



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR

ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA

Faculté des Sciences appliquées

Département de Génie Civil et Hydraulique

Mémoire

MASTER ACADEMIQUE

Domaine :Génie Civil

Filière :Génie Civil

Spécialité: ECBR

Présenté par:

MILOUDI Kheira et FAROUROU Zoubeida

Thème:

**Etude de l'influence de fumée de silice sur les caractéristiques
rhéologiques (retrait) du béton de sable de dunes**

Soutenu publiquement le : 15/06/2023

Devant le jury composé de:

<i>M^r</i> . ABDELJOUAD Lokman	MCB (UKM Ouargla)	Président
<i>M^r</i> . KENNOUCHE Samir	Magister (UKM Ouargla)	Examineur
<i>M^r</i> . BELFERRAG Allaoua	MCA (UKM Ouargla)	Encadreur
<i>M^{elle}</i> . MEZIANI Nedjma	MAA (UKM Ouargla)	Co-Encadreur

Année Universitaire : 2022/2023



Dédicace

*Je tiens à exprimer ma gratitude à mes encadreurs de mémoire, **M^{elle}. MEZIANI NEDJMA** et **Mr. BELFERAG ALLAOUA**, et à les remercier pour la supervision, les conseils, l'assistance et les conseils qu'ils m'ont prodigués.*

J'adresse mes sincères remerciements à tous les professeurs, intervenants et à toutes les personnes qui, par leurs paroles, écrits, conseils et critiques, ont guidé mes réflexions et accepté de me rencontrer et de répondre à mes questions lors de mes recherches.

Je remercie mes chers parents et mon mari, et mes amis qui ont toujours été là pour moi. Leur soutien inconditionnel et leurs encouragements ont été d'une grande aide.

À tous ces orateurs, j'adresse mes remerciements, mon respect et ma gratitude.

Enfin, je dédie cet humble travail à mes chers enfants Renad et Zohir et à mon amie Zoubeida qui m'a accompagnée dans ce travail.

Kheira.

Dédicace

*Je tiens à exprimer ma gratitude à mes encadreurs de mémoire, **M_{elle}. MEZIANI NEDJMA** et **Mr. BELFERAG ALLAOUA**, et à les remercier pour la supervision, les conseils, l'assistance et les conseils qu'ils m'ont prodigués.*

J'adresse mes sincères remerciements à tous les professeurs, intervenants et à toutes les personnes qui, par leurs paroles, écrits, conseils et critiques, ont guidé mes réflexions et accepté de me rencontrer et de répondre à mes questions lors de mes recherches.

Je remercie mes chers parents et mes chers frères, et mes amis chacun par son nom qui ont toujours été là pour moi. Leur soutien inconditionnel et leurs encouragements ont été d'une grande aide.

À tous ces orateurs, j'adresse mes remerciements, mon respect et ma gratitude.

Enfin, je dédie cet humble travail à mon amie Kheira qui m'a accompagnée dans ce travail.

Loubeïda.

Résumé

Ce travail consiste à étudier l'effet de l'addition minérale sur les propriétés mécaniques et rhéologiques du béton de sable de dunes, deux compositions de sable à savoir : 50% de sable de dunes (SD) + 50% de sable alluvionnaire (SA) et 40% SD + 60% SA ont été utilisé ainsi que l'ajout de fumé de silice avec les proportions 3, 5 et 10 % pour la formulation de béton de sable de dunes. Le meilleur résultat à la fois en compression et en traction est obtenu par le mélange B3 ayant comme formulation 40% SD + 60% SA et un pourcentage de fumée de silice de 10%. C'est tout à fait le contraire pour le retrait où l'ajout de ce dernier a un effet négatif sur les bétons.

Mots clés: béton de sable, sable de dunes, sable alluvionnaire, fumé de silice, propriétés mécaniques, propriété rhéologique

ملخص

يهدف هذا العمل لدراسة تأثير إضافة المعادن على الخصائص الميكانيكية والريولوجية لخرسانة الكثبان الرملية ، وقد تم استعمال تركيبين وهما : 50% رمل كثبان (SD) + 50% رمل الوديان (SA) و 40% SD + 60% SA. بالإضافة إلى استعمال دخان السيليكا بنسب 3 و 5 و 10% لتركيبية الخرسانة الرملية. وتم الحصول على أفضل نتيجة في كل من الضغط والتوتر بواسطة الخليط B3 الذي يحتوي على 40% SD + 60% SA ونسبة مئوية من دخان السيليكا بنسبة 10%. وهذا بالعكس تماما بالنسبة للانكماش حيث أن إضافة هذا الأخير له تأثير سلبي على الخرسانة.

الكلمات المفتاحية: الخرسانة الرملية ، رمل الكثبان ، رمل الوديان ، دخان السيليكا ، الخصائص الميكانيكية ، الخصائص الريولوجية.

Abstract

This work consists in studying the effect of mineral addition on the mechanical properties and rheology of dune sand concrete. Two sand compositions namely: 50% dune sand (DS) + 50% alluvial sand (AS) and 40% DS + 60% AS were used as well as the addition of silica fume with the proportions of 3, 5 and 10% for the dune sand concrete formulation. The best result both in compressive strength and tensile strength is obtained by the mixture B3 having as formulation 40% DS + 60% AS and a percentage of silica fume of 10%. Contrary for the shrinkage, the addition of silica fume has a negative effect on the concretes.

Key words: sand concrete, dune sand, alluvial sand, silica fume, mechanical properties, rheological property

LISTE DES TABLEAUX

Chapitre II : Caractérisation des matériaux utilisés	
Tableau II.1: L'analyse chimique du ciment	09
Tableau II.2: Caractéristiques physiques et mécaniques de ciment	09
Tableau II.3. Caractéristiques de l'adjuvant	10
Tableau II.4. Caractéristiques de fumée de silice	11
Tableau II.5: Module de finesse de différents échantillons	15
Tableau II.6: Résultats des l'essai de bleu de méthylène.	16
Tableau II.7: Résultats de l'équivalent des sables utilisé	17
Tableau II.8 : Les valeurs préconisées pour l'équivalent de sable	18
Tableau II.9 : Formulation de béton de sable	19

LISTE DES FIGURES

Chapitre I : Recherche bibliographique	
Figure I.1: Courbe contrainte déformation en compression simple	5
Figure I.2: Comportement du béton en traction simple	6

Chapitre II : Caractérisation des matériaux utilisés	
Figure II.1 : Courbes d'analyse granulométrique	14
Figure II.2 : Essai d'équivalent de sable	17
Figure II.3: Principe de fonctionnement du maniabilimètre	19
Figure II.4: Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion	21
Figure II.5: Dispositif de rupture en compression	22

Chapitre III: Résultats et discussion	
Figure III.1: Résistance à la compression des bétons sans ajout de fumée de silice à 28 jours	24
Figure III.2: Résistance à la compression des bétons avec et sans ajout de fumée de silice à 28 jours	25
Figure III.3: Résistance à la traction par flexion des bétons sans ajout de fumée de silice à 28 jours	26
Figure III.4: Résistance à la traction par flexion des bétons avec et sans ajout de fumée de silice à 28 jours	27
Figure III.5: Retrait des bétons B1, B2 et B3 sans ajout de fumée de silice en fonction du temps	28
Figure III.6: Retrait des bétons B1 avec et sans fumée de silice en fonction du temps	29
Figure III.7: Retrait des bétons B2 avec et sans fumée de silice en fonction du temps	29

Figure III.8: Retrait des bétons B3 avec et sans fumée de silice en fonction du temps	29
Figure III.9: Perte en poids des bétons sans fumée de silice en fonction du temps	30
Figure III.10: Perte en poids des bétons B1 avec et sans fumée de silice en fonction du temps	30
Figure III.11: Perte en poids des bétons B2 avec et sans fumée de silice en fonction du temps	31
Figure III.12 : Perte en poids des bétons B3 avec et sans fumée de silice en fonction du temps	31

LISTE DES PHOTOS

Chapitre II : Caractérisation des matériaux utilisés	
Photo II.1: Ciment el MATINE	10
Photo II.2: Adjuvant utilisé	10
Photo II.3: Fumée de silice utilisée	11
Photo II.4: sable de dune [18] et sable alluvionnaire utilisé	11
Photo II.5: Essai de la masse volumique apparente	12
Photo II.6: Essai de la masse volumique absolue	13
Photo II.7: Les tamis utilisés dans l'essai d'analyse granulométrique	14
Photo II.8: Essai de bleu de méthylène	16
Photo II.9: Maniabilimètre	20
Photo II.10: Les étapes de préparation des éprouvettes	20
Photo II.11: L'essai de la résistance à la flexion	21
Photo II.12: Appareil de compression	22
Photo II.13: Les éprouvettes de retrait	23
Photo II.14: Rétractomètre	23

Table de matières

Dédicace	I
Résumé	III
Liste des tableaux	IV
Liste des figures	IV
Liste des photos	V
Introduction générale	1

Chapitre I : Recherche bibliographique

I.1. Introduction	2
I.2. Béton de Sable	2
I.3. Constitutions du béton de sable	2
I.3.1. Le ciment	2
I.3.2. Sable	3
I.3.3. L'eau de gâchage	3
I.3.4. Les Adjuvants	3
I.3.5. Les Ajouts	4
I.3.6. Fumée de silice	4
I.4. Les propriétés mécaniques de béton	4
I.4.1. Résistance à la compression	4
I.4.2. Résistance à la traction par flexion	5
I.5. Les caractéristiques rhéologiques de béton (Retrait)	6
I.5.1. Les types de retrait	6
I.5.2. Les facteurs affectant le retrait	6
I.6. Conclusion	7

Chapitre II : Caractérisation des matériaux utilisés

II.1. Introduction	9
II.2. Caractéristiques des matériaux	9
II.2.1. Ciment	9
II.2.1.1. Caractéristiques chimiques	9
II.2.1.2. Caractéristiques mécaniques	9
II.2.2. Eau de gâchage	10
II.2.3. Adjuvant	10

II.2.4. L'ajout minéral (Fumée de silice)	11
II.2.5. Sable	11
II.2.5.1. Masse volumique apparente (NFP 18-554).	12
II.2.5.2. Masse volumique absolue (NFP 18-301)	12
II.2.5.2.1. But de l'essai	12
II.2.5.2.1. Mode opératoire	13
II.2.5.3. Analyse granulométrique (NFP18-560)	13
II.2.5.3.1. But de l'essai	13
II.2.5.3.2. Principe de l'essai	14
II.2.5.3.3. Le Module de Finesse (MF)	15
II.2.5.4. Essai au bleu de méthylène (NF P 94-068)	15
II.2.5.4.1. But de l'essai	15
II.2.5.4.2. Principe de l'essai	15
II.2.5.5. Equivalent de sable (NFP18598)	16
II.2.5.5.1. But de l'essai	16
II.2.5.5.1. Principe de l'essai	16
II.3 Formulation et préparation des bétons de sable	18
II.4. Essais physiques, mécaniques et rhéologique.	19
II.4.1. Essais de maniabilité	19
II.4.1.1. Principe de l'essai	19
II.4.2. Essais de résistances mécaniques	20
II.4.2.1. Préparation des éprouvettes	20
II.4.2.2. Conservation des éprouvettes	20
II.4.2.3. Résistance à la traction par flexion	20
II.4.2.4. Résistance à la compression	21
II 4.3. Essai de retrait	22
II.5. Conclusion	23

Chapitre III: Résultats et discussion

III.1 Introduction	24
III.2 Résistance mécanique	24
III.2.1 Résistance à la compression	24
III.2.1.1. Effet de la correction granulométrique sur la résistance à la compression	24
III.2.1.2. Effet de l'ajout de fumée de silice sur la résistance à la compression	25

III.2.2. Résistance à la traction par flexion	26
III.2.2.1. Effet de la correction granulométrique sur la résistance à la traction	26
III.2.2.2. Effet de l'ajout de fumée de silice sur la résistance à la traction par flexion	27
III.3. Retrait	27
III.3.1. Effet de la correction granulométrique sur le retrait	28
III.3.2. Effet de l'ajout de fumée de silice sur le retrait	28
III.4. Perte en poids	30
III.5. Conclusion	32
Conclusion générale	34

Introduction générale

L'utilisation de béton dans la construction a connu un intérêt très important de la part des constructeurs dès le début de son invention jusqu'à nos jours, car l'utilisation de ce dernier a offert des avantages tels que la rapidité dans l'exécution, la sécurité, la durabilité et l'amélioration du confort à l'intérieur des installations.

