

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Kasdi Merbah Ouargla



FACULTÉ DES SCIENCES APLIQUÉES

Département de Génie Civil et Hydraulique

Filière : Génie Civil

Spécialité : V.O.A

Thème

*Etude des caractéristiques mécaniques du béton de
sable de dunes avec ajout minérale*

Présentés par :

- ❖ BANDANIA Faycal
- ❖ REZGANE Hadjer

Soutenu publiquement devant le jury composé de :

ZENKHRI Abderrazak	M.A.A	UKM Ouargla	Président
CHAIB Hachem	M.A.B	UKM Ouargla	Examineur
BELFERRAG Allaoua	M.C.B	UKM Ouargla	Encadreur
REZAIGUIA Nouha	M.A.A	Université Skikda	Co-Encadreur

Année Universitaire: 2017 / 2018

REMARCIEMENTS

Je tiens à remercier Mme Meziani N. d'avoir accepté de superviser l'achèvement et l'achèvement de ma note de diplôme en termes d'aspects intellectuels et informatifs en fournissant de nouvelles idées sur les bonnes façons d'effectuer les tests ou en fournissant l'équipement nécessaire pour les tests.

Je tiens à exprimer ma reconnaissance envers ceux qui m'ont fait l'honneur de juger mon travail , à savoir Monsieur BELEFERRAG Allaoua qui accepter de rapporter , d'examiner et juger ce travail.

Mes plus sincères remerciements vont aussi à Monsieur HAFSI Abdellatif , chef département du LTPS de Ouargla , qui m'a favorablement accueilli au sein de son unité long du déroulement de ce travail et l'ensemble des membres du laboratoire.

Mes remerciements vont à tant de personnes dont les noms ne sont pas citer ci_ haut mais qui , de prés ou de loin ,m'ont prêté main forte pour la réalisation du présent travaillé dont la contribution a été imporatnte.

ملخص

الغرض من هذه الدراسة هو تثمين رمال الكثبان بإضافة معدنية و ذلك لاستخدامها في قطاع البناء في المناطق الصحراوية. لقد وجدنا أن المنحنى التدرج الحبيبي دقيق جداً وأن النتائج غير مقبولة في قوة الشد والضغط لذلك قمنا بإضافة إضافات معدنية لخرسانة الكثبان الرملية من أجل تحسين هاتين الخاصيتين.

كلمات مفتاحيه

رمال الكثبان_ إضافات معدنية _ مقاومة الشد _ مقاومة الضغط _ رمل البناء :

RESUME :

Le but de cette étude est d'évaluer les dunes de sable en ajoutant du métal pour une utilisation dans le secteur de la construction dans les zones désertiques.

Nous avons constaté que la courbe de gradient de particules était très précise et que les résultats étaient inacceptables en termes de résistance à la traction et de pression, nous avons donc ajouté des additifs métalliques aux dunes pour améliorer ces propriétés.

Mots-clés: sable de dunes, ajout minéral résistance à la traction, résistance à la pression, construction de sable,

ABSTRACT:

The purpose of this study is to evaluate sand dunes by adding metal for use in the construction sector in desert areas. We found that the particle gradient curve was very accurate and that the results were unacceptable in tensile strength and pressure. Therefore, we added metal additives to sand dunes to improve these properties

Keywords: Sand dunes, mineral additions, resistance tensile , pressure resistance, sand building.

Sommaire

Liste des figures.....	I
Liste des photos	IV
Liste des tableaux.....	V
Introduction générale.....	1
Chapitre I : Etude bibliographique	
I.1. Introduction.....	4
I.2. BETON DE SABLE.....	4
I.2.1. Historique.....	4
I.2.2. Généralités.....	5
1.3 COMPOSITION DE BETON DE SABLE.....	5
I.3.1. Sables.....	5
I.3.2. Le ciment.....	6
I.3.3. Eau de gâchage.....	6
I.3.4. Les adjuvants	6
I.3.5. Les ajouts minéraux.....	7
I.3.5.1. Classification des ajouts minéraux.....	7
A- Les ajouts minéraux actifs.....	7
A.1. Pouzzolane.....	7
A.1.a. Pouzzolane naturelle.....	7
A.1.b. Pouzzolane artificielle.....	7
A.2. Le laitier de haut fourneau.....	8
A.3. La fumée de silice.....	8
A.4. Les cendres volantes.....	8
B- Aouts minéraux inertes	9
B.1. Fillers calcaires.....	9
B.2. La poussière.....	9

I.4 Domaine d'utilisation des bétons de sable.....	9
I.4.1- Inconvénients des bétons de sable.....	10
I.4.2- Amélioration des propriétés des bétons de sable.....	10
1.5. Résistance mécanique.....	10
I.5.1. Comportement en compression.....	11
I.4.2. Comportement en traction.....	11
I.5. CONCLUSION.....	12

Chapitre II: les caractéristiques des matériaux utilisés

II.1.Introduction.....	14
II.2. les caractéristiques des matériaux utilisés.....	14
II.2.1 Le sable.....	14
II.2.1.1 Analyse granulométrique.....	14
A-Principe de l'essai.....	14
B-But de l'essai.....	15
1-100% sable de dune.....	16
2-100% sable alluvionnaire.....	17
3-60% sable alluvionnaire (SA) et 40% sable de dune (SD).....	18
C-Module de finesse (NF P 18 304).....	18
II.2.1.2. Equivalent de sable.....	19
A-But de l'essai.....	19
B-Principe de l'essai.....	19
II.2.1.3. Masse volumique apparente.....	21
II.2.1.4. Masse volumique absolue.....	22
A-But de l'essai.....	22
B-Mode d'opération.....	22
II.2.2.Ciment.....	23

II.2.3.Eau de gâchage.....	24
II.2.4.les adjuvant	24
II.2.5.Les ajout mineral.....	25
A-Classification des ajouts minéraux.....	25
B-L'utilisation des fumés de silice.....	26
C-Le dosage.....	26
II.3.Essais de maniabilité.....	28
A-Principe de l'essai	28
II.4.Conclusion.....	29

Chapitre III :résultats et discussions

III.1 Introduction.....	31
III.2 Résistances mécaniques.....	31
III.2.1 Résistance de traction par flexion.....	31
III.2.2 Résistance à la compression.....	32
III.3 Préparation de l'échantillon.....	33
III.4. Résultats des essais mécaniques.....	34
III.4.1. Résistance à la flexion	34
III.4.2.Résistance à la compression.....	39
III-5 Conclusion	42
Conclusion générale.....	44
Recommandation.....	45
Références bibliographiques.....	46

Listes des tableaux

Chapitre I: Etude bibliographique

Tableau I.1: représente composition chimiques de la fumée de silice utilisant	8
Tableau I.2: Classification des ajouts selon leur réactivité.....	9

Chapitre II: Caractéristiques des matériaux utilisés

Tableau II.1:Résultats d'analyse granulométrique du sable de dunes (100%SD).....	15
Tableau II.2:Résultats d'analyse granulométrique d'un sable alluvionnaire (100%SA).....	16
Tableau II.3:Résultats d'analyse granulométrique de mélange60%(SA) et40%(SD).....	17
Tableau II.4: Module de finesse des types de sable.....	19
Tableau II.5 : Nature et qualité du sable selon les valeurs d'équivalent de sable.....	20
Tableau II.6 :Résultats de l'équivalent de sable.....	20
Tableau II.7 :Résultats de la masse volumique apparente.....	21
Tableau II.8 :Résultats de la masse volumique absolue.....	22
Tableau II.9 :L'analyse chimique du ciment [F.T.M].....	23
Tableau II.10 : Caractéristiques physiques et mécaniques de ciment utilisé.....	23
Tableau II.11 : Analyse chimique de d'eau du laboratoires	24
Tableau II 12 : Composition chimique de la fumée de silice utilisée.....	26
Tableaux II.13 : Classe de consistance selon la durée d'écoulement.....	28
Tableau II.14 : Composition de béton de sable avec et sans ajout.....	29

Listes des figures

Chapitre I: Etude bibliographique

Figure I.1: Contrainte-déformation en compression simple.....	11
Figure I.2: Comportement du béton en traction simple.....	12

Chapitre II: Caractéristiques des matériaux utilisés

Figure II.1: Analyse granulométrique (100 % sable de dunes SD).....	16
Figure II.2: Analyse granulométrique (100 % sable alluvionnaire SA).....	17
Figure II.3 : Analyse granulométrique de mélange 60%(SA) et40%(SD).....	18

