre, nous expliquons notre travail expérimentale, où nous montrons comment fabriquer les éprouvettes en détail, puis décrire l'essai de maniabilité que nous avons effectué lors de la fabrication des éprouvettes du mortier à l'état frais. Après le séchage des éprouvettes nous avons effectuée les essais à l'état durci, qui sont l'essai de traction par flexion, l'essai de compression et la capacité d'absorption d'eau.

III.2. FABRICATION DES EPROUVETTES :[7]

Les éprouvettes utilisées pour notre étude sont des éprouvettes prismatiques normalisées (4x4x16) cm³. Nous avons réalisé trois éprouvettes pour chaque type pour dix compositions de mortier représentées au Tableau III.1.

III.2.1. Préparation des Compositions des éprouvettes : On pèse les quantités nécessaires des différents matériaux : sable de dune (SD), fines de verre (FV), sable mixte(SM), ciment(C), fumée de silice (FS) et l'eau (E), par une balance électronique sensible. Les différentes compositions sont indiquées dans le tableau (III.1).

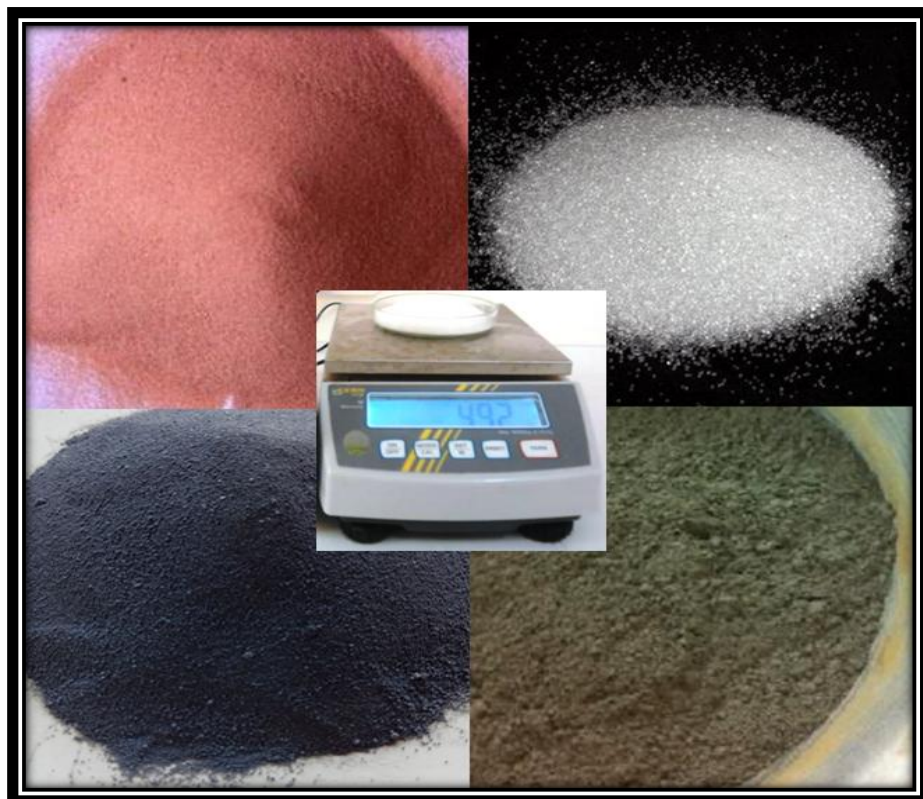


Figure (III.1): balance électronique et différents matériaux utilisés.

Tableau (III.1): Proportions des compositions des éprouvettes

Composition	C (g)	SD		FV		FS	
		(g)	%SM	(g)	%SM	(g)	%C
C01 (témoin)	450	1350	100	0	0	0	0
C02	450	1215	90	135	10	0	0
C03	450	1147.5	85	202.5	15	0	0
C04	450	1080	80	270	20	0	0
C05	450	1215	90	135	10	22.5	5
C06	450	1147.5	85	202.5	15	22.5	5
C07	450	1080	80	270	20	22.5	5
C08	450	1215	90	135	10	45	10
C09	450	1147.5	85	202.5	15	45	10
C10	450	1080	80	270	20	45	10

NB : C : ciment, SD : sable de dune, FV : fines de verre, SM : sable mixte, FS : fumé de silice

Note : La quantité d'eau optimale de chaque mortiers est déterminer d'après l'essai de maniabilité et les résultats sont représenté dans le tableaux (IV.1) .

III.2.2. Préparation des moules : On utilise une série des moules de dimensions 4×4×16 cm, pour que les moules soient prêt à être utilisés il doivent être bien nettoyer et graissés à l'aide d'huile.



Figure (III.2): moules (4x4x16) cm³

III.2.3. Le malaxage : Le malaxage a une influence essentielle sur les caractéristiques des mortiers et bétons, il est indispensable pour que le sable soit régulièrement dispersé et que le ciment soit bien réparti entre et autour de tous les grains inertes, il faut en outre que le ciment ne soit pas regroupé en grumeaux, mais régulièrement entouré d'une particule d'eau. [9]

Le mortier est malaxé dans un malaxeur électrique pendant 4 minutes par les étapes suivantes :

- Introduire l'eau en premier dans la cuve du malaxeur ;
- Verser ensuite le ciment ;
- Mettre le malaxeur en marche à vitesse lente pendant 30 s ;
- Introduire régulièrement le sable mixte pendant 30s ;
- Mettre le malaxeur à sa vitesse rapide et continuer le malaxage pendant 30s ;
- Arrêter le malaxeur pendant 1 min 30 s, pendant les 15 premières secondes enlever au moyen d'une raclette tout le mortier adhérent aux parois et au fond du récipient en le repoussant vers le milieu de celui-ci ;
- Reprendre ensuite le malaxage à grande vitesse pendant 60 s.



Figure (III.3): malaxeur électrique.

Note : Avant le coulage les mortiers sont soumis à l'essai de maniabilité.

III.2.4. Coulage des éprouvettes : Cette opération est exécutée en deux couches successives, compactées et vibrées à l'aide d'une table à chocs figure III.4 pendant (60 seconde) pour chaque couche.



