REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Kasdi Merbah Ouargla

Faculté des sciences appliquées

Département de Génie Civil et Hydraulique

Filière : Génie Civil

Spécialité : Structure

Thème

Etude du béton de sable de dunes renforcé par des fibres soumis à haute température

Présentés par :

- FAROUROU Manal
- SEBAA Amel

Soutenu publiquement devant le jury composé de :

MOKHTARI A/Elssamed	M.C.B	Université d'Ouargla	président
CHAIB Hachem	M.A.B	Université d'Ouargla	Examinateur
BELFERRAG Allaoua	M.C.B	Université d'Ouargla	Promoteur
MEZIANI Nedjma	M.A.A	Université d'Ouargla	Co-promotrice

Année Universitaire: 2017 / 2018

Remerciement

Tout d'abord, nous tenons à remercier Allah, le clément et le miséricordieux de nous avoir donné la force et le courage de mener à bien ce modeste travail.

Nous souhaitons remercier le docteur **BELFERRAG Allaoua** qui a encadré cette thèse et Mademoiselle **MEZIANI Nedjma** qui a accepté de nous co-encadré. Ils nous ont soutenue tout au long de ce travail, leurs disponibilité et toutes nos discussions ont été fructueuses pour l'avancée de cette thèse et mener à bien ce travail de recherche. Nous le remercie également pour les nombreuses heures passées à la lecture et aux corrections du manuscrit.

Nous remercie tous les membres du jury d'avoir accepté d'être les rapporteurs de notre thèse.

Nos remerciements vont aussi à tous les membres du laboratoire, techniciens, secrétaires qui ont participé indirectement ou directement au bon déroulement de ces travaux de recherche et à leur finalité.

Nous remercions aussi tous nos amis pour leurs aides, leurs patiences, leurs compréhensions et leurs encouragements.

Nous exprimons toutes nos profondes reconnaissances à tous ceux et celles qui de près ou de loin nous ont apporté aide et encouragement. Qu'ils trouvent ici l'expression de notre profonde gratitude.

Sommaire

liste des tableaux……..... I

liste des figures…….. IV

Introduction générale…… 1

Chapitre I : Etude bibliographique

I.1. Introduction ……..

I.2. Béton de sable ……... 4

I.3. Composition de béton de sable fibré……..... 4

I.3.1. Le ciment …….. 5

I.3.2. Le sable ……..... 5

I.3.3. L'eau……..... 5

I.3.4. Les ajouts …… 6

I.3.5. Les fibres ……..... 6

I.3.5.1. Types de fibres…… 6

I.3.5.2. Fibres de polypropylène 6

I.3.6. Les adjuvants 7

I.4. Résistance à haute température du béton avec et sans fibres 7

I.4.1.Comportement en traction 7

I.4.2.Comportement en compression 7

I.5. L'effet de la température sur des fibres à l'intérieur de la matrice cimentaire 9

I.6 Conclusion 11

Chapitre II : Caractérisation des matériaux et procédures d'essais

II.1. Introduction …….. 14

II.2. Caractéristiques des matériaux……. 14

II.2.1.Sable…… 14

II.2.1.1.Masse volumique absolue …… 14

II.2.1.2.Masse volumique apparente……. 14

II.2.1.3. Equivalent de sable……. 15

II.2.1.4. Analyse granulométrique…… 16

II.2.1.4.1. Module de finesse……..... 18

II.2.2. Ciment…… 22

II.2.2.1 Caractéristiques chimiques……..... 22

II.2.2.2 Caractéristiques mécaniques ……..... 22

II.2.3. Eau de gâchage…….. 22

II.2.4. Les adjuvants…… 23

II.2.5. Les fibres…… 23

II.2.5.1. Caractéristiques physiques et mécaniques des fibres utilisées…… 24

II.3. Formulation des bétons de sable renforcés de fibres……. 24

II.3.1. Essais de maniabilité…….. 24

II.3.1.1.Conduite de l'essai……..... 24

II.3.2. Formulation du béton de sable témoin…… 25

II.3.3. Formulation des bétons renforcés…….. 26

II.3.4. Composition des bétons utilisés…… 26

II.5.Conclusion…… 27

Chapitre III : Résultats et discutions

III.1. Introduction……..... 29

III.2. Caractérisation du comportement des bétons à haute température…… 29

III.2.1. Résistance mécanique ……... 29

Dispositif de chauffage…… 29

III.3. La méthodologie…… 30

III.3.1. Disposition dans le four……... 30

III.4. Résistances mécaniques..... 31

III.4.1. Résistance à la flexion NFP18-407……... 31

III.4.2. Résistance à la compression NFP18-406……. 32

III.4.2.1. Principe de l'essai…….. 32

III.5. Conclusion..... 32

Conclusion générale……..... 34

Références bibliographiques……... 36

Annexe……..... 38

Liste des tableaux

Chapitre II : Caractérisation des matériaux et procédures d'essais

Tableau II.1 Résultat de la masse volumique absolue……. 15

Tableau II.2 Résultat de la Masse volumique apparente…… 16

Tableau II.3 Nature et qualité du sable selon les valeurs d'équivalent de sable…… 17

Tableau II.4 Résultats de l'équivalent de sable…… 17

Tableau II.5 Résultats d'analyse granulométrique du sable de dunes (100%SD)……. 19

Tableau II.6 Résultats d'analyse granulométrique de 100% du sable alluvionnaire (SA)… 20

Tableau II.7 Résultats d'analyse granulométrique de 50% SA +50% SD…… 21

Tableau II.8 Module de finesse de différents échantillons…….. 22

Tableau II.9 L'analyse chimique du ciment…….. 22

Tableau II.10 Caractéristiques physiques et mécaniques de ciment utilisé……. 22

Tableau II.11Caractéristiques chimiques de l'au utilisé……..... 23

Tableau II.12: Caractéristiques de MEDAFLUID 40 (Plastifiant)..... 23

Tableau II.13 Caractéristiques physiques et mécaniques des fibres……. 24

Tableau II.14 Classe de consistance des bétons…… 25

Tableau II.15 Composition du B_1 (100% SD) et B_2 (50% SD + 50% SA)……. 26

Liste des figures

Chapitre I : Etude bibliographique

Figure I.1: Métro de Saint-Petersbourg…… 4
Figure I.2: Comportement du béton en traction simple…… 8
Figure I.3: Résistance résiduelle relative à la traction…….. 9
Figure I.4: Evolution des résistances résiduelles relatives à la traction en fonction du cycle de chauffage-refroidissement…….. 9
Figure I.5: Courbe contrainte-déformation en compression simple……... 10
Figure I.6: Résistance résiduelle relative à la compression…… 10
Figure I.7 : Résistance résiduelle relative à la compression…….. 11
Figure I.8 : (a) Évolution de la conductivité thermique. (b)-les températures à la surface et au centre d'éprouvette…….. 12

Chapitre II : Caractérisation des matériaux et procédures d'essais

Figure II.1: Essai Masse volumique absolue…… 15
Figure II.2: Essai Masse volumique apparente……. 16
Figure II.3: Essai d'équivalent de sable…… 17
Figure II.4: Essai Analyse granulométrique…….. 18
Figure II.5: Courbe granulométrique (100 % sable de dunes)……..... 19
Figure II.6: Courbe granulométrique (100% sable alluvionnaire)…… 20
Figure II.7: Résultats d'analyse granulométrique (50% SA+50% SD)…….. 21
Figure II.8: Le plastifiant utilisé……. 23
Figure II.9: Les fibres polypropylène utilisées……..…… 24
Figure II.10: Schéma d'un Maniabilimètre LCL…… 25
Figure II.11: Dispositifs de chauffage…….. 27
Figure II.12: Disposition des éprouvettes dans le four…….. 28
Figure II.13: Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion (3 points)…….. 29
Figure II.14: Dispositif de rupture en compression…… 30

Chapitre III : Résultats et discutions

Figure III.1: Résistance à la compression du béton sans fibres……. 32
Figure III.2 : Résistance à la compression du béton B1 avec longueur des fibres……. 33
Figure III.3 : Résistance à la compression du béton B1 avec longueur des fibres……. 34
Figure III.4 : Résistance à la compression du béton B1 avec des pourcentages fibres….. 34