Chapitre III: Résultats et discussions

Figure III.1 : Essai de résistance à la flexion	31
Figure III.2 : Dispositif pour l'essai de résistance à la compression.....	33
Figure III.3: Résistance à la flexion du mélange C2 par rapport aux différents dosages en fumé de silice.	34
Figure III.4: Résistance à la flexion du mélange C1 par rapport aux différents dosages en fumé de silice.	35
Figure III.5: Résistance à la flexion du mélange C2 et C1 sans ajout minéral.....	36
Figure III.6: Résistance à la flexion de C1A1et C2A1 en fonction du temps	37
Figure III.7: Résistance à la flexion de C1A2et C2A2 en fonction du temps.....	37
Figure III.8: Résistance à la flexion de C1A3et C2A3 en fonction du temps.....	38
Figure III.9: Résistance à la compression du mélange C2 en fonction du temps.....	39
Figure III.10: Résistance à la compression des mélanges C1 en fonction du temps.....	40
Figure III.11: Résistance à la compression des bétons C1 et C2 en fonction du temps ...	41
Figure III.12: Résistance à la compression de C1A1 et C2A1 en fonction du temps.....	41
Figure III.13: Résistance à la compression des bétons C1A2 et C2A2 en fonction du temps.	42
Figure III.14: Résistance à la compression des mélanges C1A3 et C2A3 en fonction temps.	43

Liste des photos

Chapitre II: Caractéristiques des matériaux utilisés

Photo II.1: Les tamisages utilisés dans l'essai.....	15
Photo II.2: Essai de équivalent de sable.....	20
Photo II.3: Essai de la masse volumique apparent.....	21
Photo II.4: Essai de la masse volumique absolue.....	23
Photo II.5: Adjuvant utilisé dans la confection du béton.....	25
Photo II.6: L'ajout minéral utilisé.....	27
Photo II.7: Essai de Maniabilimètre.....	28

Chapitre III: Les résultats et discussion

Photo III.1: Appareil de traction par flexion.....	32
Photo III.2: Appareil utilisée dans l'essai de compression.....	33
Photo III.3: Table de vibration.....	34
Photo III.4: Conservation des éprouvettes dans l'eau.....	34

INTRODUCTION GENERALE

La formulation des bétons qui, pendant très longtemps, a reposé sur une simple association ternaire ciment, eau et granulats, s'est progressivement compliquée au point qu'un béton actuel comporte de façon courante cinq constituants : ciment, eau, granulats, additions minérales et adjuvants.

Cet accroissement du nombre de constituants est, d'un point de vue pratique, très avantageux car il conduit, généralement, à l'amélioration très significative des performances mécaniques, physiques et durabilités des bétons.

Actuellement les travaux de recherche de nouveaux matériaux de construction se sont orientés vers la valorisation des matériaux locaux pour la confection des bétons performants au moindre coût. Parmi ces matériaux, Le grand Sahara Algérien représente 60% du territoire algérien, il est très riche en sable de dunes, et pour but d'économiser l'importation de sable alluvionnaire dans notre région, nous avons pensé à une correction de sable de dunes par un sable alluvionnaire avec un pourcentage de 60% pour améliorer sa granulométrie.

L'incorporation des additions minérales est maintenant une technique importante en améliorant les propriétés du béton telle que la fluidité, la résistance, la durabilité, etc. ces additions minérales affectent de manière significative la rhéologie des matériaux cimentaires à l'état frais, qui est directement relié avec le développement de la résistance, la durabilité des matériaux durcis.

Néanmoins, pour profiter pleinement de ces avantages et ainsi choisir la meilleure solution permettant d'optimiser la formulation, il est nécessaire de connaître les caractéristiques de ces nouveaux composants (sable des dunes, additions minérales et adjuvants) et leurs actions sur les propriétés des bétons.

Ce travail consiste à l'étude de trois formulations de béton de sable contenant différents dosages de *fumée de silice (ajout très actif)* de (3%, 4% et 5%). La question de la crédibilité des sable de dunes est soutenue par les additifs métalliques et l'impact de la résistance à la traction et à la pression.

Les essais de flexion et de compression sont effectués sur des éprouvettes prismatiques (4×4×16) cm³, pour différentes échéances (7, 14, 21 et 28 jours).

Ce mémoire s'articule sur 3 chapitres :

- Le premier chapitre est consacré à la recherche bibliographique.
- Deuxième chapitre fait le point sur les différentes caractéristiques des matériaux utilisés (ciment, sable de dune, adjuvants et ajouts).
- Différents résultats expérimentaux obtenus, leur interprétation et l'influence de chaque paramètre étudié, sont présentés dans le troisième chapitre.

En fin, une conclusion générale reprend les principaux résultats dégagés lors de cette étude et rapporte les intérêts pratiques qui en découlent.

I.1. INTRODUCTION

Le béton de sable, par sa conception actuelle, sa simplicité de fabrication et de mise en place, son prix de revient compétitif, ses performances mécaniques et sa durabilité, constitue une nouvelle avancée pour la construction en béton et il offre des avantages aussi bien d'ordre économique, technique, esthétique et même écologique.

Les bétons de sable peuvent présenter une bonne alternative pour remplacer les bétons classiques dans la confection de certains éléments de construction. Ces bétons, définis par la norme NF P18- 500 [NF P18- 500, 2005], sont une nouvelle gamme de matériaux de construction confectionnés essentiellement à partir d'un ou plusieurs sables, de ciment, d'eau et des fines d'ajouts minérales naturelles ou industrielles.

I.2. Béton de sable

I.2.1. Historique

Le béton de sable est une technique connue de très longtemps en Union Soviétique l'actuelle *Communauté des Etats Indépendants* (C.E.I). Il semble que cette technique soit parvenue dans ce pays par le biais de la Belgique et l'Allemagne.

Plusieurs ouvrages sont construits par ce matériau dont on peut citer le port de Kaliningrad en Prusse-Orientale réalisé au début du siècle 19 et le métro de Saint-Petersbourg.

Quelques décennies plus tard, le béton de sable apparaît en France grâce au professeur académicien Rebinder. Il avait lu l'ouvrage du Comte de Rochefort et repris ces idées dans ses propres recherches. En 1971, le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (L.C.P.C) est contacté pour la première fois par des études sur cette technique.

Vers 1920, la technique du béton de sable reste en "veilleuse" autant en URSS qu'en Europe Occidentale. Elle sera de nouveau d'actualité au cours de la deuxième guerre Mondiale où l'armée allemande conforte ses positions et construit des pistes d'aviation, dont certaines en béton de sable. A la fin du conflit, les soviétiques examinent ces pistes. Certaines sont très dégradées, d'autres le sont moins; ils en tirent des conclusions et les mettent à profit en construisant des aérodromes en béton de sable; en particulier l'aérodrome militaire de Pevek (en Sibérie) et celui d'Arkhangelsk. [AYACHI. A, 2011]

I.2.2. Généralités

Le béton de sable est défini selon la norme NF P18- 500 [NF P18- 500, 2005] comme un béton fin, constitué par le mélange d'un ou plusieurs sable(s), de ciment, d'addition(s) et d'eau. D'autres additions peuvent être incorporées : adjuvants, fibres, gravillons [ACHOURA, 2005].

La conception actuelle des bétons de sable, permet leur utilisation pour le remplacement des bétons classiques (de gros granulats) dans certains éléments de structures de bâtiment peu sollicités ; ainsi que pour la fabrication des éléments de remplissages (briques, parpaings, hourdis...).

I.3. Composition de béton de sable

Les composants rentrant dans la composition du béton de sable sont ceux du béton traditionnel à l'exception des fines d'ajout. Il s'agit donc de composants normalisés.

I.3.1. Sables

Le sable est le résultat d'une lente rupture des roches sous l'influence de facteurs naturels. Les sables de dune ont été utilisés depuis l'antiquité dans la construction de barrages, de fondations et de routes. [BELHOCINE. N, 2014]

Le terme sable englobe tous les granulats conformes aux définitions des normes [P 18-541, 2007]. Le sable influe selon ses qualités sur les propriétés des bétons, il participe à la résistance, il donne la cohésion du mélange et il doit être dense provenant de roches chimiquement inertes tels que : les calcaires durs, les granits et les quartzites. Suivant leurs grosseurs les sables sont classés en:

- Sable fin de 0.03 à 0.315 mm
- Sable moyen de 0.315 à 2 mm
- Sable gros de 2 à 5 mm

Ils peuvent aussi être distingués selon leur origine :

I.3.1.1. Sables naturels roulés :

- Sable de mer : il provient des cotes de la mer .pour l'utiliser dans les bétons, Il devrait être lavé sel.
- Sable de carrière : il contient souvent de l'argile.

- Sable de rivière : il est obtenu par dragage des lits des cours d'eau.
- Sable de dune : c'est un sable très fin, qu'on retrouve un peu partout aux Sahara, Les dunes de sable sont très disponibles dans le désert d'Algérie.

I.3.1.2. Sables artificiels

On peut les obtenir Par:

- Broyage de certains déchets.
- Transformation industrielle de l'argile

Les composants rentrant dans la composition du béton de sable sont ceux du béton traditionnel à l'exception des fines d'ajout. Il s'agit donc de composants normalisés.

I.3.2. Le ciment

Le ciment est un liant hydraulique, c'est-à-dire une matière inorganique finement moulue qui, gâchée avec de l'eau, forme une pâte qui fait prise, après durcissement, conserve sa résistance et sa stabilité même sous l'eau.

