



Mémoire de Master

Spécialité : structure

Présenté par :

M^r Bekri Yanis

Thème :

**Evaluation de l'intérêt des sables
de dune dans la formulation des
bétons à base de fibres
métalliques**

Devant le jury d'examen suivant :

Dr. Boukais Said.....Président

Dr. Aliche Amar..... Examineur

Dr. Khelil Nacim.....Encadrant

Soutenu le : 06 Juillet 2023

Sommaire

Sommaire -----	1 -
Table des figures -----	3 -
Table des tableaux -----	5 -
Remerciements -----	6 -
Dédicace -----	7 -
Introduction générale -----	7 -
Chapitre I : Etude bibliographique -----	10 -
I Bétons fibrés -----	11 -
I.1 Définition du béton fibré -----	11 -
I.2 Historique du béton fibré -----	11 -
I.3 Les fibres -----	13 -
I.3.1 Définition des fibres-----	13 -
I.3.2 Différents types de fibres-----	14 -
I.3.3 Choix des fibres-----	18 -
I.3.4 Rôles des fibres dans le béton-----	18 -
I.3.5 Influence des fibres sur le comportement des bétons-----	19 -
I.3.5.1 Influence du dosage-----	19 -
I.3.5.2 Influence de l'orientation et de la distribution-----	20 -
I.3.6 Mécanisme de renforcement par les fibres d'acier-----	21 -
I.3.7 Applications du béton renforcé par fibres :-----	23 -
II Sable de dune -----	25 -
II.1 Sable de dune dans le béton et mortier -----	25 -
II.2 Intérêt du sable de dune : -----	29 -
II.2.1 Dans le domaine économique-----	29 -
II.2.2 Dans le domaine technique-----	29 -
II.3 Le module de finesse comme paramètre d'ajustement granulaire -----	30 -
II.3.1 Effet du module de finesse sur la résistance-----	30 -
II.3.2 Effet du sable de dune sur les caractéristiques du béton frais et durci :-----	33 -
III Conclusion -----	41 -
Chapitre II : matériaux et procédures expérimentales -----	42 -
I Introduction : -----	43 -
II Caractérisation des matériaux -----	43 -
II.1 Gravier -----	43 -
II.1.1 Masses volumiques-----	43 -
II.1.2 Capacité d'absorption d'eau du gravier-----	44 -
II.1.3 Analyse granulométrique du gravier-----	45 -
II.2 Sable : -----	46 -

II.2.1	Masses volumiques.....	- 47 -
II.2.2	Essai d'équivalent de sable.....	- 48 -
II.2.3	Analyse granulométrique du sable :	- 49 -
II.3	Ciment.....	50 -
II.4	Eau de gâchage	51 -
II.5	Les fibres.....	51 -
II.6	Formulation de différents types du béton :.....	52 -
II.7	Confection des éprouvettes :	52 -
II.7.1	Etape de préparation des mélanges.....	53 -
II.7.2	Mise en place du béton dans les moules :	53 -
II.7.3	Conservation.....	53 -
II.8	Type d'essais réalisés :.....	54 -
II.8.1	Essais sur le béton frais :.....	54 -
II.8.2	Essais sur béton durci	54 -
II.8.2.1	Coefficient d'absorption	54 -
II.8.2.2	Essai ultrasonique.....	55 -
II.8.2.3	Essais de résistance mécanique	56 -
	Chapitre III : Résultats et analyse.....	59 -
I	Introduction :	60 -
II	Essai réalisé à l'état frais :.....	60 -
II.1	Consistance du béton :.....	60 -
II.2	Essais sur béton durci	60 -
II.2.1	Essai d'ultrason :	60 -
II.2.2	Essais d'absorption par immersion	61 -
II.2.3	Résultats des résistances à la compression et au fendage	62 -
II.2.3.1	Effet du sable de dune de Touggourt sur la résistance.....	62 -
II.2.3.2	Effet du sable de dune de Bou Saada sur la résistance.....	64 -
II.2.3.3	Comparaison entre le sable de Touggourt et Bou Saada	65 -
III	Conclusion	66 -
	Conclusion générale.....	68 -
	Références bibliographiques.....	69 -

Table des figures

<i>Figure I-1 brevet de WEARKLY et SMITH (1912).....</i>	<i>- 12 -</i>
<i>Figure I-2 Brevet d'ETHERIDGE et al (1933).....</i>	<i>- 13 -</i>
<i>Figure I-3 fibres minérales.....</i>	<i>- 14 -</i>
<i>Figure I-4 fibres végétales</i>	<i>Figure I-5 fibre de poils d'animaux..... - 14 -</i>
<i>Figure I-6 types de fibres lignocellulosiques</i>	<i>- 15 -</i>
<i>Figure I-7 fibre synthétique (textile)</i>	<i>- 15 -</i>
<i>Figure I-8 fibre polypropylène [8].....</i>	<i>- 16 -</i>
<i>Figure I-9 fibre de verre.....</i>	<i>- 17 -</i>
<i>Figure I-10 Exemple de fibre métallique</i>	<i>Figure I-11: Formes des fibres métalliques..... - 18 -</i>
<i>Figure I-12 Représentation schématique du comportement d'un béton chargé en flexion avec et sans fibres [9].....</i>	<i>- 19 -</i>
<i>Figure I-13 Effet des fibres incorporées dans un béton sur son affaissement [10]</i>	<i>- 19 -</i>
<i>Figure I-14 variation de la viscosité plastique avec le pourcentage des fibres incorporées [11]. ...</i>	<i>- 20 -</i>
<i>Figure I-15 influence de l'orientation des fibres sur le comportement en traction [13]</i>	<i>- 21 -</i>
<i>Figure I-16 comportement en traction directe en fonction du pourcentage de fibres [15].....</i>	<i>- 22 -</i>
<i>Figure I-17Schématisation du comportement d'un bloc de béton soumis à une Traction direct [17] -</i>	<i>23</i>
<i>Figure I-18 Rôle des fibres dans le contrôle de la fissuration du béton [13]</i>	<i>- 23 -</i>
<i>Figure II-1 Résistance à la compression des bétons (B01, B02 et B03) en fonction du temps.</i>	<i>- 27 -</i>
<i>Figure II-2 Résistances à la flexion de bétons de sable fibré en fonction du % de sable en fonction du temps [28].</i>	<i>- 29 -</i>
<i>Figure II-3 Classification du sable par rapport aux limites de l'ASTM [33]</i>	<i>- 31 -</i>
<i>Figure II-4 Résistance à la compression sur cylindres des différents sables testés [33].....</i>	<i>- 31 -</i>
<i>Figure II-5 effet de la source du sable sur la résistance</i>	<i>- 33 -</i>
<i>Figure II-6 Variation de l'affaissement des bétons très plastiques en fonctions de différents dosages de ciment et du pourcentage de sable de dunes.</i>	<i>- 34 -</i>
<i>Figure II-7 Variation de l'affaissement des bétons plastiques en fonction de différents dosages de ciment et du pourcentage de sable de dunes.</i>	<i>- 35 -</i>
<i>Figure II-8 Effet du sable de dune sur l'affaissement</i>	<i>- 35 -</i>
<i>Figure II-9 granulométrie des sables</i>	<i>- 36 -</i>
<i>Figure II-10 effet de la quantité de sable sur la maniabilité.....</i>	<i>- 36 -</i>
<i>Figure II-11 Résultat des absorptions par capillarité des mélange (1h et 2h)</i>	<i>- 38 -</i>
<i>Figure II-12 Effet du pourcentage de sable de dune sur l'absorption par capillarité</i>	<i>- 38 -</i>
<i>Figure II-13 Résistance à la compression du béton au cours du temps.....</i>	<i>- 39 -</i>
<i>Figure II-14 Résistance à la traction du béton au cours du temps</i>	<i>- 40 -</i>
<i>Figure II-15 effet du pourcentage de sable de dune sur la résistance à la compression du béton. (a) [El sayed, 2011], (b) [Al Harty, 2006].....</i>	<i>- 40 -</i>
<i>Figure II-1 tamiseuse vibrante</i>	<i>- 45 -</i>
<i>Figure II-2 Courbe granulométrique du gravier G3/8.....</i>	<i>- 46 -</i>
<i>Figure II-3 Courbe granulométrique du gravier G8/15.....</i>	<i>- 46 -</i>
<i>Figure II-4 mode opératoire de la masse volumique apparente</i>	<i>- 47 -</i>
<i>Figure II-5 mode opératoire masse volumique absolue.....</i>	<i>- 47 -</i>
<i>Figure II-6 principe de l'essai</i>	<i>Figure II-7 équivalent de sable sous piston</i>
<i>Figure II-8 Courbe granulométrique de la totalité de nos sables</i>	<i>- 50 -</i>
<i>Figure II-9 fibres métalliques type (MEDAFAC).....</i>	<i>- 51 -</i>
<i>Figure II-10 moule cubique 10x10x10</i>	<i>Figure II-11 moule cylindrique 10x20..... - 53 -</i>

<i>Figure II-12 Appareille Pundit de détermination de la vitesse ultrasonore.....</i>	<i>- 55 -</i>
<i>Figure II-13 Illustration d'une presse hydraulique.....</i>	<i>- 57 -</i>
<i>Figure II-14 fendage d'une éprouvette cylindrique</i>	<i>- 57 -</i>
<i>Figure II-1 histogramme des affaissements pour les différentes formulations</i>	<i>- 60 -</i>
<i>Figure II-2 histogramme des variations de la vitesse selon la formulation dans le temps</i>	<i>- 61 -</i>
<i>Figure II-3 histogramme des variations du coefficient d'absorption selon la formulation</i>	<i>- 62 -</i>
<i>Figure II-4 Histogramme de la variation de la résistance à la compression selon la formulation ..</i>	<i>- 63 -</i>
<i>Figure II-5 Histogramme de la variation de la résistance au fendage selon la formulation.....</i>	<i>- 63 -</i>
<i>Figure II-6 Histogramme de la variation de la résistance à la compression selon la formulation ..</i>	<i>- 64 -</i>
<i>Figure II-7 Histogramme de la variation de la résistance au fendage selon la formulation.....</i>	<i>- 65 -</i>
<i>Figure II-8 Comparatif des résistances à la compression des bétons à base de sable de dune de Bou Saada et Touggourt</i>	<i>- 65 -</i>
<i>Figure II-9 Comparatif des résistances à la traction des bétons à base de sable de dune de Bou Saada et Touggourt</i>	<i>- 66 -</i>

Table des tableaux

<i>Tableau I-1 Effet des fibres sur le béton selon les applications</i>	- 24 -
<i>Tableau II-1 Résultats des essais</i>	- 26 -
<i>Tableau II-2 Composition et résultats obtenus sur des éprouvettes (16x32) du béton de sable de dune.</i>	- 26 -
<i>Tableau II-3 Proportions du sable dans les bétons étudiés.</i>	- 27 -
<i>Tableau II-4 Les résultats des résistances a 28 jours..</i>	- 28 -
<i>Tableau II-5 Résistances à la compression et traction [B. BOUHNİK, 27].</i>	- 28 -
<i>Tableau II-6 comparaison des modules de finesse originaux et pourcentage d'optimisation [33]</i>	- 32 -
<i>Tableau II-7 sommaire des meilleurs mélanges entre le sable et les agrégats fins.</i>	- 32 -
<i>Tableau II-8 module de finesse optimaux des sables</i>	- 32 -
<i>Tableau II-9 caractéristiques des sables utilisés</i>	- 33 -
<i>Tableau II-10 Dosages de sable de dune et nomenclature des bétons confectionnés</i>	- 34 -
<i>Tableau II-11 Pourcentages d'absorption en eau des cubes en béton.</i>	- 37 -
<i>Tableau II-14 Formulations utilisées [44]</i>	- 39 -
<i>Tableau II-1 Masses volumiques apparentes et spécifiques des graviers utilisés</i>	- 44 -
<i>Tableau II-2 Coefficient d'absorption d'eau des graviers utilisés.</i>	- 45 -
<i>Tableau II-3 Masses volumiques apparentes et spécifiques des sables utilisés.</i>	- 47 -
<i>Tableau II-4 Equivalent de sable utilisé.</i>	- 48 -
<i>Tableau II-5 qualité du sable et propreté.</i>	- 49 -
<i>Tableau II-6 module de finesse des différents sables utilisés</i>	- 50 -
<i>Tableau II-7 Composition chimique et minéralogique du ciment</i>	- 51 -
<i>Tableau II-8 tableau récapitulatif des compositions utilisé</i>	- 52 -
<i>Tableau II-9 classe d'affaïssement du béton frais.</i>	- 54 -

Remerciements

Je tiens d'abord et avant tout à remercier ALLAH de m'avoir mis sur le droit chemin et qui m'a guidé à accomplir ce modeste travail.

Je tiens à remercier chaleureusement mon encadreur Mr. KHELIL NACIM de m'avoir assisté tout le long de ce travail, je ne le remercie jamais assez pour ces précieux conseils, son temps, et sa valeureuse orientation sans laquelle ce modeste projet n'aurait pas abouti, ce fut un honneur et privilège d'avoir appris à ces côtés, je lui en suis profondément reconnaissant.

Mes vifs remerciements et pensées vont également à l'ensemble du personnel de la faculté de Génie de la construction.

J'adresse mes sincères remerciements aux membres du jury pour avoir accepté d'examiner et d'évaluer ce travail, je tiens également à exprimer mes respectueux remerciements à tous nos professeurs qui ont contribué à notre formation.

Enfin, dans l'impossibilité de citer tous les noms, mais sincères remerciements vont à tous ceux et celles, qui de près ou de loin, qui ont permis par leurs conseils et leurs compétences à la réalisation de ce mémoire.

Bekri Yanis

Dédicace

Je dédie ce projet :

A ma chère mère,

A mon cher père,

Qui n'ont jamais cessé, de formuler des prières à mon égard, de me soutenir

et de m'épauler pour que je puisse atteindre mes objectifs.

A mes frères, Mohamed et Kamel

A ma chère sœur et son mari,

Pour leur soutien moral et leurs conseils précieux tout au long de mes études.

A mes cher grand-parent,

Qui je souhaite une bonne santé.

Pour leurs indéfectibles soutiens et leurs patiences infinies.

A mes chères amies, Massi, Mahfoud, Dyhia, Melissa, Ferial, Said, Thamila, Randa, Hamadoun, Lynda, Meziane et à tous ceux dont je n'es pas cité le nom

Pour leurs aides et supports dans les moments difficiles.

A toute ma famille,

A tous mes autres amies,

A tous ceux que j'aime et ceux qui m'aiment.

, Bekri Yanis

Introduction générale

L'Algérie connaît actuellement un développement rapide dans le domaine de la construction. Ce secteur est confronté aujourd'hui à deux exigences contradictoires qui sont l'amélioration de la résistance et la réduction des coûts d'une autre part, et la gestion de la ressource et la réduction de l'impact environnemental d'autre part. Le sable de dune pourrait représenter une alternative à l'épuisement du sable naturel. Sa quantité se chiffre en milliards de mètres cube ; il est disponible dans près de 60% du territoire et certaines de ses caractéristiques physico-chimiques laissent penser qu'il pourrait être adopté en tant que matériau de construction : Un indice de propreté élevé et absence dans sa composition de matières organique et autres matières indésirables telles que les sulfates, sulfure ou bien carbonates.

Le constat que les ressources en granulats sont devenues rares dans la majorité des régions nous a encouragé à chercher des techniques nous permettant de valoriser des matériaux disponibles localement en abondance, et de les utiliser dans les différents domaines de la construction, d'où l'intérêt tant économique qu'écologique que pourrait présenter l'utilisation de sable de dune pour la formulation des bétons dont il serait le constituant principal.

Effectivement, le sable joue un rôle très important dans la fabrication du béton, mais la plupart des chercheurs ont constaté que ce matériau présente quelques inconvénients tels que retrait au jeune âge. L'expérience de la majorité des auteurs trouve que l'addition des fibres de toutes natures au béton ou mortier conduit à la diminution du retrait et l'augmentation des résistances à la fissuration. Pour cela, l'ajout de fibres apporte une réponse au problème de fragilité du béton et minimise le risque de fissuration, ce qui permet d'améliorer sa durabilité et sa résistance.

L'objectif de ce travail consiste à étudier l'effet de l'addition de sables de dunes d'origines différentes à des bétons fibrés, dans le but de vérifier d'une part si les sables de dune sont valorisables dans les bétons ordinaires, et d'autre part, si cela n'est pas le cas, est-ce que la présence de fibres serait bénéfique pour l'amélioration des caractéristiques mécaniques de ces bétons.

Cette présente étude comprend trois chapitres principaux :

Un premier chapitre où nous allons réaliser une analyse bibliographique sur le béton fibré, le sable de dune et différents travaux de recherche sur l'effet du sable de dune sur le béton.

Le second chapitre s'intéressera à l'étude des caractéristiques des matériaux utilisés pour la formulation du béton de sable de dune, et les procédures d'essai effectués sur les bétons préparés.

Le troisième chapitre présentera des interprétations et des analyses des résultats rhéologiques, physiques et mécaniques obtenus à partir de l'expérimentation menée sur l'ensemble des bétons

Enfin, l'étude se terminera par une conclusion générale et des perspectives.

Chapitre I : Etude bibliographique

I Bétons fibrés

L'idée d'incorporer des fibres dans le béton pour améliorer ses propriétés est ancienne, constituant une transposition d'armatures longtemps utilisées dans des matériaux comme la terre, l'argile ou le gypse, mais l'association avec du ciment, du mortier ou encore du béton est relativement nouvelle. La première utilisation de fibres d'acier a eu lieu en 1923. La fibre de verre, bien que connue depuis le début du siècle, n'a été incorporée au béton que dans les années 1950. Aujourd'hui, le renforcement du mortier ou du béton par des fibres constitue une nouvelle voie dans le domaine des matériaux composites, qui a un très large éventail d'applications. Les composites « fibrociment » et « fibrobéton » sont des avancées technologiques majeures, permettant des applications dans de nombreux domaines du bâtiment et des travaux publics : dallages, voûtes de galeries, isolation...etc. [1]

I.1 Définition du béton fibré

Le béton fibré est un matériau composite constitué d'une matrice de béton ainsi que d'un renforcement effectué par inclusion directe de fibres isolées, et dont la propriété mécanique résulte de la combinaison des propriétés du béton, des fibres et l'interface entre les matériaux.

L'ajout de fibres au béton a pour principal effet de modifier ses propriétés. Les fibres sont des éléments discrets aux propriétés variables, uniformément répartis dans la matrice et à orientation aléatoire (naturelle) ou forcée. Les fibres peuvent également améliorer le comportement post-fissuration du béton.

Ce dernier agit comme un renfort, compensant la fragilité du béton par l'effet de piquage des microfissures et macrofissures. Ils ont également la capacité de transmettre des charges, tant qu'une bonne adhérence fibre/matrice est assurée par une répartition homogène des fibres dans le béton. Celle-ci peut donc être considérée comme la condition principale pour un béton armé homogène avec les mêmes propriétés en tous les points de la matrice. De plus, les fibres forment un agrégat filiforme qui empêche un assemblage optimal du squelette granulaire. La géométrie des fibres, leur quantité ainsi que la mise en place du matériau frais, ont une très grande influence sur le comportement global du matériau durci [2].

I.2 Historique du béton fibré

Les fibres ont longtemps été utilisées comme renforts pour une variété de matériaux de construction.

Les Égyptiens renforçaient les briques de boue avec de la paille. Il est également certain que les fibres d'amiante ont été utilisées pour renforcer la poterie d'argile en Finlande il y a déjà 5000 ans.

En Algérie, on trouve de la terre battue ancienne dans laquelle de la paille broyée était mélangée à de l'argile et compactée pour former ce que l'on appelle le "thobe". Il s'agit d'une brique en pisé, stabilisée ou non, façonnée à la main et séchée à l'air. Ce type de

matériaux est utilisé notamment au centre et au sud de l'Algérie en tant que matériau de maçonnerie et joint de murs.

En 1910, J PORTER a mené une série d'essais pour améliorer la résistance du béton par l'ajout de fibres, et a conclu que la présence de fibres, courtes en l'occurrence, dans le béton augmentait la résistance à la compression et à la traction.

En 1912, WEARKLY dépose une demande de brevet aux États-Unis. Ce brevet traitait de l'utilisation d'une bande de fils d'acier composée de deux fils avec un anneau entre eux pour assurer une connexion permanente avec l'élément en béton (Figure I-1)

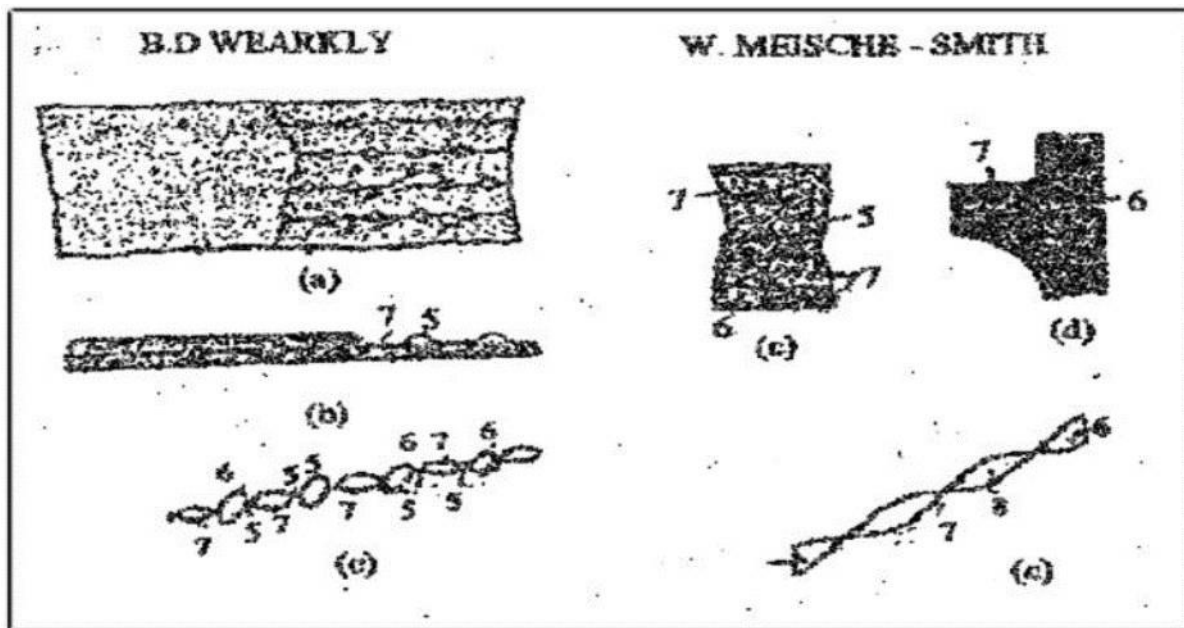


Figure I-1 brevet de WEARKLY et SMITH (1912)

En 1914, le premier brevet britannique a été accordé à FICKLEY [3], décrivant diverses pièces métalliques enroulées. Bien qu'il ait trouvé une meilleure résistance à la fissuration et à la fatigue, il a également souligné que les composites n'amélioraient pas leur résistance à la traction ou à la compression. En 1920, A. KLEINLOGET [4] dépose le premier brevet allemand. Ce brevet décrivait une méthode synthétique dans laquelle des quantités relativement importantes de particules de fer étaient ajoutées au béton pour produire une masse pouvant être usinée (par tournage) comme une masse d'acier. A cette époque GRIFITH [5] publiait une étude sur le béton armé de fibres de verre.