Figure III.5 : Résistance à la compression du béton B1 avec des pourcentages fibres…… 35
Figure III.6 : Résistance à la compression du béton B2 avec longueur des fibres…….. 35
Figure III.7 : Résistance à la compression du béton B2 avec longueur des fibres…….. 36
Figure III. 8 : Résistance à la compression du béton B2 avec pourcentages des fibres…. 36
Figure III. 9 : Résistance à la compression du béton B2 avec pourcentages des fibres…. 37
Figure III.10: Résistance à la compression du béton B1 avec et sans fibres…… 37
Figure III.11 : Résistance à la compression du béton B1 avec et sans fibres……. 38
Figure III.12 : Résistance à la compression du béton B2 avec et sans fibres……. 38
Figure III.13 : Résistance à la compression du béton B2 avec et sans fibres……. 39
Figure III.14 : Résistance à la compression du béton avec et sans fibres en fonction températures……. 39
Figure III.15 : Résistance à la compression du béton avec et sans fibres en fonction températures…… 40
Figure III.16: Résistance à la traction du béton sans fibres…….. 41
Figure III.17 : Résistance à la traction du béton B1 avec longueur des fibres……... 42
Figure III.18 : Résistance à la traction du béton B1 avec longueur des fibres……... 42
Figure III.19 : Résistance à la traction du béton B1 avec des pourcentages fibres…… 43
Figure III.20 : Résistance à la traction du béton B1 avec des pourcentages fibres……. 43
Figure III.21 : Résistance à la traction du béton B2 avec longueur des fibres…… 44
Figure III.22 : Résistance à la traction du béton B2 avec longueur des fibres…… 44
Figure III. 23 : Résistance à la traction du béton B2 avec pourcentages des fibres……... 45
Figure III.24 : Résistance à la traction du béton B2 avec pourcentages des fibres…… 45
Figure III.25: Résistance à la traction du béton B1 avec et sans fibres……. 46
Figure III.26 : Résistance à la traction du béton B1 avec et sans fibres……. 46
Figure III.27 : Résistance à la traction du béton B2 avec et sans fibres……. 47
Figure III.28 : Résistance à la traction du béton B2 avec et sans fibres…… 47
Figure III.29 :Résistance à la traction du béton avec et sans fibres en fonction températures…….. 48
Figure III.30 :Résistance à la traction du béton avec et sans fibres en fonction températures…….. 48
Figure III.31: Perte en masse des bétons avec et sans fibres en fonction des températures…….. 49
Figure III.32: Perte en masse des bétons avec et sans fibres en fonction des

températures…… 49
Figure III.33: Perte en masse des bétons avec et sans fibres en fonction des
températures……. 50
Figure III.34: Perte en masse des bétons avec et sans fibres en fonction des
températures……. 50
Figure III.35: Perte en masse des bétons B1 et B2 en fonction de température 600°C. 51

Introduction générales

Le béton est le matériau le plus utilisé dans tous les domaines de la construction et du bâtiment, il contient habituellement un mélange de ciment, d'eau et des granulats, mais il est considéré comme homogène. Non seulement, il peut être moulé dans les plus diverses cas facilement, mais aussi il possède une excellente résistance à la compression et une grande rigidité.

Ces caractéristiques ont néanmoins limitées son utilisation: il est fragile (résistance au choc), il résiste mal à la traction et il est sujet à la fissuration dans le cas des éléments minces. Pour cela on ajoute des fibres (béton de fibre), qui peuvent apporter une meilleure réponse au problème de la fragilité du béton et minimiser le risque de fissuration ce qui permettait d'améliorer sa durabilité et sa résistance. Il existe actuellement une grande variété de fibres, parmi les plus utilisées, les fibres d'acier, de verre et de polypropylène, …etc.

La disponibilité des matériaux locaux à savoir le sable de dunes qui couvre une grande partie du territoire national, permet une exploitation et une valorisation dans le domaine de construction, et pour but d'économiser l'importation de sable alluvionnaire dans notre région, nous avons proposé une correction de sable de dunes par un sable alluvionnaire pour améliorer sa granulométrie.

L'objectif de ce travail consiste à étudier les caractéristiques mécaniques à haute température d'un béton à base de sable de dunes contenant différents dosages en fibres polypropylène de 1 et 1,5% et de longueur de 12 et 18 mm. Les essais sont effectués sur des éprouvettes soumises à des températures de 20, 150, 450 et 600C°.

Cette présente étude comprend trois principaux chapitres.

- Le premier chapitre est une analyse bibliographique sur le béton de sable fibré et de différents travaux de recherche sur le béton soumis à une température élevée.

- le deuxième chapitre est une étude de la caractérisation des matériaux utilisés pour la formulation du béton de sable de dunes, et les procédures d'essai effectué sur les bétons préparés.

- Le troisième chapitre est une interprétation et une analyse des résultats des propriétés mécaniques obtenus à partir de l'expérimentation sur l'ensemble des bétons réalisés avant et après passage à différentes températures.

- Enfin, l'étude se termine par une conclusion générale.

Chapitre I : Etude bibliographique

I.1. Introduction

Un béton de sable est un béton, constitué de sable, de ciment, d'eau et/ou de fines par rapport à cette composition de base et pour répondre aux besoins de certains usage, autres ajouts peuvent être envisagés tels que: des adjuvants, des fibres, des gravillons,…etc. Ce mélange est composé de sable comme élément majoritaire, on les distingue des mortiers destinés à la réalisation des joints et des enduits. Ce béton est destiné à réalises des éléments structuraux, dans le domaine du bâtiment et du génie civil, il doit avoir une résistance caractéristique suffisante, qui est liée à la compacité des constituants mélangés.

Dans ce chapitre, on va présenter le béton de sable et sa composition et on expose les études effectuées sur le comportement mécanique de béton à haute température avec et sans fibres.

I.2. Béton de sable

Le béton de sable est une technique connue de très longtemps en Union Soviétique. 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.
- Métro de Saint-Pétersbourg Figure I.1.

Figure I.1: Métro de Saint-Petersbourg

En russe à 1918, le Comte Nicolas de Rochefort publie un ouvrage de génie civil où il décrit la technique du béton de sable; de Rochefort donne des détails d'une surprenante fraîcheur technique: il signale dans son ouvrage que, si l'on broie en même temps du clinker et du sable dans un rapport de un pour un, on obtient un produit qui, mélangé au sable naturel dans un rapport de un pour trois, conduit aux mêmes résistances qu'un mélange 1/3 de clinker broyé seul et de sable, c'est-à-dire que l'on double les performances du ciment le Comte de Rochefort a

poussé l'expérience sur les compositions de broyage clinker/sable encore plus faible: 1/8 pour obtenir des résistances étonnante.

Quelques décennies plus tard, le béton de sable apparaît en France grâce au professeur académicien Rebinder.

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: à la guerre éclair de juin 1941 suit une guerre de position (1942-1943): 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.

On peut dire que la pratique de béton de sable s'est étendue à tous les domaines du génie civil et est en progression constante depuis la fin de la guerre [09].

I.3. Composition de béton de sable fibré

Les composants de base d'un béton de sable fibré sont sables, le ciment et l'eau plus les additifs qui peuvent être rajoutés dans le but de modifier les propriétés telles que la maniabilité et la résistance.

I.3.1. Le ciment

Le ciment est un liant hydraulique, il se présente sous l'aspect d'une poudre très fines qui mélangée avec de l'eau, Former une pâte Fabriqué et durci progressivement progressivement dans le temps, Ce durcissement est dû à l'hydratation de certains composés minéraux , il est obtenu par broyage fin du clinker avec une quantité nécessaire de gypse et un ou des ajout(s)minéraux actifs (ciment composé), faite simultanément ou par malaxage minutieux des mêmes matériaux broyés séparément [12].

I.3.2. Le sable

Les sables utilisables sont ceux conformes aux spécifications des bétons classiques, conformément aux normes. Classification des sables selon leurs provenances [01] :

- Sable de carrière : il contient souvent de l'argile qui enrobe les grains et les empêche d'adhérer aux liants.
- Sable de rivière : il est obtenu par dragage des lits des cours d'eau.

- Sable de mer : il provient des cotes de la mer.
- Sable de dune : il est très fin, qu'on retrouve un peut partout au Sahara.
- Sable artificiel : il obtenu par concassage des roches (calcaires dure, gré …..).

I.3.3. L'eau

La quantité d'eau de gâchage introduite dans la composition du béton influe, d'une part sur la qualité du béton, et d'autre part sur la facilité de mise en œuvre .l'eau entrant dans la composition du béton doit être pure, sans acide. Le rapport eau/ciment (E/C) dans béton de sable de dune est supérieur à celui des traditionnels et pour le réduire on a recours à des adjuvants, le rapport E/C est compris entre 0,6 et 0,7.

I.3.4. Les ajouts

Les bétons de sable constitués uniquement de sable et de ciment ont généralement des résistances inférieures à celle des bétons classiques; pour relever cette insuffisance, on effectue des ajouts, ceux-ci sont destinés à augmenter la compacité et par là même obtenir la résistance optimale [01].

On peut citer quelques types d'ajout :
- Les poudres fines.
- Les fibres.
- Les colorants.
- les polymères.

I.3.5. Les fibres [10]

Nous appellerons fibre, tout matériau de forme élancée, dont le diamètre moyen est relativement petit, la plupart des fibres utilisées ont une longueur comprise entre 1 et 60 mm avec un élancement (rapport de la longueur sur le diamètre) de l'ordre de 30 à 300. La forme de la fibre est variable et contrôlée selon le comportement souhaité, Les fibres courtes et discontinues ont cependant l'avantage de se mélanger et de se disperser dans le béton de façon uniforme.

I.3.5.1. Types de fibres

Plusieurs types des fibres sont utilisés dans la construction :
- Les fibres métalliques (acier, fonte)
- Les fibres organiques (polypropylènes, polyesters, polyamides et polystyrènes)
- Les fibres minérales (amiante, verre, carbone)

- Les fibres végétales (Jute, sisal, coir, bois, bambou, palmier)
- Les fibres animales (poil, laine, soie).

I.3.5.2. Fibres de polypropylène[10]

Les fibres à béton sont conçues et fabriquées à base de polypropylène ayant fait l'objet d'un Traitement particulier, elles sont fabriquées depuis 1954 pour l'industrie textile [Rehnstrom et Bhargava, 1977] et après elles sont utilisées pour renforcer les bétons et les mortiers.

I.3.6.Les adjuvants

Les bétons de sable utilisent les adjuvants sous diversiformes: plastifiants, super-plastifiants, etc. les adjuvants confèrent physiquement et économiquement aux bétons des avantages considérables entre autre l'amélioration de la maniabilité, l'utilisation du béton dans les conditions difficiles [02].