Figure (III.4): la table à chocs

III.2.5. Finissions des éprouvettes : Après avoir couler et vibrer les éprouvettes, une opération de finissions est exécutée sur le parement supérieur des éprouvettes pour obtenir des surfaces planes et lisses.

III.2.6. Séchage des éprouvettes dans les moules : Après le coulage nous laissons les moules pendant 24 heur afin de rendre les éprouvettes prêtes à démouler de leur moule.

III.2.7. Conservation des éprouvettes : Apres le démoulage les éprouvettes seront mise en conservation pendant 7, 14, 28 jours.

III.3. ESSAIS SUR LES MORTIERS FRAIS :

III.3.1. Détermination de la quantité d'eau optimale (essai de maniabilité) :

Le mortier normal composé d'une partie de ciment, de trois parties de sable et d'une demi partie d'eau ($E/C = 0.5$), Pour déterminer la meilleur rapport E/C, nous avons fait l'essai de l'affaissement.

- a- **But de l'essai :** Pour cet essai, l'affaissement est déterminée par mesurer la distance de pénétration d'un cône de métal (masse = 500g) à l'action de son poids.
- b- **Matériel utilisé :** appareille gradué (10 cm) équipé d'un cône de métal, récipient de mortier, malaxeur électrique.



Figure III.6 : Mesure de l'affaissement du mortier.

- c- **Mode opératoire :** Après le malaxage de chaque mortier (voir III.2.3), nous avons :
 - Placé le mortier dans le récipient ;
 - Placé le récipient sous le cône ;
 - Mettre la tête de cône à la surface de mortier, où le pointeur est à zéro ;
 - Laissez le cône pénétrer le mortier à l'action de son poids Jusqu'à ce que le pointeur s'arrête ;
 - Pris la lecture et l'avons mise dans la tableau (IV.1) ;

- Si la valeur de l'affaissement dans le domaine de 4 à 6 cm, nous faisons le coulage des éprouvettes, sinon modifier le rapport E/C et répéter l'essai jusqu'à l'affaissement acceptable.

III.4. ESSAIS SUR LE MORTIER DURCI :

III.4.1. Essai de traction par flexion :

C'est l'essai le plus couramment utilisé. Il consiste à briser en flexion une éprouvette prismatique de côté (a) et de longueur ($4a$). Avec une charge applicable sur cette éprouvette est P . L'essai est exécuté sur des éprouvettes ($4 \times 4 \times 16$) cm^3 .

$$R_f = \frac{1,5 PL}{a^3} \quad \text{III.1}$$

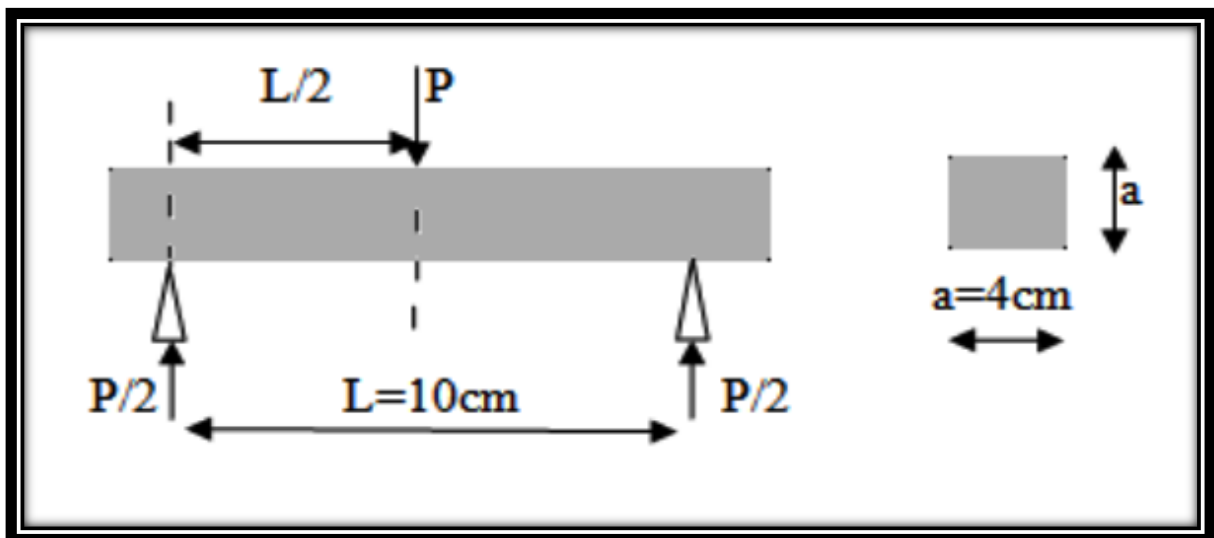
Où :

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

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

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

L : est la distance entre les appuis, en millimètres.



Figure(III.7) : l'essai de résistance à la traction par flexion.



Figure(III.8) : L'appareil de l'essai de traction par flexion.

III.4.2. Essai de compression :

L'essai de compression s'effectue après avoir réalisé l'essai de traction par flexion qui coupe l'éprouvette en deux parties plus au moins égales. Cet essai est réalisé sur un appareil de compression universel (NF P 18-406), fonctionnant avec un système de pression hydraulique. L'unité de mise en charge est composée d'un bâti rigide supportant deux plateaux. La mise en charge est réalisée par pression hydraulique qui fait déplacer la partie supérieure vers le bas jusqu'à la rupture. Les éprouvettes de compression sont préparées à partir des éprouvettes de flexion. L'éprouvette est centrée entre deux plateaux métalliques de façon que l'axe vertical de l'éprouvette coïncide avec l'axe des blocs de chargement.

$$\sigma_c = \frac{P_c}{S} \quad \text{III.2}$$

σ_c : contrainte de compression ;

P_c : la charge de rupture à la compression ;

S : section transversale de l'éprouvette ($S = a \times a$).