La fabrication d'un béton ayant des propriétés importantes, fait l'objet de beaucoup de recherches et d'études dans le domaine des matériaux. Son développement à travers le temps a nécessité de multiples ajouts (fibres de diverses natures, minéraux, ...) tout ça dans le but d'une amélioration de ces caractéristiques à la fois mécaniques et rhéologiques.

Parmi les additifs utilisés pour obtenir du béton ayant une résistance adéquate est la fumée de silice, qui est un déchet industriel ayant des propriétés d'un matériau de pouzzolane. Lorsqu'il est utilisé dans la fabrication du béton, l'oxyde de silicium réagit avec l'hydroxyde de calcium libre résultant du processus d'hydratation du ciment, produisant un composé d'hydrate de silicate de calcium en grande quantité contribuant ainsi dans l'augmentation de la résistance des bétons.

La rareté des granulats utilisés dans le domaine de la construction plus particulièrement dans les zones Sahariennes où le coût de revient est très élevé, nous incite à chercher la possibilité de trouver une solution adéquate. De ce fait, l'utilisation d'un matériau local en l'occurrence le sable de dunes qui couvre une grande partie du territoire national et qui peut être exploité et valorisé dans le domaine de la construction, constitue une alternative au sable couramment utilisé dans la construction.

L'objectif de ce travail consiste à étudier l'effet de l'ajout de fumée de silice sur les caractéristiques mécaniques et rhéologiques du béton de sable de dunes.

Ce travail est divisé en trois chapitres, le premier chapitre est une étude bibliographique où nous avons abordé quelques notions théoriques sur les éléments de base de la formulation des bétons, ainsi que les propriétés mécaniques et rhéologiques des mortiers. Dans le deuxième chapitre nous avons développé les différents essais utilisés pour la caractérisation des matériaux utilisés pour la préparation des mortiers, le dernier chapitre est consacré à la présentation de l'ensemble des résultats mécaniques et rhéologiques et de leurs interprétations. Enfin, nous avons terminé ce travail par une conclusion générale.

Chapitre I

Recherche bibliographique

I.1. Introduction

Le béton de sable est considéré comme l'un des matériaux de construction qui contribue à l'exploitation des ressources naturelles de sable abondantes dans plusieurs régions comme le sud est algérien. Ces matériaux sont constitués de sable, de ciment, d'eau et/ou de particules fines. En fonction de cette composition de base et pour répondre aux besoins spécifiques d'utilisation, des éléments complémentaires tels que des auxiliaires, des fibres, des gravillons, etc. peuvent être ajoutés. Ce mélange se caractérise principalement par une concentration de sable [01], pour cette raison, l'un des facteurs affectant la résistance du béton de sable est la qualité du sable.

Dans ce chapitre, nous aborderons les propriétés des composants du béton de sable en général, suivi par des produits additifs et leurs types et enfin les propriétés mécaniques et rhéologiques.

I.2. Béton de Sable

L'histoire du béton de sable remonte à la France, où il a été développé par F. Coignet au cours du troisième quart du XIX^e siècle. Ce béton est composé d'un mélange de sable, de ciment, de chaux et d'eau. Le mur de soutien à Passy et la maison Coignet à Saint-Denis sont les premières applications de cette technique, qui a également été utilisée dans la construction de la tour de Port-Saïd en Égypte (hauteur : 52 mètres) et du pont de New York.

Cette technique a été développée pendant des décennies en Union soviétique, où des réalisations remarquables ont été effectuées, notamment le port de Kaliningrad dans l'est de la Prusse au début du siècle et le pont de Tchernavskif coulé sur place à Voronej (à 500 kilomètres de Moscou). À la fin de la seconde guerre mondiale, le professeur académicien Rebindère a autorisé l'utilisation de ce matériau dans de nombreux domaines, tels que les routes, les pistes d'avion, les éléments de construction, les murs architecturaux, les planchers, les dalles, les travaux de réhabilitation, et bien d'autres [01].

I.3. Constitutions du béton de sable

I.3.1. Le ciment

Le ciment est un matériau hydraulique qui joue le rôle de liant, il se présente sous la forme d'une poudre très fine qui mélangée avec de l'eau forme une pâte qui durcit

progressivement avec le temps. Ce processus de solidification est dû à l'hydratation de certains composés minéraux.

La norme européenne définit vingt-sept ciments courants et leurs composants, y compris des recommandations d'utilisation (rapports de mélange), ainsi que les propriétés mécaniques, physiques et chimiques des différents ciments et de leurs composants. Les vingt-sept classes sont divisées en cinq groupes, selon leurs composants autres que le clinker NF EN 197 -1 [03].

I.3.2. Sable

Le terme sable englobe tous les granulats conformes aux définitions des normes. On définit les sables comme étant la fraction des granulats pierreux dont les grains ont des dimensions comprises entre 80 µm et 05 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 6,3 mm et dont le passant à 80 microns n'excède pas 30% . Le sable influe selon ses qualités sur les propriétés des bétons[02] .

Les sables peuvent être classés selon leurs provenances comme : sable de dune, sable de carrière, Sable de mer, sable artificiel et sable de rivière.

I.3.3. L'eau de gâchage

L'eau est l'un des quatre composants de base du béton avec le sable, les granulats et le ciment, il ne faut donc surtout pas le négliger lors de la composition de votre béton et faire bien attention à son dosage. En effet, l'eau a de nombreux effets sur la résistance, la durabilité, la qualité et la maniabilité de béton à différents stades [04].

La qualité de l'eau de gâchage doit répondre à la norme NF EN 1008 [05] .

I.3.4. Les Adjuvants

Les adjuvants pour béton sont des produits chimiques ou des additifs naturels ou manufacturés qui sont ajoutés à faible dose au béton, au mortier ou au coulis pendant le mélange du béton pour améliorer les propriétés spécifiques du béton frais ou durci, telles que la maniabilité et la durabilité. Les matériaux complémentaires sont couverts par la norme NF EN 934[06].

I.3.5. Les Ajouts

La résistance du béton de sable est inférieure à celle du béton conventionnel. Pour remédier à ce défaut, on utilise des additifs qui visent à augmenter la compacité et ainsi obtenir une meilleure résistance.

Parmi les types d'additifs, on peut citer les fibres, les poudres fines, les polymères et les colorants [07].

I.3.6. Fumée de silice

L'ajout de fumée de silice comme substitut partiel du ciment conduit à une augmentation de la résistance à la compression par rapport au béton de référence, et des études de la relation entre la taille des particules de béton et leur résistance mécanique ont révélé qu'il est possible de suggérer d'ajouter une petite quantité d'éléments de taille inférieure à ceux contenus dans les particules de ciment pour augmenter la résistance. Parmi les matériaux à partir desquels ces "micro éléments" peuvent être utilisés, la poudre de silice se distingue par son importance en raison de sa réaction chimique dans les mélanges ciment-mortier, améliorant les propriétés telles que la formabilité, la perméabilité, l'adhérence et la résistance mécanique.

I.4. Les propriétés mécaniques du béton

La résistance mécanique est l'une des caractéristiques majeures pour un béton. De ce fait, il est indispensable pour n'importe quelles études de prendre en considération les résistances à la rupture en traction ou en compression. La résistance mécanique des bétons dépend de plusieurs paramètres à savoir : La nature et la qualité des constituants (ciment, granulats, eau, adjuvants), le dosage en ciment, rapport E/C, les conditions de la mise en œuvre, les conditions de conservation.

I.4.1. Résistance à la compression

Est la propriété la plus utilisée dans le dimensionnement et la conception des ouvrages en béton, ce dernier est caractérisé par sa résistance à la compression à 28 jours.

Dans une étude expérimentale réalisée par BENTATA A [08]. sur les bétons de sable de dune ce dernier a trouvé que les échantillons conservé à l'eau ont donné des résultats meilleurs que ceux conservé à l'air libre.

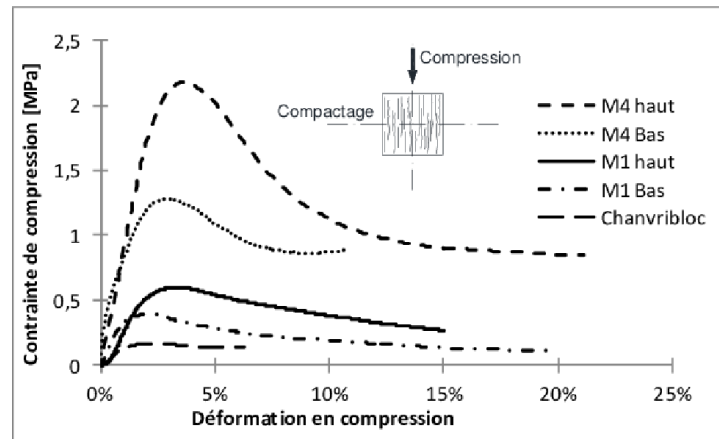


Figure I.1: Courbe contrainte-déformation en compression simple [09].

La courbe de la figure 1.1, 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.4.2. Résistance à la traction

La résistance à la traction est moins importante que celle de la compression, du fait que le béton résiste mal à la traction et qui représente environ le 1/10 de sa résistance à la compression.

Généralement elle est caractérisée par l'essai indirecte appelé traction par flexion. Diverses études ont été réalisées concernant la résistance à la traction des bétons de sable, nous citons les travaux réalisés par BANTATA [08], 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.