I.3.3. Eau de gâchage

La quantité d'eau de gâchage est la quantité totale ajoutée au mélange sec du béton, ou bien du mortier, pour le mouillage et l'hydratation, et cette quantité est déterminée en fonction de la composition et les moyens de mise en œuvre.

I.3.4. Les adjuvants

Les adjuvants sont des produits chimiques incorporés à faible dose (moins de 5% de la masse du ciment) dans le béton ou le mortier, afin de modifier certaines de ses propriétés. L'incorporation se fait soit avant, pendant le mélange, ou bien au cours d'une opération supplémentaire de malaxage. Ils sont classés suivant leur fonction principale et on peut distinguer trois grandes catégories d'adjuvants :

- Ceux qui modifient l'ouvrabilité du béton: plastifiants, réducteurs d'eau, super plastifiants.
- Ceux qui modifient la prise et le durcissement: accélérateurs de prise, accélérateurs de durcissement, retardateurs de prise.
- Ceux qui modifient certaines propriétés particulières: entraîneurs d'air, générateurs de gaz [DREUX et FESTA, 1998]

Les bétons de sable utilisent les mêmes adjuvants que les bétons traditionnels, souvent les plastifiants ou super plastifiants... [ACHOURA, 2005]

I.3.5. Les ajouts minéraux

Les additions minérales ou fillers sont des grains qui ne dépassent pas 0.08 mm. Les fines sont des produits obtenus par broyage fin ou par pulvérisation de certaines roches naturelles ou artificielles (calcaire, basalte, laitier...). L'incorporation de l'addition minérale permet le remplissage d'une partie du volume des vides du squelette granulaire par les particules fines, et donc libérer l'eau contenue dans les pores. Si la quantité d'eau est réduite, et la maniabilité est conservée, la résistance mécanique va s'améliorer. La réduction progressive du dosage en eau pour une même consistance en incorporant les additions [BENACHOUR, 2009]

I.3.5.1. Classification des ajouts minéraux

En matière de maniabilité et de résistance, la morphologie et la texture des fillers sont des paramètres très importants. La différence entre le béton classique et un béton de sable réside principalement dans la différence granulométrique, la compacité maximale est en relation avec l'optimisation de la granulométrie. Pour les bétons ordinaires, les macro-vides des gros granulats sont remplis par le sable, et les vides de sable sont remplis par le ciment. Pour les bétons de sable les vides entre grains de sable sont remplis par les fines d'ajout [Ambroise et Pera, 1992]

Il existe deux types d'additions minérales : les additions minérales actives et les additions minérales inertes... [SABLOCRETE, 1994]

A- Les ajouts minéraux actifs

A.1. Pouzzolane

Les pouzzolanes sont des matériaux, artificiels ou naturels capables de interaction, peu solubles dans l'eau et possédant des propriétés liantes.

A.1.a. Pouzzolane naturelle

Est un produit d'origine volcanique essentiellement composé de silice, d'alumine et d'oxyde de fer ayant naturellement des propriétés pouzzolanique.

A.1.b. Pouzzolane artificielle

C'est une matière essentiellement composée de silice, d'alumine et d'oxyde de fer ayant subi un traitement thermique pour lui assurer des propriétés pouzzolaniques.

A.2. Laitier de haut fourneau

Le laitier de haut fourneau, ou le laitier broyé, Il se présente sous forme de nodules dont la composition chimique comporte de l'oxyde de calcium dans des proportions de l'ordre de 40 à 50 %, de la silice entre 25 à 35%, de l'alumine entre 12 à 30% ainsi que la magnésie et d'autres oxydes en très faibles quantités, tous ces éléments étant pratiquement les mêmes que ceux du clinker..

A.3. Fumée de silice

La fumée de silice est un sous-produit de la fabrication du silicium, de différents alliages de Ferro silicium ou de zircone. Le silicium et les alliages de silicium sont produits dans des fours à arc électrique où le quartz est réduit en présence de charbon et de fer pour la production de Ferro silicium.

Tableau I.1: Composition chimiques de la fumée de silice utilisée.

Composés	Silicium (grise)	Ferro silicium (grise)	Blanche
SiO ₂	93.7	87.3	90
Al ₂ O ₃	0.6	1.0	1.0
CaO	0.2	0.4	0.1
Fe ₂ O ₃	0.3	4.4	2.9
MgO	0.2	0.3	0.2
Na ₂ O	0.2	0.2	0.9
K ₂ O	0.5	0.6	1.3
Pertes au feu	2.9	0.6	1.2

Tableau I.2: Classification des ajouts selon leur réactivité

Type	Réactivité	Matériau
Hydraulique	Fortement réactif	Ciments spéciaux-chaux hydraulique
Hydraulique Latent	Laitier granulé-cendres volantes riche en calcium (calciques)	
Pouzzolanique	Fortement réactif	Fumée de silice
	Moyennement réactif	Cendres volantes pauvre en calcium, pouzzolanes naturelles (verre volcanique, tufs volcanique, terres a diatomées
	Faiblement réactif	Scories cristallines
Inerte	Non réactif	Fillers (farine calcaire,...) fibres, pigments colorants, matières expansives, dispersions synthétique

A.4. Cendres volantes

Les cendres volantes sont des particules très fines récupérées par les systèmes de dépoussiérages des gaz des chaudières des centrales thermiques.

B. Aouts minéraux inertes

B.1. Fillers calcaires

Un filler est dit calcaire s'il contient au moins 90% de carbonate de calcium. Dans les autres cas, le filler est désigné par le nom de sa roche d'origine. Ils jouent un rôle chimique et physique conduisant à l'accélération de l'hydratation du C_3S et du C_3A et à la formation de carbo-aluminates : germes de cristallisation et points d'ancrage des hydrates.

B.2. La poussière

La poussière est une matière à particules fines, récupérée à la sortie du four, lors de son passage avec la fumée, sa finesse est comprise entre 7000 et 9000 cm^2/g .

I.4. Domaine d'utilisation des bétons de sable

Le béton de sable est un nouveau matériau créé pour remplacer le béton classique dans certains éléments de structure. Les principaux domaines d'utilisation des bétons de

sable sont : Travaux avec du béton injecté, pilotes de béton armé sur place, certains travaux de fondations pour les constructions....etc.

I.4.1. Inconvénients des bétons de sable

Les bétons de sable sont très utilisés malgré leurs inconvénients, par exemple :

- La grande teneur en grains fins donne une grande surface spécifique, cela conduit à la difficulté d'assurer une bonne enveloppe de pâte de ciment pour les grains de sable, donc le dosage en ciment augmente.
- Les grains très fins du sable peuvent abaisser l'activité du ciment; donc la résistance mécanique du béton va diminuer.
- Augmentation de l'absorption capillaire à cause de la grande surface spécifique du ciment; par conséquent l'imperméabilité du béton durci va diminuer et le retrait va augmenter... [Ben Amara, 2002].

I.4.2. Amélioration des propriétés des bétons de sable

Plusieurs recherches ont été réalisées afin de minimiser les inconvénients du béton de sable et lui assurer sa valeur économique, surtout dans les régions riches en sable comme le sud algérien. Le but principal de ces recherches est d'avoir une maniabilité correcte et d'atteindre une bonne résistance mécanique en visant plusieurs solutions : [Ben Amara, 2002]

1.5. Résistance mécanique

La résistance mécanique est l'une des caractéristiques essentielles du béton. Le béton est employé, en général, comme matériau porteur et le taux de travail d'un ouvrage en béton dépend de sa résistance mécanique qui évolue avec le durcissement du béton. La résistance mécanique d'un béton dépend de plusieurs paramètres à savoir :

- La nature et la qualité des constituants (ciment, granulats, eau, adjuvant)
- Les conditions de mise en œuvre de ces constituants
- Les conditions thermo hygrométriques ambiantes de conservation. Elle est définie par la résistance à la compression et par la résistance à la traction.

I.5.1. Comportement en compression

La résistance à la compression du béton est une propriété utilisée dans la conception des bâtiments et des structures. Cette dernière est fortement dépendante du rapport eau/ciment et de l'âge du béton, du pourcentage d'hydratation, du malaxage etc.

Dans une étude expérimentale réalisée par BENTATA A. sur les bétons de sable de dune ce dernier à trouvé que les échantillons conservé à l'eau ont donné des résultats meilleurs que ceux conservé à l'air libre.