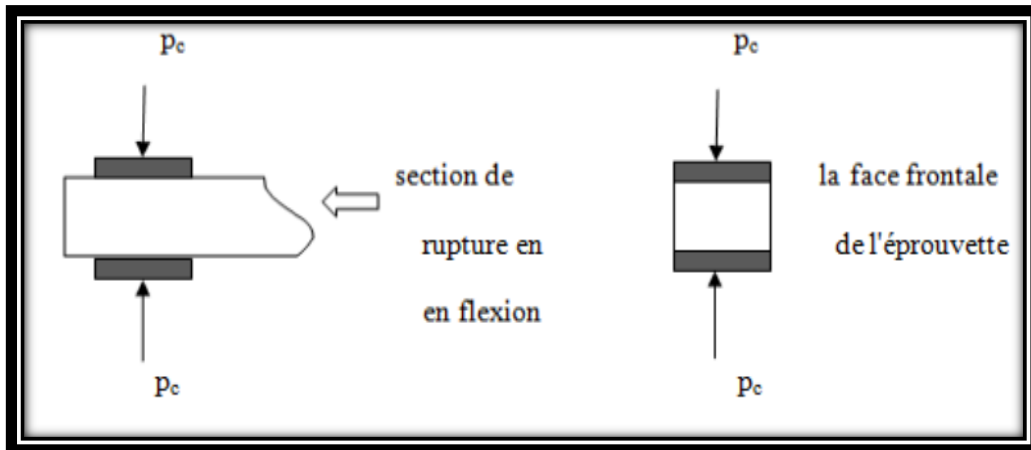


Figure (IV.3) : l'essai de compression.



Figure(III.9) : L'appareil de l'essai de compression.

CHAPITRE IV :

RESULTATS ET DISCUSSIONS

IV.1. INTRODUCTION :

Ce chapitre est consacré à la présentation des résultats obtenus sous forme de tableaux et de graphes où toutes les propriétés physico-mécaniques étudiées et mentionnées précédemment seront analysées et interprétées.

IV.2. PRESENTATION DES RESULTATS :

Les résultats obtenus dans cette étude sont groupés dans les tableaux et présentés sous forme d'histogrammes représentant l'influence de la substitution et de l'ajout (FV, FS) avec différents pourcentages sur les propriétés du mortier.

Les propriétés étudiées sont classées dans deux catégories :

- les propriétés physiques
- les propriétés mécaniques

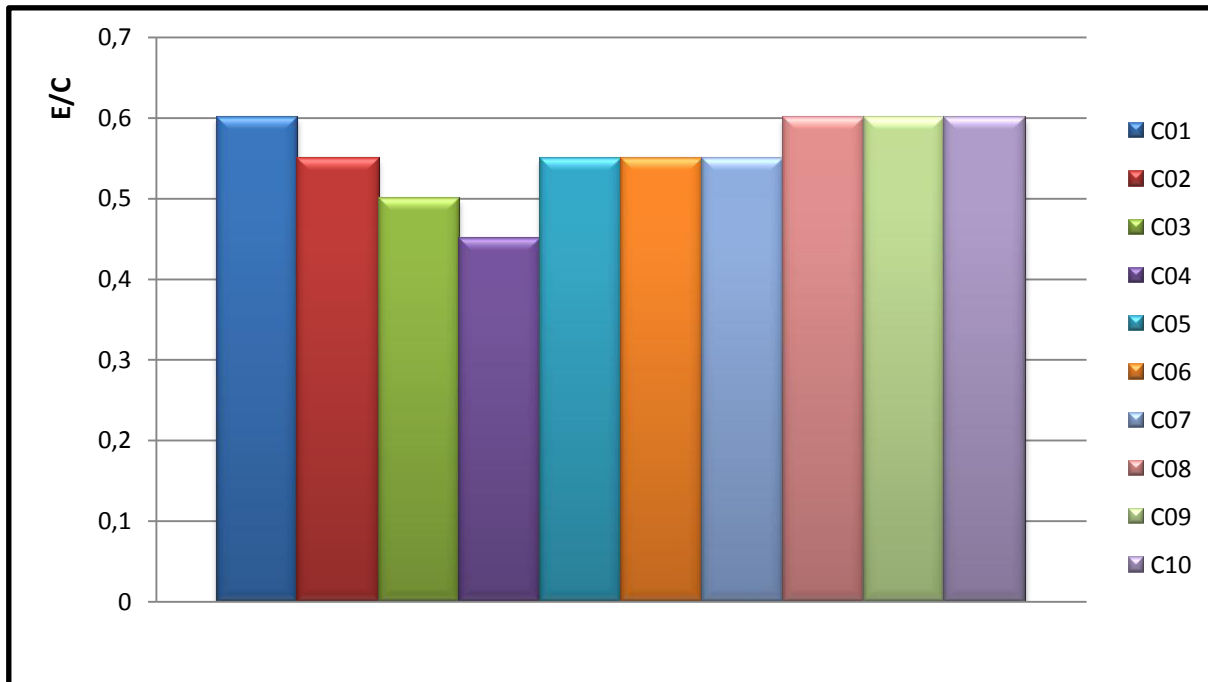
Tableau IV.1 : Nomination des mortiers et leurs compositions

mortiers	SD (%)	FV (%)	FS (%)
C01	100	0	0
C02	90	10	0
C03	85	15	0
C04	80	20	0
C05	90	10	5
C06	85	15	5
C07	80	20	5
C08	90	10	10
C09	85	15	10
C10	80	20	10

IV.3. ESSAI DE MANIABILITE DES MORTIERS:

Tableau (IV.2) : Résultat de l'essai de maniabilité

Mortiers	Eau (g)	E/C	Affaissement (cm)
C01	270	0.6	4.6
C02	247.5	0.55	4.7
C03	225	0.5	4.5
C04	202.5	0.45	4.8
C05	247.5	0.55	4.4
C06	247.5	0.55	4.4
C07	247.5	0.55	4.3
C08	270	0.6	4.2
C09	270	0.6	4.4
C10	270	0.6	4.5

*Figure(IV.1) : Variation du rapport E/C*

D'après la figure IV.1, on remarque que la substitution du sable de dune par les fillers de verre (sable de verre) est suivi par une réduction du rapport E/C car le verre n'absorbe pas car la porosité du sable mixte (sable de dune et FV) est réduite par cette substitution.

la substitution à titre d'exemple la substitution de 20% de sable de dune conduit à une réduction du rapport E/C de 25%.