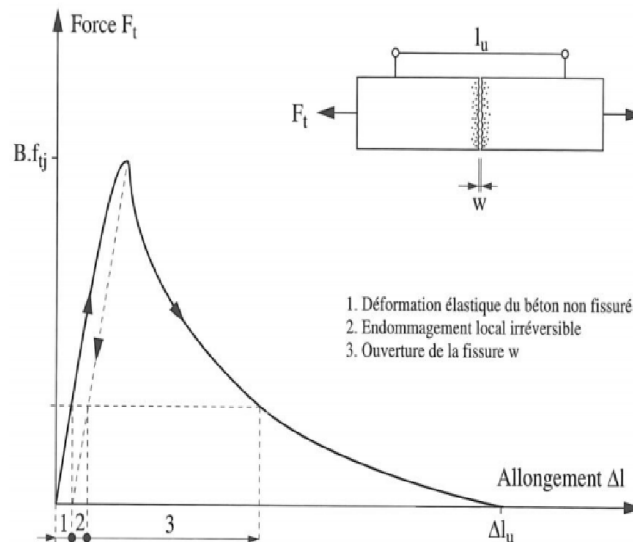


Figure I.2: Comportement du béton en traction simple [09].

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

I.5. Les caractéristiques rhéologiques de béton (Retrait)

Le béton est un matériau composite constitué de ciment, d'eau et de granulats. Des additifs et améliorants peuvent être introduits pour améliorer certaines propriétés du béton, notamment ses propriétés rhéologiques, car sa qualité dépend de ses composants qui affectent son comportement (ouvrabilité et retrait) et ses performances à l'état frais et solide.

La finesse de béton de sable rend celui-ci sujet à d'importantes déformations de retrait étant donné qu'il exigera une plus grande quantité d'eau de gâchage pour une certaine ouvrabilité [10].

I.5.1. Les types de retrait

Il existe plusieurs types de retrait, notamment le retrait plastique, le retrait thermique et le retrait du séchage, généralement le retrait augmente avec l'augmentation de la finesse et de la concentration du ciment.

I.5.2. Les facteurs affectant le retrait

- Quantité d'eau de gâchage ;
- L'effet de la concentration en ciment ;
- La nature des granulats dans le béton ;

- Les éléments fins, qui proviennent généralement des granulats.

I.6. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons mentionné en général les composants du béton de sable, ses propriétés, certains types d'additifs et leurs effets pour connaître l'étendue de l'adoption du béton de sable au lieu du béton ordinaire, après avoir étudié cet effet sur les propriétés mécaniques et rhéologiques du béton de sable.

Chapitre II
Caractérisation
des matériaux utilisés

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 dunes avec plastifiant (NOVA PLAST 117) et ajout minéral (fumée de silice) pour déterminer les résistances mécaniques (traction et compression) et rhéologiques (retrait).

Les essais d'identification des matériaux utilisés ont été réalisés au sein du laboratoire de génie civil, le laboratoire des Travaux Publics du Sud Ouargla (LTPS) et le laboratoire national habitat construction (LNHC).

II.2. Caractéristiques des matériaux

II.2.1. Ciment

Un ciment de type (ELMATIN) a été utilisé dans cette étude. ELMATIN est un ciment gris pour bétons de haute-performance destiné à la construction des ouvrages d'Art, infrastructure et superstructure pour bâtiments [11].

Avec les caractéristiques techniques suivantes :

II.2.1.1. Caractéristiques chimiques: [ANNEXE].

Tableau II.1: L'analyse chimique du ciment

Analyses chimiques	Valeur
Perte au feu (NA5042) (%)	10.0±2
Teneur en sulfates (SO3) (%)	2.5±0.5
Teneur en oxide de magnésium MgO(%)	1.7±0.5
Teneur en chlorures (NA5042)(%)	0.02-0.05

II.2.1.2. Caractéristiques mécaniques: [ANNEXE].

Tableau II.2 : Caractéristiques physiques et mécaniques de ciment

Propriétés physiques et mécaniques	CPI-CEMII/B-L
Début de prise heure/min	150±30
Fin de prise heure/min	230±50
Rc ₂₈ (MPa)	≥42.5
Rc ₂ (MPa)	≥10.0



Photo II.1: Ciment el MATINE

II.2.2. Eau de gâchage

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

II.2.3. Adjuvant

Le plastifiant que nous avons utilisées appelé «NOVA PLAST117 » est un plastifiant réducteur d'eau à base d'un copolymère modifié qui permet une meilleure défloculation des grains de ciment, il est compatible avec tous les types déliant hydraulique [ANNEXE].



Photo II.2: Adjuvant utilisé

Les propriétés de l'adjuvant sont : [ANNEXE].

- Diminuer le rapport eau /ciment ;
- Améliorer la rhéologie des bétons ;
- Augmenter l'affaissement du béton et garantit une bonne ouvrabilité ;
- Augmenter la résistance mécanique et la durabilité.

Tableau II. 3 : Caractéristiques de l'adjuvant [ANNEXE].

Couleur	Aspect	Ph	Teneur en chlore	Densité
Marron	Liquide	6-7	<1 G/L	1.17±0.02

II.2.4. L'ajout minéral (Fumée de silice)

L'ajout utilisé dans ce travail est appelé «NOVA CONCRET FS » c'est un ajout en poudre à base de fumée de silice utilisé pour la confection des bétons à haute performance mécanique et chimique. Il est ajouté au composant de béton ou de mortier sec avant l'humidification. Le dosage recommandé est de 1 à 10% par rapport au poids de ciment [ANNEXE].



Photo II.3: Fumée de silice utilisée.

Tableau II.4: Caractéristiques de fumée de silice [ANNEXE].

Couleur	Aspect	Densité de poudre	Densité réelle
gris	Poudre fine	0.6	2.2±0.3

II.2.5. Sable

Dans cette étude nous avons utilisé un sable alluvionnaire (SA) de carrière (CASAP SILIS) RN56 et un sable de dune (SD) de la région de Ain El Beida (Wilaya d'Ouargla).



Photo II.4: sable de dune et sable alluvionnaire utilisé.

II.2.5.1. Masse volumique apparente (NFP 18-554)

Cet essai est régi par la norme NFP 18-554, elle est définie comme étant la masse de l'unité de volume apparente du corps ; c'est-à-dire celle du volume constitué par la matière du corps et les vides qu'elle contient. [06]

$$\rho_a = (M / V) \dots \dots \dots (2.1)$$

Où :

- ρ_a : Masse volumique apparente ;
 - M : Masse de l'échantillon ;
 - V: Volume de l'échantillon.
- La masse volumique apparente du sable de dune est $\rho_a = 1,47\text{g/cm}^3$
- La masse volumique apparente du sable alluvionnaire est $\rho_a = 1,65\text{g/cm}^3$



Photo II.5: Essai de la masse volumique apparente.

II.2.5.2. Masse volumique absolue (NFP 18-301)

Cet essai est régi par la norme (NFP 18-301); elle est définie comme étant la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat sans tenir compte des vides pouvant exister entre les grains [8].

II.2.5.2.1. But de l'essai

Cet essai a pour but de permettre de connaître la masse d'un échantillon granulaire. 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.

II.2.5.2.1.2. Mode opératoire

Mettre dans une éprouvette graduée un volume V_1 (100 ml) d'eau. Introduire dans une éprouvette une masse du sable (100g), en veillant bien à l'élimination des bulles d'air après on procède à la lecture du nouveau volume V_2 [8].

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

$$\text{Où } \rho_s = \frac{M}{V_2 - V_1} \dots \dots \dots (2.2).$$

- ρ_s : Masse volumique absolue
 - M_s : Masse des grains solides
 - V_1 : Volume del'eau
 - V_2 : Volume total (grain solid+ eau)
- La masse volumique absolue de sable de dune est: $\rho_a = 2.64 \text{ g/cm}^3$
- La masse volumique absolue de sable alluvionnaire est: $\rho_a = 2.60 \text{ g/cm}^3$



Photo II.6: Essai de la masse volumique absolue.

II.2.5.3. Analyse granulométrique (NFP18-560)

L'analyse granulométrique permet de déterminer la grosseur et les pourcentages pondérés respectifs des différentes familles des grains constituant l'échantillon. Cet essai est défini par la norme (NF P18-560).

II.2.5.3.1. But de l'essai

Le but de l'analyse granulométrique est de classifier et exprimer les poids des particules constituant un échantillon de sol en fonction des diamètres de ces particules, L'analyse granulométrique à trois buts [14] :

- Déterminer les dimensions des grains ;
- Déterminer les proportions de grains de même dimension ;
- En déduire le module de finesse (MF).

II.2.5.3.2. 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



Photo II. 7 : les tamis utilisés dans l'essai.

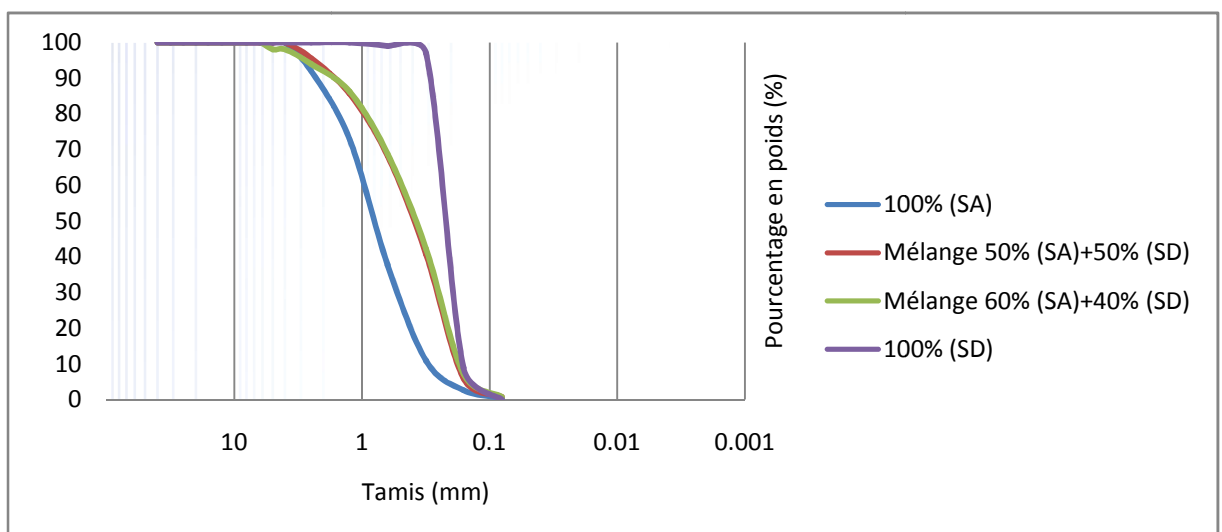


Figure II.1: Courbes d'analyse granulométrique

II.2.5.3.1. Le Module de Finesse (MF)

Le module de finesse des sables est déterminé selon la norme XP P 18-540, et Calculé selon la formule (2.3) suivante [15]:

$$Mf = \sum Rc / 100 \dots \dots \dots (2.3).$$

Rc: refus cumulé en (%).

