



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Amar Thlidji- Laghouat

FACULTE: Génie Civil & Architecture

DEPARTEMENT: Génie Civil

MEMOIRE DE MASTER

Présenté par :Guerbouz Halla & Hebboul Ghaitha

DOMAINE: Sciences & Technologies

FILIERE : Génie Civil

OPTION: Structures

Thème

**Comportement mécanique d'un élément poutre en béton
de fibre à base de matériaux locaux**

Jury de soutenance:

Nom et Prénom	Grade	Qualité
Ziregue Ahmed	Pr	Président
Bederina Madani	MCB	Examineur
Hadjoudja Mourad	MCA	Promoteur
Bendjillali Khadra	MCA	Co-promotrice

Promotion: Septembre 2020

Remerciements

*Le présent mémoire a été réalisé au laboratoire du département de Génie Civil, sous la direction de **Dr. Mourad Hadjoudja** et **Dr Khadra Bendjillali**. Nous tenons à les remercier pour leurs précieux conseils et leurs aides inconditionnelles tout le long de notre travail.*

*Nos remerciements vont aussi aux membres de jury, **Pr Madani Bederina**. et **Dr Ahmed Ziregue** qui ont accepté d'examiner ce mémoire.*

Nous tenons aussi à remercier le personnel du laboratoire pédagogique du département de Génie Civil, pour leur assistance, tous nos enseignants du département qui nous ont suivi au cours de notre formation de master et toute personne de loin ou de près ayant contribué dans notre réussite.

Dédicaces

Je dédie ce mémoire de fin d'étude universitaire à :

Mes parents source de vie, d'amour et d'affection qui mon toujours pousser et motiver dans mes études.

A mes frères **Amine** et **Abdallah** source de joie et de bonheur.

A mon cher oncle **Boubakeur Saidat** qui m'a accompagné dans mes études et à sa petite famille.

A ma chère tante **Saliha Chettih** qui m'a soutenu par ses conseils précieux et son soutien morale

Halla

Je dédie ce travail à :

Mes parents pour leurs soutiens, qui ont été toujours à côté de moi et qui sont la source de ma force.

A mes frères **Allal** et **Mohamed** pour leurs aide et pour leurs présence.

A mon **Fiancé**.

Ghaïtha

Résumé

L'objectif principal de cette étude est la contribution à la valorisation des matériaux naturels locaux (sable de dune) provenant de la région de Laghouat et l'exploitation d'un sous-produit, synthétique obtenue à partir d'un déchet de fabrication des tapis plastiques à usage domestique dans le but de leur utilisation dans la composition du béton de structure.

Le second objectif de ce travail est l'étude de l'effet de ces fibres synthétiques de polypropylène sur la résistance mécanique à la flexion et à la compression, sur le retrait et sur le comportement en flexion sur des poutres en béton de sable armé. Deux types de fibres ont été utilisés: copeaux de fibres courts (30 mm) et copeaux de fibres longs (60 mm). A partir de ce travail, peut-on juger que ce type du béton peut être utilisé pour la fabrication des éléments structuraux avec toute fiabilité et sécurité surtout dans les domaines où des sollicitations excessives peuvent exister. Toutes les observations et conclusions sont susceptibles d'élargir le champ des applications de ces matériaux renforcés par les fibres synthétiques.

Et vue des circonstances actuelles du COVID-19 et la non possibilité de notre accès au laboratoire, notre travail n'est pas achevée complètement; on s'est limité à réaliser que les essais de caractérisation des matériaux employés comme composant de notre béton de sable et la formulation du béton de sable sans fibre.

Mots clés: Valorisation, Béton, Sable de dune, Fibre, Polypropylène, Poutre, Résistance à la flexion.

Table des matières

Remerciement.....	I
Dédicace.....	II
Résumé.....	III
Table des matières.....	IV
Liste des figures.....	VII
Liste des tableaux.....	X
Introduction générale.....	1

Chapitre I: Revue Bibliographique

I.1	Introduction	3
I.2	Béton de sable: origine et utilisations	4
I.2.1	Définition et Composants du béton de sable.....	5
I.2.2	Formulation du béton de sable	7
I.2.3	Propriétés de béton de sable.....	9
I.3	Béton de fibre	13
I.3.1	Les fibres.....	16
I.3.2	Les fibres les plus employées	16
I.3.3	Composition du béton de fibre.....	20
I.3.4	Effet de fibres sur les performances du béton de sable.....	21
I.4	Eléments de structure en béton armé renforcé avec des fibres	25
I.5	Conclusion.....	28

Chapitre II: Matériaux et Méthodes Expérimentales

II.1	Introduction	29
II.2	Caractérisation des matériaux premiers	29
II.2.1	Granulats	29
II.2.2	Ciment.....	37
II.2.3	Fibres.....	37
II.2.4	Eau	41
II.2.5	Adjuvant.....	42
II.3	Méthodes Expérimentales	43
II.3.1	Composition de béton de sable	43
II.3.2	Malaxage.....	44
II.3.3	Essais sur béton de sable à l'état frais	44
II.3.4	Préparation des éprouvettes	46
II.3.5	Préparation des poutres	46
II.3.6	Essais sur béton de sable à l'état durci	47
II.4	Conclusion.....	50

Chapitre III: Comparaison et Constatation

III.1	Introduction	51
III.2	Comparaison des caractéristiques des matériaux	51
III.3	Comparaison des formulations des bétons	52
III.4	Ferraillages des poutres	55
III.5	Nomenclature des poutres	57

III.6	Comportement en flexion des poutres en béton de sable armées contenant des fibres	57
III.7	Constatation.....	59
III.8	Conclusion.....	60
	Conclusion générale.....	61
	Perspectives.....	63
	Références Bibliographiques.....	64
	Annexes.....	71

Liste des Figures

Figure I.1.	Phare de Port Saïd réalisé en béton aggloméré en Egypte.	5
Figure I.2.	Evolution de la compacité en fonction du dosage en fine pour deux types de sable.	8
Figure I.3.	Résistance mécanique en fonction de type de sable.	9
Figure I.4.	Effet du dosage et de la finesse de l'addition sur la résistance. .	10
Figure I.5.	Influence de la nature de sable sur la maniabilité	10
Figure I.6.	Eprouvettes non vibrées et non piquées.	11
Figure I.7.	Variation de l'adhérence d'une armature en fonction de la formulation	12
Figure I.8.	Retrait d'auto-dessiccation	12
Figure I.9.	Retrait total	12
Figure I.10.	Les fibres de polypropylène.	17
Figure I.11.	Différents types de fibres d'acier.	18
Figure I.12.	Les fibres de verre.	19
Figure I.13.	Déchets de fibre polypropylène.	19
Figure I.14.	Déchets plastique	19
Figure I.15.	Déchets d'acier	20
Figure I.16.	Encadrement d'un granulat.	21
Figure I.17.	Béton sollicité en traction.	21
Figure I.18.	L'influence de l'ajoute des fibres sur les propriétés des bétons frais.	22
Figure I.19.	Influence de l'ajout sur la résistance à la compression et à la	22

	traction par flexion des bétons de sable d'étude	
Figure I.20.	La maniabilité de béton de sable en fonction d'ajout de poudre plastique.	23
Figure I.21.	Maniabilité des bétons de sable en fonction d'ajout de fibres plastiques.	23
Figure I.22.	Résistance à la compression des BSFP.	24
Figure I.23.	Résistance à la flexion des mortiers de fibres pour le dosage 0.05 % et 0.10 %.	24
Figure I.24.	Résistance à la flexion des mortiers de fibres pour le dosage 0.3% et 0.5%.	25
Figure I.25.	Mortier sans fibres.	25
Figure I.26.	Mortier avec fibres.	25
Figure I.27.	Résistance à la flexion à 28 jours des bétons	26
Figure I.28.	Résistance à la compression à 28 jours des bétons.	27
Figure I.29.	Poutre en B0.50 sans ferrailage transversal.	27
Figure I.30.	Poutre en B0 avec ferrailage transversal	27
Figure I.31.	Poutres en B0.50 avec ferrailage transversal	28
Figure II.1.	Conduite d'analyse granulométrique	30
Figure II.2.	Courbe granulométrique des deux sablesutilisés	31
Figure II.3.	Conduite de l'essai d'équivalent de sable.	32
Figure II.4.	Mesure de la masse volumique.	33
Figure II.5.	Conduite d'essai d'absorption du sable.	34
Figure II.6.	Analyse chimique des deux sables.	35
Figure II.7.	Observations des grains de sable au MEB	35

