



Mémoire de Fin d'Etudes

Présenté au

Département: des Sciences Technologiques

Domaine: Sciences et Techniques

Filière: Génie Civil

Spécialité: Géotechnique & Matériaux

Réalisé par

Chellim Mohamed & Labiad Ilyas

**Pour l'obtention du diplôme de
MASTER ACADEMIQUE**

Intitulé

*contribution à l'étude des comportements
physiques et mécaniques d'un mortier à base de
sable de dune et fines calcaires*

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

Devant le jury de soutenance composé de :

Mr. El Bahi Sadek	MAA	Univ. Djelfa	Président
Dr. Ghrieb Abderahmane	MCB	Univ. Djelfa	Encadreur
Mr. DOUARA Taha-Hocine	MAA	Univ. Djelfa	Examineur

Remerciement

Dans le cadre de la réalisation de cette étude, nous remercions avant tous ALLAH tout puissant, de m' avoir accordé la santé, guidé vers le bon chemin et de m' avoir permis d' accomplir la présente recherche.

Mes remerciements les plus chaleureux particulièrement à mon encadreur, Dr. Ghrieb Abderahmane, pour m' avoir encadré et dirigé. Avec sa grande rigueur scientifique, sa qualité de formation et ses conseils qui m' ont permis de réaliser cette recherche dans les meilleures conditions.

Remerciements à tous les enseignants et enseignantes de l' Université de Djelfa et département de génie civile sans oublier toutes les personnes qui ont participé à la réalisation de ce travail.

remerciements à Tous les travailleurs de laboratoire (MDC, de l' université de Djelfa et L.N.H.C de Djelfa)

Enfin, nous adressons nos sincères remerciements à tous nos proches et amis qui nous ont toujours soutenus et encouragés au cours de la réalisation de ce mémoire .

Dédicaces

nous dédicace humble travail à :

*Mes très chers parents qui m'ont soutenu et
encouragé durant toute ma scolarité,*

Mes très chers grands parents,

*Mes chers frères, cousins et
cousines, Ma famille,*

Mes professeurs,

Ainsi que tous mes amis.

À ma meilleures amies .

mohamed et ifyas

SOMMAIRE

• Liste des figures	I
• Liste des tableaux	III
• RESUME	IV
• INTRODUCTION GENERALE	1

CHAPITRE I : Synthèse bibliographique

I.1.Introduction	2
I.2.Les sables de dune	2
I.2.1.Définition	2
I.2.2.Origine des sables	3
I.2.3. Classification des sables	4
I.2.3.1.Classification selon la granulométrie	4
I.2.3.2.Classification selon la Propreté et teneur en fines	5
I.2.3.3.Classification selon la Nature minéralogique	5
I.2.4.Critères d'acceptabilité des sables pour leur emploi en construction	5
I.2.4.1. Granulométrie	5
I.2.4.2. Module de finesse	6
I.2.4.3. Equivalent de sable	6
I.2.4.4. Densité apparente (Da) et la densité réelle (Dr)	6
I.3.Les mortiers	7
I.3.1.Définition du mortier	7
I.3.2. Différents types des mortiers	7
I.3.2.1. Mortiers hydrauliques	7
I.3.2.2. Mortiers de chaux	8
I.3.2.3. Mortier en terre	8
I.3.2.4. Mortiers aériens	9
I.3.2.5. Mortier de chaux aérienne	9
I.3.2.6. Mortier de plâtre	10
I.3.3. Les rôles dans la construction	10
I.3.4. Les propriétés physiques et mécaniques	11
I.3.4.1. Mesure de la consistance des mortiers[NF P 18-452 et NF P15-437]	11
I.3.4.2. Mesure du temps de prise sur mortier [NF P 15-431 et NF 18-356]	12
I.3.4.3. Mesure des résistances à la compression et à la traction [EN 196-1]	13
I.3.4.4. Mesure du retrait sur éprouvettes de mortier [NF P 15-433]	17
I.4. Travaux réalisés sur la valorisation de sable de dune pour la confection des mortiers	19
I.4.1. Etude des propriétés mécaniques du béton de sable de dunes	19
I.4.2.Propriétés physico-mécaniques et durabilité des mortiers à base du sable de dunes	27
I.5.Conclusion	31

CHAPITRE II : Caractérisation des matériaux utilisés

II.1 Introduction	32
II.2 Les sables	32
II.2.1. Masse volumique	32
II.2.2. Analyse granulométrique	34
II.2.2.1. Définition des sables utilisés	36
II.2.2.2. Catégorie selon la granularité	36
II.2.2.3. Module de finesse	37
II.2.3. Propreté des sables	38
II.3. Les fines d'ajout	39
II.3.1. Définition	39
II.3.2. Les fines calcaires	39
II.3.3. Analyse granulométrique par sédimentation	39
II.3.4. Masses volumiques	40
II.3.5. Surface spécifique	40
II.4. Eau de gâchage	40
II.5. Ciment	41
II.5.1. Analyse chimique et minéralogique du ciment	41
II.5.2. Caractéristiques physiques	42
II.5.3. Surface spécifique	42
II.5.4. Consistance normale et temps de prise du ciment	42
II.5.4.1. Consistance normale du ciment	42
II.5.4.2. Prise du ciment	43
II.5.5. Caractéristiques mécaniques du ciment	43
II.6. Conclusion	44

CHAPITRE III : Formulation des mélanges et propriétés du mortier frais

III.1 Introduction	45
III.2. Formulation	45
III.2.1. Choix de correcteur granulaire et des dosages	45
III.2.2. Méthode de formulation des mélanges	46
III.3. Confection du mortier	47
III.3.1. Malaxage	47
III.3.2. Détermination des propriétés physiques du mortier frais	47
III.3.2.1. Ouvrabilité	47
III.3.2.2. Masse volumique apparente des mélanges frais	50
III.4. Conclusion	52

CHAPITRE IV : Propriétés du mortier durci

IV.1. Introduction	53
IV.2. Les éprouvettes utilisées	53
IV.3. Serrage du mortier	54
IV.4. Confection et conservation des éprouvettes	55
IV.5. Résistance en traction	55
IV.5.1. Résultats et discussions	57
IV.5.1.1. Résultats	57
IV.5.1.2. Evolution de la résistance en traction par flexion	57
IV.6. Résistance en compression	59
IV.6.1 Résultats et discussions	59
IV.6.1.1. Résultats	59
IV.6.1.2. Evolution de la résistance en compression	60
IV.7. La capacité d'absorption d'eau	62
IV.7.1. Définitions	62
IV.7.2 Appareillage	62
IV.7.3. Détermination de la capacité d'absorption d'eau	63
IV.7.4 . Opération de l'immersion	63
IV.7.4.1. Détermination de la masse de l'éprouvette saturée	63
IV.7.5. Opération de dessiccation	64
IV.7.5.1 .Détermination de la masse de l'éprouvette sèche	64
IV.7.6. Expression des résultats	64
IV.7.7. Résultats et discussion	65
IV.7.7. 1. Résultats	65
IV.7.7.2 Effet de la teneur en fines sur la capacité d'absorption d'eau	65
IV.8 Conclusion	66
• CONCLUSION GENERALE	67

LISTE DES FIGURES

Chapitre I : Synthèse bibliographique

Figure I.1:3Types de dunes	03
Figure I.2:Constituants des mortiers	07
Figure I.3:Schéma du cycle	09
Figure I.4:Principe de fonctionnement du maniabilimètre B	11
Figure I.5:Malaxeur normalisé pour pâte et mortier	12
Figure I.6:Appareil de Vicat muni de l'aiguille avec une surcharge	13
Figure I.7:Mesure du temps de prise sur mortier	13
Figure I.8:Moules pour moulage des éprouvettes de mortier	14
Figure I.9:Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion	15
Figure I.10:Dispositif de rupture en compression	16
Figure I.11:Appareillage pour la mesure du retrait	18
Figure I.12:Variation de la résistance à la flexion en fonction d'âge (Composition1).....	21
Figure I.13:Variation de la résistance à la flexion du en fonction d'âge (Composition 2).....	22
Figure I.14:Variation de la résistance à la flexion en fonction d'âge (Composition 3).....	23
Figure I.15:Variation de la résistance à la compression en fonction d'âge (Composition 1).....	24
Figure I.16:Variation de la résistance à la compression en fonction d'âge (Composition 2)	25
Figure I.17:Variation de la résistance à la compression en fonction d'âge (Composition 3)	26
Figure I.18:Résistance à la compression en fonction de la durée de conservation dans l'eau	28
Figure I.19:Résistance à la compression en fonction de la durée de conservation à l'air libre	28
Figure I.20:: Résistance à la flexion en fonction du temps de conservation dans l'eau	29
Figure I.21:Résistance à la flexion en fonction du temps de conservation à l'air Libre	29
Figure I.22:Influence de mouillage- séchage sur la résistance des mortiers	29
Figure I.23:Influence de mouillage- séchage sur la résistance des mortiers	29
Figure I.24:Résistance à la compression en fonction de la durée d'exposition aux sulfates (cure dans l'eau avant).....	30
Figure I.25:Résistance à la compression en fonction de la durée d'exposition aux sulfates (cure à l'air libre immersion)	30

Figure I.26: Résistance à la flexion en fonction de la durée d'exposition aux sulfates (cure dans l'eau avant immersion).....	30
Figure I.27: Résistance à la flexion en fonction de la durée d'exposition aux sulfates	30
Chapitre II : Caractérisation des matériaux étudiés	
Figure II.1: Méthode de mesure de la masse volumique apparente	33
Figure II.2: Méthode de mesure de la masse volumique absolue	33
Figure II.3: Courbes granulométriques des sables étudiés	35
Figure II.4: Courbe d'analyse granulométrique par sédimentation de fines Calcaire	40
Chapitre III : Formulation des mélanges et propriétés du mortier frais	
Figure III.1: Malaxeur de mortier	47
Figure III.2: le maniabilimètre utilisé	48
Figure III.3: Effet des fines sur le temps d'écoulement	49
Figure III.4: La balance et la tare utilisé	50
Figure III.5: des fines sur la masse volumique apparente du mortier frais	51
Chapitre IV : Propriétés du mortier durci	
Figure IV.1: Le moule utilisé	53
Figure IV.2: La table vibrante utilisée	54
Figure IV.3: Conservation des éprouvettes dans l'eau	55
Figure IV.4: Dispositif pour l'essai de résistance à la traction par flexion	55
Figure IV.5: l'appareil et le dispositif utilisés	56
Figure IV.6: Evolution de la résistance en traction par flexion des mélanges De mortier	57
Figure IV.7: Dispositif pour l'essai de résistance à la compression	59
Figure IV.8: Evolution de la résistance en compression par flexion des mélanges De mortier	60
Figure IV.9: Immersion des éprouvettes dans un bac	63
Figure IV.10: Mesure la masse de l'éprouvette saturée	64
Figure IV.11: Influence de la teneur en fines sur la capacité d'absorption d'eau	65

LISTE DES TABLEAUX

Chapitre I : Synthèse bibliographique

Tableau I.1:les limites de temps indiquées.....	15
Tableau I.2: Masses volumiques apparentes et absolues des sables étudiés.....	19
Tableau I.3: Compositions des mortiers en fonction du rapport E/C	19
Tableau I.4:Affaissement et temps d'écoulement	20
Tableau I.5:Résistance à la flexion du béton de sable(Composition 1).....	20
Tableau I.6:Résistance à la flexion du béton de sable (Composition 2)	22
Tableau I.7:Résistance à la flexion du béton de sable (Composition 3)	23
Tableau I.8:Résistance à la Compression du béton de sable (Composition 1).....	24
Tableau I.9:Résistance à la compression du béton de sable (Composition 2).....	25
Tableau I.10:Résistance à la compression du béton de sable (Composition 3).....	26
Tableau I.11:Composition en grammes des différents constituants des mortiers préparés	28

Chapitre II : Caractérisation des matériaux étudiés

Tableau II.1 : Masses volumiques apparentes et absolues des sables étudiés	34
Tableau II.2 : analyse granulométrique par tamisage du SD	34
Tableau II.3 : analyse granulométrique par tamisage du sable SA	35
Tableau II.4 : Granularité des sables étudiés.....	36
Tableau II.5 : Modules de finesse des sables étudiés.....	37
Tableau II.6 : Classes de propreté d'après les valeurs de l'équivalent de sable.....	38
Tableau II.7 : Propreté des sables étudiés.....	38
Tableau II.8 : Analyse chimique du ciment utilisé.....	41
Tableau II.9 : Composition minéralogique du ciment	41
Tableau II.10 : Caractéristiques physiques du ciment utilisé.....	42
Tableau II.11 : Temps de début et de fin de prise du ciment utilisé	43
Tableau II.12 : Caractéristiques mécaniques du ciment	44

Chapitre III : Formulation des mélanges et propriétés du mortier frais

Tableau III.1: Composition des différentes formulations	46
Tableau III.2: Domaines de consistance du mortier.....	48
Tableau III.3: Rapports E/C et temps d'écoulement.....	49
Tableau III.4: masses volumiques des mélanges frais	51

Chapitre IV : Propriétés du mortier durci

Tableau IV.1: valeurs de la résistance en traction des différentes Formulations.....	57
Tableau IV.2: valeurs de la résistance à la compression des différentes Formulations	60
Tableau IV.3: valeurs de la capacité d'absorption d'eau des différentes Formulations	65

الخلاصة:

العمل المقدم في هذه المذكرة يدخل في إطار تثمين رمل الكثبان، الموجود بكثرة في بلادنا. الهدف الأساسي من هذه المبادرة هو دراسة إمكانية استخدام رمل الكثبان لإعداد ملاط ذو مواصفات و خصائص فيزيائية وميكانيكية كافية تؤهله لمختلف تطبيقات واستخدامات الهندسة المدنية.

في هذه الدراسة تم تصحيح التوزيع الحبيبي لرمل الكثبان، عن طريق إضافة مسحوق الحجر الكلسي. تستند منهجية صياغة نسب مكونات الخلائط على استبدال رمل الكثبان بالمسحوق الكلسي وفق نسب كتلية مختلفة: 5، 10، 15، 20 و 25%. أظهرت النتائج أن إضافة هذا المسحوق يجعل الملاط أقل مسامية، وأكثر قدرة على مقاومة قوى الشد والضغط. كما وجدنا أيضا أن إضافته بنسبة 15% 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 الحجر الكلسي، الملاط، قابلية التشكل، الخصائص الميكانيكية.

Résumé :

Le travail présenté dans ce mémoire s'inscrit dans le cadre de la valorisation de sable de dune, que l'on retrouve de manière abondante dans le territoire national. L'objectif de cette initiative est d'étudier la possibilité de l'utiliser pour la confection des mortiers, possédant des propriétés, physico-mécaniques suffisantes pour les exploiter aux diverses applications de construction en génie civil.

Dans cette étude la correction de la granulométrie de sable de dune, qui est généralement mal étalée, a été faite par l'addition des fines calcaires. La méthodologie de la formulation des mélanges se base sur la substitution de sable de dune par les fines, à différents teneurs pondérales 5, 10, 15, 20 et 25%. Les résultats obtenus montrent que l'introduction de fines calcaires 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 15% 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 calcaires, mortier, ouvrabilité, propriétés mécaniques

Abstract:

The work presented in this master thesis is part of the valorization of the dune sand, which is found abundantly in our country. The object of this initiative is to study the feasibility of using it in the production of mortars, having sufficient physical and mechanical properties to exploit them in the various civil engineering applications.

In this study the correction of the granulometry of the dune sand, which is generally very tight, was made by the addition of calcareous fines. The methodology for the mixtures formulation is based on the replacement of dune sand with fines at different weight contents; 5, 10, 15, 20 and 25%. 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 15% 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, calcareous fines, mortar, workability, mechanical properties

Introduction générale

INTRODUCTION GENERALE

La valorisation des matériaux locaux donne des solutions aux problèmes de la pénurie des granulats nobles et la pollution et peut contribuer à la diminution des coûts de constructions. Parmi ces matériaux, les sables de dune. Vu l'abondance de ces sables (ils couvrent près de 60% du territoire national), et leur taux de propreté élevé, ces sables ont beaucoup d'avantages pour substituer les granulats courants aux différents domaines d'application en génie civil, tels que les bâtiments et les routes.

