



Mémoire de Fin d'Etudes

Présenté au

Département : des Sciences Technologiques

Domaine : Sciences et Techniques

Filière : Génie Civil

Spécialité : Géotechnique & Matériaux

Réalisé par

Houssam BELKHIRI & Ahmed DERRAGUI

Pour l'obtention du diplôme de

MASTER ACADEMIQUE

Intitulé

***Contribution à l'étude des comportements mécaniques
de mortier à base de sable de dune et fines siliceuses***

Soutenu le : **27/06/2016**

Devant le jury de soutenance composé de :

Mr. Taha-Hocine DOUARA	MAA	Univ. Djelfa	Président
Mr. Sadek EL BAHI	MAA	Univ. Djelfa	Examineur
Mr. Abderrahmane GRIEB	MCB	Univ. Djelfa	Encadreur

REMERCIEMENTS

En préambule à ce mémoire, nous souhaitons adresser ici

Nos remerciements à :

*Notre créateur (DIEU) pour nous avoir donné de la force à
Accomplir ce travail.*

*Notre promoteur **Dr. GHRIEB ABDERRAHMANE**, pour l'implication
Qu'il a pu avoir tout au long de ce projet, son suivi ses
Conseils et ses orientations.*

*Tous les membres des jurys, pour l'honneur qu'ils nous font
En acceptant d'examiner ce mémoire et pour leur
Bienveillante attention*

*Tous les travailleurs de **LNHC (LABORATOIRE NATIONAL DE
L'HABITAT ET CONSTRUCTION)***

Et laboratoire de (MDC) Département de génie civil université de Djelfa

Enfin, nous adressons nos sincères remerciements à tous

Nos proches et amis qui nous ont toujours soutenues et

Encouragées au cours de la réalisation de ce mémoire.

Table des matières

Liste des tableaux

Liste des figures

Résumé

Introduction générale 1

Chapitre I : Synthèse bibliographique

1. Introduction.....	2
2. Les sables de dunes.....	2
2.1. Définition	2
2.2. Nature de sable dune	2
2.2.1. Mécanismes de formation.....	2
2.2.2. Types des dunes.....	2
2.3. Physique des dunes.....	3
2.4. Classification des sables.....	4
2.4.1. Granulométrie	4
2.4.2. Propreté.....	4
2.4.3. Nature minéralogique	4
2.4.4. Les types des sables selon leurs provenances.....	5
2.5. Critères d'acceptabilité des sables pour leur emploi en construction	5
3. Les mortiers	6
3.1. Définitions.....	6
3.2. Types de mortier.....	6
3.2.1. Les mortiers fabriqués sur le chantier.....	7
3.2.2. Les mortiers industriels secs prés mélangés	7
3.2.3. Les mortiers frais retardés, stabilisés, prêts à l'emploi.....	7
3.3. Rôle du mortier dans la construction	7
3.3.1. Les enduits.....	8
3.3.2. Les chapes.....	8
3.3.3. Les joints de maçonnerie	8
3.3.4. Les scellements et les calages.....	9
3.4. Propriétés physiques et mécaniques de mortier	9
3.4.1. Mesure de la consistance des mortiers	9
3.4.2. Mesure des résistances à la compression et à la traction.....	10

3.4.3. Retrait	12
3.4.4. Les facteurs agissant sur l'amplitude de retrait	12
3.4.5. Différents types de retrait	13
4. Règle de l'Art.....	14
5. Conclusion	24

Chapitre II : caractérisation des matériaux étudiés

1. Introduction.....	25
2. Les sables	25
2.1. Masse volumique.....	25
2.1.1. Masse volumique apparente	25
2.1.2. Analyse granulométrique.....	26
2.1.3. Propreté des sables.....	30
3. Les fines d'ajout.....	31
3.1. Définition	31
3.2. Les fines d'ajout utilisées	31
3.3. Analyse granulométrique par sédimentation.....	31
3.4. Masses volumiques	32
3.5. Surface spécifique	32
4. Eau de gâchage	32
5. Ciment.....	32
5.1. Analyse chimique et minéralogique du ciment	33
5.2. Caractéristiques physiques	33
5.3. Surface spécifique	33
5.4. Consistance normale et temps de prise du ciment.....	34
5.5. Caractéristiques mécaniques du ciment	34
6. Conclusion	35

Chapitre III : Propriétés du mortier frais

1. Introduction.....	36
2. Formulation.....	36
2.1- Choix de correcteur granulaire et des dosages.....	36
2.2- Méthode de formulation des mélanges	36
3. Confection du mortier	37
3.1. Malaxage	37

3.2. Détermination des propriétés physiques du mortier frais.....	38
3.2.1. Ouvrabilité	38
a.1. Effet de l'ajout des fines sur la consistance de mortier à base de sable de dune :.....	40
3.2.2. Masse volumique apparente des mélanges frais.....	41
a.1. Effet de l'ajout des fines sur la masse volumique apparente de mortier à base de sable de dune	42
4. Conclusion	43

Chapitre IV : Propriétés du mortier durci

1. Introduction.....	44
2. Les éprouvettes utilisées	44
3. Serrage du mortier.....	44
4. Confection et conservation des éprouvettes.....	45
5. Résistance en traction :	46
5.1. Résultats et discussions	47
5.1.1. Résultats.....	47
5.1.2. Evolution de la résistance en traction par flexion.....	48
6. Résistance en compression	49
6.1. Résultats et discussions	49
6.1.1. Résultats.....	49
6.1.2. Evolution de la résistance en compression	50
7. La capacité d'absorption d'eau	51
7.1. Définitions.....	51
7.2. Appareillage	51
7.3. Détermination de la capacité d'absorption d'eau	52
7.4. Opération de l'immersion.....	52
7.5. Opération de dessiccation.....	53
7.6. Expression des résultats	53
7.7. Résultats et discussions	53
8. Conclusion	54
Conclusion générale	56

Références

Liste Des Tableaux

Tableau	Page
Tableau. I.1. Paramètres physiques des sables (SD, SAD).....	14
Tableau. I.2. Composition en grammes des différents constituants des mortiers préparés.....	15
Tableau. I.3. Composition des différentes formulations.....	17
Tableau. I.4. Les résultats de temps d'écoulements.....	17
Tableau. I.5. Les valeurs de la masse volumique apparente de MDCB.....	18
Tableau. I.6. Compositions des bétons étudiés (à partir du sable de dune de Laghouat)	23
Tableau. I.7. Résultats de résistance du béton 3(dans l'eau potable à $15^{\circ}\pm 2^{\circ}\text{C}$).....	23
Tableau. II.1. Masses volumiques apparentes et absolues des sables étudiés.....	26
Tableau. II.2. Analyse granulométrique par tamisage du SD.....	27
Tableau. II.3. Analyse granulométrique par tamisage du sable SA.....	27
Tableau. II.4. Granularité des sables étudiés.....	29
Tableau. II.5. Modules de finesse des sables étudiés.....	29
Tableau. II.6. Classes de propreté d'après les valeurs de l'équivalent de sable.....	30
Tableau. II.7. Propreté des sables étudiés.....	30
Tableau. II.8. Analyse chimique du ciment utilisé.....	33
Tableau. II.9. Composition minéralogique du ciment.....	33
Tableau. II.10. Caractéristiques physiques du ciment utilisé.....	33
Tableau. II.11. Temps de début et de fin de prise du ciment utilisé.....	34
Tableau. II.12. Caractéristiques mécaniques du ciment.....	35
Tableau. III.1. Composition des différentes formulations.....	37
Tableau. III.2. Domaines de consistance du mortier.....	39
Tableau. III.3. Rapports E/C et temps d'écoulement.....	39
Tableau. III.4. Masses volumiques des mélanges frais.....	41
Tableau. IV.1. Valeurs de la résistance en traction des différentes formulations.....	47

Tableau. IV.2. Valeurs de la résistance à la compression des différentes formulations.....	49
Tableau. IV.3. Valeurs de la capacité d'absorption d'eau des différentes formulations.....	53

LISTES DE FIGURES

Chapitre I

Recherche Bibliographique

Figure. I.1. La barkhane.....	3
Figure. I.2. Morphologie de la barkhane.....	4
Figure. I.3. Applications des mortiers industriels	7
Figure. I.4. Principe de fonctionnement du maniabilimètre B.....	10
Figure. I.5. Moules pour moulage des éprouvettes de mortier	10
Figure. I.6. Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion	11
Figure. I.7. Dispositif de rupture en compression	11
Figure. I.8. Phénomène de retrait	12
Figure. I.9. Différents types de retrait	13
Figure. I.10. Résistance à la compression en fonction de la durée de conservation ...	15
Figure. I.11. Résistance à la flexion en fonction du temps de conservation.....	16
Figure. I.12. Effet du pourcentage de déchets céramiques sur le temps d'écoulement	18
Figure. I.13. La masse volumique apparente pour le mélange	19
Figure. I.14. Effet de l'ajout (DCB) sur la résistance à la traction	19
Figure. I.15. Effet de l'ajout (DCB) sur la résistance à la compression	20
Figure. I.16. Variation de la résistance à la compression en fonction d'âge (Composition 1).....	21
Figure. I.17. Variation de la résistance à la compression en fonction d'âge (Composition 2).....	22
Figure. I.18. Variation de la résistance à la compression en fonction d'âge (Composition 3).....	22

Chapitre II	Caractéristiques des matériaux
Figure. II.1. Méthode de mesure de la masse volumique absolue et apparente.....	26
Figure. II.2. Courbes granulométriques des sables étudiés.....	28
Figure. II.3. Courbe d'analyse granulométrique par sédimentation de fines utilisées	32

Chapitre III	Propriétés du mortier frais
Figure. III.1. Malaxeur de mortier.....	38
Figure. III.2. Le maniabilimètre utilisé.....	39
Figure. III.3. Effet des fines sur le temps d'écoulement.....	40
Figure. III.4. La balance et la tare utilisé.....	41
Figure. III.5. Effet des fines sur la masse volumique apparente du mortier frais.....	42

Chapitre IV	Propriétés du mortier durci
Figure. IV.1. Le moule utilisé.....	44
Figure. IV.2. La table vibrante utilisée.....	45
Figure. IV.3. Conservation des éprouvettes dans l'eau.....	45
Figure. IV.4. Dispositif pour l'essai de résistance à la traction par flexion.....	46
Figure. IV.5. L'appareil et le dispositif utilisés.....	47
Figure. IV.6. Evolution de la résistance en traction par flexion des mélanges de mortier.....	48
Figure. IV.7. Dispositif pour l'essai de résistance à la compression.....	49
Figure. IV.8. Evolution de la résistance en compression des mélanges de mortier...	50
Figure. IV.9. Immersion des éprouvettes dans un bac.....	52
Figure. IV.10. Mesure la masse de l'éprouvette saturée.....	52
Figure. IV.11. Influence de la teneur en fines sur la capacité d'absorption d'eau....	54

الخلاصة:

العمل المقدم يهدف إلى دراسة إمكانية استخدام رمل الكثبان الذي يوجد بكميات معتبرة في الجزائر، لإعداد ملاط ذا مواصفات وخصائص فيزيائية وميكانيكية كافية تؤهله لمختلف تطبيقات واستخدامات مجال بناء العمارات. تحسين التوزيع الحبيبي لرمل الكثبان تم عن طريق إضافة مسحوق الرمل السيليسي. منهجية صياغة نسب مكونات الخلائط تستند على استبدال رمل الكثبان بالمسحوق السيليسي وفق نسب كتلية مختلفة 5، 10، 15، 20 و 25 %، 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 وجدنا أيضا أن إضافته وبنسبة 5 % يمكن أن تعطي خصائص ميكانيكية أفضل من تلك التي يعطيها الملاط المحضر من رمل الوديان. وهو ما يدل على مدى نجاعة هذه الإضافات في تحسين مختلف خصائص الملاط.

الكلمات المفتاحية: رمل الكثبان، مسحوق الرمل السيليسي، 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 siliceuses. La formulation des mélanges se base sur la substitution de sable de dune par les fines, à différentes teneurs pondérales 5, 10, 15, 20 et 25%, La quantité de ciment est fixée à 450 g. Les résultats obtenus montrent que l'introduction de fines siliceuses aux mélanges rend le mortier moins poreux et plus résistant quel que soit en traction ou en compression. L'addition de ces fines avec un pourcentage de 5% peut donner des performances mécaniques dépassent celles d'un mortier à base de sable alluvionnaire. Ce qui démontre l'efficacité de ces fines à l'amélioration des différentes propriétés de mortier.

Mots clés : Sable de dune, fines siliceuses, mortier, ouvrabilité, propriétés mécaniques.

Abstract:

This present study aims to examine the ability to use the dune sand which is abundantly in Algeria, in the production of mortars having sufficient physical and mechanical properties to exploit them in the various applications of construction of buildings.

The improvement of the granulometry of the dune sand, which is generally very tight, was made by the addition of siliceous fines. The formulation of the mixtures is based on the replacement of dune sand with fines at different weight contents; 5, 10, 15, 20 and 25%, the quantity of cement is fixed at 450 g. The results obtained show that the addition of these fines makes the mortar less porous and more resistant to the tensile and compression strength. The addition of these fines with a percentage of 5% can provide mechanical performances exceed that given by a mortar based on alluvial sand. Which demonstrate the efficacy of these additions to the improvement of the various properties of the mortar.

keywords: dune sand, siliceous fines, mortar, workability, mechanical properties.

*Introduction
générale*

INTRODUCTION GENERALE

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.

L'objectif de ce travail est la valorisation de sable de dune par la correction de sa granulométrie afin de l'exploiter pour la fabrication de mortier. Pour atteindre cet objectif plusieurs essais ont été réalisés sur les mélanges de mortier pour examiner son aptitude de l'utiliser dans le secteur du bâtiment.

Dans notre étude la correction de la granulométrie de sable de dune, qui est généralement mal étalée, a été faite par l'ajout des fines siliceuses. La formulation des mélanges adoptée se base sur la substitution de sable de dune par les fines, aux différentes teneurs pondérales 5, 10, 15, 20, 25%. Le dosage de ciment est fixé à 450 g.

Le travail comporte quatre chapitres :

- Synthèse bibliographique sur les l'objectif de travail.
- Caractérisation des matériaux étudiés.
- Formulation des mélanges et détermination des performances physiques et mécaniques des mélanges.
- Etude de l'effet de l'ajout des fines siliceuses sur les performances physiques mécaniques des mélanges de mortier.

Après un résumé général et une présentation de l'objectif de l'étude, le premier chapitre est consacré à la synthèse sur l'état actuel de connaissances sur les sables (définition, différents types, classement, caractéristiques physiques et mécaniques...etc.). Cette partie s'intéresse aux propriétés des sables de dune, aux mortiers et aux principaux travaux effectués sur le mortier à base de sable dune. Le deuxième chapitre s'intéresse à la caractérisation physique, chimique, minéralogique des matériaux étudiés. Le troisième et le quatrième chapitre comportent une étude physico-mécanique des mélanges de mortiers, et une présentation et interprétation des différents résultats d'essais sur mortier à l'état frais et durci. Dans cette partie on a s'intéressé à examiner l'effet des fines siliceuses sur la consistance, la résistance mécanique et la capacité d'absorption d'eau des mélanges.

CHAPITRE I

SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

Ce premier chapitre présente une généralité sur les mortiers, les sables ; définitions, type, rôle de la construction, caractéristiques physiques et mécaniques de mortier et les principaux travaux effectués sur le mortier... etc.

1. Introduction

Dans ce premier chapitre de notre étude nous allons donner une présentation générale sur les propriétés des différents types de sables utilisés dans le domaine de génie civil. Notamment leurs mécanismes de formation, classifications et les critères d'acceptation pour leur emploi en construction. Nous allons également donner un aperçu sur les mortiers. Nous avons surtout basé sur leurs applications dans la construction, les différents types et les principales caractéristiques.

A la fin de ce chapitre nous allons donner une synthèse sur les travaux de recherche qui ont été fait sur la valorisation de sable de dune pour la confection des mélanges cimentaires appliqués dans le domaine de la construction en génie civil, où nous allons exposer les principaux résultats obtenus.

2. Les sables de dunes

2.1. Définition

Le sable des dunes est le résultant d'une érosion et d'une sédimentation des différentes roches suivie d'un transport fluviatile et parfois éolienne. La plus grande partie des formations sableuses est constituée de quartz. Il est caractérisé par une granulométrie fin et très serrée [1].

Dans une autre signification le sable de dune qui s'impose du fait de son abondance dans la nature (Sahara), de son coût d'extraction presque nul, et de sa propreté apparente, constitue la solution au problème d'épuisement des ressources naturelles et se présente comme un matériau d'avenir [2].

2.2. Nature de sable dune

2.2.1. Mécanismes de formation

Les dunes se forment dans des zones où le sable est abondant et non fixé par la végétation (désert, plage, lit fluvial à l'étiage). Le sable est érodé et pris en charge par le vent (déflation). 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 opposé [2].

2.2.2. Types des dunes

2.2.2.a. Les avant-dunes (fore dune pour les anglophones), qui sont des bourrelets plus ou moins fixés par la végétation (oyats par exemples), parallèles au trait de côte et solidaire de la plage, c'est à dire échangeant du sable avec elle, dans un même système sédimentaire. À ne pas confondre avec une ancienne arrière dune en cours d'érosion, ou avec une dune formée par du sable venant de terre sur un secteur ou un avant-dîner active ne pourrait pas se former. En Espagne et en Tunisie, ces avant-dunes sont systématiquement considérées comme faisant partie du domaine public maritime, ce qui facilite leur protection. L'avant dune se forme à partir de fixation du sable en haut de plage, par des plantes pionnières psammophiles [2].

2.2.2.b. Les falaises dunaires (dune Cliff pour les anglophones) n'est pas une vraie dune mais un profil résultant de l'érosion marine d'une dune ancienne fixée par une pelouse ou un boisement qui ont été à l'origine de la formation d'une couche d'humus ou de sol sableux [2].

2.2.2.c. Les dunes perchées (Cliff-top dune pour les anglophones), qui apparaissent au sommet d'une falaise vive ; alimentée en sable par le vent à partir de l'estran, voire à partir du profil de pente, quand il s'agit d'une falaise dunaire [2].

2.2.2. d. Les cordons dunaires artificiels

Qui sont construits de main d'homme, généralement comme élément de protection contre la mer ou d'une zone cultivée et/ou construite. Ils Nécessitent un entretien permanent, sans lequel ils se désintègrent en quelques décennies. Certains cordons sont semi-naturels (ex : avant-dunes plus ou moins dégradés rectifiées par des engins et fixées par des oyats à Sangatte dans le nord de la France) [2].

2.3. Physique des dunes

Nous connaissons tous, au moins par des photos ou les images de télévision, les étendues Majestueuses de dunes ressemblant à une mer de sable dans le désert. Leurs formes répétitives modelées par le vent couvrent d'immenses surfaces et leurs menacent aussi bien les zones de cultures que les routes ou même les villes. Malgré cela, le mouvement des dunes était encore très mal compris [2].