La valeur du module de finesse nous renseigne sur la situation du sable utilisé vis-à-vis le fuseau de référence, lorsque MF est comprise entre [13] :

- 1.8 et 2.2 : le 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: le sable est un peu trop grossier, c'est le fuseau C

Les modules de finesse de chaque échantillon sont représentés dans le tableau ci-dessous:

Tableau II. 5: Module de finesse de différents échantillons.

Echantillons	Module de finesse(M _F)	Classement des sables
SD	0.91	Sable très fin(B)
SA	2.84	Sable un peu trop grossier(C)
50%SA+50%SD	2.03	Sable un peu trop fin (B)
60%SA+40%SD	2.03	Sable un peu trop fin (B)

II.2.5.4. Essai au bleu de méthylène (NF P 94-068)

II.2.5.4.1. But et principe de l'essai

Les minéraux argileux présents dans les sols sont principalement issus de l'altération physico-chimique des roches. La structure cristalline feuilletée des argiles leur confère un ensemble de propriétés de comportement lié à leur affinité avec l'eau, ce qui entraîne des phénomènes de gonflement, de plasticité et de cohésion. L'essai au bleu méthylène permet d'apprécier globalement l'activité de la fraction argileuse d'un sol en mesurant la surface interne et externe des grains argileux [13].

Lava leur au bleu de la prise d'essai passant A:

$$VBS = V/Ms \dots \dots \dots (2.4).$$

Où:

- V : Volume du bleu injecté dans la prise d'essais en cm³ ;
- Ms: La masse sèche(g).

Les résultats de chaque échantillon sont représentés dans le tableau ci-dessous:

Tableau II. 6 : Résultats des l'essai de bleu de méthylène.

Type de sable	VBS	Résultats
Sable de dune	0,8	Sable limoneux.
Sable alluvionnaire	1,7	Sable limoneux.



Photo II. 8 : Essai de bleu de méthylène.

II.2.5.5. Equivalent de sable (NFP 18-598)

L'essai d'équivalent de sable est spécifique aux sols grenue, il nous permet de mettre en évidence la proportion relatif de poussière fine nuisible argileuse dans les sols ou les agrégats fins : il est effectuée sur des éléments de diamètre 5 mm. [16].

II.2.5.5.1. But de l'essai

- Mesurer la propreté du sable entrant dans la composition des bétons ;
- L'essai consiste à séparer les floccules fines contenues dans le sable ;
- Une procédure normalisée permet de déterminer un coefficient d'équivalent de sable qui quantifie la propreté de celui-ci.

II.2.5.5.2. Principe de l'essai

L'essai est effectué sur la fraction du sable à étudier. On lave l'échantillon, selon un processus normalisé, et on laisse reposer pendant 20 minutes, et on mesure les hauteurs.

Cette dernière peut être réalisée par deux types de mesure :

- Mesure avec une règle de mesure (ESV).
- Mesure avec un piston (ES)

$$ESV = (h_2/h_1) 100 \% \dots\dots\dots (2.5).$$

$$ES = (h'_2/h_1)100\% \dots\dots\dots (2.6).$$

- Hauteur h_1 : sable propre+éléments fins ;
- Hauteur h_2 : sable propre seulement (avue) ;
- Hauteur h'_2 : sable propre seulement (au piston).

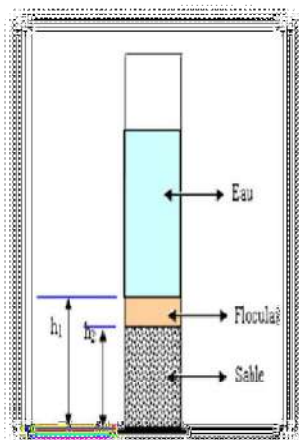


Figure II.2 : Essai d'équivalent de sable [14].

Les résultats des essais concernant l'équivalent de sable sont représentés dans le tableau suivant:

Tableau II.7: Résultats de l'équivalent des sables utilisé.

Nature de sable	ES(%)		Observation
	Méthode	Valeur	
Sable de dune	Piston	87.25	Sable très propre
	Visuel	90.9	
Sable alluvionnaire	Piston	67.21	Sable propre
	Visuel	70.00	

Tableau II. 8 : Les valeurs préconisées pour l'équivalent de sable [14].

<i>ESV a vue (%)</i>	<i>ES au piston (%)</i>	<i>Qualité du sable</i>
<i>$ESV < 65$</i>	<i>$ES < 60$</i>	<i>Sable argileux : à ne pas utiliser.</i>
<i>$65 \leq ESV < 75$</i>	<i>$60 \leq ES < 70$</i>	<i>Sable légèrement argileux : admissible pour bétons courants avec risque de retrait important.</i>
<i>$75 \leq ESV < 85$</i>	<i>$70 \leq ES < 80$</i>	<i>Sable propre : convient bien pour les bétons de haute qualité.</i>
<i>$ESV \geq 85$</i>	<i>$ES \geq 80$</i>	<i>Sable très propre : absence presque totale de fines argileuses.</i>

II.3. Formulation et préparation des bétons de sable

Dans ce travail, 72 éprouvettes ont été préparées pour la caractérisation mécanique et rhéologique des mortiers confectionnés avec différents pourcentages de fumée de silice, de sable de dunes, de sable alluvionnaire et du plastifiant.

Pour la composition du béton de sable, nous avons utilisé un dosage en ciment et sable correspondant à celui d'un mortier normalisé (NF -P15-403), c'est-à-dire une part de ciment et trois parts de sable. Concernant le dosage en eau nous avons utilisé l'essai de maniabilité pour la détermination de la quantité d'eau correspondant à un béton plastique.

Les compositions des bétons sont comme suit:

- B1: Béton avec 100% SD.
- B1%FS : Béton avec 100% SD + % fumée de silice.
- B2 : Béton avec 40% SD + 60%SA.
- B2%FS : Béton avec (40% SD + 60% SA) + % fumée de silice.
- B3 : Béton avec (50% SD + 50 % SA).
- B3%FS : Béton avec (50% SD + 50% SA) + % fumée de silice.

Le tableau suivant résume les résultats obtenus après les essais de maniabilité pour le béton de sable.

Tableau II. 9: Formulation du béton de sable.

Bétons	E/C	C (g)	S (g)		E(l)	Fumée de silice		PLAST (%)	Temps(s)
			SA	SD		(%)	(g)		
B1	0.58	462.9	/	1388.9	268.5	/	/	5	28.36
B1-3%FS	/	449	/	1388.9	268.5	3	13.9	5	20.64
B1-5%FS	/	439.7	/	1388.9	268.5	5	23.2	5	25.80
B1-10%FS	/	416.6	/	1388.9	268.5	10	46.3	5	26.04
B2	0.49	472.2	849.89	566.59	231.4	/	/	/	29.7
B2-3%FS	/	458	849.89	566.59	231.4	3	14.2	5	21.35
B2-5%FS	/	448.6	849.89	566.59	231.4	5	23.6	5	24.97
B2-10%FS	/	424.9	849.89	566.59	231.4	10	47.3	5	27.5
B3	/	472.2	708.24	708.24	231.4	/	/	/	29.4
B3-3%FS	/	458	708.24	708.24	231.4	3	14.2	5	21.57
B3-5%FS	/	448.6	708.24	708.24	231.4	5	23.6	5	27.27
B3-10%FS	/	424.9	708.24	708.24	231.4	10	47.3	5	29.23

II.4. Essais physiques, mécaniques et rhéologique

II.4.1. Essai de maniabilité

C'est une mesure qui apprécie 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 NFP18 - 452 et NFP15-437[13].

II.4.1.1. Principe de l'essai

L'essai de la consistance est caractérisé par le temps que met le mortier pour s'écouler sous l'effet d'une vibration. [13]

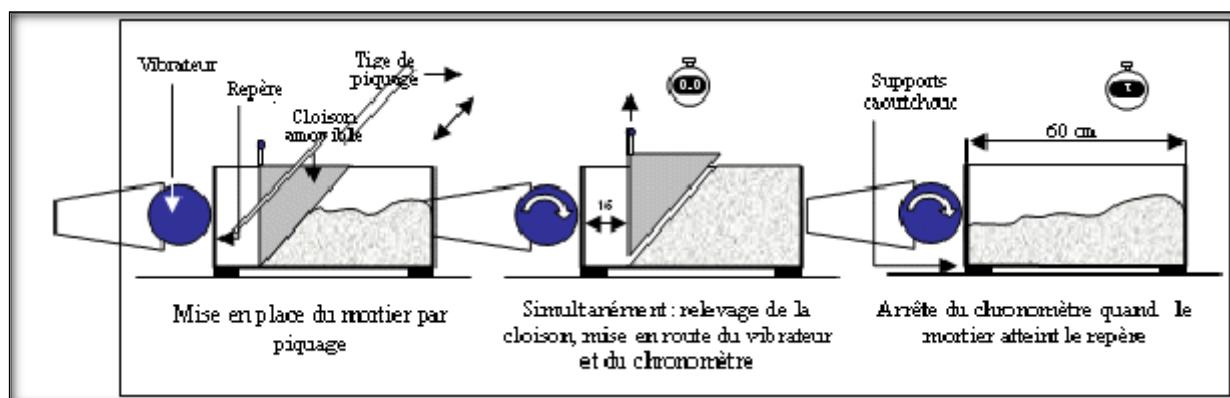


Figure II.3: Principe de fonctionnement du maniabilimètre [13]



Photo II.9: Maniabilimètre.

II.4.2. Essais de résistances mécaniques

II.4.2.1. Préparation des éprouvettes

- ❖ des moules prismatiques de dimension $(4 \times 4 \times 16)$ cm³ ont été utilisés.
- ❖ Le remplissage des moules se fait par deux couches suivi de vibration à l'aide d'une table vibrante.

II.4.2.2. Conservation des éprouvettes (selon la norme NFP18-438)

Les éprouvettes doivent rester dans le moule et doivent être protégées contre les vibrations, les chocs, et la dessiccation pendant 24 h. Après le démoulage les éprouvettes sont conservées dans un bac rempli d'eau à une température de $20 \pm 5^\circ\text{C}$ pendant 14 jours.[13]



Photo II.10: Les étapes de préparation des éprouvettes

II.4.2.3. Résistance à la traction par flexion

Pour la détermination de la résistance à la flexion, on utilise la méthode de la charge concentrée à mi portée au moyen du dispositif de flexion normalisé. Les demi-prismes

obtenus dans l'essai de flexion doivent être essayés en compression sur les faces latérales de moulage sous une section de 40 mm x 40 mm.

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 N/s \pm 10 N/s, jusqu'à rupture. Conserver les demi-prismes humides jusqu'au moment des essais en compression [13].

La résistance en flexion R_f (en N/mm²) est calculée au moyen de la formule:

$$R_f = \frac{1.5Pl}{b^3} \dots \dots \dots (2.7)$$

R_f : Résistance à la flexion en (MPa) ;

b : Côté de la section carrée du prisme en (mm) ;

F_f : Charge appliquée en (N) ;

l : Distance entre les appuis en (mm).