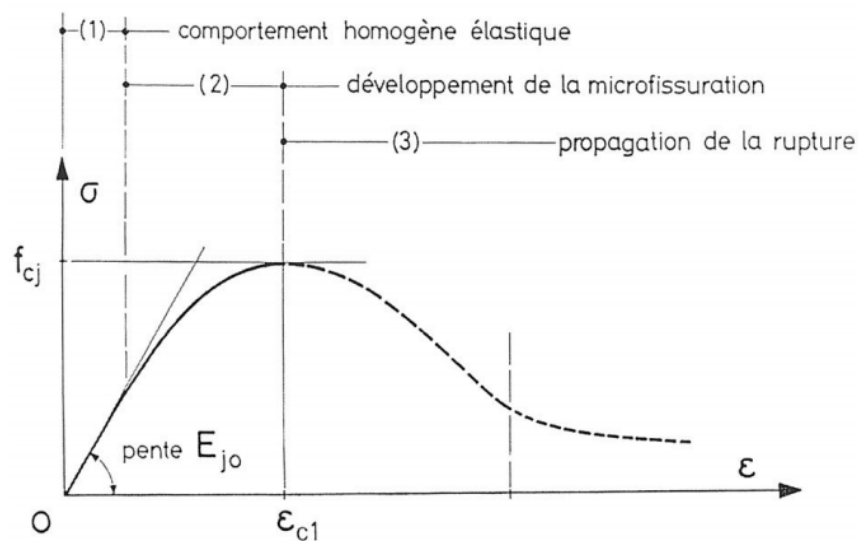


Figure I.1: Courbe contrainte-déformation en compression simple [MANSOUR.N, 2017].

La courbe de la figure I.1 montre les différentes phases de comportement de béton après l'essai de compression qui sont le comportement homogène élastique et le développement des fissurations jusqu'à la rupture.

I.5.2. Comportement en traction [ayachi]

Diverses études ont été réalisées concernant la résistance à la traction des bétons de sable, nous citons les travaux réalisés par BANTATA .A [18], sur cinq types de bétons de sable de dunes.

Les principales remarques qu'on peut tirer des résultats c'est que les valeurs de la résistance à la traction restent invariables dans tous les types des bétons. Les résultats restent presque voisins à celles du béton témoin. Donc la résistance à la traction ne dépend pas des différents dosages en sable de dune.

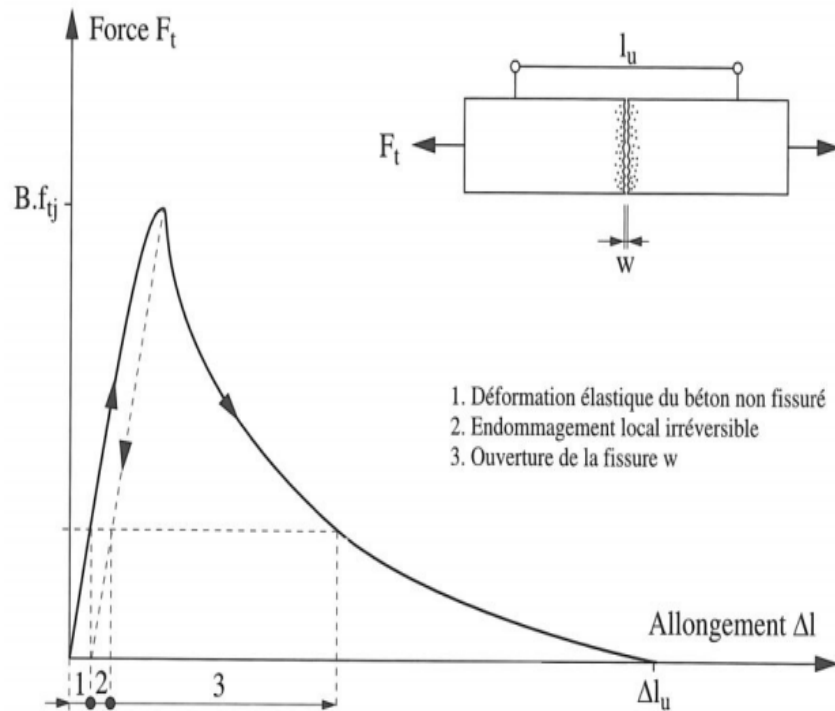


Figure I.2: Comportement du béton en traction simple [MANSOUR.N, 2017].

La figure I.2 représente la courbe contrainte-déformation de béton en traction. Elle montre le comportement de béton qui passe par la déformation élastique et l'endommagement local irréversible dans l'éprouvette jusqu'à l'allongement maximal Δl .

I.6. Conclusion

Les bétons de sable sont des bétons fins caractérisés par l'absence des gros granulats, ils sont créés pour le remplacement des bétons classiques (de gros granulats) dans certains éléments de structures de bâtiment.

Ce chapitre présente une synthèse bibliographique sur les bétons de sable, les caractéristiques des ajouts minéraux, les améliorations apportées par l'incorporation des ajouts dans le béton.

L'utilisation des fines d'ajouts dans les bétons de sable ou dans les mortiers en addition ou en substitution partielle du ciment, donne une amélioration du comportement mécanique et de la durabilité de ces matériaux. Cette recherche a été basée sur l'identification des bétons de sable, leurs applications, les principaux avantages, inconvénients et les principaux travaux qui ont été effectués pour réduire au maximum ces inconvénients et améliorés les propriétés des bétons de sable.

II.1. Introduction

Dans ce chapitre nous allons présenter les caractéristiques des matériaux utilisés pour la formulation et la fabrication du béton de sable de dune avec des ajouts minérales pour déterminer les résistances mécaniques (traction et compression).

II.2. Caractéristiques des matériaux utilisés

II.2.1. Sable

En entend par sables, tous granulats 0/D conformes aux définitions des normes [NF P 18-101 et NFP 18-301]. Il s'agit soit d'un sable naturel alluvionnaire ou de ballastière, soit d'un sable de carrière issu du concassage d'une roche massive ou détritique. [P.E.N.P.C 1994].

Pour cette étude nous avons utilisé deux types de sable : sable de dune (SD) provenant de Sidi Khouiled et sable alluvionnaire (SA) de Hassi Messaoud.

II.2.1.1. Analyse granulométrique [NF P 18-560]

L'analyse granulométrique permet de mesurer la distribution dimensionnelle en poids des différents éléments constituant le sable.

La masse de l'échantillon pour l'essai de l'analyse granulométrique dépend des dimensions des éléments les plus gros qu'il contient.

A- Principe de l'essai

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 les classements des grains s'obtiennent par vibration de la colonne de tamis 10 minute.

B- But de l'essai

L'analyse granulométrique consiste à déterminer la distribution dimensionnelle des grains, en utilisant généralement les tamis 0.08, 0.160, 0.315, 0.63, 1.25, 2.5 et 5 mm (Photo II.1).



Photo II.1: les tamisages utilisés dans l'essai

Pour notre étude on a utilisé trois cas :

- 1^{er} cas : 100% sable de dune
- 2^{ème} cas : 100% sable alluvionnaire
- 3^{ème} cas : 60% sable alluvionnaire et 40% sable de dune

Les courbes granulométriques des différents granulats peuvent être déterminées par les résultats de l'essai de l'analyse granulométrique montrés sur les tableaux suivants :

1- 100% sable de dune

Tableau II.1 : Résultats d'analyse granulométrique du sable de dunes (100% SD)

Tamis (mm)	Refus cumulés (g)	Refus cumulés (%)	Tamisats cumulés (%)
5	0	0	100
2,5	0	0	100
1,25	0	0	100
0,63	0	0	100
0,315	65	6.50	94
0,16	759	82.40	18
0,08	179	100.3	0
Fond	0	0	0

La figure II.1, représente la courbe granulométrique de sable de dunes.

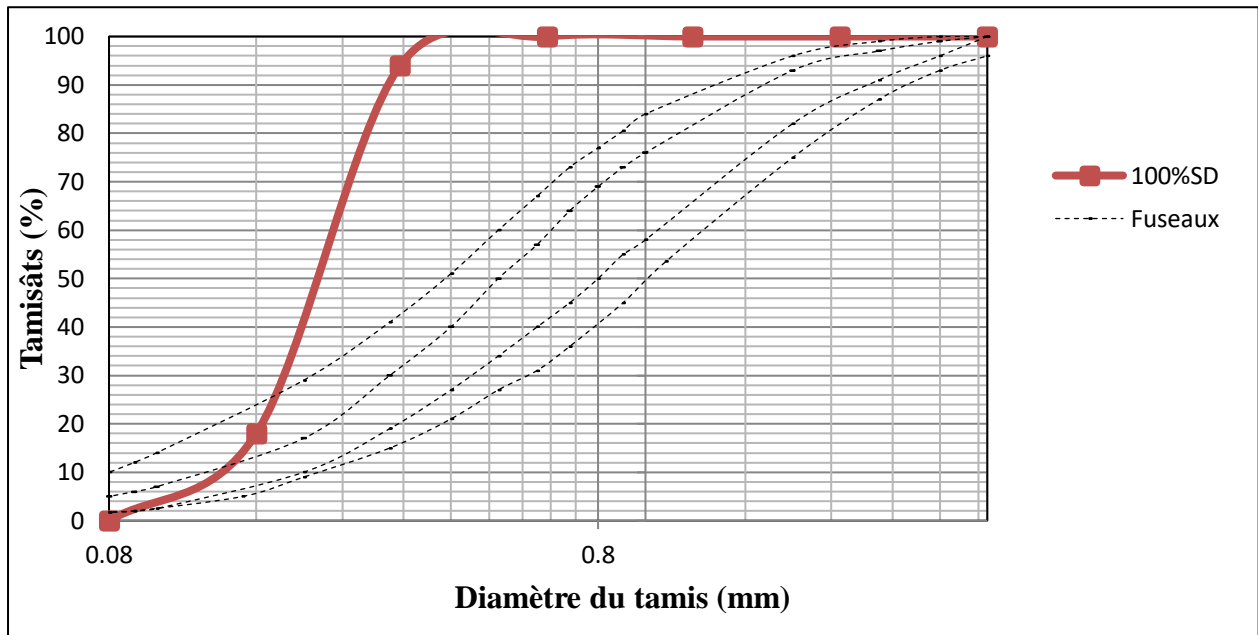


Figure II.1 : Analyse granulométrique (100 % sable de dune SD)

Figure II.1 représente la courbe d'analyse granulométrique 100 % SD, qui montre qu'il est sorte de courbe de sable normalisé.