L'objectif de cette contribution est d'étudier l'aptitude d'utiliser le sable de dune, pour la confection des mortiers, possédants des propriétés, physico-mécaniques suffisantes pour les exploiter dans les diverses applications de génie civil.

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

Dans cette investigation, on s'intéresse en particulier à l'ouvrabilité, à la masse volumique apparente, à la résistance à la compression, et celle à la traction et la capacité d'absorption d'eau.

Le mémoire comporte quatre chapitres :

- Synthèse bibliographique
- Caractérisation des matériaux étudiés
- Formulation des mélanges et les propriétés de mortier frais
- Propriétés du mortier durci

Après un résumé général et une présentation de l'objectif de l'étude, le premier chapitre comporte des données théoriques et bibliographiques, et les principaux travaux effectués sur le mortier à base de sable dune. Le deuxième chapitre représente une caractérisation physique, chimique et minéralogique de matériaux utilisé (le sable de dune, ciment, les fines d'ajouts). Le troisième et le quatrième chapitre comporte une étude physico-mécanique des mélanges à l'état frais et durci, et une exposition et interprétation des résultats d'essais réalisés tels que ; le mesure de temps découlement, la masse volumique apparente, résistances mécaniques et la capacité d'absorption d'eau.

Chapitre I

Synthèse bibliographique

I.1. Introduction:

Dans ce premier chapitre de notre travail nous allons essayer de faire une description générale issue de notre recherche bibliographique sur toutes les principales notions à traiter dans notre étude. Nous allons donner une présentation générale sur les propriétés des différents types de sables utilisés dans le domaine de construction en génie civil. Notamment leurs origines, leurs classifications et leurs granulométries. Nous allons également donner un aperçu sur les mortiers. Nous allons surtout basé sur leurs applications dans la construction, les différents types et les principales caractéristiques.

Dans ce chapitre nous allons fait aussi une synthèse sur les différents travaux de recherche qui ont été fait sur le thème de notre étude, plus particulièrement en ce qui concerne la valorisation de sable de dune pour la confection des mortiers, où nous allons exposer les principaux résultats obtenus.

I.2. LES SABLES DE DUNES:

I. 2.1. DEFINITION

Le sable est un produit de la désagrégation lente des roches sous l'action des agents d'érosion tels que l'air, la pluie etc. Les déserts de sable, ou ergs, se localisent dans les vastes cuvettes d'épandage ou des puissantes accumulations alluviales se sont concentrées par de grands écoulements liés aux périodes pluviales du début du quaternaire. Les grands ergs coïncident avec des zones où des vents saisonniers de directions variées se compensent. Les dunes existent sous trois formes [1]:

- **barkhane** est une dune en forme de croissant, à convexité au vent. Elle naît là où l'apport de sable est faible et sous des vents unidirectionnels (Figure I.1. A) .
- **dune parabolique** est une dune dissymétrique en forme de fer à cheval à concavité au vent souvent plus ou moins fixée par la végétation (Figure I.1.B). Sa disposition par rapport à la direction du vent est donc inverse de celle de la barkhane. La dune parabolique est peu mobile et généralement ne migre guère une fois qu'elle est formée.
- **siouf ou Sif**, dunes en forme de sabre, sont des ondulations longitudinales s'amincissant vers une extrémité (Figure I.1. C).

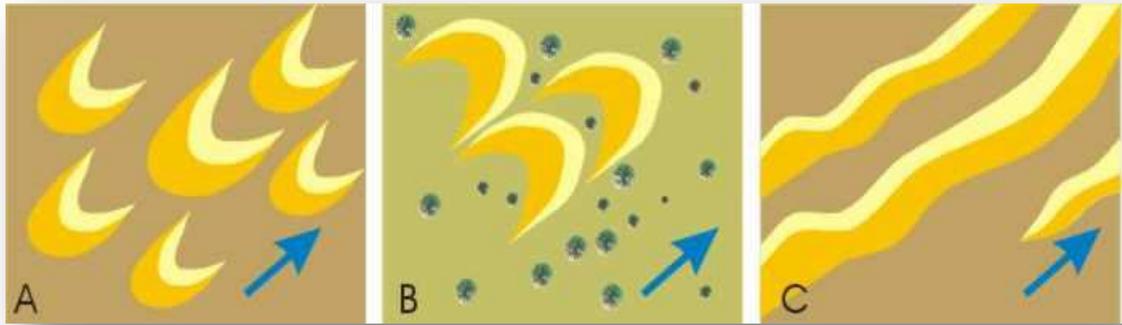


Figure I.1: 3 Types de dunes. A: barkhanes ; B: dunes paraboliques ; C: dunes longitudinales. La flèche bleue indique la direction du vent dominant

Le sable est considéré comme un sédiment détritique meuble composé, en l'absence totale de ciment, de grains jointifs mais libres, dont la taille est comprise entre 64 μm et 2 m [2].

La valeur de cet intervalle diffère d'ailleurs suivant les auteurs : entre 20 μm et 2 mm pour [3], et entre 50 μm et 5 mm pour [4].

Tout sable connaissant un début de cimentation, aussi faible soit-il, est par convention considéré comme un grès. Le terme sable est en fait très général, la qualification se référant au seul critère granulométrique. C'est ainsi que le terme sable, employé sous qualificatif indiquant l'origine, est impropre. On parle de sable quartzueux lorsqu'il est composé de grains de quartz, de sable calcaire si les éléments constitutifs sont des grains de calcaires, de sable micacés...etc. Le sable est composé de différents minéraux, tels que la silice, les silicates, les carbonates et les argiles (les silicates sont la famille la plus abondante dans la nature, représentant 90 % en masse de l'écorce terrestre). Les sables de dunes étudiés sont essentiellement des sables siliceux, les carbonates et les argiles se trouvant sous forme de traces .

I.2.2.Origine des sables :

Les sables rencontrés sont le résultat d'une décomposition chimique ou d'une désintégration mécanique des roches suivies par un processus de transport qui est l'origine de leurs caractéristiques physico-chimiques[5].

Les sables ainsi disponibles sont le résultat d'un processus souvent complexe d'érosion et de sédimentation. Il comporte, à des degrés divers, une décomposition surplace des différentes roches suivie d'un transport fluvial et parfois éolien. Les différents processus qui conduisent de la roche massive aux sables sont suffisamment agressifs vis-à-vis des minéraux pour que seul subsistent les plus résistants; c'est ainsi que la plus grande partie des formations sableuses est constituée de quartz qui devient de plus en plus abondant à mesure que la taille des grains décroît. La fraction comprise entre 0,2mm et 0,5mm est le plus souvent constituée de quartz à plus de 75%. Selon l'importance et la nature de leur transport, ces grains de sable peuvent présenter un aspect différent à savoir [5]:

- Grains émoussés et luisants (usure due au déplacement par l'eau);
- Grains ronds et mats (déplacement par le vent);
- Grains non usés.

Selon leur histoire géologique, les sables se distinguent les uns des autres par une multitude d'aspects: granulométrie, teneur, nature et caractéristiques des fines, composition chimique et minéralogique, forme des grains, dureté, ...etc.

I.2.3. Classification des sables :

L'intérêt de la classification est de regrouper en familles les matériaux qui présentent des points communs soit dès leur genèse, soit dans leur comportement lié à un usage précis. Il est utile de classer les sables, afin de pouvoir préciser à priori et pour un sable donné, les divers procédés de traitement qui conviennent mieux à son utilisation dans un domaine et selon ses spécifications. On conçoit de ces conditions qu'il n'y a pas une classification, mais des classifications selon l'usage envisagé, chacune répondant à une fonction. Il existe de ce fait des classifications géologiques, pédologiques et géotechniques.

I.2.3.1. Classification selon la granulométrie :

➤ **Sable grossier :**

Plus de 20% des éléments sont supérieurs à 2mm et plus de 50% des éléments supérieurs à 80µm sont compris entre 0,5 et 5mm. Ces sables ont des propriétés qui se rapprochent des graves.

➤ **Sable moyen :**

Moins de 20% des éléments sont supérieurs à 2mm et plus de 50% des éléments supérieurs à 80µm sont compris entre 0,2 et 2mm.

➤ **Sable fin :**

Plus de 75% des éléments supérieurs à 80 µm, sont inférieurs à 0,5mm. Ces sables doivent être notablement corrigés pour acquérir des propriétés comparables à celles des graves[6].

I.2.3.2. Classification selon la Propreté et teneur en fines :

Elle est appréciée par la valeur de l'équivalent de sable[7].

I.2.3.3. Classification selon la Nature minéralogique :

En général, les sables peuvent être classés comme suit :

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

I.2.4. Critères d'acceptabilité des sables pour leur emploi en construction :

Le choix des matériaux de construction de base, tels que les sables qui rentrent dans la confection des mélanges composés, doit être dicté par un certain nombre de considérations afin d'atteindre les objectifs recherchés (résistance, durabilité,...). Selon le rôle du sable, ces considérations sont plus ou moins sévères.

Il paraît nécessaire d'établir une détermination physique plus approfondie. Pour cette étude, un certain nombre de caractères physiques ont été retenus[8].

Ce sont :

- La granulométrie.
- Le module de finesse.
- La densité apparente et la densité réelle
- La Propreté.
- L'analyse chimique[9].

I.2.4.1. Granulométrie :

C'est la caractéristique physique essentielle pour l'identification des matériaux, puisque la notion de sable est basée sur le critère de taille des éléments.

La granulométrie nous permet de déterminer la répartition des grains suivant leurs grosseurs.

Elle permet de classer et de définir d'après la grosseur des grains qui les composent, les différents matériaux employés dans la construction.

I.2.4.2. Module de finesse :

Le module de finesse d'un granulat égal au 1/100e de la somme des refus, exprimé en pourcentage sur les différents tamis de la série suivante:

0,16 – 0,315 – 0,630 – 1,25 – 2,5 – 5 – 10 – 20 – 40 et 80 mm

Le module de finesse étant presque exclusivement vérifié sur les sables, les tamis concernés sont :

0,16 – 0,315 – 0,63 – 1,25 – 2,5 et 5 mm

Le module de finesse est plus particulièrement appliqué aux sables dont il est une caractéristique importante.

C'est une caractéristique intéressante, surtout en ce qui concerne les sables. Un bon sable à béton doit avoir un module de finesse d'environ 2,2 à 2,8.

I.2.4.3. Equivalent de sable :

L'équivalent de sable est le rapport multiplié par 100, de la hauteur de la partie sédimentée à la hauteur totale du flocculat et de la partie sédimentée.

Ces hauteurs sont déterminées dans une éprouvette où la prise d'essai a été traitée, dans des conditions définies, par une solution capable de faire flocculer les éléments fins.

L'essai permet d'avoir une idée globale de la quantité et de la qualité des éléments fins contenus dans un sable en exprimant un rapport conventionnel volumétrique entre les éléments dits sableux et les éléments fins (argile, impuretés)[10].

3.7.4. Densité apparente (Da) et la densité réelle (Dr) :

La densité apparente d'un échantillon de terre ou de sable correspond à sa masse volumique. Cette mesure tient compte non seulement de la matière, mais aussi des espaces lacunaires. Quant à la densité réelle, elle se mesure après avoir retiré l'air des espaces lacunaires, et par conséquent, ne tient compte que de la partie solide de l'échantillon. Il en découle une faible amplitude. Par conséquent, il est logique de retrouver un lien entre la densité apparente et la porosité.

I.3. Les mortiers :

Les mortiers sont très utilisés pour des travaux de tous types, ces derniers se déclinent en divers produits, qu'ils soient de ciment, de chaux ou de résine, tous ne s'utilisent pas de la même façon[11].

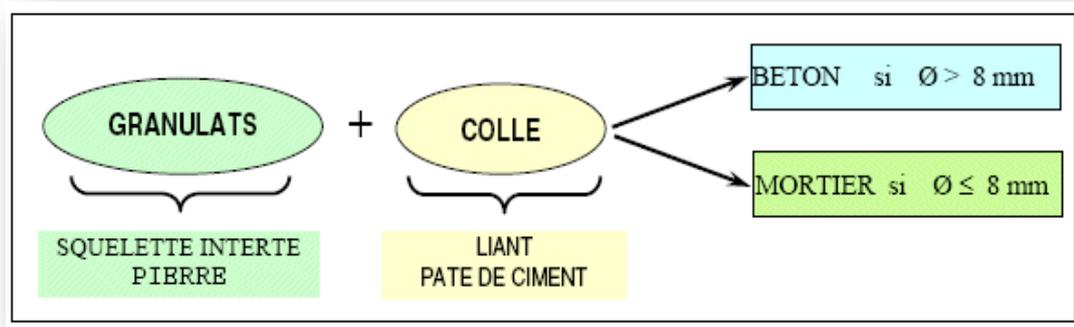


Figure I.2 : Constituants des mortiers

I.3.1. Définition :

Le mortier est l'un des matériaux de construction que l'on utilise pour solidariser les éléments entre eux, assurer la stabilité de l'ouvrage, combler les interstices entre les blocs de construction. En général le mortier est le résultat d'un mélange de sable, d'un liant (ciment ou chaux) et d'eau dans des proportions données, se diffèrent selon les réalisations et d'adjuvant. Dans ce chapitre, nous présenterons les différents types ainsi que les caractéristiques principales telles que l'ouvrabilité, la prise, le retrait, ... [11].

I.3.2. Différents types des mortiers :

Selon la nature de liant, on classe les mortiers de construction en deux catégories, les premiers se durcissent uniquement à l'air libre et les seconds sous l'eau et à l'air libre.

I.3.2.1. Mortiers hydrauliques:

Depuis l'antiquité, les mortiers ont fait l'objet de recherches dans l'amélioration de leurs caractéristiques. Soit dans la nature du liant, le mode de préparation, le type d'agrégats et la nature des adjuvants, on vise souvent à améliorer leur résistance mécanique à la compression.

Ces types de mortiers font leurs durcissements à l'air libre ou même sous l'eau, une fois qu'ils sont durcis, ils résistent à l'action destructrice de l'eau et même salée. Cette double fonction permet leurs vastes utilisations.

I.3.2.2. Mortiers de chaux:

La chaux ne peut former le mortier hydraulique que par réaction avec la silice ou l'alumine. Cette réaction n'est possible qu'à haute température (ciment moderne) ou à température ambiante, si on utilise des formes de silice ou d'alumine très réactive (béton romain antique)[12].

Pour faire augmenter la résistance de mortier, on lui fait subir une cuisson, cela est confirmé par Torrac G. [12] : « ... si l'on mélange énergiquement, ce qui entraîne une meilleure introduction d'air, on obtient aussi un matériau plus facile à travailler sans qu'il soit nécessaire d'ajouter trop d'eau. Ce type de mortier a un inconvénient principal, il s'agit de son durcissement très lent et peut même ne pas durcir du tout en atmosphère très humide ».

I.3.2.3. Mortier en terre :

Les argiles non cuites sont les principaux liants de la terre. Ce principe est ancré dans la culture de la construction dans maintes régions du monde [13]. Ces cristaux sont dispersés irrégulièrement dans une forme flocculée qui n'est pas très plastique, mais si on la laisse immergée pendant un certain temps et sous l'effet biologique, la disposition des cristaux change et passe à une forme dispersée qui permet aux argiles d'être plus plastique. Dans ce cas, l'argile prend et retrouve ses propriétés cohésives et peut alors lier la terre.

La plupart des terres sont constituées d'argile, d'une proportion de limon, du sable et des graviers. Les particules les plus grandes donnent à la terre sa structure, alors que l'argile la lient lui donne sa cohésion.

Pour fabriquer un mortier en terre, l'ajout d'un liant (chaux, plâtre) garantit une meilleure cohésion, une meilleure compacité et une durabilité de la construction, objet d'agression et d'attaque des agents climatiques extérieurs. Ainsi, l'ajout des matériaux fibreux (paille de blé de riz et poil animal, etc.) lui confère une augmentation de sa résistance à la traction de mortier. Aussi, l'ajout de certains additifs fait améliorer les performances des mortiers.