Figure II.8.	Morphologie des fibres de polypropylène employées	37
Figure II.9.	Pied à Coulis employé pour la mesure du diamètre de la fibre	38
Figure II.10.	Les deux longueurs de fibres de polypropylène testées	39
Figure II.11.	Mesure de la masse volumique absolue des fibres	39
Figure II.12.	Essai de traction de la fibre de polypropylène employée	40
Figure II.13.	Graphique de la fibre force en fonction de l'allongement	40
Figure II.14.	Graphique de marqueurs de variables pour de multiples exécutions	41
Figure II.15.	superplastifiant utilisé.	43
Figure II.16.	Malaxeur utilisé.	44
Figure II.17.	Maniabilimètre B employé	45
Figure II.18.	Les éprouvettes du béton de sable sans fibres ($4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$).	46
Figure II.19.	Machine de compression et traction.	47
Figure II.20.	Appareil CONTROLS à vérin hydraulique	48
Figure II.21.	Schématisation de dispositif de flexion à 3 points	48
Figure II.22.	Dispositif de rupture en compression	49
Figure III.1.	Schéma statique de chargement	56
Figure III.2.	Ferrailage adopté pour les poutres	56
Figure III.3	Profil de fissuration des poutres	58
Figure III.4.	Forces internes dans une poutre avec armatures transversales	58

Liste des tableaux

Tableau I.1.	Intérêts apportés par l'ajout de fibres.	15
Tableau I.2.	Différents types de fibres.	16
Tableau I.3.	Les propriétés de différentes fibres.	20
Tableau II.1.	La granulométrie du sable alluvionnaire et sable de dune.	30
Tableau II.2.	Les caractéristiques physico-chimiques de granulats utilisés.	36
Tableau II.3.	Résultats de caractérisation de ciment.	37
Tableau II.4.	Géométrie de la fibre.	38
Tableau II.5.	Propriétés physico-chimique de la fibre PP employée.	39
Tableau II.6.	Propriétés mécaniques de la fibre PP employée.	41
Tableau II.7.	Analyse chimique de l'eau de gâchage.	42
Tableau II.8.	Propriétés du superplastifiant employé.	43
Tableau III.1.	Comparaison des caractéristiques des sables	51
Tableau III.2.	Comparaison des caractéristiques des ciments	51
Tableau III.3	Comparaison des caractéristiques des fibres	52
Tableau III.4.	Comparaison des caractéristiques des adjuvants	52
Tableau III.5	Résultats de formulation de l'étude précédente	53
Tableau III.6	Résultats de formulation de notre étude	54
Tableau III.7	Comparaison des formulations	55
Tableau III.8	Nomenclature des différentes poutres destinées à la flexion à 4 points	57

Introduction Générale

Introduction générale

Le béton de sable est un matériau confectionné à partir de sable, de ciment, d'eau, de fillers naturels ou industriels et d'adjuvant. En Algérie, plus de deux millions de km² de désert très vaste couvre l'essentiel de la superficie. Enormes dunes de sable de différentes granulométries abandonnées sans aucune exploitation, conduisant à des problèmes d'environnement, de santé et parfois même à des accidents de routes. Grâce à ses propriétés et sa remarquable performance, le béton de sable a été l'objet primordiale des chercheurs depuis le 3^{ème} quart du XIX siècle. Cela dit, l'Algérie a opté à l'utilisation des matériaux locaux pour bénéficier des propriétés du béton de sable telle que la maniabilité, la résistance à la traction et la résistance à la compression.

La valorisation du sable de dunes a fait l'objet de nombreux travaux de recherches en Algérie, en travaillant avec le sable de plusieurs wilayas, telle que Laghouat, Ouargla, M'Sila, El Oued, Biskra, etc. (**Khenfer et al., 2013; Bederina et al., 2014**).

Le béton de sable peut, par conséquent remplacer le béton traditionnel non seulement pour ses gains économiques, mais également pour les qualités qu'il possède et qui peuvent se servir pour avoir des structures de bonnes performances. En effet, sa bonne maniabilité implique une énergie de mise en place moins onéreuse, sa petite granularité autorise son utilisation dans les structures fortement armées et son bel aspect de surface permet de se passer du crépissage traditionnel, d'où un certain gain en ciment, en eau, en main-œuvre et aussi en peinture (**Benaïssa et al, 1992**). La richesse de l'Algérie en sable dunaire peut être une solution efficace pour le prix de revient du transport des granulats sur des centaines de kilomètres qui est très élevé.

L'idée développée dans notre mémoire est de faire un constat sur la possibilité d'utiliser un béton de sable avec l'introduction des fibres de polypropylène dans sa masse. L'avantage du renforcement des bétons par des fibres est de retarder leur fissuration et de limiter l'ouverture des fissures, grâce aux effets de pontage transmis aux surfaces de fractures (**Pickering et al., 2016; Ropoport et al., 2005**). L'utilisation des fibres dans les matériaux à base de ciment peut améliorer efficacement leur ténacité et contrôler les fissures de retrait plastique (**Kawashima et al., 2011; Banthia, 2010**). Egalement il était prouvé que le

comportement mécanique des poutres renforcées par des fibres sans utilisation du ferrailage conventionnel est meilleur que le comportement des poutres sans fibres, mais avec présence des armatures transversales (**Meda et al., 2005; Nyomboi et al., 2010; Bendjillali et Chemrouk, 2018**).

Afin d'établir une bonne étude des paramètres visés dans ce travail, le manuscrit est composé de trois chapitres :

- Dans le premier chapitre, nous nous sommes intéressés à l'élaboration d'une recherche bibliographique sur le béton de sable, son origine, ses composants et ses propriétés et le béton de fibres, comme solution aux différents problèmes de fissuration et de durabilité. Une exposition des différents types de fibres employées a été faite dans ce premier chapitre, avec le rôle que peuvent jouer les fibres dans le béton.
- L'objectif du deuxième chapitre est d'établir une caractérisation des matériaux qui composent le béton de sable et une présentation détaillée des différents essais réalisés sur le béton de sable, soit dans son état frais ou durci.
- Dans le troisième chapitre, une comparaison a été faite entre les résultats de notre étude et une étude précédente réalisée dans notre laboratoire avec les mêmes sables. La comparaison a touché les caractéristiques des matériaux, les formulations et aussi le comportement des poutres en béton de sable avec ou sans armatures transversales.
- Le travail est achevé par une conclusion générale, où une présentation des résultats les plus importants est donnée.