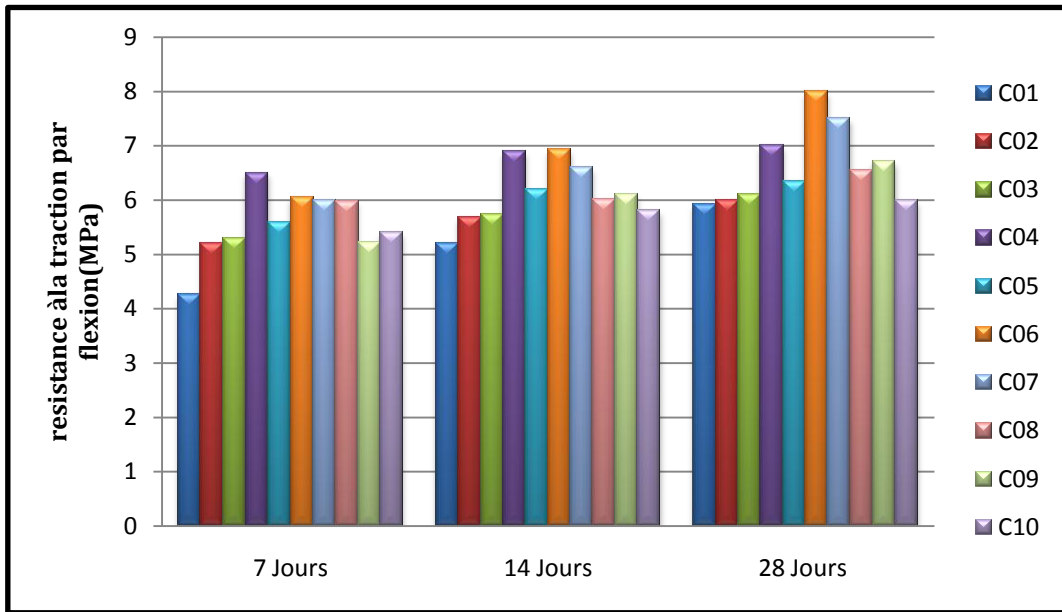
Sur la meme figure, on constate que l'ajout de 5% de fumée de silice pour le mortier à base de tous sable mixte (10,15 et 20%) le rapport E/C affiche une faible réduction et reste invariable.à la valeur E/C= 0,55.

Pour l'ajout de 10% de fumée de silice, on constate que le rapport E/C prend une valeur constante pour tous sable mixte utilisés.

IV.4. RESULTATS D'ESSAI DE RESISTANCE A LA TRACTION PAR FLEXION :

Tableau (IV.3) : Résultats d'essai de résistance à la traction par flexion.

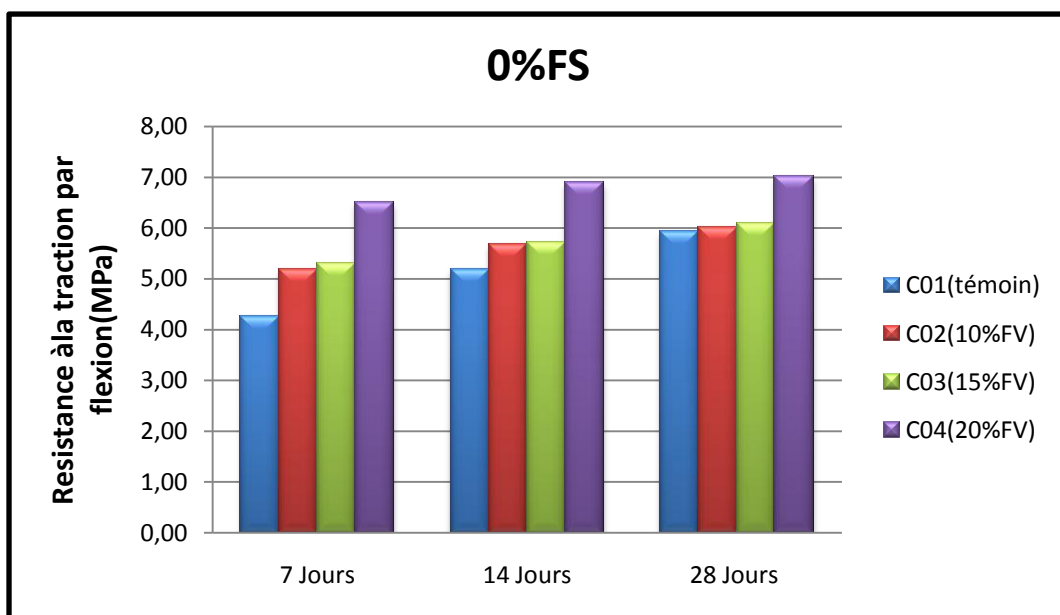
Mortier	7 Jours (MPa)	14 Jours (MPa)	28 Jours (MPa)
C01	4,26	5,20	5,92
C02	5,20	5,68	6,00
C03	5,30	5,73	6,10
C04	6,50	6,90	7,00
C05	5,60	6,00	6,35
C06	6,05	6,93	8,00
C07	6,00	6,60	7,50
C08	5,98	6,01	6,55
C09	5,22	6,10	6,70
C10	5,40	5,80	6,00



Figure(IV.2) : Evolution de la résistance à la traction par flexion dans le temps (jours)

D'après la figure IV.2, on remarque que la variation de la résistance à la traction suit une loi parabolique dans le temps pour toute substitution du sable de dune par les fines de verre pour et tout pourcentages, l'ajout de fumée de silice pour 5% et 10% suit la même progression (suit une variation parabolique).

IV.4.1. Effet de la substitution du sable de dune par fines de verre sans fumée de silice :



Figure(IV.3) : Les mortiers sans fumées de silice en fonction de temps (jours)

La figure IV.3 montre clairement que l'augmentation du pourcentage de substitution du sable de dune par fines de verre sans ajout de fumés de silice est suivit par une augmentation de la résistance en traction du mortier, cette augmentation atteint et dépasse même un taux de 18%.