Figure. I.1. La barkhane

Une barkhane est une dune de la forme d'un croissant allongé dans le sens du vent. Elle naît 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. Ce phénomène fait avancer la dune [2].

Les dunes les plus simples ont une forme de croissant et portent le nom arabe de barkhane (voir figure.I.1). 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 (voir fig.I.2) [2].

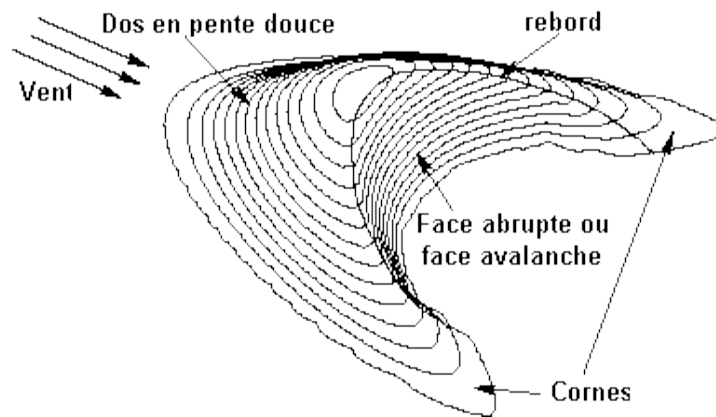


Figure. I.2. Morphologie de la barkhane [2].

2.4. Classification des sables

On peut classer les sables selon trois paramètres dont :

2.4.1. Granulométrie

Elle permet de séparer les sables en trois catégories :

- **Sables fins** : plus de 75% des éléments supérieurs à $80\mu\text{m}$, sont inférieurs à $0,5\text{mm}$. 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 $80\mu\text{m}$ 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 $80\mu\text{m}$ sont compris entre $0,5$ et 5mm . Ces sables ont des propriétés qui se rapprochent des graves [3].

2.4.2. 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 $6,3\text{mm}$. Le résultat obtenu doit être exprimé en gramme de bleu. [4]

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 [4] :

- 1) $VBS < 0,2$: sable propre
- 2) $0,2 < VBS < 0,4$: sable légèrement pollué.
- 3) $0,4 < VBS < 1$: sable pollué.
- 4) $VBS > 1$: sable très pollué.

2.4.3. Nature minéralogique

En général, les sables peuvent être classés comme suit [4] :

- Sables siliceux.
- Sables silico-calcaires.
- Sable calcaires.

2.4.4. Les types des sables selon leurs provenances

Selon leurs provenances, les sables peuvent être classés comme suit :

- **Sable de rivière** : il est obtenu par dragage des lits des cours d'eau. Il doit être dur et propre pour qu'on puisse l'utiliser dans les bétons.

- **Sable de mer** : il provient des côtes de la mer. Pour l'utiliser dans les bétons, il faut qu'il ne soit pas trop fin et qu'il soit lavé de son sel.

- **Sable de carrière** : Il contient souvent de l'argile qui enrobe les grains et les empêche d'adhérer aux liants. Il est donc à proscrire.

- **Sable artificiel** : il est obtenu par concassage des roches (calcaires durs, gré ...). Il est souvent plein de filler. Pour qu'il soit utilisable dans les bétons, il faut limiter le pourcentage des fines.

- **Sable de dune** : c'est une variété des sables de mer. Il est donc très fin. Les sables de dune se trouvent dans les régions sud du pays. Ils sont situés en zone présaharienne. Les sables retenus sont ceux issus des dunes continentales. Ces dunes sont constituées des nombreux amas de sables fins accumulés dans certaines régions spécifiques du Sahara [5].

2.5. Critères d'acceptabilité des sables pour leur emploi en construction

L'Algérie est un gros consommateur de granulat. Cette consommation s'accroît d'une année à l'autre. Les gros granulats ont tendance à être épuisés dans certaines régions. D'autres régions ne disposent plus de ce matériau. Par ailleurs, notre pays, est notamment le sud algérien, dispose de grands gisements de sables de différents natures (de dune, alluvionnaires et de concassage), ainsi que de grands gisements de fines naturelles et artificielles. La réflexion sur l'élaboration de nouveaux bétons tels que les bétons de sable ou de mortier est donc devenue nécessaire [6].

Ce type de sable pourrait bien constituer le squelette d'un béton pour peu que sa formulation soit judicieusement étudiée. Le sable de dune était utilisé depuis longtemps dans l'exécution des travaux de remblais, de fondations et les travaux routiers [6].

De nombreux chercheurs, dans des thématiques scientifiques diverses, cherchent à exploiter ce type de sable, propre et présent à l'abondance. Son utilisation pourrait être liée à sa très forte teneur en silice, matériau à la base d'applications dans l'électronique et l'optique par exemple, en génie civil, ce sable présente aussi un grand intérêt économique et environnemental [6].

2.5.1. Intérêt de sable de dune

L'intérêt d'utilisation de tels agrégats se situe à deux niveaux : technique et économique.

2.5.2. Les aspects économiques

Les aspects sont évidents dans la mesure où l'utilisation du sable de dune permet une économie certaine dans le transport des matériaux, puisqu'il est partout disponible en quantité inépuisable.

Par ailleurs, son extraction n'engendre pratiquement pas de frais supplémentaires et son mélange avec les autres matériaux sur chantier peut se faire facilement [6].

2.5.3. Les aspects techniques

- Le sable peut contribuer à la densification des matériaux. Ceci permet, par la même occasion, l'amélioration de leurs caractéristiques géotechniques en augmentant le frottement interne et en améliorant la portance.
- Il peut être utilisé pour diminuer la plasticité des matériaux de base [6].

3. Les mortiers

3.1. Définitions

Le mortier est un mélange de ciment, de sable et d'eau, utilisé notamment dans les maçonneries et les enduits. Selon les performances souhaitées, on utilise des formulations variées, notamment en ce qui concerne les liants [7].

Des compositions multiples de mortiers peuvent être obtenues en jouant sur les différents paramètres ; liant (type et dosage), adjuvants et ajouts, dosage en eau. En ce qui concerne le liant, tous les ciments et les chaux sont utilisables ; leur choix et le dosage sont en fonction de l'ouvrage à réaliser et de son environnement [8].

3.2. Types de mortier

a. Les mortiers de ciment

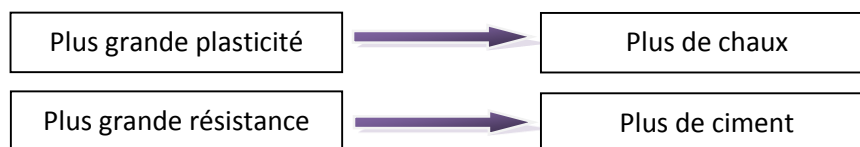
Les mortiers de ciment, très résistants, prennent et durcissent rapidement. De plus un dosage en ciment suffisant les rend pratiquement imperméables. Les dosages courants sont de l'ordre de 300 à 400 kg de ciment pour un mètre cube de sable [7].

b. Les mortiers de chaux

Les mortiers de chaux sont gras et onctueux. Ils durcissent plus lentement que les mortiers de ciment, surtout lorsque la chaux est calcique [7].

c. Les mortiers bâtards

Le mélange de ciment et de chaux permet d'obtenir conjointement les qualités de ces deux liants. Généralement, on utilise la chaux et le ciment par parties égales ; mais on mettra une quantité plus ou moins grande de l'un ou de l'autre suivant l'usage et la qualité recherchée [7].



Les sables utilisés sont généralement siliceux ou silico-calcaires ; leur granulométrie est de préférence continue. Les mortiers peuvent comporter différents types d'adjuvants selon la caractéristique recherchée :

Plastifiants, entraîneurs d'air, retardateurs de prise, hydrofuges. L'incorporation de fibres de verre ou de polypropylène permet d'obtenir des mortiers présentant une cohésion supérieure et moins fissurés [7].

3.2.1. Les mortiers fabriqués sur le chantier

C'est encore le cas très souvent pour des menus travaux ; le plus grand soin doit être apporté tant au stockage qu'au mélange des constituants qui seront choisis en fonction de l'ouvrage à réaliser [7] :

- Type et classe du liant.
- Nature et granulométrie du sable.
- Dosage en eau.
- Nature des adjuvants.

3.2.2. Les mortiers industriels secs prés mélangés

Comme la plupart des produits industriels, ces mortiers font l'objet de contrôles à tous les stades de leur élaboration, ce qui constitue pour l'utilisateur une sécurité. Les avantages présents par ces produits sont :

- Un présage de composition constante, garant de Régularité et de qualité.
- Un gain de temps pour préparer le mortier.
- Des chantiers plus propres.

Les producteurs proposent de nombreuses formules Standard répondant à la plupart des besoins [7].

3.2.3. Les mortiers frais retardés, stabilisés, prêts à l'emploi

Les mortiers frais retardés et stabilisés sont élaborés et livrés par des centrales, comme le Béton Prêt à l'Emploi. Du fait qu'ils sont retardés, ces mortiers peuvent être livrés et stockés en quantité importante sur le chantier. On peut les utiliser dans un délai allant jusqu'à 36 heures [7].

3.3. Rôle du mortier dans la construction



Figure. I.3. Applications des mortiers industriels [9].

Les mortiers sont présents dans tous les secteurs du BTP et peuvent être classés selon 4 applications principales (voir Figure I.3) :

- **Façades** : enduits pour bâtiments neufs, enduits pour rénovation, isolation thermique par l'extérieur.
- **Carrelages** : colles à carrelage, mortiers de joints, étanchéité, isolation acoustique sous carrelage.
- **Sols** : mortiers de chapes, enduits de lissage, ragréages.
- **Mortiers spéciaux** : gros œuvre, maçonnerie, réparation, scellement, voirie, assainissement, imperméabilisation [9].

3.3.1. Les enduits

C'est une mince couche de mortier appliqué sur les parements d'un ouvrage.

Au moyen âge, Viollet-Le-Duc posait le problème du rapport entre structure et décor : Une conception architectonique comporte-t-elle sa décoration ou bien la décoration est-elle appelée par l'architecte lorsque la composition de l'édifice est arrêtée, Plusieurs réponses ont été adoptées, dans l'ensemble pour masquer la structure, régulariser les surfaces et les protéger des agressions extérieures [10].

Les enduits ont plusieurs rôles dans les édifices, on cite :

- ✓ La protection et l'isolation contre l'humidité due aux intempéries ou remontées capillaires.
- ✓ Isolation thermique et acoustique.
- ✓ Adhère aux matériaux, pour mieux transmettre les charges ou créer un écran durable contre les agressions externes, gaz, humidité, etc.
- ✓ La présentation, pour dresser les surfaces inégales [10].

3.3.2. 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 » [10].

3.3.3. 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 liaisonne 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 jointolement, ainsi que les préconisations pour leur mise en œuvre [10].

3.3.4. 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...etc [10].

3.4. Propriétés physiques et mécaniques de mortier

3.4.1. Mesure de la consistance des mortiers (NF P 18-452 et NF P15-437)

a. Objectif de l'essai

C'est une mesure qui est utile pour apprécier l'efficacité d'un adjuvant plastifiant, ou super plastifiant, sur la fluidité d'un mortier ou sur la réduction d'eau qu'il permet de réaliser à consistance égale. Il convient donc de définir un mode opératoire susceptible d'apprécier cette consistance ; c'est l'objet des essais définis par les normes NF P 18 - 452 et NF P 15 -437. [11]

b. Principe de l'essai

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

c. Equipement nécessaire

L'appareil utilisé est appelé " maniabilimètre B" voir (Fig.I.4). Il consiste en un boîtier parallélépipédique métallique (60 cm x 30 cm x 30cm), posé sur des supports en caoutchouc, équipé d'un vibreur et muni d'une cloison amovible. Un malaxeur normalisé est également requis pour la réalisation du mortier [11].

d. Conduite de l'essai

Le mortier est introduit dans la partie la plus grande délimitée par la cloison et mis en place par piquage en 4 couches. 4 minutes après la fin du malaxage, la cloison est retirée, ce qui provoquant la mise en route du vibreur et le déclenchement d'un chronomètre par l'opérateur. Sous l'effet de la vibration le mortier s'écoule. Le chronomètre est arrêté quand le mortier atteint un trait repère sur la paroi opposée du boîtier. Le temps (t) mis par le mortier pour s'écouler caractérise sa consistance. Ce temps sera d'autant plus court que le mortier sera plus fluide (ou plus maniable, d'où le nom de l'appareil) [11].

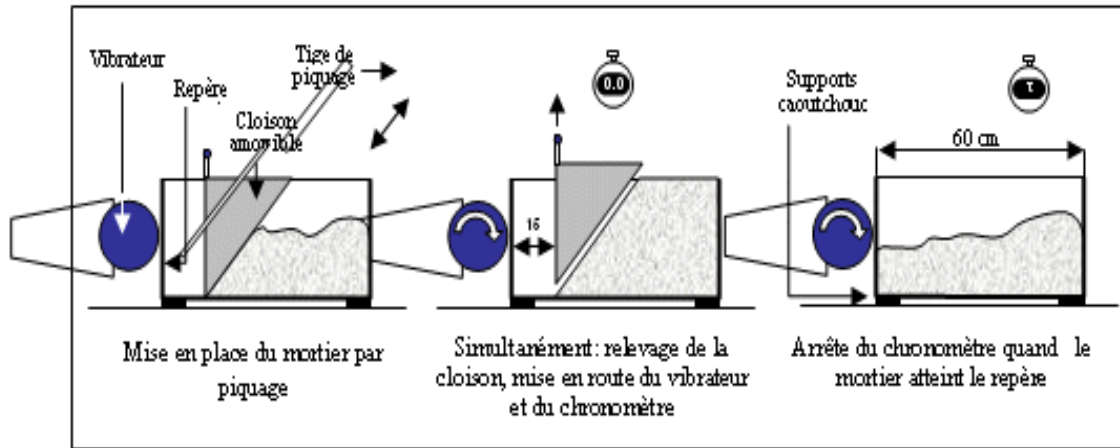


Fig.I.4 Principe de fonctionnement du maniabilimètre B.

3.4.2. Mesure des résistances à la compression et à la traction (EN 196-1)

a. Objectif de l'essai

La résistance d'un mortier est directement dépendante du type de ciment donc, il s'agit de définir les qualités de résistance d'un ciment plutôt que d'un mortier [11].

b. Principe de l'essai

L'essai consiste à étudier les résistances à la traction et à la compression d'éprouvettes de mortier normal. Dans un tel mortier la seule variable est la nature de liant hydraulique ; la résistance du mortier est alors considérée comme significative de la résistance du ciment [11].

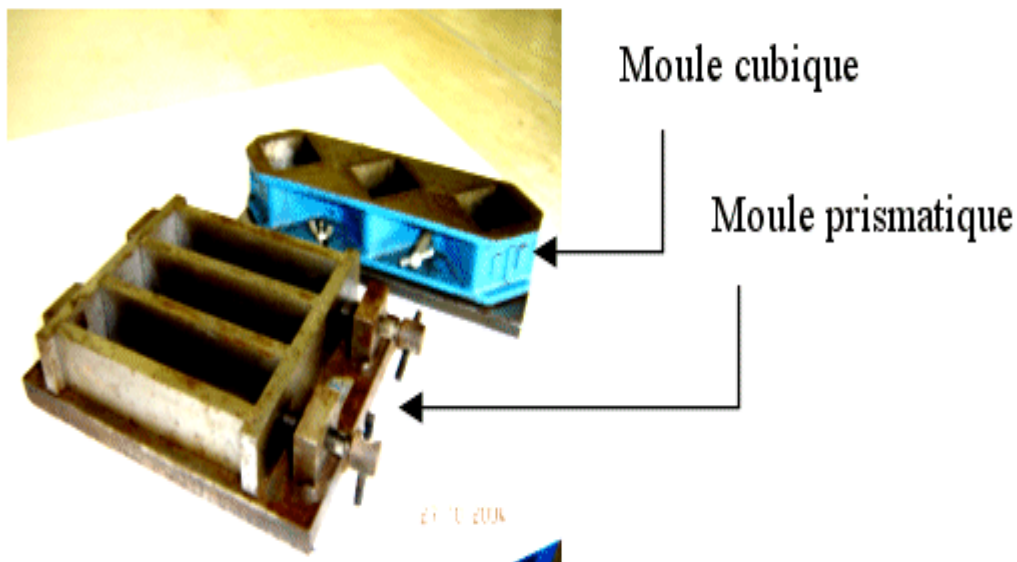


Fig.I.5. Moules pour moulage des éprouvettes de mortier.

c. Résistance à la flexion

La rupture de chaque éprouvette en flexion est effectuée conformément au dispositif décrit sur la (figure I.6) [11].

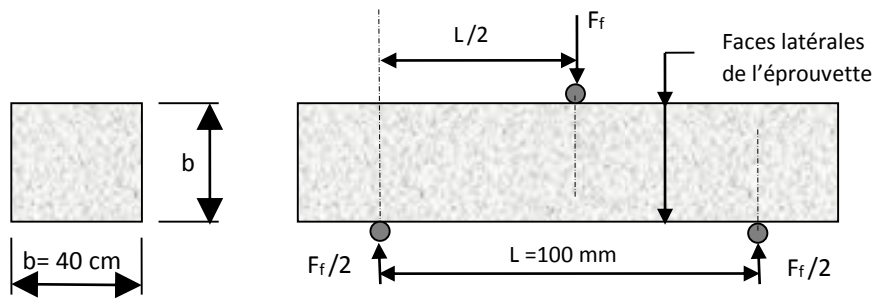


Fig. I.6. Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion.

La résistance à la flexion se calcule selon l'équation (I.1)

$$R_f = \frac{1.5 \times F_f \times L}{b^3} \dots\dots\dots (I.1)$$

R_f : Résistance à la flexion en (MPa)

F_f : Charge de rupture de l'éprouvette en flexion (N)

L : Longueur qui sépare les deux appuis en (mm)

b : Côte de l'éprouvette est égale à 40mm [11].

d. Résistance à la compression :

Les éprouvettes étudiées sont soumises à une charge croissante jusqu'à la rupture. La résistance à la compression est le rapport entre la charge de rupture et la section transversale de l'éprouvette. Compression comme indiqué sur la (figure I.7) Si F_c est la charge de rupture, la contrainte de rupture vaudra :

$$R_c = \frac{F_c}{b^2} \dots\dots\dots (I.2)$$

R_c : Résistance à la compression en (MPa)

F_c : Charge de rupture en (N)

b : Côte de l'éprouvette est égale à 40mm [11].