Chapitre I

Revue Bibliographique

I.1 Introduction

La résistance appréciable du béton de sable qui peut atteindre les 60 MPa, rend son usage dans la fabrication des éléments de remplissage (briques, parpaings, hourdis, etc...) tout à fait possible et préférable au béton ordinaire. Le domaine routier peut aussi constituer un lieu privilégié de l'utilisation de ce matériau ainsi que les reprises en son œuvre. **(Benaïssa et al., 1992).**

Les matériaux composites dans le domaine du bâtiment et du génie civil se distinguent des autres matériaux composites destinés à l'industrie et au transport, par la variété des types de matrices (cimentières, céramiques, polymériques...) et de fibres (végétales, métalliques, polypropylène...). Actuellement les produits composites peuvent offrir une variété interminable de matériaux et satisfaire aux besoins de construction. Pour leur emploi comme matériaux de construction, ces produits doivent posséder des propriétés et des performances répondant aux exigences structurelles thermiques, économiques et environnementales **(Chanvillard, 1993).**

La fabrication des composites employés dans la construction nécessite une grande quantité de granulats, particulièrement les granulats fins (sable). Dans un pays comme l'Algérie, où plus de deux millions de km² de désert très vaste occupant l'essentiel de la superficie, très riches en sable naturel de différentes granulométries, comme à Laghouat, à Ouargla, à El Oued et à M'Sila. L'emploi de ce type de sable peut offrir un nouveau béton capable de remplacer le béton traditionnel non seulement pour ses gains économiques mais aussi pour ses qualités et performances techniques. En effet, sa bonne maniabilité implique une énergie de mise en place moins onéreuse, sa petite granularité autorise son utilisation dans les structures fortement armées et son bel aspect de surface permet de se passer du crépissage traditionnel d'où un certain grain en ciment, eau, main-œuvre et peinture.

Aujourd'hui le traitement et la réutilisation des déchets deviennent une priorité, non seulement pour des raisons environnementales, mais aussi pour des raisons économiques et techniques. Le déchet peut être stocké après traitement ou, mieux recyclé pour produire un nouveau produit. La quantité des déchets plastiques qui augmentent jour après jour pousse à chercher des solutions pratiques pour s'en débarrasser. La réutilisation de déchet de plastique a augmenté ces dernières années à mesure que les technologies de recyclage ont été bien développées et améliorées **(Guy, 1997; Berndt et Kukacha, 1995).**

Le faible coût des fibres recyclées est l'une des raisons les plus importantes qui a encouragé l'utilisation de ce type de fibres dans les constructions en béton et en béton armé.

et en plus de résoudre le problème de la corrosion des fibres d'acier. En outre, les types communs de plastique caractérisé par la stabilité chimique élevée et non biodégradable. (**Webb et al., 2012**). L'utilisation de déchets de fibres plastiques dans la construction de béton réduit le poids total du bâtiment comparativement et qui conduit à augmenter la résistance de la construction aux forces sismiques qui dépendent de la masse de la structure. (**Kilic et al., 2003**).

I.2 Béton de sable: origine et utilisations

Les origines du béton de sable reviennent au béton aggloméré, confectionné en France par François Coignet, dans le 3^{ème} quart du XIX siècle. Le matériau était donc préparé en utilisant du sable, du ciment, de la chaux et d'eau. Les premières applications de ce nouveau matériau étaient le mur de soutènement de Passy, la maison COIGNET de Saint-Denis, la tour Port-Saïd en Egypte (**Figure I.1**), avec une hauteur de 52 mètres (**C.E.B.T.P, 1986**).

Pour la réalisation de certaines parties de l'aqueduc de Vanne construit entre 1869 et 1872, François Coignet a fait les premières tentatives de correction granulaire, en mélangeant un sable fin traditionnel à un sable impropre non utilisé dans la construction. Cette technique a été mise au point depuis des décennies, où il y'avaient la réalisation du port de Kaliningrad et du pont de Chernavskif en ex-URSS (**Chauvin, 1987**).

A la fin du second conflit mondial, le professeur académicien Rebinder a essayé d'utiliser ce matériau dans de nombreux domaines, tels que dans les chaussées, les pistes d'aviation, les éléments de remplissage, les murs architecturaux, les planchers, les dalles, etc. (**Benaïssa et al. 1992**).

Le béton de sable a été utilisé dans plusieurs travaux de réhabilitation, tels que dans la réhabilitation des silos à grains à Moscou, où les travaux de rénovation étaient réalisés avec un ferrailage de surface et une couche de béton de sable de 6 cm d'épaisseur (**Chauvin, 1991**), dans la réhabilitation structurante d'un collecteur encombré Agrippa d'Aubigné à Paris et dans la réhabilitation d'une buse métallique RN 89, ARTIGUES près de bordeaux en France (**Sablocrete, 1994**). Dans la réfection de l'habillage d'un talus abrupt en bordure d'une autoroute urbaine A10, à Lormont en France, le béton de sable a été aussi utilisé (**Sablocrete, 1994**).

Actuellement la majorité des recherches réalisées sur le béton de sable est orientée vers sa formulation, afin d'obtenir une bonne maniabilité, de bonnes performances mécaniques et une durabilité suffisante. Il faut signaler qu'une meilleure maîtrise du

matériau, nécessite la connaissance de sa microstructure, notamment le caractère vis-à-vis de la fissuration.

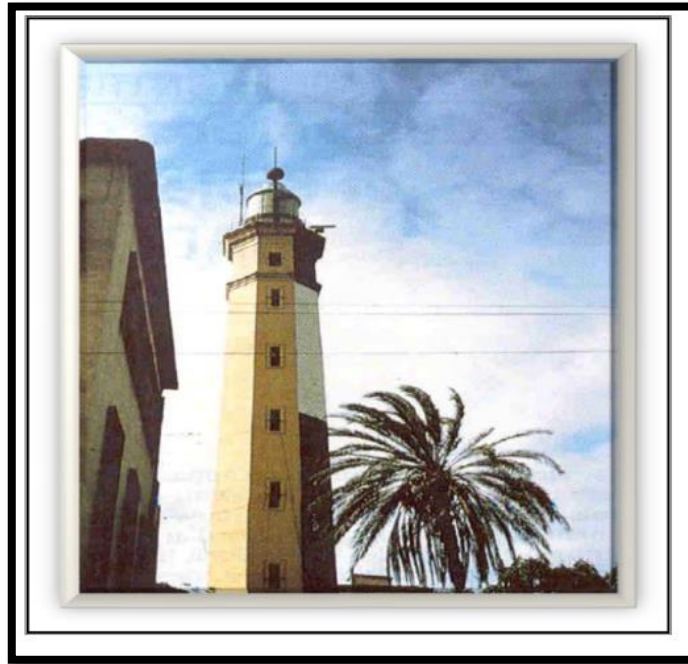


Figure I.1: Phare de Port Saïd réalisé en béton aggloméré en Egypte (**Sablocrete, 1994**)

I.2.1 Définition et Composants du béton de sable

Le béton de sable est un matériau composé principalement de ciment, de sable, d'eau et de filler naturel ou industriel. Pour répondre à certains usages particuliers, d'autres ajouts peuvent être introduits dans cette composition, tels que des adjuvants ou des fibres. Le béton de sable est un béton fin, où le gros granulat est le sable (de dune, de rivière ou concassé) ($D_{\max} \leq 6\text{mm}$). Il est défini par la norme **NF P 18-500 (1995)**. Le béton de sable ne contient pas de gravier, mais dans le cas où il peut en contenir, c'est avec un rapport massique (Gravillon/Sable) inférieur à 0,7 (**Hadjoudja, 2014**).