IV.4.2. Effet de l'ajout de fumée de silice sur la résistance à la traction du mortier :

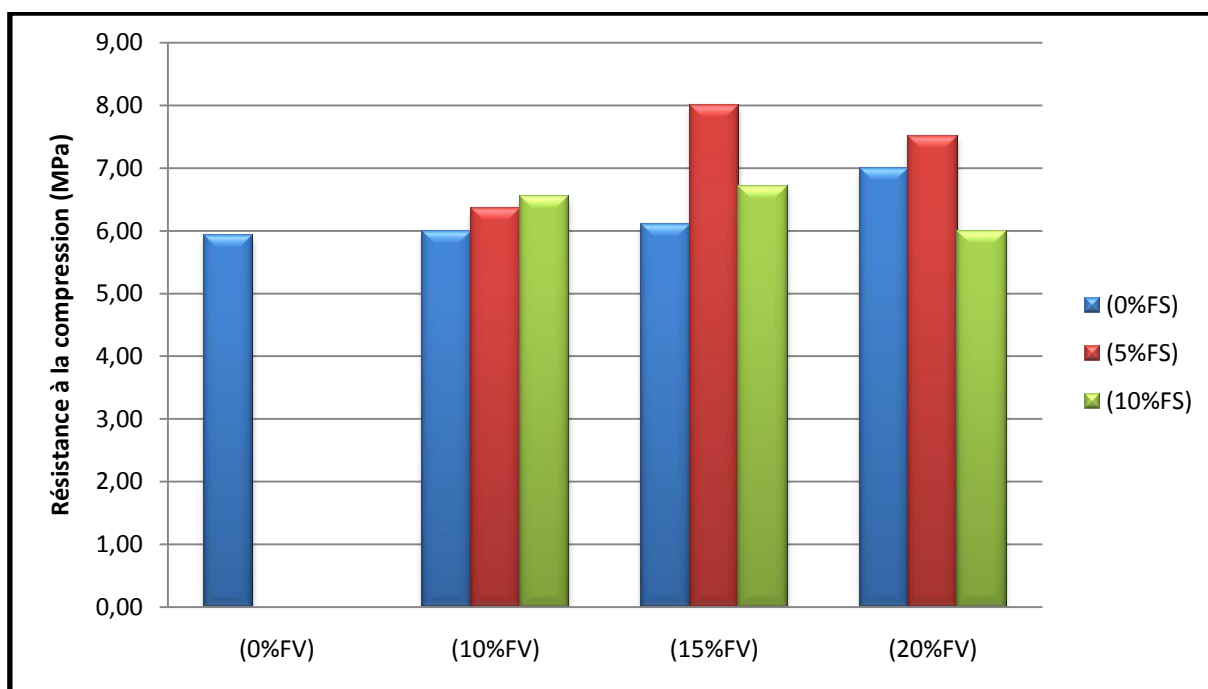
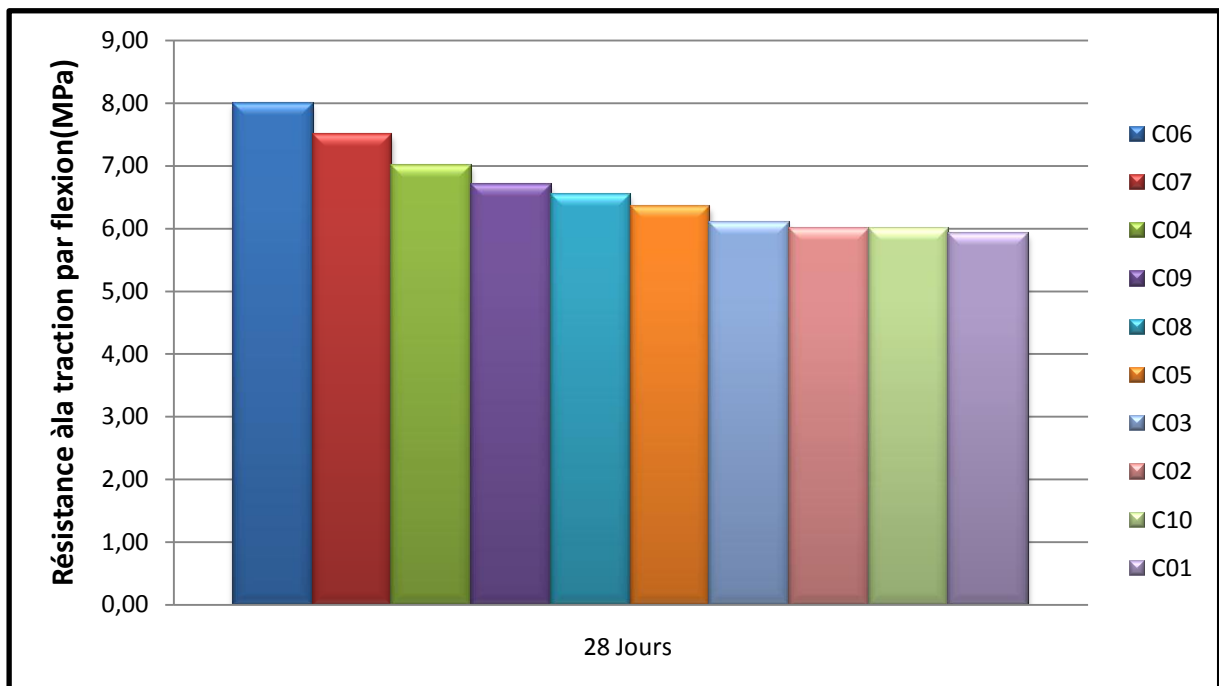


Figure IV.4 : Résistance à la traction du mortier en fonction de fines de verre

On remarque bien sur la figure IV. 4, que toute substitution du sable de dune par fines de verre est suivi par une hausse de la résistance en traction et que la résistance à la traction optimale atteint 8MPa avec une substitution de 15% de sable de dune par fines de verre avec un ajout de fumée de silice de 5%.

La figure IV.4, montre clairement, que l'ajout de fumée de silice améliore la résistance en traction du mortier pour tout sable mixte utilisé, on remarque aussi que l'ajout de 5% de fumée de silice conduit au meilleur résultat et au-delà de 10% d'ajout de fumés de silice La résistance à la traction du mortier à base de sables mixtes (15% FV, 20%FV) affiche une baisse notable.

IV.4.3. Détermination de la meilleure composition :



Figure(IV.5) : La résistance à la traction par flexion Dans l'ordre décroissant.