Les nombreuses recherches effectuées au moyen âge sur l'amélioration des performances de mortier, ont montré que plus on utilise un mortier chauffé plus on augmente ses performances mécaniques à savoir la résistance à la compression.

Quant au chaînage, les édifices peuvent être ou pas du tout chaînés. On réalise le chaînage d'une façon efficace en encastrant horizontalement des bois de 15 cm de diamètre environ assemblés aux angles.

Les rondins sont encastrés dans l'épaisseur du mur, noyés dans un bain de mortier de chaux et de sable s'ils sont en sapin, et dans du plâtre ou de la terre s'ils sont en chêne.

A travers les différentes études effectuées dans ce domaine, il a été démontré que le rapport entre la hauteur et l'épaisseur du mur est légèrement supérieur à 10. Ainsi les murs de 50 cm d'épaisseur permettent de monter jusqu'à 7m de hauteur. Quant à la construction plus basse, il ne sert à rien de diminuer l'épaisseur en dessous de 40 cm, est cela pour des raisons pratiques.

I.3.2.4. Mortiers aériens :

Leurs noms indiquent la nature du liant utilisé c'est-à-dire à base du liant aérien qui fait leur durcissement uniquement à l'air libre.

I.3.2.5. Mortier de chaux aérienne :

Dans ce type de mortier, on utilise la chaux aérienne en pâte mélangée avec les différents agrégats. La réaction entre les différents constituants nous amène souvent à la formation des mortiers hydrauliques.

La Figure (I.3) explique les différentes étapes de transformation de la chaux aérienne avec outans ajout du sable et d'autres agrégats. L'ajout de cendre, de silice et de la terre contenant des agrégats, etc. conduit à l'hydraulicité des mortiers dans une opération dit: pouzzolanique.

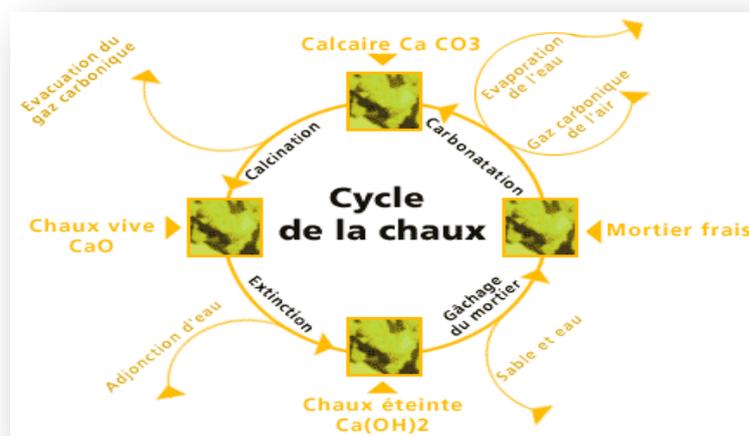


Figure I.3 : Schéma du cycle

I.3.2.6. Mortier de plâtre

On ne peut pas obtenir du mortier avec le plâtre ordinaire, néanmoins on peut l'obtenir avec le plâtre à plancher et le plâtre aluné (pierres reconstituées). Il peut être utilisé pour ouvrage léger, bien protégé de l'humidité avec l'emploi de gravillons et de sable, un rapport eau/plâtre ne dépasse pas 0,80, et un dosage en plâtre ne dépasse pas 300 à 350 kg de plâtre par mètre cube[14].

Avec ce liant, les résultats obtenus du point de vue mécanique n'en seraient pas améliorés, ce qui le distingue avec les bétons de ciment. On peut escompter une résistance à la compression, à 28j de prise, de l'ordre de 50 à 100 kg/cm², suivant la qualité du plâtre utilisé.

Ces valeurs s'entendent pour des bétons de plâtres bien secs car l'effet de l'humidité fait réduire leur résistance à des valeurs assez basses.

Dans certaines régions d'Algérie, par exemple dans les maisons mozabites, on trouve certains enduits de revêtement à base du plâtre et du sable, ce mortier est appelé timchent.

I.3.3. Les rôles dans la construction :

La pâte plastique obtenue peut jouer plusieurs rôles essentiels [15]:

➤ **Le hourdage de maçonnerie:**

La construction réalisée en éléments maçonnés (blocs de béton, pierre 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.

➤ **Les enduits:**

Ce domaine d'application constitue l'un des plus vastes débouchés des mortiers. A côté des enduits traditionnels en trois couches décrits dans la norme NF P 15-201-1 et 2 (DTU 26.1), se développent aujourd'hui des enduits monocouches épais, ainsi que des enduits isolants.

➤ **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. Elles peuvent aussi constituer le support d'un revêtement de sol.

➤ **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, d'éléments de second œuvre, de mobiliers urbains, de regards de visite.

I.3.4. Les propriétés physiques et mécaniques:

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

✓ **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.

✓ **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.

✓ **Equipement nécessaire**

L'appareil utilisé est appelé maniabilimètre B" et est schématisé sur la figure ci-dessous. 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.

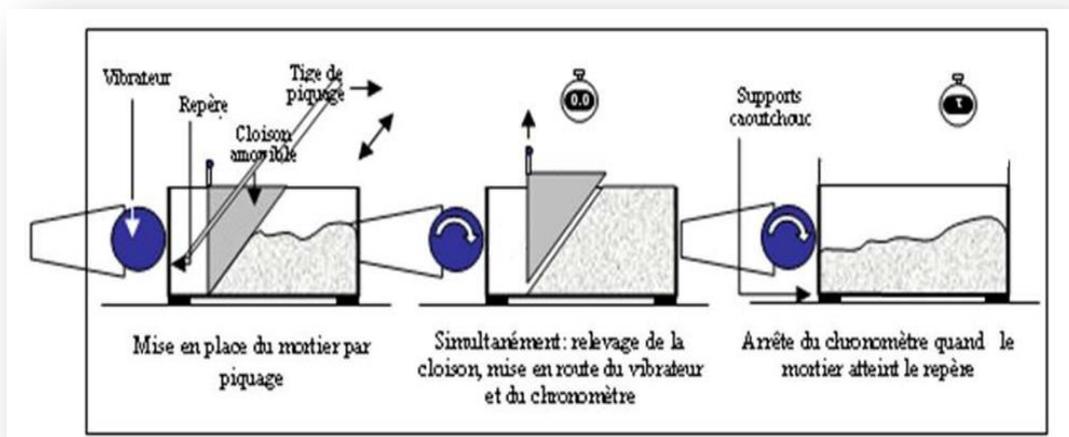


Figure I.4 :Principe de fonctionnement du maniabilimètre B[16]

✓ 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, 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).



Figure I.5 :Malaxeur normalisé pour pâte et mortier

I.3.4.2. Mesure du temps de prise sur mortier (NF P 15-431 et NF 18-356)

Les essais de prise peuvent être effectués sur mortier. Lorsque l'essai a lieu sur mortier normal, il est gouverné par la norme NF P15-431. Lorsqu'il s'agit d'un adjuvant, l'essai obéit à la norme NF P18-356.

L'appareil utilisé est toujours l'appareil de Vicat, (Figure I.6), mais surchargé par une masse additionnelle de 700 g. $(300+700) = 1000\text{g}$. L'aiguille de 1,13mm de diamètre qui pénètre le mortier est alors soumise à une charge de 1000g. La procédure d'essai est la même que celle décrite où l'aiguille cesse de s'enfoncer sous l'effet de ce chargement et s'arrête à une distance d du fond du moule de 2,5mm.

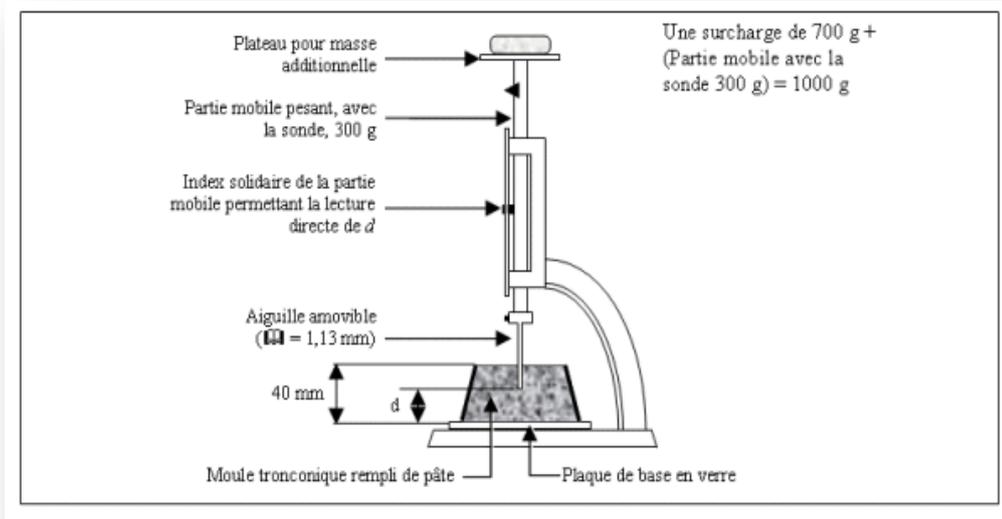


Figure I.6:Appareil de Vicat muni de l'aiguille avec une surcharge[17]

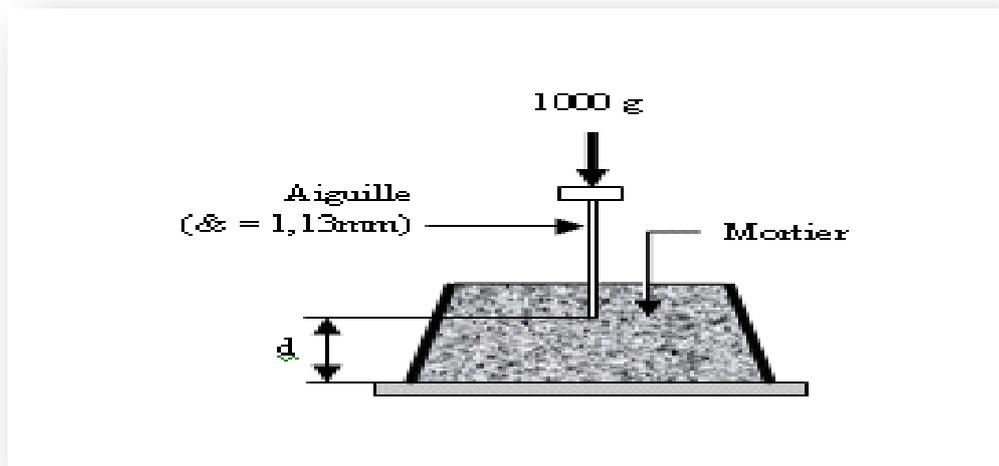


Figure I.7 : Mesure du temps de prise sur mortier

I.3.4.3. Mesure des résistances à la compression et à la traction (EN 196-1)

✓ 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.

✓ 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

lianthydraulique; la résistance du mortier est alors considérée comme significative de la résistance du ciment.

✓ **Équipement nécessaire**

L'ensemble est décrit de manière détaillée par la norme EN 196-1. Il est énuméré ci-dessous. Une salle maintenue à une température de $20\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ et à une humidité relative supérieure ou égale à 50 %.

Une chambre ou une armoire humide maintenue à une température de $20\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$ et à une humidité relative supérieure à 90 %. Un malaxeur normalisé (figure 5.5.3) Des moules normalisé permettant de réaliser 3 éprouvettes prismatiques de section carrée $4\text{cm} \times 4\text{cm}$ et de longueur 16cm (ces éprouvettes sont appelés "éprouvettes $4 \times 4 \times 16$ "). Un appareil à chocs permettant d'appliquer 60 chocs aux moules en les faisant chuter d'une hauteur de $15\text{mm} \pm 0,3\text{mm}$ à la fréquence d'une chute par seconde pendant 60 une machine d'essais de résistance à la flexion permettant d'appliquer des charges jusqu'à 10KN avec une vitesse de mise en charge de $50\text{ N/s} \pm 10\text{N/s}$. La machine doit être pourvue d'un dispositif de flexion tel que celui schématisé sur la figure 5.6. Une machine d'essais à la compression permettant d'appliquer des charges jusqu'à 150 KN (ou plus si les essais l'exigent) avec une vitesse de mise en charge de $2400\text{ N/s} \pm 200\text{ N/s}$. Cette machine est équipée d'un dispositif de compression tel que celui schématisé sur la figure.

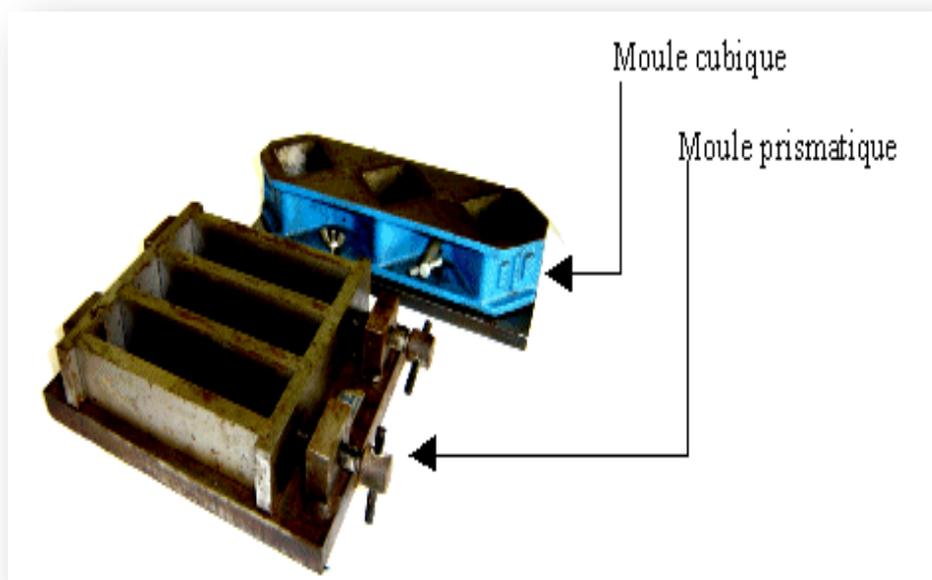


Figure I.8 : Moules pour moulage des éprouvettes de mortier

✓ Conduite de l'essai

La norme EN 196-1 décrit de manière détaillée le mode opératoire concernant cet essai. Avec le mortier normal préparé comme indiqué (à la partie supérieure), on remplit un moule 4 x 4 x 16. Le serrage du mortier dans ce moule est obtenu en introduisant le mortier en deux fois et en appliquant au moule 60 chocs à chaque fois. Après quoi le moule est arasé, recouvert d'une plaque de verre et entreposé dans la salle ou l'armoire humide. Entre 20 h et 24 h après le début du malaxage, ces éprouvettes sont démoulées et entreposées dans de l'eau à $20\text{ C}^\circ \pm 1\text{ C}^\circ$ jusqu'au moment de l'essai de rupture.

Au jour prévu, les 3 éprouvettes sont rompues en flexion et en compression. Les normes ENV 197-1 et NFP 15-301 définissent les classes de résistance des ciments d'après leur résistance à 2 (ou 7 jours) et 28 jours. Ces âges sont donc impératifs pour vérifier la conformité d'un ciment. Si des essais sont réalisés à d'autres âges, ils devront être réalisés dans les limites de temps indiquées dans le tableau ci-dessous.

Tableau. I.1 : les limites de temps indiquées.

Age	24h	48h	72h	7j	28j
Précision	$\pm 15\text{min}$	$\pm 30\text{min}$	$\pm 45\text{min}$	$\pm 2\text{h}$	$\pm 8\text{h}$

La rupture de chaque éprouvette en flexion est effectuée conformément au dispositif décrit sur la figure.