- a. Les sables:** Les sables qui sont des granulats de calibre 0/D doivent être conformes aux définitions des normes **NF P18-101 (1983)** et **NF P18-301 (1983)**. La propreté du sable et son équivalent de sable sont les seuls critères d'usage pour réaliser un bon béton de sable. Aucun critère granulométrique n'est exigible a priori, la seule restriction d'emploi réside dans la propreté, les sables de plage ou des dunes pourraient donc être utilisés (**Kettab, 2007**). Différents types de sable peuvent être employé dans la fabrication de ce béton:

- **Sable de rivière:** obtenu par dragage des lits des cours d'eau et peuvent contenir de l'argile qui enrobe les grains et les empêche d'adhérer aux liants.
 - **Sable de dune:** se trouve dans les régions sud de pays sous forme de dunes. Ces dunes sont constituées des nombreux amas des sables fins accumulés dans certaines régions spécifiques de Sahara. Il est caractérisé par sa grande finesse et sa propreté.
 - **Sable de mer:** provient des côtes de la mer. Il doit être bien lavé du sel et pas trop fin.
 - **Sable de carrière:** obtenu par concassage des roches naturelles, telles que les roches calcaires dures, du gré ou autres roches. Il contient beaucoup de fines et pour son usage, le pourcentage de ces fines doit être limité. Le ministère de l'habitation Algérienne recommande un taux inférieur à 15% de fines pour le béton de classe inférieure à 35MPa et de ne pas dépasser les 12% pour les bétons de classe supérieure à 35 MPa (**Khouadjia, 2016**).
 - **Sable artificiel:** obtenu par concassage les roches artificielles, tel que le laitier, la brique, le plastique...
- b. Les fines d'ajouts:** Les fines d'ajout sont des grains de diamètre ($D < 80 \mu\text{m}$), utilisées généralement pour accroître la compacité du béton de sable et réduire la quantité de ciment, en remplissant les vides entre les grains de sable. Selon la **Presse d'ENPC (1994)**, les fillers assurent deux fonctions principales : l'une grossière de remplissage, l'autre d'ordre physico-chimique devant améliorer l'enchevêtrement cristallin et la cohésion du mélange. Les fillers peuvent être actives, comme celles des cendres volantes, du laitier moulu et de la pouzzolane broyée ou inertes, telles que les fines calcaires ou les roches massives broyées (**Presse ENPC, 1996**).
- c. Les ciments:** Pour la confection d'un béton de sable, un ciment choisi conformément à la même norme habituelle du béton traditionnel **NF P15-301 (1994)** peut être bien employé. Le choix du ciment se base sur sa classe de résistance, l'agressivité du milieu et surtout sur sa destination (**Jaballah Slaoui et El EuchKhay, 2014**).
- d. L'eau:** La norme **NF P18-303 (1941)** précisant l'eau à employer pour le béton traditionnel peut être appliquée aussi à l'eau utilisée pour la confection des bétons de sable. Evidemment la quantité de l'eau de gâchage dépend de la plasticité désirée et de l'emploi d'adjuvants.

e. **Les adjuvants:-** Sont des matériaux conformes à la norme **NF P18-103 (1989)**, qui sont ajoutés au béton pendant le processus de malaxage, par des quantités inférieures à 5% de la masse de ciment, afin de modifier ses propriétés à l'état durci. Généralement dans la confection des bétons de sable, on fait appel souvent à des plastifiants ou des superplastifiants qui sont également des réducteurs d'eau, pour l'amélioration de la maniabilité et l'augmentation de la résistance. Ces plastifiants ou superplastifiants sont des polymères solubles dans l'eau qui permettent d'augmenter considérablement l'ouvrabilité du béton (**Ramachandran et al. 1998**). D'autres types d'adjuvants peuvent être employés aussi et qui sont les mêmes adoptés pour le béton traditionnel.

I.2.2 Formulation du béton de sable

Les bétons de sable font partie de nouveaux bétons aux propriétés spécifiques intéressantes (finesse, granulométrie, ouvrabilité...) pour lesquels, la démarche de formulation demeure très empirique (**Sablocrete, 1994**). Choisir des constituants avec des proportions bien déterminées pour obtenir des propriétés spécifiques répondants à des critères technico-économiques est le but de l'étude de formulation d'un béton de sable. Les méthodes de formulation utilisées sont les mêmes employées pour le béton ordinaire, à condition de tenir en compte de la grande quantité de fines présentes. En règle générale, la démarche de la formulation consiste tout d'abord à déterminer le rapport (Eau/Ciment) de la pâte (phase contenant le ciment et l'eau) qui permettra d'obtenir la résistance visée en s'appuyant sur des formules de Faury et Bolomey (**Baron, 1982**).

Le problème de la formulation d'un béton se pose principalement en termes d'optimisation de la compacité du squelette granulaire. La compacité d'un béton dépend principalement de la granulométrie du mélange, de sa teneur en eau et de l'énergie de mise en place. Lorsque le diamètre maximal des granulats D diminue (≤ 6 mm), c'est le cas du béton de sable, le dosage de ciment devient très élevé (≥ 400 kg/m³) pour remplir les vides du sable qui sont plus nombreux et plus petits que ceux d'un granulats de diamètre plus grand ($D > 6$ mm). Pour cette raison une partie des vides de sable doit être remplie d'abord par des fillers, soient des fines de diamètre ($D < 80$ μ m), en assurant ensuite la rigidité du mélange par un complément en ciment correspondant au dosage habituellement utilisé pour les bétons traditionnels. Le rapport E/C constitue aussi un facteur très important qui conditionne la maniabilité à court-terme et la résistance et la durabilité à long-terme.

En 1988, **Chauvin** a présenté une étude de formulation du béton de sable, qui consiste à définir la quantité d'ajout (généralement des fines) pour obtenir la compacité et la résistance optimale, comme présenté sur la **Figure I.2**.

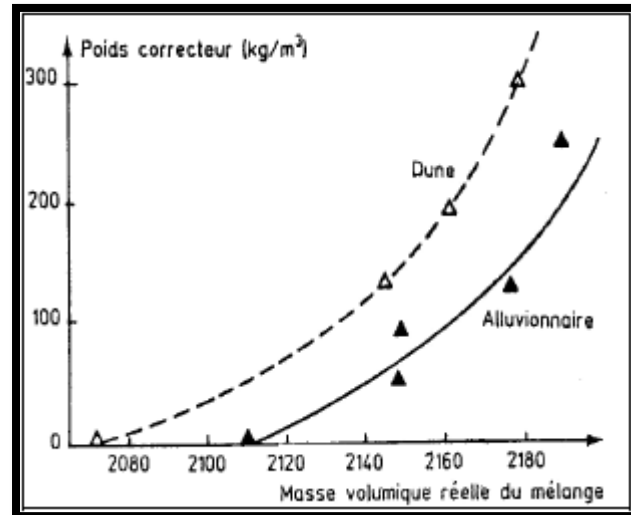
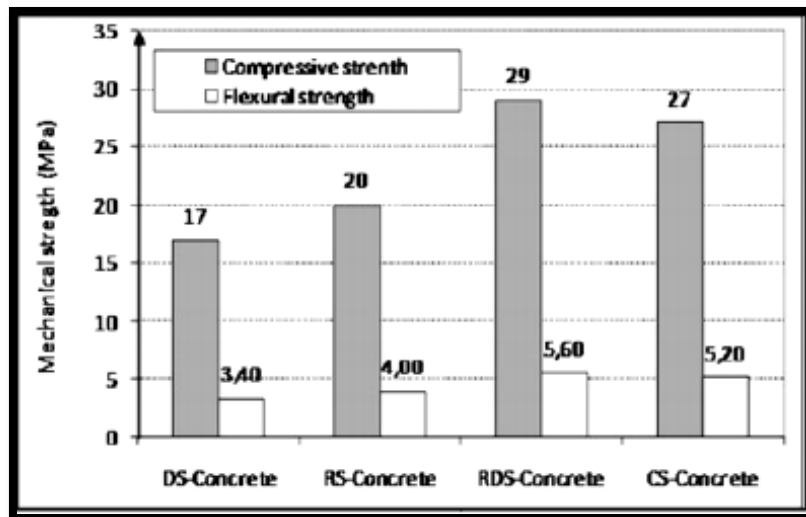


Figure I.2: Evolution de la compacité en fonction du dosage en fine pour deux types de sable (**Chauvin, 1988**).