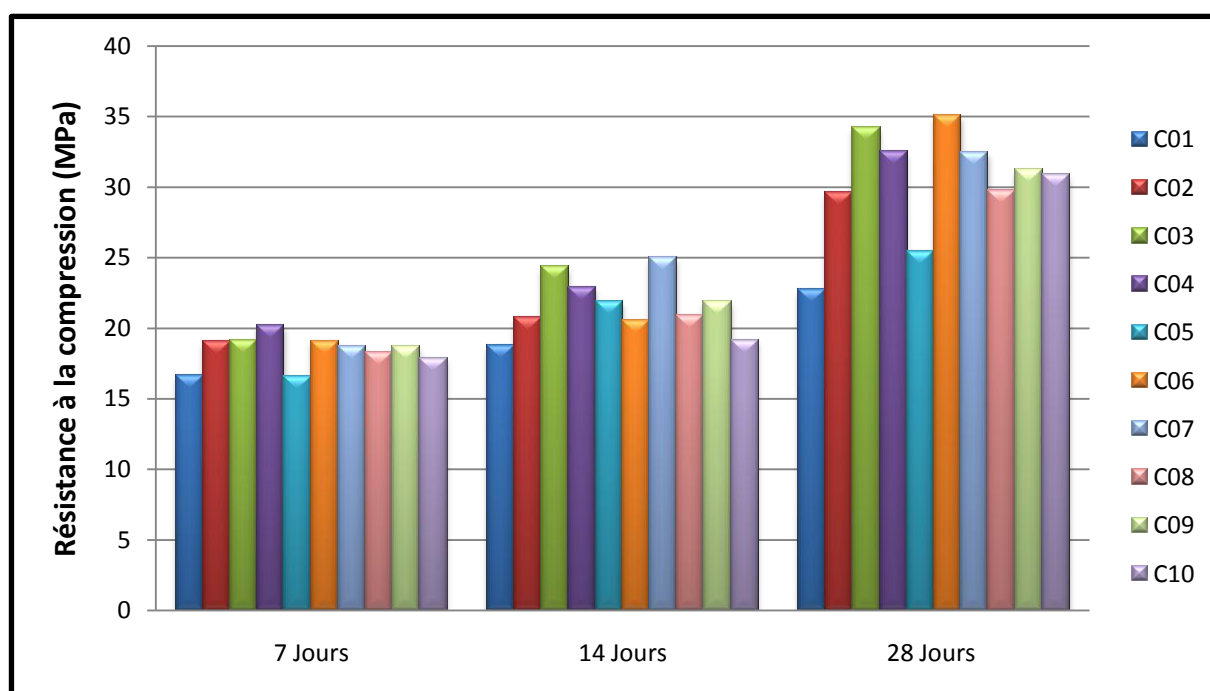
On remarque sur la figure IV.5, que tous les mortiers affichent des résistances meilleures que la résistance du mortier témoin C01, Cela indique que toutes les substitutions avec ou sans ajout conduisent à une augmentation de la résistance des mortiers.

À l'âge de 28 jours, la meilleure résistance à la traction par flexion est présentée par le mortier C06, qui contient 15% de fines de verre et 5% de fumées de silice.

IV.5. ESSAI DE RESISTANCE A LA COMPRESSION :

Tableau (IV.4) : Résultats d'essai de résistance à la compression.

Mortier	7 Jours(MPa)	14 Jours(MPa)	28 Jours (MPa)
C01	16,63	18,78	22,75
C02	19,09	20,75	29,63
C03	19,20	24,38	34,20
C04	20,18	22,93	32,50
C05	16,60	21,87	25,45
C06	19,10	20,55	35,10
C07	18,70	25,00	32,45
C08	18,25	20,93	29,80
C09	18,70	21,87	31,25
C10	17,90	19,20	30,87

*Figure(IV.6) : Résultat d'essai de résistance à la compression en fonction des périodes (jours)*

La figure IV.6 montre, l'évolution de la contrainte de compression suit une loi parabolique lente dans l'intervalle (0, 7) jours et rapide dans l'intervalle (7-14) jours pour tout les mortiers avec ou sans ajouts et pour tout sables mixtes.

IV.5.1 Influence de la substitution du sable de dune par les fines de verre

D'après la figure IV.10, on remarque que toute substitution est suivie par une amélioration de la résistance à la compression du mortier, cette amélioration est notable par rapport à la résistance du mortier témoin.

La résistance du mortier augmente pour une substitution de 10% et 15% et affiche une amélioration dépassant 30,98%, 37,36% respectivement, la résistance optimale est obtenue pour le mortier avec une substitution de 15% de fines de verre et un ajout de 5% de fumées de silice avec une valeur de 35,10 MPa c'est-à-dire une amélioration de 36,7%. Comme on remarque au-delà de 15% de substitution de sable de dune par les fines de verre le mortier commence à afficher une faible baisse de résistance évaluée à 12,05% mais elle reste toujours au de dessus de la résistance du mortier témoin.