2- 100% sable alluvionnaire

Tableau II.2: Résultats d'analyse granulométrique d'un sable alluvionnaire (100%SA)

Tamis (mm)	Refus cumulés (g)	Refus cumulés (%)	Tamisats cumulés (%)
5	9	0.90	99
2,5	0	7.20	93
1,25	63	31.30	69
0,63	241	72.50	28
0,315	412	90	10
0,16	175	94.40	6
0,08	44	97.80	2
Fond	34	0	0

La figure II.2 représente la courbe granulométrique du sable alluvionnaire.

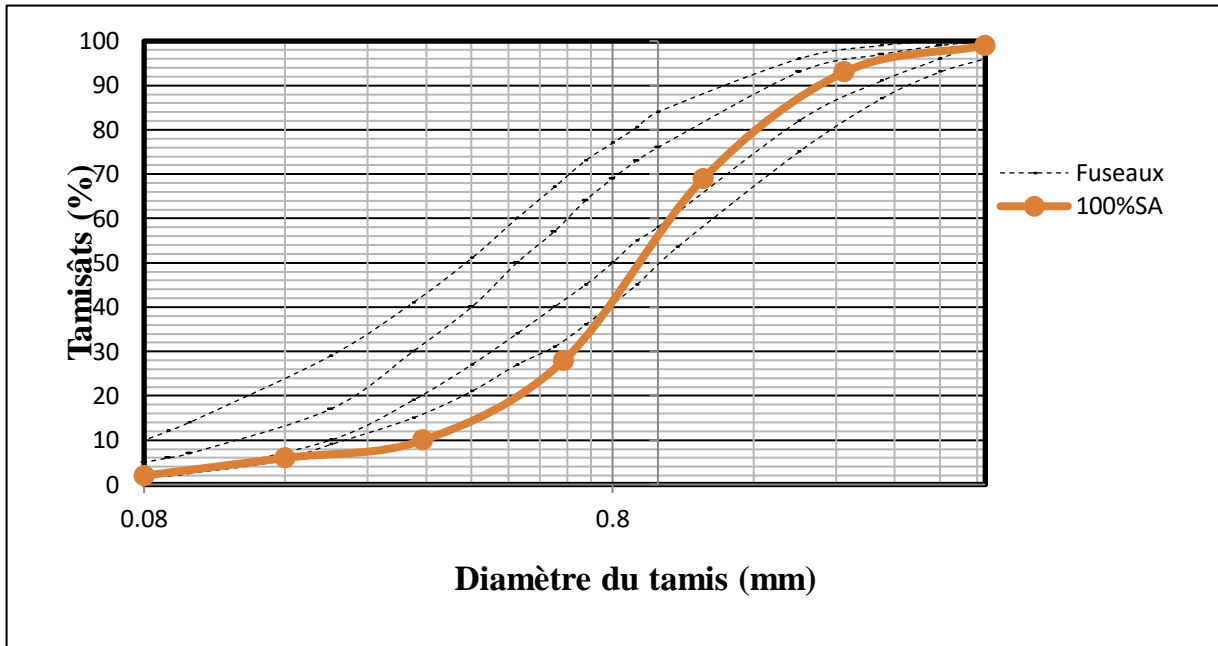


Figure II.2 : Analyse granulométrique (100 % sable alluvionnaire SA).

Figure II.2 représente la courbe d'analyse granulométrique 100 % SA, on remarque qu'il est dans les fuseaux de sable normalisé.

3- 60% sable alluvionnaire (SA) et 40% sable de dune (SD)

Tableau II.3 : Résultats d'analyse granulométrique de mélange 60% (SA) et 40% (SD)

Tamis (mm)	Refus cumulés (g)	Refus cumulés (%)	Tamisats cumulés (%)
5	0	0	100
2,5	27	2.70	97
1,25	132	15.90	84
0,63	283	44.20	56
0,315	131	57.30	43
0,16	303	87.60	12
0,08	98	97.40	3
Fond	16	0	0

La figure II.3, représente la courbe granulométrique du sable de dunes corrigé à 60% avec du sable alluvionnaire.

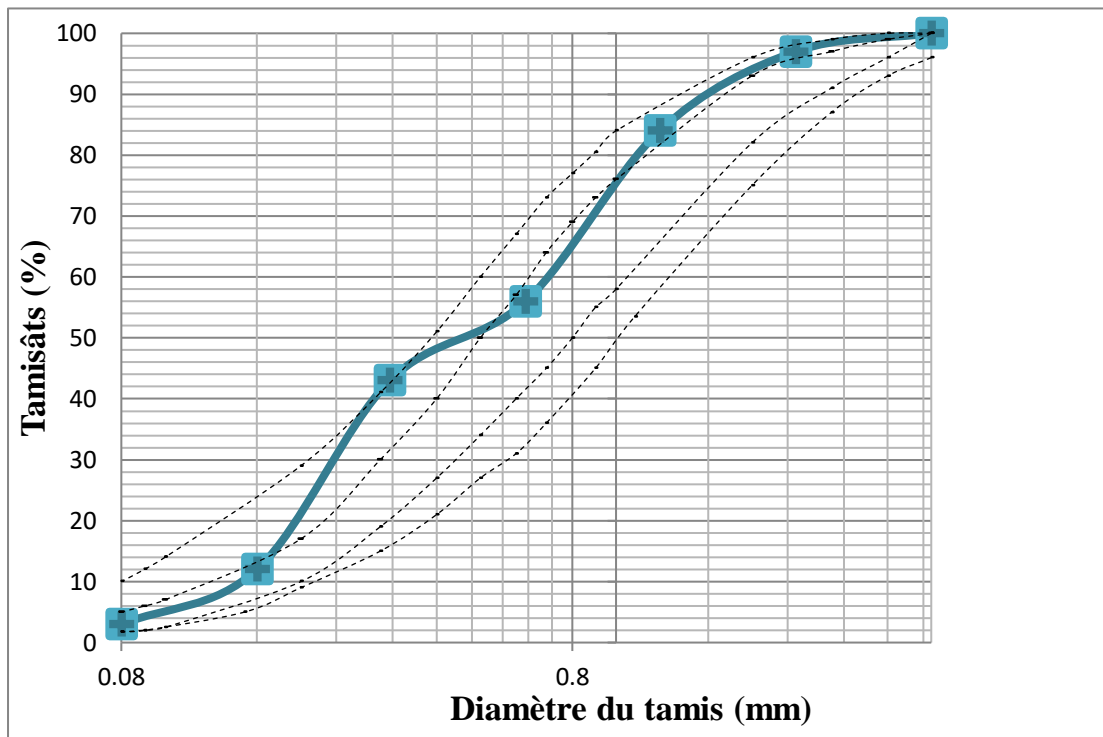


Figure II.3 : Analyse granulométrique du mélange 60% (SA) et 40% (SD).

Figure II.3 représente la courbe d'analyse granulométrique 60%SA +40 % SD, on remarque qu'il est dans les fuseaux de sable normalisé.

C- Module de finesse (NF P 18 304)

Le module de finesse d'un sable est égal au centième de la somme des refus exprimés en pourcentage pondéral sur les différents tamis de la série suivante : (5) – (2.5) – (1.25) – (0.63) – (0.315) – (0.16), il est donné par la relation suivant :

$$M_f = \frac{\sum R_c}{100} \dots \dots \dots (2.1)$$

Où :

R_c : Refus cumulé en (%).

- Classement du sable :
 - 1.8 et 2.2 : Sable un peu trop fin, c'est le fuseau B.
 - 2.2 et 2.8 : Sable préférentiel, c'est le fuseau A.
 - 2.8 et 3.2 : Sable un peu grossier, c'est le fuseau C.

Pour notre cas, les résultats obtenus sont représentés dans le tableau suivant:

Tableau II.4: Module de finesse des différents types de sable

Echantillons	Module de finesse (M_F)	Classement des sables
SD	0,89	Sable très fin (B)
SA	2,96	Sable un peu grossier (C)
60% SA+40% SD	2.08	Sable très fin (B)

II.2.1.2. Equivalent de sable

Il est défini par la norme NFP 18-598 ; cet essai permettant de mesurer la propreté d'un sable, est effectué sur la fraction d'un granulat passant au tamis à mailles carrées de 5mm. Il rend compte globalement de la quantité et de la qualité des éléments fin, en exprimant un rapport conventionnel volumétrique entre les éléments sableux qui sédimentent et les éléments fin qui flocculent.