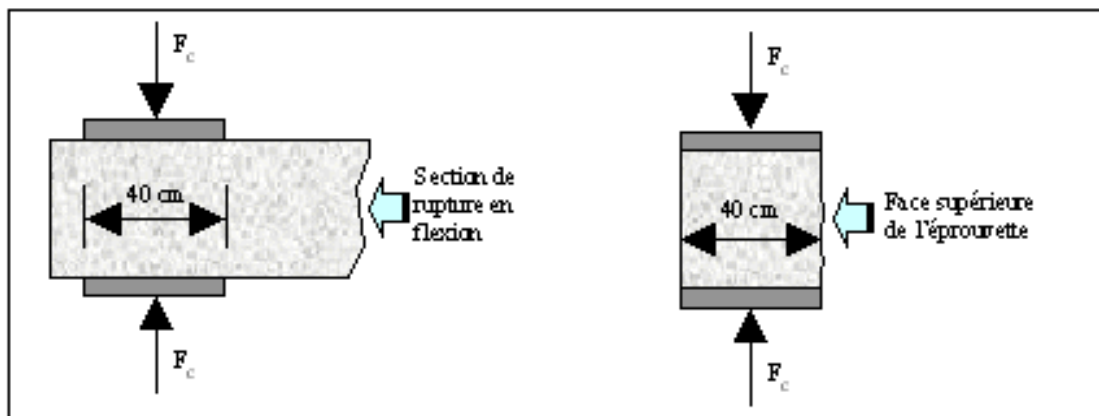


Fig. I.7. Dispositif de rupture en compression [11].

3.4.3. Retrait

Dès la fin de sa mise en œuvre, le mortier est soumis à des déformations, même en absence de charges.

C'est un matériau en évolution avec le temps ; en effet ses propriétés se modifient au cours de son existence suivant l'état de l'atmosphère, la température et les charges appliquées. Il sera le siège de transformations diverses.

En l'absence de toute charge, les mortiers en général subissent des déformations plus ou moins importantes quand leur contenu en eau ou l'humidité du milieu environnant varient. Pour les mortiers conservés à l'air, on observe une diminution des dimensions initiales. Cette variation est due principalement à l'évaporation de l'eau contenue dans les gels. Ce phénomène porte le nom de retrait [10].

3.4.4. Les facteurs agissant sur l'amplitude de retrait

Tout paramètre influant sur le bilan de l'eau dans le mortier, influera sur son retrait puisque ce dernier est lié, en grande partie, aux migrations d'eau. Ces facteurs qui agissent sont :

- Le dosage en ciment : le retrait augmente avec le dosage en ciment.
- La quantité d'eau de gâchage.
- Les vides d'air : l'évaporation de l'eau est facilitée par une forte perméabilité du mortier.
- La finesse de mouture du ciment : cela nécessite une plus grande quantité d'eau de mouillage.
- La présence d'éléments fins : proviennent en général de l'emploi d'agrégats argileux ou de Agrégats de broyage non dépoussiérés.
- Nature du ciment : facteur de toute première importance. Les ciments à forte proportion de Laitier conduisent à des valeurs de retrait plus élevées (cas d'une conservation dans l'air).
- Hygrométrie de l'ambiance : le retrait croît quand l'humidité relative diminue [10].

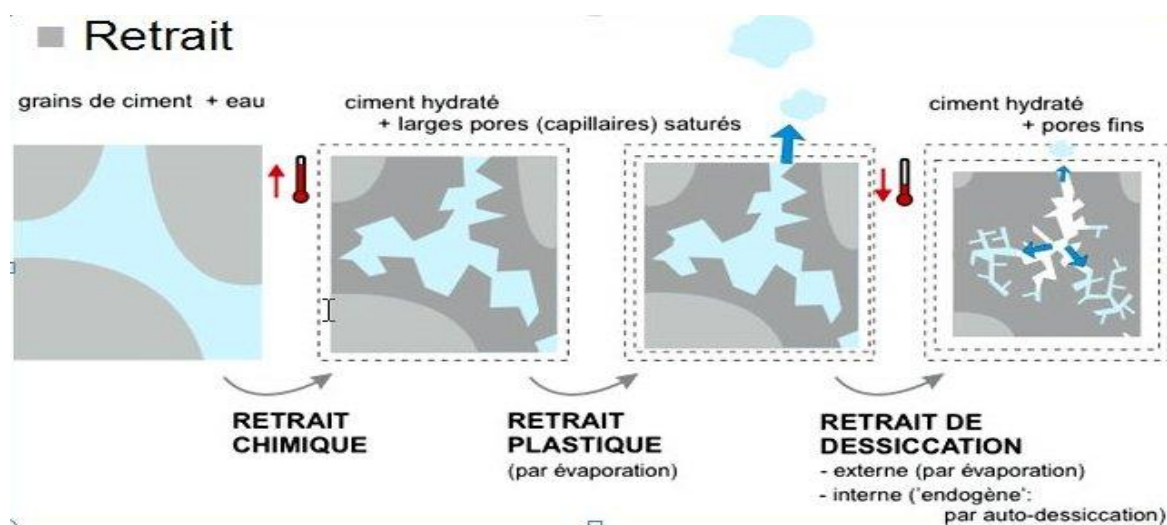


Fig. I.8. Phénomène de retrait [10].

3.4.5. Différents types de retrait

A partir de la prise du mortier, le retrait est le raccourcissement spontané du matériau non chargé. Le retrait peut être divisé en plusieurs types présentés dans la Figure (I.9)

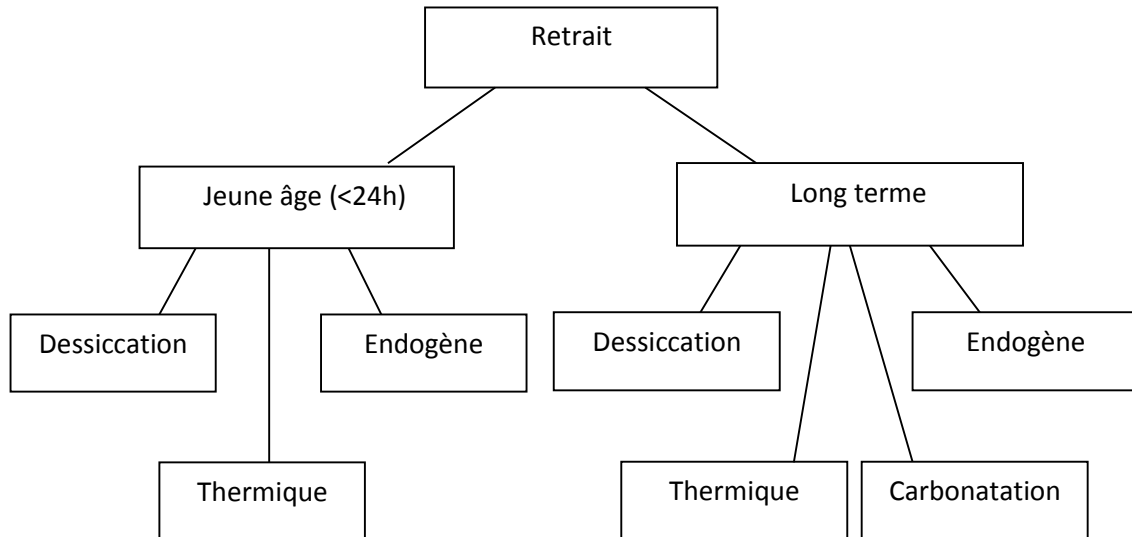


Fig. I.9. Différents types de retrait [12].

a. Retrait d'autodéification (ou deuxième retrait)

La réaction du ciment et de l'eau s'accompagne, dans la pâte de ciment durcie, d'une dessiccation sans départ d'eau vers l'extérieur. Cette auto dessiccation peut provoquer un retrait tout comme la dessiccation proprement dite. Il est induit par la contraction Le Chatelier et par l'hydratation. La contraction Le Chatelier provient du fait que le volume des produits hydratés est inférieur à la somme des volumes de ciment anhydre et de l'eau consommée [12].

b. Retrait endogène

Il représente la somme du retrait d'autodéification et de la contraction Le Chatelier mais ces deux effets ne sont pas entièrement dissociables [12].

c. Retrait thermique après prise

La prise du ciment s'accompagne d'un dégagement de chaleur et, dans les zones massives ou isolées thermiquement, d'un échauffement du mortier. Après la prise, ce dégagement de chaleur ralentit et le mortier durcit. Le retrait thermique après prise est la contraction du mortier due à ce refroidissement [12].

d. Retrait de dessiccation

Il est dû au déséquilibre hygrométrique entre la pâte de ciment et le milieu ambiant essentiellement lié au départ de l'eau du mortier par évaporation.

e. Retrait de carbonatation

Il est provoqué par la réaction de la portlandite avec le CO₂ présent dans l'air ambiant :



Il en résulte la formation de carbonate de calcium et d'eau. Cette transformation s'accompagne d'une légère diminution de volume. Cette réaction est fonction de l'humidité relative [12].

4. Règle de l'Art

Le travail réalisé par **Benchaa Benabed ; Lakhdar Azzouz ; El-hadj Kadri ; Akram Salah Eddine Belaidi et Hamza Soualhi**, [13] qui traite le thème « Propriétés physicomécaniques et durabilité des mortiers à base du sable de dunes ». Ce travail tente d'apporter des solutions pour l'emploi de sable dunaire dans la confection des mortiers présentant de bonnes performances et compatible en climat chaud et sec. L'objectif principal est la caractérisation, après l'élaboration idéale et optimale du mortier de sable dunaire et l'analyse de son comportement mécanique, l'effet de conservation est envisagé et le comportement à long terme, et la durabilité vis-à-vis l'attaque des sulfates est prévue.

a. Sables utilisés

Deux types de sable sont utilisés dans cette étude ; un sable de dunes provenant de la région nord de la ville de Laghouat (Oasis Nord), 400 km au sud de la capitale Alger, c'est un sable fin d'origine éolienne, il est noté *SD*. Un sable mélange (alluvionnaire-dunaire) préparé avec un rapport massique en corrigeant la courbe granulométrique du sable alluvionnaire par ajout du sable de dune. Ce rapport a été définie comme suit : $SA/SD = 2$; Ce sable mélange (corrigé) est noté *SAD*

Les paramètres physiques de sable naturel (*SD*) et le sable mélange (*SAD*) sont représentés dans le tableau (I.1).

Tableau. I.1. Paramètres physiques des sables (*SD*, *SAD*)

Sable	γ_{App} (Kg/m ³)	γ_{abs} (Kg/m ³)	M_f	Compacité (%)	Porosité (%)	E_{sv} (%)	E_{sp} (%)
SD	1550	2760	1,2	56	44	90	79
SAD	1500	2500	2.3	60	40	91	80

Le ciment est utilisé pour la fabrication des éprouvettes est un ciment Portland composé (CPI CEM II 42.5) provenant de la cimenterie de M'sila.

L'adjuvant utilisé est un super plastifiant « MédaillasSP40 » fabriqué en Algérie par la société GRANITEX implantée à Oued Smart Alger. Le super plastifiant *SP40* est une solution hydrosoluble de couleur marron, de pH égal à 8.2 et de densité de 1.22, spécialement formulé pour réduire la quantité d'eau de gâchage. Il est incorporé préalablement à l'eau de gâchage en ce qui concerne de respecter le dosage de la fiche technique de GRANITEX, qui donne : 2% du poids du ciment.

Les essais réalisés dans cette étude sont :

- 1- La flexion trois points (3 pts) sur trois éprouvettes de 4×4×16 cm³.
- 2- La compression pure sur les demi-éprouvettes issues du test précédent.

3. Essai mouillage – séchage (ASTM D559 – 57)

b. Composition et conservation des mortiers

Afin de suivre le comportement mécanique et la durabilité des mortiers, les auteurs de travail ont considéré trois compositions différentes dont la variable est le sable et le dosage en eau, ces trois compositions sont :

- Un mortier du sable dunaire sans plastifiant, noté MSD ;
- Un mortier du sable dunaire avec plastifiant (SP 40), noté MSDP
- Un mortier du sable mélange (alluvionnaire- dunaire) avec plastifiant (SP 40), le rapport massique : $SA/SD = 2$, ce mortier est noté MSAD.

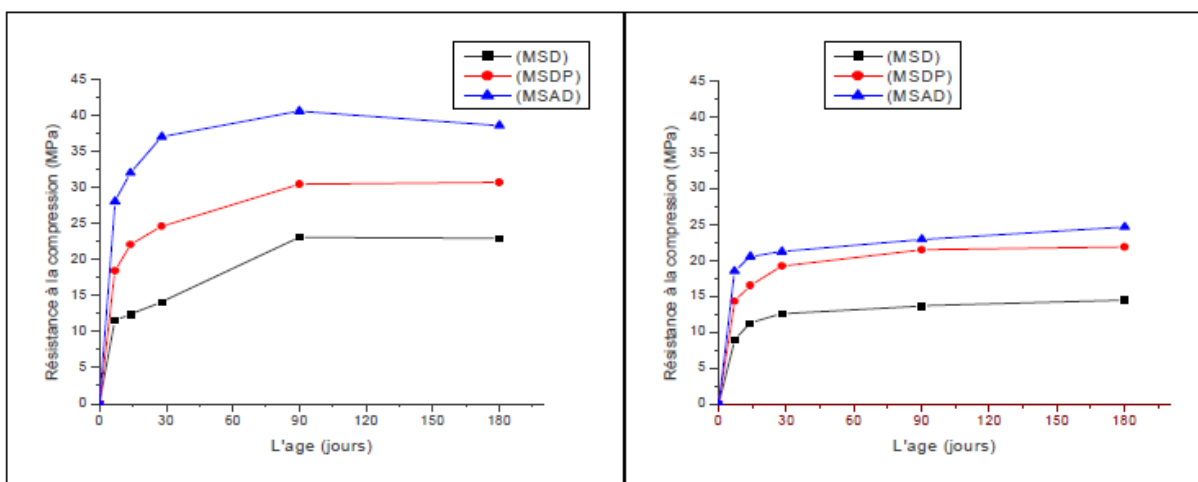
Les mortiers sont conservés en de deux milieux différents :

- Conservation dans l'eau ($20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$; 100% HR)
- Conservation à l'air libre à l'intérieur du laboratoire ($25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$; 45% HR)

Les compositions retenues des mortiers sont regroupées dans le (Tableau I.2) ci-dessous.

Tableau. I.2. Composition en grammes des différents constituants des mortiers préparés

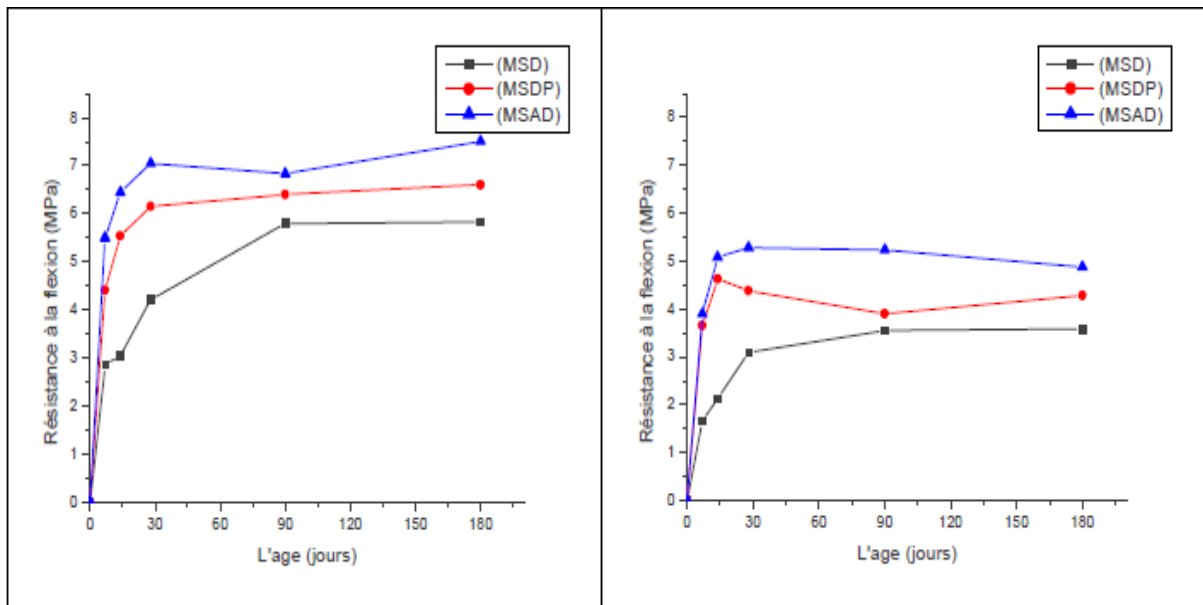
Constituant	Mortier		
	MSD	MSDP	MSAD
Ciment	450	450	450
Plastifiant (2%)	0	9	9
Eau	351	297	252
SA	0	0	900
SD	1350	1350	450



Conservation dans l'eau

Conservation à l'air libre

Fig. I.10. Résistance à la compression en fonction de la durée de conservation.



Conservation dans l'eau

Conservation à l'air libre

Fig. I.11. Résistance à la flexion en fonction du temps de conservation

L'étude expérimentale sur le comportement physico-mécanique et la durabilité des mortiers de sable dunaire de la région de Laghouat, à permettre de tirer certaines conclusions, sont :

- Les résistances mécaniques des mortiers, que ce soit en compression ou en flexion, augmentent avec le temps quel que soit le mode de conservation (à l'air, dans l'eau).
- La conservation saturée (sous l'eau) confère aux mortiers les meilleures résistances en compression et en flexion.
- Les mortiers MSAD du sable mélange (alluvionnaire- dunaire) présentent les meilleures performances mécaniques, que celles des mortiers MSDP et MSD. On note une résistance en compression à 28 jours de l'ordre 37 MPA pour le mortier MSAD [13].

D'après le travail de **Fellah Fatma Zohra** et **Louifi Fatima Zahra** [14]. En 2014 qui traite le thème « L'étude de l'influence de l'ajout de déchet de céramique broyé sur les performances physiques et mécaniques de mortier à base de sable de dune », dans leur travail elles ont été utilisées une méthodologie de formulation des mélanges qui se base sur le traitement des sables de dune étudiés au ciment et au correcteur granulaire (déchet de céramique broyé) avec des pourcentages variés de 0% à 25% avec un pas de 5%.

Dans cette étude elles ont utilisé les matériaux suivants :

- sable de dune de la région de Zaafrane (désigné par SZ), située à environ 57 km au Nord-Ouest du chef-lieu de la wilaya de Djelfa.
- les déchets de céramique broyée utilisée comme ajout dans la composition du mortier.
- Le ciment qui elles ont utilisé dans leur travail, c'est un ciment (CPJ 42,5).

a. Méthodologie de formulation du mélange

Afin de déterminer des performances physiques et mécaniques des mortiers à l'état frais et durci. Les auteurs de cette étude expérimentale est réalisé (6) mélanges différents du mortier et formulés comme suite :

Tableau. I.3. Composition des différentes formulations

Dénomination	Ciment (g)	Sable de dune (g)	Déchet Céramique de broyer (g)	Eau (cm ³)
MDCB 0	450	1350	0	315
MDCB 5	450	1282.5	67.5	315
MDCB 10	450	1215	135	315
MDCB 15	450	1147.5	202.5	315
MDCB 20	450	1080	270	315
MDCB 25	450	1012.5	337.5	315

Les performances physique et mécanique de mortier est étudié on deux états :

- A l'état frais.
- A l'état durci.

Afin de connaître l'étendue de la consistance de mortier elles ont mesuré le temps d'écoulement par la manéabilimètre.