Figure II.4: Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion [13].



Photo II. 11: Essai de la résistance à la flexion

II.4.2.4. Résistance à la compression

Les éprouvettes étudiées sont soumises à une charge croissante jusqu'à la rupture par l'appareil de compression. La résistance à la compression est le rapport entre la charge de rupture et la section transversale de l'éprouvette. Les demi-prismes d'éprouvettes obtenues après la rupture en flexion seront rompus en compression comme indiqué sur la figure (II. 8) [13].

La résistance à la compression est calculée selon l'équation (2.8).

$$R_C = (F_C/b^2) \dots \dots \dots (2.8)$$

R_C : Résistance à la compression en (MPa)

F_C : Charge de rupture en (N).

b : Coté de l'éprouvette est égale à 40 mm.

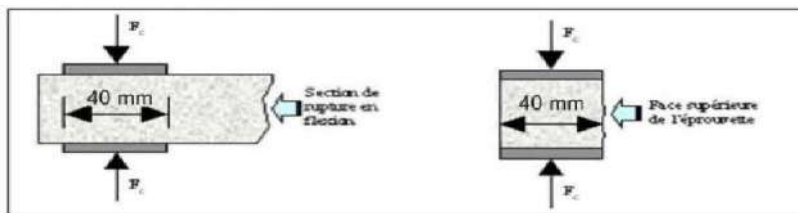


Figure II.5: Dispositif de rupture en compression [9].



Photo II.12: Appareil de compression.

II.4.3. Essai de retrait

L'essai est réalisé conformément à la norme NF P 15-433, l'appareil de mesure de retrait utilisé dans cet essai est un rétractomètre; il est muni d'un comparateur mesurant les déplacements suivant l'axe longitudinal des éprouvettes 40x40x160 mm, entre deux plots

métalliques noyés dans le mortier[13].

Photo II. 13 : les éprouvettes de retrait



Photo II.14. Retractor

II.5. Conclusion

Les essais physiques effectués dans les laboratoires, donnent une idée générale sur les caractéristiques principales des matériaux servant à la formulation des mortiers qui seront étudiés au chapitre suivant du point de vue mécanique et rhéologique.

La connaissance de ces caractéristiques nous aide d'une façon significative à commenter les résultats des essais expérimentaux.

Chapitre III

Résultats et discussion

III.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous allons présenter les résultats expérimentaux des tests réalisés sur les bétons de sable avec et sans fumée de silice à savoir : les caractéristiques mécaniques (résistance à la compression et résistance à la traction) et rhéologique (retrait) à 28j.

III.2. Résistance mécanique

Le béton est un élément déterminant dans le développement de l'économie d'une société. Sa résistance mécanique dépend essentiellement de ses constituants : granulats, ciment, eau et ajouts,...

III.2.1. Résistance à la compression

La résistance à la compression du béton est une propriété très importante, elle nous permet d'avoir des structures sûres et durables.

III.2.1.1. Effet de la correction granulométrique sur la résistance à la compression

La figure III.1, montre la résistance à la compression des bétons B1, B2 et B3 sans ajouts de fumée de silice. D'après les résultats trouvés nous remarquons que les bétons B2 et B3 affichent une augmentation de la résistance à la compression par rapport à B1 de l'ordre de 8,02% et 8,55% respectivement.

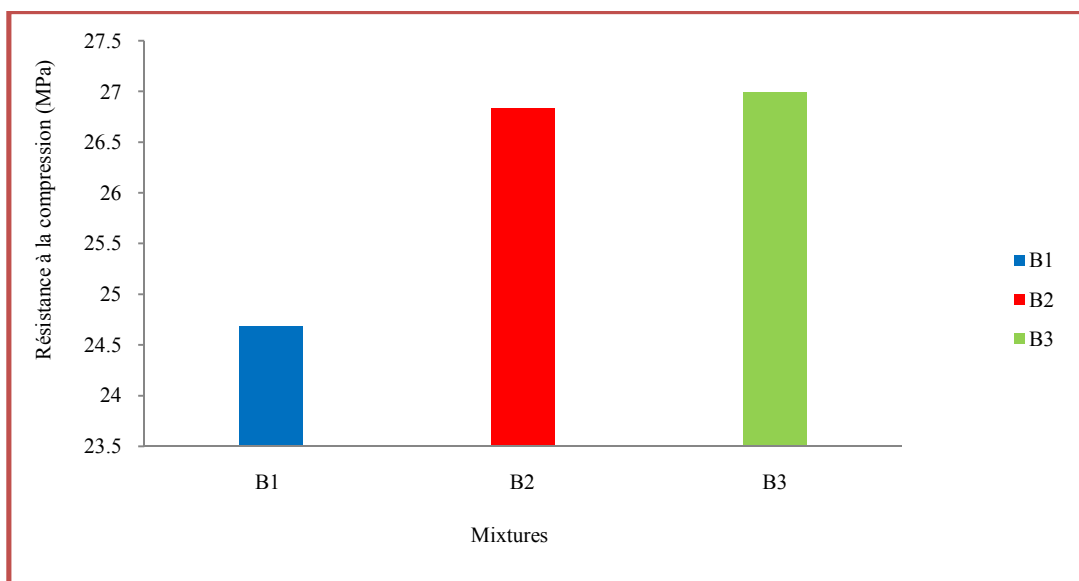


Figure III 1: Résistance à la compression des bétons sans ajout de fumée de silice à 28 jours.

On peut remarquer aussi que le mélange B3, affiche le meilleur résultat de la résistance à la compression par rapport à B1 et B2. Ceci peut s'expliquer par l'effet de la correction granulométrique du sable de dunes, où ce dernier présente une granulométrie très fine ce qui rend son utilisation à l'état brute inadéquate, pour la confection des bétons selon les normes en vigueur.

III.2.1.2. L'effet de l'ajout de fumée de silice sur la résistance à la compression

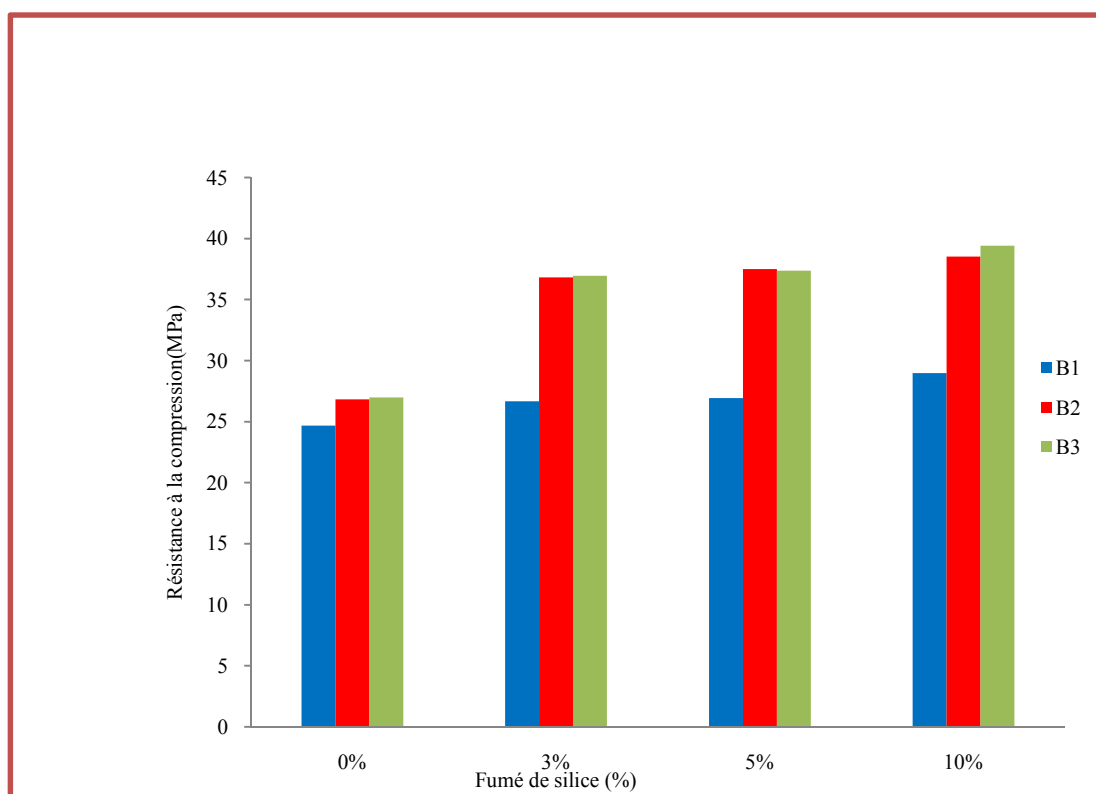


Figure III.2 : Résistance à la compression des bétons avec et sans ajout de fumée de silice à 28 jours

La figure III. 2, montre l'effet de la fumée de silice sur la résistance à la compression d'un béton de sable réalisé avec différentes proportions de fumée de silice à savoir 3%, 5% et 10% par rapport au béton témoin. Une augmentation de la résistance à la compression à 28 jours a été observée pour l'ensemble les types de bétons utilisés. Cette augmentation de la résistance des mélanges B1-3%, B2-3% et B3-3% est respectivement de l'ordre de 7.46%, 27.12% et 26.93% par rapport aux bétons de sable B1, B2 et B3. Nous nous notons aussi que l'augmentation de la résistance des mélanges B1-5%, B2-5% et B3-5%, est de 8,37%, 28,42% et 27,77% respectivement par rapport au béton de sable B1, B2 et B3. Cette augmentation de résistance des mélanges B1-10%, B2-10% et B3-10% est de 14,83%, 30,31% et 31,51% par rapport aux bétons de sable B1, B2 et B3, Il s'agit de la plus forte augmentation.

L'augmentation de la résistance peut s'expliquer par le fait que la présence des ajouts de la fumée de silice est accompagnée par une modification de la microstructure et une augmentation du pourcentage des pores fins, qui nous donnent une amélioration de la compacité de bétons ainsi qu'une amélioration de sa résistance.

III.2.2. Résistance à la traction par flexion

III.2.2.1. Effet de la correction granulométrique sur la résistance à la traction

La figure III.3, montre la résistance à la traction des bétons B1, B2 et B3 sans ajouts de fumée de silice. D'après les résultats trouvés nous remarquons que les bétons B2 et B3 affichent une augmentation de la résistance à la traction par rapport à B1 de l'ordre de 23.48 % et 33.34%, respectivement. D'un autre côté on peut remarquer aussi que le mélange B3 donne le meilleur résultat de la compression par rapport à B1 et B2.