On peut citer quelques types adjuvants:

- Les plastifiants
- Les superplastifiants
- Les entraineurs d'air
- Retardateur de prise
- Agent réducteur de bullage
- Hydrofuge de masse
- Accélérateur de durcissement
- Antigel
- Inhibiteur de corrosion

I.4.Résistance à haute température du béton avec et sans fibres

Le béton est caractérisé par les résistances mécaniques, la résistance à la traction et la résistance à la compression, qui permet de présenter un aperçu du comportement mécanique du béton à température ambiante sous sollicitation de compression et de traction.

I.4.1.Comportement en traction

C'est le second paramètre de base, avec la résistance en compression, qui caractérise les propriétés mécaniques du béton. La figure I.1 présente la courbe contrainte-déformation pour le

béton en traction simple. Dans la première phase, le comportement est quasi linéaire jusqu'à l'atteinte de la force maximale, cette charge maximale correspond à la formation d'une fissure.

Juste avant l'apparition de la fissure visible, il y a un endommagement diffus dans une bande de faible largeur autour de la future fissure, qui explique une petite non-linéarité précédant la charge maximale. Après l'apparition de la fissure, la force décroit rapidement lorsque l'allongement croît jusqu'à s'annuler [08].

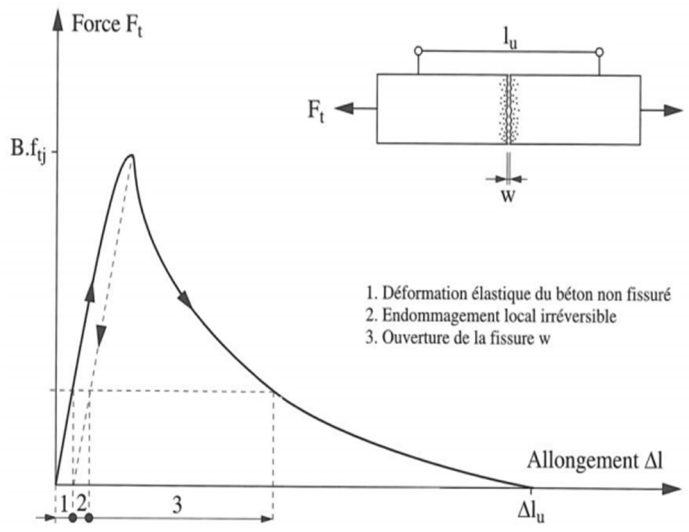

Figure I.2: Comportement du béton en traction simple [08].

La figure I.3 montre que les résultats de la résistance résiduelle relative à la traction obtenue par Pliya [17], pour des éprouvettes prismatiques 10x10x40de béton fibré (fibre métallique, fibre polypropylène et cocktails) à une température de 300°C et 600°C, ne donne aucun influence de la nature et de la proportion des fibres sur le comportement de la résistance résiduelle à la compression.

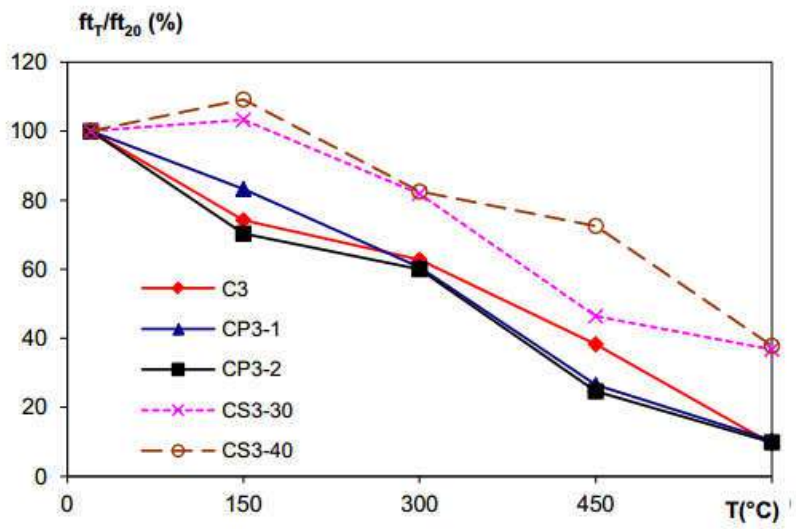

Figure I.3: Résistance résiduelle relative à la traction [17].

D'après Nonna [11], La résistance résiduelle à la traction des bétons avec ou sans fibres diminue progressivement avec la montée en température (Figure I.4). De 750°C à 900°C, la perte de résistance résiduelle à la traction est remarquable.

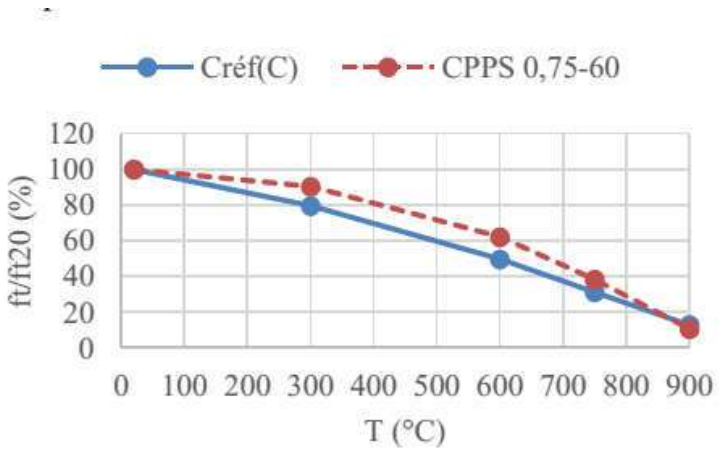

Figure I.4: Evolution des résistances résiduelles relatives à la traction en fonction du cycle de chauffage – refroidissement [11].

I.4.2.Comportement en compression

La résistance en compression est le paramètre de base pour le béton, elle définit souvent une classe de résistance dont sont censées découler beaucoup d'autres propriétés.

Le comportement de béton en compression est traduit principalement par une relation contrainte-déformation, cette relation est présentée schématiquement à la figure I.5 On peut distinguer, trois phases de comportement.

- Une phase de comportement analogue à celui d'un matériau homogène et élastique, se traduisant par une relation à peu près linéaire entre la contrainte et la déformation.

- La phase de développement de concassage fin jusqu'à la pression maximale.

- La phase de développement des surfaces de fracture et d'une fissuration plus ou moins généralisée, c'est-à-dire la propagation progressive de la rupture [08].

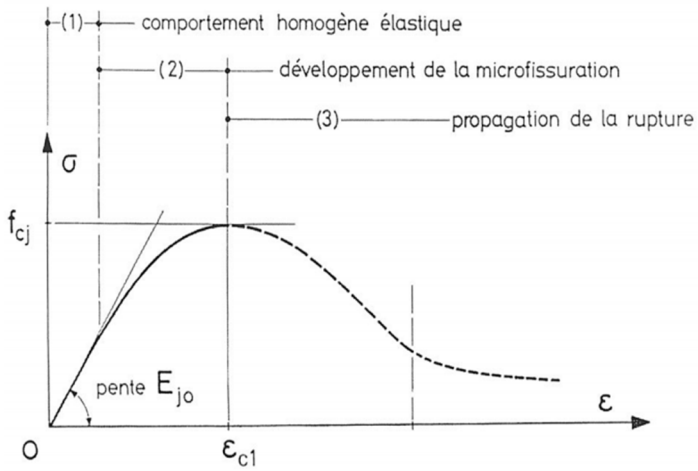

Figure I.5:Courbe contrainte-déformation en compression simple[08]

D'après Pliya [17], les résultats de la résistance résiduelle à la compression des éprouvettes cylindriques de béton fibré (fibre métallique, fibre polypropylène et cocktails des deux) soumise à une température élevée, ne donne aucun influence de la nature et de la proportion des fibres sur le comportement de la résistance résiduelle à la compression. Et la résistance résiduelle des bétons de proche de celles des bétons de fibres métalliques (Figure I.6).

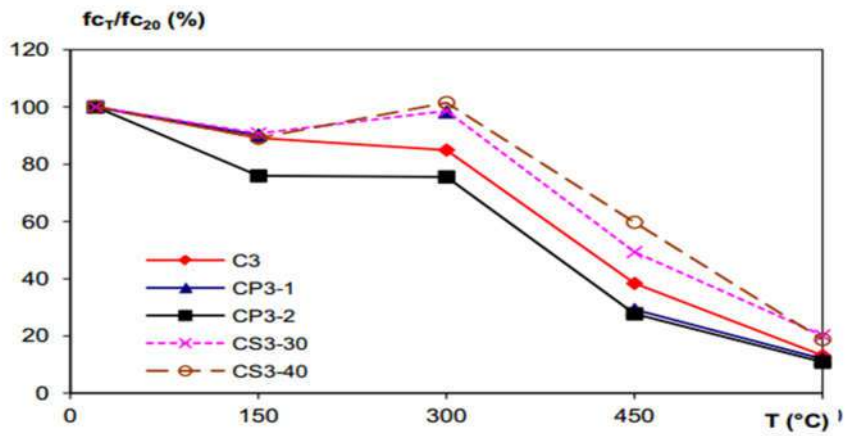

Figure I.6: Résistance résiduelle relative à la compression [17].

D'après l'étude effectuée de Nonna[11], les résultats d'essai de compression sur des éprouvettes cylindriques 15x30 cm^2en béton avec fibre en acier (Figure I.7), montrent une augmentation de la résistance résiduelle à la compression entre la température ambiante et 300°C peut être due, à la réhydratation des CSH lors de la migration et la condensation de l'eau vers les zones plus froides de l'éprouvette et, deuxièmement, à une formation de liaisons de siloxane (Si-O-Si), qui contribuent au retrait de la pâte et à l'augmentation de la résistance.