Les résultats de temps d'écoulements sont représentés dans le (tableau I.4) et la figure (I.12).

Tableau. I.4. Les résultats de temps d'écoulements.

Dénomination	E/C	Temps D'écoulement (seconde)
MDCB 0	0.7	15
MDCB 5	0.7	11
MDCB 10	0.7	21
MDCB 15	0.7	40
MDCB 20	0.7	37
MDCB 25	0.7	34

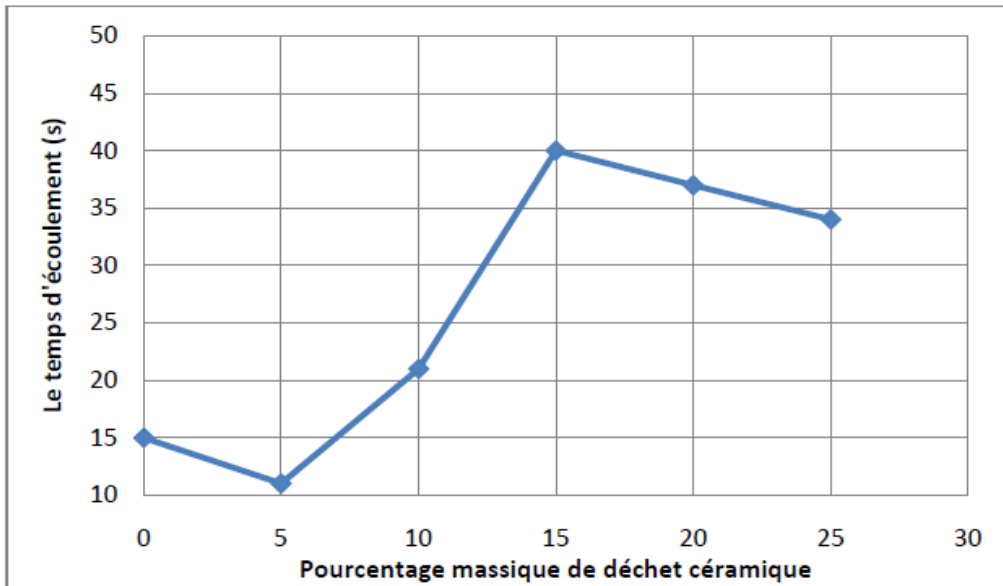


Fig. I.12. Effet du pourcentage de déchets céramiques sur le temps d'écoulement

Dans le tableau I.5 et la (figure I.13) présentent les valeurs moyennes de la masse volumique apparente de MDCB.

Tableau. I.5. Les valeurs de la masse volumique apparente de MDCB

Mélange	La masse volumique apparente (g/cm ³)
MDCB 0	2.035
MDCB 5	2.075
MDCB 10	2.052
MDCB 15	2.041
MDCB 20	2.056
MDCB 25	2.057

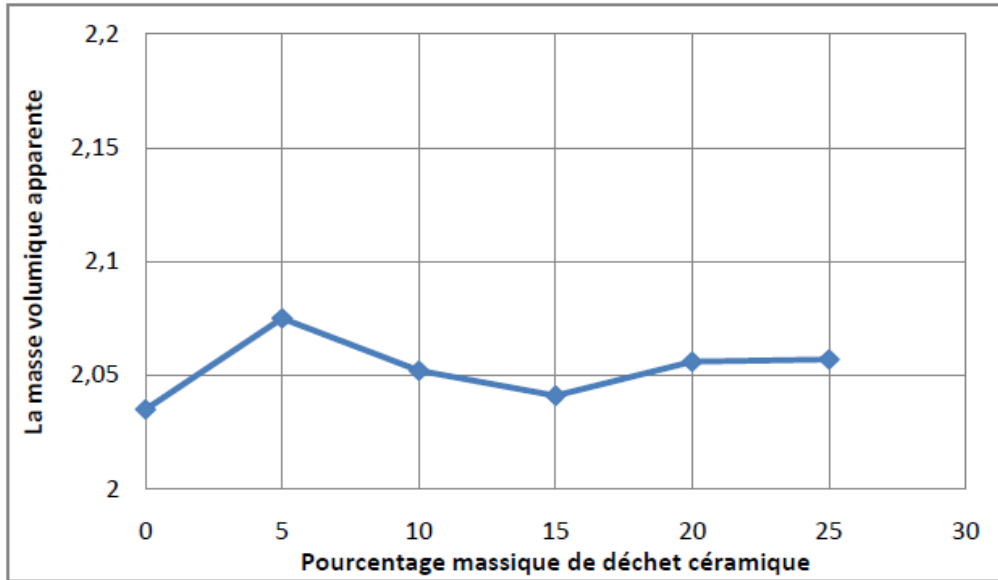


Fig. I.13. La masse volumique apparente pour le mélange.

Les courbes de la (figure I.14) montrer l'effet de l'ajout de déchet céramique broyé (DCB) sur la résistance à la traction.

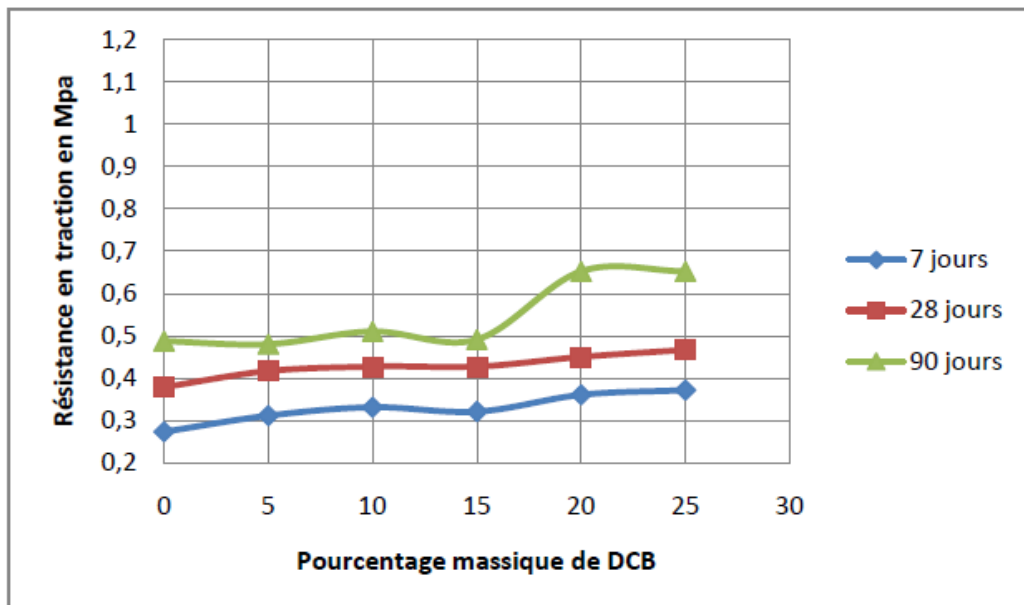


Fig. I.14. Effet de l'ajout (DCB) sur la résistance à la traction

Les courbes de la (figure I.15) montrer l'effet de l'ajout déchet céramique broyée (DCB) sur la résistance à la compression.

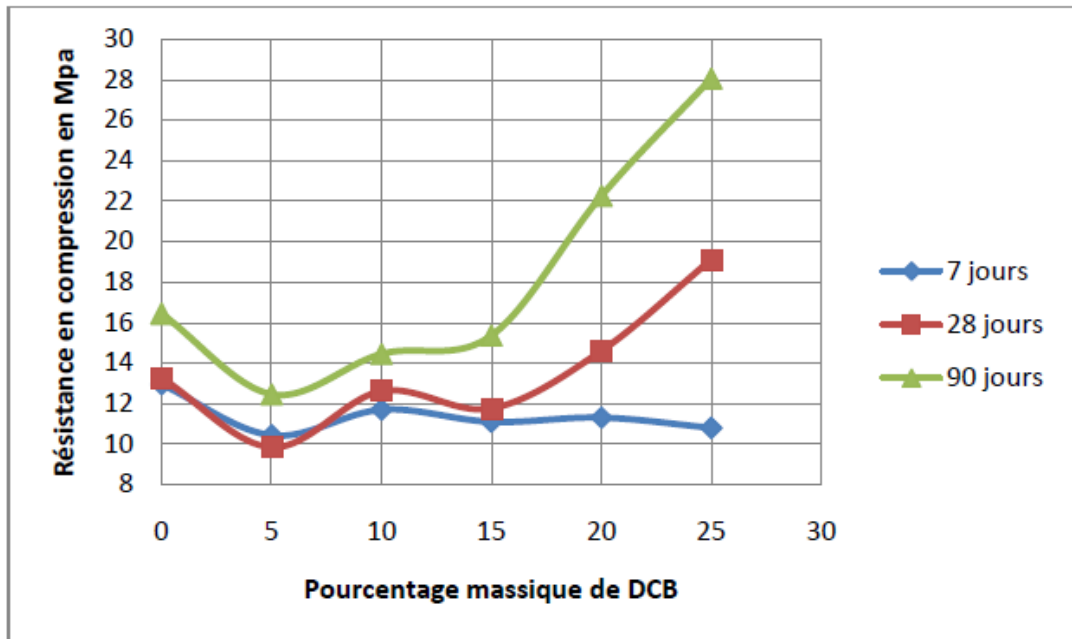


Fig. I.15. Effet de l'ajout (DCB) sur la résistance à la compression

Pour l'étude expérimentale sur l'influence de l'ajout de déchet de céramique broyé sur les performances physiques et mécaniques de mortier à base de sable de dune, elles ont extrait les résultats suivants :

- L'ajout de déchet céramique broyé influe sensiblement sur l'état physique de la pâte de mortier frais. L'introduction de cet ajout rend le mortier plus ferme ; Ce qui explique que le déchet de céramique influe négativement sur l'ouvrabilité de mortier.
- Ils ont constaté que l'addition des fines céramiques n'influe pas d'une façon significative sur la masse volumique apparente des mélanges.
- L'introduction de déchet de céramique ne participe pas à l'amélioration de la compacité finale du mortier.
- L'augmentation du pourcentage de déchet de céramique broyé ajouté conduit à une augmentation de la résistance en traction au court terme et à long terme, pour 25% de déchet céramique l'amélioration est de l'ordre de 30% à 90 jours.
- L'augmentation du pourcentage de déchet de céramique broyé ajouté conduit à une augmentation de la résistance en compression à 28 jours et à 90 jours.
- L'ajout de déchet de céramique participe à l'amélioration de la résistance en compression à long terme.

Une autre recherche a été effectuée par **Ayachi Amor Mohamed [11]** en **2011** Sur l'étude des propriétés mécaniques du béton de sable de dunes, Ce travail expérimental vise d'une étude des caractéristiques mécaniques (compression, traction) du béton de sable de dunes sous l'influence des conditions de conservation, Ceci est l'action de correction de la granulométrie du sable de dunes par ajout d'un sable alluvionnaire ayant un module de finesse acceptable divers.

L'auteur de ce travail expérimental utilisait les matériaux suivants :

- Un sable de dune (SD) de couleur jaune provenant de la région d'Ain El Beida (Wilaya d'Ouargla)
- Un sable alluvionnaire (SA) de la région de Hassi Sayah.
- Le ciment utilisé est un ciment CPJ CEM II /A 42.5 fabriqué par la cimenterie de Ain-Touta

Dans leur travail il est étudié les caractéristiques mécaniques de trois compositions de béton de sable des dunes à savoir :

- Composition 1 : 100% SD.
- Composition 2 : 40% SD + 60%SA.
- Composition 3 : 30% SD + 70%SA.

Les éprouvettes de chaque composition sont conservées sous différents modes de conservation :

- 1^{er} mode : Conservation des éprouvettes à l'air libre.
- 2^{ème} mode : Conservation des éprouvettes dans l'eau pendant 14 jours.
- 3^{ème} mode : Conservation des éprouvettes dans l'eau pendant 28 jours.

Les courbes dans les figures (I.16) ;(I.17) et (I.18) sont représentent la variation de la résistance à la compression en fonction d'âge et comprend également tous les modes de conservations des éprouvettes.

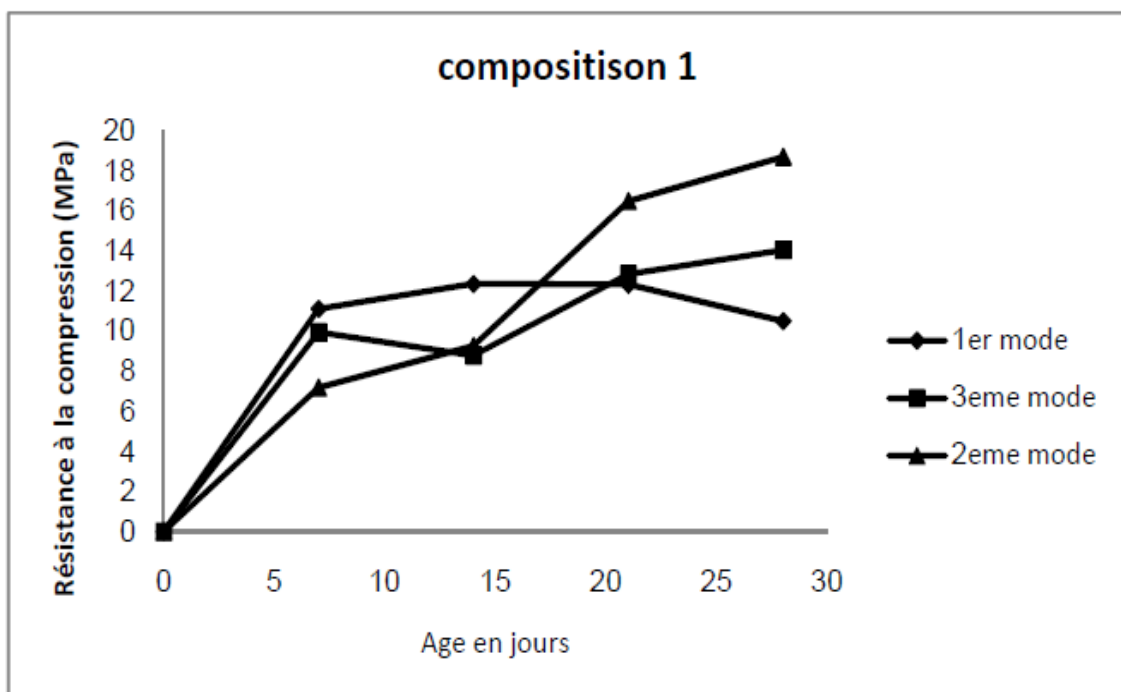


Fig. I.16. Variation de la résistance à la compression en fonction d'âge (Composition 1)

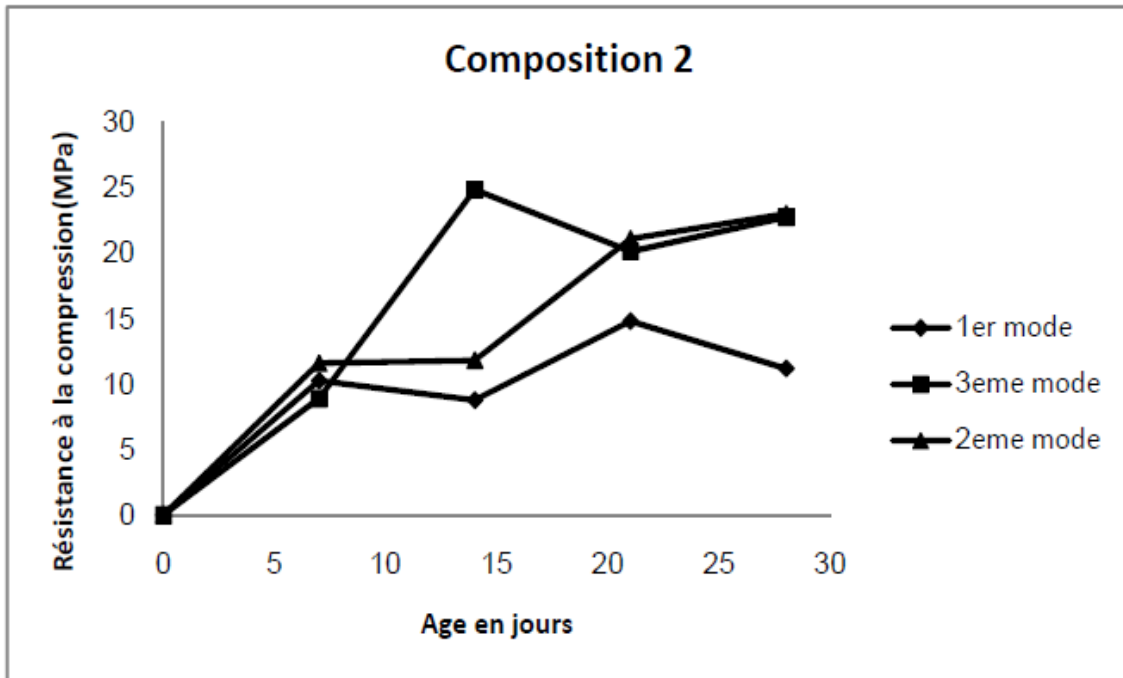


Fig. I.17. Variation de la résistance à la compression en fonction d'âge (Composition 2)

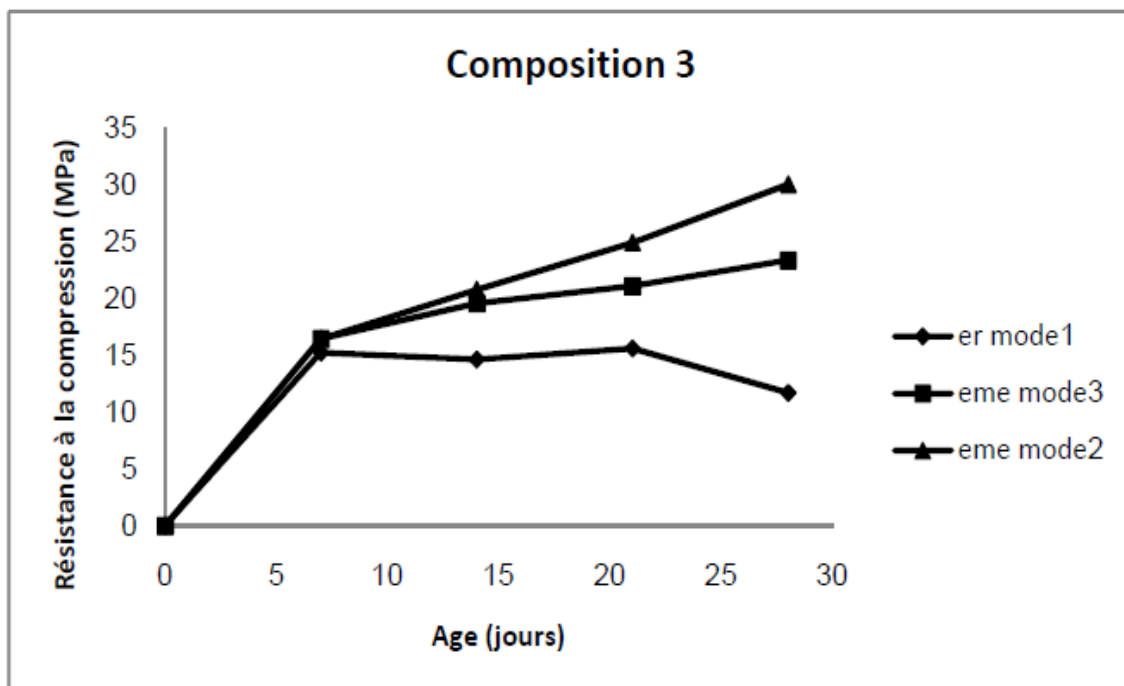


Fig. I.18. Variation de la résistance à la compression en fonction d'âge (Composition 3)

Les principaux résultats extraits de ce travail expérimental représenté en plusieurs points suivants :

- Le béton à base de 100% sable de dune (composition1) affiche une résistance à la compression inférieure par rapport à ceux des compositions 2 et 3.