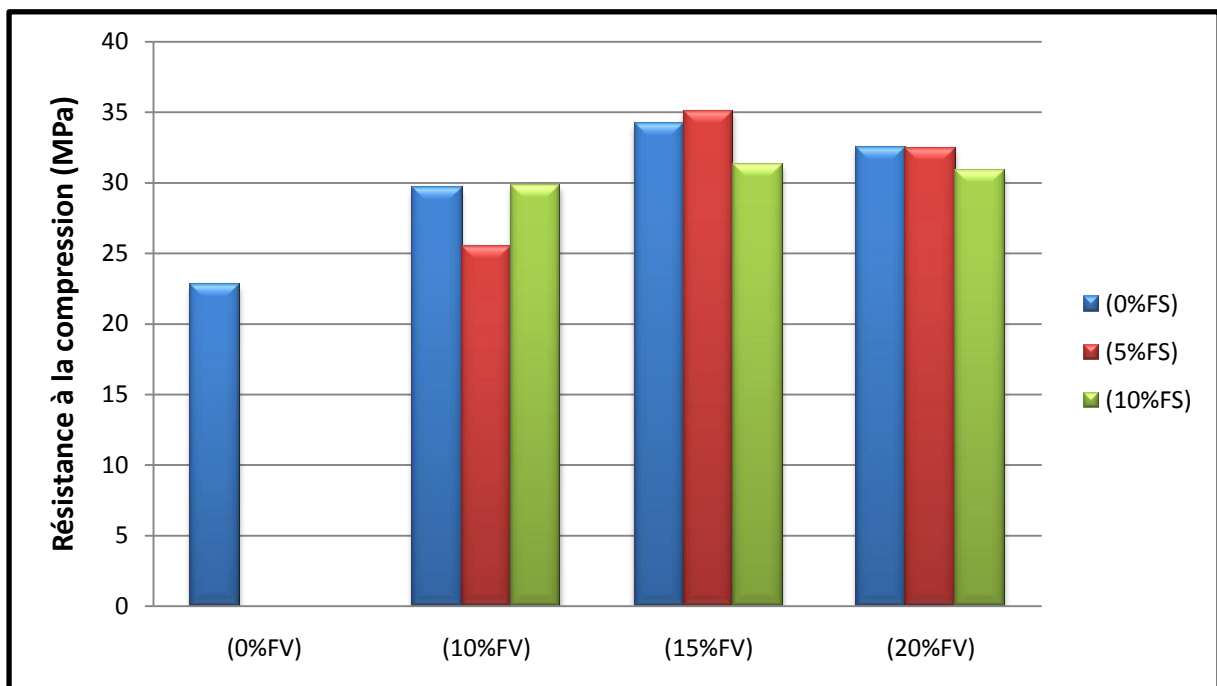


Figure IV.6 : variation de la résistance en compression en fonction des fines de verre

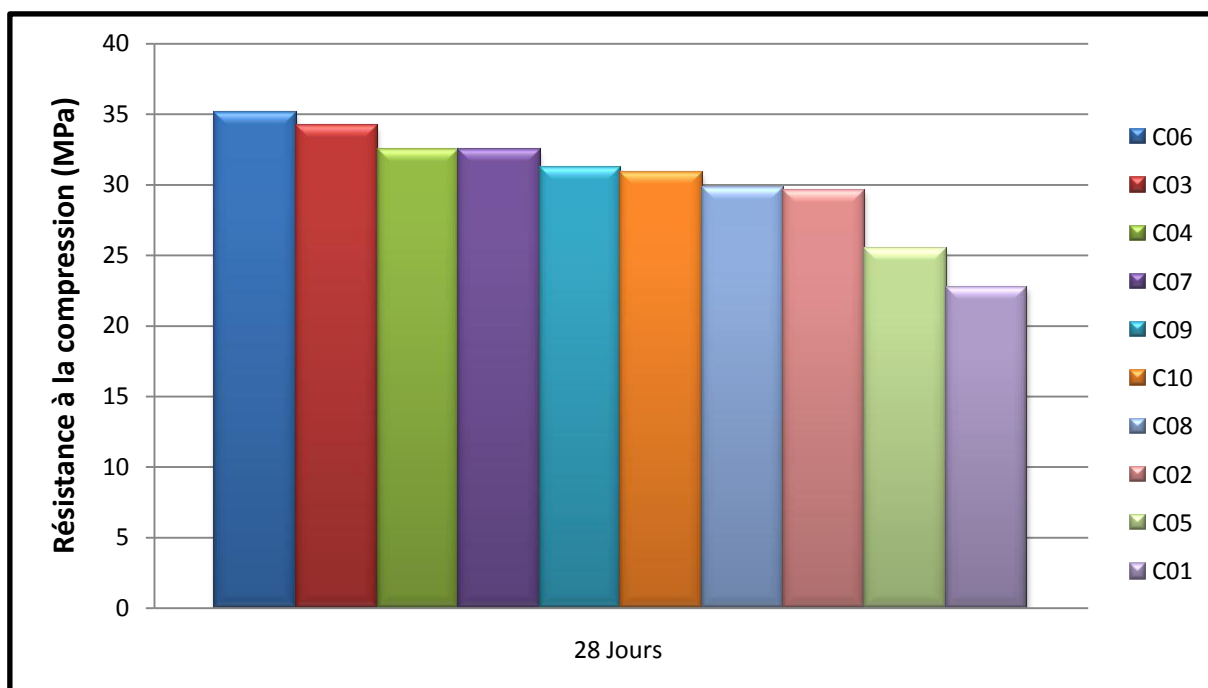
IV.5.2 Influence de l'ajout de la fumée de silice :

D'après la figure IV.6 on remarque que l'ajout de fumée de silice n'apporte aucune amélioration pour le mortier sans substitution, mais dès que la substitution du sable de dune par fines de verre commence on note une amélioration de la résistance en

compression et cette amélioration devient optimale pour une substitution de 15% de sable de dune par fines de verre.

On constate que l'ajout de 5% de fumée de silice donne la meilleure amélioration dans la majorité des cas.

IV.5.3. Détermination de la meilleure composition :



Figure(IV. 7) : La résistance à la compression Dans l'ordre décroissant.

D'après la figureIV.12, on remarque que tous les mortiers avec sables mixte et avec ou sans fumée de silice affichent des résistances à la compression meilleures que la resistance à la compression du mortier de témoin C01, Cela indique que toute substitution et ajouts améliorent la résistance à la compression des mortiers, c'est-à-dire qu'ils sont utiles lorsqu'ils sont utilisés dans les matériaux de construction.

Après 28 jours la meilleur résistance à copression est présenté par le mortier C06 qui contien 15% de fine de verre et 5% de fumées de silice.

CONCLUSION

GENERALE

CONCLUSION GENERALE

Cette étude a été réalisée afin d'évaluer la possibilité d'utiliser des fines de verre pour améliorer la granulométrie d'un sable de dune de la région de Bousaada, et le valoriser dans le secteur du bâtiment. Et étudié l'effet Combiné des fumées de silice et des fines de verre sur les propriétés du mortier à base de sable de dune.