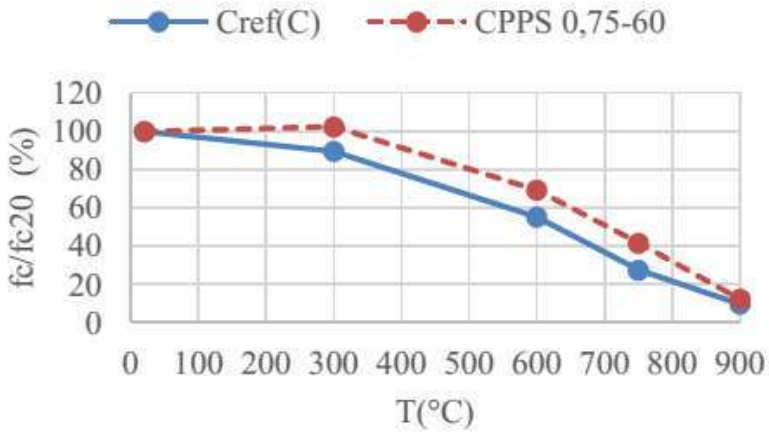

Figure I.7: Résistance résiduelle relative à la compression [11].

I.5. L'effet de la température sur des fibres à l'intérieur de la matrice cimentaire

D'après l'étude de comportement des bétons à haute température effectué Nonna[11], Les valeurs de conductivité thermique des bétons fibrés sont plus élevées que celles du béton de référence à température ambiante.

La Figure I.8 présente la différence de température entre la surface et le centre des éprouvettes cylindriques, il est remarquable de présence trois pics sur la courbe de différence de température à cause des changements physiques et chimiques dans le béton sous l'effet de température, 1ére pic apparait entre 600 – 650°C (T surf) et est lié à la de hydroxylation de la Portlandite. 2émepic est apparu à 300 et 350°C (Tsurf) à cause de la consommation de la chaleur latente. 3ème pic débute à 800°C et pourrait s'expliquer par la décarbonatation des granulats calcaires.[11]

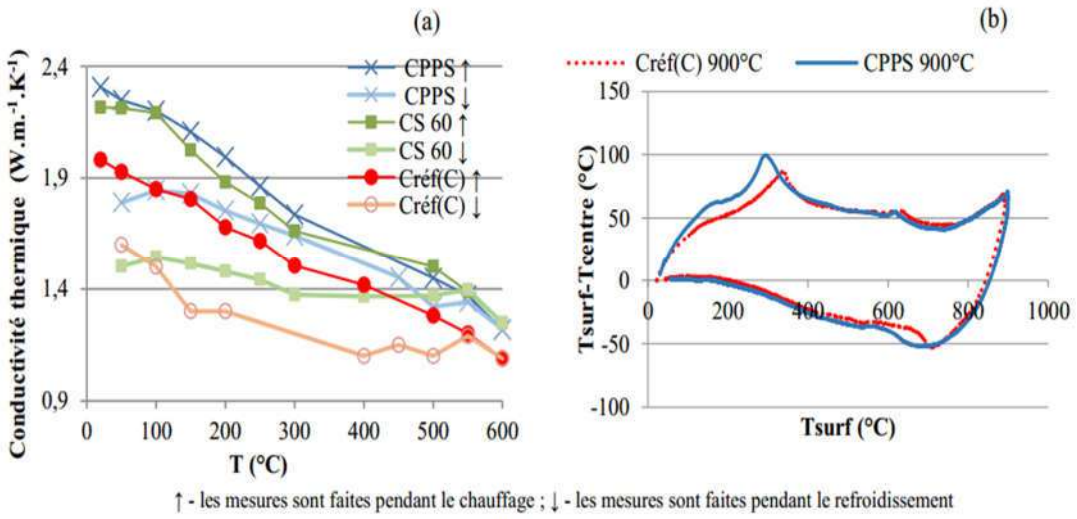

Figure I.8: (a) Évolution de la conductivité thermique (b) les températures à la surface et au centre d'éprouvette [11]

I.6. Conclusion:

Dans ce chapitre on a présenté quelques résultats expérimentaux sur le comportement du béton soumis à haute température. Différents résultats ont montré que le béton subit de nombreuses transformations physico-chimiques durant le chauffage conduisant à la modification de la microstructure et de ses propriétés macroscopiques. La perte de propriétés mécaniques et une diminution de la résistance à la pression et à la traction.

Chapitre II : Caractérisation des matériaux et procédures d'essais

II.1. Introduction

Le béton et le béton de sable renforcé de fibres est un matériau, constitué de sable, granulat, ciment, eau, adjuvant,… et d'un renfort (fibres), pour obtenir la composition de béton de sable renforcé par les fibres polypropylènes nous avons essayé dans ce chapitre d'élaborer une formulation en se basant sur les dosages correspondant à un mortier normalisé, et en procédant par le choix et la caractérisation des constituants puis par leurs dosages.

II.2. Caractéristiques des matériaux

II.2.1. Sable

On entend par le sable tout granulat 0/D conformes aux définitions des normes NFP 18-101 et NFP 18-301. Il peut s'agir soit d'un sable naturel alluvionnaire ou de ballastière, soit d'un sable de carrière issu du concassage d'une roche massive ou détritique [05].

Dans cette étude nous avons utilisé un sable alluvionnaire (SA) provenant d'un site situé à 30 km sur la RN 56 et un sable de dune (SD) de la région de Ain El Beida (Wilaya d'Ouargla)

II.2.1.1. Masse volumique absolue

Cet essai est régi par la norme NFP18-301, 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 [06].

Cet essai permet de connaître la masse d'une fraction granulaire lors de l'élaboration d'une composition de béton. [02]

Mode opératoire

Cette méthode consiste à remplir une éprouvette graduée avec un volume V1 d'eau, ensuite peser un échantillon sec MS de granulats et l'introduire dans l'éprouvette en prenant soin d'éliminer toutes les bulles d'air, le liquide monte dans l'éprouvette. Lire le nouveau volume V2, la masse volumique absolue est alors donnée par la formule suivante [06]:

$$\rho_s = \frac{M}{V_2 - V_1} \text{.....} (2.1)$$

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).

Le tableau II.1 présente les résultats obtenus de la masse volumique absolue.

Tableau II.1: Masse volumique absolue des sables utilisés

Type de sable	ρ_s (kg/m^3)
Sable de dune	2670
Sable alluvionnaire	2640

Figure II.1: Essai de la masse volumique absolue

II.2.1.2. Masse volumique apparente

Cet essai est régi par la norme NFP 18 -554, elle est défini comme étant la masse à l'état naturel du matériau rapportée à l'unité de volume, celui-ci intégrant à la fois les grains et les vides.

Mode opératoire

Cette méthode consiste à remplir un récipient dont le volume V est bien connu, par un échantillon sec de granulats, en prenant soin de bien raser le bord du récipient, peser l'échantillon sec M de granulats, la masse volumique apparente est déterminée par la relation suivante [06]:

$$\rho_a = \frac{M}{V} \quad \text{..... (2.2)}$$

Où :

ρ_a: Masse volumique apparente ;

M : Masse de l'échantillon ;

V : Volume de l'échantillon.

Le tableau II.2, présente les résultats obtenus de la masse volumique apparente des sables utilisés.

Tableau II.2: Masse volumique apparente

Type de sable	ρ_a (kg/m^3)
Sable de dune	1450
Sable alluvionnaire	1610

Figure II.2: Essai de la masse volumique apparente

II.2.1.3. Equivalent de sable

Il est défini par la norme NFP 18-598 ; cet essai permet de mesurer la propreté du sable, il est effectué sur la fraction d´un granulat passant au tamis à mailles carrées de 5 mm. Il rend compte globalement de la quantité et de la qualité des éléments fins, en exprimant un rapport conventionnel volumétrique entre les éléments sableux qui sédimentent et les éléments fins qui floculent [N.F, 1991].

Mode opératoire

Cet essai consiste à séparer les particules fines contenues dans le sol des éléments sableux plus grossiers, une procédure normalisée permet de définir un coefficient d'équivalent de sable qui quantifie la propreté du sable, il donné par la formule suivante [06] :

$$ES = \frac{h_2}{h_1} \times 100 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2.3)$$

Où :

ES: équivalent de sable ;

h_1: hauteur du sable propre et élément fins;

h_2 : hauteur du sable propre seulement.

Figure II.3: Essai d'équivalent de sable

Tableau II.3: 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
E.S.P< 60 E.S.V <65	" Sable argileux" risque de retrait ou de gonflement, à rejeter pour des bétons de qualité.
60 ≤E.P.S < 75 75>E.S.V> 65	" Sable légèrement argileux" de propreté admissible pour béton de qualité quand on ne craint pas particulièrement de retrait.
75 ≤E. P.S < 85 80> E.S.V>75	" Sable propre" à faible pourcentage de fines argileuses convenant parfaitement pour les bétons de haute qualité.
E.P.S > 85 E.S.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 présentés dans le tableau II.4, montre les pourcentages obtenus de l'équivalent de sable pour les sables utilisés dans ce travail.

Tableau II.4: Résultats de l'équivalent de sable

Sable de dune	Piston	93.11	Sable très propre
	Visuel	92.21	
Sable alluvionnaire	Piston	74.28	Sable légèrement argileux
	Visuel	70.35	

II.2.1.4.Analyse granulométrique

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

But de l'essai

Le but de l'analyse granulométrique est de classifier et exprimer les poids des particules constituant un échantillon de sable en fonction des diamètres de ces particules.