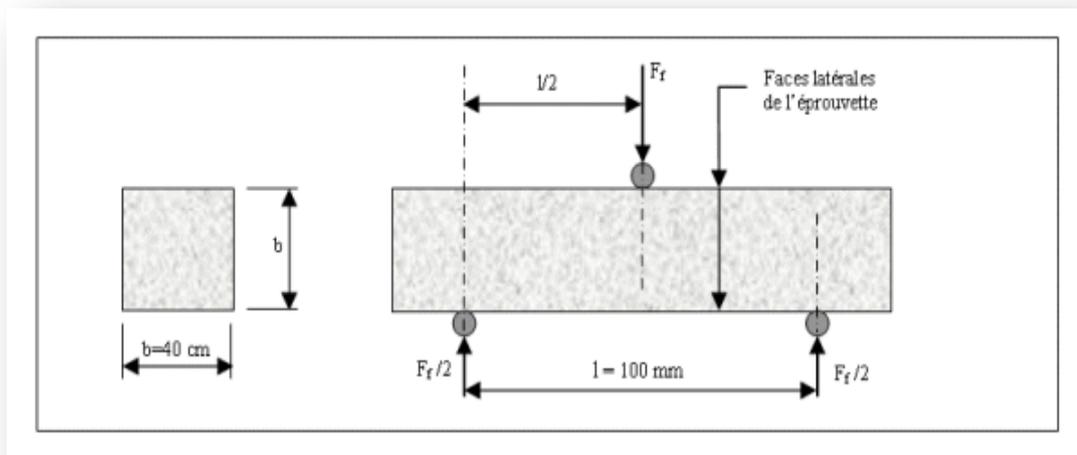


Figure I.9: Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion.[18]

Si F_f est la charge de rupture de l'éprouvette en flexion, le moment de rupture vaut $F_f l/4$ et la contrainte de traction correspondante sur la face inférieure de l'éprouvette est:

$$R_f = \frac{1.5 \times F_f \times L}{b^3}$$

Cette contrainte est appelé la résistance à la flexion. Compte tenu des dimensions b et L, Si F_f est exprimée en newtons (N), cette résistance exprimée en méga pascals (MPa) vaut :

$$R_f(\text{MPa}) = 0,234F_f(\text{N})$$

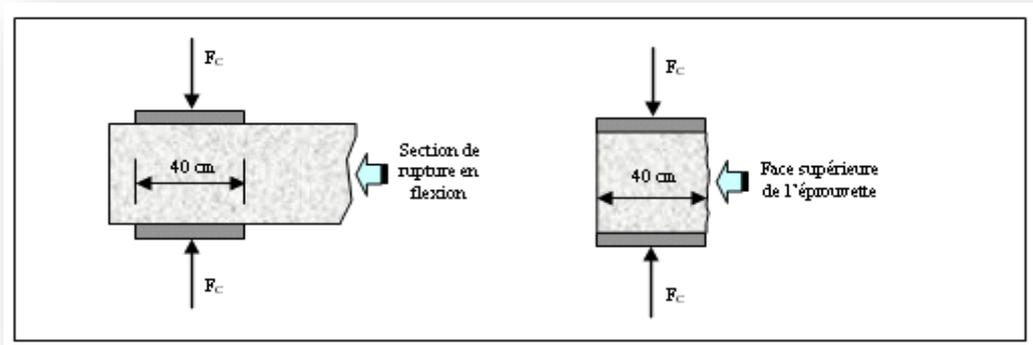


Figure I.10 : Dispositif de rupture en compression.[18]

Les demi-prismes de l'éprouvette obtenus après rupture en flexion seront rompus en compression comme indiqué sur la figure I.10 Si F_c est la charge de rupture, la contrainte de rupture vaudra :

$$R_c = \frac{F_c}{b^2}$$

Cette contrainte est appelée résistance à la compression et, si F_c est exprimée en newton, cette résistance exprimée en méga pascals vaut :

$$R_c(\text{MPa}) = \frac{F_c(\text{N})}{1600}$$

Les résultats obtenus pour chacun des 6 demi-prismes sont arrondis à 0,1 MPa près et on en fait la moyenne. Si l'un des 6 résultats diffère de $\pm 10\%$ de cette moyenne, il est écarté et la moyenne est alors calculée à partir des 5 résultats restants. Si à nouveau un des 5 résultats s'écarte de $\pm 10\%$ de cette nouvelle moyenne, la série des 6 mesures est écartée. Auquel cas il convient de chercher les raisons de cette dispersion : malaxage, mis en place, conversation, ...etc.

Lorsque le résultat est satisfaisant, la moyenne ainsi obtenue est la résistance du ciment à l'âge considéré.

✓ Résistance normale

La résistance dite résistance normale pour un ciment donné est la résistance ainsi mesurée à l'âge de 28 jours. C'est cette résistance qui définit la classe du ciment : si un ciment a, (à 28 jours), une résistance normale de 52 MPa, on dira que sa classe vraie est de 52 MPa.

I.3.4.4. Mesure du retrait sur éprouvettes de mortier (NF P 15-433)**✓ Objectif de l'essai**

Il s'agit d'évaluer le retrait, ou le gonflement, que provoque le ciment étudié sur des éprouvettes de mortier normal.

✓ Principe de l'essai

On compare, à différents temps (t), la variation de longueur d'une éprouvette 4 x 4 x 16 cm, par rapport à sa longueur à un temps t_0 pris pour origine.

✓ Equipement nécessaire

Il est décrit dans la norme NF P 15-433.

Une salle maintenue à une température de $20\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ et à une humidité relative supérieure ou égale à $50\% \pm 5\%$.

Eventuellement deux bains d'eau dont la température est maintenue à $20\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$ et $5\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$. Un malaxeur normalisé la figure(I.5).

Des moules équipés de plots de retrait en laiton. Les plots sont vissés au moule au moment de la mise en place du mortier puis désolidarisés du moule avant le démoulage. Après durcissement, les éprouvettes 4 x 4 x 16 sont donc munies à leurs deux extrémités de plots comme indiqué sur la figure 5.5.8.

Un déformètre (tel que celui schématisé sur la figure (I.11) équipé d'un comparateur permettant de réaliser des mesures avec une exactitude inférieure ou égale à 0,005 mm. Une tige de 160 mm de longueur doit permettre de régler le zéro du déformètre. Cette tige est en Invar de façon à ce que les variations de température qu'elle peut connaître au cours de la manipulation n'entraînent pas de modification appréciable de sa longueur.

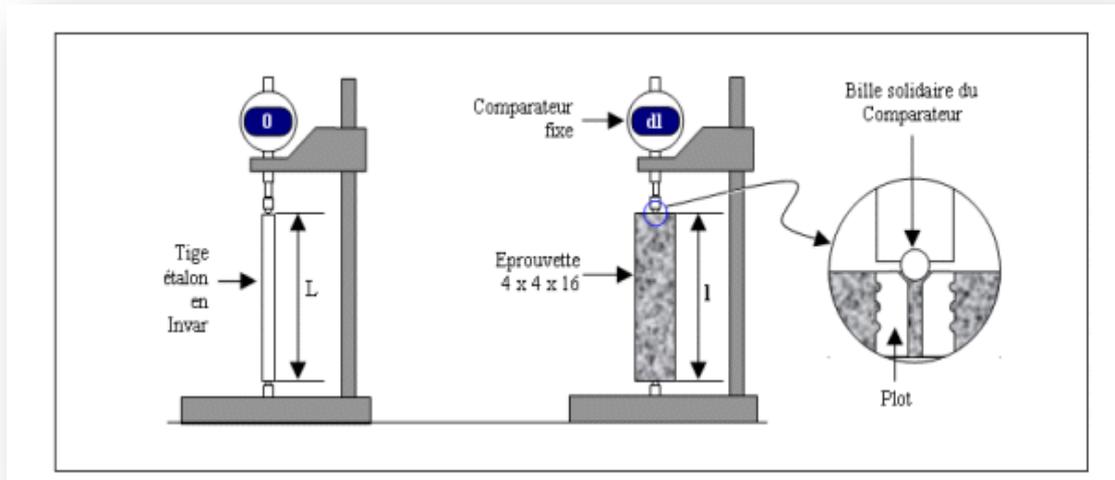


Figure I.11 :Appareillage pour la mesure du retrait

✓ **Conduite de l'essai**

Au moment de la mesure, le comparateur est mis au zéro sur la tige étalon en Invar de longueur $L = 160$ mm. Soit $dl(t)$ la valeur lue sur le comparateur au temps t ; l'éprouvette a une longueur au temps considéré :

$$l = L + dl(t)$$

Soit $l(t_0)$ la longueur de l'éprouvette au temps t_0 choisi d'origine. En général, cette origine est prise au moment du démoulage, 24 h après la confection des éprouvettes. La variation de longueur au temps (t) sera:

$$\Delta l(t) = l(t) - l(t_0) = dl(t) - dl(t_0)$$

La variation relative de longueur est généralement désignée par ε et a pour expression:

$$\varepsilon(t) = \frac{\Delta l(t)}{L} = \frac{dl(t) - dl(t_0)}{L}$$

$\Delta l(t)$ est obtenu en faisant la moyenne sur les 3 éprouvettes issues du même moule. Lorsque les éprouvettes sont conservées dans l'air, $\Delta l(t)$ est généralement négatif et l'on parle alors de retrait de l'éprouvette. Lorsque l'éprouvette est conservée dans l'eau,

I.4. Travaux réalisés sur la valorisation de sable de dune:

I.4.1. Travaux de: AYACHI Amor Mohamed[6] qui traite le thème "Etude des Propriétés mécaniques du béton de sable de dunes" l'objectif de ce travail est l'étude des caractéristiques mécaniques (résistance en compression et celle en traction) du béton de sable de dunes sous l'influence des conditions de conservation diverses.

a. Matériaux utilisés**Sable**

Dans cette étude nous avons utilisé un sable alluvionnaire (**SA**) Hassi Sayah et un sable de dune (**SD**) de couleur jaune provenant de la région de Ain El Beida (Wilayad' Ouargla).

Tableau I.2 : Masses volumiques apparentes et absolues des sables étudiés

Masses volumique	Masse volumique apparente	Masse volumique absolue
Sable de dune (SD)	1.46	2.73
Sable alluvionnaire (SA)	1.56	2.90

Ciment

Le ciment utilisé est un ciment CPJ CEM II /A 42.5 disponible sur le marché fabriqué par la cimenterie de Ain-Touta.

b. Composition des mélanges :

Regroupe les données de base de l'étude à frais du béton dans le tableau suivant :

Tableau. I.3 : Compositions des mortiers en fonction du rapport E/C

	SD (Kg)	SA (Kg)	Ciment(Kg)	E/C
100%	1382.6	/	460.87	0.6
30%SD+70%SA	416.6	927.05	462.88	0.58
40%SD+60%SA	555.46	833.19	462.88	0.58

Les résultats d'ouvrabilité obtenus (affaissement et temps d'écoulement) sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau. I.4 : Affaissement et temps d'écoulement .

Compositions du béton de sable	E/C	Temps d'écoulement
100% SD	0.6	28
60 % SA + 40 % SD	0.58	26
70 % SA + 30 % SD	0.58	24

b. Modes de conservation des éprouvettes :

1^{er} mode : Conservation des éprouvettes à l'air libre.

2^{eme} mode : Conservation des éprouvettes dans l'eau pendant 14jours .

3^{eme} mode : Conservation des éprouvettes dans l'eau pendant 28jours.

c. Evolution de la résistance mécanique des compositions

1.a-la résistance à la flexion de béton de sable :

1-Béton de sable 100% SD

Tableau. I.5 :Résistance à la flexion du béton de sable(Composition 1)

Age(jours)	Résistance à la flexion (MPa)		
	Composition 1		
	1 ^{ier} mode	2 ^{eme} mod	3 ^{eme} mod
7	2.30	2.37	2.67
14	2.88	2.56	2.64
21	3.66	2.89	2.86
28	2.51	4.40	3.50

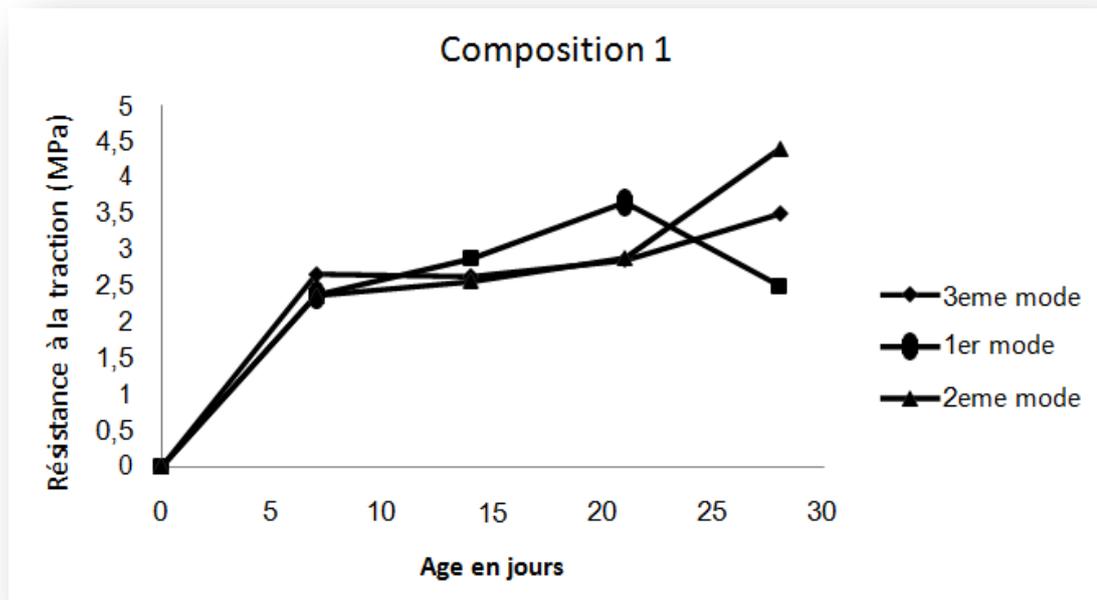


Figure I.12 : Variation de la résistance à la flexion en fonction d'âge (Composition1)

Pour la composition 1 (100% SD), les auteurs de travail constatent qu'il y a une augmentation de la résistance à la flexion pour le deuxième et le troisième mode, par contre le premier mode affiche une diminution significative de la résistance à la flexion de l'ordre de 45% à 28 jours par rapport à celle à 21 jours.