En 1933, H. ETHRIDE du New Jersey a inventé une technique pour améliorer la forme des fibres afin d'augmenter la contribution des fibres. Il a alors recommandé d'ajouter des fibres au béton sous forme d'anneaux de tailles et de diamètres variés pour améliorer la résistance à la fissuration et à la fatigue du béton utilisé dans la construction ferroviaire.

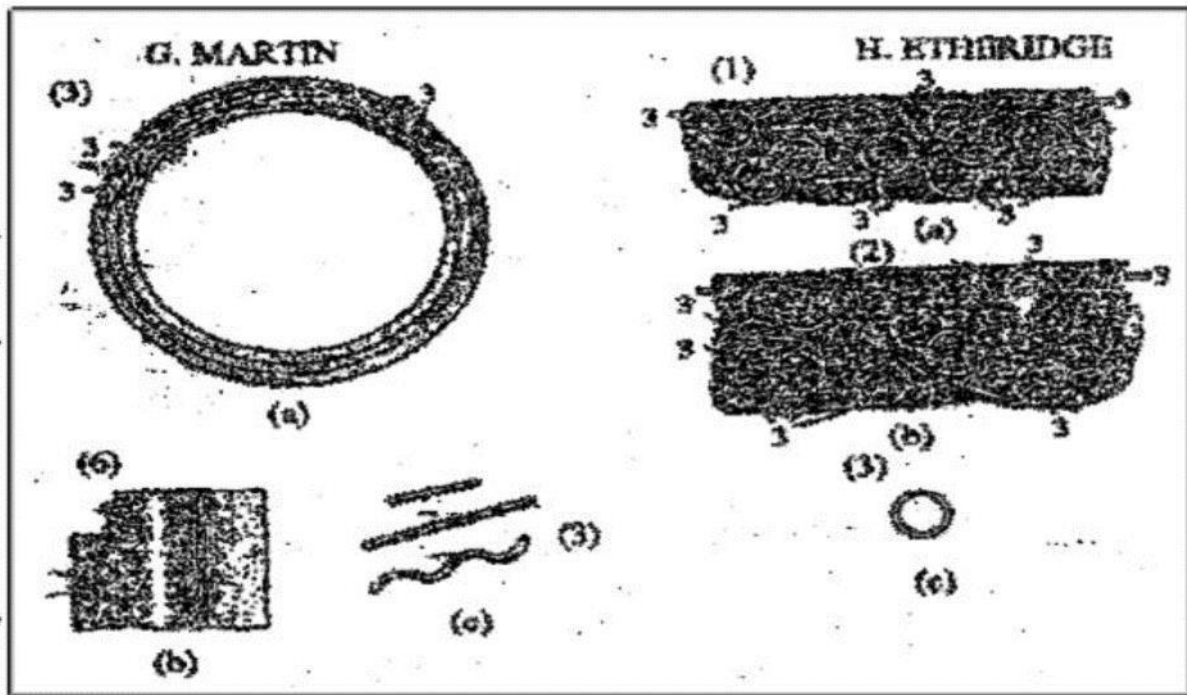


Figure I-2 Brevet d'ETHERIDGE et al (1933)

Au début des années 1960, Batelle Development Corporation [6] a enregistré de nombreux brevets. Ces brevets sont basés sur l'utilisation de billettes d'acier courtes pour renforcer le béton. Les moyens expérimentaux à cette ne permettant envisager que des essais simples de compression ou de flexion avec des charges contrôlées. Ces brevets font état d'améliorations de la résistance à la traction, de l'absorption d'énergie et de la résistance à l'usure.

Les premiers articles sur ce concept peuvent être attribués à Lancard et Sheets [7]. Dans cet article, l'ajout de 1% à 2% de fibres au béton réfractaire s'est avéré capable d'améliorer considérablement la résistance, la ténacité et la durabilité.

I.3 Les fibres

I.3.1 Définition des fibres

Le terme fibre se rapporte à un corps solide. La fibre est un composant filiforme (rapport longueur/diamètre est très élevé : 25-1500), de faible longueur (5-6mm) et dont l'épaisseur est comprise entre 0.005 à 0.75 mm.

Les fibres sont disponibles sous différentes formes (ronde, plates, gaufrées) d'origine minérale, organique ou métallique.

L'utilisation des fibres dans la construction remonte à plusieurs siècles. Depuis les trente dernière années, l'intérêt de leur utilisation ne cesse de croître pour la fabrication de béton prêt l'emploi du béton préfabriqué et du béton projeté fabriqué à partir soit d'acier, soit de plastique, de verre ou encore de matériaux naturels. Elles sont ajoutées au béton lors du malaxage [4]

I.3.2 Différents types de fibres

Les fibres sont ajoutées aux matériaux cimentaires pour en améliorer les propriétés mécaniques. Les fibres sont classées selon leur origine (naturelle, synthétique, artificielle), leur forme (droite, ondulée, aciculaire, etc.), leur taille (macrofibres ou microfibres) ou encore, leurs propriétés mécaniques. Les principales fibres utilisées sont :

- **Fibres minérales**

Elles regroupent plusieurs sortes de fibres (amiante, alumine ... etc), et sont utilisées en grandes quantités dans plusieurs application traditionnelles. Les fibres d'amiante étaient par exemple autrefois utilisées pour l'isolation, elles se sont aujourd'hui révélées cancérigènes.



Figure I-3 fibres minérales

- **Fibres végétales**

La fibre végétale principalement constituée d'une matière appelée cellulose. Elle est capable de résister aux alcalins et à la plupart des acides organiques mais sont détruites par les acides minéraux forts. Il existe quatre sortes de fibres végétales : les fibres provenant des poils, les fibres lignocellulosiques. Elles sont souvent utilisées pour la fabrication du papier ou des panneaux de construction (fibre de bois).



Figure I-4 fibres végétales



Figure I-5 fibre de poils d'animaux



Figure I-6 types de fibres lignocellulosiques

- **Fibres synthétiques**

Cette famille regroupe plusieurs types de fibres comme le nylon, polypropylène, polyester ...etc. Elles sont apparues à la fin du XIXème siècle sous le nom de rayonne. Elles sont dérivées de la cellulose naturelle. Aujourd'hui la plupart des fibres synthétiques proviennent des produits dérivés du pétrole et de polymères géants dont la structure ressemble à celle des matières plastiques. La première fibre plastique commercialisée avec succès fut le nylon, daté de 1938. Depuis de nombreux autres produits synthétiques ont vu le jour dont les fibres acrylique, l'aramide, l'oléfine et le polystyrène.

Ces fibres ont également été étudiées à des fins industrielles très précises, telles que la fabrication des matériaux d'isolation, les tissus pare-balle (kevlar), les fuselages et ailes d'avion.

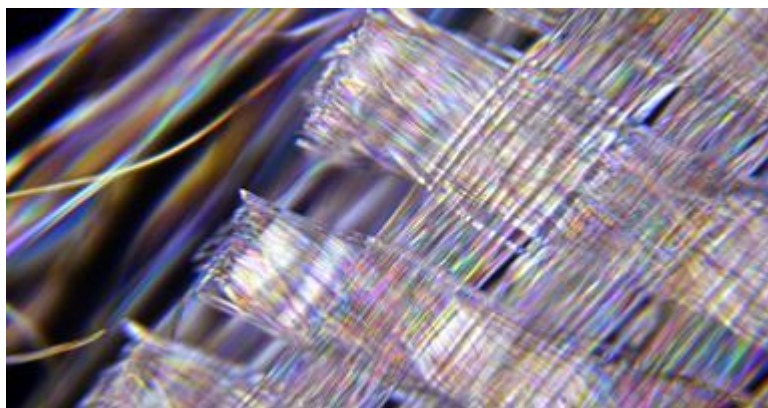


Figure I-7 fibre synthétique (textile)

- **Fibres artificielles**

Ce type de fibre est plus utilisé dans le domaine industriel en général et dans le domaine de génie civil en particulier. Il regroupe les fibres de verres, les fibres de carbone, les fibres d'acier et d'autres. Elles sont aujourd'hui les plus répandues dans l'industrie de la construction.

Nous allons présenter quelques principales fibres utilisées pour renforcer les mortiers et bétons.

- **Fibres de polypropylène**

Le polypropylène est un polymère cristallisable de la famille de polyoléfinés. Il est fabriqué depuis 1954 pour l'industrie textile. Il a connu une extension croissante dans ce domaine où il apporte les avantages suivants : une bonne résistance à la traction qui peut atteindre 800 MPa ainsi qu'une déformabilité élevée. Ces fibres sont obtenues suivant les processus d'extrusion et étirage, ce qui confère une orientation prépondérante aux molécules et engendre des propriétés mécaniques élevées.

L'ajout des fibres polypropylène au mortier ou béton remonte à 1960 mais ce n'est qu'à partir de 1967 qu'apparaissent des réalisations intéressantes notamment en Grande Bretagne. Ces fibres ont été utilisées dans le bâtiment pour l'élaboration de panneaux décoratifs, de revêtements de façade de plusieurs constructions et aussi dans la réalisation de canalisations et de pieux.



Figure I-8 fibre polypropylène [8]

- **Fibres de verre**

Ces fibres sont fabriquées à partir de verre fondu qui passe dans une filière qui chauffe par effet Joule et qui comporte 50 à 800 tours d'un diamètre de l'ordre de 10 à 100mm. Elles sont disponibles dans le commerce sous forme de bobines (découpage à la demande) ou sous forme de morceaux prédécoupés de 3, 6, 12 et 50 mm de longueur. Elles sont regroupées en trois types : les fibres de verre classique, la fibre de verre au zirconium et la fibre borosilicate.

Ces fibres sont généralement caractérisées par les propriétés suivantes :

- Bonne adhérence avec la matrice.
- Disponibilité sous toutes les formes (coupées, continues ...).
- Bonne résistance à l'humidité et à la corrosion.
- Conductivité thermique relativement faible.



Figure I-9 fibre de verre

- **Fibres métalliques**

Ce type de fibres, qui regroupe les fibres d'acier et les fibres de fonte amorphe, est l'objet de recherches très nombreuses dans le monde. On se limitera ici aux fibres d'acier seulement, qui sont les fibres les plus utilisées dans le domaine du génie civil.

En effet les propriétés mécaniques du béton renforcé par ces fibres sont influencées par la résistance d'adhésion interrassiale entre fibre et la matrice. Les fabricants des fibres d'acier ont essayé par tous les moyens d'améliorer l'adhérence en jouant sur l'irrégularité de la surface de la fibre. Cela a mené aux nombreuses variétés de fibres disponibles, qui se différencient les unes des autres par leur diamètre, leur section transversale (ronde, carrée, rectangulaire), leur longueur ainsi que leur mode d'opération. Les diamètres des fibres d'acier varient généralement entre 0.1 et 2 mm avec des longueurs de 10 à 70 mm.



Figure I-10 Exemple de fibre métallique

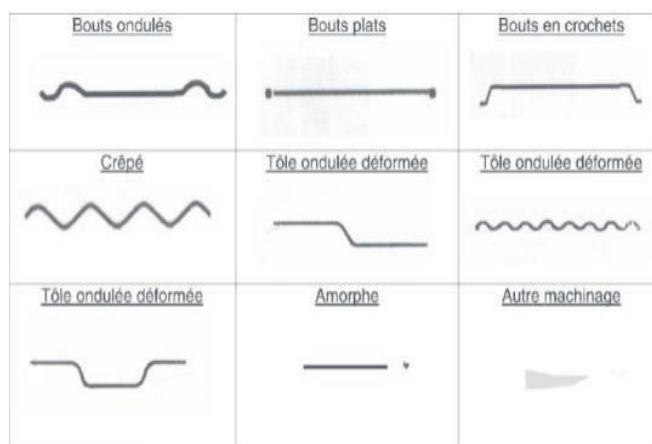


Figure I-11: Formes des fibres métalliques

I.3.3 Choix des fibres

Le choix de la fibre dépend de l'usage auquel elle est destinée (pièces pleines minces, renforcement de masses de béton pur, réparation d'ouvrages, etc.), de ses propriétés (résistance mécanique et module élastiques élevés ou faibles, adhérence plus ou moins bonne, etc.), mais aussi de sa disponibilité et de son prix. Différents types de fibres sont aujourd'hui utilisés. Les caractéristiques requises sont :

- Pouvoir adhérer parfaitement à la pâte de ciment
- Avoir une bonne résistance à la traction
- Ne pas risquer d'être attaquées par le milieu basique du ciment
- Ne pas se dégrader dans le temps et conserver leur état d'origine
- Ne présenter aucun danger pour la main d'œuvre qui la manipule
- Ne pas avoir d'incidence excessive sur le coup du béton.

I.3.4 Rôles des fibres dans le béton

Le rôle des fibres est généralement d'augmenter ou de remplacer l'action des armatures classiques en arrêtant la propagation des microfissures. Elles peuvent également remplacer les armatures passives dans certaines applications. Selon la fibre utilisée (forme ou texture) et la structure dans laquelle elle est incorporée, son ajout peut conduire à des améliorations sûres :

- La cohésion du béton frais
- La déformabilité avant rupture
- La résistance à la traction par flexion
- La ductilité et la résistance post fissuration
- La résistance au choc
- La résistance à la fatigue
- La résistance à l'usure
- La résistance mécanique du béton au jeune âges

- La réduction des conséquences du retrait par effet de couture des microfissures
- La tenue au feu
- La résistance à l'abrasion

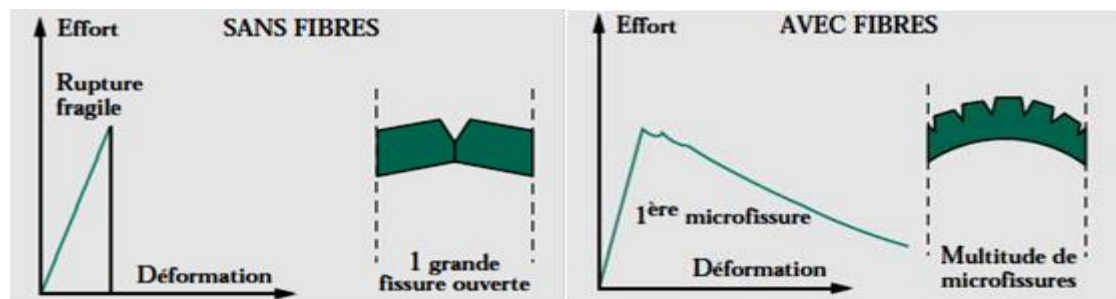


Figure I-12 Représentation schématique du comportement d'un béton chargé en flexion avec et sans fibres [9]

I.3.5 Influence des fibres sur le comportement des bétons

I.3.5.1 Influence du dosage

L'ajout de fibres au béton prêt à l'emploi nécessite de nombreuses précautions, notamment pour éviter la formation de granulés et limiter les risques d'orientation préférentielle. Le temps de malaxage affecte la répartition des fibres dans le béton prêt à l'emploi. S'il est trop court, les fibres ne seront pas réparties uniformément. S'il est trop long, la ségrégation des fibres peut entraîner une répartition inégale. L'ajout de fibres réduit la maniabilité du béton. Plus la quantité de fibres est grande et plus la fibre est fine, plus l'ouvrabilité du mélange sera affectée. Il est donc nécessaire d'utiliser des fibres de taille optimale et d'ajuster la composition de la matrice pour que le béton conserve une maniabilité suffisante. La figure (I-13) donne la variation de l'affaissement du cône d'Abrams en fonction de la teneur en fibres de polypropylène et d'acier.

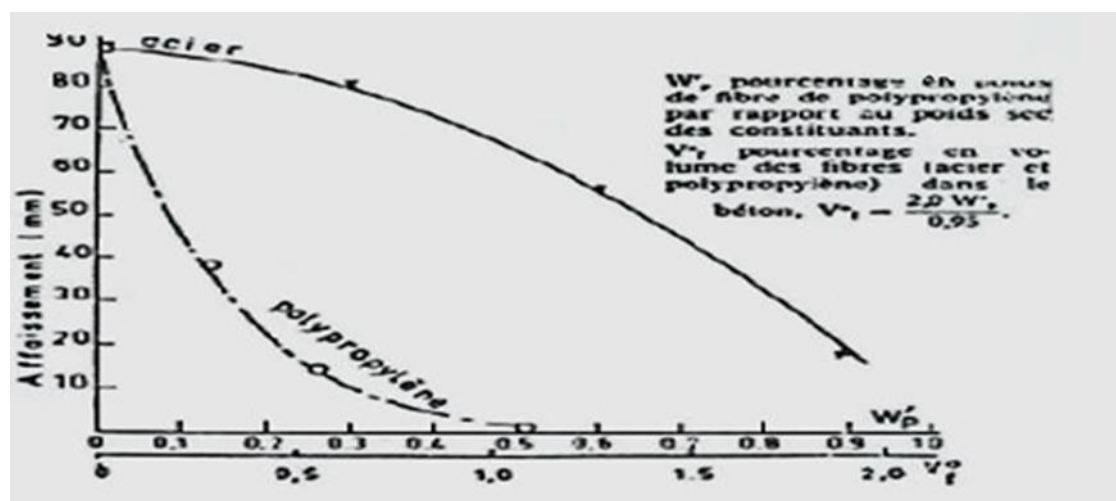


Figure I-13 Effet des fibres incorporées dans un béton sur son affaissement [10]

L'étude de BOURAS [11] a montré que plus le pourcentage de fibres incorporées est élevé, plus la viscosité du plastique est élevée elle aussi figure (14). De plus, pour une teneur en fibres donnée, plus la fibre est longue, plus cette viscosité est importante.

Jusqu'à 2,5% de concentration en fibres métalliques, la viscosité plastique augmente avec un léger gradient. Au-dessus de ce pourcentage, ils croissent significativement, justifiant une forte consistance de la matrice. Cela signifie qu'il n'y aura pas d'écoulement de béton prêt à l'emploi à partir de cette valeur de concentration en fibres métalliques.

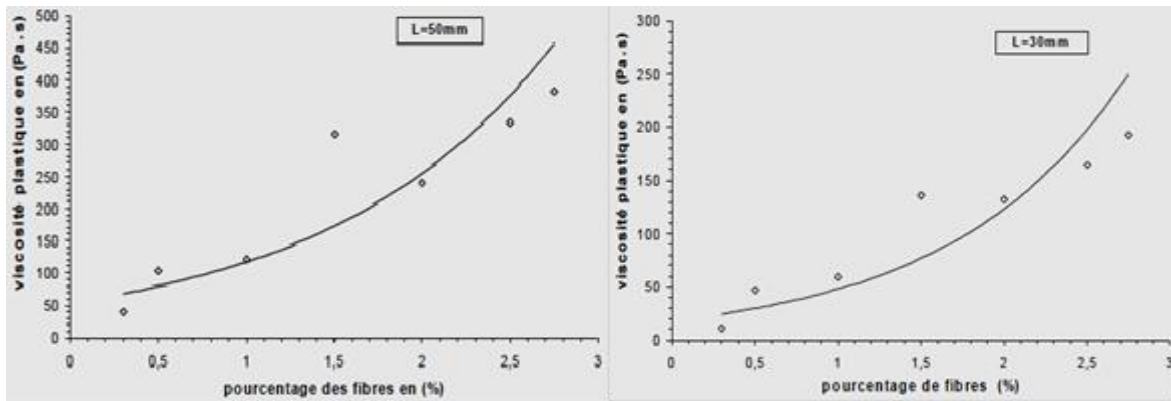


Figure I-14 variation de la viscosité plastique avec le pourcentage des fibres incorporées [11].

I.3.5.2 Influence de l'orientation et de la distribution

Les propriétés du béton fibré dépendent fortement de la direction et de la répartition des fibres pour des directions de contraintes qui peuvent être triaxiales, biaxiales ou uniaxiales. On parle d'orientation préférentielle d'une fibre métallique lorsque plusieurs fibres sont orientées dans le même sens. Cet effet est généralement constaté lors du coulage du béton dans un moule. Les fibres s'orientant parallèlement à l'axe d'écoulement [12].

La vibration du béton peut également entraîner une stratification et une orientation préférentielle des fibres selon des axes de vibration qui, sous l'action de leur propre poids, auront tendance à tomber au fond du moule. L'utilisation d'une aiguille vibrante peut entraîner un effet de cheminée. Lorsque l'aiguille est retirée, le béton s'écoule afin de se remettre en place, mais le fil ne suit pas. Cela crée des zones sans fibres dans le béton. Dans ce contexte, CASANOVA [13], a réalisé des carottes prélevées sur la poutre en T dans trois directions parallèles, perpendiculaires et inclinées à 45° par rapport à l'axe de la poutre. Il a ensuite effectué des essais de traction uniaxiale sur ces noyaux. Les résultats obtenus sont présentés dans la Figure (I-15).