-la composition 3 présente les meilleurs résultats de la résistance à la compression et à la traction, les meilleurs résultats de la résistance à la compression par rapport aux différents modes sont donnés par le deuxième mode.

-Le béton de sable ayant la composition 3 et le deuxième mode de conservations présente les meilleurs résultats de la résistance à la compression

- La nature du sable influe sur la résistance mécanique du béton de sable.

L'étude menée par **AZZOUZ. L** et **KENALS** et **BOUHICHA. M** [15]. Cette étude présente les propriétés du béton de sable de dune et l'influence des ajouts calcaires sur le béton de sable. Les matériaux utilisés sont :

- Sable de dune de (Laghout) au diamètre maximal qui n'excédait pas 0.63mm.
- Ciment CPA 32,5
- Des calcaires fins.

Après une série d'essais préliminaires en vue d'obtenir une composition optimale par la variation du rapport E/C de **0.6** jusqu'à **1.2**.

Les compositions obtenues sont :

Tableau.I.6. Compositions des bétons étudiés (à partir du sable de dune de Laghouat)

Béton	Sable (Kg/m3)	Ciment (Kg/m3)	Fines (Kg/m3)	Eau (l/ m3)	E/C
1	1486	330	-	264	0.8
2	1336	330	150	264	0.8
3	1286	330	200	264	0.8
4	1236	330	250	264	0.8

Les éprouvettes confectionnées sont conservées dans les trois environnements suivants :

- Environnements I : En l'air libre de $20^{\circ}\pm 5^{\circ}\text{C}$.
- Environnements II : Dans l'eau potable à $15^{\circ}\pm 2^{\circ}\text{C}$.
- Environnements III : Dans l'étuve à $40^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$.

Deux durées de cure sont proposées pour chaque environnement ; de 5 et 7 jours.

Les meilleurs résultats de résistance sont obtenus avec le béton 3 dont les éprouvettes sont conservées dans l'eau (Environnements II) ; sont représentés dans tableau (I.7)

Tableau.I.7. Résultats de résistance du béton 3(dans l'eau potable à $15^{\circ}\pm 2^{\circ}\text{C}$)

Durée de cure	Résistance à la compression F_{c28} (MPa)	Résistance à la flexion F_{f28} (MPa)
5 jours	17.73	7.90
7 jours	18.30	8.68

Dans ce travail expérimental de l'étude de comportement physico mécanique du béton de sable dunaire avec additions calcaires, ils ont trouvé des résultats très intéressants est représentent dans les points suivants :

-Quel que soit le mode de conservation et le dosage en fillers, l'âge du béton semble influencé positivement sur les résistances.

-La conservation dans l'eau est meilleure que celle à l'étuve et à l'air libre quel que soit le dosage et la nature des fillers.

-L'ajout des fillers de brique a, légèrement, amélioré les résistances à la compression et à la flexion à tous les âges du béton par rapport au fillers calcaires.

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

CARACTÉRISATION DES MATÉRIAUX UTILISÉS

Ce chapitre a pour but de présenter les caractéristiques (la masse volumique, Granulométrie et module de finesse...etc.) des matériaux utilisés dans le mortier.

1. Introduction

Ce premier chapitre de notre étude expérimentale s'intéresse plus particulièrement à l'identification et la caractérisation des matériaux exploités dans notre étude ; le sable de dune, le sable alluvionnaire, le ciment et eau de gâchage. La caractérisation est faite d'un point de vue physique (la masse volumique apparente et absolue, l'analyse granulométrie et sédimentométrique, la propreté, etc.), chimique et minéralogique (diffraction au rayon X). Ces connaissances permettraient de bien connaître les différents paramètres qui vont influencer les propriétés physiques et mécaniques du mélange contenant ces matériaux.

Les essais d'identification des matériaux utilisés ont été réalisés au sein du laboratoire national de l'habitat et de construction (LNHC), unité de Djelfa.

2. Les sables

On entend par sable la fraction des granulats pierreux dont les grains ont des dimensions comprises entre 0,080 mm et 5 mm ; il s'agit d'une définition globale, dont les bornes varient d'une classification à une autre. Ce sont aussi les matériaux dont le diamètre maximal est inférieur à 6,3mm et dont le passant à 80 microns n'excède pas 30% [16].

Dans notre travail, l'expérimentation a été entreprise sur deux types de sable ; un sable de dune noté par SD et un sable alluvionnaire désigné par SA. Le sable de dune est issu de la de région de Zaafrane située à environ 57 Kilomètres au nord-ouest du chef-lieu de la wilaya de Djelfa. Le sable alluvionnaire provient de la région de Messaad située à environ 70 Kilomètres au sud du chef-lieu de la wilaya de Djelfa.

2.1. Masse volumique

2.1.1. Masse volumique apparente

Nous avons mesuré la masse volumique apparente des sables de dunes étudiés, par la détermination de la masse d'un remplissage d'une mesure d'un litre, qui doit être effectué sans aucun tassement. 3 essais ont été effectués. La précision de la balance utilisée est de 0.1grammes. Les valeurs moyennes obtenues sont représentées sur le Tableau (II.1) :

Nous avons rempli l'éprouvette d'un volume d'eau (noté V_1). Ensuite nous avons introduit dans l'éprouvette environ 300g de l'échantillon testé (notée M_s). Après l'élimination de toutes les bulles d'air par une légère agitation, nous avons lu le nouveau volume (noté V_2). La Lecture des volumes a été faite en bas du ménisque. La masse est alors calculée :

$$\text{D'où la masse volumique : } MV_{abs} = \frac{M_s}{V_2 - V_1}$$



Figure. II.1. Méthode de mesure de la masse volumique absolue et apparente

La mesure a été effectuée sur 3 échantillons de 300 g chacun. La précision de lecture de volume d'eau est de 1cm^3 , la précision de la balance utilisée est de 0,1 g. Nous avons obtenu une valeur moyenne sur les 3 échantillons.

Tableau. II.1. Masses volumiques apparentes et absolues des sables étudiés

Type de sable \ Masses volumique	Masse volumique apparente (g/cm^3)	Masse volumique absolue (g/cm^3)
Sable de dune (SD)	1.45	2.53
Sable alluvionnaire (SA)	1.47	2.60

2.1.2. Analyse granulométrique

L'analyse granulométrique par tamisage (Norme NFP 94-056) [17] permet de déterminer la grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs des différentes familles de grains constituant les échantillons. Elle s'applique à tous les granulats de dimension nominale inférieure ou égale à 63 mm, à l'exclusion des fillers (dimension nominale inférieure ou égale à 0.080 mm).

L'essai consiste à classer les différents grains constituant 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 l'opération de tamisage des grains s'obtiennent par vibration de la colonne de tamis par l'intermédiaire d'une tamiseuse électrique.

Dans notre étude, nous avons utilisé les tamis de modules 20 (0.080 mm), 23 (0.160 mm), 26 (0.315 mm), 39 (0.630 mm), 32 (1.25 mm), 35 (2.50 mm) et 38 (5 mm).

Le tableau (II.2) et (II.3) présentent respectivement les résultats de l'analyse granulométrique de sable de dune SD et alluvionnaire SA.

Tableau. II.2. Analyse granulométrique par tamisage du SD

Tamis en (mm)	Refus partiels en (g)	Refus cumulés en (g)	Refus cumulés en (%)	Tamisats cumulés en (%)
5	0	0	0	100
2.5	0.1	0.1	0.01	99.99
1.25	0.4	0.5	0.05	99.95
0.63	0.9	1.4	0.14	99.86
0.315	45	46.4	4.64	95.36
0.160	806.1	852.5	85.28	14.72
0.080	142.4	994.9	99.52	0.48
Fines	4.8	999.7	100	0

Tableau. II.3. Analyse granulométrique par tamisage du sable SA

Tamis en (mm)	Refus partiels en (g)	Refus cumulés en (g)	Refus cumulés en (%)	Tamisats cumulés en (%)
10	0	0	0	100
5	112.6	112.6	5.63	94.37
2.5	47.9	160.5	8.03	91.97
1.25	38	198.5	9.93	90.07
0.63	69.2	267.7	13.39	86.61
0.315	658.2	925.9	46.3	53.7
0.160	1004.9	1930.8	96.6	3.4
0.080	54.9	1985.7	99.3	0.7
Fines	13.9	1999.6	100	0

Les courbes granulométriques des sables étudiés sont regroupées dans la figure (II.2)

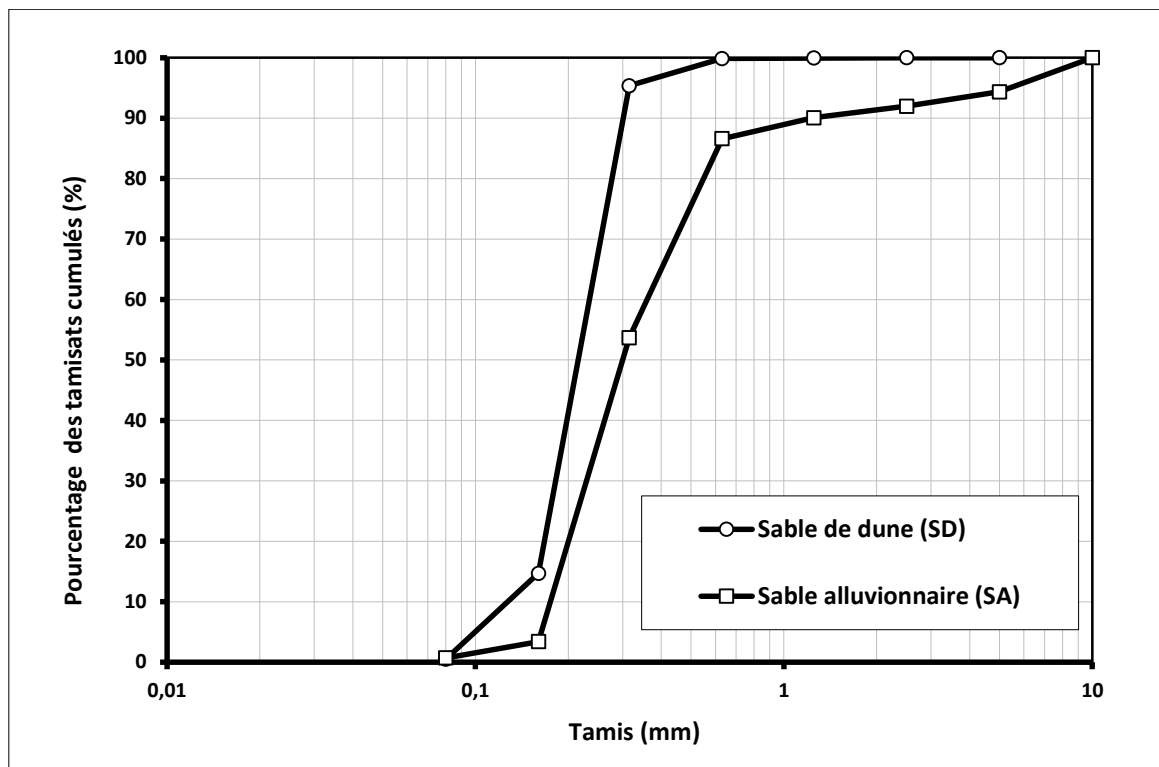


Figure. II.2. Courbes granulométriques des sables étudiés.

Remarque

D'après les courbes granulométriques des sables étudiés, on remarque que la granulométrie correspondant au sable alluvionnaire (SA) est clairement plus étalée que celle de sable de dune (SD). Cela nous laisse à préjuger que le sable SA pourrait donner des performances mécaniques meilleures que le sable SD.

2.1. 2. A. Définition des sables utilisés

Un sable est dit "sable 0/D" lorsqu'il satisfait aux conditions suivantes :

- Le refus sur le tamis de maille (D) est compris entre 1 et 15 %
- Le refus sur le tamis de maille (1.56 D) est nul.

D'après ces deux conditions, le sable de dune utilisé est de fraction 0/0.315 et le sable alluvionnaire étudié est un sable 0/5.

2.1.2. B. Catégorie selon la granularité

On distingue trois catégories de sables [16] :

- Grossier : plus de 20 % des éléments sont supérieurs à 2 mm et plus de 50 % des éléments supérieurs à 80 microns sont compris entre 0.5 et 5 mm.
- Moyen : moins de 20 % des éléments sont supérieurs à 2 mm et plus de 50 % des éléments supérieurs à 80 microns sont compris entre 0.2 et 2 mm.
- Fin : plus de 75 % des éléments supérieurs à 80 Microns sont inférieurs à 0.5 mm.

Tableau. II.4. Granularité des sables étudiés.

Type de sable \ Granularité	Sable de dune (SD)	Sable alluvionnaire (SA)
Classe granulaire (0/D)	0/0.315 mm	0/5 mm
% Passant à 80 µm	0.5	0.75
% Passant à 2 mm	100	91
% sup à 80 µm et inf à <0.5 mm	98	75
Catégorie de sable	Fin	Moyen

L'analyse granulométrique de sable de dune (SD) montre clairement que 90% d'éléments sont inférieurs à 0,5 mm, ce qui indique que ce sable peut être classé d'un point de vue granulaire comme un sable fin.

La granulométrie est très serrée ; près de 90 % des grains ont une dimension comprise entre 0,1 mm et 0,5 mm. Cela nous laisse supposer que le sable seul ne pourra pas avoir une compacité suffisamment grande, et par la suite des performances mécaniques (résistance en compression et en traction, portance...) non adéquates. L'utilisation d'un correcteur granulaire se révéleront certainement nécessaires [18, 19, 20].

L'analyse granulométrique de sable alluvionnaire (SA) montre que moins de 20 % des éléments sont supérieurs à 2 mm et plus de 50 % des éléments supérieurs à 80 microns sont compris entre 0.2 et 2 mm, ce qui montre que ce sable est moyen.

Les sables moyens bien gradués donnent généralement des compacités maximums, ce qui entraîne par conséquent des imperméabilités et des résistances mécaniques accrues.

2.1.2. C. Module de finesse

Le module de finesse d'un sable est égal au centième de la somme des refus, exprimés en pourcentages sur les différents tamis de la série suivante : 0.160 – 0.315 – 0.630 – 1.250 – 2.5 – 5 – 10 – 20 – 40 – 80 mm.

Le module de finesse est plus particulièrement appliqué aux sables dont il est une caractéristique importante. Un module de finesse est d'autant plus faible que le granulat est riche en éléments fins.

Tableau. II.5. Modules de finesse des sables étudiés.

Type de sable	Module de finesse
Sable de dune (SD)	0,90
Sable alluvionnaire (SA)	1,80

Pour le sable de dune (SD), la valeur de module de finesse est très faible, elle confirme que le sable de dune utilisé vacant de grains moyens et grossiers. Pour le sable alluvionnaire (SA), la valeur de module de finesse montre que ce dernier est nettement plus grossier que le sable dunaire.

2.1.3. Propreté des sables

La propreté d'un sable peut être apprécié par l'intermédiaire d'un essai appelé « équivalent de sable » [21] (Norme NF EN 933-8). Cet essai consiste à donner une indication sur l'importance des impuretés (argile, poussière, matière organique, ...etc.) contenues dans les sables. Ces impuretés influent négativement sur l'adhérence entre les grains de sable et le ciment, ce qui conduit à chuter la résistance mécanique des bétons et des mortiers.

Selon la méthode de mesure, l'équivalent de sable est désigné par ESV pour l'équivalent de sable à vue et par ESP pour l'équivalent de sable au piston.

Le tableau (II.6) donne le classement des sables d'après la propreté :

Tableau. II.6. Classes de propreté d'après les valeurs de l'équivalent de sable

ESV (%)	ESP (%)	Interprétations
$Esv < 65$	$Esp < 60$	Sable argileux ; non convenable pour des bétons de qualité
$65 \leq Esv < 75$	$60 \leq Esp < 70$	Sable légèrement argileux ; convenable pour des bétons courants
$75 \leq Esv < 85$	$70 \leq Esp < 80$	Sable propre à faible pourcentage de fines argileuses ; parfaitement convenable pour des bétons de qualité.
$Esv \geq 85$	$Esp \geq 80$	Sable très propre : risque d'un défaut de plasticité du béton

Les valeurs de l'équivalent de sable obtenues sont résumées dans le tableau (II.7).

Tableau. II.7. Propreté des sables étudiés.

Type de sable	ESV (%)	ESP (%)
Sable de dune (SD)	71	70
Sable alluvionnaire (SA)	89	84

Le sable de dune étudié présente des taux de propreté de l'ordre de 70%, ce qui indique que ce sable est légèrement impropre, et par conséquent il est convenable pour une utilisation courante.

Le sable alluvionnaire étudié donne un équivalent de sable à vue supérieur à 85%, et celui au piston supérieur à 80%, ce qui confirme que ce sable est très propre, et parfaitement convenable pour des mélanges cimentaires de qualité (bétons et mortiers).

3. Les fines d'ajout

3.1. Définition

C'est l'ensemble des grains dont la taille maximale n'excède pas $80\mu\text{m}$. Leur présence dans certains bétons est indispensable tel que les bétons à haute performance, pour corriger l'indice de vides du sable, améliorer la cohésion, et limiter le dosage en ciment.

3.2. Les fines d'ajout utilisées

Dans notre étude nous avons utilisé des fines d'ajout de nature siliceuse, obtenues par un broyage d'un sable alluvionnaire par l'intermédiaire de l'appareil Los Angeles, et un tamisage du matériau ainsi broyé au tamis 0.080mm .

3.3. Analyse granulométrique par sédimentation

L'analyse granulométrique par sédimentométrie s'adresse à des échantillons de sols ne contenant que des éléments de diamètre inférieur à 0.080 mm , c'est-à-dire ce qui est désigné sous l'appellation de sols fins (fines ou fillers).

Cet essai complète l'analyse granulométrique par tamisage qui est limitée aux grains de diamètre supérieur à 0.080 mm . Elle permet de tracer la courbe granulométrique des éléments fins jusqu'à un diamètre d'environ $2\mu\text{m}$.