En 2005, **Bederina et al.** ont suivi la démarche de cette formulation, où celle-ci a été menée sur trois types de sable, un sable de dune, un sable de rivière et le mélange des deux sables. Afin d'obtenir une compacité optimale du mélange, un ajout de filler calcaire à des tenues variables était indispensable. La correction de la distribution granululaire, au moyen du mélange des deux sables à des proportions prédéterminées a révélé une excellente capacité d'optimisation de la compacité du squelette granulaire.

L'étude d'**Azzouz et al. (2008)**, avait pour but de valoriser et d'exploiter le sable de dune qui est rarement utilisé dans la construction. Des tests ont été menés sur des mortiers de dunes de sable dans la région de Laghouat (Algérie) pour étudier leur comportement physique, mécanique et leur durabilité. D'après les résultats, ils ont constatés que le mortier du sable se mélange (sable de rivière plus et sable de dune) présentent les meilleures performances mécaniques dans les différents environnements. En outre, des études de durabilité ont mis en avant que le mortier des mélanges de sable est plus résistant à l'attaque des sulfates.

Selon une étude comparative établie par **Belhadj et al. (2014)**, les auteurs ont conclu que la forme et la nature du sable ont une influence importante sur les propriétés mécaniques du béton de sable. Ils ont constaté que la forme angulaire du sable de calcaire concassé donne un béton plus résistant à la propagation de fissure, que la forme arrondie des sables dunaires ou alluvionnaire (**Figure I.3**).



DS-Concrete : Béton de sable de dune; **RS-Concrete** : Béton de sable de rivière;

RDS-Concrete : Béton de sable de dune et de rivière; **CS-Concrete** : Béton de sable concassé

Figure I.3: Résistance mécanique en fonction de type de sable (**Belhadj et al. 2014**).

I.2.3 Propriétés de béton de sable

- a. **La résistance:** La résistance à la compression est généralement la propriété la plus importante du béton. Plusieurs travaux réalisés sur le béton de sable ont montré qu'en fonction du rapport E/C et de la présence de fines et de leurs natures, des résistances comparables à celles du béton traditionnel, variant entre 20 et 40 MPa peuvent être atteintes (**Sablocrete, 1994**). Plus l'addition est fine, plus la compacité est meilleure et donc la résistance à la compression est élevée (**Figure I.4**).

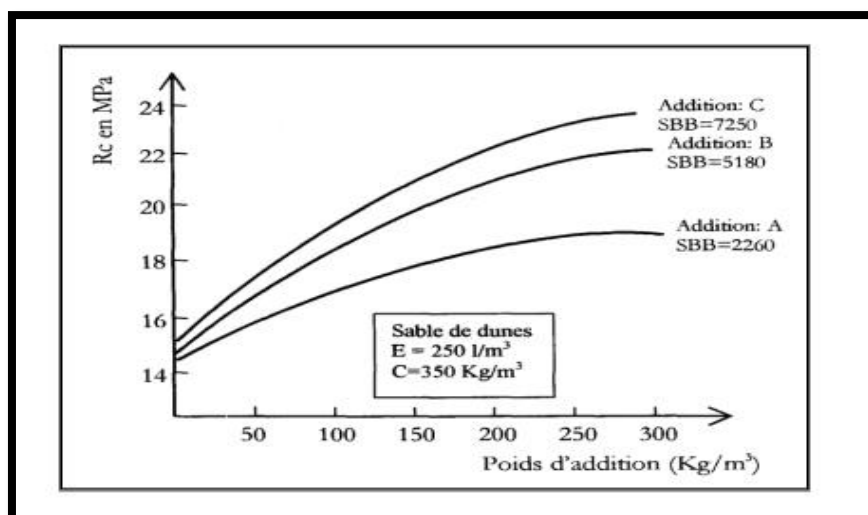


Figure I.4: Effet du dosage et de la finesse de l'addition sur la résistance.

(Sablocrete, 1994).

- b. **La maniabilité:** Le béton de sable est un béton fin qui nécessite davantage d'eau que le béton classique. Le rapport E/C relativement élevé qui se situe généralement entre 0.6 et 0.7 garantit une bonne maniabilité de mélange et une amélioration de la phase du coulage. Les dosages en ciment de ces bétons varient entre 250 à 450 kg/m^3 (Jaballah Slaoui et El EuchKhay, 2014). La quantité d'eau dépend aussi sur la granulométrie du sable, plus ce dernier contient beaucoup d'éléments grossiers, plus la maniabilité augmente. Cela se traduit par une relation entre module de finesse et la maniabilité (Casanova, 1996). D'après la Figure I.5, qui représente l'influence de la nature du sable sur la maniabilité du béton, plus le module de finesse du sable augmente, plus le temps d'écoulement diminue, ce qui signifie une amélioration de la maniabilité.

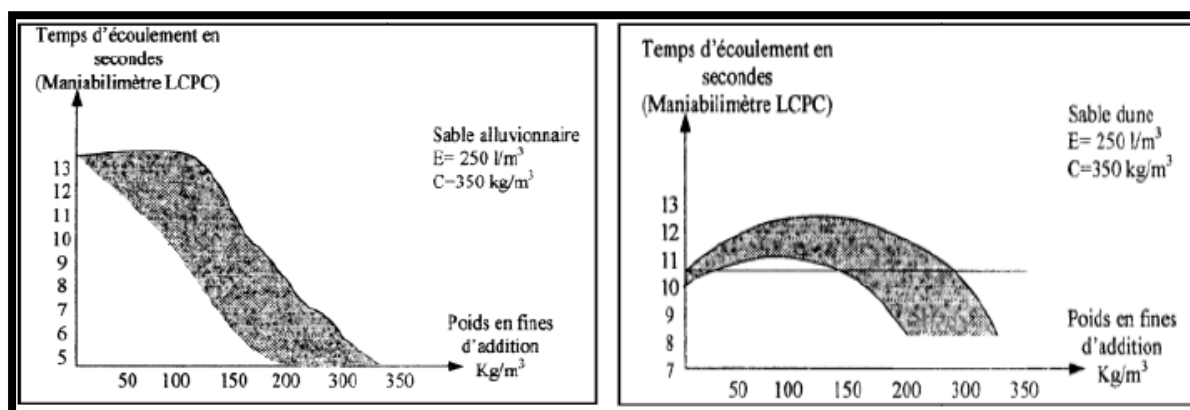


Figure I.5: Influence de la nature de sable sur la maniabilité

(SABLOCRETE, 1994).