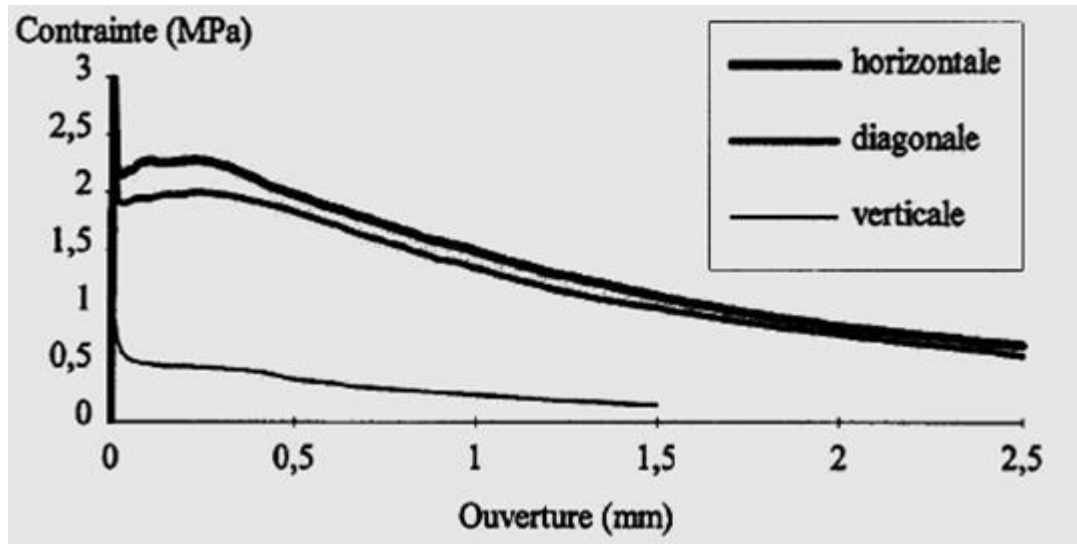


Figure I-15 influence de l'orientation des fibres sur le comportement en traction [13]

I.3.6 Mécanisme de renforcement par les fibres d'acier

Le mécanisme du renforcement du béton fibré consiste en une répartition régulière de fibres relativement courtes dans la matrice du béton. Ce réseau de fibre va s'opposer, et ce d'autant qu'il est plus dense, à l'élargissement de la fissure

- La ou les premières fibres rencontrées effectuent une couture de la fissure jusqu'à bloquer l'évolution.
- Si les efforts excessifs persistent, d'autres fissures se formeront, et seront à leur tour cousues par d'autres fibres.

Ainsi, le renforcement avec des fibres de béton peut ralentir la propagation incontrôlée des fissures, lui permettant d'atteindre certaines qualités (résistance, résilience) ou améliorer certaines caractéristiques [14].

Les fibres de la matrice cimentaire ont le même rôle que l'armature du béton, c'est-à-dire qu'elles reprennent les efforts de traction. Les fibres (macro ou micro) limitent la déformation, la propagation et l'adhérence des petites fissures dans la matrice cimentaire. Ces fibres scellent à la fois les fissures existantes en empêchant leur croissance et limitent la formation d'autres fissures en renforçant la base de ciment. L'effet des fibres est donc particulièrement sensible en traction. Un béton non armé, une fois fissuré, n'est que faiblement sollicité par les endommagements et les ponts de matière. Cela se traduit par une chute brutale de la reprise de contrainte, comme le montre la courbe d'ouverture des fissures sous traction directe avec teneur en fibres de 0 % montrée dans la figure (I-16) [15].

Avec le renforcement des fibres, la contrainte dans la fissure est transférée à la fibre, puis est répartie sur l'ensemble du volume du béton. Les fibres, en suturant la fissure, assurent la continuité de la structure et permettent au béton de faire preuve de ductilité en lui conférant une capacité portante même post-fissuration.

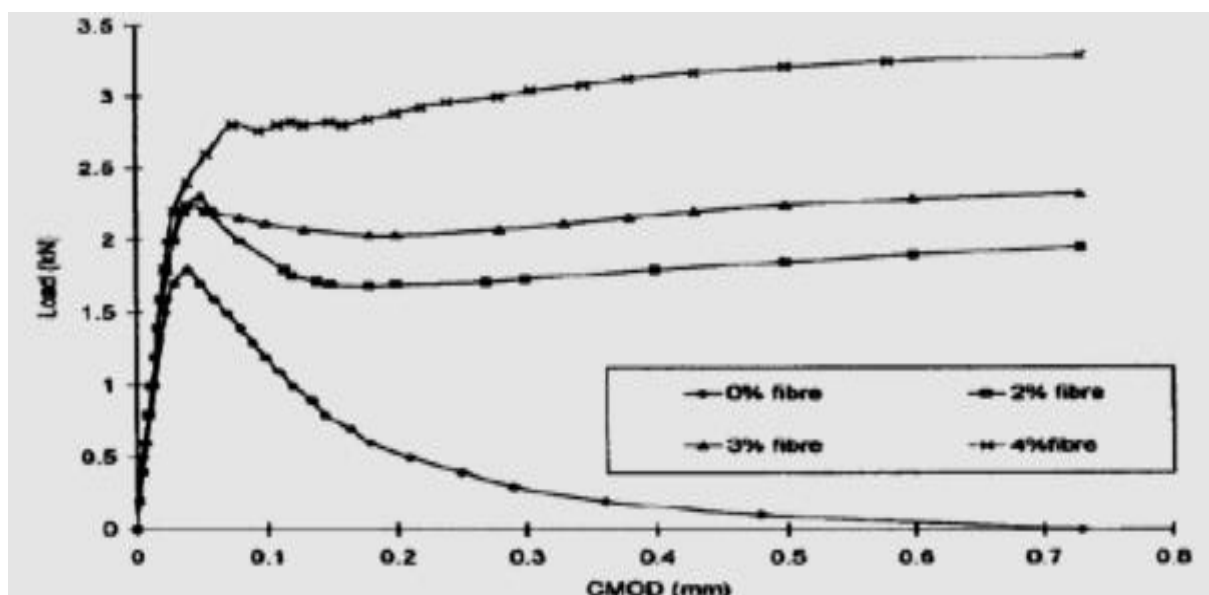


Figure I-16 comportement en traction directe en fonction du pourcentage de fibres [15].

Le béton est un matériau composite à matrice fragile. Le but de l'introduction de la fibre est de contrôler la fissuration. La recherche sur le béton fibré s'est véritablement développée depuis les années 1960 grâce aux travaux de ROMUALDI, BATSON et MANDEL [15]. Dans ces travaux, qui pourraient être qualifiés de fondateurs, sont décrits les mécanismes de propagation et d'arrêt d'une fissure dans une matrice fragile. Ils ont particulièrement insisté sur l'effet de l'espacement moyen des fibres (par rapport au volume introduit dans le béton) sur le comportement du composite.

ROSSI a proposé une description physique du fonctionnement de ces matériaux [17].

Selon lui, deux niveaux d'activité des fibres doivent être considérés : matériaux et structures. Considérons un volume de béton fibré soumis à une traction uni-axiale. On peut distinguer 3 étapes sur la courbe effort-déplacement qui décrit son comportement dans la figure (I-17).

Aux premiers stades, on observe une microfissuration diffuse, issue des défauts initiaux et de l'hétérogénéité des propriétés locales du matériau. A ce stade, les fibres interfèrent en suturant les petites fissures, ce qui a pour effet de ralentir leur fusion. L'étape 2 correspond à la localisation des microfissures, suivie de la propagation des microfissures (étape 3) qui scinde la masse en deux masses, entraînant alors le mécanisme structural.

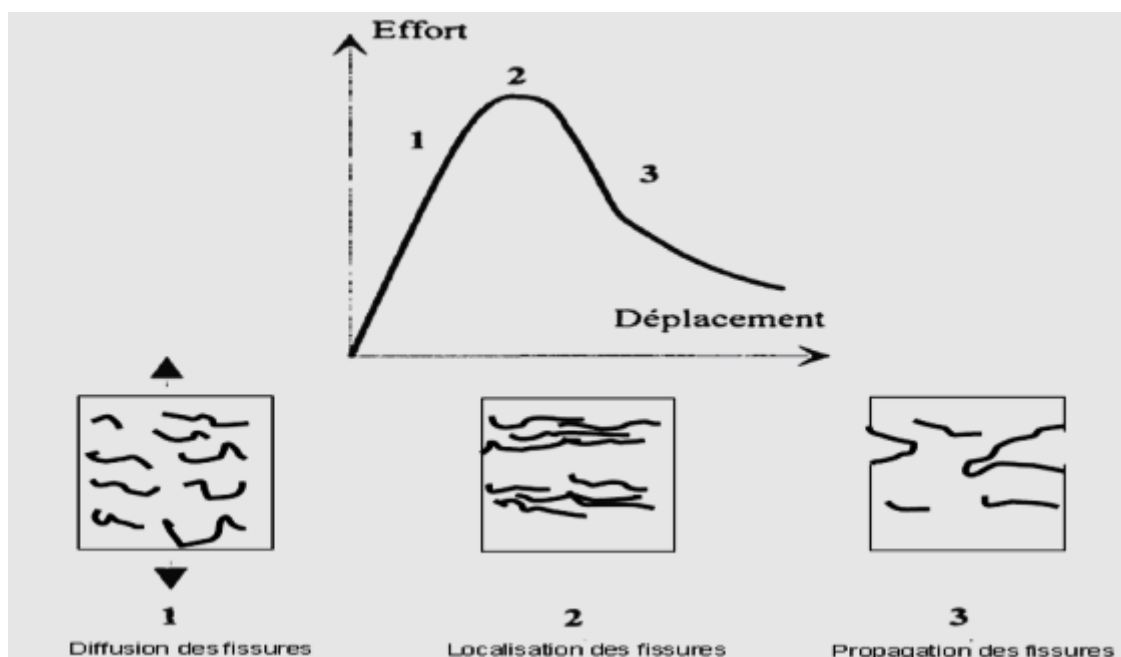


Figure I-17 Schématisation du comportement d'un bloc de béton soumis à une Traction direct [17]

Dès lors, seules des fibres fines (pour agir sur les petites fissures et assurer leur ancrage) en grande quantité (pour couvrir tout le volume) peuvent améliorer les propriétés internes du matériau et retarder le passage à l'étape 2. En revanche, à l'étape 3, le pontage des petites fissures ne peut se produire qu'avec des fibres longues qui jouent le même rôle que le ferrailage du béton armé, même lorsque le mécanisme d'ancrage est différent. Cette opération est résumée dans la Figure (I-18).

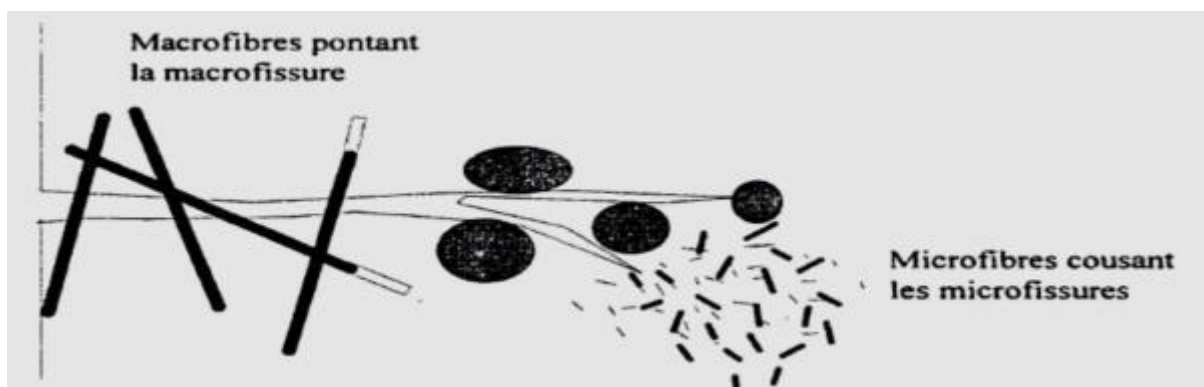


Figure I-18 Rôle des fibres dans le contrôle de la fissuration du béton [13]

I.3.7 Applications du béton renforcé par fibres :

Au cours des 30 dernières années, dès lors que le concept de béton fibré fut connu, de nombreuses études ont montré que l'ajout de fibres d'acier dans la matrice de béton permet d'apporter des propriétés très intéressante face au phénomène de fissuration. Ainsi, on peut distinguer deux modes d'utilisation de la fibre :

- **Le béton pré-renforcé avec des armatures traditionnelles :**

Dans ce cas, les fibres sont introduites dans l'élément structural en béton armé soumis à une contrainte globale pour augmenter la résistance et la rigidité de l'élément concerné.

- **Le béton renforcé de fibres seules :**

Dans ce cas on utilise les propriétés des bétons de fibres qui seront liées à plusieurs paramètres. Ces paramètres sont généralement le type et les propriétés de la matrice utilisée, type et propriétés des fibres utilisées, ainsi que la méthode de mise en œuvre retenue. Le tableau (I-1) montre l'effet des fibres sur le béton.

Tableau I-1 Effet des fibres sur le béton selon les applications

APPLICATIONS	EFFET DE L'AJOUT DES FIBRES SUR LE BETON
Canalisations et coques minces faiblement sollicitées	- Amélioration de la tenue des pièces aux jeune âge - Réduction des variations dimensionnelles, lutte contre la fissuration
Dallages, chaussées en béton, dallages manufacturés, et éléments structuraux soumis à la flexion	- Diminution de 40% de l'ouverture de fissures - Augmentation de la rigidité après fissuration - Augmentation de la résistance au cisaillement - Augmentation de la résistance à l'usure
Eléments structuraux soumis à la compression (poteaux, pieux, fondations ...)	- Amélioration de la charge ultime - Pas de rupture fragile
Structures soumises à des sollicitations dynamiques (piste d'aéroport)	- Energie absorbée plus importante - Augmentation de la résistance aux chocs - Loi de comportement du matériau fortement Améliorée
Réparation des revêtements routiers, tabliers de ponts	- Amélioration de la résistance aux chocs - Amélioration de la déformabilité et de la durabilité
Parties exposées aux fortes variations de température et même aux très hautes températures	- Remplacement avec succès du revêtement réfractaire - Diminution du coût de réparation des éléments réfractaires
Stabilisation des parois rocheuses, les talus, tunnels, et galeries sous terrains	- Suppressions du travail de fixation du grillage ordinairement employé - Diminution du coût de réparation et/ou de stabilisation des parois rocheuses et des talus
Fabrication de pieux, revêtements ignifugés isolants, panneaux de revêtement de façade	- Augmentation de la résistance aux chocs - Augmentation de la résistance à l'usure - Augmentation de la durabilité de revêtement

II Sable de dune

Le sable est un produit de la décomposition lente des roches sous l'influence d'agents érosifs tels que l'air, la pluie, etc. Ce matériau se trouve en grande quantité dans le désert du Sahara. Les dunes de sable ont longtemps été utilisées pour la construction de remblais, de fondations et de travaux routiers. Mais l'utilisation de ce matériau sous sa forme actuelle comme composant du béton n'est apparue qu'après l'introduction du béton de sable en 1853 par GOIGNET. F [18]

De nombreux chercheurs, issus de différents domaines scientifiques, cherchent à exploiter ce sable, propre et abondant. Son utilisation peut être associée à sa teneur très élevée en silice, matériau servant de base à des applications dans le domaine de l'électronique et de l'optique. Dans le génie civil par exemple, ce sable présente également de grands avantages économiques et environnementaux [19]

II.1 Sable de dune dans le béton et mortier

Le béton de sable a été utilisé dans plusieurs pays différents et plusieurs tests ont été réalisés :

- **En Union Soviétique :**

Le béton de sable est connu dans la communauté des états indépendants « CEI » depuis plus d'un siècle. Le contexte de son développement est la rareté des granulats dans certaines zones où les granulats doivent être transportés sur de très longues distances « plus de 1000 km ».

En 1954, le Professeur REHBINDER [20] et son équipe réalisent les premières expériences en laboratoire en Russie, suivies d'applications en usine sur du béton de sable. L'idée est basée sur le broyage d'un mélange de ciment et de sable, et d'un abrasif actif. Un adjuvant réducteur d'eau est ajouté lors du mélange. L'application de ces principes permet d'obtenir un béton de porosité la plus faible possible, constitué de capillaires très fins et d'une homogénéité maximale après mise en place.

Une étude a été réalisée par MIRONVOK et STERYNE [21] sur du béton de sable compacté à l'aide d'un dispositif de choc vibrant pour fabrication de structures. Des tests de résistance à la compression ont été effectués sur des échantillons de 10 x 10 x 10 cm³. Il a été constaté qu'une résistance élevée (supérieure à 50 MPa) était obtenue pour des valeurs E/C comprises entre 0,29 et 0,38. De plus, la résistance à la compression Rc28 semble augmenter avec la valeur du module de finesse.

- **En France :**

En raison de l'absence de gros agrégats alluvionnaires dans certaines régions de France et de la disponibilité d'importants gisements de sable, les chercheurs ont cherché un matériau à base de sable et de ciment capable remplacer le système à base de béton traditionnel dans certains domaines (blocs, dalles, briques... etc.).

À partir de 1978, une approche plus aboutie du béton de sable a commencé à être développée. Dans les années 1980, le projet national "SABLOCRETE" (Association de Promotion et de Développement du Béton Sable) voit le jour en région Aquitaine.

Des travaux expérimentaux ont été réalisés par GAINEZ.R, GLUAIS.G, DELUDE.P [22]. Cette étude a pour but de fournir aux maçons et aux entreprises de construction un matériau hydraulique, à base de sable avec des performances mécaniques modestes, en revanche, les propriétés rhéologiques sont bien adaptées pour une mise en œuvre aisée, sans vibration avec un retrait limité.

Les principaux résultats des travaux effectués sont résumés dans le tableau :

Tableau II-1 Résultats des essais

Age du béton	2j	7j	28j
Retrait ($\mu\text{m}/\text{m}$)	40	160	495
Résistance en compression (MPa)	3,9	11	17,5
Résistance en traction (MPa)	1,1	2,5	4,1

- **En Algérie :**

L'Algérie est un gros consommateur de granulats. Cette consommation augmente chaque année. Les granulats grossiers ont tendance à s'épuiser dans certaines régions. D'autres régions n'ont simplement pas ce matériau. De plus, notre pays, en particulier le sud algérien, dispose d'une grande quantité de sable de différentes propriétés (dunes, limon), ainsi que d'importants gisements naturels et artificiels. Dès lors, la réflexion sur le développement de nouveaux bétons, comme le béton de sable, est devenue nécessaire [23].

Une étude a été réalisée par M. BENMALEK.ML [24] sur du béton de sable de dune. Cette étude a montré qu'en exploitant les propriétés physico-chimiques, ce type de sable pourrait bien constituer le squelette d'un béton pour peu que sa formulation soit judicieusement étudiée.

La composition finale adoptée et les résultats obtenus sont :

Tableau II-2 Composition et résultats obtenus sur des éprouvettes (16x32) du béton de sable de dune.

	Sable de dune (kg/m^3)	Ciment (kg/m^3)	Fillers calcaires (kg/m^3)	Eau (l/m^3)
Dosage	1249	350	300	281
Rc28(Mpa)	20			
Module d'élasticité (Mpa)	21000			
Déformation maximale (μ/m)	2300			
Contrainte maximale (Mpa)	16,50			
Affaissement au cône (cm)	8,84			

Ces résultats ont permis de conclure sur la possibilité d'utilisation de ce type de bétons sur des structures faiblement sollicitées.

AZZOUZ. Hocine [25], dans une étude sur du béton à base de sable de dune, a montré que celui-ci présentait une résistance inférieure à celle d'un béton à base de sable d'oued au même âge. Pour les différents types de sables utilisés :

- SO : Sable d'oued Djedai de la région de Lioua.
- SD1 : Sable de dune de la région de Lichana (BISKRA).
- SD2 : Sable de dune de la région de Ain Bennaoui (BISKRA)

Dans différentes formulations de bétons (tableau II-3), les résultats suivants furent obtenus (Figure II-1).

Tableau II-3 Proportions du sable dans les bétons étudiés

	SO	SD1	SD2
Equivalent de sable Es	2.17	1.36	1.22
Béton B01	100%	-	-
Béton B02	-	100%	-
Béton B03	-	-	100%

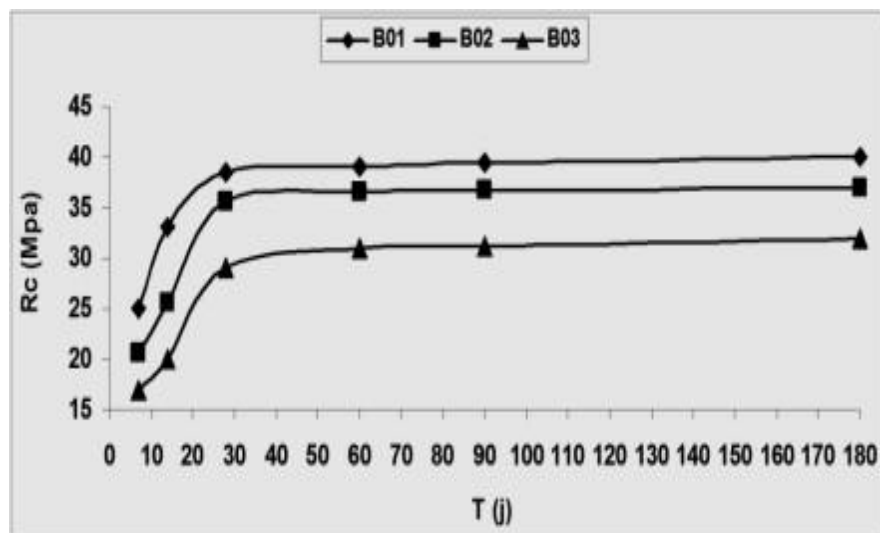


Figure II-1 Résistance à la compression des bétons (B01, B02 et B03) en fonction du temps.

BENTATA Aïssa [26] sur une composition spécifique de béton à base de sable de dune à taux variables, observe les résultats de résistances à la compression et à la traction présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau II-4 Les résultats des résistances a 28 jours..

	% de sable de dune	% de sable alluvionnaire	E/C	Rc28 (Mpa)	Rt28 (Mpa)
Béton A	-	100	0,52	31	2,5
Béton B	25	75	0,52	24	2,2
Béton C	50	50	0,52	27	2,6
Béton D	75	25	0,53	24	2,4
Béton E	100	-	0,55	24	2,5

Ce tableau nous montre une baisse de résistance avec la variation du pourcentage de sable de dune, ces baisses étant faible nous permet d'envisager des améliorations dans le futur.