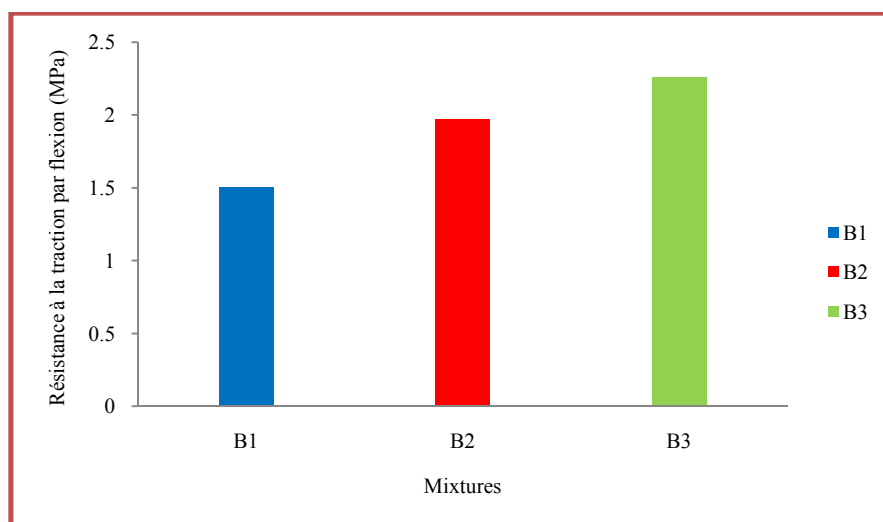


Figure III 3 : Résistance à la traction par flexion des bétons sans ajout de fumée de silice à 28 jours.

Ceci peut s'expliquer par l'effet de la correction granulométrique du sable de dunes. Ce dernier présente une granulométrie très fine, ce qui rend son utilisation à l'état brut inadéquat pour la confection des bétons selon les normes en vigueur.

III.2.2.2. L'effet de l'ajout de fumée de silice sur la résistance à la traction par flexion

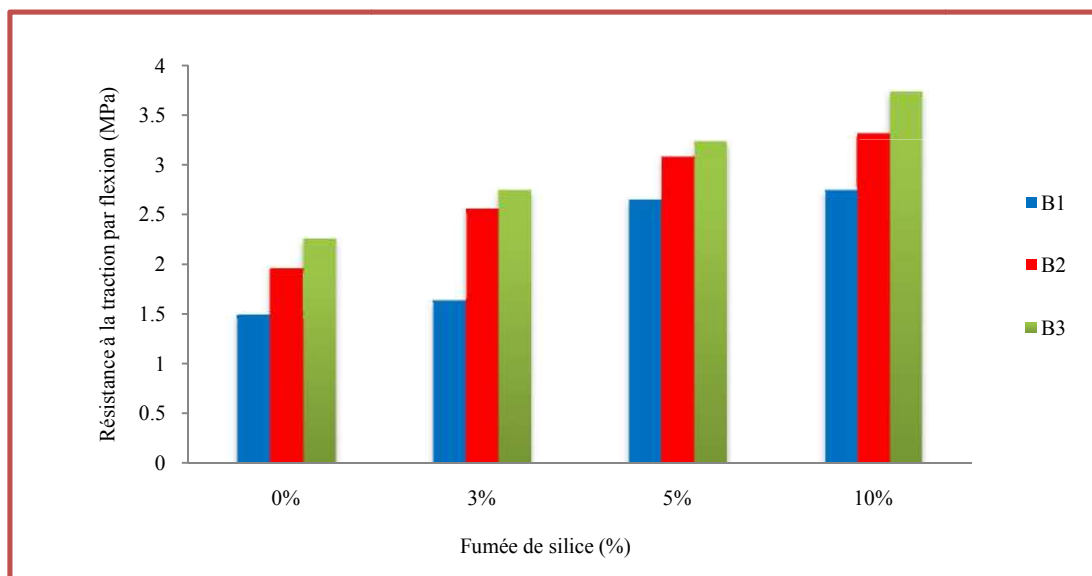


Figure III.4 : Résistance à la traction par flexion des bétons avec et sans ajout de fumée de silice à 28 jours.

La figure III.4, montre l'effet de la fumée de silice sur la résistance à la traction à 28 jours d'un béton de sable réalisé avec différentes proportions de fumée de silice à savoir 3, 5 et 10% par rapport au béton témoin. Pour l'ajout de 3%, l'augmentation de la résistance des mélanges B1, B2 et B3 est respectivement de l'ordre de 8.23%, 23.16% et 17.89% par rapport aux bétons sans ajout de FS. Nous notons aussi que l'augmentation de la résistance des mélanges B1-5%, B2-5% et B3-5% est de 43.42%, 36.23% et 30.41% respectivement par rapport au béton de sable B1, B2 et B3. Cette augmentation de résistance des mélanges B1-10%, B2-10% et B3-10% est de 45.27%, 40.75% et 39.70% par rapport aux bétons de sable B1, B2 et B3, Il s'agit de la plus forte augmentation. L'effet positif de l'ajout de fumée de silice est dû à son effet sur la réduction de la constructibilité du matériau et rendra le béton plus compact.

III.3. Retrait

Les résultats de retrait en fonction d'âge obtenus dans ce travail sont indiqués ci-après dans les figures (III.5), (III.6), (III.7) et (III.8).

III.3.1. L'effet de la correction granulométriques sur le retrait

La figure III.5, montre l'évolution du retrait des bétons témoins B1, B2 et B3 à 28 jours. La mixture B1 affiche un retrait plus élevé par rapport aux mélanges B2 et B3 cette augmentation est respectivement de l'ordre de 6.57% et 17.51%, ceci peut s'expliquer par l'effet de la correction granulométrique du sable de dunes ayant une granulométrie très fine

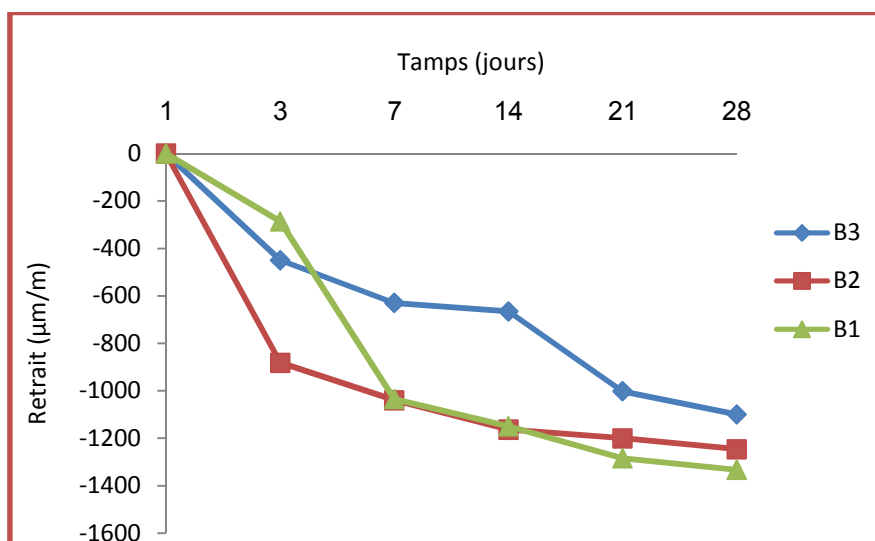


Figure III.5 : Retrait des bétons B1, B2 et B3 sans ajout de fumée de silice en fonction du temps.

Nécessitant une quantité importante d'eau par rapport au sable alluvionnaire pour la confection des bétons, influant ainsi d'une manière négative sur le phénomène de retrait.

III.3.2. L'effet de l'ajout de fumée de silice sur le retrait

Les figures III.6, III.7 et III.8, montrent l'effet de l'ajout de fumée de silice sur le comportement des bétons B1, B1-3%FS, B1-5%FS, B1-10%FS, B2, B2-3%FS, B2-5%FS, B2-10%FS, B3, B3-3%FS, B3-5%FS, B3-10%FS vis-à-vis du phénomène de retrait. D'après les résultats, nous constatons qu'il y a une augmentation du retrait en fonction du temps pour l'ensemble des compositions avec et sans fumée de silice. On remarque aussi que les bétons témoins B1, B2 et B3 affichent les meilleurs résultats de retrait par rapport aux bétons réalisés avec fumée de silice. La figure III.6, présente le retrait des bétons de B1 avec et sans ajout fumée de silice à 28 jours. Où nous pouvons remarquer qu'il y a une augmentation de retrait des bétons B1-3%FS, B1-5%FS et B1-10%FS par rapport au béton témoin B1 de l'ordre de 16.96%, 24.52% et 33.07% respectivement.

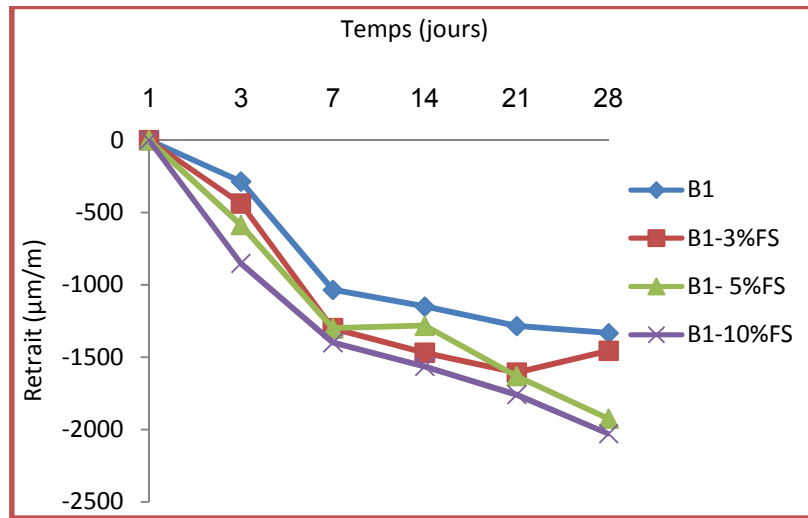


Figure III.6 : Retrait des bétons B1 avec et sans fumée de silice en fonction du temps.