2- Béton de sable de 40% SD +60% SA

Tableau. I.6 :Résistance à la flexion du béton de sable (Composition 2)

Age(jours)	Resistance à la flexion (MPa)		
	Composition		
	1 ^{er} mod	2 ^{eme} mod	3 ^{eme} mod
7	2.46	4.91	3.89
14	3.20	5.16	5.02
21	4.01	4.42	4.46
28	3.52	6.54	5.21

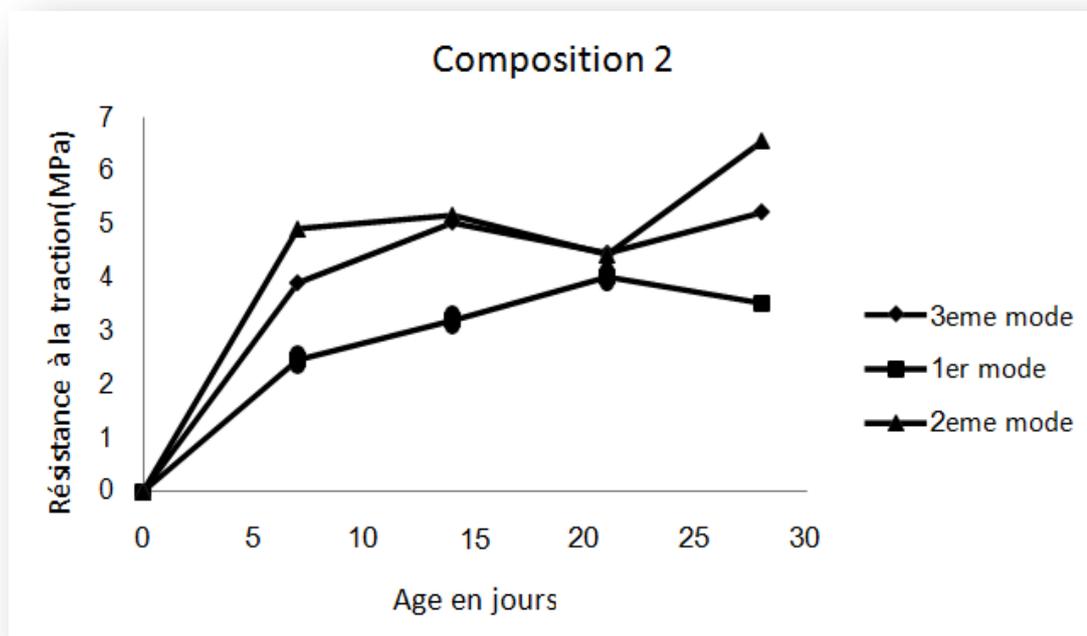


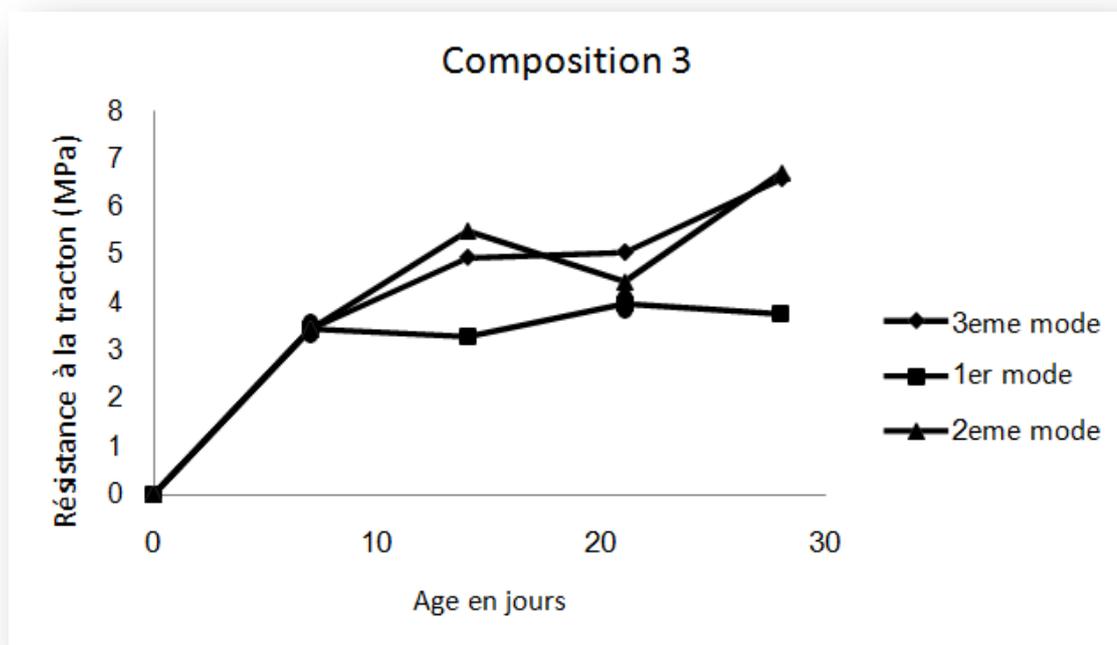
Figure I.13 : Variation de la résistance à la flexion du en fonction d'âge (Composition2)

Pour la composition 2 (40% SD + 60% SA), les mêmes remarques de la composition 1 sont notées ; une augmentation de la résistance à la flexion pour le deuxième et le troisième mode, par contre le premier mode affiche une diminution de la résistance à la flexion relativement inférieure par rapport à celle de la composition 1, de l'ordre de 14% à 28 jours par rapport à celle de 21 jours.

3- Béton de sable de 30% SD +70% SA

Tableau. I.7 :Résistance à la flexion du béton de sable (Composition 3)

Age(jours)	Resistance à la flexion (MPa)		
	Composition		
	1 ^{er} mod	2 ^{ème} mode	3 ^{ème} mode
7	3.45	3.45	3.45
14	3.30	5.50	4.94
21	3.98	4.45	5.05
28	3.77	6.72	6.58

**Figure I.14** : Variation de la résistance à la flexion en fonction d'âge (Composition 3)

Pour la composition 3 (30% SD + 70% SA), ils ont constaté comme pour la composition 2 une augmentation de la résistance à la flexion pour le deuxième et le troisième mode, par contre le premier mode enregistre une faible diminution de la résistance à la flexion de l'ordre de 5% à 28 jours par rapport à celle de 21 jours.

b- Essai de compression :

1- Béton de sable 100% SD

Tableau. I.8 :Résistance à la flexion du béton de sable (Composition 1)

Age (jours)	Résistance à la Compression (MPa)		
	Composition 1		
	1 ^{er} mode	2 ^{eme} mode	3 ^{eme} mode
7	11.12	7.19	9.96
14	12.37	9.26	8.79
21	12.33	16.49	12.86
28	10.51	18.70	14.06

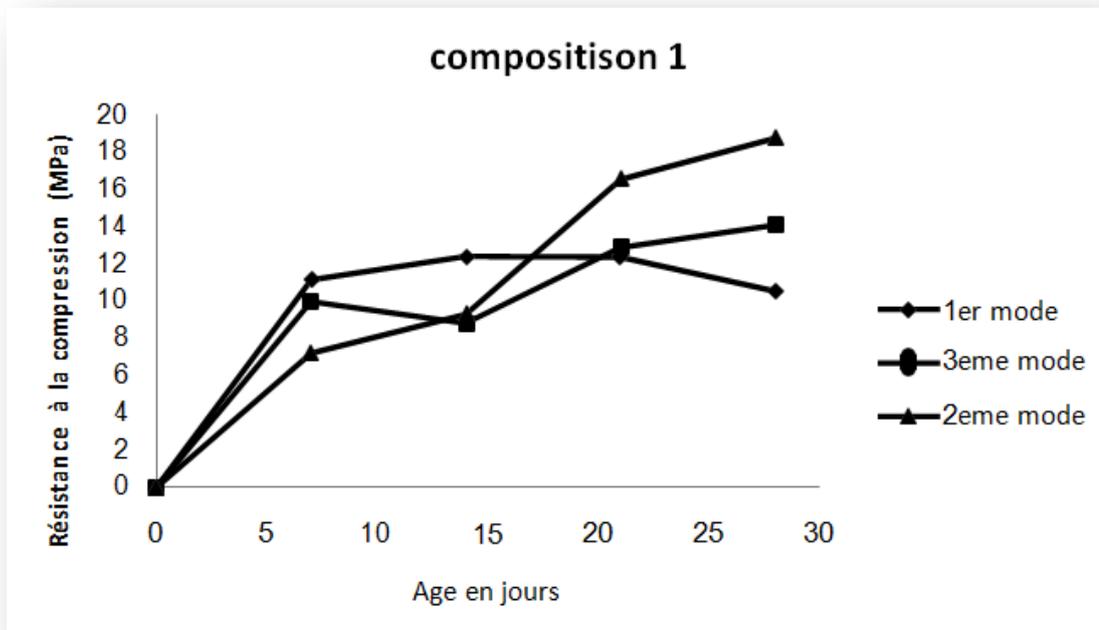


Figure I.15: Variation de la résistance à la compression en fonction d'âge(Composition 1)

Pour la composition 1 (100% SD), ils ont constaté une augmentation de la résistance à la compression pour le deuxième et le troisième mode, par contre le premier mode affiche une diminution de la résistance à la flexion de l'ordre de 17% à 28 jours par rapport à celle de 21 jours.

2- Béton de sable 40% SD +60% SA

Tableau. I.9 : Résistance à la compression du béton de sable (Composition 2)

Age (jours)	Résistance à la Compression (MPa)		
	Composition		
	1 ^{er} mode	2 ^{eme} mode	3 ^{eme} mode
7	10.26	11.6	8.89
14	14.51	11.82	14.85
21	14.82	21.1	20.14
28	11.2	23.02	22.75

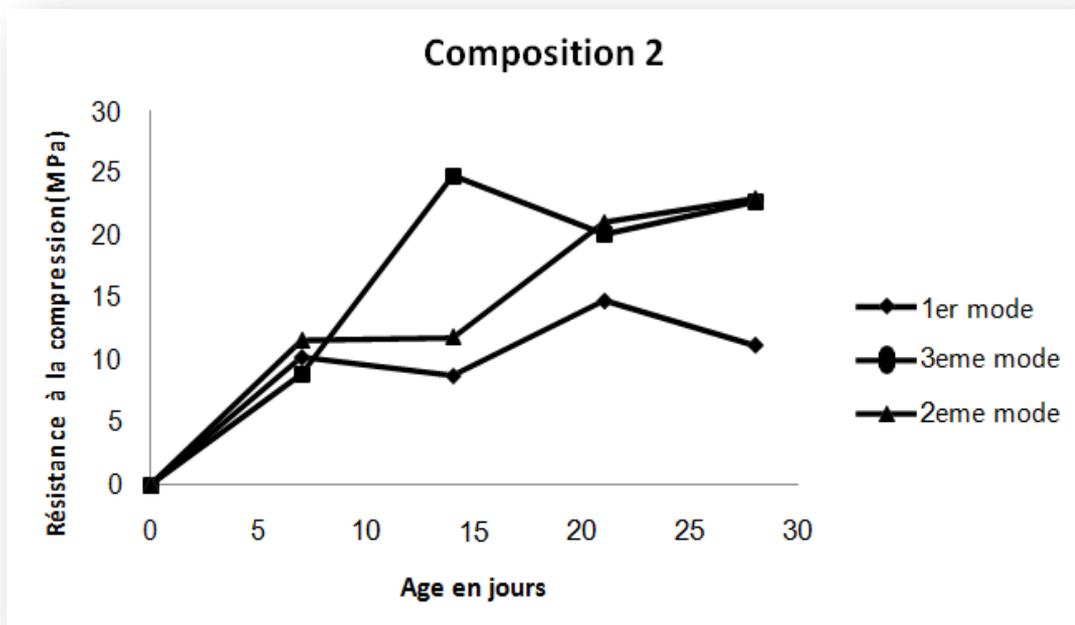


Figure I.16 : Variation de la résistance à la compression en fonction d'âge(Composition 2)

Pour la composition 2 (40% SD + 60% SA), ils ont noté une augmentation de la résistance à la compression pour le deuxième et le troisième mode, par contre le premier mode donne une diminution de la résistance à la flexion de l'ordre de 27% à 28 jours par rapport à celle de 21 jours.

3- Béton de sable 30% SD +70% SA

Tableau. I.10 : Résistance à la compression du béton de sable (Composition 3)

Age (jours)	Résistance à la Comprissions (MPa)		
	Composition		
	1 ^{er} mode	2 ^{eme} mode	3 ^{eme} mode
7	15.25	16.46	16.46
14	14.65	20.78	19.2
21	15.64	24.93	21.11
28	11.73	30.06	23.37

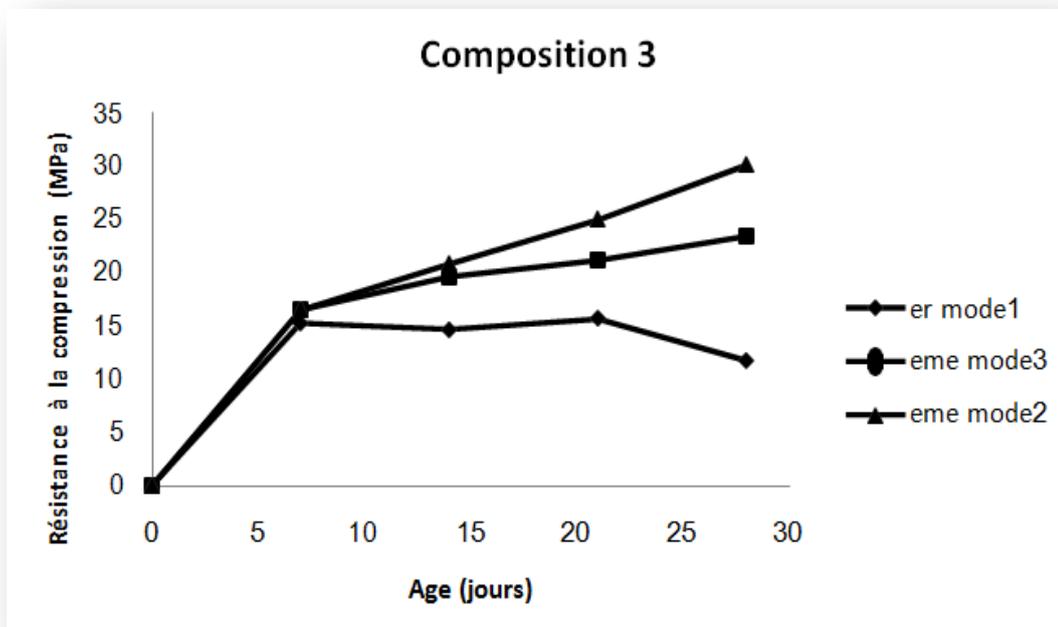


Figure I.17 : Variation de la résistance à la compression en fonction d'âge (Composition 3)

Pour la composition 3 (30% SD + 70% SA), ils ont remarqué une augmentation de la résistance à la compression pour le deuxième et le troisième mode, par contre le premier mode affiche une diminution de la résistance à la flexion de l'ordre de 33% à 28 jours par rapport à celle de 21 jours.

D'après les résultats obtenus, les auteurs de travail ont conclu:

- La quantité (pourcentage) de sable de dune Influence sur la résistance Mécanique de béton de sable.
- Les modes de conservation Influencent sur la résistance mécanique de béton de sable de dunes (traction et compression).
- Plus la quantité de sable alluvionnaire est importante plus la résistance à la compression et la traction augmente.

I.4.2. Travaux de: Benchaa Benabed, Lakhdar Azzouz, El-hadj Kadri, Akram Salah Eddine Belaidi, Hamza Soualhi[19]. qui traitent le thème " Propriétés physico-mécaniques et durabilité des mortiers à base du sable de dunes", Ce travail a but d'apporter des solutions et des réponses sur l'utilisation du sable de dunes pour fabriquer du mortier ayant de bonnes propriétés, physico-mécanique et durabilité, dans différents milieux.

a. Matériaux utilisés

Sable

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*.

CIMENT

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

ADJUVANT

L'adjuvant utilisé est un superplastifiant « Medaplast SP40 » fabriqué en Algérie.

SOLUTION D'ATTAQUE SULFATIQUE

La solution d'attaque sulfatique utilisée pour l'expérimentation est une solution de sulfate de sodium (Na_2SO_4) de concentration massique 5%.

b. Composition des mélanges

Les compositions retenues des mortiers sont regroupées dans le tableau 2 ci-dessous.

Tableau .I.11: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

Les éprouvettes sont conservés en 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)

c. Comportements mécaniques des mortiers:

c.1. La résistance à la compression:

Les résultats d'essai de la résistance à la compression pour les éprouvettes conservées dans l'eau et à l'intérieur du laboratoire sont représentés sur la figure 18 et 19.

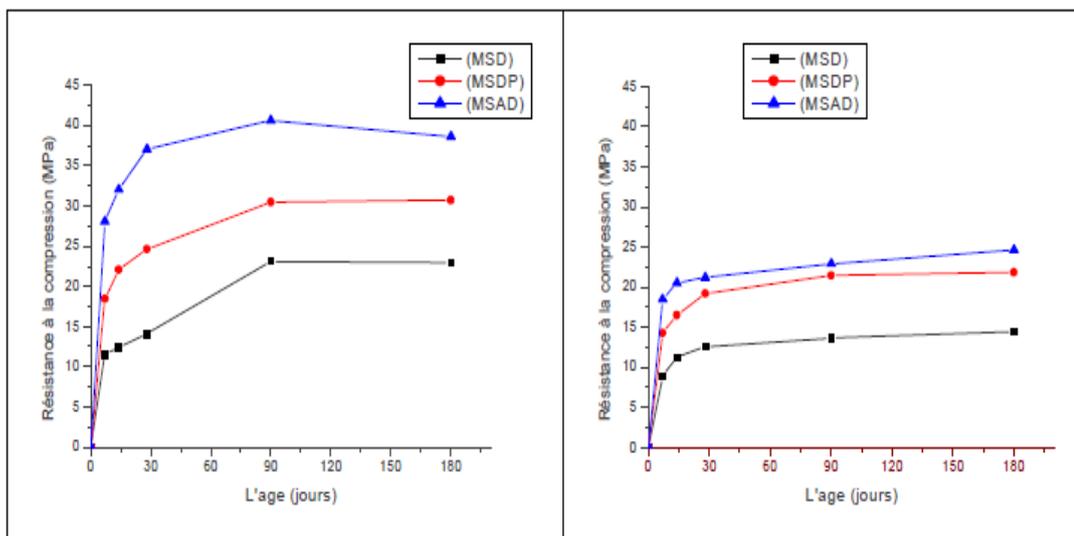


Figure I.18: Résistance à la compression en fonction de la durée de conservation dans l'eau

Figure I.19: Résistance à la compression en fonction de la durée de conservation
à l'air libre

b- la résistance à la flexion :

Le développement de la résistance à la flexion en fonction de l'âge pour les différents types de mortiers conservés dans l'eau et à l'air libre est donné par les figures 20 et 21.