A- But de l'essai

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

B- Principe de l'essai

L'essai est effectué sur la fraction 0/5 mm du matériau à étudier .Le tamisage se fait par voie humide afin de ne pas perdre d'élément fins. On lave l'échantillon, selon un processus normalisé, et on laisse reposer le tout. Au bout de 20 minutes, on mesure les éléments suivants :

h_1 : Hauteur du sable propre et élément fins

h_2 : Hauteur du sable propre seulement.

On détermine la valeur de l'équivalent de sable par la formule suivante :

$$ES = \frac{h_2}{h_1} \times 10 \dots \dots \dots (2.2)$$



Photo II.2: Essai d'équivalent de sable

Selon que la hauteur h_2 est mesurée visuellement ou à l'aide d'un piston, on détermine ES_v (équivalent de sable visuel) ou ES_p (équivalent de sable au piston).

Tableau II.5 : Nature et qualité du sable selon les valeurs d'équivalent de sable [CHABIA.R, 2016]

Equivalence de sable par piston et visuel	Nature et qualité du sable
$ES_p < 60$ $ES_v < 65$	" Sable argileux" risque de retrait ou de gonflement, à rejeter pour des bétons de qualité.
$60 \leq ES_p < 75$ $75 > ES_v > 65$	" Sable légèrement argileux" de propreté admissible pour béton de qualité quand on ne craint pas particulièrement de retrait.
$75 \leq ES_p < 85$ $80 > ES_v > 75$	" Sable propre" à faible pourcentage de fines argileuses convenant parfaitement pour les bétons de haute qualité.
$ES_p > 85$ $ES_v < 85$	" Sable très propre" l'absence presque totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau.

Les résultats de l'équivalent de sable obtenus sont représentés sur le tableau II.6

Tableau II.6 : Résultats de l'équivalent de sable

Sable de dune	ES_p	93.88%	Sable très propre
	ES_v	100%	
Sable alluvionnaire	ES_p	74.28%	Sable légèrement argileux
	ES_v	74%	

D'après les résultats du tableau II.6, on peut dire que :

- **Sable de dunes**

Sable très propres c'est-à-dire qu'il y a absence totale ou presque de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau.

- **Sable alluvionnaire**

Sable légèrement argileux de propreté admissible pour le béton de qualité quand on ne craint pas particulièrement le retrait.

II.2.1.3. Masse volumique apparente [Ghomari. F_Bendi. A]

Cette essai est défini selon la norme [NFP 18-554], il est déterminé par la formule suivante :

$$\rho_a = \frac{M}{V} \dots \dots \dots (2.3)$$

Où :

- ρ_a : Masse volumique apparente
- M : Masse de l'échantillon
- V : Volume de l'échantillon

Tableau II.7 : Résultats de la masse volumique apparente

Types de sable	ρ_a (g/cm ³)
Sable de dune	1.5
Sable alluvionnaire	1.91



Photo II.3: Essai de la masse volumique apparente

II.2.1.4. Masse volumique absolue

Cet essai est régi par la norme NFP 18-301 ; elle est définie comme étant la masse par l'unité de volume de la matière qui constitue le granulat sans tenir compte des vides pouvant exister entre les grains [DUPAIN. R et al.].

A-But de l'essai

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

B-Mode d'opération [Ghomari. F_ Bendi. A]

Mettre dans une éprouvette graduée un volume V_1 (100 ml) d'eau.

- Introduire dans une éprouvette une masse M du sable (100g), en veillant bien à l'élimination des bulles d'air.
- Après on procède à la lecture du nouveau volume V_2 .

La formule qui nous permet la détermination de la masse volumique est :

$$\rho_s = \frac{M}{V_2 - V_1} \dots \dots \dots (2.4)$$

Où :

- ρ_s : Masse volumique absolue
- M_s : Masse des grains solides
- V_1 : Volume de l'eau
- V_2 : Volume total (grains solide + eau)

Tableau II.8: Résultats de la masse volumique absolue

Types de sable	ρ_s (g/cm ³)
Sable de dune	2.66
Sable alluvionnaire	2.62

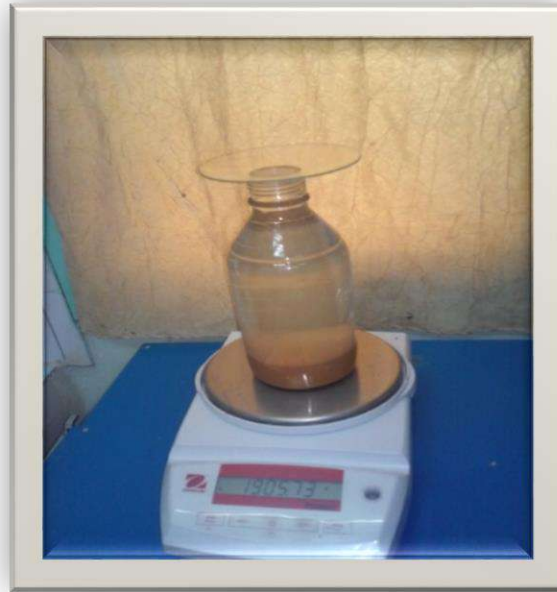


Photo II.4: essai de la masse volumique absolue

II.2.2. Ciment

Dans cette étude nous utilisons un ciment de type (ELMATIN) avec les caractéristiques suivantes :

II.2.2.1. Caractéristiques chimiques

L'analyse chimique du ciment utilisé a révélé l'existence des éléments qui sont présentés en pourcentage massique dans le tableau suivant :

Tableau II.9 :L'analyse chimique du ciment [F. T. M]

Si O ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Ca O	Mg O	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	PAF
18.88	4.36	3.10	62.23	1.43	2.70	0.28	0.58	6.50

II.2.2.2. Caractéristiques mécaniques

Le tableau suivant résume certaines caractéristiques mécaniques de ciment utilisé.

Tableau II.10 : Caractéristiques physiques et mécaniques de ciment utilisé [GUERMITI.L, 2013]

Propriétés physiques et mécaniques	CPJ-CEM II /B-L
Début de prise heure/min	2.45
Fin de prise heure/min	3.50
R _{C28} (MPa)	≥ 42.5
R _{t28} (MPa)	4.3

II.2.3. Eau de gâchage

Pour ce travail nous avons utilisé l'eau du laboratoire de génie civil université d'Ouargla.

Tableaux II.11 : Analyse chimique de l'eau du laboratoire

Paramètres physiques –chimiques	CON	N .A	Minéralisation-Globale	CON	N .A
PH		6.5-8.5	Calcium ca ² mg/l	240.48	200
Potentiel redox ELV Mv			Magnésium Mg ² mg/l	161.81	150
Conductivité à 25°C ps/cm	4600	2800	Sodium Na mg/l	400	200
Turbidité mg/l			Potassium K mg/l	23	20
T.D.S % mg/l	0.172	5	Chlorures cl ⁻ mg/l	998.03	500
Salinité			Sulfat so ₄ mg/l	720	400
Oxygène dissous mg/l	2300		Biearlonate Hco ₂ mg/l	184.92	
CO. Libre	2.3	8	Carbonate co ₃ mg/l		
Résidu sec à 150°C mg/l			Silicate Sio ₂ mg/l		
MES à 105°C mg/l	3076	2000	Dureté totale(HT) caco ₃ mg/l	1270	500
			Dureté l'ennennte caco ₃ mg/l		
			Titre alcalin caco ₃ mg/l		
			Titre alcalin complet caco ₃ mg/l	151.57	
Paramètres pollution	CON	N .A	Paramètres indésirables	CON	N .A
Ammonium NH mg/l	0.087	0.5	Fer total mg/l		0.3
Nitrite NO mg/l	00	0.1	Fer fe ² mg/l	00	0.3
Nitrite NO ₂ mg/l	0	5	Fer fe ³ mg/l		0.3
Orthophosphate mg/l	00	05	MagnanéseM ² n mg/l		0.3
Mal-oxyd-M-Acide mg/l	00		Aluminium Al ³ mg/l		0.5
			Fluore f mg/l		
Analyses fines		N .A	Paramètres Bactériologiques		N .A
DBO mg/l			Germes totaux		
DCO mg/l		0.05	A		
Plomp pb mg/l		0.01	A	00	
Nickel Ni mg/l		0.05	Colififormes totaux	00	
Cadmiumcd mg/l		0.005	Echerichea-coli	00	
Chrome cr mg/l			Sireptocoques fécaux	brute	
cuivre mg/l			Clostridium sulf-red		
			Chlore résiduel libre		

II.2.4. Adjuvant

Un adjuvant est un produit d'addition destiné à améliorer les caractéristiques d'un béton hydraulique. Il ya plusieurs types d'adjuvants :

- accélérateur de durcissement
- hydrofuge de masse
- antigel
- agent de cure interne

- agent hydrophobe
- retardateur de prise
- les entraîneurs d'air

Dans ce travail, nous avons utilisé un plastifiant réducteur d'eau nommé Medafluid 40, comme il est indiqué sur la photo II.5.