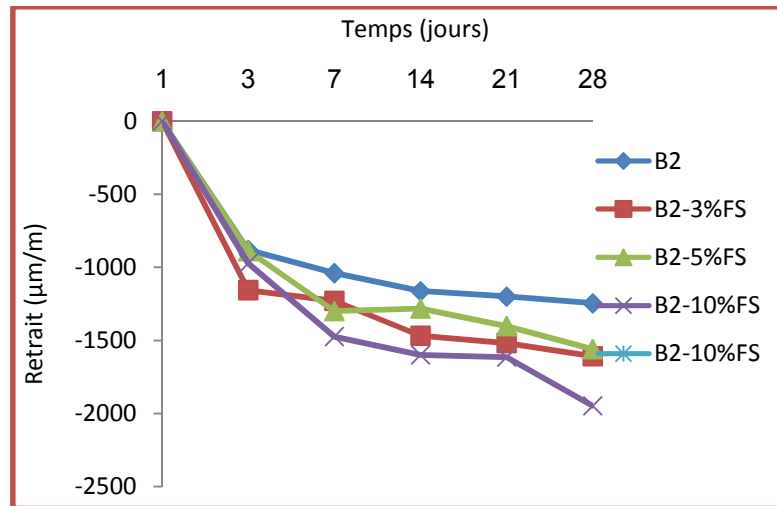


Figure III.7 : Retrait des bétons B2 avec et sans fumée de silice en fonction du temps

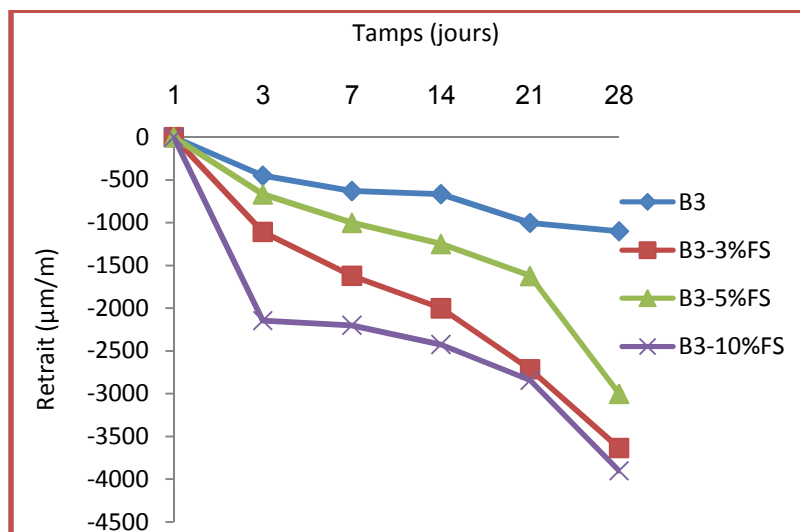


Figure III.8 : Retrait des bétons B3 avec et sans fumée de silice en fonction du temps.

Même chose, pour la figure III.7, qui montre une diminution du retrait du béton B2 (40%SD-60%SA) à 28 jours par rapport aux mixtures B2-3%FS, B2-5% FS et B2-10%FS. Cette différence est de l'ordre de 7.34%, 10.11% et 25.82% respectivement. La figure III.8, aussi ne déroge pas à la règle où nous pouvons observer une diminution du retrait de B3 (50%SD-50%SA) par rapport aux bétons B3-3%FS, B3-5% FS et B3-10%FS à 28 jours de l'ordre de 63.33%, 69.73% et 71.81% respectivement.

Cette augmentation du retrait des bétons de sable avec ajout est due au fait, que l'incorporation de fumée de silice dans le béton de sable entraîne une augmentation de la demande en eau ce qui provoque un accroissement du retrait.

III.4. Perte en poids

Les résultats de perte de masse en fonction d'âge obtenus dans ce travail sont indiqués ci-après dans la figure (III.9), (III.10), (III.11), (III.12), (III.13), (III.14) et (III.15).

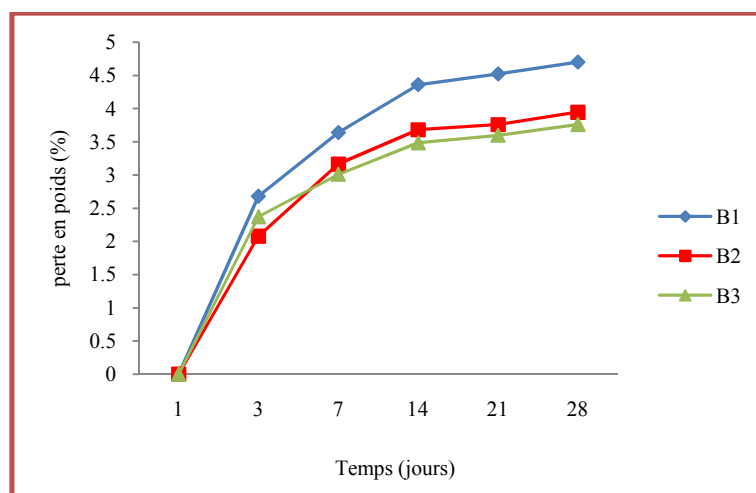


Figure III.9 : Perte en poids des bétons sans fumée de silice en fonction du temps.

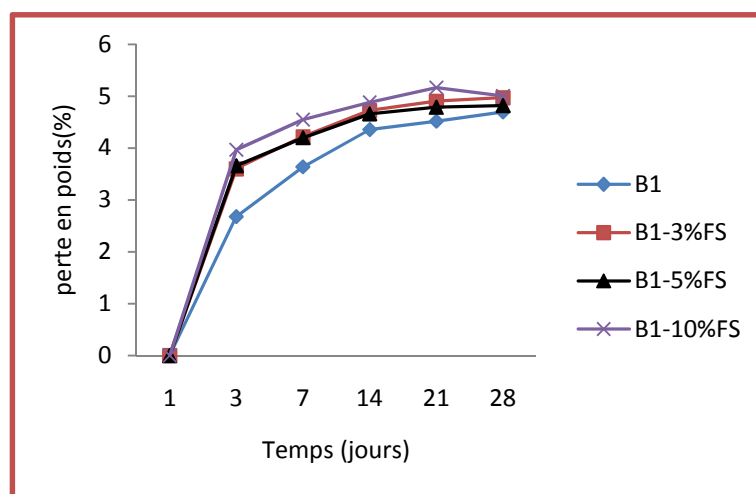


Figure III.10 : Perte en poids des bétons B1 avec et sans fumée de silice en fonction du temps

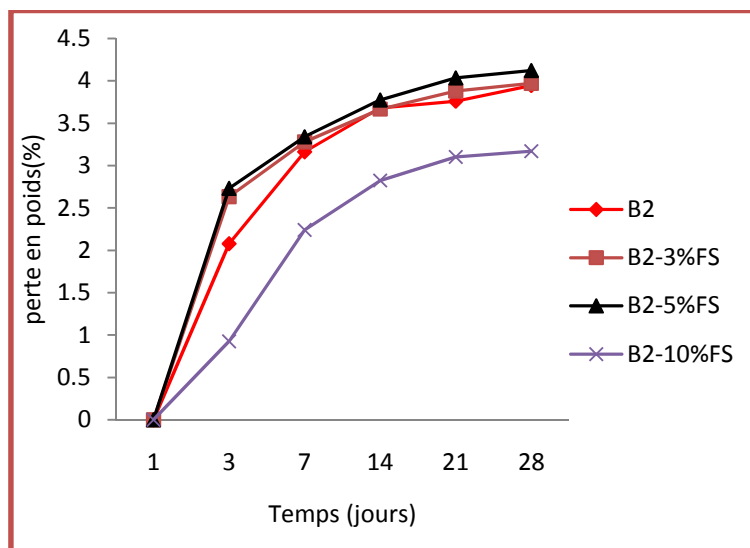
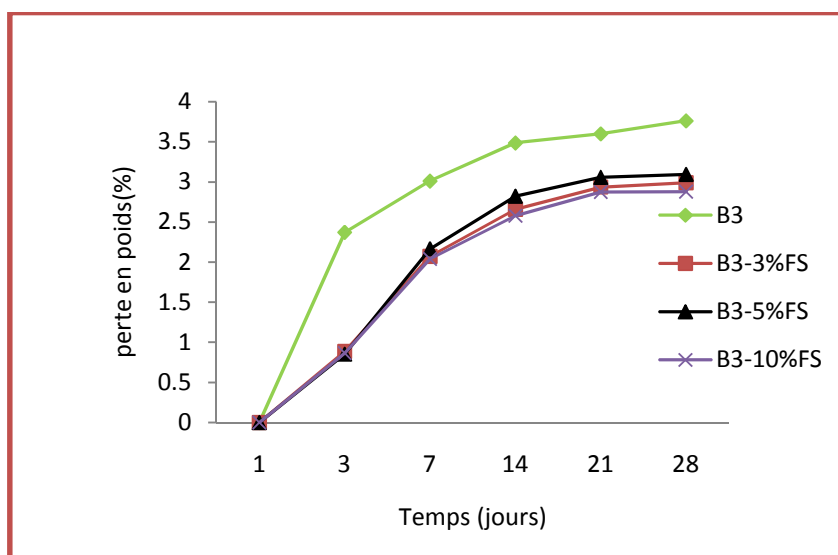


Figure III.11 : Perte en poids des bétons B2 avec et sans fumée de silice en fonction du temps



La figure III.12 : Perte en poids des bétons B3 avec et sans fumée de silice en fonction du temps

La composition B1 affiche moins de perte en poids par rapport aux mélanges B2 de 4.81% et B1 de 20%. D'après les figures III.10 et III.11 III.12, nous avons constaté qu'il y a une augmentation de perte en poids avec le temps pour toutes les compositions sans et avec la fumée de silice. On remarque que les pertes des poids sont presque égaux pour tous les mélanges à 28 jours, où le mélange 100% sable de dune montre, que le béton témoin B1 a une faible perte en poids par rapport aux mélanges avec fumée de silice, mais pour les mélanges B2 et B3, l'augmentation de 10% de fumée de silice a donnée les meilleures résultats de perte.

III.5. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons étudié l'effet des additions minérales tel que la fumée de silice sur les caractéristiques mécaniques et rhéologiques de mortier.

D'après les résultats de cette recherche on peut conclure que:

- L'ajout de fumée de silice améliore la résistance de compression, par contre le retrait augmente.
- La mixture B3 (50% SD + 50% SA) a donné les meilleurs résultats par rapport à toutes les autres mixtures.

Conclusion générale

Conclusion générale

L'effet de la fumée de silice sur les propriétés mécaniques et rhéologiques du béton de sable de dune a été abordé dans ce travail ayant comme objectif, l'exploitation des ressources naturelles disponibles en grande quantité dans les zones Saharienne, en particulier les dunes de sable situées au sud-est de l'Algérie.

Nous avons commencé par présenter un concept général de béton de sable, puis nous avons fait quelques essais sur ses composants utilisés dans cette étude. Les résultats obtenus dans cette étude expérimentale nous permettent de tirer les conclusions suivantes :

- La correction du sable de dune avec du sable alluvionnaire donne une amélioration des propriétés mécaniques et rhéologique.
- L'incorporation des additions minérales, tel que la fumée de silice améliorent la maniabilité des bétons de sable de dunes.
- La fumée de silice améliore les propriétés mécaniques.
- Le béton B3 affiche le meilleur résultat par rapport aux autres mélanges B1 et B2, en revanche, elle a donné la valeur la plus faible en perte en poids.
- plus on augmente la proportion de fumée de silice dans le mélange de béton de sable, plus la résistance à la compression et au retrait augmente. Donc on peut conclure que l'ajout de fumée de silice influe positivement sur la résistance mécanique et négativement sur le retrait.