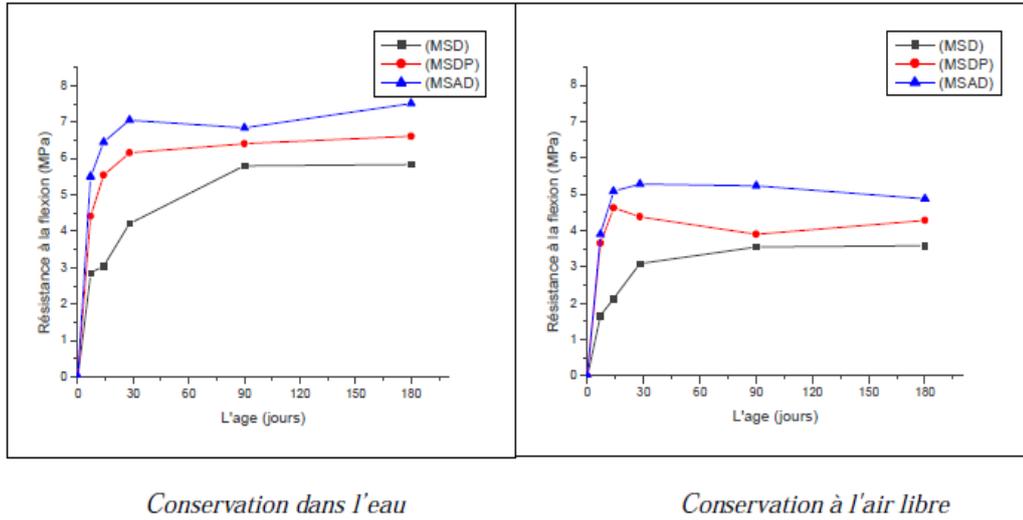


Figure I.20: Résistance à la flexion en fonction du temps de conservation dans l'eau

Figure I.21: Résistance à la flexion en fonction du temps de conservation à l'air Libre

d. Durabilité des mortiers

L'essai de mouillage-séchage a été réalisé sur des éprouvettes conservées dans l'air du laboratoire. A l'âge de 28 jours les éprouvettes soumises à 12 cycles de vieillissement accélérés. Les variations des résistances à la compression et à la flexion des mortiers, avant et après les cycles de mouillage séchage sont schématisées sur les figures 22 et 23.

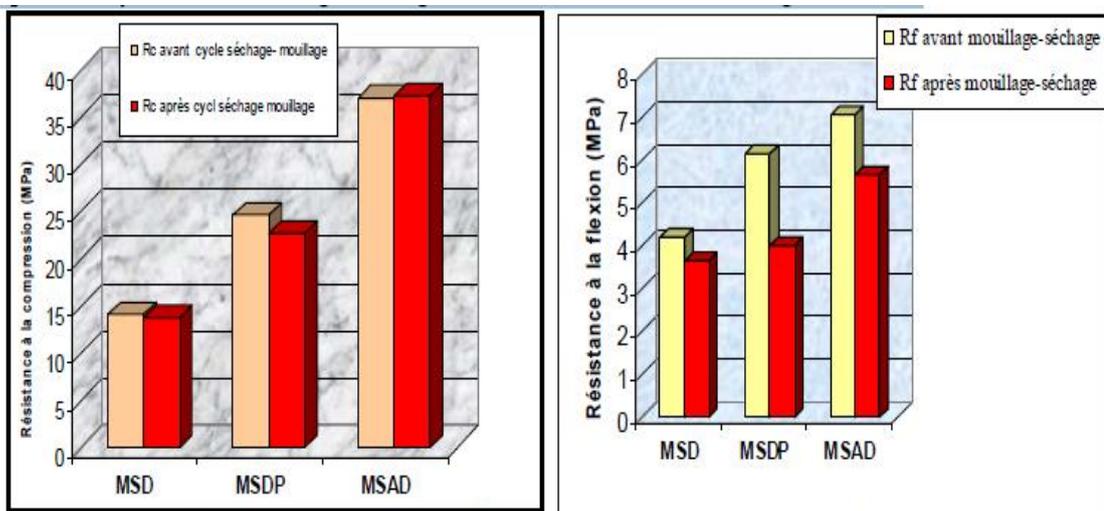
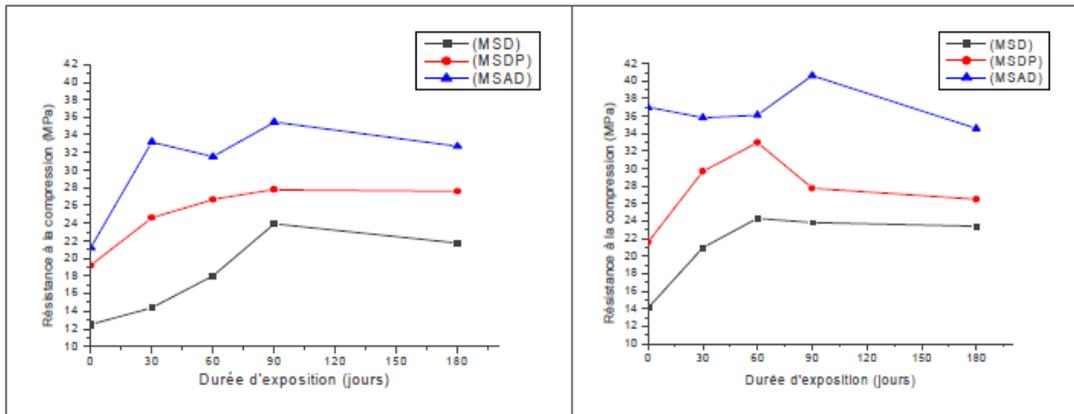


Figure I .22: Influence de mouillage- séchage sur la résistance des mortiers

Figure I .23: Influence de mouillage- séchage sur la résistance des mortiers

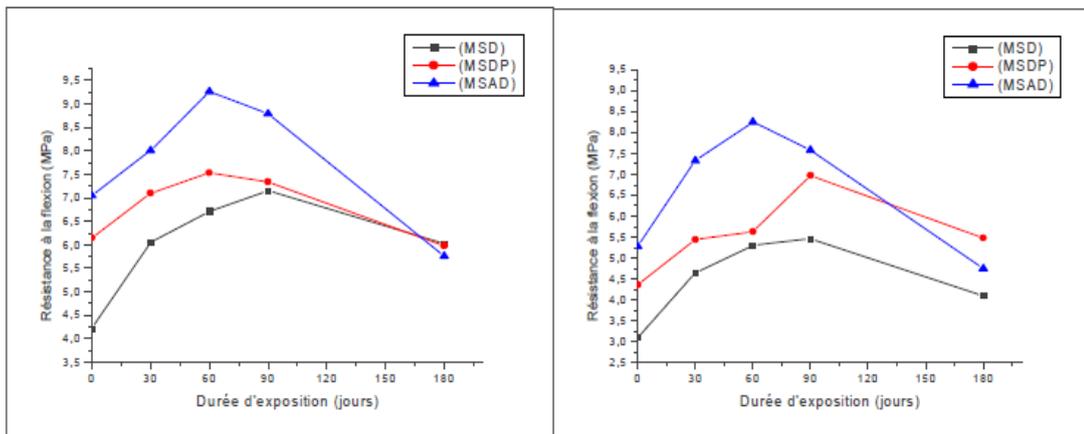


(Cure dans l'eau avant

(Cure à l'air avant immersion)

Figure I .24: Résistance à la compression en fonction de la durée d'exposition aux sulfates(cure dans l'eau avant)

Figure I.25: Résistance à la compression en fonction de la durée d'exposition aux sulfates (cure à l'air libre immersion)



(Cure dans l'eau avant immersion)

(Cure à l'air avant immersion)

Figure I .26: Résistance à la flexion en fonction de la durée d'exposition aux sulfates(cure dans l'eau avant immersion)

Figure I .27: Résistance à la flexion en fonction de la durée d'exposition aux sulfates(cure à l'air avant immersion)

D'après les résultats obtenus, les auteurs de l'étude concluent le suivant:

-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 meilleurs 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.

- Les résistances des mortiers à la compression ne sont pas très affectées par l'effet de cycles de mouillage séchage. Par contre une diminution de la résistance à la flexion des mortiers a été observée.

I.5. Conclusion :

Ce chapitre nous a permis de donner idée sur des éléments indispensables pour notre étude tels que ; les mortiers le sable de dune et. Ces connaissances considérées sont importante pour mieux analyser notre étude de recherche, plus particulièrement notre étude expérimentale.

Chapitre II

caractérisation des matériaux utilisés

II.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 granulométrique et sédimentométrique, la propreté,...etc), chimique et minéralogique (diffraction rayon au 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.

II.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% [20].

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 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.

II.2.1. Masse volumique

a. 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 de 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.

$$MV_{app} = \frac{m}{V}$$

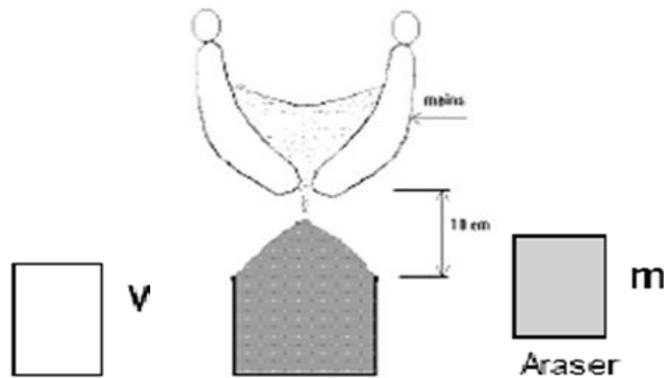


Figure II.1.Méthode de mesure de la masse volumique apparente

b. Masse volumique absolue :

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 :

D'où la masse volumique:

$$MV_{\text{abs}} = \frac{M_s}{V_2 - V_1}$$

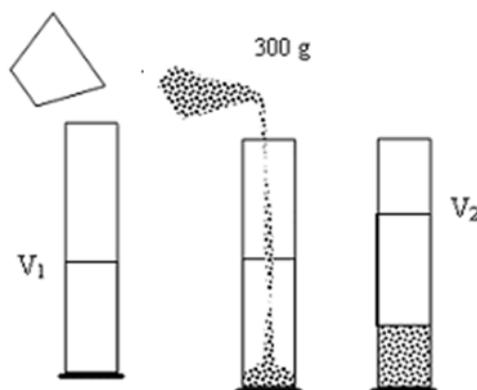


Figure II.2:Méthode de mesure de la masse volumique absolue.

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

Masses volumique Type de sable	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

II.2.2. Analyse granulométrique

L'analyse granulométrique par tamisage[21](Norme NFP 94-056) 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 un 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	Refus cumulés en (%)	Tamisats cumulés
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	Refus cumulés en (%)	Tamisats cumulés
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.3.

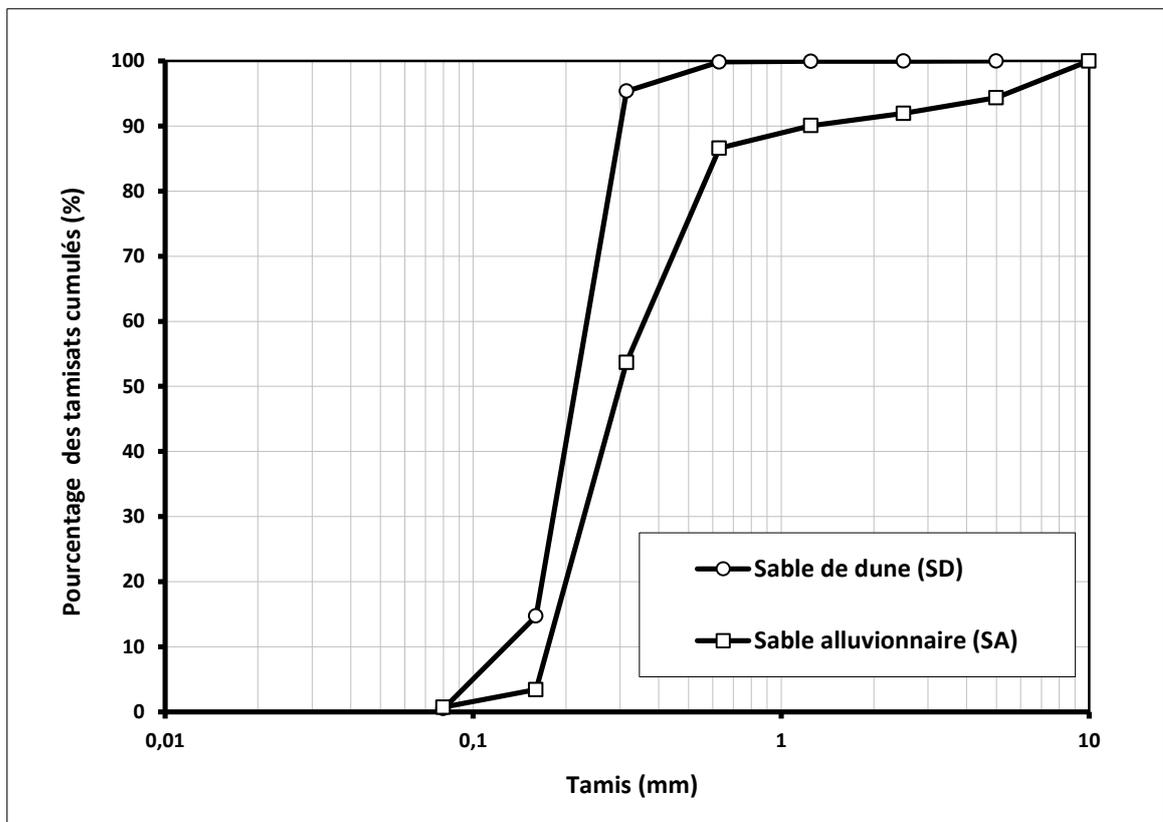


Figure II.3: Courbes granulométriques des sables étudiés

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.

II.2.2.1. 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.

II.2.2.2. Catégorie selon la granularité:

On distingue trois catégories de sables [1]:

- 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 [22, 23, 24].

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.

II.2.2.3. 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.

II.2.3. Propreté des sables

La propreté d'un sable peut être appréciée par l'intermédiaire d'un essai appelé « équivalent de sable » [25] (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	Equivalent 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).

II.3. Les fines d'ajout:

II.3.1. Définition:

C'est l'ensemble des grains dont la taille maximale n'excède pas 80 μ 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.

II.3.2. Les fines calcaires :

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

II.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 μ 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.[26]

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 FigurII.4.