Principe d'essai

L´essai consiste à fractionner au moyen d´une série de tamis un matériau en plusieurs classes granulaires de tailles décroissantes. Les dimensions de mailles et le nombre des tamis sont choisis en fonction de la nature de l´échantillon et de la précision attendue.

Les masses des différents refus ou celles des différents tamisas sont rapportées à la masse initiale du matériau, les pourcentages ainsi obtenus sont exploités, soit sous leur forme numérique, soit sous une forme graphique (courbe granulométrique) [N.F, 1990].

En utilisant généralement les tamis 0.08, 0.160, 0.315, 0.63, 1.25, 2.5 et 5mm.

Figure II.4: Essai d'analyse granulométrique.

Nous avons utilisé trois échantillons :

Premier échantillon : 100% sable de dunes ;

Deuxième échantillon : 100% sable alluvionnaire ;

Troisième échantillon : 50 % sable alluvionnaire + 50% sable de dunes ;

Les tableaux suivants montrent les résultats d'analyse granulométrique obtenus pour les sables utilisés.

- 1er échantillon sable de dunes

Tableau II.5: Résultats d'analyse granulométrique du sable de dunes (100%SD)

Tamis (mm)	Refus cumulés (g)	Refus cumulés (%)	Tamisât cumulés (%)
5	0	0,00	100,00
2,5	0	0,00	100,00
1,25	0	0,00	100,00
0,63	0	0,00	100,00
0,315	6,8	0,68	99,32
0,16	948,8	94,88	5,12
0,08	988,2	98,82	1,18
Fond	997,9	99,79	0,21

La figure II.5, représente la courbe granulométrique de sable de dunes utilisé dans ce travail.

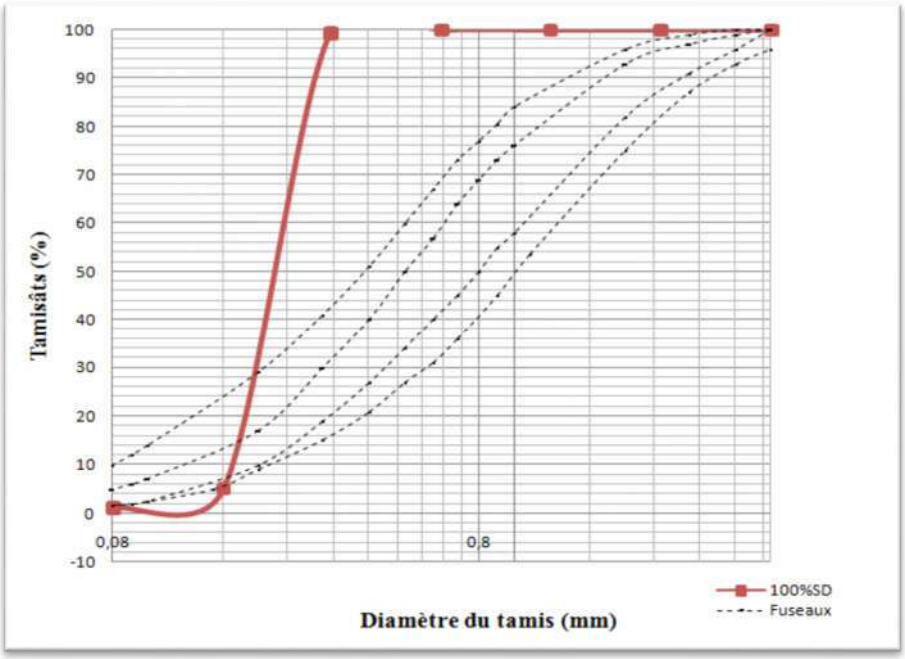

Figure II.5: Courbe granulométrique (100 % sable de dunes)

- 2eme échantillon sable alluvionnaire

Tableau II.6: Analyse granulométrique du sable alluvionnaire (SA)

Tamis (mm)	Refus cumulés (g)	Refus cumulés (%)	Tamisats cumulés (%)
5	9	0,9	99
2,5	72	7,2	93
1,25	313	31,3	69
0,63	725	72 ,5	28
0,315	900	90	10
0,16	944	94,4	6
0,08	978	97,8	2
Fond	984	98,4	0,00

La figure II.6, représente la courbe granulométrique du sable alluvionnaire utilisé dans ce travail.

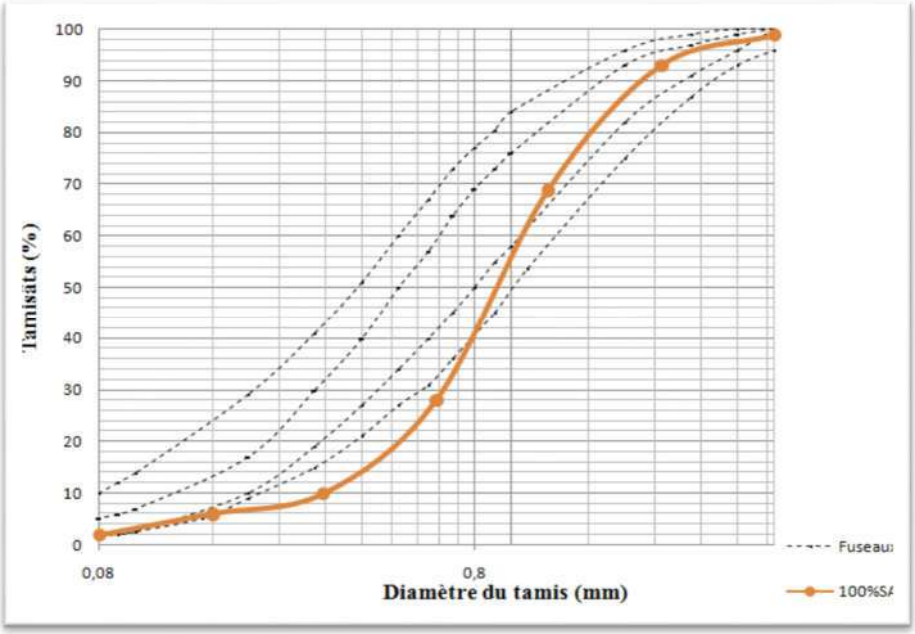

Figure II.6: Courbe granulométrique (100% sable alluvionnaire)

- 3éme échantillon 50% sable de dunes +50% sable alluvionnaire

Tableau II.7: Analyse granulométrique du sable composé de 50% SA + 50% SD

Tamis (mm)	Refus cumulés (g)	Refus cumulés (%)	Tamisats cumulés (%)
5	0	0,00	100
2,5	26	2,60	97
1,25	136	13,60	86
0,63	347	34,70	65
0,315	461	46,10	54
0,16	918	91,80	8
0,08	975	97,50	3
Fond	990	99,99	0,01

La figure II.7 représente la courbe granulométrique du sable de dunes corrigé à 50 % avec du sable alluvionnaire.

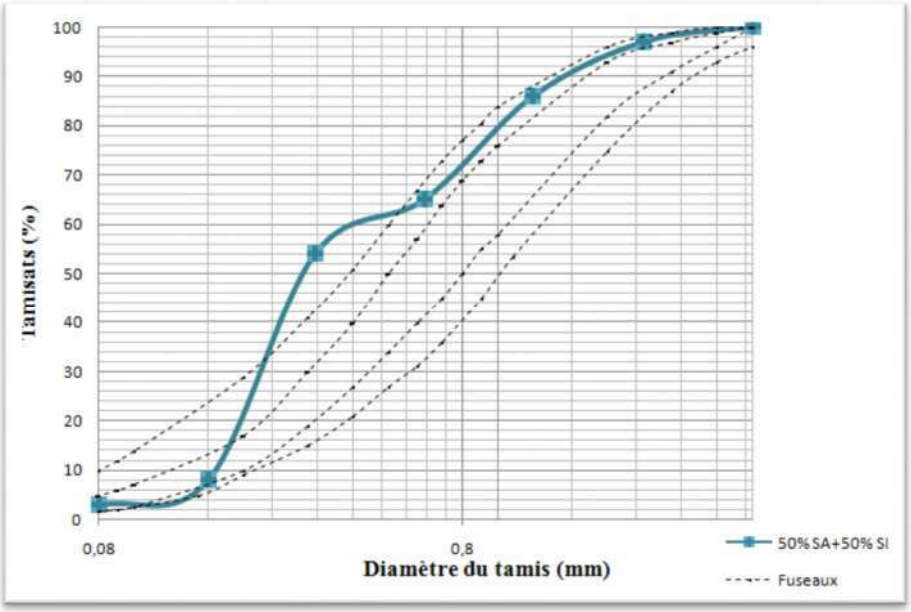

Figure II.7: Courbe granulométrique (50% SA+50% SD)

II.2.1.4.1.Module de finesse

Les sables sont caractérisés par le module de finesse, ce module est égal au 1/100e de la somme des refus cumulés exprimés en pourcentages sur les tamis de série suivant (0,16 - 0,315 - 0,63 - 1,25 - 2,5 - 5 mm) [07].

$$M_f = \Sigma R_c / 100 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2.4).$$

Où :

R_c : refus cumulé en (%).

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

Tableau II.8 : Modules de finesses de différents échantillons

Echantillons	Module de finesse (M_f)	Classement des sables
SD	0,96	sable très fin
SA	2,95	sable préférentiel
50% SA+50% SD	1,89	sable un peu trop fin

II.2.2. Ciment

Le ciment utilisé est un ciment CPJ CEM II /BL 42.5N disponible sur le marché fabriqué par la cimenterie (ELMATIN).