En général, les différentes études montrent que le béton ordinaire prévaut toujours par rapport aux autres bétons. Le béton de sable de dune a une résistance à la compression jusqu'à 20 % inférieure et un taux de retrait 3 fois supérieur à celui du béton ordinaire.

BOUHNIK Brahim [27] a proposé une composition de béton spécifique contenant du sable de dunes, comme l'un de ses constituants. Le sable de dune utilisé provient de la zone d'Ain baida (Ouargla) et se caractérise par un module de finesse de 1,33 et un équivalent sable de 97% (sable très propre). Le ciment utilisé est un ciment résistant aux sulfates CPA CEM I 42,5 ES (CRS) et dosé à 400kg/m³ de béton.

Une série de tests est réalisée sur les compositions suivantes :

–Les résultats de résistance sont indiqués dans le tableau suivant :

Tableau II-5 Résistances à la compression et traction [B. BOUHNIK, 27].

	% de sable de dune	% de sable de construction	% de flintkote	E/C	Rc28 (Mpa)	Rt28 (Mpa)
BSC	-	100	-	0,58	41,85	2,744
BSCD	50	50	-	0,55	44,14	3,054
BSD	100	-	-	0,53	43,02	3,230
BSCF	-	100	2	0,55	37,27	2,741
BSCDF	50	50	2	0,52	40,87	2,705
BSDF	100	-	2	0,50	41,63	2,740

L'auteur montre que la résistance du béton composé d'un mélange de deux sables (BSCD) est supérieure à celle du béton à base de sable de dune (BSD) par rapport au béton témoin (BSC). Cela pourrait s'expliquer par :

- Le rapport E/C : est plus important dans le béton BSC par rapport au béton BSCD et BSD.
- Le rapport G/S : plus le rapport G/S augmente, plus la résistance augmente à son tour.

MANI Mohamed [28] a montré que l'incorporation de fibres métalliques ondulées (F1) dans le béton de sable augmentait efficacement la résistance à la flexion du béton de sable renforcé de fibres métalliques par rapport au béton témoin.

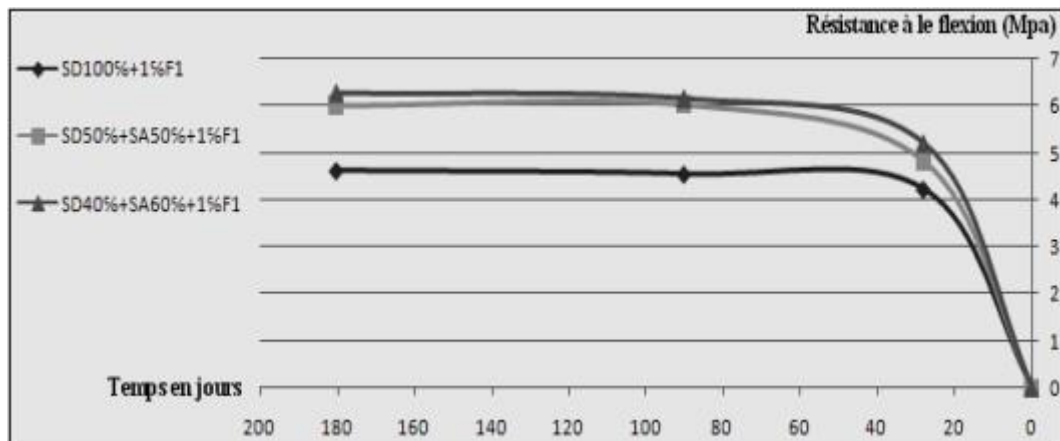


Figure II-2 Résistances à la flexion de bétons de sable fibré en fonction du % de sable en fonction du temps [28].

II.2 Intérêt du sable de dune :

Les avantages de l'utilisation de tels agrégats se situent à deux niveaux : à la fois techniquement et économiquement.

II.2.1 Dans le domaine économique

Étant donné que le sable des dunes est disponible partout en quantité quasi-inépuisable, cet aspect est évident étant donné que l'utilisation du sable des dunes permet une certaine économie dans le transport des matériaux dans les régions du sud algérien par exemple. De plus, l'extraction n'entraîne pratiquement aucun coût supplémentaire et peut être mélangé avec d'autres matériaux sur place (béton confectionné in-situ) sans aucun problème.

II.2.2 Dans le domaine technique

- Le sable peut contribuer à la densification des matériaux. Ceci permet, par la même occasion, l'amélioration de caractéristiques géotechniques des sols argileux en augmentant le frottement interne et en améliorant la portance.
- Il peut être utilisé pour réduire la ductilité du matériau de base.

Des applications impliquant de larges domaines tels que la construction et le génie civil ont mis en évidence les avantages que l'utilisation du béton de sable peut apporter, tant sur le plan technique [29].

- **En raison de sa fluidité**
 - A la fabrication des pieux forés ;
 - A la réalisation de dallages autonivelants ;
 - Au renforcement de structure par projection.

- **En raison de sa faible tendance à la ségrégation**
 - A une facile mise en œuvre sous l'eau ;
 - A la réparation de fondations
 - Au comblement de cavités.

II.3 Le module de finesse comme paramètre d'ajustement granulaire

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

0.16-0.315-0.63-1.25-2.5-5-10-20-40-et 80 mm NFP 18-540 [30]

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

0.16-0.315-0.63-1.25-2.5 et 5 mm

C'est une caractéristique intéressante surtout en ce qui concerne les sables. Un bon sable à béton doit avoir un module de finesse d'environ situé entre 2.2 à 2.8 ; au-dessous, le sable a une majorité d'éléments fins et très fins, ce qui nécessite une augmentation du dosage en eau ; au-dessus, le sable manque de fines et le béton y perd en ouvrabilité.[31]

Le module de finesse peut être considéré comme égal à la dimension moyenne pondérée du tamis sur lequel le matériau est retenu, les tamis étant numérotés à partir du plus fin. Popovics a ainsi montré que le module de finesse correspond à la moyenne logarithmique de la distribution granulométrique. Cependant, il est clair qu'un paramètre unique, une moyenne, n'est pas représentatif de l'ensemble de la distribution granulométrique. Ainsi, un même module de finesse peut correspondre à un nombre infini de distributions ou de courbes granulométrique totalement différentes. Le module de finesse ne peut donc pas être utilisé seul pour décrire la granulométrie d'un granulat, mais il est valable pour indiquer de petites variations dans le cas de granulats élaborés à partir d'une même source, par exemple pour un contrôle journalier. Néanmoins, à l'intérieur de certaines limites, le module de finesse donne des indications sur le comportement probable d'un mélange de béton fabriqué avec un granulat d'une granulométrie donnée et l'utilisation du module de finesse à des fins d'évaluation des granulats et de formulation des mélanges rallie de nombreux partisans. [32]

II.3.1 Effet du module de finesse sur la résistance

En 2016 Gauhar Sabih et ses collègues ont essayé d'observer l'effet de l'optimisation du module de finesse sur les performances du béton [33], ils ont sélectionné 8 sables

différents et les ont classifiés grâce au système ASTM [34] ce qui leur a donné le graphique suivant :

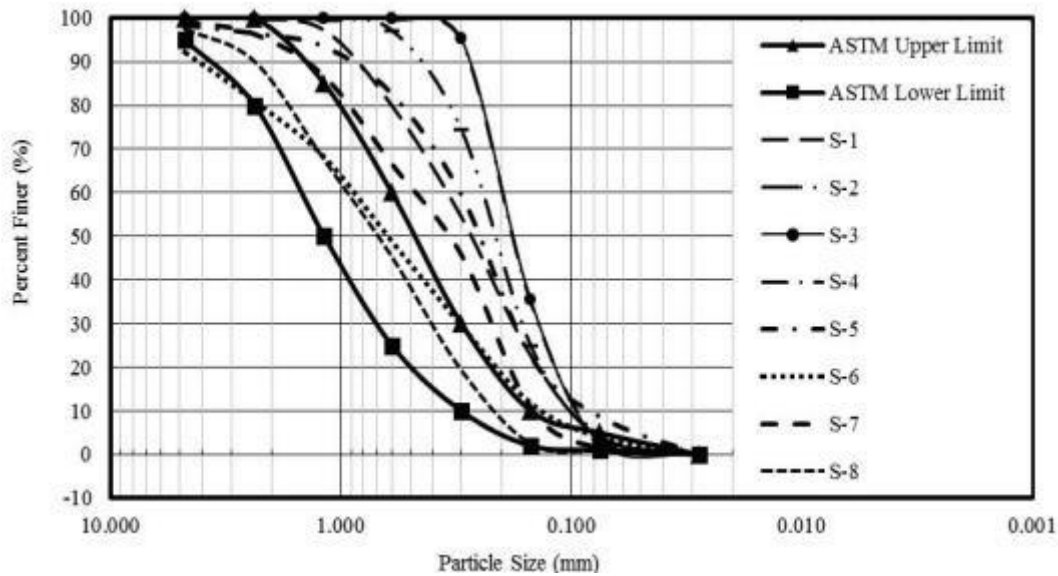


Figure II-3 Classification du sable par rapport aux limites de l'ASTM [33]

Ce graphique nous montre que seulement les sables S6 et S8 sont compris dans le fuseau du module de finesse allant de 2.3 et 3.1, tandis que le reste des sables sont trop fins avec des modules de finesse compris entre 0.69 et 1.8.

Les bétons confectionnés à partir de ces sables, et ayant des quantités identiques de granulats et un rapport E/C constant de 0.5, ont été testés à 7, 14, 21 et 28 jours sur des éprouvettes cubiques et cylindriques selon la norme ASTM C-39 [35,36]. Les résultats sont montrés dans la figure (II-4)

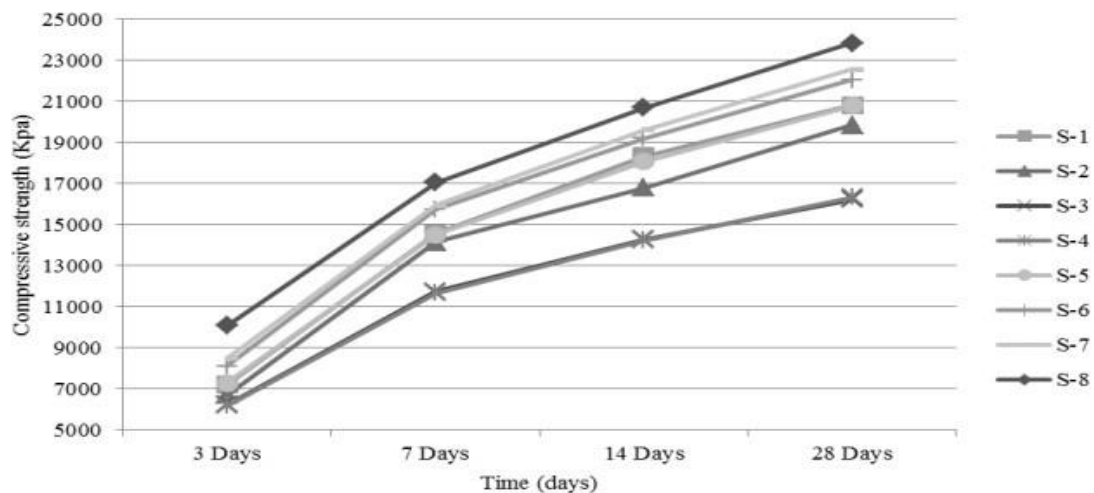


Figure II-4 Résistance à la compression sur cylindres des différents sables testés [33]

Nous pouvons lire à partir de ce graphique que la formulation avec la meilleure résistance est celle conçue avec le sable S8 avec une résistance de 23.86 MPa à 28 jours

alors que les sables S2 S3 et S4 sont en dessous de 20.68 MPa, ce qui n'est pas recommandé pour un béton armé.

Après avoir étudié si une optimisation du module de finesse de ces sable trop fin était possible et quel effet cela aurait, le cas échéant, après plusieurs tests ils ont abouti au calcul du potentiel d'optimisation du module de finesse appliqué aux sables fins tel que montré dans le tableau (II-6).

Tableau II-6 comparaison des modules de finesse originaux et pourcentage d'optimisation [33]

Sand Source	Original Fineness Modulus	Potential Fineness Modulus	Optimization Potential
S-1	1.45	2.6	44.23%
S-2	1.04	2.6	60.00%
S-3	0.69	2.6	73.46%
S-4	0.7	2.6	73.07%
S-5	1.47	2.6	43.46%
S-7	1.94	2.6	25.38%

Pour réussir à obtenir ces modules de finesse, un mélange entre les sables et des granulats fins a été réalisés à des pourcentage différents afin d'obtenir une optimisation maximale et le tableau (II-7) nous le montre :

Tableau II-7 sommaire des meilleurs mélanges entre le sable et les agrégats fins

Sand Type	% of Sand	% of Crusher Fines	% of Fractions of Crusher Fines				
			R4	R8	R16	R30	R50
S-1	50	50	10	24	22	22	22
S-2	40	60	8	4.2	20	40	27.8
S-3	31.6	68.4	4.6	5.7	20.2	29.9	39.4
S-4	30	70	4.8	10.7	12.3	29.4	42.8
S-5	46	54	1.2	8.5	22.2	29.8	38.3
S-7	57	43	8.3	8.3	33.3	16.8	33.3

Les modules de finesse finaux obtenus après mélanges sont montrés dans le tableau (II-8)

Tableau II-8 module de finesse optimaux des sables

Sand Type	Original Fineness Modulus	Optimized Fineness Modulus
S-1	1.45	2.62
S-2	1.04	2.36
S-3	0.69	2.31
S-4	0.7	2.35
S-5	1.47	2.32
S-7	1.94	2.58

Des test de resistances ont fait état d'une nette amelioration de la resistance sur les sables optimisés qui et comprise entre +8% à +39% pour la resistance a la compression.

Une autre etudes du même genre a été realisée au Bengladesh [37] avec 5 sables differents possédant des modules de finesse compris entre 1.54 à 3.01, comme montrés dans le tableau (II-9) :

Tableau II-9 caracteristiques des sables utilisés

Location of Sand Sample	Fineness Modulus	Specific Gravity			Bulk Unit Weight (pcf)	Absorption Capacity (%)
		Bulk Dry	Bulk SSD	Apparent		
Sylhet	3.01	2.51	2.54	2.59	97	1.21
Feni	1.70	2.48	2.53	2.60	91	1.83
Rangpur	1.63	2.32	2.35	2.39	85	1.21
Kushtia	1.54	2.44	2.46	2.49	94	0.81
Panchagarh	2.19	2.60	2.63	2.68	92	1.21

Deux formulations différentes ont été réaliser avec des quantités et un rapport E/C différents. Cela leur a permis d'obtenir les graphiques présentés en figure (II-5), montrant l'effet de ces sables sur la résistance à la compression du béton

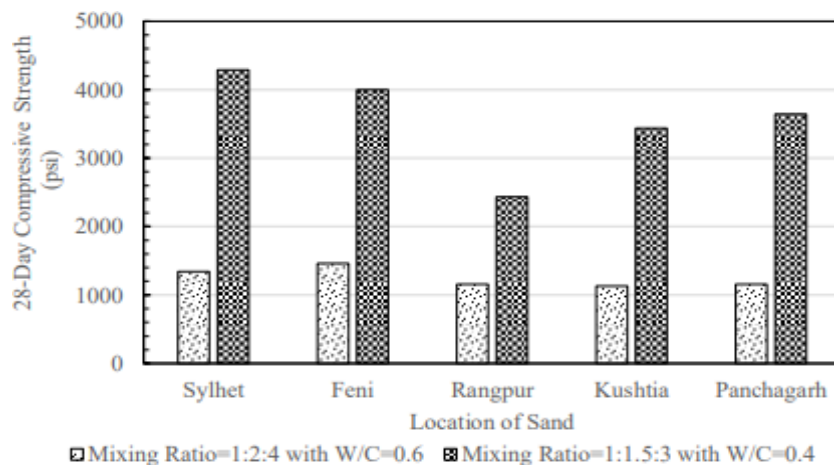


Figure II-5 effet de la source du sable sur la résistance

Ce graphique nous montre que les sables de Sylhet et Feni mènent aux meilleures résistances à la compression, par rapport à au reste des sables testés. Cela met en évidence l'effet positif de la valeur du module de finesse, sensiblement proche de 2.5, sur l'obtention de résistances mécaniques élevées.

II.3.2 Effet du sable de dune sur les caractéristiques du béton frais et durci :

- **Affaissement :**

L'affaissement du béton, également appelé affaissement du mélange ou encore *slump* en anglais, fait référence à la mesure de la consistance du béton frais. C'est une

caractéristique importante du béton qui indique sa plasticité et sa facilité de mise en œuvre.

L'affaissement du béton est généralement exprimé en centimètres et peut varier en fonction de la formulation du béton, du rapport eau-ciment, des adjuvants utilisés et d'autres facteurs. Il est utilisé comme indicateur de la maniabilité du béton, c'est-à-dire de sa capacité à être placé, compacté et nivelé efficacement sans ségrégation excessive de ses matériaux à l'intérieur d'un coffrage possiblement armé.

Des études sur l'effet du sable de dune sur l'affaissement ont déjà été menées, parmi elles :

L'étude de Tayebi M'hammed et Khelafi Hamid [38], dont le travail a consisté à la réalisation de formulations différentes avec des pourcentages différents de sable de dune et deux catégories de béton un plastique et un autres très plastique avec des quantités différentes de ciment. Les dosages adoptés sont présentés dans le tableau (II-10).

Tableau II-10 Dosages de sable de dune et nomenclature des bétons confectionnés

Bétons très plastiques (BTP)											
Dosage C300				Dosage C350				Dosage C400			
100%SD	80%SD	60%SD	40%SD	100%SD	80%SD	60%SD	40%SD	100%SD	80%SD	60%SD	40%SD
BTP31	BTP38	BTP36	BTP34	BTP351	BTP358	BTP356	BTP354	BTP41	BTP48	BTP46	BTP44
Bétons plastiques (BP)											
Dosage C300				Dosage C350				Dosage C400			
100%SD	80%SD	60%SD	40%SD	100%SD	80%SD	60%SD	40%SD	100%SD	80%SD	60%SD	40%SD
BP31	BP38	BP36	BP34	BP351	BP358	BP356	BP354	BP41	BP48	BP46	BP44

Des tests de consistance ont aussi été réalisés, dont les résultats sont illustrés dans les figures (II-6 et II-7), en accord avec la norme NF P 18-451

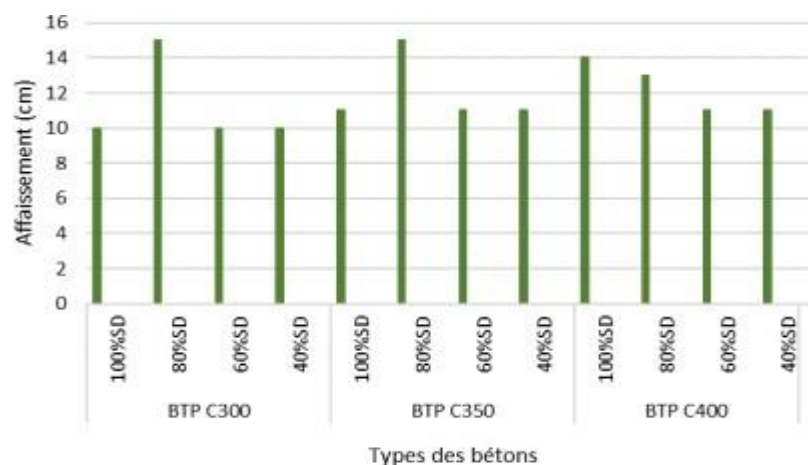


Figure II-6 Variation de l'affaissement des bétons très plastiques en fonctions de différents dosages de ciment et du pourcentage de sable de dunes.

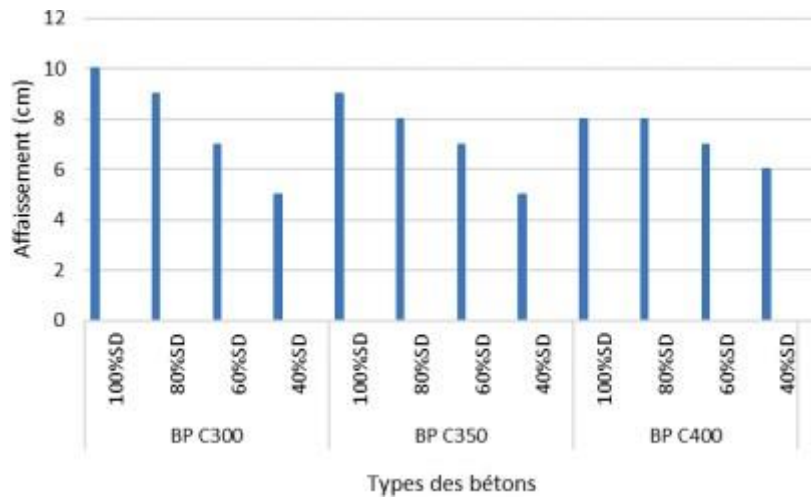


Figure II-7 Variation de l'affaissement des bétons plastiques en fonction de différents dosages de ciment et du pourcentage de sable de dunes.

Ces graphiques montrent l'influence du sable de dune sur les propriétés rhéologiques des bétons confectionnés et sur leur affaissement. Dans le cas du béton plastique nous remarquons que l'affaissement maximal se fait au niveau des formulations à 100% de sable de dune avec une baisse en maniabilité plus le pourcentage diminue. Alors que pour le béton très plastique la tendance est différente avec un affaissement maximal à 80% de sable de dune pour 2 formulations et 100% pour une formulation.

D'autres recherches ont été réalisées à ce sujet, dont deux intéressantes vis-à-vis de l'affaissement :

La recherche de El-Sayed Sedek Abu Seif [39] qui se concentre sur l'utilisation et la valorisation du sable de dune de l'oasis de Kharga en Egypte dans le béton. Sur des bétons comportant des taux variables de sables de dunes (variés par paliers de 10%) du sable naturel, il obtient les résultats présentés dans la figure (II-8).