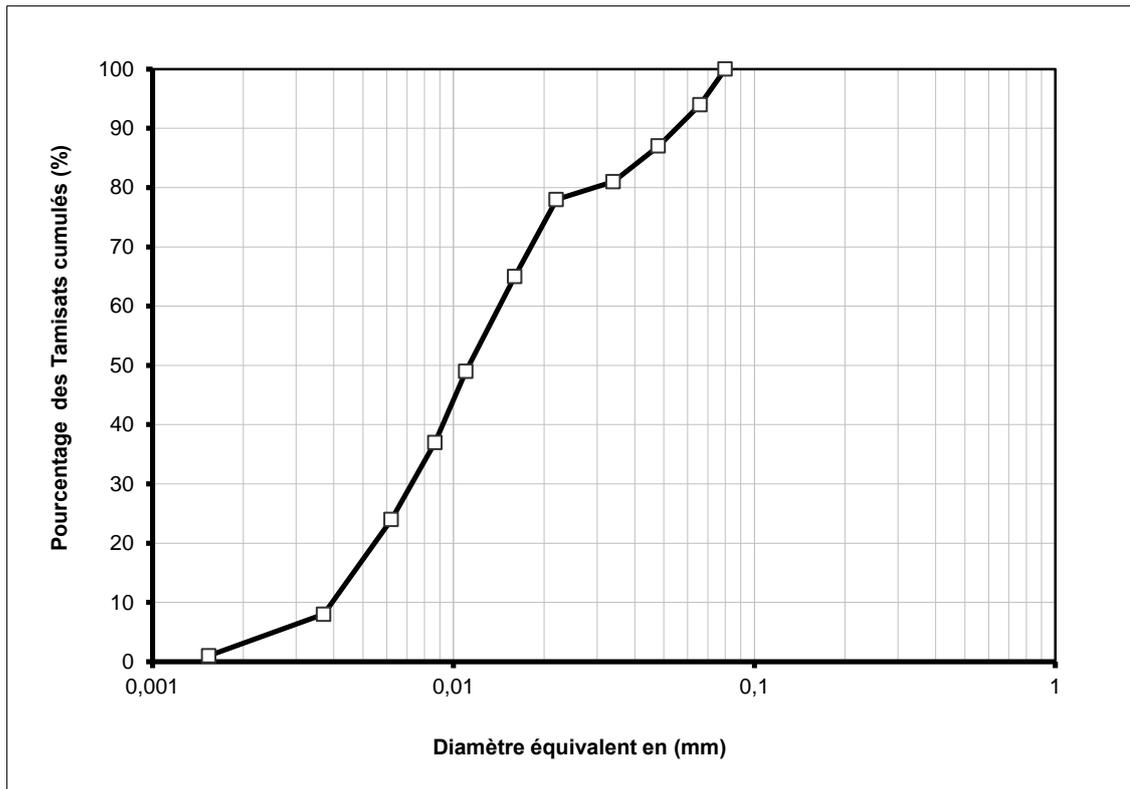


Figure II.4: Courbe d'analyse granulométrique par sédimentation de fines calcaire

II.3.4. Masses volumiques :

Les fines d'ajout utilisées sont une masse volumique absolue égale à 2.34 g/cm^3 , et une masse volumique apparente de 0.85 g/cm^3 .

II.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 $\text{m}^2 (\text{cm}^2)$ 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. Les fines d'ajout utilisée sont une surface spécifique égale à $3070\text{cm}^2/\text{g}$.

II.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.

II.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.

II.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	SiO₂	Al₂O₃	Fe₂O₃	CaO	MgO
(%)	22,49	4,51	5,02	63,78	1,15
Eléments	SO₃	Na₂O	K₂O	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	C₃S	C₂S	C₃A	C₄AF
(%)	47.33	28.97	3.64	15.28

II.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/cm³)	1,96
Masse volumique absolue (g/cm³)	3,11
Refus au tamis 40 μ (%)	26 ± 0.48
Refus au tamis 80 μ (%)	4 ± 0.26

II.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 [7].

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 [7].

La surface spécifique de Blaine du ciment utilisé est de 3118 cm²/g

II.5.4. Consistance normale et temps de prise du ciment**II.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 Ø = 10 mm et de masse m = 300 ± 1 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 ± 1 mm [7].

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.

II.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 » [7].

Le « temps de fin de prise » est celui au bout duquel l'aiguille ne s'enfonce plus que 0.5 mm [7]. 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)

II.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

II.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 0,5 mm. 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

**Formulation des mélanges et
propriétés du mortier frais**

III.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 développé 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.

III.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 granulat 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 à 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.

III.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 %.

III.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 fixé à 450 g, est celle de sable et ajouts est fixé 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
MSD5	450	1282,5	0	67,5	315
MSD10	450	1215	0	135	315
MSD15	450	1147,5	0	202,5	315
MSD20	450	1080	0	270	315
MSD25	450	1012,5	0	337,5	315

III.3. Confection du mortier

III.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

III.3.2. Détermination des propriétés physiques du mortier frais :

III.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:

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	$t > 40$

Tableau III.2: Domaines de consistance du mortier

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	MSD5	MSD10	MSD15	MSD20	MSD25
Résultats							
E/C	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Temps d'écoulement (seconde)	1	16	21	4	4	4	5

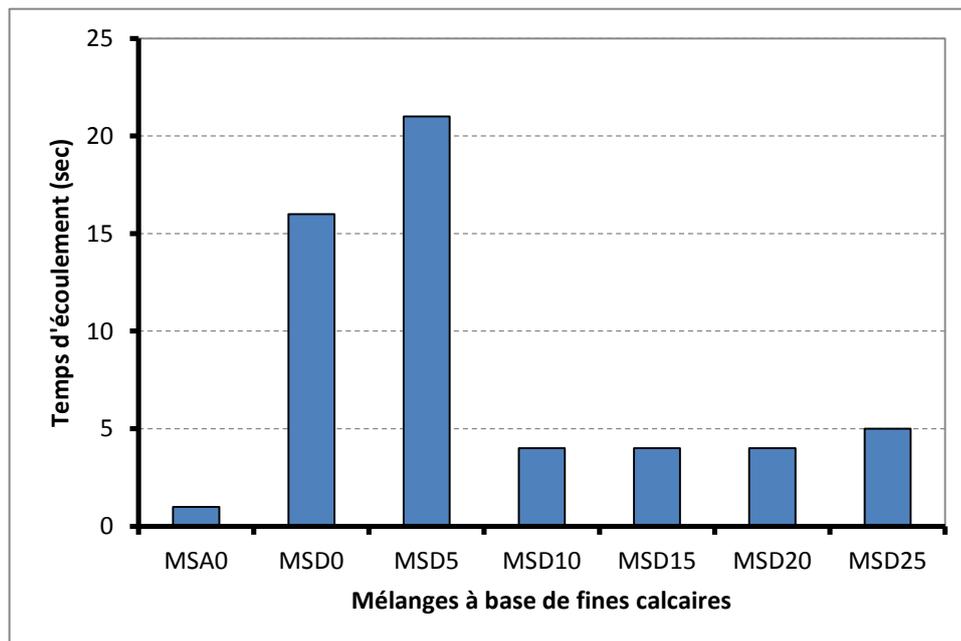
a.1. Effet de l'ajout des fines sur la consistance de mortier à base de sable de dune :

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 de sable dunaire par 5% de fines calcaire conduit à une augmentation de la valeur du temps d'écoulement par rapport le mortier sans ajouts (MSD0), cela signifie que, pour ce dosage, l'addition des fines calcaire a une influence négative sur l'ouvrabilité de mélange. Ceci est expliqué par la demande d'eau nécessaire pour le mouillage des fines ajoutées au mélange.

Par contre au-delà de 5% de fines calcaires, 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 calcaires, Donc moins d'impureté argileuse, qui absorbe généralement beaucoup d'eau, et d'autre part à la finesse des fines calcaires remplissant les pores et libérant l'eau emprisonnée qui fait par conséquent l'amélioration de la consistance des mélanges.

III.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. Les valeurs de la masse volumique apparente de MSDF.

Tableau III.4: masses volumiques des mélanges frais

Désignation	MSA0	MSD0	MSD5	MSD10	MSD15	MSD20	MSD25
Résultats							
E/C	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Masse volumique apparente (g/cm³)	2.14	2.07	2,1	2,13	2,11	2,13	2,17

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

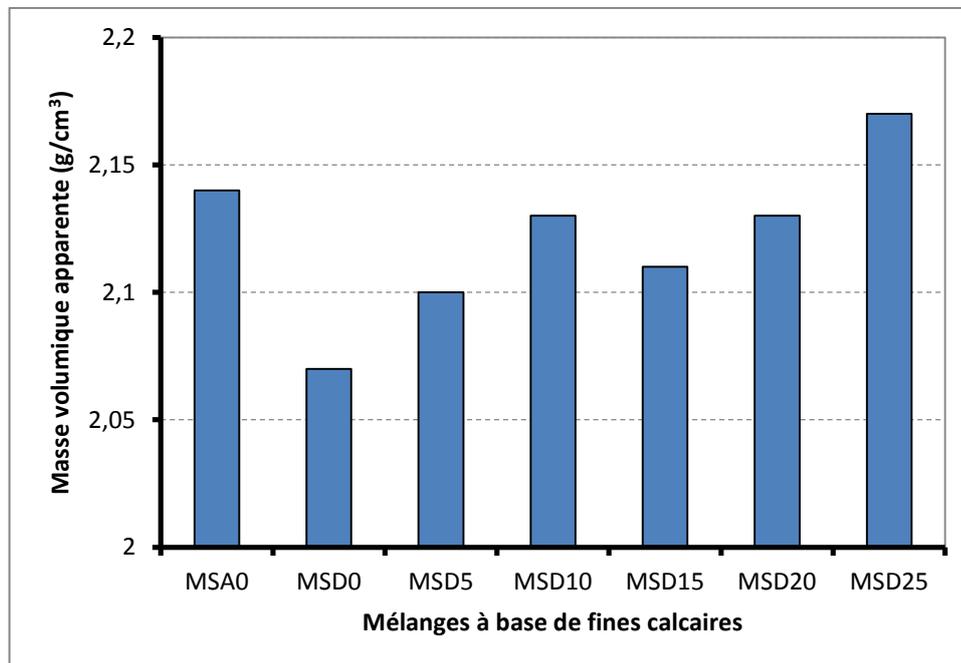


Figure III.5: Effet des fines sur la masse volumique apparente du mortier frais

La Figure III.4. représente l'évolution de la masse volumique apparente des mélanges frais en fonction des teneurs en fines calcaires. 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 calcaires 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 corrigés avec les fines calcaires est attribuée à l'augmentation de la compacité des mélanges. Cette amélioration peut être expliquée par le rôle de remplissage des fines calcaires.

L'incorporation de 25% de fines calcaires donne une masse volumique apparente (2.17 g/cm^3) dépassant 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.

III.3. Conclusion :

D'après les résultats obtenus dans cette partie de notre étude, on peut conclure le suivant:

- Pour un rapport E/C constant, les caractéristiques granulométriques d'un sable influent d'une façon significative sur la consistance et la masses volumiques apparente de mortier frais.
- Au-delà de 5% du correcteur granulaire utilisé, l'ouvrabilité des mélanges devient plus mou.
- La correction de sable de dune avec les fines calcaires améliore la masse volumique apparente des mélanges frais et par conséquent la compacité des mortiers.

Chapitre IV

Propriétés du mortier durci

IV.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 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 calcaires 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 calcaires à l'amélioration des différentes performances de mortier.

IV.2. Les éprouvettes utilisées :

A fin de bien simuler les comportements mécaniques des mélanges étudiés, nous avons adopté des éprouvettes de dimensions (4×4×16) cm.



Figure IV.1 : Le moule utilisé

IV.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

IV.4. Confection et conservation des éprouvettes :

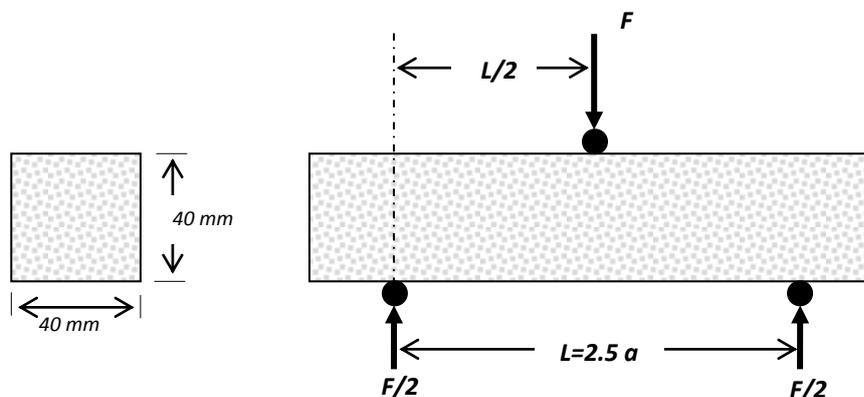
Avec le mélange préparé nous avons remplis trois moules de dimensions $(4 \times 4 \times 16) \text{ cm}^3$. Entre 20 et 24 heures après le début du malaxage, ces éprouvettes sont démoulées et entreposées dans l'eau à $20 \text{ }^\circ\text{C}$ jusqu'au moment de l'essai de l'écrasement.



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

IV.5. Résistance en traction :

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



FigureIV.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

IV.5.1. Résultats et discussions :

IV.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	3,01	4,35	4,74
MSD0	2,51	3,81	3,96
MSD5	3,00	2,36	3,28
MSD10	2,92	2,69	4,30
MSD15	2,97	2,81	4,32
MSD20	3,12	3,06	4,29
MSD25	2,97	3,19	3,80

5.1.2. Evolution de la résistance en traction par flexion :

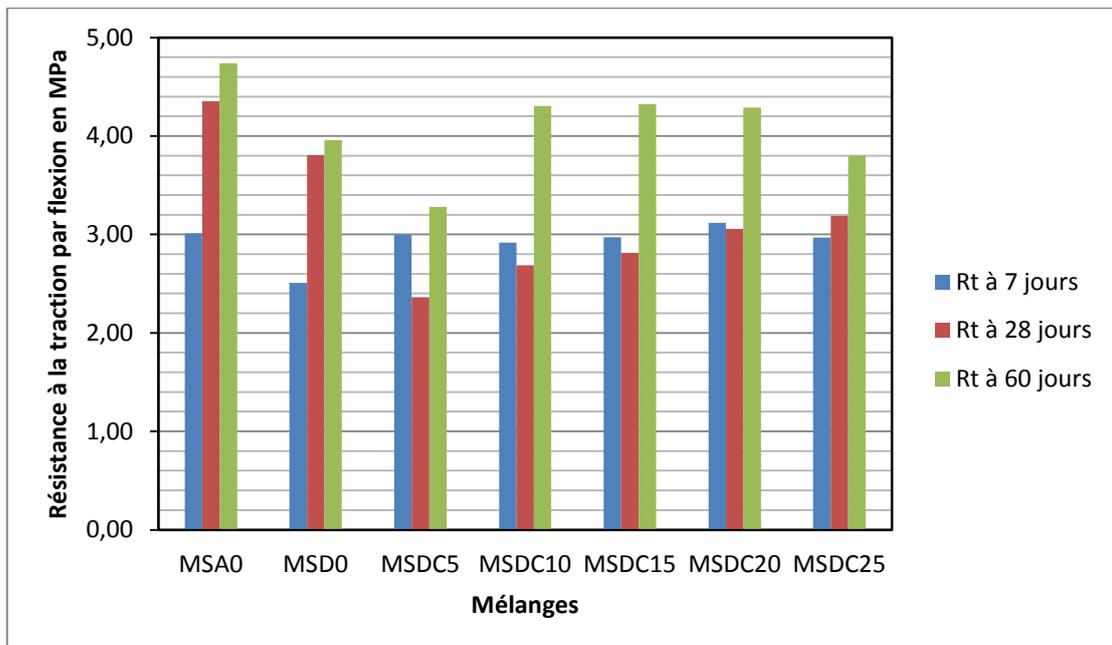


Figure IV.6 : Evolution de la résistance en traction par flexion des mélanges de mortier

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 calcaires. On remarque que la variation de la résistance en traction en fonction de la durée de conservation n'est pas significative. Elle est habituelle pour les mélanges sans fines d'ajouts ; MSA0 et MSD0 et le mélange avec 25% de fines. Par contre, pour les autres mélanges on constate que la résistance en traction à 28 jours affiche une diminution par rapport à celle enregistrée à 7 jours. Ceci montre que les fines calcaires affectent la vitesse de 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.