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]

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

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[F.T.M]

Propriétés physiques et mécaniques	CPJ-CEM II /B-L
Début de prise heur/min	150±30
Fin de prise heur/min	230±50
Rc_{28} (MPa)	≥42.5
Rc_2 (MPa)	≥10.0

II.2.3. Eau de gâchage

L'eau utilisée pour la confection du béton est celle du robinet de l'ancien laboratoire de génie civil de l'université d'Ouargla.

L'analyse chimique de l'eau a été effectuée au laboratoire de Algérienne des Eaux, les résultats sont présentés dans le tableau II.11 et l'annexe 2

Tableau II.11Caractéristiques chimiques de l'au utilisé

Ca^{++}	Mg^{++}	K^{+}	Na^{+}	Cl^{-}	NH_4	SO_4^{-}	HCO_3^{-}	PH	salinité
240,48	162,81	23	400	998,03	0,09	720	184,92	7,5	2300

*Les concentrations sont données en mg / l

D'après les résultats notre eau représente une faible salinité, donc pouvant être utilisée pour les bétons et mortiers normaux.

II.2.4 les Adjuvants

Le plastifiant que nous avons utilisé est appelé MEDAFLUID 40 et un plastifiant réducteur d'eau, il est compatible avec tous les types de ciment [Annexe C]

Tableau II.12: Caractéristiques de MEDAFLUID 40

Couleur	Aspect	pH	Teneur en chlore	Extrait sec	Densité
Marron	Liquide	8-9	< 1 g /l	40%	1.19

Figure II.8: Le plastifiant utilisé

Les propriétés de l'adjuvant sont :

- diminuer le rapport E / C;
- Faciliter la mise en œuvre du béton
- Eviter la ségrégation
- Conservation de l'ouvrabilité par temps chaud.

II.2.5. Les fibres

Les fibres utilisées dans cette étude expérimentale sont des fibres polypropylène commercialisées par la société Algérienne Zone Industrielle de Sidi-Bel-Abbès « **TEKNACHEM** », conçu spécialement pour l'amélioration des propriétés du béton et de mortier tel que la résistance [F.T.TEKNACHEM].

Figure II.9: Les fibres polypropylène utilisées (12mm et 18mm)

II.2.5.1. Caractéristiques physiques et mécaniques des fibres utilisées

Les Caractéristiques physiques et mécaniques des fibres utilisées sont résumées dans le tableau suivant.

Tableau II.13: Caractéristiques physiques et mécaniques des fibres polypropylène.

Densité g/cm³	Longueur mm	Section	Epaisseur	Poids spécifique g / cm³	Point de fusion	Allung. à la rupture	Résistance à la traction N/mm²	Module d'Young MPa
0,8 à 1,00	12/18 nominale	Circulaire	32 microns	0,91	160° C	40 %	450	3700

II.3. Formulation des bétons de sable renforcés de fibres

Après avoir choisi les constituants utilisés dans la composition des bétons de fibres, et après détermination des propriétés, on procède à la détermination des dosages de chaque composé, et cela dans le but d'avoir une maniabilité acceptable par rapport à la consistance du béton souhaitée.

II.3.1. Les Essais de maniabilité

Elle nous permis d'apprécier la fluidité d'un mortier qu'est l'objet des essais définis par les normes (NF P18-452).

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.

Le béton de sable demandent une quantité d'eau élevée par rapport au béton classique; ceci se traduit par des valeurs du rapport E/C systématiquement entre (0.6 et 0.7). 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.

Le principe de cet essai, la consistance est caractérisée par le temps que met le mortier pour s'écouler sous l'effet d'une vibration.

L'appareil utilisé est appelé Maniabilimètre LCPC figure II.10, Il consiste en un boitier parallélépipédique métallique (7.5cm × 7.5cm×15cm), posé sur des supports en caoutchouc, équipe d'un vibrateur et muni d'une cloison amovible [06].

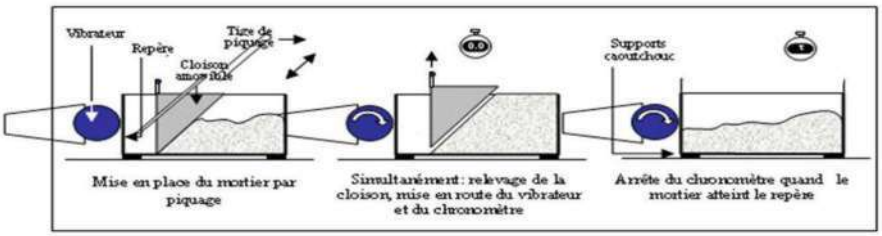

Figure II.10: Schéma d'un Maniabilimètre LCL [06].

II.3.1.1. Conduite de l'essai

Le mortier est introduit dans la partie désigné sur la figure II.10 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 vibrateur 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 boitier figure II.10 [02].

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 comme illustré au tableau II.14.

Tableau II.14: Classe de consistance des bétons

classe de consistance	durée (en s)
Ferme	$t \geq 40$
Plastique	$20 < t \leq 30$
Très Plastique	$10 < t \leq 20$
Fluide	$t \leq 10$

II.3.2. Formulation du béton de sable témoin

Pour la composition du béton de sable, nous avons utilisé un dosage en ciment et sable correspondant à celui d'un mortier normalisé c'est-à-dire une part de ciment et trois part 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 [02].

II.3.3.Formulation des bétons renforcés

Concernant la formulation du béton de sable renforcé de fibres Polypropylène, nous avons gardé le rapport E/C de la composition de la matrice du béton de sable sans fibres. En se basant sur l'essai de maniabilité au laboratoire on trouve pratiquement les mêmes résultats du rapport E/C pour les bétons sans fibres et ceux avec fibres [05].

La quantité des fibres utilisées varie de 1% et 1.5% en volume, tout en substituant le volume de sable par un même volume de fibres.

II.3.4. Composition des bétons utilisés

Les compositions des échantillons utilisés dans l'étude pour un mètre cube de béton sont :

- Composition du B_1 (100% SD)
- Composition du B_2 (50% SD + 50% SA).
- Les fibres F1=18mm et F2=12mm

Tableau II.15: Composition du B_1 (100% SD) et B_2 (50% SD + 50% SA).

Cas	Fibres %	Sable (Kg)		Ciment (Kg)	Eau (l)	Fibres (%)	Plastifiant (g)	E/C (%)
		SD	SA					
B1	B1		/			/	/	
	B1_1% F1		/					
	B1_1.5% F1		/					
	B1_1% F2		/					
	B1_1.5% F2		/					
B2	B2							
	B2_1% F1							
	B2_1.5% F1							
	B2_1% F2							
	B2_1.5% F2							

II.5.Conclusion

Le travail présenté dans ce chapitre traite les caractéristiques des matériaux utilisés dans la formulation de notre mélange, les conclusions qu'on peut tirer de cette caractérisation sont : Le sable alluvionnaire (SA) provenant de la carrière à 30 km sur la RN 56, est caractérisé par une granulométrie étalée qui s'inscrit dans le fuseau recommandé pour les bétons ordinaires.

- Le sable de dunes (SD) de la région Ain El Beida (Wilaya d'Ouargla), est caractérisé par une granulométrie serrée situé hors du fuseau recommandé de sable.
- La composition ayant les proportions (50%SA+50%SD), donne un module de finesse relativement acceptable.
- Pour la formulation du béton de sable renforcé de fibres, nous avons gardé le rapport E/C de la composition de la matrice du béton de sable sans fibres.
- Nous avons choisi des fibres polypropylène dont deux longueurs 12mm et 18mm et avec deux pourcentages sont 1% et 1.5%, pour tester l'effet de l'orientation des fibres et déterminer les meilleurs performances mécaniques des mélanges proposés.

Chapitre III : Résultats et discutions

III.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons les résultats expérimentaux des tests réalisés sur les bétons de sable avec et sans fibres aux différents températures.

Nous avons abordé l'analyse des propriétés physiques et mécanique des bétons de sable de dunes avec et sans fibres soumis à des hautes températures (cycles de chauffage refroidissement). Ensuite, nous avons entamé le volet concernant l'analyse des résultats et discussions de l'ensemble des bétons réalisés.

III.2. Caractérisation du comportement des bétons à haute température

L'exposition des bétons à des températures élevées entraine des transformations physico-chimiques et microstructurales qui vont alors conduire aux changements des propriétés physiques et mécaniques. Dans les paragraphes suivants, nous allons présenter l'évolution de certaines propriétés physiques et mécaniques de différentes formulations du béton sous l'effet de la température.

III.2.1. Résistance mécanique

Concernant la formulation du béton de sable renforcé de fibres Polypropylène, nous avons gardé le rapport E/C de la composition de la matrice du béton de sable sans fibres. En se basant sur l'essai de maniabilité au laboratoire on trouve pratiquement les mêmes résultats du rapport E/C pour les bétons sans fibres et ceux avec fibres [05].

La quantité des fibres utilisées varie de 1% et 1.5% en volume, tout en substituant le volume de sable par un même volume de fibres.

Dispositif de chauffage

Afin de réaliser les cycles de chauffage, nous utilisons un four électrique programmable dont les dimensions utiles sont de 250 x 250 x 355 mm. Ce four permet le chauffage de douze éprouvettes prismatiques 4x4x16 cm en même temps.

Le four Figure II.11 est piloté par un régulateur programmateur, relié à un thermocouple placé dans les fours, offrant la possibilité à un opérateur d'installer des programmes prédéfinis et permettant l'enregistrement des températures à l'intérieur du four.