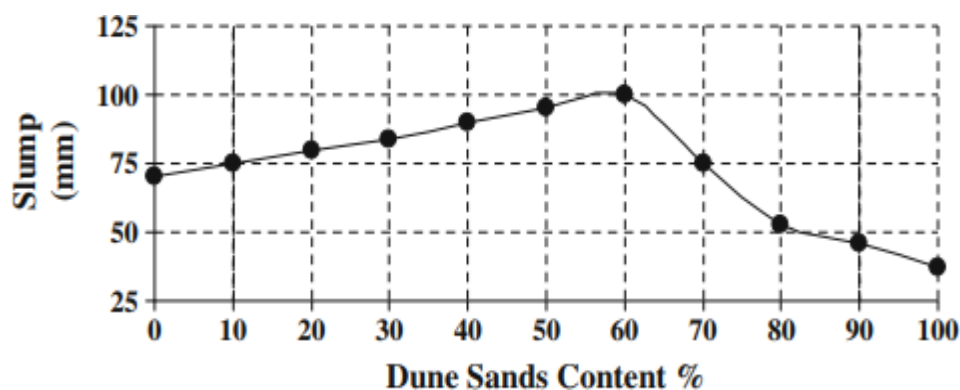
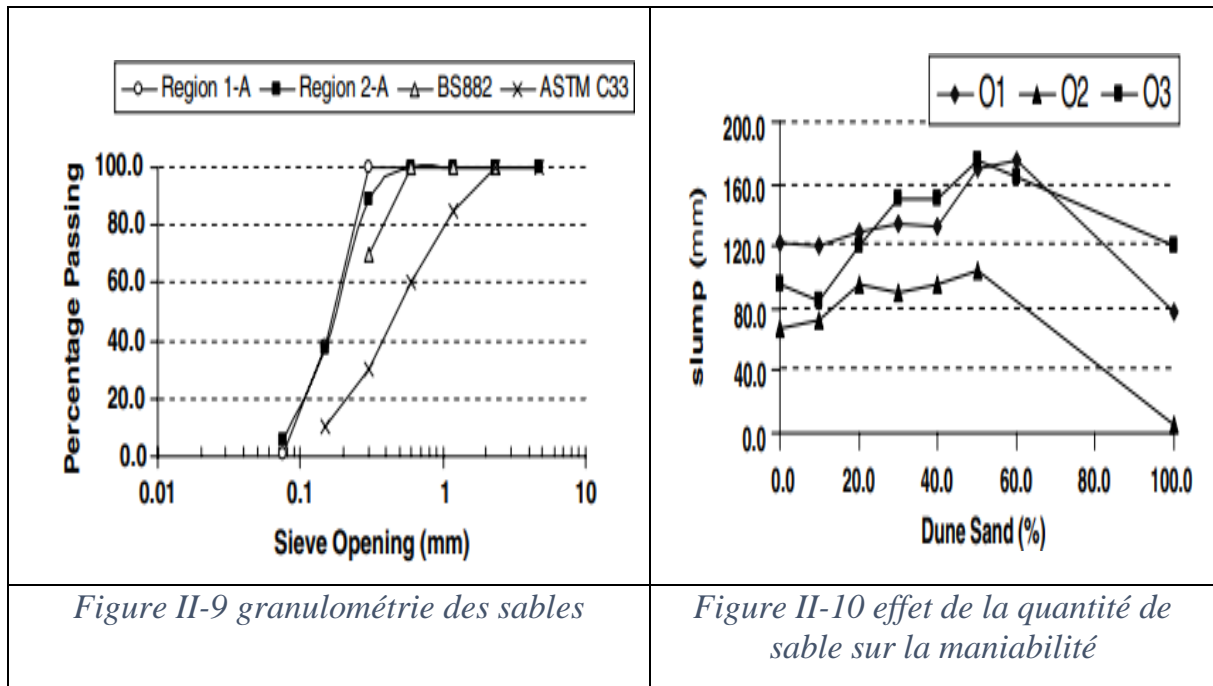


Figure II-8 Effet du sable de dune sur l'affaissement

Nous remarquons de ce graphique que l'augmentation du pourcentage de sable de dune jusqu'à 60% a pour effet l'amélioration de la maniabilité du béton mais dès lors que l'on dépasse ce pourcentage le béton devient plus compact, du fait de l'adsorption en eau élevée du sable.

A-S Al-Harthy et ses collègues, ont eux aussi réalisé une étude sur les propriétés du béton conçu avec du sable de dune [40], de la même manière, ils ont réalisé plusieurs formulations avec différents pourcentages de sable de dune issus de différentes localités. Les résultats sont montrés sur le graphique ci-dessous.



Ce graphique nous démontre comme lors de l'étude précédente que le pourcentage de sable de dune optimal et compris entre 40 et 60% dans le mélange total ce qui corrobore les recherches réalisées par El-Sayed.

- **Absorption**

L'absorption de l'eau par les granulats est déterminée en mesurant l'augmentation de masse d'un échantillon séché au four après avoir été immergé dans l'eau pendant 24 heures et séché superficiellement. Le rapport entre l'augmentation de la masse immergée et la masse de l'échantillon sec, exprimé en pourcentage, est défini comme étant l'absorption ou coefficient d'absorption. [32]

Ce coefficient mesure le volume des pores accessibles à l'eau, ce qui signifie que plus sa valeur est élevée, moins la durabilité du béton est assurée dans un milieu agressif. En particulier la pénétration de l'eau dans les pores des granulats, donc du béton, qui fragilise la structure en cas de gel. Enfin lors du malaxage du béton, l'emploi de granulats à fort coefficient d'absorption peut provoquer un léger raidissement s'ils n'ont pas été pré-mouillés avant leur introduction dans le malaxeur. [41]

Abbas Oda Dawood et Ahmed Mjbel Jaber [42] ont réalisé plusieurs éprouvettes et calculé leur absorption en eau selon le pourcentage de sable de dune et de fibre métallique dans le mélange, leurs résultats sont présentés dans le tableau (II-11) :

Tableau II-11 Pourcentages d'absorption en eau des cubes en béton.

Mix	Dune sand /Sand percentage [%]	Dry weight W_1 [kg]	Weight of specimen after submerged in water w_2 [kg]	$W_2 - W_1$ [kg]	Water absorption [%]	Concrete quality as per CEB 1989;192 [26]	[%] change in water absorption at 28 days
M1	0 % D.S	7.879	8.050	0.171	2.17	Good	---
M2	20 % D.S	7.812	7.985	0.173	2.21	Good	1.84
M3	40 % D.S	7.975	8.090	0.115	1.44	Good	- 33.64
M4	60 % D.S	7.882	8.088	0.206	2.61	Good	20.27
M5	80 % D.S	7.802	8.043	0.241	3.08	Average	41.93
M6	100 % D.S	8.047	8.308	0.261	3.24	Average	49.30
M7	0 % D.S + 1 % S.F.S	8.201	8.264	0.063	0.76	Good	- 64.97
M8	0 % D.S + 1 % S.F.L	8.235	8.361	0.126	1.53	Good	- 29.49
M9	0 % D.S + 1 % H.S.F	8.239	8.306	0.067	0.81	Good	- 62.67
M10	20 % D.S + 1 % S.F.S	7.970	8.180	0.210	2.63	Good	19.00
M11	20 % D.S + 1 % S.F.L	8.045	8.252	0.207	2.57	Good	16.28
M12	20 % D.S + 1 % H.S.F	8.272	8.434	0.162	1.95	Good	- 11.76
M13	40 % D.S + 1 % S.F.S	8.190	8.297	0.107	1.30	Good	- 9.72
M14	40 % D.S + 1 % S.F.L	8.197	8.292	0.095	1.15	Good	- 20.13
M15	40 % D.S + 1 % H.S.F	8.210	8.321	0.111	1.35	Good	- 6.25
M16	60 % D.S + 1 % S.F.S	7.877	8.110	0.233	2.95	Good	13.02
M17	60 % D.S + 1 % S.F.L	7.904	8.132	0.228	2.88	Good	10.34
M18	60 % D.S + 1 % H.S.F	7.962	8.193	0.231	2.90	Good	11.11
M19	80 % D.S + 1 % S.F.S	7.837	8.110	0.273	3.48	Average	12.98
M20	80 % D.S + 1 % S.F.L	7.620	7.874	0.254	3.33	Average	8.11
M21	80 % D.S + 1 % H.S.F	7.924	8.193	0.269	3.39	Average	10.06
M22	100 % D.S + 1 % S.F.S	7.580	7.881	0.301	3.97	Average	22.53
M23	100 % D.S + 1 % S.F.L	7.621	7.915	0.294	3.85	Average	18.83
M24	100 % D.S + 1 % H.S.F	7.638	7.936	0.298	3.90	Average	20.37

En ce concentrant que sur la partie du sable de dune nous remarquons une augmentation de l'absorption avec l'augmentation du pourcentage en sable appart pour le cas de 40% de sable ou l'on obtient une absorption faible de 1.44% qui est 33.6% moins importante que celle du mélange de référence ce qui le mets comme un bon béton selon le CEB 1989 :192 [43]

AS El Harthy [40] quant à lui, montre l'évolution de l'adsorption de surface du béton (succion capillaire) en fonction de la quantité et l'origine du sable de dune utilisé. Les résultats sont montrés en figures (II-11 et II-12).

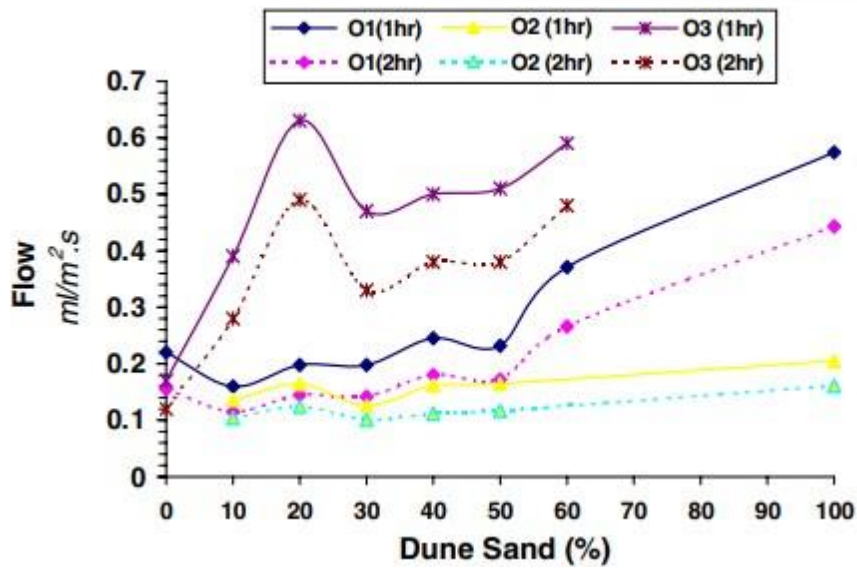


Figure II-11 Résultat des absorptions par capillarité des mélange (1h et 2h)

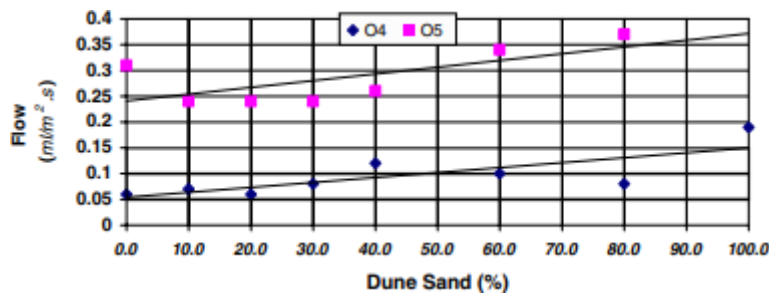


Figure II-12 Effet du pourcentage de sable de dune sur l'absorption par capillarité

Ces graphiques nous montrent que globalement plus la teneur en sable de dune augmente, plus l'absorption capillaire du béton augmente, et ce quelle que soit l'échéance de mesure.

- **Resistance a la compression et traction :**

La résistance du béton à la compression et à la traction sont deux propriétés mécaniques importantes du matériau, qui déterminent sa capacité à résister aux charges qui lui sont appliquées.

La résistance à la compression du béton fait référence à sa capacité à résister à des forces de compression, c'est-à-dire des forces qui tendent à le comprimer ou à le raccourcir. Elle est généralement exprimée en unité de pression, comme le mégapascal (MPa). La résistance à la compression du béton dépend principalement de la qualité du mélange, du rapport eau/ciment, du degré d'hydratation et de la densité du béton. Elle est évaluée en réalisant des essais de compression sur des échantillons de béton standard (cubiques ou prismatiques).

La résistance à la traction du béton, en revanche, fait référence à sa capacité à résister à des forces de traction, c'est-à-dire des forces qui tendent à l'étirer ou à le prolonger. Le

béton a une résistance à la traction relativement faible par rapport à sa résistance à la compression. Cela est dû à sa nature cassante et à la présence de fissures potentielles qui se développent lorsqu'il est soumis à des contraintes de traction. La résistance à la traction du béton est généralement exprimée en unité de pression, comme le MPa. Elle est évaluée en réalisant des essais de traction sur des échantillons de béton spécifiques, tels que des éprouvettes en forme de prisme ou de cylindre ou encore d'os.

Laid Bedadi et Mohamed Tahar Bentebba ont réalisé une étude expérimentale sur le sable de dune [44], dans laquelle, ils ont utilisé trois formulations différentes : une avec seulement du sable alluvionnaire, une avec un mélange sable de dune et sable alluvionnaire et finalement une avec 100% de sable de dune, les formulations sont montrées dans le tableau suivant :

Tableau II-12 Formulations utilisées [44]

Types de bétons	Quantité de Ciment (Kg)	Sable		gravier 3/8		gravier 8/15		Quantité d'eau	E/C
		%	Kg	%	Kg	%	Kg		
BA	400	39	714	7	128	54	989	250	0.625
BASD		38	696	8	146,5	54	989		
BSD		34	622	12	220	54	989		

Des tests de résistance ont été réalisés que ce soit en compression ou en traction. Les résultats sont montrés dans les graphiques des figures (II-13 et II-14).

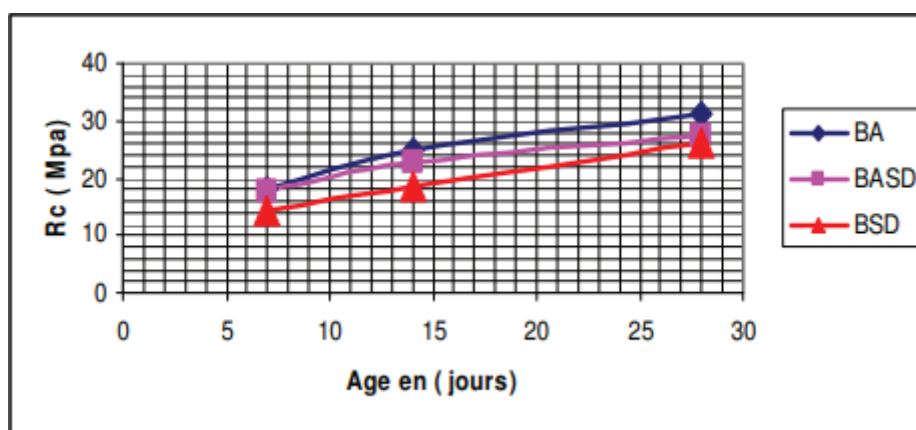


Figure II-13 Résistance à la compression du béton au cours du temps

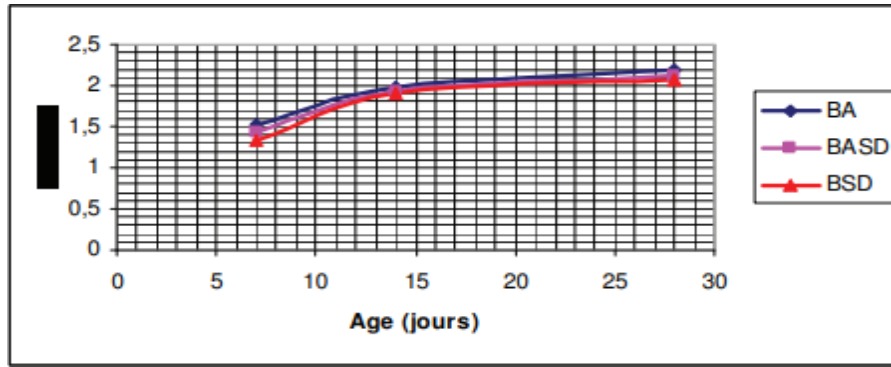
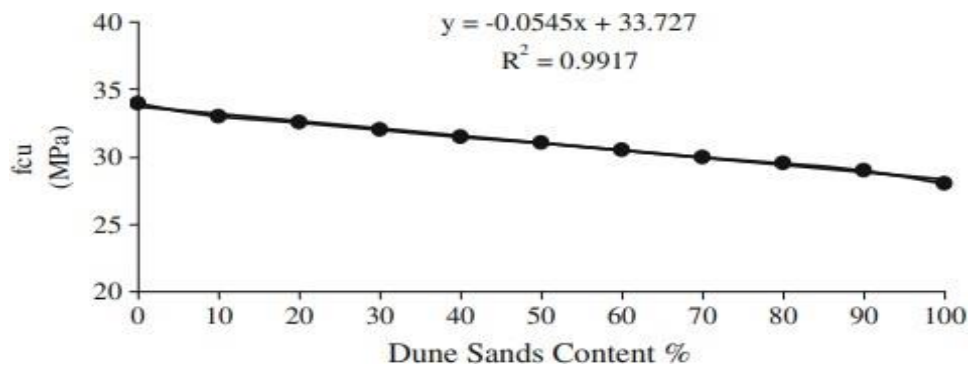


Figure II-14 Résistance à la traction du béton au cours du temps

De ce que l'on voit sur ces graphiques, le béton avec 100% de sable alluvionnaire possède la meilleure résistance tandis que celui au sable de dune seul et le moins performant alors que le mélange 40% alluvionnaire et 60% de dune se retrouve entre les deux, et ce, que ce soit en traction ou en compression.

D'autres études comme celle de El Sayed [39] et Al Harthy [40] montrent aussi que l'augmentation du pourcentage de sable de dune dans le mélange engendre une diminution de la résistance de celui-ci attesté par les figures (II-15 (a) et II-15 (b)).

(a)



(b)

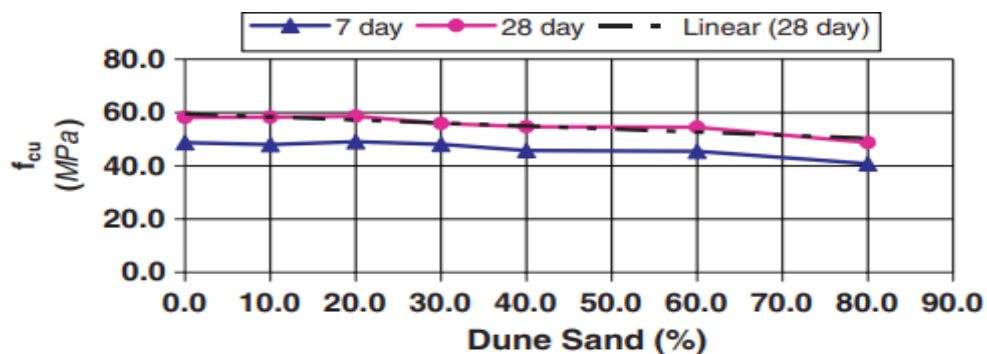


Figure II-15 effet du pourcentage de sable de dune sur la résistance à la compression du béton. (a) [El sayed, 2011], (b) [Al Harty, 2006]

III Conclusion

a) Partie béton fibré

Les domaines d'application du béton ne cessent de s'étendre, nécessitant des matériaux toujours plus performants et adaptables. La recherche et l'expérience acquise ont rendu possible une nouvelle génération de béton, permettant de construire des bâtiments plus durables, plus rapides et plus économiques.

Les domaines d'utilisation des fibres sont multiples. Le choix des fibres dépend de la nature du travail à réaliser, de la possibilité de mise en œuvre, des contraintes physico-chimiques auxquelles est soumis le composant, et des conditions économiques. C'est pourquoi certaines fibres avec des applications potentielles similaires

b) Partie sable de dune

L'ajouts du sable de dune dans le béton est une pratique qui se répand depuis plusieurs années, comme montré dans cette revue bibliographique, un grand nombre d'études a été réalisé dans le but de connaître les effets de celui-ci sur le béton. Nous pouvons conclure de toutes ces études que le sable de dune permet une amélioration de la maniabilité de la matrice à l'état frais, mais a comme inconvénients une perte de résistance et une forte augmentation de l'absorption en eau.

Le travail présenté dans ce mémoire a pour objet d'étudier l'effet de l'addition de sables de dunes d'origines différentes à des bétons de fibrés. Le but étant de vérifier si les fibres métalliques sélectionnées pour l'étude parviennent à améliorer les caractéristiques mécaniques de ces bétons. Il est à noter que les proportions sable concassé-sable de dune, ont été choisies de manière à obtenir un module de finesse égale à 2.5, car réputé être la valeur optimale vis-à-vis de la granulométrie du sable à mettre en œuvre dans le béton.

Chapitre II : matériaux et procédures

I Introduction :

Le béton est un matériau artificiel obtenu par un mélange d'un liant (généralement du ciment), d'eau, de granulats (sable et graviers), et éventuellement d'adjuvant, le choix des matériaux s'est porté, tout d'abord, sur leur disponibilité dans la région de Tizi Ouzou. Dans le présent chapitre nous avons étudié quelques caractéristiques des matériaux de base de notre composite à savoir le gravier, sable, ciment, fibres métalliques. Ces matériaux ont consisté en :

- Un gravier de deux classes granulométriques (3/8) et (8/15) issu d'une carrière se trouvant aux alentours de Tizi Ouzou
- Deux sables de dunes l'un de Bou Saada et l'autre de Touggourt noté **SD-BS** et **SD-TG**.
- Un sable concassé originaire aussi de la région de Tizi Ouzou, il est noté **SC**
- Deux mélanges (dunaire-concassé) préparés à partir de la règle d'Abrams : afin de corriger la courbe granulométrique du sable concassé par l'ajout de sable fin de dune.
- Ciment CEM II/A-L 42.5 R fabriqué par BISKRIA CIMENT.
- Eau de gâchage : de l'eau potable du robinet.
- Des fibres métalliques ondulées commercialisées sous la marque « MEDAFAC » par GRANITEX Oued Smar.