- c. **La ségrégation:** Les bétons de sable possèdent une faible étendue granulométrique et donc une grande homogénéité. Ils se caractérisent aussi par une excellente maniabilité, qui leur permet d'avoir un bon comportement vis-à-vis de la ségrégation, en comparaison avec celle des bétons traditionnels. La **Figure I.6** montre la différence d'aspect de la peau de deux éprouvettes, l'une en béton traditionnel et l'autre en béton de sable. Les deux éprouvettes sont non vibrées ni piquées. Cette caractéristique réduit l'énergie de vibration nécessaire et elle peut être exploitée pour réduire le nombre de phases de bétonnage et donc des reprises.



a:- Béton traditionnel b:- Béton de sable

Figure I.6: Eprouvettes non vibrées et non piquées (Presse de l'ENPC, 1996).

- d. **L'adhérence aux armatures:** L'adhérence aux armatures est étudiée par l'essai PULL-OUT en mesurant le déplacement d'une armature noyée dans le béton durci en fonction de l'effort de traction appliqué. Le phénomène d'adhérence dans le béton de sable est pratiquement identique à celui des bétons traditionnels, ce qui permet d'envisager son utilisation comme béton de structure (**Figure I.7**).

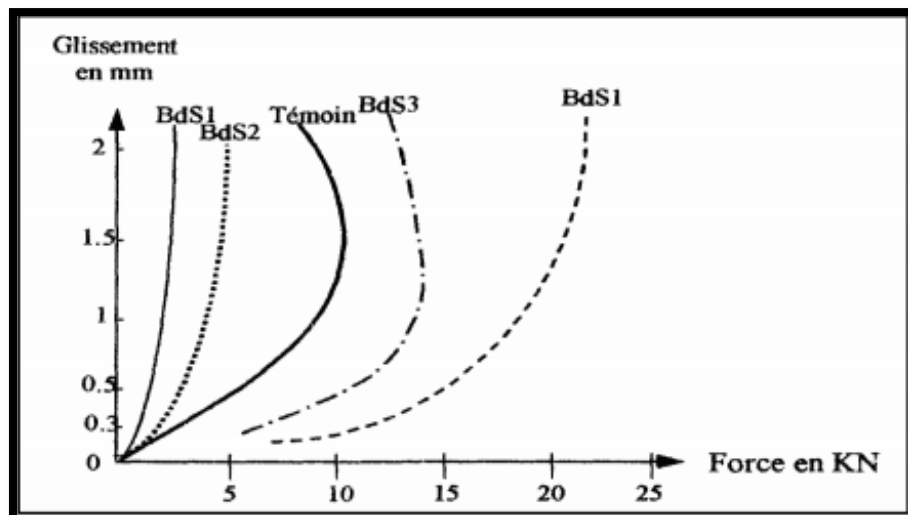


Figure I.7 : Variation de l'adhérence d'une armature en fonction de la formulation (Sablocrete, 1994).

- e. **Le retrait:** Dans le cadre du projet de recherche et de développement national français, des essais comparatifs de retrait ont été réalisés sur le béton de sable et le béton classique. Ces essais ont permis de constater que les valeurs du retrait d'auto-dessiccation du béton de sable est voisine de celle du béton ordinaire, s'il est conservé dans un milieu étanche (Figures I.8 et I.9).

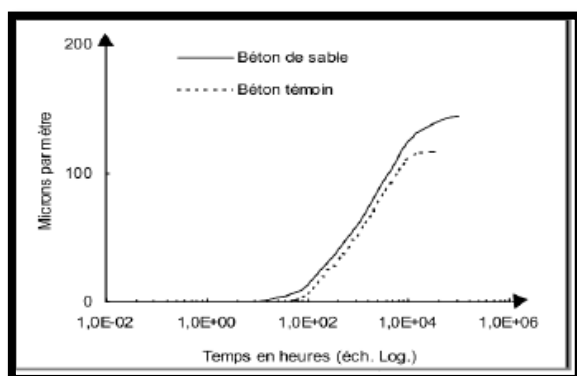


Figure I.8 : Retrait d'auto-dessiccation

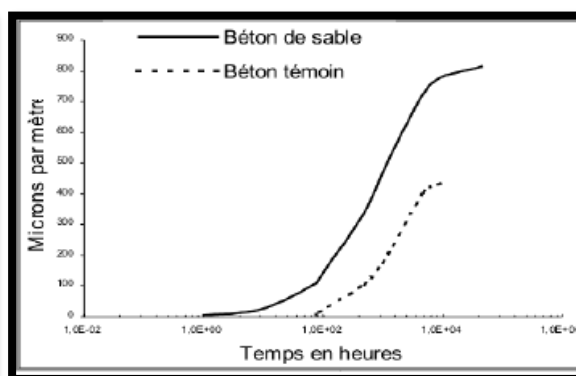


Figure I.9 : Retrait total

(Sablocrete, 1994)

Selon une étude expérimentale réalisée par **Batata et Merouani (1991)**, il était remarqué que la valeur finale du retrait d'un béton de sable de dune de composition ($C = 330 \text{ kg/m}^3$; $S = 1530 \text{ kg/m}^3$; $E = 260 \text{ l/m}^3$) est assez importante, de l'ordre de 1.50 mm/m , par

rapport aux valeurs limites préconisées par le règlement pour un béton conventionnel à savoir 0.3 à 0.50mm/m.

Chaouch (1993) a montré dans son étude des caractéristiques du béton de sable de dune de composition ($C = 400 \text{ kg/m}^3$; $S = 1160 \text{ kg/m}^3$; $F = 300 \text{ kg/m}^3$; $E=240 \text{ kg/m}^3$), que le retrait de ce dernier dépasse $1500 \text{ }\mu\text{m/m}$.

I.3 Béton de fibre

On appelle béton de fibres, un béton dans lequel on a incorporé une armature par inclusion directe de fibres isolées au moment du gâchage ou de la projection. Les fibres sont assimilables à un granulats spécial de forme très allongée et de forte résistance à la traction, susceptible d'améliorer la résistance à la traction du matériau et de ralentir la propagation des fissures. En pontant les fissures les fibres améliorent le comportement post fissuration de la matrice en maintenant une forte portance pendant l'accroissement des déformations (**Absi, 1994**). Les performances des bétons de fibres dépendent de ses constituants, soient de la nature, de l'orientation, de la longueur, de la forme et du pourcentage des fibres, des propriétés mécaniques de la matrice, de l'interaction fibre-matrice et de l'utilisation visée.

L'idée d'introduire des fibres dans la masse du béton est très ancienne et date depuis l'antiquité. Les Pharaons ont renforcé la brique de boue par des pailles et les Finlandais ont utilisé pour la première fois les fibres d'amiante pour le renforcement des poteries en argile, il y'a de cela 5000 années.

En 1910, Porter a conclu après un grand nombre d'essais que la présence des fibres dans le béton améliore sa résistance à l'écrasement et à la traction.

En 1911, un brevet qui était le premier, a été établi en Amérique par Grham sur les bétons de fibres, en introduisant des tranches d'acier comme des renforts fibreux dans les matériaux de construction.

En 1912, un deuxième brevet Américain a été présenté par Weakly, en utilisant des bandes en fils d'acier fabriquées avec deux fils, avec l'intermédiaire d'un anneau, afin d'assurer une adhérence durable avec le béton.