Lors de la décantation de grains solides en suspension dans l'eau, les grains les plus gros chutent plus rapidement que les plus petits. La vitesse de chute des grains est directement liée à leur diamètre D (loi de STOCKES). Cette vitesse de chute peut s'exprimer simplement par le quotient de la distance parcourue par la particule dans sa chute par le temps de parcours.

Lors de la décantation d'un mélange de grains de différentes dimensions en suspension dans l'eau, à un temps donné et à une profondeur donnée les plus gros grains se trouvent à une profondeur plus grande que ceux de diamètre inférieur. Il en résulte que la densité du mélange eau – grains à cette profondeur est variable avec le temps, diminuant au fur et à mesure que les grains de plus en plus fins se déposent.

Le but de la sédimentométrie est de relier la densité lue, d'une part, au diamètre des grains encore en suspension, et d'autre part, au pourcentage pondéral de ceux-ci par rapport au poids total de l'échantillon en suspension ceci permet de tracer une courbe granulométrique des éléments fins sous forme des tamisats cumulés, en fonction des diamètres des particules [22].

L'analyse granulométrique par sédimentation de notre échantillon a été faite au sein de laboratoire LNHC de Djelfa.

La courbe granulométrique des fines d'addition utilisées est représentée sur la Figure (II.3).

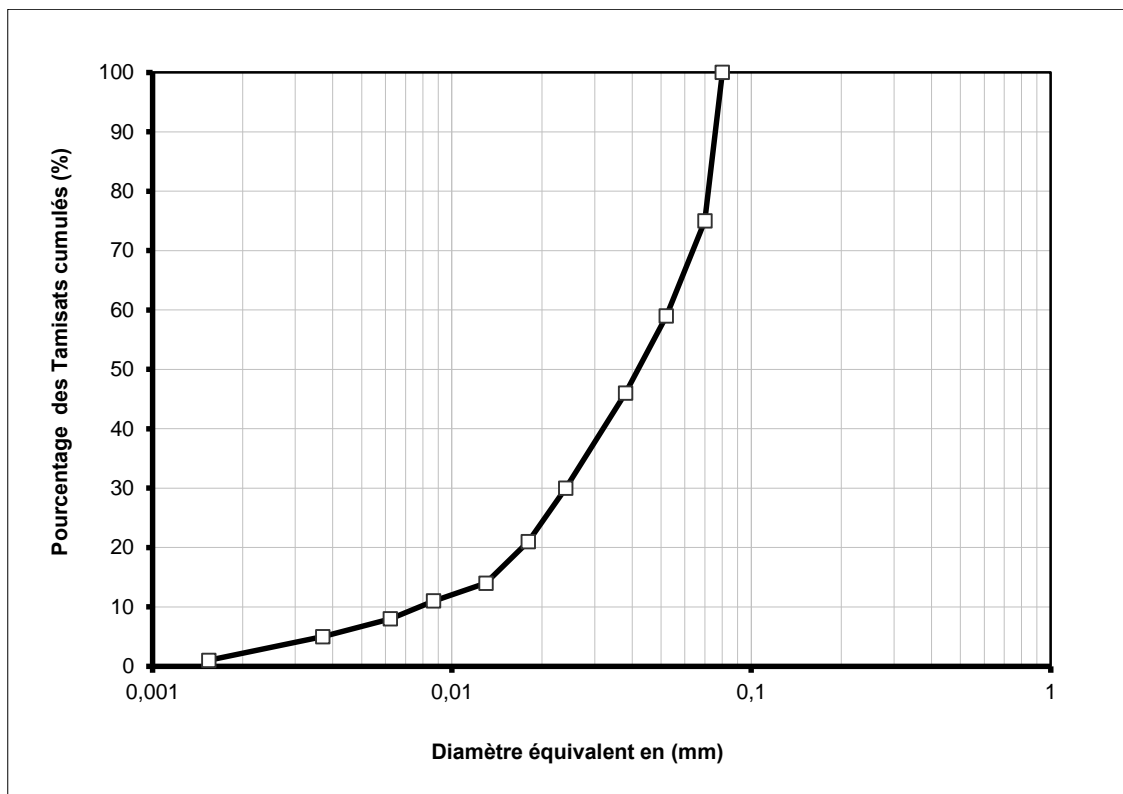


Figure. II.3. Courbe d'analyse granulométrique par sédimentation de fines utilisées

3.4. Masses volumiques

Les fines d'ajout utilisées ont une masse volumique absolue égale à **2.50 g/cm³**, et une masse volumique apparente de **1.07 g/cm³**.

3.5. Surface spécifique

La finesse d'un matériau fin peut être caractérisée par sa surface massique. C'est la surface totale des grains contenus dans l'unité de masse de poudre. La surface massique est exprimée en m² (cm²) de surface des grains de par Kg (g) de poudre.

L'appareil utilisé pour déterminer la finesse de mouture est appelé Perméabilimètre de Blaine. Il se compose pour l'essentiel d'une cellule dans laquelle est placé le ciment à tester et d'un manomètre constitué d'un tube en verre en forme de U.

4. Eau de gâchage

L'eau de gâchage utilisée pour la totalité de nos essais de formulation de béton de sable, est une eau courante de robinet, dépourvue des excès de sels, de sulfates et d'acides.

5. Ciment

Le ciment utilisé dans notre étude est de classe CEM I 42.5 fabriqué par la Société les Ciments d'Oum El Kelil « C.I.O.K » de Tunisie, ce ciment est composé de 97% de clinker et 3% de gypse.

5.1. Analyse chimique et minéralogique du ciment

L'analyse chimique par la spectrométrie de fluorescence X (SFX) réalisée au laboratoire de la cimenterie a donné les résultats récapitulés dans le tableau (II.8).

Tableau. II.8. Analyse chimique du ciment utilisé

Eléments	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO
(%)	22,49	4,51	5,02	63,78	1,15
Eléments	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	CL	CaO libre
(%)	1,38	0,12	0,44	0,01	1.10

La composition minéralogique du clinker a été déterminée en utilisant la formule de BOGUE qui permet d'estimer la proportion de chaque minéral du ciment à partir de sa composition chimique pondérale.

Les résultats de calcul sont résumés dans le tableau (II.9).

Tableau. II.9. Composition minéralogique du ciment

Minéraux	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
(%)	47.33	28.97	3.64	15.28

5.2. Caractéristiques physiques

Le tableau (II.10) donne les caractéristiques physiques du ciment utilisé.

Tableau. II.10. Caractéristiques physiques du ciment utilisé

Caractéristiques physiques	
Masse volumique apparente(g/cm ³)	1,96
Masse volumique absolue (g/cm ³)	3,11
Refus au tamis 40 μ (%)	26 ± 0.48
Refus au tamis 80 μ (%)	4 ± 0.26

5.3. Surface spécifique

La surface spécifique (Norme NF P 15 – 442) est caractérisée par la surface spécifique des grains de ciment, exprimée en (cm²/g). Dans les cas courants, elle est de l'ordre de 3500 à 5500 cm²/g. Plus la finesse de mouture est grande, plus la vitesse des réactions d'hydratation est élevée et plus ses résistances mécaniques à un âge jeune sont grandes, par contre plus la finesse du ciment est grande, plus le retrait est important. En outre, la finesse de mouture influence la plasticité et la cohésion de la pâte de ciment à l'état frais [22].

La surface massique de ciment étudié n'est pas mesurée directement, mais par comparaison avec un ciment de référence dont la surface massique est connue. Il s'agit de faire passer un volume d'air connu à travers une poudre de ciment. Plus la surface massique de cette poudre est importante, plus le temps mis par l'air pour traverser la poudre est long [22].

La surface spécifique de Blaine du ciment utilisé est de $3118 \text{ cm}^2/\text{g}$

5.4. Consistance normale et temps de prise du ciment

5.4.1. Consistance normale du ciment

L'essai de consistance normale (Norme NF P 15 – 414) permet de déterminer le pourcentage d'eau nécessaire pour fabriquer une pâte dite de consistance normale. Il s'agit de mesurer l'enfoncement d'une sonde normalisée (de diamètre $\varnothing = 10 \text{ mm}$ et de masse $m = 300 \pm 1 \text{ g}$), sous son propre poids dans une pâte préalablement préparée et contenue dans le moule tronconique de l'appareil de Vicat. La pâte est dite de consistance normale lorsque la différence entre la hauteur du moule et l'enfoncement de l'aiguille est égale à $6 \pm 1 \text{ mm}$ [22].

En faisant varier le rapport E/C pour les différents gâchés, le rapport E/C correspondant à la consistance normale de la pâte de ciment utilisé est de 0,25.

5.4.2. Prise du ciment

La durée de prise d'un ciment (Norme NF P 15 – 414) est généralement caractérisée par :

- Le temps de début de prise.
- Le temps de la fin de prise

Le début de prise correspond au moment où l'on observe une augmentation de la viscosité, ou raidissement de la pâte. L'essai consiste à suivre l'évolution de la consistance d'une pâte de consistance normalisée, l'appareil utilisé est l'appareil de Vicat, équipé d'une aiguille de 1.13 mm de diamètre. Quand, sous l'effet d'une charge de 300 g l'aiguille s'arrête à une distance du fond du moule égale à $4 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$, On dit que le début de prise est atteint. Ce moment, mesuré à partir du début de malaxage, est appelé « temps de début de prise » [22].

Le « temps de fin de prise » est celui au bout duquel l'aiguille ne s'enfonce plus que 0.5 mm [22]. Les résultats de l'essai de prise sont regroupés dans le tableau (II.11).

Tableau. II.11. Temps de début et de fin de prise du ciment utilisé

Temps de prise	
Début (minute)	110 – 220 (± 16)
Fin(minute)	157 – 312 (± 17)

5.5. Caractéristiques mécaniques du ciment

Les essais mécaniques sont réalisés au niveau du laboratoire de la cimenterie ACC de M'sila. Les résultats de la résistance à la compression et celle à la traction du ciment utilisé sont présentés au tableau (II.12).

Tableau. II.12. Caractéristiques mécaniques du ciment

Ciment CEM I 42,5	Résistances minimales		
	2 jours	7 jours	28 jours
Résistance à la compression (MPa)	10	23	43
Résistance à la traction (MPa)	2.2	5.1	7.2

6. Conclusion

D'après les résultats des différents essais réalisés dans ce présent chapitre, on peut conclure ce qui suit :

- La granulométrie de sable étudié est très serrée ; près de 90 % des grains ont une dimension comprise entre 0,1 mm et 0,5mm. Ce qui donne une compacité insuffisante, et par la suite des performances mécaniques non adéquates. L'utilisation d'un correcteur granulaire se révélera certainement nécessaire.
- La valeur de module de finesse de sable dunaire est très faible, cette valeur confirme qu'il est presque vacant de grains moyens et grossiers.
- Le sable de dune étudié est légèrement impropre, il présente des taux de propreté de l'ordre de 70%, ce sable est convenable pour une utilisation courante.

CHAPITRE III

Propriétés du mortier frais

L'objectif de ce chapitre est la proposition d'une méthodologie de formulation des mélanges et l'étude de leurs propriétés à l'état frais ; temps d'écoulement, masse volumique apparente, ...etc.

1. Introduction

Formuler un mortier ou un béton consiste à choisir des constituants et à les proportionner en vue d'obtenir des propriétés physiques (l'ouvrabilité) et mécaniques (la résistance en compression) répondant à des critères techniques et économiques autorisent une meilleure application dans le domaine de la construction.

Dans ce chapitre, nous avons proposé une méthode de formulation expérimentale basées sur la réalisation de gâchées successives. Cette méthode de formulation nous permet de suivre l'évolution des différentes propriétés des mélanges en fonction de la teneur en fines et sélectionner les mélanges qui donnent des performances comparables à celles développées par le mélange témoins (formulation à base de sable alluvionnaire).

Les essais correspondant à la formulation des mélanges et aux propriétés physiques de mortier frais, sont réalisés au sein du laboratoire MDC, de l'université de Djelfa.

2. Formulation

Les fines ont une grande influence sur les propriétés du mortier frais. Elles déterminent la maniabilité et indirectement la résistance. En pratique, on entend par fines la partie du granulats qui passe au tamis 0.1 mm.

Généralement, Les sables de dune présentent un taux de propreté élevé, mais ils ont une granulométrie très étroite (granulométrie homométrique). Ce qui influe mal sur la compacité des mélanges à base de ce sable. D'où vient la nécessité de la correction granulométrique de ces types de sable.

Dans notre étude l'amélioration de mortier à base de sable de dune a été faite par l'ajout des fines. Le rôle principal de ces dernières est de corriger la granulométrie de sable de dune par le remplissage des vides entre les grains de sable.

2.1- Choix de correcteur granulaire et des dosages

L'utilisation des fines en tant que correcteur granulaire est intéressante en raison de sa disponibilité et son prix très compétitif par rapport aux autres agents de correction. Après l'opération du broyage de granulats, le correcteur granulaire obtenu contient une forte proportion de fines ; ce qui lui permet d'assurer le rôle de correction.

Pour des raisons économiques, et dans le but de réduire les effets néfastes qui peuvent se développer par l'ajout des fines ; tel que le phénomène de retrait, nous avons limité le dosage du correcteur granulaire à 25 %.

2.2- Méthode de formulation des mélanges

Dans cette étude, on a adopté la même méthode de formulation d'un mortier normal ; la quantité de ciment est fixée à 450 g, est celle de sable et ajouts est fixée à 1350g, le pourcentage de participation massique des fines est varié de 0% à 25 % avec un pas de 5 %. Ce qui nous permet d'étudier l'influence de l'addition d'agents de correction sur les performances physiques et mécaniques des mélanges fabriqués.

Les mélanges étudiés sont désignés par M.S.X.Y :

M : Mortier

S : Sable

X : le type de sable : A désigne un sable alluvionnaire et D un sable de dune

Y : Le pourcentage massique de la participation des fines dans le mélange.

Le tableau (III.1) donne la composition des différentes formulations à examiner dans notre étude.

Tableau. III.1. Composition des différentes formulations

Constituants Désignation	Ciment (g)	Sable de dune (g)	Sable Alluvionnaire (g)	Fines (g)	Eau (cm ³)
MSA0	450	0	1350	0	315
MSD0	450	1350	0	0	315
MSDS5	450	1282,5	0	67,5	315
MSDS10	450	1215	0	135	315
MSDS15	450	1147,5	0	202,5	315
MSDS20	450	1080	0	270	315
MSDS25	450	1012,5	0	337,5	315

3. Confection du mortier

3.1. 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.

Les mélanges sont malaxés à petite vitesse pendant une minute. Puis le malaxage s'accélère en grande vitesse pendant les 2^{ème}, 3^{ème} et 4^{ème} minutes. Le mélange est alors prêt à l'emploi.

Le malaxeur utilisé durant nos travaux, est un malaxeur à mortier à une contenance de trois litres.



Figure. III.1. Malaxeur de mortier

3.2. Détermination des propriétés physiques du mortier frais

3.2.1. Ouvrabilité

L'ouvrabilité est une qualité essentielle du mortier, elle se définit comme la facilité offerte à sa mise en place. L'essai adopté pour déterminer l'ouvrabilité de notre mortier est l'essai mesurant le temps d'écoulement, par le maniabilimètre à mortier LCPC, conformément à la norme NFP 18-452.

Ce moyen de mesure est tout à fait convenable pour notre étude, puisqu'il permet de déterminer la maniabilité grâce à un appareil simple et ne nécessite pas une grande quantité de matériau (un litre par mesure).

L'essai a pour but de classer les mortiers d'après leur aptitude à être mis en œuvre dans des conditions données. L'essai consiste à mesurer le temps d'écoulement d'un mortier par l'intermédiaire du maniabilimètre à mortier LCPC.

Ce temps d'écoulement est compris entre la fin de mise en place du mortier et le moment, ou sous l'action de vibrations caractéristiques, le mortier atteint un repère géométrique.



Figure. III.2. Le maniabilimètre utilisé

Les valeurs usuelles du temps d'écoulement sont données dans le tableau :

Tableau. III.2. Domaines de consistance du mortier

Domaine de consistance	Temps d'écoulement (en secondes)
Mortier très mou	$t < 10$
Mortier mou	$10 < t < 15$
Mortier plastique	$20 < t < 30$
Mortier ferme	$t > 40$

a. Résultats obtenus

Le rapport (E/C) et le temps d'écoulement obtenus pour chaque formulation sont présentés sur le tableau (III.3).

Tableau. III.3. Rapports E/C et temps d'écoulement.

Désignation	MSA0	MSD0	MSDS5	MSDS10	MSDS15	MSDS20	MSDS25
	Résultats						
E/C	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Temps d'écoulement (seconde)	1	16	18	25	28	19	18

a.1. Effet de l'ajout des fines sur la consistance de mortier à base de sable de dune :
D'après la Figure (III.3) on constate que, pour un rapport (E/C) constant.

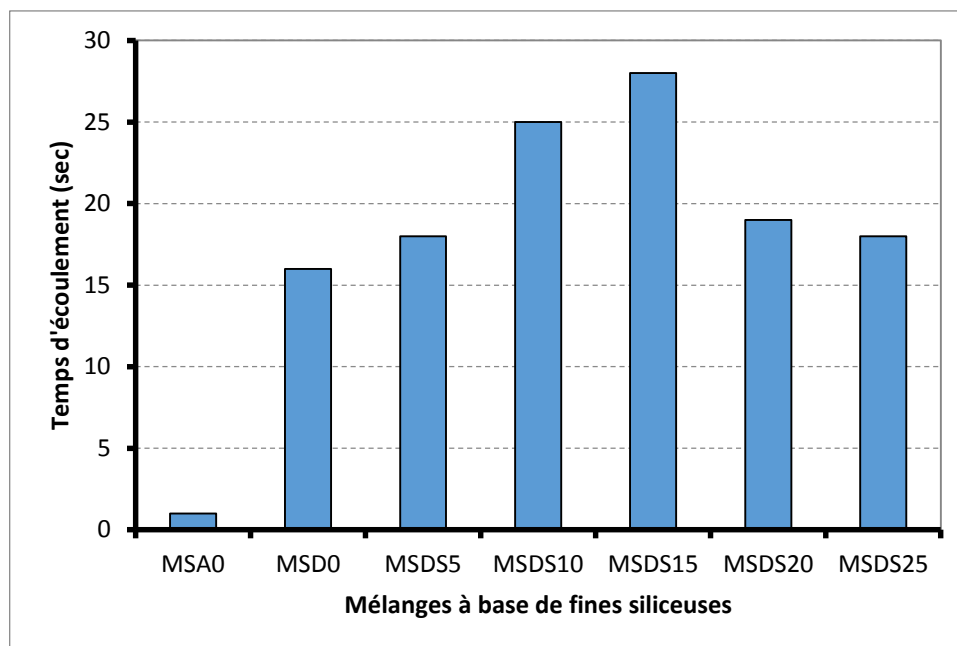


Figure. III.3. Effet des fines sur le temps d'écoulement

La figure (III.3) montre que pour un rapport E/C constant, le temps d'écoulement de la formulation à base de sable dune est très supérieur à celui de la formulation à base de sable alluvionnaire, ce qui montre que l'effet de type de sable influe d'une façon très significative sur l'ouvrabilité des mortiers. Un rapport E/C égal à 0.7 donne une consistance mou (16 secondes) pour le mélange MSD0, par contre il donne une consistance très fluide (une seconde) pour le mélange MSA0. Ceci est dû à la granulométrie de sable de dune qui est très fine par rapport à celle de sable alluvionnaire (un sable trop fin à une demande en eau de mouillage trop élevée).