Tous les essais d'identification et de caractérisation ont été réalisés au niveau du laboratoire de béton du département Génie Civil de l'université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou.

II Caractérisation des matériaux

II.1 Gravier

Le gravier utilisé provient d'une carrière de la région de Tizi Ouzou. Pour la formulation de notre béton on a choisi deux fractions, 3/8 et la fraction 8/15. Le gravier est le constituant le plus important des bétons en termes de volume, et sa qualité est, donc un facteur déterminant pour la qualité du béton résultant.

II.1.1 Masses volumiques

Les masses volumiques apparentes et spécifiques des granulats ont été calculées en suivant les recommandations de la norme NF P18-554 [45].

- **Masse volumique apparente**

C'est la masse d'un corps par unité de volume apparent du corps. C'est-à-dire du volume constitué par la matière du corps et les vides présents entre les particules de cette matière, elle est donnée par la formule suivante :

$$\gamma_{app} = \frac{M_2 - M_1}{V} \quad (1)$$

Avec :

γ_{app} : masse volumique apparente.

M_1 : Masse du contenant vide.

M_2 : Masse de matériau.

V : Volume total du contenant.

Les résultats des essais sont résumés dans le tableau 15.

- **Masse volumique absolue**

On entend par la masse volumique absolue, la masse d'un corps par unité de volume réellement pris par la matière du corps, c'est-à-dire, en ayant déduit les vides entre les grains

La masse volumique absolue du gravier peut être calculée par l'équation 2 :

$$\gamma_{abs} = \frac{M}{V_2 - V_1} \quad (2)$$

Avec : γ_{abs} : Masse volumique absolue

M : Masse du corps

$V = V_1 - V_2$: volume absolu

Les résultats des essais sont résumés dans le tableau (II-1)

Tableau II-1 Masses volumiques apparentes et spécifiques des graviers utilisés

Classe de gravier	Gravier 3/8	Gravier 8/15
$\gamma_{app}(\text{kg/m}^3)$	1447	1392
$\gamma_{abs}(\text{kg/m}^3)$	2720	2720

II.1.2 Capacité d'absorption d'eau du gravier

C'est une mesure des pores accessibles à l'eau. Elle est déterminée en mesurant l'augmentation de masse d'un échantillon de gravier après avoir été immergé dans l'eau pendant 24 heures et séché superficiellement. Le rapport entre l'augmentation de la masse et la masse de l'échantillon sec (après passage en étuve), exprimé en pourcentage, est défini comme étant l'absorption, qui ne doit pas dépasser les 5 % selon la norme NF P 18-555. L'absorption se calcule par l'équation 3 :

$$A_b (\%) = \frac{M_a - M_s}{M_s} * 100 \quad (3)$$

Avec : A_b : Coefficient d'absorption d'eau

M_s : Masse de l'échantillon séché

M_a : Masse de l'échantillon après imbibition dans l'eau pendant 24h (saturé à surface sèche)

Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau (II-2)

Tableau II-2 Coefficient d'absorption d'eau des graviers utilisés.

Classe de gravier	Gravier 3/8	Gravier 8/15
$A_b(\%)$	0.42	0.44

On remarque que le gravier utilisé a une capacité d'absorption d'eau acceptable $A_b < 5\%$

II.1.3 Analyse granulométrique du gravier

L'analyse granulométrique consiste à déterminer la distribution dimensionnelle des grains constituant un granulat dont les dimensions sont comprises entre 0.063 et 125 mm.

Cet essai est réalisé suivant la norme NF P 18-560. L'échantillon représentatif doit avoir une masse comprise entre 200D et 600D, où D représente la plus grande dimension des granulats à analyser. On appelle tamisât ou passant l'ensemble des grains qui passent à travers le tamis, et refus l'ensemble des grains qui sont retenus sur le tamis. Un exemple de tamiseuse électrique permettant de réaliser l'essai est présenté figure (II-1).



Figure II-1 tamiseuse vibrante

Les résultats de l'analyse granulométrique du gravier G3/8 et G8/15 sont montrés dans les figures (II-2 et II-3)

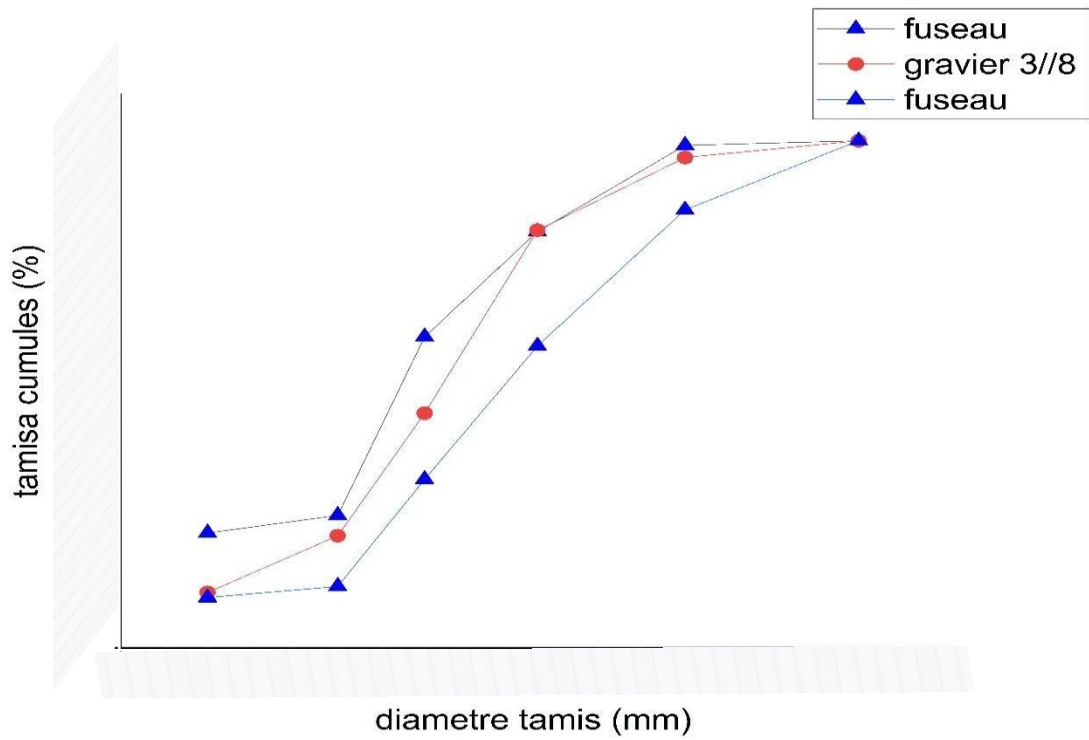


Figure II-2 Courbe granulométrique du gravier G3/8.

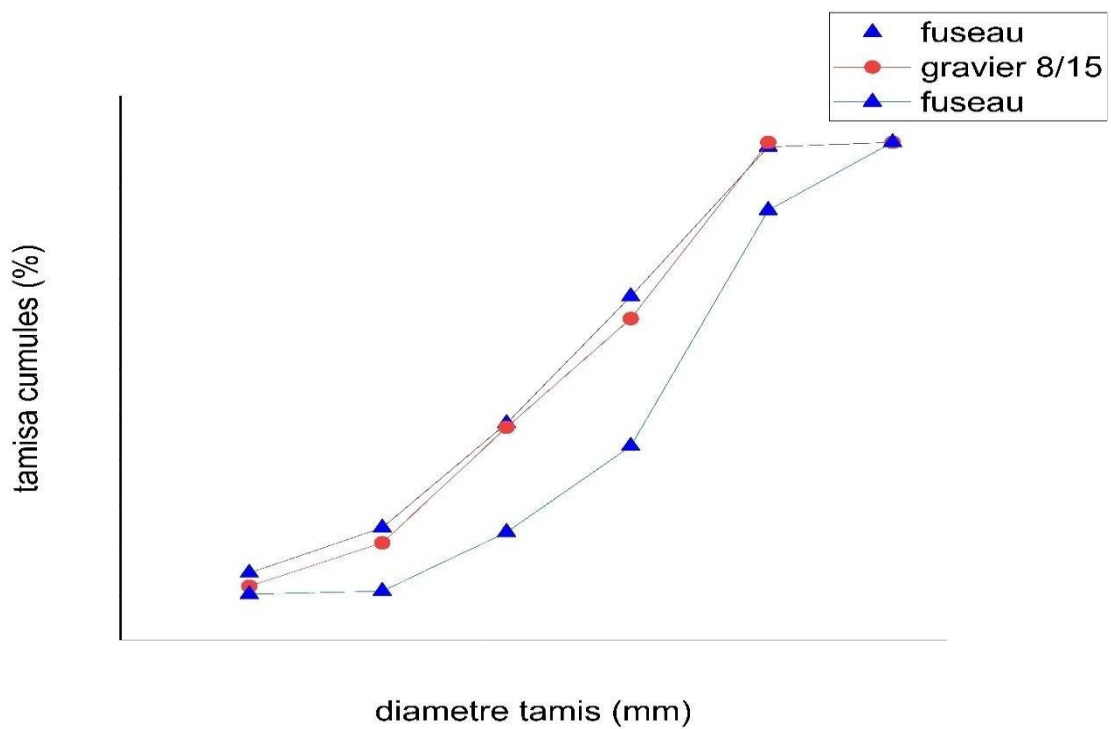


Figure II-3 Courbe granulométrique du gravier G8/15.

II.2 Sable :

Dans cette étude nous avons utilisé trois types de sable :

- Un sable de dune provenant de Bou Saada
- Un sable de dune provenant de Touggourt
- Un sable de carrière concassé

II.2.1 Masses volumiques

Des tests ont été réalisés pour déterminer la masse volumique apparente et absolue de nos différents sables figure (II-4 et II-5). Les résultats des essais de mesures des masses volumiques des différents sables norme NF P 18-555 [46] sont présentés dans le tableau (II-3) :



Figure II-4 mode opératoire de la masse volumique apparente

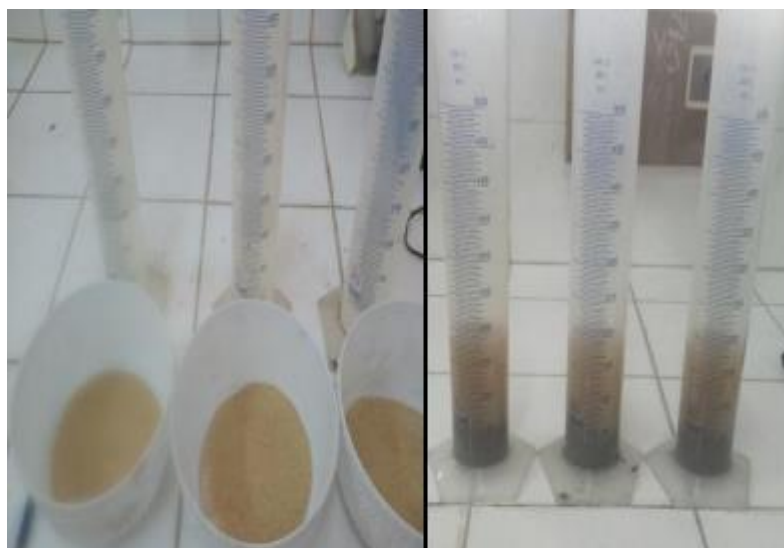


Figure II-5 mode opératoire masse volumique absolue

Tableau II-3 Masses volumiques apparentes et spécifiques des sables utilisés.

Type de sable	Sable concassé	Sable Touggourt	Sable Bou Saada
$\gamma_{app}(kg/m^3)$	1610	1650	1509
$\gamma_{abs}(kg/m^3)$	2652	2664	2666

II.2.2 Essai d'équivalent de sable

L'équivalent de sable indique le degré de pollution des éléments d'un sol. Il a pour but de mesurer la propreté et de déterminer le pourcentage des poussières nuisibles dans le matériau. L'essai a été fait conformément à la norme EN 933-8 [47] (Figures II-6 et II-7). Un indice appelé équivalent sable, est déterminé par l'équation 4 :

Pour l'équivalent de sable au piston :

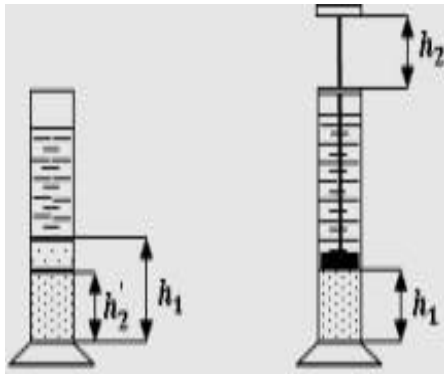
$$E_s p(\%) = \frac{h_2}{h_1} \times 100 \quad (4)$$


Figure II-6 principe de l'essai



Figure II-7 équivalent de sable sous piston

Les valeurs moyennes obtenues sont montrées dans le tableau (II-4)

Tableau II-4 Equivalent de sable utilisé.

Type de sable	Sable concassé	Sable Touggourt	Sable Bou Saada
E_{sp} au piston (%)	73.26	80.85	94.4

Le tableau (II-5), permet de classer les équivalents de sables à vue (E.S.V) et sous piston (E.S), afin d'en déterminer l'état de propreté des sables.

Tableau II-5 qualité du sable et propreté

E.S à vue	E.S	Nature et qualité du sable
E.S.V < 65	E.S < 60	Sable argileux : risque de retrait ou de gonflement, problème d'adhérence, à rejeter pour les bétons de qualité.
$65 \leq E.S.V < 75$	$60 \leq E.S < 70$	Sable légèrement argileux de propreté admissible pour les bétons de qualité courante quand on ne craint particulièrement pas le retrait.
$75 \leq E.S.V < 85$	$70 \leq E.S < 80$	Sable propre à faible pourcentage de fines argileuses convenant parfaitement pour des bétons de haute qualité (valeur optimale E.S = 75, E.S.V = 80).
E.S.V ≥ 85	E.S ≥ 80	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.

En comparant nos valeurs avec celles préconisées pour l'équivalent de sable par le tableau 19, nous pouvons classer nos sables de la manière suivante :

- Sable concassé et sable Touggourt : dont $70 < ES < 80$ Sable propre à faible pourcentage de fines argileuse convenant pour le béton et les mortiers.
- Sable Bou Saada : dont $ES > 80$ Sable très propre avec une absence presque totale de fines argileuses risquant d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau en utilisant un superplastifiant en importante quantité.

II.2.3 Analyse granulométrique du sable :

La granulométrie s'exprime par un graphique dans lequel la courbe granulométrique indique les pourcentages en masse passant par les tamis successifs dont les mailles sont de plus en plus petites. L'analyse granulométrique de tous nos sables est groupée dans la figure (II-8) :

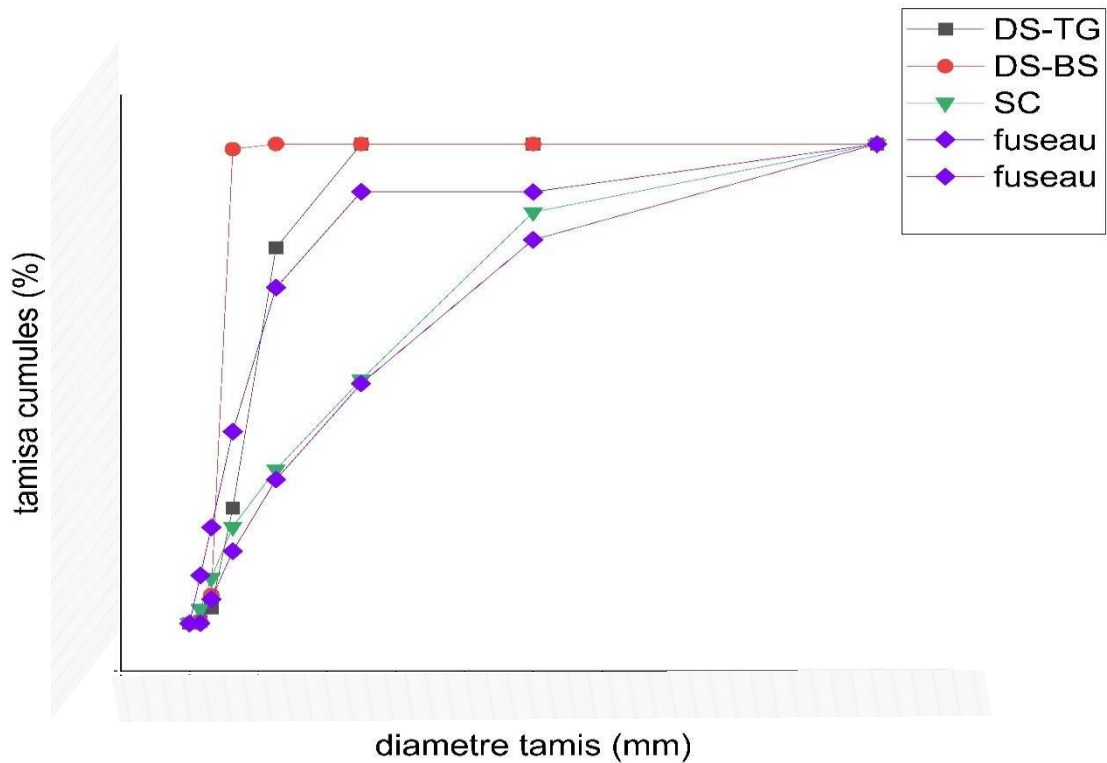


Figure II-8 Courbe granulométrique de la totalité de nos sables

Nous pouvons voir à partir de ce graphique que nos deux sables de dune sont en dehors du fuseau normalisé pour un sable

Pour ce qui est du module de finesse, il est calculé par la relation suivante :

$$MF = \frac{\Sigma \text{Refus des tamis } 0.16, 0.315, 0.63, 1.25, 2.5.5}{100} \quad (5)$$

Après avoir calculé le module de finesse pour tous nos sables nous avons obtenu le tableau suivant :

Tableau II-6 module de finesse des différents sables utilisés

	DS-TG	DS-BS	SC
Module de finesse	1.94	0.95	3.088

II.3 Ciment

Le ciment est un liant hydraulique, c'est-à-dire qu'il est capable de faire prise dans l'eau. Il se présente sous l'aspect d'une poudre très fine qui, mélangée avec de l'eau, forme une pâte faisant prise et durcissant progressivement dans le temps. Ce durcissement est dû à l'hydratation de certains composés minéraux, notamment des silicates et des aluminates de calcium.

Le ciment que nous avons utilisé pour la confection des bétons est un ciment Portland composé CEM II/A-L 42.5 R fabriqué par Biskria. Les analyses chimiques et minéralogiques de ce ciment sont résumées dans le tableau (II-7) suivant

Tableau II-7 Composition chimique et minéralogique du ciment

Eléments chimiques (%)	Valeur
Perte au feu	6-8
Teneur en sulfates (SO ₃)	2.5-2.9
Teneur en oxyde de Magnésium (MgO)	<3.5
Teneur en chlorure (Cl ⁻)	<0.08
Résidu insoluble	NA
Composition du clinker	Valeur
C3S	60-65
C3A	6-10

II.4 Eau de gâchage

L'eau présente dans le béton joue deux fonctions principales : Elle lui confère sa maniabilité à l'état frais (ses propriétés rhéologiques) et assure l'hydratation du ciment. L'eau de gâchage utilisée est l'eau potable du réseau publique de la ville de Tizi Ouzou, cette eau joue un rôle très important dans :

- L'hydratation du ciment
- Le mouillage des granulats
- Le malaxage et la mise en œuvre

II.5 Les fibres

Les fibres utilisées sont des fibres métalliques de type « MEDAFAC » fabriquées en Algérie par la société GRANITEX implantée à Oued-Smar (Alger). Elles sont en acier ondulé afin d'augmenter leur adhérence au béton. Elles sont illustrées dans la figure (II-9). Leurs différentes propriétés physiques et mécaniques telles que données par le fabricant sont :

Longueur.....50 mm.

Largeur2 mm.



Figure II-9 fibres métalliques type (MEDAFAC)

Procédures expérimentales

Dans cette partie nous allons nous intéresser aux différentes procédures utilisées pour la réalisation de nos éprouvettes.

Les étapes suivies au cours de cette étude expérimentale sont :

- 1) La formulation de plusieurs types de bétons en déterminant le dosage des différents constituants de chacun.
- 2) La réalisation d'essais de caractérisation sur chaque type de béton à savoir, essai de traction, essai de compression, essai ultrasonique, et essai de mesure d'absorption
- 3) Interprétation des résultats et discussion.

II.6 Formulation de différents types du béton :

Tableau II-8 tableau récapitulatif des compositions utilisé

Formulation Composants	BT	BTF	B-48/52 Touggourt	B-48/52 F	B-28/72 Bou Saada	B-28/72 F
Ciment						
Eau						
G1 (3/8)						
G2 (8/15)						
Sable						
Sable de dune						
Fibre						
E/C						

Avec :

BT : béton témoin

BTF : béton témoin fibré

B-48/52 : béton avec sable Touggourt

B-48/52 F : béton avec sable Touggourt fibré

B-27/72 : béton avec sable Bou Saada

B-27/72 F : béton avec sable Bou Saada fibré

II.7 Confection des éprouvettes :

Sur la base des formulations présentées précédemment, un certain nombre d'éprouvettes aussi bien cubiques que cylindriques ont été moulées. Dans le détail, ont été confectionnées :

- 3 éprouvettes cubiques (10x10x10) à tester en compression à 7j et 28, pour chaque formulation figure 43.
- 3 éprouvettes cylindrique (10x20) à tester en traction par fendage (essai brésilien) à 7j et 28, pour chaque formulation figure 44.

- 3 éprouvettes cubiques (10x10x10) à tester pour obtenir l'absorption en eau à 7j et 28, pour chaque formulation figure 43.

Le nombre total de 90 éprouvettes a été confectionné au cours de l'étude.

II.7.1 Etape de préparation des mélanges

La méthodologie de préparation des corps d'épreuves fut menée comme suit :

- Préparation des composants (eau, granulats et ciment et parfois fibres)
- Introduction de la moitié des granulats, puis du ciment et enfin du reste des granulats dans le malaxeur à béton.
- Allumage du malaxeur, et malaxage pendant 2 minute du mélange sec pour l'homogénéiser. Est incorporée ensuite l'eau pendant une minute. Enfin le malaxage est continué pendant encore 2 minutes jusqu'à avoir une consistance homogène.