Photo II.5: Adjuvant utilisé dans la confection du béton

II.2.5. Les ajout minéral

A- Classification des ajouts minéraux

- Pouzzolane
- Pouzzolane artificielle
- Le laitier de haut fourneau
- Les cendres volantes
- Fillers calcaires
- La poussière

Dans ce travail, nous avons utilisé la fumée de silice. Les fumées de silice sont des particules très fines (taille moyenne des graines environ $1\mu\text{m}$) présentant une très forte teneur en silice amorphe. Elles proviennent de la réduction de quartz de grande pureté par du charbon dans les fours à arc électrique utilisés pour la production de silicium et d'alliage Ferro silicium. Le but du choix de ce type d'ajout est pour améliorer les propriétés du béton.

Les caractéristiques principales des fumées de silice sont :

- Etat physique :Poudre
- Couleur :.....Argent
- Granulométrie :..... 0,05 à 0,15 μm

- Densité (g/cm³ à 20°C) :.....environ 0,3
- Solubilité dans l'eau :.....Insoluble

La Composition chimique de la fumée de silice est représentée dans le tableau II.11.

Tableau II.12: Composition chimique de la fumée de silice utilisée.

Composés	Silicium (grise)	Ferro-silicium (grise)	Blanche
SiO ₂	93.7	87.3	90
Al ₂ O ₃	0.6	1.0	1.0
CaO	0.2	0.4	0.1
Fe ₂ O ₃	0.3	4.4	2.9
MgO	0.2	0.3	0.2
Na ₂ O	0.2	0.2	0.9
K ₂ O	0.5	0.6	1.3
Pertes au feu	2.9	0.6	1.2

B- L'utilisation des fumés de silice :

- Bétons et mortiers à haute résistance mécanique
- Bétons et mortiers à haute imperméabilité.
- Bétons pré comprimés résistants à l'action chimique.
- Bétons et mortiers pour utilisation sous-marine, spécialement en milieu agressif.
- Mortiers thixotrope pour réfection et réparation.
- Elle est utilisé aussi dans toutes les configurations où il est demandé aux mortiers ou aux bétons des caractéristiques supérieures, telles que : Résistances mécaniques et les résistances chimiques.
- Les fumés de silice sont aussi utilisés pour réduire le ressuage des bétons.

C- Le dosage

La marge de dosage moyenne est de 3 à 5 % du poids du ciment en fonction du mélange et des caractéristiques voulues. D'autres dosages peuvent être utilisés, après des essais préliminaires.



Photo II.6: L'ajout minéral utilisé

II.3. Essais de maniabilité

La maniabilité est une propriété physique spécifique du béton sans tenir compte des conditions particulières d'utilisation pour un type donné d'application. Elle est définie comme étant la propriété d'un mortier ou d'un béton fraîchement malaxé qui définit la facilité et l'homogénéité à être malaxé, mis en place, serré et fini [BELFRRAG.A, 2006]

Le béton de sable demande une quantité d'eau élevée par rapport au béton ordinaire ceci se traduit par des valeurs du rapport E/C. Cette particularité est due à une surface spécifique plus importante du mélange. Sachant que la granulométrie jouera aussi sur le besoin en eau, plus le sable est riche en éléments grossiers, plus la maniabilité s'améliore. Ceci se traduit par la relation entre le module de finesse et la maniabilité. Elle nous permis d'apprécier la fluidité d'un béton de sable qu'est l'objet des essais définis par les normes NF P 18 - 452 et NF P 15 -437 [DUPAIN. R et al.]

II.3.1. Principe de l'essai

L'essai a pour but de connaître la consistance et la fluidité du béton c'est-à-dire le temps que met le mortier pour s'écouler sous l'effet d'une vibration.

- L'appareil utilisé

Appelé Maniabilimètre (Photo II.7), il consiste en un boîtier parallélépipédique métallique (7.5cm x 7.5cm x 15cm), posé sur des supports en caoutchouc, équipé d'un vibreur et muni d'une cloison amovible.



Photo II.7: Essai de Maniabilimètre

❖ Conduite de l'essai :

Comme Le mortier est introduit dans la partie désigné sur la photo II.7, délimitée par la cloison et mis en place par piquage en quatre couches. Quatre minutes après la fin du malaxage, la cloison est retirée, provoquant la mise en route du vibreur et le déclenchement d'un chronomètre par l'opérateur. Sous l'effet de la vibration le mortier s'écoule, le chronomètre est arrêté une fois 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, Comme illustré au tableau.

Tableau II.13 : Classe de consistance selon la durée d'écoulement.

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

Le tableau suivant résume les résultats obtenus après les essais de maniabilité pour le béton sans et avec ajout minéral (fumée de silice) pour les trois dosages [3%, 4% et 5%]

Tableau II.14 : Composition de béton de sable avec et sans ajout

CAS	E/C	C (Kg)	S (Kg)		E (l)	Fume de silice		PLAST
			SA	SD		%	(Kg)	%
C1	0,62	458,87	0	1376,62	284,50	0	0	0
C2	0,44	477,48	859,46	572,97	210,09	0	0	0
C1A1-3%FS	0,62	445,1	0	1376,62	284,50	3	13,77	0
C2A1-3%FS	0,44	463,16	859,46	572,97	210,09	3	14,32	2.5
C1A2-4%FS	0,62	440,51	0	1376,62	284,50	4	18,36	0
C2A2-4%FS	0,44	458,38	859,46	572,97	210,09	4	19,10	2.5
C1A3-5%FS	0,62	435,93	0	1376,62	284,50	5	22,94	0
C2A3-5%FS	0,44	453,61	859,46	572,97	210,09	5	23,87	2.5

II.4. Conclusion

Le travail présenté dans ce chapitre traite les caractéristiques des matériaux utilisés pour la formulation du mélange, les conclusions qu'on peut tirer de cette caractérisation sont :

- Le sable alluvionnaire provenant de Hassi Messoud présente une granulométrie étalée qui s'inscrit dans le fuseau recommandé pour les bétons ordinaires.
- Pour le sable de dune (Sidi Khouiles), il est caractérisé par une granulométrie serrée situé en dehors du fuseau recommandé pour les sables.
- Le mélange (60% SA et 40% SD) donne un module de finesse acceptable et sa courbe granulométrique s'inscrit dans le fuseaux de sable normalisé.

III.1. Introduction

Le but de cette recherche expérimentale est de trouver la formulation optimale du béton de sable dans le cadre de valorisation des matériaux locaux (sable de dune, adjuvants et ajouts minéraux).

De façon générale, le programme expérimental de ce mémoire est d'étudier l'effet des différents paramètres sur les caractéristiques mécaniques du béton de sable et de rechercher une formulation optimale du béton de sable. Nous avons utilisé comme ajout minéral la fumée de silice.

Pour cela nous allons présenter les résultats expérimentaux des tests réalisés sur les bétons de sable avec et sans ajout minéral.

III.2 Résistances mécaniques[EN 196-1]

Les essais de flexion et de compression sont effectués sur des éprouvettes prismatiques ($4 \times 4 \times 16$) cm³, pour différents échéanciers (7, 14, 21 et 28 jours).

III.2.1. Résistance de traction par flexion [Ghomari.F_Bendi.A]

Cet essai est réalisé par[EN 196-1] une machine désignée pour les tests de flexion, pour la détermination de la résistance à la flexion, nous avons utilisé la méthode de la charge concentrée à mi portée au moyen du dispositif de flexion normalisé.

❖ Principe de l'essai

- Placer le prisme dans le dispositif de flexion avec une face latérale de moulage sur les rouleaux d'appui et son axe longitudinal perpendiculaire à ceux-ci.
- Appliquer la charge verticalement par le rouleau de chargement sur la face latérale opposée du prisme et l'augmenter de $50 \text{ N/s} \pm 10 \text{ N/s}$, jusqu'à la rupture.

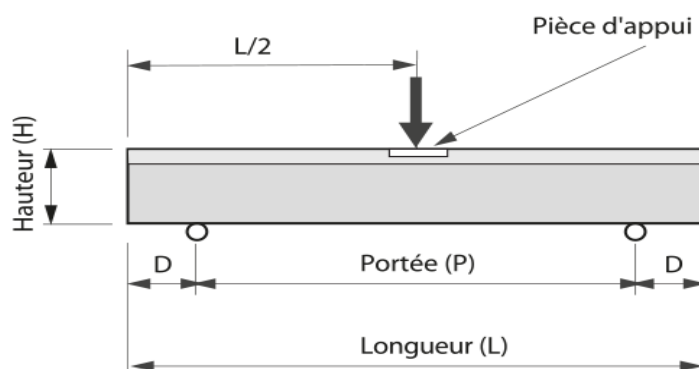


Figure III. 1 : Essai de résistance à la flexion

La résistance en flexion R_f (en N/mm) est calculée au moyen de la formule :

$$R_f = \frac{1.5 \cdot F_f \cdot l}{b^3} \dots \dots \dots (3.1)$$

Où :

- R_f : Résistance à la flexion en (MPa).
- F_f : Charge de rupture de l'éprouvette en flexion (N).
- l : Longueur total d'éprouvate.
- b : Côte de l'éprouvette est égale à 40 mm.