On remarque aussi que la substitution progressive de sable dunaire par les fines siliceuses avec des teneurs allant de 5% à 15% conduit à une augmentation continue de la valeur du temps d'écoulement par rapport le mortier sans ajouts (MSD0), cela signifie que, pour ces dosages, l'addition des fines siliceuses a une influence négative sur l'ouvrabilité des mélanges. Ceci est expliqué par la demande d'eau nécessaire pour le mouillage des fines ajoutées aux mélanges.

Par contre au-delà de 15% de fines siliceuses, ces dernières influent d'une façon positive sur l'ouvrabilité des mélanges. Cela est peut-être dû, d'une part, à la substitution d'une partie de la fraction fine de sable par les fines siliceuse, Donc moins d'impureté argileuse, qui absorbe généralement beaucoup d'eau, et d'autre part à la finesse des fines siliceuses remplissant les pores et libérant l'eau emprisonnée qui fait par conséquent l'amélioration de la consistance des mélanges.

3.2.2. Masse volumique apparente des mélanges frais

La masse volumique apparente du mortier frais a été mesurée par la détermination de la masse d'un remplissage d'une mesure de 200cm³, qui doit être effectué avec piquage pour éliminer les bulles d'air. Trois essais ont été effectués pour chaque mélange. La précision de la balance utilisée est de 0.1g.



Figure. III.4. La balance et la tare utilisé.

a. Résultats obtenus

Le tableau (III.4) donne les valeurs moyennées de la masse volumique apparente des mélanges.

Tableau. III.4. Masses volumiques des mélanges frais

Désignation	MSA0	MSD0	MSDS5	MSDS10	MSDS15	MSDS20	MSDS25
Résultats							
E/C	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Masse volumique apparente (g/cm ³)	2.14	2.07	2.08	2.11	2.12	2.13	2.14

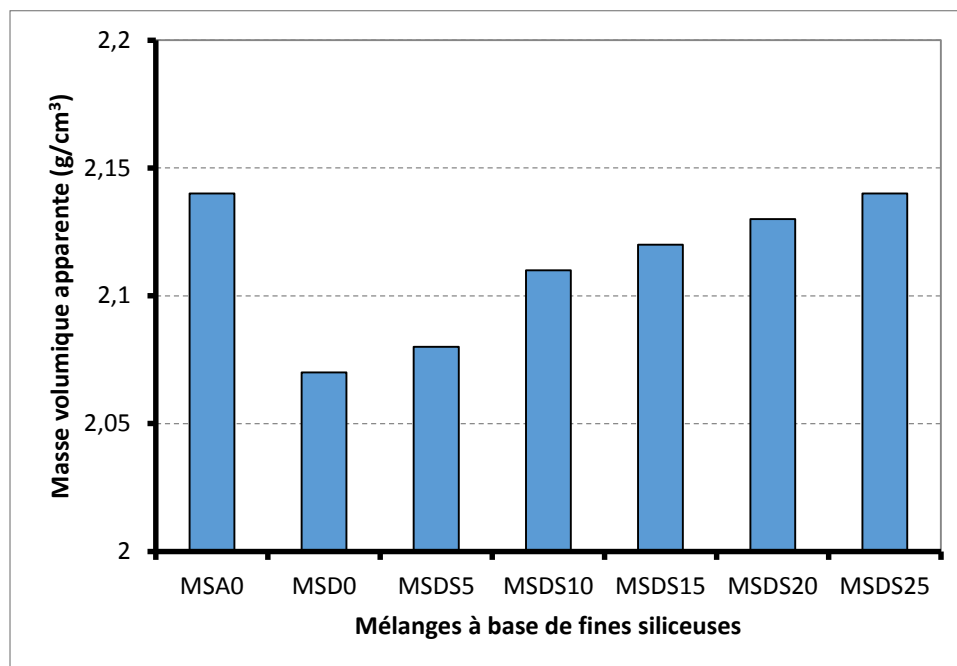
a.1. Effet de l'ajout des fines sur la masse volumique apparente de mortier à base de sable de dune

Figure. III.5. Effet des fines sur la masse volumique apparente du mortier frais

La figure (III.5) représente l'évolution de la masse volumique apparente des mélanges frais en fonction des teneurs en fines siliceuses. On constate que pour une quantité d'eau de gâchage fixe le type de sable influe d'une façon significative sur la masse volumique apparente des mélanges frais. Le mélange MSD0 donne une masse volumique apparente clairement inférieure à celle du mélange MSA0. Cette différence peut être expliquée par la distinction de la granulométrie pour chaque sable ; où on trouve que la granulométrie de sable alluvionnaire est plus étalée que celle du sable de dune, ce qui améliore la compacité et par conséquent la masse volumique apparente du mélange MSA0.

La correction de sable de dune avec les fines siliceuses influe positivement et d'une façon significative sur la masse volumique apparente des mélanges frais. Ce qui montre l'efficacité de ces fines à l'amélioration de cette caractéristique.

L'augmentation de la masse volumique apparente des mélanges traités avec les fines siliceuses est attribuée à l'amélioration de la compacité des mélanges. Cet accroissement peut être expliqué par le rôle de remplissage des fines siliceuses.

L'addition de 25% de fines siliceuses résulte une masse volumique apparente (2.14 g/cm^3) équivalente à celle du mélange à base de sable alluvionnaire (2.14 g/cm^3), ce qui montre l'efficacité du correcteur granulaire utilisé à l'amélioration de la compacité des mélanges à base de sable dune qui est devenu comparable à celle des mélanges à base de sable ordinaire.

4. Conclusion

D'après les résultats obtenus dans cette deuxième partie de notre étude expérimentale, on peut tirer les constatations suivantes :

- Pour une quantité d'eau de gâchages constante, la granulométrie de sable influe d'une façon sensible sur la consistance et la masse volumiques apparente de mortier frais.
- Au-delà de 15% du correcteur granulaire, l'ouvrabilité des mélanges devient plus mou.
- La correction de sable de dune avec les fines siliceuses améliore la masse volumique apparente des mélanges frais et par conséquent leur compacité.

CHAPITRE IV

Propriétés du mortier durci

Nous présentons dans ce chapitre l'Etude de l'effet de l'ajout des fines siliceuses sur la résistance mécanique et la capacité d'absorption d'eau des mélanges.

1. Introduction

Après une caractérisation physique et chimique des matériaux utilisés et une série d'expériences sur le mortier frais, dans ce dernier chapitre nous allons entamer une partie intéressante de notre étude ; c'est le comportement mécanique de mortier à base de sable de dune. Où nous nous allons déterminer la résistance en compression et celle en traction à 7, 28 et 60 jours, et la capacité d'absorption d'eau à 28 jours.

Nous allons également examiner l'effet de l'incorporation des fines siliceuses sur les différentes caractéristiques physiques et mécaniques de mortier, et comparer les résultats obtenus avec les mélanges à base de sable de dune à ceux à base de sable alluvionnaire pour évaluer l'efficacité des fines siliceuses à l'amélioration des différentes performances de mortier.

2. Les éprouvettes utilisées

Afin de bien simuler les comportements mécaniques des mélanges étudiés, nous avons adopté des éprouvettes de dimensions $(4 \times 4 \times 16) \text{ cm}^3$.



Figure. IV.1. Le moule utilisé

3. Serrage du mortier

Le mortier doit être mis correctement en place dans les moules, pour cela la vibration est le moyen le plus utilisé et le plus efficace.

Le serrage du mortier peut être effectué par :

- L'aiguille vibrante.
- La table vibrante.
- L'appareil à choc.

La vibration permet la liquéfaction du mortier et son tassement, ce qui augmente sa compacité et diminue la teneur en air, améliorent aussi les caractéristiques mécaniques et physiques du mortier, tel que, la résistance en compression et l'imperméabilité.

Un excès de vibration peut provoquer une ségrégation, cette dernière est causée par la différence de densité entre les petits éléments (ciment et filler) et les grands éléments (granulats et sables) du mélange.

Dans notre étude le serrage de mortier se fait par l'intermédiaire de la table vibrante. L'arrêt de la vibration se fait dès qu'il n'y a plus d'apparition de bulles d'air à la surface des éprouvettes.



Figure. IV.2. La table vibrante utilisée

4. Confection et conservation des éprouvettes

Avec le mélange préparé nous avons remplis trois moules de dimensions $(4 \times 4 \times 16)$ cm³. Entre 20 et 24 heures après le début du malaxage, ces éprouvettes sont démoulées et entreposées dans l'eau à 20 °C jusqu'au moment de l'essai de l'écrasement.



Figure. IV.3. Conservation des éprouvettes dans l'eau

5. Résistance en traction :

La rupture de chaque éprouvette en flexion a été effectuée conformément au dispositif décrit sur la Figure.IV.4 ;

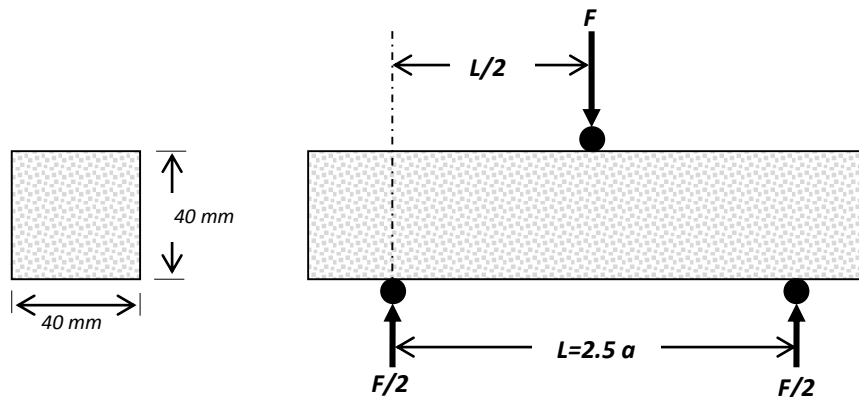


Figure. IV.4. Dispositif pour l'essai de résistance à la traction par flexion.

Lors d'un essai de flexion trois points, l'éprouvette de mortier est soumise dans sa partie supérieure à des contraintes de compression et dans sa partie inférieure à des contraintes de traction. Compte tenu que la résistance du mortier à la traction est très faible par rapport à celle en compression (dans un rapport de 10) l'éprouvette va se rompre dès que le mortier aura atteint sa limite en traction. La contrainte R_{rt} correspond à la rupture résulte d'un calcul classique de résistance des matériaux en élasticité (contrainte de traction par flexion).

$$R_{rt} = \frac{3 \times F \times L}{2 \times a^3} \quad \text{et} \quad L = 2.5 \times a$$

Le matériau mortier n'ayant pas un comportement élastique au moment de la rupture, il convient d'apporter au calcul de la résistance en traction par flexion du mortier un coefficient correctif de 0.6.

$$R_{rt} = \frac{2.25 \times F}{a^2}$$

Pour chaque mélange, nous avons testé la résistance à la traction après 7 jours, 28 jours et 60 jours de conservation à l'eau. La photo de la Figure IV.5 représente l'appareil et le dispositif utilisés pour la réalisation de l'essai de traction par flexion.



Figure. IV.5. L'appareil et le dispositif utilisés

5.1. Résultats et discussions

5.1.1. Résultats

Les valeurs moyennées de la résistance en traction par flexion pour chaque mélange sont regroupées dans le tableau. IV.1.

Tableau. IV.1. Valeurs de la résistance en traction des différentes formulations

Mélanges	Résistances en traction à 7 jours (MPa)	Résistances en traction à 28 jours (MPa)	Résistances en traction à 60 jours (MPa)
MSA0	3,0	4,4	4,7
MSD0	2,5	3,8	4,0
MSDS5	2,8	3,9	4,4
MSDS10	2,9	3,7	4,9
MSDS15	2,7	3,8	4,7
MSDS20	2,8	3,5	4,6
MSDS25	2,9	4,3	5,1

5.1.2. Evolution de la résistance en traction par flexion

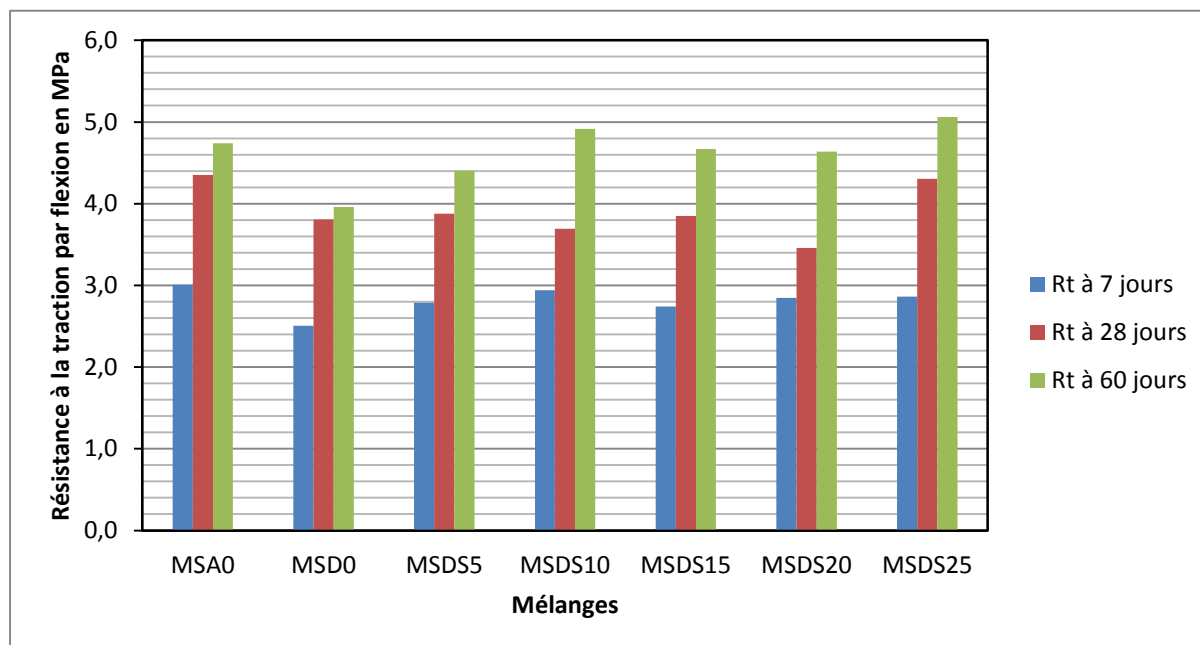


Figure. IV.6. Evolution de la résistance en traction par flexion des mélanges de mortier

a. Evolution de la résistance en traction en fonction de la durée de conservation

La figure IV.6 représente l'évolution de la résistance en traction par flexion des mélanges sans et avec fines siliceuses. On remarque que l'évolution de la résistance en traction par flexion en fonction de la durée de conservation est significative. Elle est habituelle pour tous les mélanges.

La résistance en traction du mélange à base de sable alluvionnaire atteint 70% de sa résistance nominale (résistance à 28jours) à 7 jours et 110% à 60 jours. On note à peu près les mêmes taux d'augmentation pour la composition à base de sable dune (66% à 7 jours et 104% à 60 jours). Par contre, la résistance à la traction affiche des taux l'évolution des différents pour les mélanges avec fines siliceuses ; si on prend par exemple le cas du mélange MSDS10, on trouve que le taux d'accroissement de la résistance est de 78% à 7 jours et 132% à 60 jours. Ceci montre que les fines siliceuses affectent l'hydratation des différents minéraux de ciment, ce qui fait perturber l'évolution de la résistance en traction en fonction de l'âge du mélange

b. Evolution de la résistance en traction en fonction de la teneur en fines siliceuses

D'après la figure IV.6 on remarque qu'à 7 jours la résistance en traction augmente d'une façon peu significative, les valeurs maximales sont enregistrées à 10% et à 25% de fines. A cette échéance la résistance maximale est comparable à celle du mortier à base de sable alluvionnaire (MSA0), et supérieure de 14% à celle de la formulation à base de sable de dune (MSD0).

A 28 jours la résistance en traction augmente d'une façon non significative avec la teneur en fines. Le mélange MSDS25 affiche la résistance la plus grande, elle est comparable à celle du mortier à base de sable alluvionnaire (MSA0), et supérieure de 12% à celle de la formulation à base de sable de dune (MSD0).

A 60 jours, l'augmentation de la résistance en traction en fonction de la teneur en est peu significative. Les valeurs maximales de la résistance en traction sont données par les mélanges

MSDS10 et MSDS25. Ce qui montre que la correction de sable dune avec les fines siliceuses est optimale à 10 % de fines (le mélange MSDS25 donne la meilleure résistance mais d'un point de vue économique il est moins intéressant).

L'ajout de 10% de fines siliceuses donne un gain de résistance en traction de 22% à 60 jours. La correction de sable de dune avec 10% de fines est suffisante pour confectionner des mortiers ont des résistances en traction à 60 jours dépassent celle d'un mortier à base de sable alluvionnaire.

6. Résistance en compression

La résistance en compression des mélanges étudiés a été mesurée à 7 jours, 28 jours et 60 jours sur les demi-prismes des éprouvettes obtenus après l'essai de flexion (Figure IV.7).

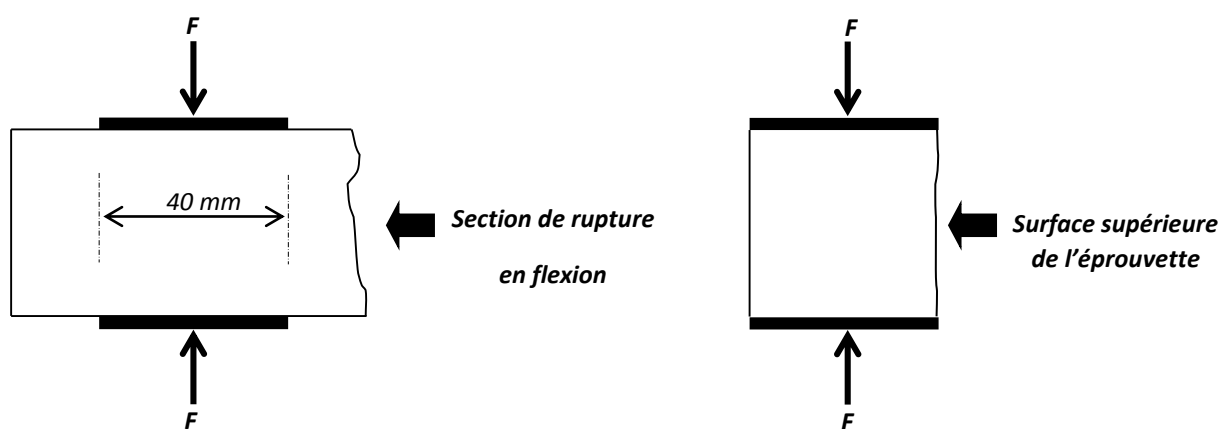


Figure. IV.7. Dispositif pour l'essai de résistance à la compression.