II.7.2 Mise en place du béton dans les moules :

Le malaxage terminé, le remplissage des moules peut être effectué. Ce remplissage se fait en deux couches successives chacune systématiquement vibrée pendant dix seconde afin d'en retirer les bulles d'air.



Figure II-10 moule cubique 10x10x10



Figure II-11 moule cylindrique 10x20

II.7.3 Conservation

Après la confection des éprouvettes dans les différents moules, celles-ci sont couvertes par un film plastique, afin d'éviter tout échange hydrique avec l'environnement et l'évaporation de l'eau. Les éprouvettes sont ensuite démoulées 24h après leur mise en place puis conservées dans un milieu approprié :

Les éprouvettes à tester en absorption sont conservées dans l'eau jusqu'à leur échéance de casse de 7j et 28j

Les éprouvettes à tester en compression et traction sont quant à elles conservées à l'air libre.

II.8 Type d'essais réalisés :






II.8.1 Essais sur le béton frais :

- **Mesure de la consistance « Cône d'Abrams »**

Le contrôle de l'ouvrabilité est effectué grâce à l'essai d'affaissement au Cône d'Abrams qui consiste à :

Remplir le cône en trois couches, tassées avec une tige d'acier pointue de 16mm de diamètre a raison de 25 coups par couches, puis soulever le moule avec précaution, et enfin mesurer l'affaissement en cm et comparer le résultat obtenu au tableau donnant les classes d'affaissements NF P 18.451 [48] de la norme EN 206-1[49].

Tableau II-9 classe d'affaissement du béton frais

CLASSE D'AFFAISSEMENT	S1	S2	S3	S4	S5
AFFAISSEMENT AU CÔNE D'ABRAMS	De 10 à 40 mm 	De 50 à 90 mm 	De 100 à 150 mm 	De 160 à 210 mm 	≥ 220 mm 
EXEMPLES INDICATIFS	Ouvrages avec forte pente ou demandant une mise en place immédiate (garage avec forte pente)	Ouvrages avec faible pente (accès, dalle pleine vibrée)	Ouvrages sans pente demandant une mise en place simplifiée (fondations, voiles)	Ouvrages sans pente (fondations, dalles, voiles avec forte densité d'armatures)	Ouvrages demandant une éventuelle planéité ou dans le cas d'un coffrage, etc. sans vibration (voiles complexes, fondations)

- **Masse volumique du béton frais**

Cet essai consiste à remplir un récipient de volume V (en litre) et de masse M_r (en Kg) d'un échantillon de béton frais, en deux couches tassées par vibration, à raison de 30 secondes par couche. Après remplissage, araser et lisser la surface du béton à l'aide d'une truelle. Enfin, peser le récipient rempli, de masse totale M_t (en Kg).

La masse volumique du béton frais sera alors :

$$\rho_f = \frac{M_t - M_r}{V} \left(\frac{\text{Kg}}{\text{L}} \right) \quad (6)$$

II.8.2 Essais sur béton durci

II.8.2.1 Coefficient d'absorption

La mesure du coefficient d'absorption en eau consiste à retirer l'éprouvette de l'eau puis l'essuyer pour la peser à l'état saturé. Après cette étape, sécher l'éprouvette dans l'étuve à 105 degrés Celsius, puis la retirer et la peser à plusieurs échéances distantes de 24h chacune, jusqu'à ce que la masse soit constante.

Le coefficient d'absorption et donc donner par :

$$w = \frac{M_H - M_s}{M_s} \times 100(\%) \quad (7)$$

M_H : masse de l'éprouvette humide (saturé)

M_s : masse de l'éprouvette sèche (après étuve)

II.8.2.2 Essai ultrasonique

C'est un essai non destructif très important, qui nous permet de d'évaluer à la fois plusieurs caractéristiques du béton durci telles que : le degré de compacité, le taux de fissuration, les dommages causés par le gel ou l'écart de température...etc.

Cet essai consiste à mesurer la vitesse longitudinale d'une onde ultrasonore traversant le béton, à l'aide d'un appareil comportant une boîte de mesure, et deux têtes (une émettrice et l'autre réceptrice) et tout cela selon la norme NF EN 12504-4 [50].



Figure II-12 Appareille Pundit de détermination de la vitesse ultrasonore

Deux méthodes peuvent être utilisées pour mesurer la vitesse ultrasonore :

- Mesure en surface (semi-directe ou indirecte)
- Mesure en transparence (directe).

Cette dernière représente la meilleure méthode. Elle consiste à presser les deux têtes de mesure sur les deux faces opposées de l'éprouvette à tester, en utilisant une pâte de contact qui facilite la transmission de l'onde. La surface du béton doit être raisonnablement plane et bien nettoyée.

Une fois l'appareil mis en marche, on peut lire le temps de propagation en microseconde. La vitesse de propagation est donnée alors par l'équation suivante :

$$V = \frac{L}{t} \quad (8)$$

[50].

Où :

- V : vitesse de propagation en m/sec.
- L : distance entre les têtes en (mètre) mesurée avec une précision de 1 %
- t : temps en microseconde

La vitesse dans un béton normal de bonne qualité est environ de 4000 à 4800 m/sec.

A partir de cette vitesse on peut déterminer aussi le module d'élasticité dynamique par la relation suivante :

$$E_{dyn} = \rho \cdot V^2 \cdot \frac{(1-2\nu) \cdot (1+\nu)}{1-\nu} \quad (9)$$

[50].

Où :

- E_{dyn} : module de Young dynamique.
- ρ : masse volumique du béton en Kg/m³.
- ν : coefficient de poisson du béton.
- V : vitesse de propagation du son dans le béton en m/sec.

Les essais ultrasoniques ont été réalisées sur toutes les éprouvettes cubique 10x10 destinées à être testées en compression.

II.8.2.3 Essais de résistance mécanique

- **Essai de compression :**

Le but de l'essai est de déterminer la résistance du béton à la compression après l'application d'un chargement, sur des éprouvettes cubiques de 10x10x10 cm. La vitesse de charge appliquée demeure constante au fil du temps jusqu'à la rupture.

L'appareil utilisé au cours de l'essai est une presse hydraulique avec moniteur, programmée pour tout type d'essai, compression, traction par flexion, traction par fendage. Les valeurs de la force de chargement et les contraintes résultantes sont lues directement sur l'écran. Les éprouvettes confectionnées étant cubiques, elles sont ajustées entre les deux plateaux de la presse de manière à ce qu'elles soient centrées. Le plateau inférieur est fixe tandis que l'autre est mobile. L'effort est appliqué progressivement à vitesse de chargement constante (2.4KN/s). Pour chaque valeur de chargement (force), la valeur de l'effort vertical est enregistrée (contrainte), et ce jusqu'à la rupture totale de l'éprouvette qui se traduit par l'arrêt de la presse. Cela signifie que l'essai de compression est achevé. À ce moment, les valeurs maximales de la force et la contrainte, subies par l'éprouvette sont affichées sur l'écran de la presse.



Figure II-13 Illustration d'une presse hydraulique

- **Essais de traction par fendage :**

Le fendage est l'application de deux charges opposées réparties linéairement exercent au milieu de la surface de l'éprouvette. Le but de l'essai est de déterminer la résistance du béton à la traction par la méthode indirecte de fendage aussi appelée essai brésilien.

Pour l'essai de fendage en utilisant des bandes ou des baguettes en bois normalisées fabriquées essentiellement pour les essais de fendage de 20x1.5x0.15cm de dimensions, le rôle de ces baguettes, est la localisation et la concentration de la charge exercée pour qu'il devienne une charge linéaire au milieu de la surface l'éprouvette.

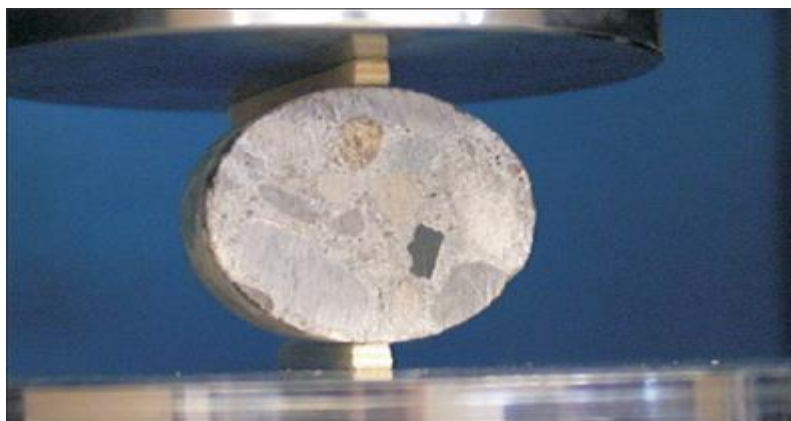


Figure II-14 fendage d'une éprouvette cylindrique

Selon la norme EN 12390-6 :2000, Les plaquettes doivent d'abord être posées et centrées soigneusement sur le milieu de la face supérieure et inférieure de l'éprouvette cylindrique à tester, avant que l'ensemble ne soit posé dans la presse hydraulique.

La vitesse de chargement adoptée au cours de l'essai fut de 1.56 KN/s, tandis que les éprouvettes utilisées sont des éprouvettes cylindriques 10x20cm

La résistance à la traction par fendage peut se calculer suivant l'équation 10 :

$$F_{ct} = \frac{2 \cdot F}{\pi \cdot L \cdot d} \quad (10)$$

Où :

F_{ct} : la résistance à la traction en MPa.

F : la force enregistrée en N.

L : la longueur de contact de l'éprouvette en mm.

D : le diamètre nominal de l'éprouvette en mm

Chapitre III : Résultats et analyse

I Introduction :

Dans ce chapitre, nous présentons les résultats expérimentaux des tests réalisés sur les bétons témoin et bétons à base de sable de dune avec et sans fibres.

Nous allons aborder l'analyse des propriétés physique et mécanique des bétons dans un premier temps. Ensuite nous allons entamer le volet traitant de l'analyse des résultats où nous commenterons les résultats obtenus et tâcherons de les expliquer.

II Essai réalisé à l'état frais :

II.1 Consistance du béton :

Les résultats de l'affaissement des bétons caractérisant leur maniabilité et leur consistance sont regroupés dans le tableau suivant.

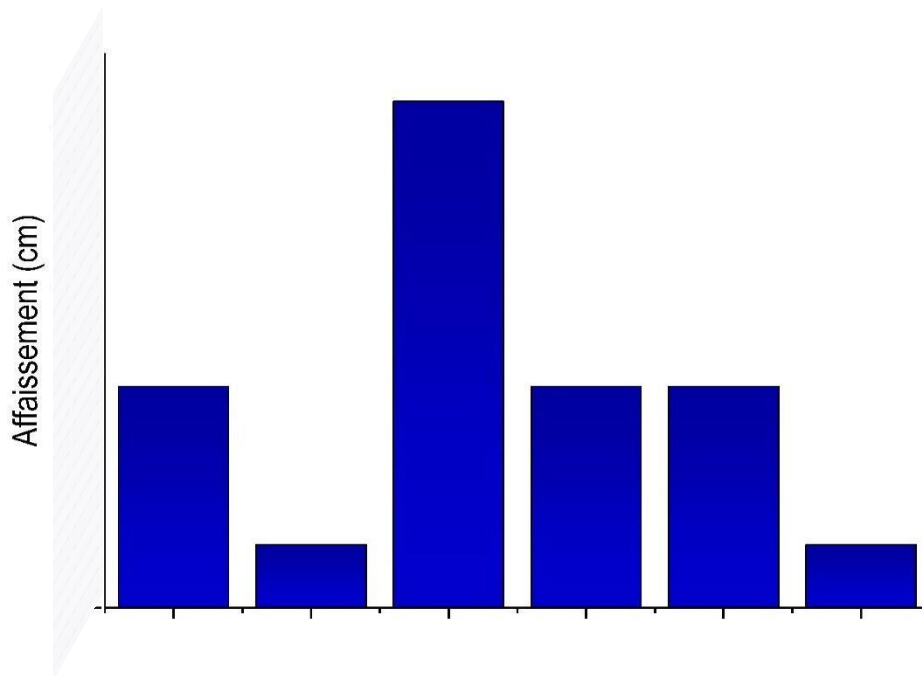


Figure II-1 histogramme des affaissements pour les différentes formulations

. Nous constatons de ce schéma que l'affaissement de notre béton varie d'une formulation à une autre l'augmentation de l'affaissement sur B-48/52 et surement du a l'ajout de sable de dune pour ce qui est de la diminution cela et du a l'ajout de fibre qui solidifie la matrice.

II.2 Essais sur béton durci

II.2.1 Essai d'ultrason :

Avant de soumettre à 7 et 28 jours nos éprouvettes cubiques $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}^3$ au tests de compression, Nous avons effectué des essais à l'appareil à ultrasons Pundit. Les vitesses des ultrasons ont été déterminées par la mesure du temps pris par l'onde ultrasonore pour parcourir les éprouvettes. 3 éprouvettes pour chaque formulation de notre béton

ont été testées pour leurs capacités acoustiques. Le mode utilisé est celui de la transmission directe car celui-ci nous offre les meilleurs résultats en termes de précision. La fréquence utilisée lors des essais fut de 150 kHz. Pour améliorer la précision, nous avons répété le test trois fois sur chaque échantillon et calculé la moyenne des trois mesures obtenues sur chaque échantillon.

Ces résultats sont représentés dans le tableau (II-2) et reportés sur un histogramme tel que schématisé sur la figure (II-2).

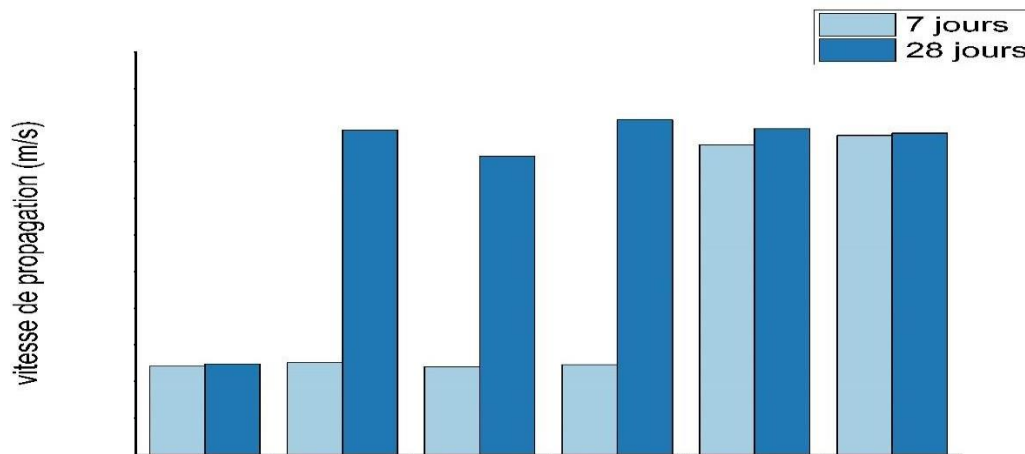


Figure II-2 histogramme des variations de la vitesse selon la formulation dans le temps

Les histogrammes des vitesses ultrasonores sur l'ensemble de nos bétons, montrent une augmentation de la vitesse de propagation de la vitesse avec la variation de la quantité de sable de dune surement car le sable utiliser est très fin ce qui permet à la matrice d'être plus compact se qui a pour effet l'augmentation de celle-ci et par ailleurs l'ajouts de fibre métallique joue aussi un rôle sur l'augmentation de la vitesse de propagations

II.2.2 Essais d'absorption par immersion

Nous nous sommes intéresser à cette caractéristique afin de connaître le comportement des bétons de sable de dune et de fibres métalliques en présence d'eau. En effet il est très important de quantifier la présence des vides dans le béton afin de prédire la compréhension des phénomènes d'éclatement du béton liés au gel.

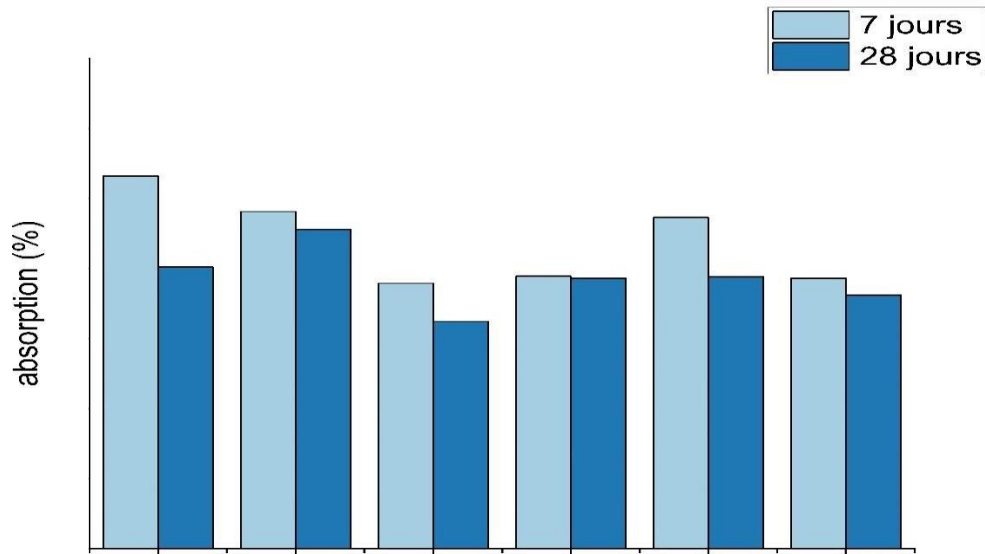


Figure II-3 histogramme des variations du coefficient d'absorption selon la formulation

La figure illustre l'évolution du coefficient d'absorption d'eau pour différents types de béton, il est nettement visible que le coefficient d'absorption diminue en fonction de la quantité de sable de dune ce qui confirme la diminution de la porosité.

Cette diminution de la porosité est liée à la finesse des grains de sable qui augmente la compacité du mélange.

II.2.3 Résultats des résistances à la compression et au fendage

La résistance mécanique en compression est une caractéristique essentielle d'un béton ; elle correspond à la charge maximale que peut supporter notre éprouvette avant rupture. Tandis que la résistance au fendage est ne mesure de la capacité du béton à résister à la propagation des fissures perpendiculaires à la direction de la charge appliquée. Cette propriété est particulièrement importante dans les éléments structuraux soumis à des forces de traction

Nous avons procédé à trois mesures pour chaque formulation, les résultats obtenus sont expliqués dans les partie suivante

II.2.3.1 Effet du sable de dune de Touggourt sur la résistance

Le graphique 51 nous montre les effets du remplacement d'une partie du sable concassé par le sable de dune originaire de Touggourt. Deux mélanges fibrés et non fibrés sont comparés :

- **Résistance à la compression**

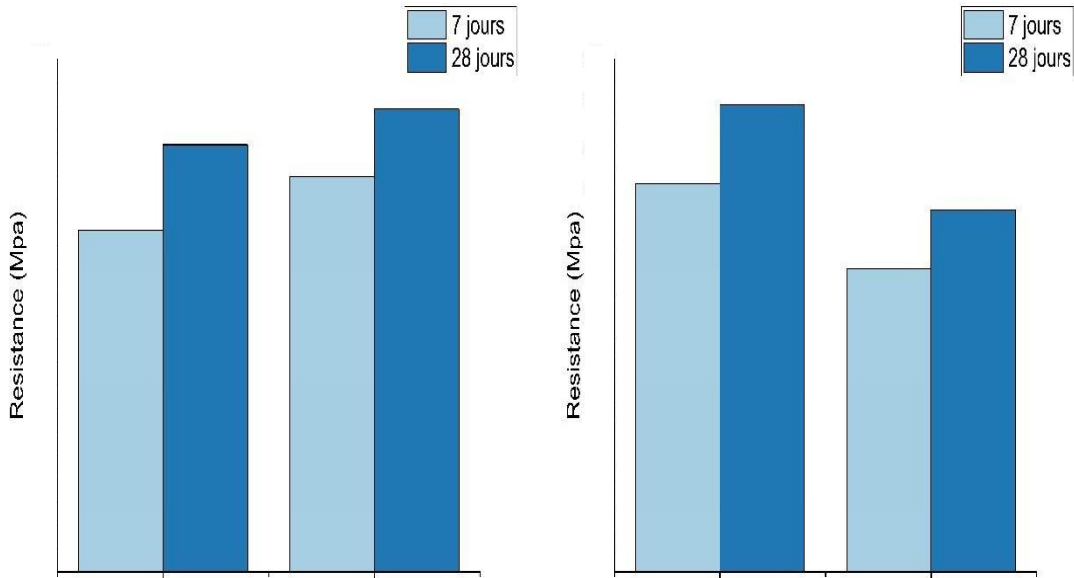


Figure II-4 Histogramme de la variation de la résistance à la compression selon la formulation

Nous pouvons déterminer de ce graphique que la résistance à la compression de notre béton a subi une augmentation sur la formulation qui contient le sable de dune, ce qui probablement est dû au fait que le sable de dune de Touggourt est plus fin, ce qui a pour effet d'augmenter la compacité de la matrice. Pour ce qui est du béton fibré, une baisse de la résistance est remarquable, ce qui pourrait être dû au fait que les grains de sable ronds créent un effet de glissement avec les fibres, ce qui n'est pas possible avec le béton témoin fibré car le sable utilisé est angulaire, donc il crée du frottement sur les fibres.