Photo III.1 : Appareil de traction par flexion

III.2.2. Résistance à la compression [Ghomari.F_Bendi.A]

❖ Principe de l'essai

- Centrer chaque demi-prisme latéralement par rapport aux plateaux de la machine à ± 0.5 mm près et longitudinalement de façon que le bout du prisme soit en porte-à-faux par rapport aux plateaux d'environ 10 mm. [EN 196-1]
- Augmenter la charge avec une vitesse providence durant toute l'application de la charge jusqu'à la rupture.

La résistance à la compression R_c (en N/mm²) est calculée au moyen de la formule :

$$R_c = \frac{F_c}{b^2} \dots \dots \dots (3.2)$$

Où :

- R_c : Résistance à la compression en (MPa) ;

- F_c : Charge de rupture en (N) ;
- b : Côte de l'éprouvette est égale à 40mm.

Figure III.2 : Dispositif de l'essai de résistance à la compressio

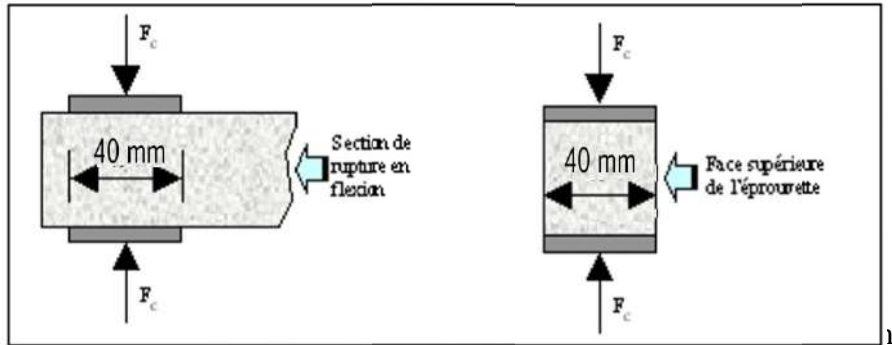


Photo III.2 : Appareil utilisée pour l'essai de compression

III.3 Préparation de l'échantillon

La préparation des échantillons se fait suivant les étapes suivantes :

- Premièrement, on mélange le sable et le ciment ensuite on rajoute la fumée de silice et enfin, on procède au mélange de l'ensemble avec l'ajout d'eau de gâchage et le super plastifiant ;
- Puis vient l'étape de remplissage des moules suivi de vibration du béton suivant deux couches ;
- Ensuite séchage des éprouvettes pendant 24 heures ;
- Finalement, la conservation des éprouvettes dans l'eau pendant 14 jours.



Photo II.3: Table de vibration



Photo III.4: Conservation des éprouvettes dans l'eau

III.5. Conclusion

D'après les résultats obtenus dans ce chapitre, nous pouvons conclure ce qui suit :

- La correction du sable de dune en utilisant le sable alluvionnaire nous donne une résistance à la compression et à la traction par flexion élevées par rapport au béton 100% SD.
- L'incorporation de la fumée de silice au ciment CPJ s'avère bénéfique, ce qui témoigne de l'effet positif de la fumée de silice sur la cinétique de l'hydratation du ciment.
- L'ajout de la fumée de silice participe à l'amélioration de la résistance mécanique du béton de sable.

Conclusion générale

Un des arguments souvent avancé en faveur de l'utilisation des ajouts minéraux est l'économie de l'énergie ainsi que la préservation des ressources naturelles comparativement à l'utilisation du ciment seule.

Après les essais sur le béton de sable de dune avec ajout minérale (fumé de silice). Sachant que le sable de dunes présente une granulométrie avec un module de finesse de l'ordre de 0.89 (très fin) de ce fait, nous avons procédé à la correction de ce dernier par un sable alluvionnaire ayant un module de finesse de l'ordre de 2.96. En effet, plusieurs corrections de sable de dunes ont été effectuées pour adopter la formulation appropriée.

Dans ce travail nous avons donné un concept général sur les bétons de sable. et d'après la description des constituants du béton de sable, on a pu les définir, ensuite décrire leurs propriétés spécifiques (maniabilité et granularité fine), et on a expliqué ce qui différencier le béton de sable d'un mortier.

Grâce aux résultats de mon expérience de la résistance de la traction et de la pression peut être fondée sur des dunes de sable béton soutenus par des ajouts minéraux pour la construction dans les zones désertiques.

Avec l'ajout minéral (fumé de silice) dans la composition du béton de sable de dunes, pour une éventuelle amélioration des caractéristiques mécaniques. Nous avons conclu ce qui suit :

- ❖ La correction de sable de dunes avec le sable alluvionnaires augmente la résistance du mortier ;
- ❖ Plusieurs formulations avec différents dosage de fumé de silice (3%, 4% et 5%) ont été faites. Le taux de 4% de fumé de silice à un effet très efficace sur la résistance des mortiers à 28 jours ;
- ❖ La quantité de l'ajout minérale influe sur la composition de béton de sable de dune ;

- ❖ La correction granulaire avec l'ajout du super plastifiant a permis d'atteindre des résistances mécaniques remarquables.

Recommandations

Pour des études future, nous recommandons l'étude des caractéristiques rhéologique de béton de sable de dunes retrait et fluage

Références bibliographiques

A

[Achoura, 2005] Achoura. D., «*Contribution à l'étude de la formulation et de la caractérisation des bétons de sable à base de laitiers de hauts fourneaux d'El-Hadjar*», thèse de doctorat, Université Badji - Mokhtar, Annaba, Algérie, (2005) 175p.

AYACHI, Amor Mohamed, 2011. Etude des propriétés mécaniques du béton de sable de dunes ; mémoire mastère ; Université Ouargla.

[Ambroise et Pera, 1992] Ambroise. J., Pera. J., «*Relation entre les caractéristiques des fillers et les bétons de sable dans lesquels ils sont employés*», rapport de recherche, INSA de Lyon, France,(1992).

B

[Ben Amara, 2002] Ben Amara. D., «*Formulation et comportement d'un béton de sable de la région de Biskra renforcé de fibre métallique*», mémoire de magister, Université de Annaba, Algérie, (2002).

[Benachour, 2009] Benachour. Y., «*Analyse de l'influence de l'ajout de taux élevée de fillers calcaires sur les propriétés physiques, mécaniques, microstructurales, de transfert et de durabilité des mortiers*», thèse de doctorat, université Mentouri, Constantine, Algérie, (2009), 148p.

BABA ARBI ,A et MANSOUR. N ,2016. Comportement du béton de sable de dunes renforcé par des fibres métalliques soumis à haute température; mémoire mastère ; Université Ouargla.

BELHOCINE A et NAGOUDI .N,2014. Etude expérimentale d'un mortier avec ajouts minéraux; mémoire mastère ; Université Ouargla.

BELFERRAG, Alloua, 2006. Valorisation des fibres métalliques issues des déchets pneumatiques dans les bétons de sable de dunes, Thèse de Magister, Université de Ouargla.

BANTATA, A, 2004. Etude expérimentale d'un béton avec sable de dune de la région d'Ouargla (Ain El Beida), Mémoire de magister, Université de Ouargla.

C

CHABIA, Raihana, 2016. Contribution à l'étude des caractéristiques physico-mécaniques de béton se sable de dunes et l'influence de milieux de coacervation, mémoire mastère, Université Ouargla.

CIM Béton, (1995), Les béton de sable en structure de chaussées, centre d'information sur le ciment et ses applications, Paris, France.

D

[Dreux et Festa, 1998] Dreux. G., Festa. J., «*Nouveau guide du béton et de ses constituants*», 8^e édition, Eyrolles, (1998), 416p.

DUPAIN, R, LANCHON. R, J. C. SAINT ARROMAN, 1995. granulats, sols, ciments et bétons – caractérisation des matériaux de génie civil par les essais de laboratoire, Editioncastilla – 25, rue rouge-75005.

S

[Sablocrete, 1994] «*Sablocrete, béton de sable : caractéristiques et pratiques d'utilisation*», presses de l'école nationale des ponts et chaussées, France,(1994) 230p.

[site]: chapitre 03 les ajouts minéraux

G

[Ghomari.F_Bendi.A]: Science des matériaux de construction

F

[ficher technique]: fumé de silice

FICHE DE QUALITE "Ciment CPJ – CEM II / 42.5A", Conformément à la norme NA 442, Edition, 2000.

N

[NAFE] : Etude des caractéristiques mécanique de sable de béton sous l'effet d'adjuvant

Norme française, Analyse granulométrique par tamisage, NF P 18-560, Septembre 1990).

Norme française, Équivalent de sable, NF P 18-598, Octobre 1991.

Norme française, Module de finesse, NF P 18-304

Norme française, maniabilimètres, NF P 18-452, Mai 1988

[EN 196-1]