Figure II.11: Dispositifs de chauffage.

III. 3. La méthodologie

Toutes les éprouvettes retenues pour cette étude sont testées après leur refroidissement. Nous appliquons trois cycles de chauffage-refroidissement de 20°C à différentes températures de palier : 150°C, 300°C, 450°C et 600°C. Chaque cycle de chauffage-refroidissement se compose de trois phases, une phase de montée en température, une phase de stabilisation à température constante et une troisième phase de descente de la température du palier à la température ambiante. La rampe de montée en température est constante et la vitesse égale à 1°C/min. Ces rampes de montée en température sont suivies d'un palier de stabilisation en température d'une durée d'une heure. La dernière phase est une rampe de refroidissement jusqu'à la température ambiante.

La durée du palier d'1 heure a été choisie pour permettre une confrontation de nos résultats à ceux de la littérature [08].

III.3.1. Disposition dans le four

Pour réaliser un essai de chauffage, nous disposons dans le four 9 éprouvette; elles sont disposées au milieu du four de façon à avoir une exposition à la chaleur homogène. La Figure II.12 illustre la disposition des éprouvettes dans le four.

Figure II.12: Disposition des éprouvettes dans le four.

III.4. Résistances mécaniques

L'essai a pour but de connaître la résistance à la compression et à la traction du béton.

III.4.1. Résistance à la flexion NFP18-407

Cet essai est exécuté par une machine désignée pour les tests de flexion, sur les éprouvettes de béton de sable (4x4x16).

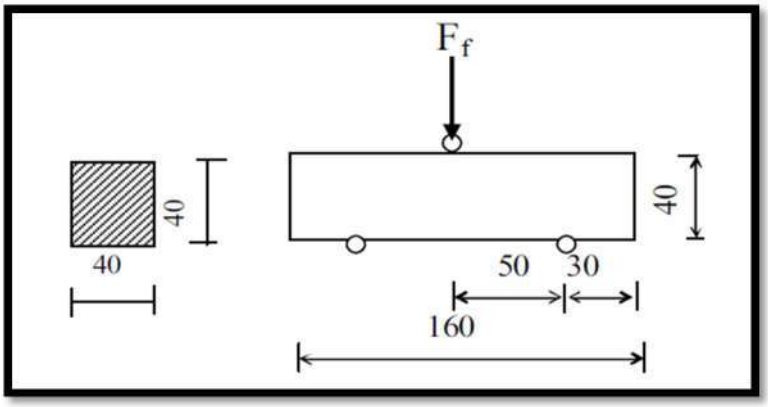

Figure II.13 : Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion (3 points)

La résistance à la flexion est calculée selon l'équation (2.6) :

$$R_f = \frac{1.5 \cdot F_f \cdot l}{b^3} \quad [\text{MPa}] \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2.6)$$

Où :

R_f : Résistance à la flexion en (MPa) ;

F_f : Charge de rupture en N.

L: La distance entre les appuis (L = 100 mm).

b: Le coté de la section carrée de l'éprouvette (b = 40 mm).

III.4.2. Résistance à la compression NFP18-406

III.4.2.1. Principe de l'essai

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.20.

La résistance à la compression est calculée selon l'équation (2.7) :

$$R_C = \frac{F_c}{b^2} \quad \text{..... (2.7)}$$

R_C**:** Résistance à la compression en (MPa) ;

F_c **:** Charge de rupture en (N) ;

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

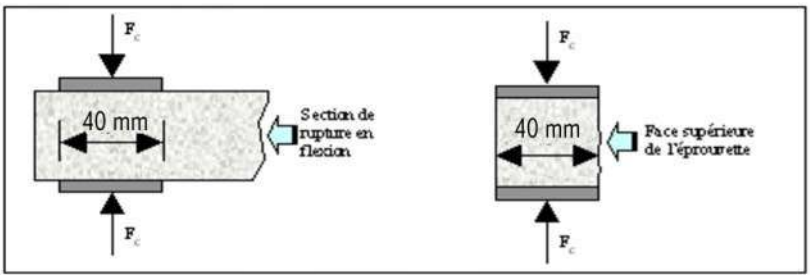

Figure II.14: Dispositif de rupture en compression

III.5. Conclusion

- Dans ce chapitre on a étudié les caractéristiques mécaniques (compression et flexion) et la perte en masse pour les différentes compositions de béton de sable B_1, B_2, sous l'effet de haute température (20°C, 150°C, 300°C, 450°C et 600°C).

D'après les résultats obtenus nous pouvons tirer les conclusions suivantes:

- Les meilleures résistances à la compression et à la flexion sont obtenus par la composition B_2 (50%SA+50%SD).
- Une amélioration des résistances mécaniques par l'augmentation du dosage en fibres.

- Pour le mélange B1, La fibre F1 affiche une résistance à la flexion et à la compression supérieure par rapport à F2.
- Pour le mélange B2, La fibre F1 affiche une résistance à la flexion supérieure par rapport à F2, par contre à la compression F2 affiche le meilleur résultat.
- Jusqu'à une température de 150°C, le béton manifeste une bonne résistance mécanique.
- La quantité (pourcentage) des fibres semble être le facteur le plus important qui gouverne la perte en masse.
- Les pertes en masse sont généralement plus grandes pour les bétons de fibres comparativement aux bétons sans fibre.

Conclusion générale

L'utilisation des fibres dans la construction remonte à plusieurs siècles. Depuis les trente dernières années, l'intérêt pour leur utilisation ne cesse de croître pour la fabrication du béton de sable.

Le béton fibré est utilisable dans tous les domaines en bâtiment et génie civil, aussi bien dans les constructions industrielles, commerciales et institutionnelles que résidentielles. Les fibres ont généralement pour rôle de renforcer ou remplacer l'action des armatures traditionnelles en s'opposant à la propagation des microfissures.

La présente étude porte sur l'élaboration et la caractérisation des bétons de sable renforcés par les fibres polypropylène soumis à haute température en incorporant des fibres avec différente dosage (1% et 1.5%)

Quatre paliers de température ont été choisis (150, 300, 450 et 600°C) afin de pouvoir délimiter les seuils de température tolérable pour les bétons de sable avec et sans fibres.

Après une étude expérimentale nous avons conclu ce qui suit :

- Les meilleures résistances à la compression et à la flexion sont obtenus par la composition B_2 (50% SA + 50% SD).
- A une température de 150°C, le béton manifeste une bonne résistance mécanique.
- L'utilisation des fibres polypropylène avec les bétons améliore d'une manière acceptable sa résistance mécanique par l'augmentation du dosage en fibres.
- Le béton réalisé avec la fibre polypropylène F2 à une résistance à la flexion et à la compression supérieure a celle du béton réalisé avec la fibre polypropylène F1.
- les bétons réalisés avec la fibre ayant une longueur de 18 mm, présentent les meilleures résistances à la compression par rapport à ceux réalisés avec l'introduction de la fibre ayant une longueur de 12mm.
- La résistance à la compression des bétons renforcés par 1.5% en fibres polypropylène est supérieure à ceux renforcé par un pourcentage de 1.0%.
- La résistance à la flexion des bétons renforcés par 1.0% en fibres polypropylène est supérieure à ceux renforcé par un pourcentage de 1.5%.

- La quantité (pourcentage) des fibres semble être le facteur le plus important qui gouverne la perte en masse.
- Les bétons B1 (1% et 1.5% de fibres à 150°C), réalisés avec la fibre ayant une longueur de 18 mm, présentent les meilleures résistances à la compression et à la flexion par rapport à ceux réalisés avec des fibres ayant une longueur de 12mm.
- Les bétons B2 (1% et 1.5% de fibres à 150°C), réalisés avec la fibre ayant une longueur de 12mm, présentent les meilleures résistances à la compression par rapport à ceux réalisés avec de la fibre ayant une longueur de 18 mm. Par contre les meilleurs résultats de la résistance à la flexion sont donnés par la fibre de longueur 18 mm.
- Les pertes en masse sont généralement plus grandes pour les bétons de fibres comparativement aux bétons sans fibre.

Donc la fonction principale des fibres dans le béton est de réduire l'ouverture et la propagation des fissures en état de service et d'augmenter les résistances afin de transformer le comportement fragile du béton en un comportement ductile.

Recommandations

- L'utilisation des appareils de mesures standardisés et automatiques est souhaitée.
- L'utilisation d'un malaxeur est recommandée pour garantir l'homogénéité du malaxage.