6.1. Résultats et discussions

6.1.1. Résultats

Les valeurs moyennées de la résistance en compression axiale pour chaque mélange sont regroupées dans le tableau IV.2.

Tableau. IV.2. Valeurs de la résistance à la compression des différentes formulations

Mélanges	Résistances en compression à 7 jours (MPa)	Résistances en compression à 28 jours (MPa)	Résistances en compression à 60 jours (MPa)
MSA0	17,40	27,66	30,68
MSD0	12,71	21,99	24,08
MSDS5	41,8	30,76	39,61
MSDS10	40,1	30,30	30,73
MSDS15	23,9	31,19	37,14
MSDS20	34,7	26,03	35,11
MSDS25	36,2	24,70	37,76

6.1.2. Evolution de la résistance en compression

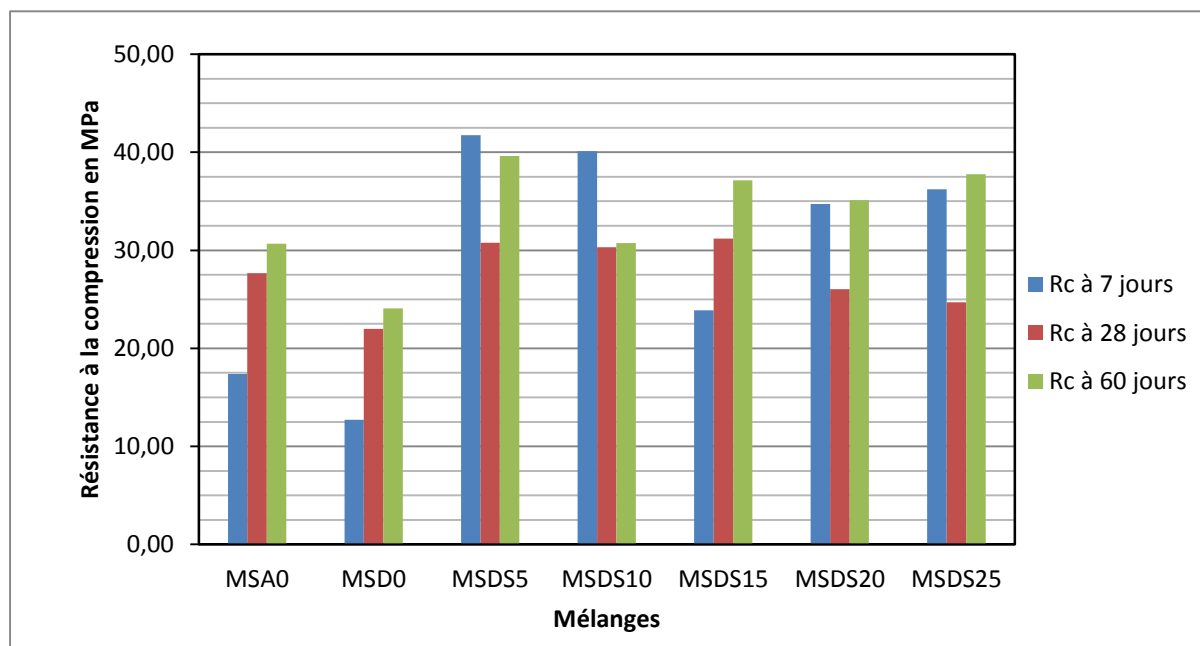


Figure. IV.8. Evolution de la résistance en compression des mélanges de mortier

a. Evolution de la résistance en compression en fonction de la durée de conservation

La figure IV.8 représente l'évolution de la résistance en compression des mélanges confectionnés. On remarque que la variation de la résistance en compression en fonction de la durée de conservation n'est pas significative. Elle est usuelle pour les mélanges sans fines d'ajouts ; MSA0 et MSD0 et le mélange avec 15% de fines. Par contre, pour les autres mélanges on constate que la résistance en compression a une évolution non habituelle. Ceci peut s'expliquer par le fait que les fines siliceuses affectent les réactions d'hydratation des différents minéraux de ciment, ce qui fait perturber l'évolution normale de la résistance en compression en fonction de l'âge du mortier. L'identification des agents perturbateurs responsables dès cette évolution non habituelle de la résistance nécessite une analyse chimique et minéralogique des fines d'addition utilisées.

Les mélanges sans ajouts (MSA0 et MSD0) possèdent la même allure d'évolution qu'un mortier normal [22]. La résistance en compression du mélange à base de sable alluvionnaire atteint 63% de sa résistance nominale (résistance à 28 jours) à 7 jours et 111% à 60 jours. On note presque les mêmes taux d'accroissement pour la composition à base de sable dune (58% à 7 jours et 110% à 60 jours), Par contre, la résistance à la compression affiche une augmentation de 77% à 7 jours et d'environ 120% à 60 jours pour le mélange avec 15% de fines siliceuses. Ceci confirme de même l'effet de ces fines sur l'accroissement de la résistance en compression en fonction de l'âge de mortier.

b. Evolution de la résistance en compression en fonction de la teneur en fines siliceuses

D'après la figure IV.8 on remarque qu'à 7 jours la résistance en compression évolue d'une façon non significative. A cette échéance, la valeur de la résistance en compression la plus élevée correspond au mélange MSDS5 (environ 42 MPa), elle dépasse la résistance du

mélange à base de sable de dune (MSD0) de 70%, et celle à base de sable alluvionnaire (MSA0) de 58%.

A 28 jours, La résistance en compression est meilleure pour les teneurs en fines 5%, 10% et 15%, elle est de l'ordre de 30MPa. Elle dépasse celle du mélange (MSD0) de 27%, et celle à base de sable alluvionnaire (MSA0) de 8%. Ceci montre l'efficacité de ces fines à l'amélioration de cette caractéristique mécanique.

A 60 jours, La même remarque peut être noté concernant l'évolution de la résistance en compression en fonction du taux de fines siliceuses, elle reste toujours non significative. La correction de sable dune avec les fines siliceuses est optimale à 5 % de fines.

L'ajout de 5% de fines siliceuses résulte une résistance en compression dépasse celle du mélange témoins (MSD0) de 39%, et celle du mélange MSA0 de 22%. Ce qui reflète l'efficacité des fines utilisées à l'amélioration de la résistance mécaniques des mortiers à base de sable de dune.

7. 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.

7.1. Définitions

- Masse volumique apparente sèche : rapport de la masse sèche d'un corps à son volume apparent, exprimé en g/cm^3 ou Kg/m^3 .
- 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 l'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.

7.2. Appareillage

- Etuve, pouvant être contrôlée à 105 °C.
- Balance hydrostatique, d'une précision de 0,1g.
- Liquide d'imbibition : eau potable.
- Récipient pour l'immersion.

7.3. Détermination de la capacité d'absorption d'eau

La détermination de la capacité d'absorption d'eau nécessite les opérations suivantes ;

- Opération d'immersion.
- Opération de dessiccation.

7.4. Opération de l'immersion

L'opération d'immersion se fait sur des éprouvettes dans un bac à eau durant un minimum de 72 h et jusqu'à masse constante (La masse est considérée constante lorsque deux pesées successives à 24 h d'intervalle ne donnent pas une différence supérieure à 0,1 %). Figure.IV.9



Figure. IV.9. Immersion des éprouvettes dans un bac

7.4.1. Détermination de la masse de l'éprouvette saturée

Extraire l'éprouvette de l'eau et l'essuyer rapidement et soigneusement, à l'aide d'une éponge ou d'un linge humide, afin de débarrasser des gouttelettes et du film superficiel d'eau, sans toutefois retirer l'eau des pores. Ensuite la pesée immédiate de l'éprouvette, et on obtient de cette manière, la masse (M_{sat}) de l'éprouvette saturée. (Figure IV.10).



Figure. IV.10. Mesure la masse de l'éprouvette saturée

7.5. Opération de dessiccation

Dessiccation des éprouvettes durant un minimum de 72 h et jusqu'à masse sèche constante dans une étuve ventilée dont la température est maintenue à 105 ± 5 °C La masse est considérée constante lorsque deux pesées successives à 24 h d'intervalle ne donnent pas une différence supérieure à 0,1 %.

7.5.1. Détermination de la masse de l'éprouvette sèche

Après l'opération de dessiccation, la masse ainsi déterminée est la masse de l'éprouvette sèche (M_{sec}).

7.6. Expression des résultats

La capacité d'absorption d'eau (A_{bs}), exprimée en pourcentage en volume, est donnée par l'équation :

$$A_{bs} (\%) = \frac{M_{sat} - M_{sec}}{M_{sec}} \times 100$$

7.7. Résultats et discussions

7.7.1. Résultats

Les valeurs moyennées de la capacité d'absorption d'eau pour chaque mélange sont regroupées dans le tableau IV.3.

Tableau. IV.3. Valeurs de la capacité d'absorption d'eau des différentes formulations

Mélanges	A_{bs} (%)
MSA0	9,6
MSD0	11,4
MSDS5	10,8
MSDS10	11,4
MSDS15	11,2
MSDS20	10,8
MSDS25	11,5

7.7.2. Effet de la teneur en fines sur la capacité d'absorption d'eau

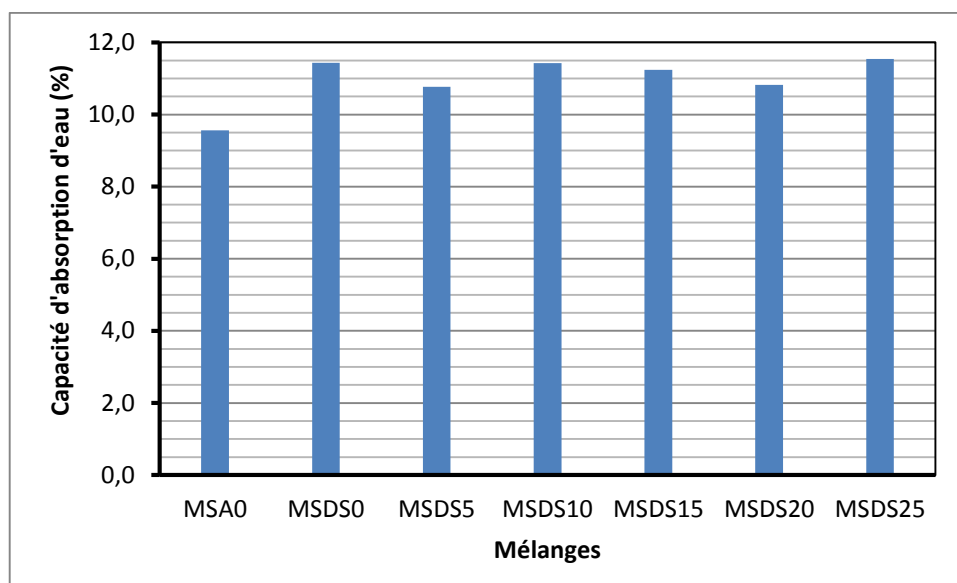


Figure. IV.11. Influence de la teneur en fines sur la capacité d'absorption d'eau

D'après la figure IV.11 on constate que la capacité d'absorption d'eau évolue d'une façon peu significative en fonction du dosage en fines siliceuses. Elle affiche une valeur minimale pour le mélange MSA0 ; ce qui montre que mélange à base de sable alluvionnaire reste le moins poreux quel que soit la teneur en fines. L'absorption est maximale pour le mélange MSD0, on estime que ceci est tout à fait logique, en raison de la mauvaise granulométrie de sable de dune (granulométrie serrée) qui résulte généralement une microstructure poreuse.

L'absorption affiche une diminution à 5% de fines siliceuses, c'est le même pourcentage qui donne la résistance maximale en compression à 60 jours. Ceci indique que le rôle de remplissage de vides ou de correction granulométrique assuré par les fines utilisés est optimal pour ce pourcentage.

L'absorption reste presque stable pour les taux 10%, 15% et 25%, et enregistre des valeurs comparables à celle du mélange à base de sable dune (MSD0), ce qui montre que les fines siliceuses pour ces dosages ne participent pas à l'amélioration de la compacité des mélanges.

8. Conclusion

D'après les différents résultats obtenus dans ce chapitre, on peut conclure le suivant :

- L'ajout de 10% de fines siliceuses donne un gain de résistance en traction de 22% à 60 jours. La correction de sable de dune avec 10% de fines est suffisante pour confectionner des mortiers ont des résistances en traction à 60 jours dépassent celle d'un mortier à base de sable alluvionnaire.
- L'ajout de 5% de fines siliceuses résulte une résistance en compression dépasse celle du mélange témoins (MSD0) de 39%, et celle du mélange MSA0 de 22%. Ce qui reflète l'efficacité des fines utilisées à l'amélioration de la résistance mécaniques des mortiers à base de sable de dune.

- La capacité d'absorption d'eau diminue à 5% de fines siliceuses, le même pourcentage donne une résistance maximale en compression à 60 jours. Ce qui montre que la correction granulométrique assurée par la fine siliceuse est optimale pour ce pourcentage.

Conclusion générale

CONCLUSION GENERALE

Cette étude a été réalisée afin d'évaluer la possibilité d'utiliser des fines siliceuses pour améliorer la granulométrie d'un sable de dune de la région de Djelfa, et le valoriser dans le secteur du bâtiment. Sur la base des résultats de l'étude expérimentale réalisée, les conclusions suivantes peuvent être notées :

- La granulométrie de sable étudié est très serrée ; près de 90 % des grains ont une dimension comprise entre 0,1 mm et 0,5mm. Ce qui donne une compacité insuffisante, et par la suite des performances mécaniques non adéquates. L'utilisation d'un correcteur granulaire se révélera certainement nécessaire.
- Pour une quantité d'eau de gâchages constante, la granulométrie de sable influe d'une façon sensible sur la consistance et la masse volumiques apparente de mortier frais.
- L'ajout de 10% de fines siliceuses donne un gain de résistance en traction de 22% à 60 jours.
- La correction de sable de dune avec 10% de fines est suffisante pour confectionner des mortiers ont des résistances en traction à 60 jours dépassent celle d'un mortier à base de sable alluvionnaire.
- L'ajout de 5% de fines siliceuses résulte une résistance en compression dépasse celle du mélange témoins (MSD0) de 39%, et celle du mélange MSA0 de 22%. Ce qui reflète l'efficacité des fines utilisées à l'amélioration de la résistance mécaniques des mortiers à base de sable de dune.
- La capacité d'absorption d'eau diminue à 5% de fines siliceuses, le même pourcentage donne une résistance maximale en compression à 60 jours. Ce qui montre que la correction granulométrique assuré par les fines siliceuses est optimale pour ce pourcentage.

Références

- [1] MEKHERMECHE. A, « Contribution à l'étude des propriétés mécaniques et thermiques des briques en terre en vue de leur utilisation dans la restauration des Ksours sahariennes » mémoire de magister, université kasdi merbah Ouargla, année 2012.
- [2] AZZOUZ. Hocine, « Etude des bétons à base des sables de dune » mémoire de magister, université Mohamed kheider Biskra, année 2009.
- [3] GUENNOUN. R, « Etude et formulation d'un béton de sable de dune » Alger, juin 2003.
- [4] KHETAB. R, « valorisation du sable de dune » thèse de doctorat, Alger, année 2006.
- [5] REZIG. SALIMA, « Optimisation de la formulation du béton de sable dans le cadre de valorisation des matériaux locaux » mémoire de magister, Université Mohamed Khider Biskra, année 2012.
- [6] GUERMITI. LAID, « contribution à l'amélioration certaines caractéristiques du béton de structure a base de sable de dune corrigé et renforcé par des fibres métalliques » mémoire de magister, université kasdi merbah Ouargla, année 2013.
- [7] CIMBÉTON, « Collection technique Ciments et bétons, » Conception et réalisation : Amprincipe Paris, Édition 2005.
- [8] TOME 2. CimBéton, « fiches techniques : Les bétons : formulation, fabrication et mise en œuvre » Am principe Paris, janvier 2013.
- [9] POINOT. T, « influence des hydroxypropylguars sur les propriétés des mortiers de ciment à l'état frais » thèse de Doctorat, l'École Nationale Supérieure des Mines de Saint-Étienne, 15 Novembre 2013.
- [10] MESSAOUDENE. A et REFICE. O, « étude de l'effet de l'addition de sable de dune sur les propriétés des mortiers à base de sable alluvionnaire » Mémoire Master, Université ziane achour Djelfa, année 2014.
- [11] AYACHI AMOR. M, « Etude des propriétés mécaniques du béton de sable de dunes » mémoire de master, université Kasdi Merbeh, Ouargla, année 2011.
- [12] NICOT. PIERRE, « Interactions mortier-support : éléments déterminants des performances et de l'adhérence d'un mortier » thèse doctorat, Université Toulouse III, année 2008.
- [13] BENCHAA BENABED, AZZOUZ LAKHDAR, KADRI EL-HADJ, BELAIDI AKRAM SALAH EDDINE et SOUALHI HAMZA « Propriétés physico-mécaniques et durabilité des mortiers à base du sable de dunes » XXXe Rencontres AUGC-IBPSA Chambéry, Savoie, 6 au 8 juin 2012.

- [14] FELLAH. Fatma Zohra et LOUIFI. Fatima Zahra, « L'étude de l'influence de l'ajout de déchet de céramique broyé sur les performances physiques et mécaniques de mortier à base de sable de dune » Mémoire de Master, Université ziane achour Djelfa, 2014.
- [15] AZZOUZ. L, KENAI. S et BOUHICHA .M, « Comportement physico mécanique du béton de sable dunaire avec additions calcaires » Communication en 2^{ème} colloque maghrébin Biskra ,2002.
- [16] CHAUVIN, J.J. Les sables : guide technique d'utilisation routière. ISTED, 76 p. France, 1987
- [17] AFNOR, 1996. Sols : reconnaissance et essais - Analyse granulométrique - Méthode par tamisage à sec après lavage.NF P 94-056
- [18] KETTAB. R, GHRIEB. A, BALI. A. A study of dune sand concrete for aeronautical runways» advances in waste management and recycling, international symposia; 9-11 September 2003 Dundee, Scotland.
- [19] KETTAB. R, BALI. A, GHRIEB. A. Béton de sable de dunes ; 1^{ier} Congrès international sur la technologie et la durabilité du béton USTHB 24 au 26 Mai 2004 Alger.
- [20] KETTAB. R, BALI. A, GHRIEB. A, ALLICHE. A. Etude et formulation d'un béton de sable de dunes pour chaussées aéronautiques ; 1^{ier} Congrès africain de la route du06 au 08 Décembre 2005 Alger.
- [21] AFNOR, 1999. Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats - Partie 8 : évaluation des fines - Équivalent de sable. NF EN 933-8.
- [22] DUPAIN. R, LANCHON. R, Saint-Arroman J.C. Granulats, sols, ciments et bétons Caractéristiques des matériaux de génie civil par les essais de laboratoire. Edition Casteilla, 236 p. France, 2000.