- **Résistance à la traction par fendage**

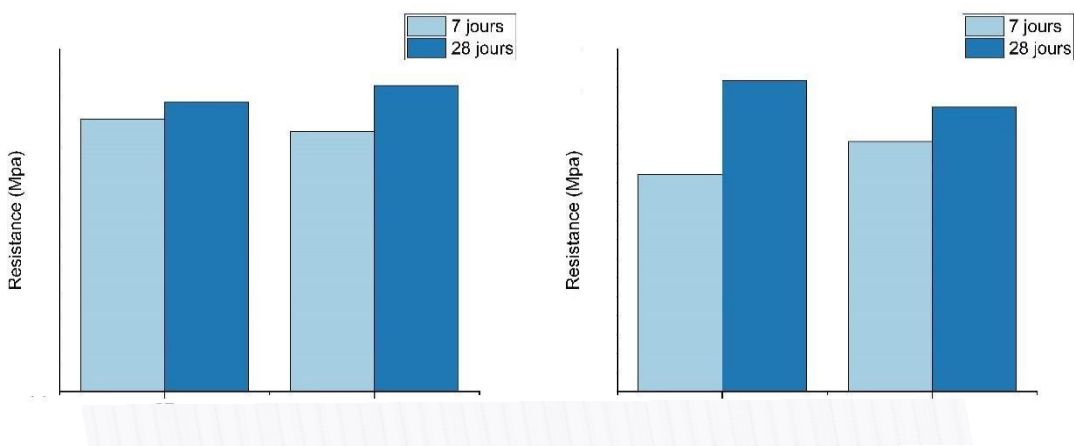


Figure II-5 Histogramme de la variation de la résistance au fendage selon la formulation

Nous remarquons de ce graphique que la résistance au fendage de notre béton subis une amélioration minime sur la formulation contenant du sable de dune de Touggourt, ce qui pourrait être du au fait que la compacité de ce mélange soit plus importante que pour le témoin, pour ce qui est des deux formulation fibré la tendance est inverse avec une diminution de la résistance sur la formulation possédant du sable de dune ce qui pourrait être causé par une mauvaise cohésion entre les fibre métalliques et la matrice contenant du sable de dune fin.

II.2.3.2 Effet du sable de dune de Bou Saada sur la résistance

Le graphique 53 nous montre les effets du remplacement d'une partie du sable concassé par du sable de dune originaire de Bou Sâada sur un béton témoin fibré et non fibré.

- **Résistance à la compression**

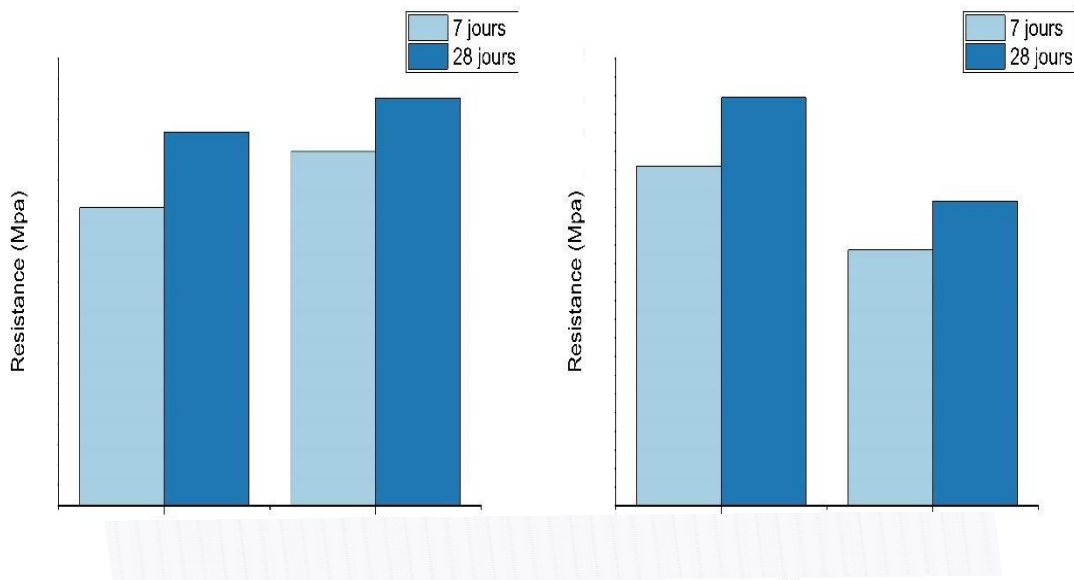


Figure II-6 Histogramme de la variation de la résistance à la compression selon la formulation

- **Résistance à la traction par fendage**

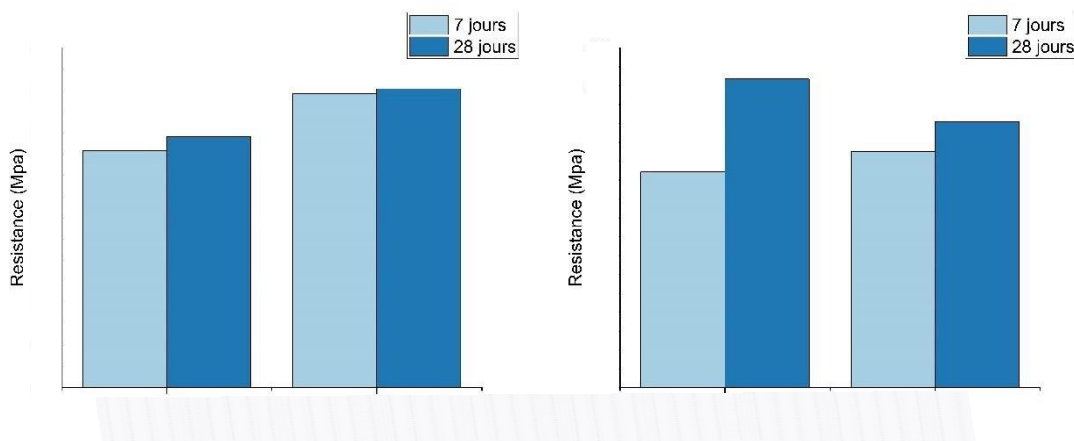


Figure II-7 Histogramme de la variation de la résistance au fendage selon la formulation

Nous pouvons remarquer que les résultats obtenus sur la formulation contenant du sable de Bou Saada sont semblables avec ceux étudié précédemment « sable de Touggourt » ceci est du au fait que nos deux sables sont très semblables au niveau de leur caractéristique (finesse du grain, forme ronde), cela nous permet aussi de voir que les résultats vus au paravent sont donc logiques.

II.2.3.3 Comparaison entre le sable de Touggourt et Bou Saada

Dans cette partie nous nous sommes attelés à comparer au global les résistances des formulations contenant du sable de dune toutes origines confondues, afin de déterminer le cas échéant, laquelle serait la plus intéressante à utiliser

- **Résistance à la compression**

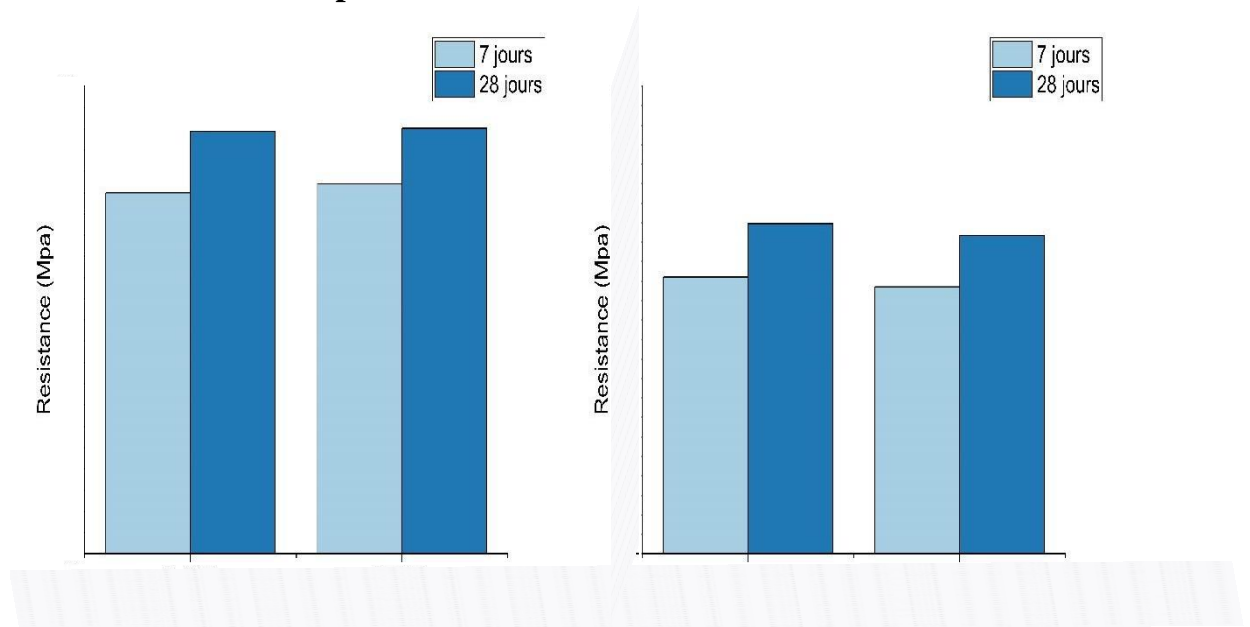


Figure II-8 Comparatif des résistances à la compression des bétons à base de sable de dune de Bou Saada et Touggourt

On peut déterminer de ce graphique que les résistances à la compression de nos deux formulations sont très proches avec une différence minimale donc négligeable, ce qui pourrait être dû à la similarité de nos deux sables et au fait que les deux formulations possèdent un module de finesse égale à 2.5 que ce soit pour les formulations fibrées et non fibrées.

- **Résistance à la traction par fendage**

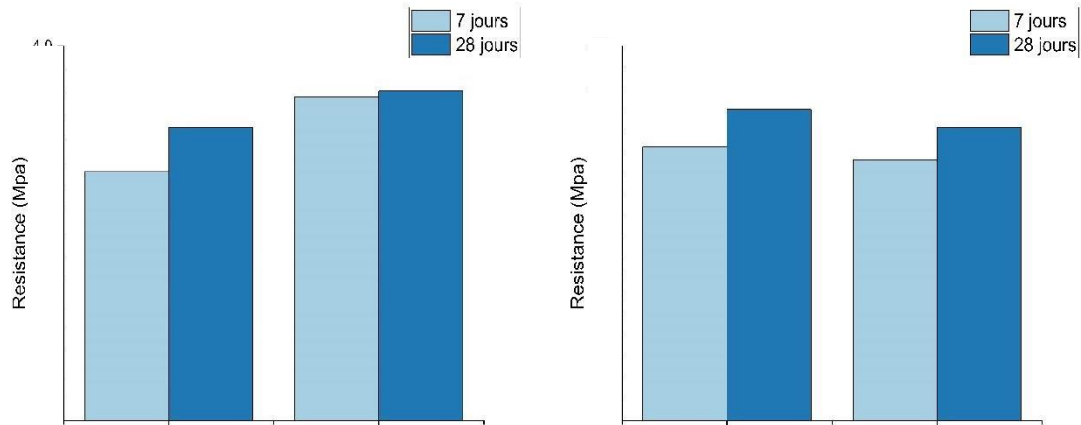


Figure II-9 Comparatif des résistances à la traction des bétons à base de sable de dune de Bou Saada et Touggourt

Cette figure nous montre que la résistance au fendage de la formulation contenant du sable de Bou Saada possède une meilleure résistance au fendage que celle formulée avec du sable de Touggourt ce qui pourrait être dû au fait que celle de Bou Saada contient une plus grande quantité de sable concassé que son homologue de Touggourt, pour ce qui est des formulations fibrées, cette formulation de Touggourt qui se démarque avec une meilleure résistance que celle de Bou Saada du fait que le sable de Touggourt soit moins fin que celui de Bou Saada donc crée moins de glissement sur les fibres métalliques utilisées.

III Conclusion

Dans ce chapitre nous avons étudié les caractéristiques rhéologiques (affaissement), physiques (vitesse, absorption) et mécaniques (compression et traction par fendage) de bétons réalisés avec et sans sable de dune et avec et sans fibres.

D'après les résultats obtenus, on peut conclure que :

- La forme sphérique du sable de dune (Touggourt et Bou Saada) et la relative grosseur des grains de sable de dune de Touggourt permet d'améliorer l'écoulement du béton sous son propre poids.
- Les fibres ont un effet clairement négatif sur la maniabilité des bétons ce qui s'explique par le caractère agglomérant des fibres sur les bétons.
- Le sable de dune a un effet bénéfique sur les vitesses ultrasonores et quel que soit l'origine de celui-ci.
- La vitesse de propagation des ondes augmente avec la présence des fibres métalliques ce qui impacte sa pertinence.
- Une baisse de la porosité est remarquée sur tous les mélanges, celui contenant du sable de Touggourt est cependant le plus intéressant.

- Les mélanges avec sable de dune présentent de meilleures résistances par rapport aux témoins non fibrés.
- Pour ce qui est des formulations fibrées, le constat inverse. Cela est dû au décollement des fibres, accentué par la forme des particules du sable de dunes, qui s'opposent faiblement aux frottements.

Conclusion générale

Des chercheurs du monde entier ont mené de nombreuses études sur l'utilisation de sable de dune comme matériaux de construction. Compte tenu de leur non-application sur le terrain. Différentes idées sont appliquées afin de trouver des solutions appropriées pour valoriser ces matériaux se trouvant en grande quantité dans les régions Saharienne de l'Algérie. Là où ces zones souffrent d'un manque évident d'agrégats, leur utilisation contribue d'une part à atténuer la crise qui entrave le domaine de la construction et à réduire le cout de ces dernières.

Cependant, le sable de dune comporte des particules de taille fines entrainent une diminution de la résistance mécanique du béton, pour cela nous avons opter pour un ajustement du module de finesse de notre sable par l'ajouts d'un sable de carrière concassé.

D'après les résultats expérimentaux trouvés nous avons conclu ce qui suit :

- Le béton à base de sable de dune de Bou Saada possède la plus grande fluidité « affaissement » par rapport aux autres compositions réalisés.
- Le béton réaliser à base de sable de Touggourt possède la vitesse de propagation d'onde la plus importante, ce qui qui coïncide avec son coefficient d'absorption étant le moins important, on peut ont conclure que c'est la composition la plus dense.
- Les compositions réalisées avec du sable de dune qu'il soit de Touggourt ou Bou Saada non fibrés possèdent les meilleures résistances que ce soit en compression ou en traction par fendage par rapport à l'autre composition non fibré.
- La nature du sable influe sur la résistance mécanique du béton de sable.

Références bibliographiques

- [1] **Guermi L (2003)** « Contribution à l'amélioration de certaines caractéristiques du béton de structure à base de sable de dune corrigé et renforcé par des fibres métalliques. » mémoire de magister, Université Kasdi Merbah Ouargla.
- [2] **R. Dupain, R. lanchon, J.C.Saint** « Granulats, sols, ciments et bétons » Edition CASTEILLA (Paris) janvier 2000.
- [3] **FICKLEY W., (1914)**, Improvements in reinforcing structures and wearing surfaces of hydraulic, bituminous like cement, concrete, asphalt, British Patent N°11754
- [4] **ANTOINE, E.N., (1985)**, Fibre reinforced for concrete, Concrete International design and construction, vol 7, N° 3, March 1985, pp.21-25
- [5] **MEHTA P K., (1986)**, Concrete : structure, properties, and materials. Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 450p
- [6] **BATTELLE DEVELOPMENT CORPORATION., (1963)**, Concrete and steel material, British Patent N°1068163
- [7] **LANKARD DR, SHEETS H D., (1971)**, Use of steel wire fibres in refractory Castables, Am. Cer. Soc., Vol. 63, No.7.
- [8] <https://www.indiamart.com/proddetail/fibrillated-polypropylene-fibres-8965539888.html>
- [9] <http://www.lafarge-france.fr/LB-Fibres-Metalliques.PDF>
- [10] **EDINGTON J, HANNANT D J WILLIAM R I T., (1986)**, Steel fibers reinforced concrete, G. B. Building.
- [11] **BOURAS R, KACI S, et ROTH J C., (2006)**, Approche théorique et expérimentale du comportement rhéologique des bétons de fibres métalliques à l'état frais, Vol. 9, pp 22-27
- [12] **GUILLAUME C., (2008)**, Etude des interactions chemo - mécaniques pour la simulation du cycle de vie d'un élément de stockage en béton, Thèse de doctorat, Université de Toulouse.
- [13] **CASANOVA P., (1995)**, Bétons renforcés de fibres métalliques : du matériau à la structure, Thèse de doctorat, Laboratoire National des Ponts et Chaussées, France.
- [14] **ABDOU K., (2007)**, Influence des fibres métalliques sur les variations dimensionnelles et pondérales d'une matrice cimentaire, Thèse de doctorat, université de Constantine, Algérie
- [15] **TAYLOR M, LYDON F D, BARR B I G., (1997)**, Toughness measurements on steel fibre-reinforced high strength concrete. Cement and Concrete Composites, vol 19, pp 329-340
- [16] **ROMUALDI J P, BATSON G B., (1963)**, Mechanics of crack arrest in concrete, Proceeding of American. Society of Civil Engineers, Vol.89, pp 147- 168.
- [17] **ROSSI P, ACKER P, MALIER Y., (1987)**, Effect of steel fibres at two different stages : the material and the structure, Materials and Structures, vol. 20, pp 436-439.

[18] **SABLOCRETE., (1994)**, Bétons de sable : caractéristiques et pratiques d'utilisation, Projet National de Recherche et Développement, Presse de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, France.

[19] **TAFRAOUI A., (2009)**, Contribution à la valorisation de sable de dune de l'erg occidental (Algérie), Thèse de doctorat, Université de Toulouse, France.

[20] **E. E. Segalova, P. A. Rehinder, and O. I. Lukyanova, Vestnik Moscow State Univ, 2, 17 (1954),**

[21] **MIRONKOV B A, STERYNE V S., (1991)**, béton de sable dans la construction civile de LENINGARD, séminaire Franco-Soviétique sur le béton de sable ; Bordeaux, pp104-110.

[22] **GUINEZ R, GLUAIS G, DELUDE P., (1984)**, le béton de sable, rapport diffusé par le ministère de l'urbanisme et du logement, laboratoires régionaux de Blois et de Bordeaux.

[23] **BENAISSA A., (1992)**, Déformations différées d'un béton de sable, Thèse de doctorat, Université de Bordeaux, France.

[24] **BENMALEK M L., (1997)**, le béton de sable de dune : un matériau de construction performant pour le monde Arabe, First Arab Mechanics Congress, Damaascus, Syria.

[25] **AZZOUZ H., (2009)**, Étude des bétons à base des sables de dune, Mémoire de magister, université de Biskra, Algérie.

[26] **BENTATA A., (2004)**, Étude expérimentale d'un béton avec le sable de dune, Mémoire de magister, université de Ouargla, Algérie.

[27] **BOUHNİK B., (2007)**, Contribution à la valorisation du sable de dune dans la formulation du béton destiné aux ouvrages hydrauliques en milieux sahariens, Mémoire de magister, université de Ouargla, Algérie.

ماني محمّد (0202), المساممت في نحص به خصائص خرساوت رمل الكفتين بواسطت البصحيح الجببي والبغزيز [28] بالليلف الم عدويت. مذكرة ماجستير, جامعت وركت, الجزائر

[29] **GLUAIS G, BRU J P., (1993)**, Confortement d'une digue en enrochements par injection de béton de sable, Bulletin de liaison, Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, LCPC, N° 183- NIT 3697, Paris, pp91-95.

[30] <https://dokumen.tips/documents/nf-p-18-540-granulatspdf.html>

[31] **Derbala A. (1999)** « contribution aux possibilités d'amélioration du béton » thèse de magistère - Université de Blida - 1999 P 169

[32] **Neville A. M., 2000**« Propriétés des bétons » -Eyrolles- P806

[33] **Sabih, G, Tarefder, R et Jamil, S. (2016)**. Optimization of Gradation and Fineness Modulus of Naturally Fine Sands for Improved Performance as Fine Aggregate in Concrete. Procedia Engineering. 145. 10.1016/j.proeng.2016.04.016.

[34] **ASTM C33 / C33M - 13**, Standard specification for concrete aggregates, ASTM Int., 2003

- [35] **BS-1881-116**, Methods for making of concrete cubes in laboratory, British Standards Institution, Part 110, 1990
- [36] **ASTM C-192**, Standard practice for making and curing concrete tests specimens in the laboratory, ASTM Int., 2000.
- [37] **Karim, M. Rahman R J. Barua, P. Ahmed, K et Hoq, S M Ashfaql. (2022)**. A COMPARATIVE STUDY ON THE PROPERTIES OF CONCRETE CONTAINING SANDS FROM DIFFERENT LOCATIONS OF BANGLADESH.
- [38] **M'hammed, T. Hamid, K. (2021)**. L'effet de l'incorporation de sable de dunes sur les propriétés du béton dans les zones arides, cas d'étude : Adrar.
- [39] **Seif, ES.S.A (2013)**.. Assessing the engineering properties of concrete made with fine dune sands: an experimental study. Arab J Geoscience 6,pp 857–863 <https://doi.org/10.1007/s12517-011-0376-6>
- [40] **A.S. Al-Harthy, M. Abdel Halim, R. Taha, K.S. Al-Jabri, (2007)**. The properties of concrete made with fine dune sand, Construction and Building Materials, Volume 21, Issue 8 ,pp. 1803-1808.
- [41] **Dreux G., Festa J. (1998)**. « Nouveau guide de béton et ces constituants » Eyrolles- P358
- [42] **D. Abbas, J. Ahmed. (2022)**. Effect of Dune Sand as Sand Replacement on the Mechanical Properties of the Hybrid Fiber Reinforced Concrete. Civil and Environmental Engineering. 18. 10.2478/cee-2022-0012.
- [43] **CEB-FIP** : Diagnosis and assessment of concrete structures, State of the Art Report, CEB Bull 192, 1989, pp. 83-85.
- [44] **Bedadi, L. Bentebba, M T. (2011)**. Etude expérimentale d'un béton de sable de dune pour la fabrication des dalles et pré dalles armées et faiblement armées. Annales des Sciences et Technologie, Vol. 3, no. 1, pp.39-45.
- [45] **NF P18-554**, Granulats - Mesures des masses volumiques, de la porosité, du coefficient d'absorption et de la teneur en eau des gravillons et cailloux
- [46] **NF P18-555**, Granulats. Mesures des masses volumiques, coefficient d'absorption et teneur en eau des sables.
- [47] **NF-EN-933-8**, Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats - Partie 8 : évaluation des fines - Équivalent de sable
- [48] **NF P18-451**, Bétons - Exécution des structures en béton - Règles spécifiques pour les BFUP
- [49] **NF EN-206-1-1**, Béton - Partie 1 : spécification, performances, production et conformité
- [50] **NF EN 12504-4**, Essais pour béton dans les structures - Partie 4 : détermination de la vitesse de propagation du son