Références bibliographiques

Ahmed, Oughba Mohamed Abderrahmane NAFE, 2013. Etude des caractéristiques mécaniques du béton de sable de dunes sous l'effet d'adjuvant, mémoire mastère, Université Ouargla. 01

AYACHI, Amor Mohamed, 2011. Etude des propriétés mécaniques du béton de sable de dunes ; mémoire mastère ; Université Ouargla. 02

BABA ARBI.A, Mansour .N 2017 Comportement du béton de sable de dunes renforcé par des fibres métalliques soumis à haute température; mémoire mastère ; Université Ouargla. 03

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. 04

BELFERRAG, Allauoa, 2006. Valorisation des fibres métalliques issues des déchets pneumatiques dans les bétons de sable de dunes, Thèse de Magister, Université de Ouargla. 05

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. 06

GUERMITI, L, 2013. contribution à l'amélioration de certaines caractéristiques du béton de structure à base de sable de dune corrigé et renforcé par des fibres métalliques, Thèse de Magister, Université de Ouargla. 07

HACHEMI, Samya, 2015. Etude du Comportement du béton soumis à haute température : Influence du type de béton et de la nature des constituants, thèse de doctorat, université de Biskra. 08

Khady. Ndiaye, 1993. Optimibation des formulations des bétons de sable, diplôme d'ingénieur de conception. 09

MELAIS. Fatma Zohra, 2016. Durabilité des bétons de sable fibres dans les différents milieux agressifs, thèse de doctorat; Université Badji Mokhtar-Annaba. 10

Nonna, Yermak, 2015. Comportement à hautes températures des bétons additionnés de fibres. Rencontres Universitaires de Génie Civil, Bayonne, France. 11

NOUICER, Mohamed, 2011. Influence de la qualité d'eau de gâchage sur la résistance mécanique d'un mortier à sable des dunes, Mémoire de master, Université de Ouargla. 12

Norme française, Essai de flexion, NF P 18-407, Décembre 1981 13

Norme française, Analyse granulométrique par tamisage, NF P 18-560, Septembre 1990). 14

Norme française, Équivalent de sable, NF P 18-598, Octobre 1991. 15

Norme française, Ciments courants, NF P 15-301, Juin 1994. 16

PLIYA Prosper, 2012.Amélioration du comportement du béton soumis à une température élevée par addition d'un cocktail de fibres de polypropylène et métalliques, l'université de cergy-pontoise. 17

Annexe

Essai de la muse volumique apparent

analyse granulométrique

Essai de la masse volumique absolue

Essai d'équivalent de sable

Maniabilimétre

Appareille de vibration

Dispositif d'essai de compression

Dispositif d'essai traction par flexion

Appareille de la compression

Les éprouvettes après l'écrasement

1

Préparation de l'échantillon.

la graissage des moules

Conservation dans l'eau potable

le moulage des éprouvant

1

1

Fiche produit ciment (matine).

50kg

ALGÉRIE

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 nécessitants 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.

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 50kg	Sable (sec) 0/5	Gravillons (sec) 8/15mm 15/25mm		Eau (litres)
Dosage pour béton C25/30	X 1	+ X7	+ X5	+ X4	+ 25 L

Remaque: 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

• Temps de prise à 20° (NA 230)	Valeur
Début de prise (min)	150±30
Fin de prise (min)	230±50

• Composition minéralogique du Clinker (Bogue)	Valeur
C3S (%)	60±3
C3A (%)	7.5±1

• Résistance à la compression	Valeur
2 jours (MPa)	≥ 10.0
28 jours (MPa)	≥ 42.5

• Propriétés physiques	Valeur
Consistance Normale (%)	26.5±2.0
Finesse suivant la méthode de Blaine (cm²/g) (NA231)	3 700 - 5 200
Retrait à 28 jours (µm/m)	< 1 000
Expansion (mm)	≤ 3.0

Conditionnement: Sac et vrac

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

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

Analyses chimiques de Eau de gâchage

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et populaire

MINISTERE DES RESSOURCES EN EAU

EP. ALGERIENNE DES EAUX

d'unité Ouargla

وزارة الموارد المائية

الجزائرية للمياه

وحدة مديرية ورقلة

FICHE D'ANALYSES

N° REF : 253 /2017

LIEU DE PRELEVEMENT: FORAGE MEKHADEMA N°01

Date de prélèvement : 19/02/2017

prélèvement effectué par : préleveur ADE

Date d'analyse : 19/02/2017

Analyse effectué Par : Laboratoire Central

PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES		CON.	N.A	MINERALISATION GLOBALE		CON.	N.A
PH		/	6.5 – 8.5	Calcium Ca^{+2}	mg/l	240.48	200
Potentiel redox Eh	Mv	/		Magnésium Mg^{+2}	mg/l	162.81	150
Conductivité à 25°C	µs/cm	4600	2800	Sodium Na^{+}	mg/l	400	200
Température	°C	/		Potassium K^{+}	mg/l	23	20
Turbidité	NTU	0.172	5	Chlorures Cl^{-}	mg/l	998.03	500
T.D.S	mg/l	/		Sulfate SO_4^{-2}	mg/l	720	400
Salinité	‰	2300		Bicarbonate HCO_3^{-}	mg/l	184.92	
Oxygène dissous	mg/l	2.3	8	Carbonate CO_3	mg/l	/	
CO_2 libre	mg/l	/		Silicate SiO_2	mg/l	/	
Résidu sec à 105°C	mg/l	3076	2000	Dureté Totale (TH)	mg/l$CaCo_3$	1270	500
MES à 105°C	mg/l	/		Dureté Permanente	mg/l$CaCo_3$	/	
				Titre alcalin	mg/l$CaCo_3$	/	
				Titre alcalin complet	mg/l$CaCo_3$	151.57	
PARAMETRES DE POLLUTION		**CON.**	**N.A**	**PARAMETRES INDESIRABLES**		**CON.**	**N.A**
Ammonium NH_4	mg/l	0.087	0.5	Fer total	mg/l	/	0.3
Nitrite NO_2^{-}	mg/l	00	0.1	Fer Fe^{2+}	mg/l	00	0.3
Nitrate NO_3^{-}	mg/l	/	50	Fer Fe^{3+}	mg/l	/	0.3
Orthophosphate PO_4^{3-}	mg/l	00	0.5	Manganèse Mn^{2+}	mg/l	/	0.3
Mat. Oxyd. M. Acide	mg/l	/		Aluminium AL^{3+}	mg/l	/	0.5
				Fluore F^{-}	mg/l	/	
ANALYSES FINES			**N.A**	**PARAMETRES BACTERIOLOGIQUES**		/	**N.A**
DBO_5	mg/l	/		Germes totaux			
DCO	mg/l	/		A 37°C	UFC/ml	/	0
Plomb Pb	mg/l	/	0.05	A 22°C	UFC/ml	/	0
Nickel Ni	mg/l	/	0.01	Coliformes totaux	ge/100ml	00	0
Cadmium Cd	mg/l	/	0.05	Echerichea-coli	ge/100ml	00	0
Cobalt Co	mg/l	/	0.005	Streptocoques fécaux	ge/100ml	00	0
Chrome Cr	mg/l	/		Clostridium sulf-red	ge/100ml	/	0
Cuivre Cu	mg/l	/		Chlore résiduel libre	mg/l	brute	0

OBSERVATION :

N.A : Norme Algérienne

CON. : Concentration

DATE :

LE CHEF DE LABORATOIRE

NB : Ces résultats sont valables uniquement pour les analyses des échantillons prélevés à la date indiquée ci-dessus.

Résumé

Ce travail vise a étudié les caractéristiques mécaniques des bétons de sable de dunes renforcés de fibres polypropylène soumis à haute température. Pour cela, différentes compositions de béton de sable ont été soumises à un cycle de chauffage-refroidissement avec une vitesse de 1°C/min. Les fibres polypropylène utilisées ont des longueurs de 12 et 18mm, incorporées avec des pourcentages de 1 et 1,5%. Une amélioration de la résistance à la compression a été obtenue par les bétons de fibres polypropylène soumis à haute température (20°C ,150°C, 300°C, 450°C et 600°C) à dosage de 1,5%. La résistance à la flexion des bétons renforcés par 1.0% en fibres polypropylène est supérieure à ceux renforcé par un pourcentage de 1.5%.

Les meilleurs résultats sont obtenus par les bétons ayant la correction de sable de 50% sable alluvionnaire + 50% sable de dunes.

Mots clés : Sable de dunes, Sable alluvionnaire, Béton de sable, Fibres polypropylène, Haute température, Correction

Abstract

The aim of this work is to study the mechanical properties of dune sand concretes reinforced with polypropylene fibers and subjected to high temperature. For this, different sand concrete compositions were subjected to a heating-cooling cycle at a rate of 1°C/min. The polypropylene fibers used have lengths of 12 and 18mm, incorporated with dosages of 1 and 1.5%. An improvement of compressive strength was achieved by polypropylene concretes subjected to high temperature (150°C, 300°C and 450°C.) at fibers dosage of 1.5%. The bending strength of 1.0% polypropylene reinforced concrete is higher than that reinforced by 1.5%.

The best results are obtained by the concretes having a correction of sand with 50% river sand + 50% dune sand.

Key words: Dune sand, River sand, Sand concrete, polypropylene fibers, High temperature, Granulometric correction, Mechanical resistance

ملخـــص

الهدف من هذا العمل هو دراسة الخصائص الميكانيكية للخرسانة الرملية المعززة بالألياف *البوليبروبيلان* والتي تم تعريضها لدرجات حرارة عالية. لهذا، خضعت تركيبات الخرسانة الرملية المختلفة لدورة تسخين- تبريد بسرعة 1 درجة مئوية / دقيقة. الألياف *البوليبروبيلان* المستخدمة لها أطوال 12 و18 مم، وتدمج بنسب 1 و 1.5٪.

النتائج أظهرت تحسن لمقاومة الضغط لخرسانة الألياف *البوليبروبيلان* التي تتعرض لدرجات حرارة عالية (150, 300, 450 و600 درجة مئوية) بنسبة ألياف 1.5٪ . **قوة الانحناء للخرسانة المسلحة 1.0٪ من** الألياف *البوليبروبيلان* أعلى من تلك التي تم تعزيزها بنسبة 1.5٪.

وقد تم الحصول على أفضل النتائج عن طريق الخرسانة المشكلة برمل يحتوي على 50٪ رمل كاريار+ 50٪ رمل الكثبان.

الكلمات المفتاحية: رمل الكثبان، رمل الوادي، خرسانة رمل الكثبان ألياف البوليبروبيلان ، حرارة عالية، التصحيح الحبيبي, المقاومة الميكانيكية.