En 1920, Kleinlogel a présenté le premier brevet Allemand en incorporant un volume relativement important de particules de fer dans le béton pour avoir une masse capable d'être usinée, par tournage, comme une masse d'acier.

En 1927, en Californie, deux brevets sur les bétons de fibres ont été établis, le premier par Smith en utilisant des morceaux des fils tordus dans la masse du béton, pour construire un immeuble en béton armé et le deuxième par Martin. Par l'ajout des plaquettes d'aciers emboutées ou de fils d'aciers au béton pour la fabrication des tuyaux.

En 1933, au New Jersey, une technique améliorant la forme des fibres pour augmenter leur contribution a été proposée par Etheridgea, qui a recommandé ensuite d'ajouter au béton, des fibres en forme d'anneaux de différentes dimensions et de différents diamètres.

En 1938, un autre brevet a été établi par Zitevic en Grande Bretagne, en introduisant dans le béton des petits éléments en fer de 100 mm de long et de 1 mm de diamètre. Ces éléments métalliques sont très semblables aux fibres utilisées aujourd'hui. Une amélioration de la résistance du béton à la compression, à la traction et au cisaillement a été observée.

Durant les années quarante, plusieurs procédés Constantinesco, en 1943 en Angleterre et en 1954 en U.S.A sont apparus dans différents pays et qui recommandent généralement l'introduction des fibres d'acier dans le béton pour améliorer ses performances.

A partir des années 1970, une grande activité scientifique avait eu lieu dans le domaine de la technologie des bétons renforcés de fibres d'acier. La confiance acquise dans certaines propriétés spécifiques des bétons renforcés de fibres d'acier augmente de façon permanente par l'utilisation de ces bétons dans les applications industrielles. Le premier article dans ce concept peut être attribué à Lankard et Sheets. Dans cet article, ils ont confirmé que l'ajout de 1 à 2 % de fibres réfractaires au béton offre une amélioration significative à sa résistance. (Yagoub, 2009).

Le **Tableau I.1** ci-dessous regroupe quelques exemples d'application du béton de fibre.

Tableau I.1: Intérêts apportés par l'ajout de fibres.
(Fritih, 2007; Makhlouf, 2010)

Applications	Intérêts apports par l'ajout des fibres
Canalisations et coques minces faiblement sollicitées.	<ul style="list-style-type: none"> - Amélioration de la tenue des pièces à jeunes âges. - Modification des variations dimensionnelles lutte contre la fissuration.
Dallages, Chaussées en béton, Dallages manufacturés et éléments structuraux soumis à la flexion.	<ul style="list-style-type: none"> - Diminution de 40% de l'ouverture de fissure. - Augmentation de la rigidité après fissuration. - Augmentation de la résistance au cisaillement. - Augmentation de la résistance à l'usure.
Éléments structuraux soumis à la compression (poteaux, pieux, fondations).	<ul style="list-style-type: none"> - Amélioration de la charge ultime. - Pas de rupture fragile.
Structures soumises à des sollicitations dynamiques (pistes d'aéroport).	<ul style="list-style-type: none"> - Energie absorbées plus importante. - Augmentation de la résistance aux chocs. - Loi de comportement du matériau fortement améliorée
Réparation de revêtements routiers, tabliers de ponts.	<ul style="list-style-type: none"> - Amélioration de la résistance aux chocs de réparation des éléments réfractaires.
Parties exposées aux fortes variations de température et même aux très hautes températures.	<ul style="list-style-type: none"> - Remplacement avec succès de revêtement réfractaire. - Diminution du cout ordinairement employé. - Diminution du cout de réparation et/ou de stabilisation des parois rocheuses et des talus.
Stabilisation des parois rocheuses, les talus, tunnels et galeries souterrains.	<ul style="list-style-type: none"> - Suppressions de travail de fixation du grillage.
Fabrication de pieux, revêtements ignifuges isolants, panneaux de revêtement de façade.	<ul style="list-style-type: none"> - Augmentation de la résistance aux chocs. - Augmentation de la résistance à l'usure. - Augmentation de la durabilité de revêtement.

I.3.1 Les fibres

Le terme fibre se rapporte à un corps solide flexible filiforme, où le rapport longueur sur diamètre (l/d) est très élevé, de faible longueur (5 - 60 mm) et dont l'épaisseur est comprise entre 0.005 - 0.75 mm. Les fibres sont disponibles sous différentes formes (rondes, plates, gaufrées). Elles sont d'origine minérale, organique ou métallique. Le choix des fibres dépend de l'usage recherché (pièces mince ou massives, renforcement de pâte pure, de mortier ou de béton, réparation de structure...), de leurs propriétés (résistance et module plus ou moins élevés, adhérence plus ou moins bonne...) de leur disponibilité et de leurs prix. Les fibres doivent être relativement longues, fines, flexibles, ne se cassent pas lors du malaxage et adhèrent bien à la pâte du ciment (forme et surface facilitant l'accrochage), d'un module d'élasticité adapté (parfois très supérieur à celui de la pâte pure du ciment), de forte résistance en traction et de bonne résistance aux attaques par le milieu basique du ciment et le milieu extérieur et surtout sans danger. Le **Tableau I.2** classe les différents types de fibres:

Tableau I.2 : Différents types de fibres (Venuat, 1983)

Fibres naturelles			Fibres artificielles	
Végétales	Animales	Minérales	Minérales	Organiques
Lin	Poil	Amiante de roches	Laitiers de haut fourneau	Polymères longs dont les molécules sont orientés dans l'axe de fibre
Chanvre	Crin	Silicomagnésiennes	Laine de roche (basalte)	
Coton	Laine		Carbone	
Celluloses	Soie		Céramique	
Sisal			Métaux (acier, fonte) Verres spéciaux	

I.3.2 Les fibres les plus employées

a. Les fibres de polypropylène

Les fibres de polypropylène sont fabriquées depuis 1954 par l'industrie textile, elles appartiennent à la famille de polyoléfine des produits chimiques. Elles se présentent en faisceaux où se forme défilement individuel (**Figure I.10**). Lorsqu'elles sont utilisées sous forme de faisceaux elles se séparent lors du malaxage. Elles sont hydrophobes (n'absorbent pas l'eau), possèdent une excellente résistance contre les alcalis, les produits chimiques et les

chlorures et ont une basse conductivité thermique. Elles se répartissent de façon multidirectionnelle dans le béton, elles permettent de contrôler le retrait plastique dans le béton. La fibre de polypropylène sont particulièrement souples et insensibles chimiquement mais peu résistants au feu, leur température de fusion est comprise entre 140 et 170 C° (CIMBETON, 2006).



Figure I.10 : Les fibres de polypropylène (Newman et Choo, 2003).

b. Les fibres d'acier

Les fibres d'acier (**Figure I.11**) sont les plus utilisées et elles ont fait l'objet de la plupart des recherches. Il existe de nombreuses variétés de fibres qui se différencient les unes des autres par leur diamètre, leur section (ronde, carré, rectangulaire...), leur longueur et leur mode d'élaboration. Elles peuvent être rectilignes, ondulées, ou présenter des élargissements aux extrémités, soit coudées ou en crochets pour améliorer l'accrochage. Dans le même but, elles peuvent présenter des aspérités, des crans surfaces. Sols industriels et sol de parkings, éléments de toiture en béton cellulaire, tabliers de pont, réservoirs sous pression, revêtements de tunnel, coques de bateaux, revêtement de chaussées, produits réfractaires, pistes d'atterrissage, structure résistantes aux explosions. Les fibres métalliques sont caractérisées par un module d'élasticité élevé, elles offrent au béton une meilleure résistance à la traction, au choc et améliorent sa ductilité en augmentant son pouvoir de résister à la déformation dues à la rupture, de même elles donnent une ténacité appréciable (Boulekbache et al., 2009).