Références bibliographique

- [01] GADRI. K & GUETTALA. A. Etude des caractéristiques physico-mécaniques des bétons de sable à base de fumée de silice. MATEC Web of Conférences Laboratoire de Recherche en Génie Civil " LRGC " Université de Biskra, April 2014.
- [02] RAHMANI A et BOUCHEMAL A. L'influence de l'ajout des fibres polypropylènes sur la durabilité du béton de sable de dunes. Mémoire de master, Université d'Ouargla, 2022.
- [03] NF EN 197-1, définit 27 ciment courants regroupés en 5 types selon leur composition.
- [04] Guide de béton.
- [05] Norme françaises, Eau de gâchage pour béton, NF 1008 Juillet 2003.
- [06] Norme françaises Adjuvants pour béton, mortier et coulis, NF EN 934, Aout 2012.
- [07] Farourou M. et Sebaa A. Etude du béton de sable de dunes renforcé par des fibres soumis à haute température, mémoire de master. Université d'Ouargla, (2018)
- [08] Bentata A. Etude expérimentale d'un béton avec le sable de dune, mémoire de magister, université d'Ouargla. (2004)
- [09] Babahammou M. et Lehelli H. Effet de l'ajout du plastifiant sur les caractéristiques mécaniques et rhéologiques du béton de sable de dunes Mémoire de master, Université d'Ouargla, (2022).
- [10] La qualité du béton en climat chaud, Organisé par: Institut de Génie Civil, Université de Blida, Organisme National de C.T.C Sud, GHARDAIA 22-24 Mars 1994
- [11] <https://www.lafarge.dz/ciment-matinetm>
- [12] Norme françaises, Masse volumique absolue, NFP18-301, décembre 1983.
- [13] Raymond Du pain. Granulats sols ciments et béton, livre 1978
- [14] Benamer C., TP Matériaux de constructions, Année Universitaire 2016/2017.
- [15] Norme Française XP P 18-540, (1997). Granulats - définitions, conformité, spécifications, indice de classement: P 15-540.
- [16] Balhachemi S. berrafaf I. (2017). La valorisation de sable de dune (sable de Nâama), Durabilité et comportement mécanique, mémoire de master.
- [18] <https://www.e2me.fr/catalogue/essai-de-retractation/retractometre-172.html>.

ANNEXE: Fiche produit ciment (MATINE).

ALGÉRIE



50kg

متين
Matine

LAFARGE
Construire
des villes meilleures™



Ciment portland au Calcaire

NA442 CEM II/B-L 42,5 N

Matine Ciment gris pour bétons de haute-performance destiné à la construction des Ouvrages d'Art, infrastructure et superstructure pour bâtiments

Matine
NA442 CEM II/B-L 42,5 N

Matine est certifié, conforme à la norme Algérienne (NA442 – 2013) et Européenne (EN 197-1)

AVANTAGES PRODUIT



- Une résistance initiale élevée pour vos ouvrages nécessitant un décoffrage rapide
- Favorise la maniabilité du béton et le maintien de sa rhéologie
- Une Classe Vraie qui offre une haute performance au béton.
- Meilleure durabilité du béton.

LH A member of
LafargeHolcim

APPLICATIONS RECOMMANDÉES

- Construction des Ouvrages d'Art, infrastructure et superstructure pour bâtiments
- Préfabrication légère
- Béton de haute performance



FORMULATION CONSEILLÉE

	Ciment 	Sable (sec) 	Gravillons (sec) 	Eau (litres) 	
Dosage pour béton C25/36	X 1 	+ X7 	+ X6 	+ X4 	+ 25 L

Remarque: un bidon = 10 Litres

CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES

• Analyses chimiques

	Valeur
Perte au feu (%) (NA5042)	10.0±2
Teneur en sulfates (SO3) (%)	2.5±0.5
Teneur en oxyde de magnésium MgO (%)	1.7±0.5
Teneur en Chlorures(NA5042) (%)	0.02-0.05

• Composition minéralogique du Clinker (Bogue)

	Valeur
C3S (%)	60±3
C3A (%)	7.5±1

• Propriétés physiques

	Valeur
Consistance Normale (%)	26.5±2.0
Finesse suivant la méthode de Blaine (cm ² /g) (NA231)	3 700 ± 5 200
Retrait à 28 jours (µm/m)	< 1 000
Expansion (mm)	< 3.0

• Temps de prise à 20° (NA 230)

	Valeur
Début de prise (min)	150±30
Fin de prise (min)	230±50

• Résistance à la compression

	Valeur
2 jours (MPa)	≥ 10.0
28 jours (MPa)	≥ 42.5

CONSIGNES DE SÉCURITÉ

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

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

 A member of LafargeHolcim



Conditionnement: Sac et vrac

LAFARGE ALGÉRIE

Centre commercial Bab Ezzouar, Tour n°02,
Etages 05 & 06, Bab Ezzouar Alger, Algérie
Tél: + 213 (0) 21 98 54 54
Fax: + 213 (0) 23 92 42 94
www.lafargealgerie.com
dz.satisfaction-clients@lafargeholcim.com
Tél: 021 55 55 98
Conditionnement : sac et vrac

 **LAFARGE**
لافارج

ANNEXE:La fiche technique d'adjuvant.



Notice technique
Edition : septembre 2020
Nom du produit : **NOVA PLAST 117**

Chemical Innovation

NOVA[®] PLAST 117

Plastifiant-réducteur d'eau

Conforme à la norme EN 934-2 / NA 774

DESCRIPTION	NOVA PLAST 117 est un plastifiant réducteur d'eau à base d'un copolymère modifié qui permet une meilleure défloculation des grains de ciment, il est compatible avec tous types de liant hydraulique.										
MODE D'EMPLOI	<p>Le NOVA PLAST 117 est incorporé dans la bétonnière à la confection du béton ou dans la centrale à béton, ainsi qu'il peut être ajouté directement dans les camions malaxeurs</p> <ul style="list-style-type: none">▪ Dans la bétonnière et les centrales à béton NOVA PLAST 117 s'ajoute dans la deuxième partie de l'eau de gâchage et doit être suivi d'un malaxage afin de finaliser la meilleure consistance possible.▪ Dans le camion malaxeur, le NOVA PLAST 117 est introduit dans la toupie puis malaxé à grande vitesse pendant 1 minute par mètre cube de béton.▪ Les règles de l'art pour la fabrication et la mise en place du béton doivent également être respectées pour le NOVA PLAST 117										
DOMAINES D'UTILISATION	<p>Le NOVA PLAST 117 est recommandé spécialement pour la confection des bétons prêts à l'emploi</p> <ul style="list-style-type: none">▪ Béton pompé sans forme de ségrégation▪ Béton de masse▪ Béton préfabriqué▪ Béton routier▪ Béton transporté										
DONNEES TECHNIQUES	<table><tr><td>État physique à 20 °c :</td><td>liquide</td></tr><tr><td>Couleur :</td><td>marron</td></tr><tr><td>Densité :</td><td>1.17 ± 0.02</td></tr><tr><td>PH</td><td>6-7</td></tr><tr><td>TENEUR EN CHLORE</td><td>< 1G/L</td></tr></table>	État physique à 20 °c :	liquide	Couleur :	marron	Densité :	1.17 ± 0.02	PH	6-7	TENEUR EN CHLORE	< 1G/L
État physique à 20 °c :	liquide										
Couleur :	marron										
Densité :	1.17 ± 0.02										
PH	6-7										
TENEUR EN CHLORE	< 1G/L										
PROPRIETES	<p>Les propriétés physico-chimiques de NOVA PLAST 117 permettent de :</p> <ul style="list-style-type: none">▪ Diminuer le rapport eau/ciment▪ Améliorer la rhéologie des bétons▪ Augmenter l'affaïement du béton et garantit une bonne ouvrabilité▪ Eviter les dessiccations et fissures des bétons▪ Faciliter la mise en place du béton▪ Réduire la ségrégation et la formation de défaut superficiel du béton▪ Augmenter les résistances mécaniques et la durabilité▪ Augmenter l'imperméabilité										

NOVACHEM-BUILDING SOLUTION-ALGERIE-
Ouled belil BOUIRA .W de BOUIRA
PHONE : 0770 743 864 / 0560 725 443 / 0556 283 034
FAX : +213 (0)26 72 41 09
EMAIL : novachem@chemical-innovation.dz

NOTICE TECHNIQUE : NOVA PLAST 117

CARACTERISTIQUES Plage de dosage : est de 0.8 à 2% de poids de ciment

- Pour les dosages supérieurs à 1.5% de **NOVA PLAST 117**, ils permettent d'obtenir un retard de prise
- Le dosage optimal doit être déterminé sur chantier avec un essai de convenue au laboratoire en fonction du type du béton et les caractéristiques recherchées.

Conditionnement : Jerrican de 5 et 12 kg
Futs de 220 kg
IBC 1200 kg

RECOMMANDATIONS

- Porter des gants, des vêtements et des lunettes de protection.
- Pour une parfaite application, le produit doit être utilisé impérativement lorsque la température de l'air et des supports est comprise entre 5°C et 35°C.

**PRECAUTIONS
D'EMPLOI ET DE
STOCKAGE**

- NOVA PLAST 117** est un produit qui se conserve 6 mois dans son emballage d'origine à l'abri du gel, de la chaleur et de l'humidité.
- Stockage dans un lieu sec et aéré.
 - Tenir éloigné des enfants.

Les informations données sont réelles, représentent notre savoir actuel et sont basées non seulement sur des essais en laboratoire mais également sur les expériences sur terrain. Cependant, du fait de nombreux facteurs affectant les résultats, nous offrons ces informations sans garantie et aucune responsabilité ne pourra nous être imputée.

NOVA[®] CONCRET FS

Ajout a base de fumée de silice pour béton et mortier

DESCRIPTION

Le produit **NOVA CONCRET FS** un ajout en poudre a base de fumée de silice utilisé pour la confection des béton haute performance mécanique et chimique.

MODE D'EMPLOI

le **NOVA CONCRET FS** est ajouté au composant de béton ou de mortier sec avant l'humidification. Le dosage recommandé est de 1 a 10% par rapport au poids de ciment.

DOMAINE D'UTILISATION

- Ouvrages d'art, ouvrages hydrauliques
- Bétons très sollicités (Bétons soumis aux impacts et aux chocs)
- Bétons soumis à des milieux agressifs, Sols industriels, silos

DONNEES TECHNIQUES

État physique à 20 °c :	poudre fine
Couleur :	gris
Densité de poudre	0.6
Densité réelle :	2.2 ± 0.3

CARACTERISTIQUES

consommation : 1 a 10% par rapport au poids de ciment .
conditionnement : Sac de 15 kg

RECOMMANDATIONS

Porter des gants, des vêtements et des lunettes de protection.
Pour une parfaite application, le produit doit être utilisé impérativement lorsque la température de l'air et des supports est comprise entre 5°C et 35°C.

PRECAUTIONS D'EMPLOI ET DE STOCKAGE

Le produit se conserve un an dans son emballage d'origine à l'abri du gel, de la chaleur et de l'humidité.
Stockage dans un lieu sec et aéré.
Tenir éloigné des enfants.
Utiliser un masque des lunettes et des gants de protection.

Les informations données sont réelles, représentent notre savoir actuel et sont basées non seulement sur des essais en laboratoire mais également sur les expériences du terrain. Cependant, du fait de nombreux facteurs affectant les résultats, nous offrons ces informations sans garantie et aucune responsabilité ne pourra nous être imputée

Chemical Innovation