Sur la base des résultats de l'étude expérimentale réalisée, les conclusions suivantes peuvent être notées :

- La valeur minimale de porosité présente dans le sable mixte 15% de verre ;
- La substitution du sable de dune par les fillers de verre (sable de verre) est suivi par une réduction du rapport E/C car le verre n'absorbe pas car la porosité du sable mixte ;
- L'augmentation du pourcentage de substitution du sable de dune par fines de verre sans ajout de fumés de silice est suivit par une augmentation de la résistance en traction du mortier, cette augmentation atteint et dépasse même un taux de 18% ;
- Toute substitution du sable de dune par fines de verre est suivi par une hausse de la résistance en traction et que la résistance à la traction optimale atteint 8MPa avec une substitution de 15% de sable de dune par fines de verre avec un ajout de fumée de silice de 5%.
- Toute substitution du sable de dune par fines de verre est suivi par une hausse de la résistance en traction et que la résistance à la traction optimale atteint 8MPa avec une substitution de 15% de sable de dune par fines de verre avec un ajout de fumée de silice de 5%.
- L'ajout de fumée de silice améliore la résistance en traction du mortier pour tout sable mixte utilisé, on remarque aussi que l'ajout de 5% de fumée de silice conduit au meilleur résultat et au-delà de 10% d'ajout de fumés de silice ;
- La résistance à la traction du mortier à base de sables mixtes (15% FV, 20%FV) affiche une baisse notable.
- Tous les mortiers affichent des résistances meilleure que la résistance du mortier témoin C01, Cela indique que toutes les substitutions avec ou sans ajout conduisent à une augmenté la résistance des mortiers ;

- La meilleur résistance est présenté par le mortier C06 , qui contien 15% de fine de verre et 5% de fumées de silice ;

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Les bétons : formulation, fabrication et mise en œuvre Les Fiches techniques, tome II,
- [2]: BOUALI Khaled « Elaboration et caractérisation thermomécanique des mortiers à base d'ajouts de déchets de briques réfractaires », mémoire de magister (spécialité: Génie des Matériaux) Option Physique et Mécanique des Matériaux UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA-BOUMERDES 2013/2014.
- [3] DOUMI Ibrahim KHAZAZ Adel « Valorisation des déchets de verre dans le domaine de matériaux de construction» Master. Université Abderrahmane Mira de Bejaia.2018
- [4]Source de l'image : Le recyclage du verre : <https://www.ville-bagnolet.fr/index.php/traitement-des-dechets.html>
- [5]-Brahim DJEMACI, La gestion des déchets en Algérie: analyse prospective et éléments d'efficacité, thèse de doctorat,. Université de Rouen, 2011
- [6] - RADI Abdelfateh - HACHEMI Abdelouahab« L'effet de la température sur les propriétés de mortier adjuvanté» Master Académique. UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA 17 Juin 2018
- [7] Abdi Ouled Mohamed Ethmane ouled Sidi « Etude du comportement mécanique Des mortiers en climat chaud» MEMOIRE DE MASTER. UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA.2017
- [8] BEN MOSTEFA FATIMA BOUHAFS KHEIRA «Etude de la Durabilité des mortiers à base de pouzzolane» Master. Centre universitaire Belhadj Bouchaib d'Ain-Temouchent.2017
- [9] Houssam BELKHIRI & Ahmed DERRAGUI« Contribution à l'étude des comportements mécaniques de mortier à base de sable de dune et fines siliceuses» MASTER ACADEMIQUE. Université Ziane Achour de Djelfa.2016
- [10] BELHOCINE AIDA NAGOUDI NADJAT« Etude expérimentale d'un mortier avec ajouts minéraux» Master en Génie Civil. Université KASDI Merbah – Ouargla.2014
- [11] BELHOCINE AIDA ,NAGOUDI NADJAT Etude expérimentale d'un mortier avec ajouts minéraux. Juin 2014
- [12] BAIKER Mohamed Cherif Contribution à l'étude des Caractéristiques physicomécaniques d'une brique a base du sable des dunes et les copeaux de bois. Mai 2016
- [13] -James Barton; Claude Guillemet Le verre, science et technologie Éditeur : Les Ulis : EDP sciences, 2005
- [14]GRANITEX. Guide produits

- [15]Influence du rapport E/C sur les propriétés mécaniques du mortier à base du sable de mâchefer
- [16]Etude des bétons à base des sables de dune
- [17] Collection Technique Cimbéton Guide de prescription des ciments pour des constructions
- [18]AZZOUZ Hocine, Etude des bétons à base des sables de dune univ de Biskra durables, Cas des bétons coulés en place, T 47
- [19] -Glas Trösch Holding AG Le verre et ses applications, Conseil, Bützberg 04.2013
- [20].R. CHAID. Formulation, caractérisation et durabilité des BHP aux ajouts cimentaires locaux. Thèse de doctorat d'état en génie civil ENP décembre 2006
- [21] LAKHDARI Selma. effets des adjuvants fluidifiants sur les caractéristiques physicomécaniques et rhéologiques des mortiers a base des sables des carrieres, 7-Dec-2015

ANNEXES

APPLICATIONS RECOMMANDÉES

- Béton structural en milieux agressifs.
- Travaux hydrauliques et souterrains.
- Travaux maritimes.
- Ouvrages massifs.



FORMULATION CONSEILLÉE

	Ciment 	Sable (sec) 	Gravillons (sec) 	Eau (litres) 
Dosage pour béton	+ X 1 	+ 	+  + 	+ 25 L

CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES

• Analyses chimiques

	Norme
Perte au feu (%) (NA5042)	<3.0
Teneur en sulfates (SO3) (%)	2.5±0.5
Teneur en oxyde de magnésium MgO (%)	<4.0
Teneur en Chlorures(NA5042) (%)	0.02-0.09

• Temps de prise à 20° (NA 230)

	Norme
Début de prise (min)	200±30
Fin de prise (min)	300±30

• Composition minéralogique du Clinker (Bogue)

	Norme
C3S (%)	60±3

• Résistance à la compression

	Norme
2 jours (MPa)	>10
28 jours (MPa)	>42.5

• Propriétés physiques

	Norme
Consistance Normale (%)	30±2.0
Finesse suivant la méthode de Blaine (cm²/g) (NA231)	3 500 - 4 500
Retrait à 28 days (µm/m)	< 800
Expansion (mm)	< 5.0

CONSIGNES DE SÉCURITÉ

1- PROTÉGEZ VOTRE PEAU : Portez les équipements adaptés dans vos chantiers: casques, lunettes, gants, genouillères, chaussures et vêtements de sécurité.

2- MANUTENTION : levez le sac en pliant les genoux et en gardant le dos droit.



LAFARGE ALGÉRIE
 Centre commercial Bab Ezzouar, Tour n°02,
 Etages 05 & 06, Bab Ezzouar Alger, Algérie
 Tél: + 213 (0) 21 98 54 54
 Fax: + 213 (0) 23 92 42 94
www.lafargealgerie.com

LAFARGE
 لافارج