La résistance en traction du mélange à base de sable alluvionnaire atteint 70% de sa résistance nominale (résistance à 28 jours) 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 un accroissement de 93% à 7 jours et de 120% à 60 jours pour le mélange avec 25% de fines calcaires. Ceci confirme aussi l'effet de ces fines sur l'évolution de la résistance en traction en fonction de la durée de conservation.

a. Evolution de la résistance en traction en fonction de la teneur en fines calcaires :

D'après la La figure IV.6 on remarque qu'à 7 jours la résistance en traction reste presque stable pour les mélanges avec fines calcaires quel que soit le pourcentage de ces dernières (autour de 3MPa). La valeur de la résistance à cette échéance est comparable à celle du mortier à base de sable alluvionnaire (MSA0), et supérieure de 20% à celle de la formulation à base de sable de dune (MSD0).

A 28 jours la résistance en traction augmente d'une façon claire avec la teneur en fines, mais elle reste inférieure à celle de la formulation à base de sable de dune (MSD0). Ce qui montre que les fines utilisées ne participent pas à l'amélioration de la résistance à cette échéance.

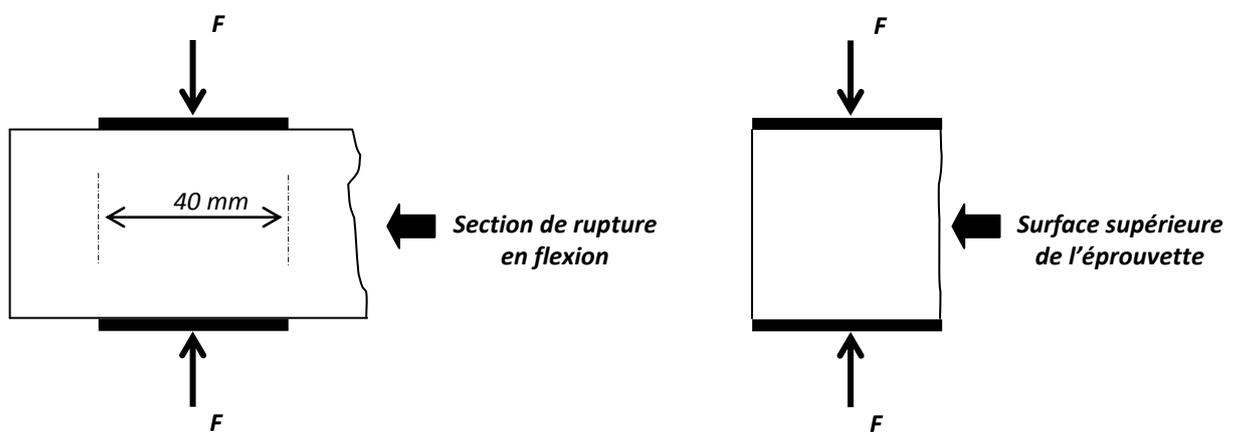
A 60 jours, on note une augmentation de la résistance en traction à partir de 10% de fines calcaires et une diminution au-delà de 15%. Ce qui montre que la correction de sable dune avec les fines calcaires est optimale à 10 % de fines (les mélanges MSDC15 et MSDC20 donnent des résistances meilleures mais d'un point de vue économique ils sont moins intéressants.

L'ajout de 10% de fines calcaires donne un gain de résistance en traction de 9% à 60 jours. L'opération de la correction de sable de dune avec les fines calcaires n'est pas suffisante pour confectionner des mortiers ont des résistances en traction à 60 jours dépassent celle d'un mortier à base de sable alluvionnaire.

IV.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

(FigureIV.7).



FigureIV.7 : Dispositif pour l'essai de résistance à la compression.

IV.6.1. Résultats et discussions:

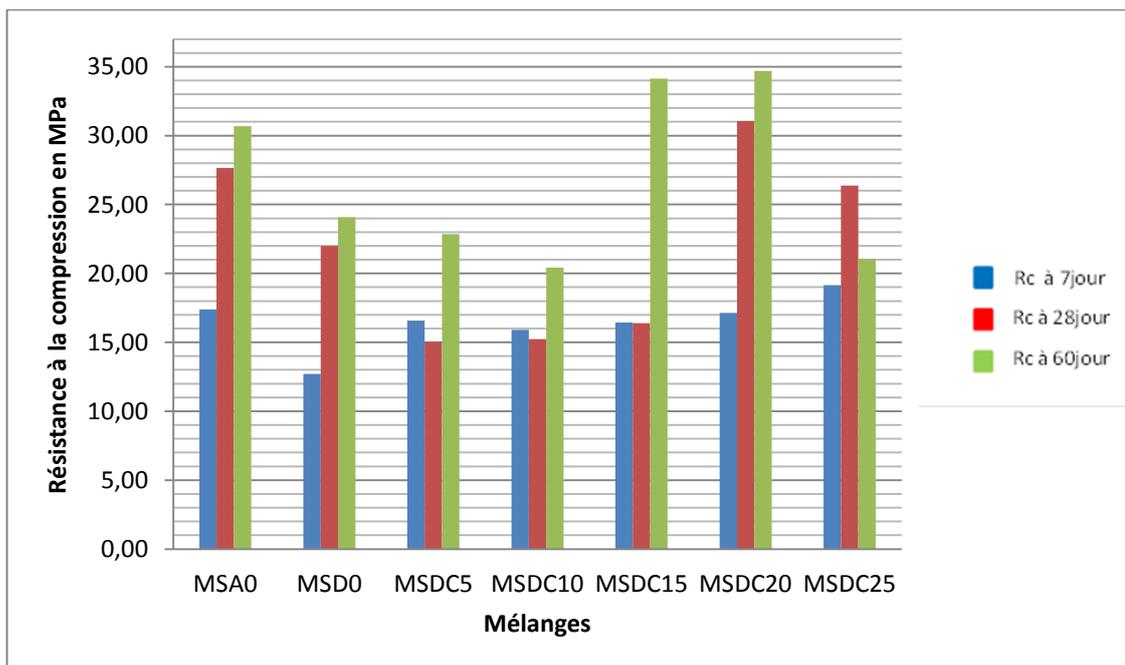
IV.6.1.1. Résultats :

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
MSD5	16,57	15,02	22,85
MSD10	15,90	15,24	20,42
MSD15	16,44	16,39	34,14
MSD20	17,13	31,05	34,69
MSD25	19,15	26,39	21,05

IV.6.1.2. Evolution de la résistance en compression :



FigureIV.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 constate 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 20% de fines. Par contre, pour les autres teneurs en fines on remarque que la résistance en compression a une évolution non habituelle. Ceci peut s'expliquer par le fait que les fines calcaires 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. 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 ont une évolution normale de la résistance en compression (MSA0, MSD0 et MSDC20) possèdent la même allure d'évolution qu'un mortier normal [7]. 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), La même allure d'évolution est noté pour le mélange MSDC20 (55% à 7 jours et 112% à 60 jours) .

a. Evolution de la résistance en compression en fonction de la teneur en fines calcaires :

D'après la figure IV.8 on remarque qu'à 7 jours la résistance en compression augmente mais d'une façon peu significative. A cette échéance, la valeur de la résistance en compression la plus élevée correspond au mélange MSDC25 (19 MPa), elle dépasse la résistance de la formulation à base de sable de dune (MSD0) de 34%, et celle à base de sable alluvionnaire (MSA0) de 9%.

A 28 jours la résistance en compression augmente d'une façon non significative, La résistance en compression ne dépasse pas celle du mélange témoins (MSD0) qu'à partir de 20 % de fines calcaires. A cette échéance, la résistance en compression la plus grande est celle du mélange MSDC20 (31 MPa), elle dépasse la résistance de la formulation à base de sable de dune (MSD0) de 29%, et celle à base de sable alluvionnaire (MSA0) de 11%. Ceci montre l'efficacité de ces fines à l'amélioration de cette caractéristique.

A 60 jours, La même remarque peut être noté concernant l'évolution de la résistance en compression en fonction du taux de fines calcaires. On note une augmentation de la

résistance en compression à partir de 15% de fines calcaires et une diminution au-delà de 20%. Ce qui montre que la correction de sable dune avec les fines calcaires est optimale à 15 % de fines (le mélange MSDC20 a une résistance légèrement plus grande mais d'un point de vue économique il est moins intéressant.

L'ajout de 15% de fines calcaires résulte une résistance en compression dépasse celle du mélange témoins (MSD0) de 29%, et celle du mélange MSA0 de 10%. Ce qui reflète l'efficacité des fines utilisées.

IV.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.

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

IV.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

IV.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

IV.7.4. Opération de l'immersion :

L'opération de 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 %). FigureIV.9.



FigureIV.9 : Immersion des éprouvettes dans un bac

IV.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).



FigureIV.10 : Mesure la masse de l'éprouvette saturée

IV.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 %.

IV.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}).

IV.7.6. Expression des résultats :

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

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

IV.7.7. Résultats et discussions :

IV.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	9.56
MSD0	11.43
MSD5	11.52
MSD10	11.14
MSD15	10.95
MSD20	11.29
MSD25	11.59

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

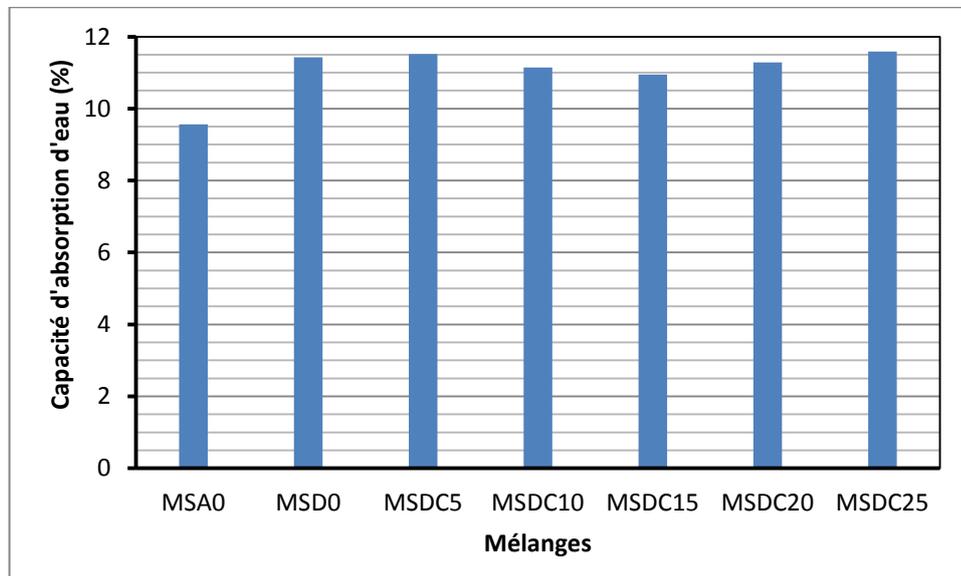


Figure IV.11 : Influence de la teneur en fines sur la capacité d'absorption d'eau

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 calcaires. 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 15% de fines calcaires, c'est le même pourcentage qui correspond à la formulation optimale d'après la résistance 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 5% et 25%, et enregistre des valeurs comparables à celle du mélange à base de sable dune (MSD0), ce qui montre que les fines calcaires pour ces dosages ne participent pas à l'amélioration de la compacité des mélanges.

IV.8. Conclusion :

Les différents résultats et interprétations soulevés dans ce présent chapitre nous a conduit à donner les constatations suivantes ;

L'ajout de 10% de fines calcaires donne un gain de résistance en traction de 9% à 60 jours. L'opération de la correction de sable de dune avec les fines calcaires n'est pas 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 15% de fines calcaires résulte une résistance en compression dépasse celle du mélange témoins (MSD0) de 29%, et celle du mélange MSA0 de 10%. Ce qui reflète l'efficacité des fines utilisées.

La capacité d'absorption d'eau diminue pour une teneur en fines calcaires égale à 15%, c'est le même pourcentage qui correspond à la formulation optimale d'après la résistance en compression à 60 jours. Ceci indique que la correction granulométrique est optimal pour ce pourcentage.

**conclusion
générale**

Conclusion générale

Cette étude a été menée afin d'évaluer la possibilité d'utiliser des fines calcaires pour améliorer un sable de dune de la région de Djelfa, et le valoriser dans le secteur du bâtiment. Sur la base des résultats du programme expérimental réalisé, les conclusions suivantes peuvent être tirées:

- La granulométrie de sable étudié est très serrée ; près de 90 % des grains ont une dimension comprise entre 0,1 mm et 0,5 mm. 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 un rapport E/C constant, les caractéristiques granulométriques d'un sable influent d'une façon significative sur la consistance et la masse volumiques apparente de mortier frais.

L'ajout de 10% de fines calcaires donne un gain de résistance en traction de 9% à 60 jours. L'opération de la correction de sable de dune avec les fines calcaires n'est pas 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 15% de fines calcaires résulte une résistance en compression dépasse celle du mélange témoins (MSD0) de 29%, et celle du mélange MSA0 de 10%. Ce qui reflète l'efficacité des fines utilisées.

La capacité d'absorption d'eau diminue pour une teneur en fines calcaires égale à 15%, c'est le même pourcentage qui correspond à la formulation optimale d'après la résistance en compression à 60 jours. Ceci indique que la correction granulométrique est optimale pour ce pourcentage.

Références

- [1] Chavaillon. J, Étude stratigraphique des formations quaternaires du Sahara Nord Occidental- de Colomb-Béchar à Reggane -. Edition du CNRS, 394p Paris 1964
- [2] Pettijohn. F, Sand and sand stone. Springer-Verlag New York, INC, Paper back, June 1987
- [3] Folk R.L, Ward W.C, A study of significant of grain size parameters. J.Sediment. brazos River bar,Petrol. 27, 1957
- [4] Weydert .P, Étude sédimentologique d'une coupe de la partie médiane du grand récif de Tuléar (SWMadagascar) , 237-280 p, Téthys, 1971
- [5] CHAUVIN, J.J. Les sables : guide technique d'utilisation routière. ISTED, 74 p. France, 1987
- [6] Ayachi A.M, Etude des propriétés mécaniques du béton de sable de dunes, Université KasdiMerbah , Ouargla, 2011
- [7] AZZOUZ .H, Etude des bétons à base des sables de dune, Université Mohamed Kheidar , Biskra,2009
- [8] AFNOR, granulats, équivalent de sable, Norme Française, Paris, France, septembre 1998.
- [9] Tafraoui. A, contribution à la valorisation de sable de dune de l'erg occidental (Algérie), doctorat de l'université de Toulouse ,février 2009
- [10] Krobb. B, formulation et durabilité d'un mortier à base de sable dunaire, Colloque international, Sols et matériaux à problèmes, Hammamet, Tunisie, Février 2007
- [11] BOUALI .K, Elaboration et caractérisation thermomécanique des mortiers à base d'ajouts de déchets de briques réfractaires mémoire de magister,Université M'hmed Bougara, Boumerdes, 2014
- [12] Omar Mezidi, Etude comparative des caractéristique et du comportement d'un beton de sable de dune et d'un béton ordinaire mémoire de magister , université d'alger, 2008
- [13] Dreux .G, festa.J, nouveau guide du béton et de ses constituants, Paris, France,1969
- [14] Ecole d'Avignon, techniques et pratiques de la chaux, Eyrolles,P187, Paris, France, 1997
- [15] Ciments et bétons, L'essentiel, b51, Amprincipe Paris, 2005
- [16] AFNOR , Maniabilité (ouvrabilité),NF P18-452 et NF P18-437 , Paris , 1996

- [17] Fellah.F.Z, Louifi.F.Z, 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 Zaine Achour , Djelfa,2014
- [18]AFNOR, détermination des Resistances mécaniques, ,EN 196-1 Paris , 1995
- [19] Benchaâ. B, Lakhdar. A, El-hadj.K, Akram .S. B, Hamza S, Propriétés physico-mécaniques et durabilité des mortiers à base du sable de dunes, Université Amar Telidji ,Laghouat, Algérie ,2012
- [20]CHAUVIN, J.J. Les sables : guide technique d'utilisation routière. ISTED, 76 p. France, 1987
- [21] AFNOR, 1996. Sols : reconnaissance et essais - Analyse granulométrique - Méthode par tamisage à sec après lavage.NF P 94-056
- [22] 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.
- [23] 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.
- [24] 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.
- [25] AFNOR, 1999. Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats - Partie 8 : évaluation des fines - Équivalent de sable. NF EN 933-8
- [26] 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