Figure I.11: Différents types de fibres d'acier

c. Les fibres de verre

L'idée d'ajout de fibre de verre (**Figure I.12**) remonterait à 1920, mais les premiers essais furent effectués en URSS vers les années cinquante par ajout de fibre de verre ordinaire à une pâte de ciment alumineux. Comme le verre ordinaire est attaqué par les alcalis des ciments portland, Dr Majumber a mis au point vers 1976 un verre spécial, non attaqué, à base de Zirconium. Cette dernière solution est la plus pratique. On peut également protéger la fibre par un ensimage (Dépôt d'un corps gras sur la fibre). Les fibres de verres possèdent une résistance à la traction supérieure à celle de l'acier et un coefficient de dilatation sensiblement égale à celui de la pâte de ciment (**Belaribi, 2007**), une plus grande ductilité en compression et en traction et une réduction de l'écaillage en cas de choc. Avec ces fibres, on peut obtenir des pièces légères, en diminuant leurs épaisseurs, ce qui permet leur utilisation dans le moulage de pièces minces, inférieurs à 20 mm d'épaisseur, de tuyaux d'assainissement et d'éléments décoratifs préfabriqués (Rideaux, Bardages Industriels, Murs Anti-Bruit, Claustres,...). Les fibres de verre sont caractérisées par une très grande fragilité aux chocs attribuées à une sensibilité élevée à la fissuration.



Figure I.12 : Les fibres de verre.

d. Les fibres de déchet

Plusieurs travaux expérimentaux ont utilisé les fibres provenant de déchet de différentes natures, tel que le déchet plastique, métallique ou autre, pour le renforcement du béton (Debieb et Bentchikou, 2014; Sulyman et al., 2016; Bendjillali et al., 2018). Les figures ci-dessous montrent quelques types de déchets en fibres.

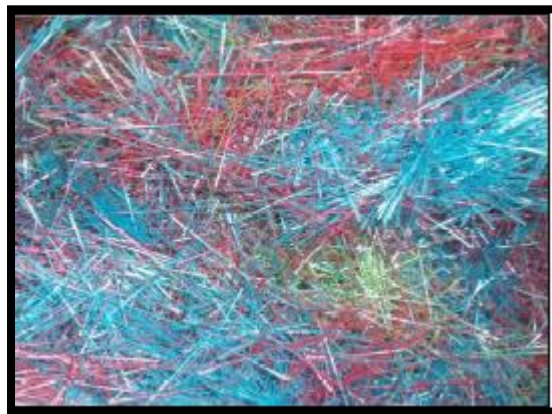


Figure I.13: Déchets de fibre polypropylène (Bendjillali et Chemrouk, 2017).



Figure I.14: Déchets plastiques (Guendouz et al. 2015)



Figure I.15: Déchets d'acier (Setti et al. 2012)

Chaque famille de fibres présente des caractéristiques et des propriétés spécifiques (Tableau I.3).

Tableau I.3:-Les propriétés de différentes fibres (Djlouahi, 2017).

	Masse volumique (g/cm ³)	Diamètre moyen (µm)	Résistance à la traction (N/mm ²)	Module d'élasticité (GPa)	Allongement à la rupture (%)
Fibres métalliques	7.85	50-1000	1000-2500	150-200	3-4
Fibres de verre	2.6	9-15	2000-3000	80	2-3.5
Fibres de polypropylène	0.9	>4	500-750	5-10	10-20

I.3.3 Composition du béton de fibre

La composition du béton de fibre est différente de celle du béton armé. Pour avoir un renforcement efficace de la matrice, les fibres doivent être suffisamment longues pour s'opposer à l'ouverture des fissures inter granulaires, cette longueur doit représenter trois fois la dimension du plus gros granulat (Bernier, 1988). Pour que les granulats soient bien enveloppés par les fibres (Figure I.16), il est nécessaire d'avoir une matrice riche en éléments fins (Djebali, 2013). Les superplastifiants incorporés à des bétons renforcés de fibres peuvent abaisser le rapport eau/ciment et améliorer la résistance, la stabilité volumétrique et ouvrabilité des mélanges frais.

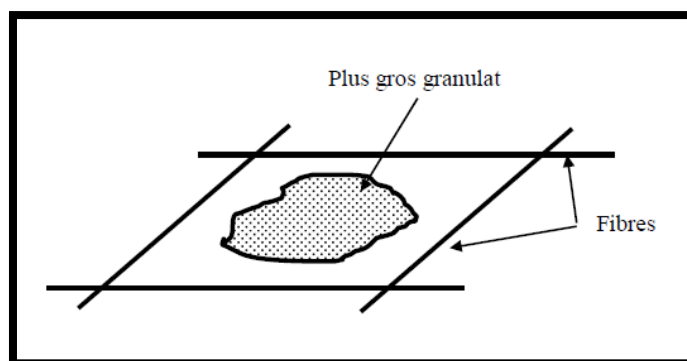
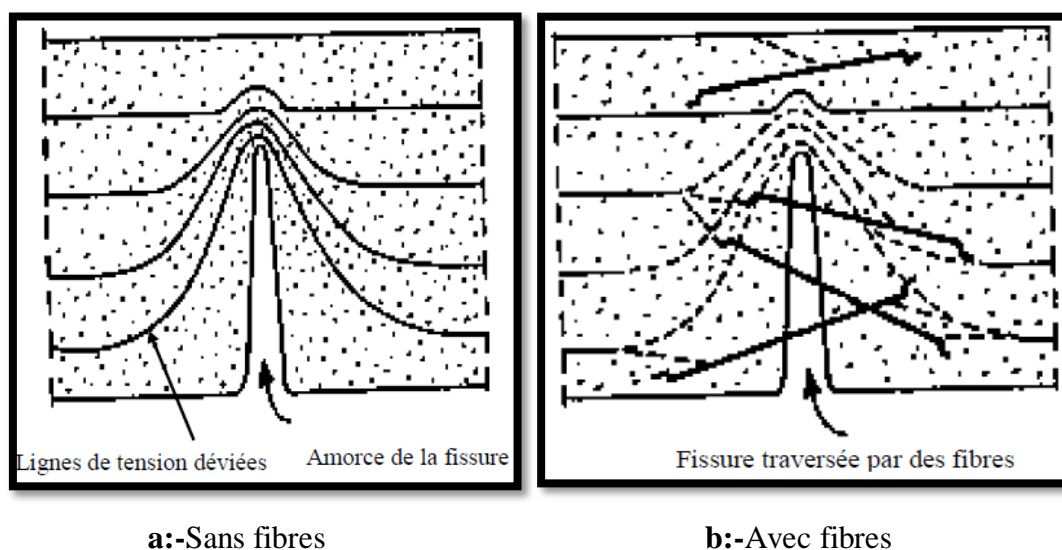


Figure I.16: Encadrement d'un granulat (Dehousse et al. 1974).

I.3.4 Effet de fibres sur les performances du béton de sable

Le rôle principal des fibres est de mieux contrôler la fissuration du béton en état de service, en limitant l'ouverture des fissures et de transformer le comportement fragile du béton en un comportement ductile (Paillere, 1993). Les **Figures I.17a et I.17b** schématisent le comportement en traction du béton sans et avec fibres.



a:-Sans fibres

b:-Avec fibres

Figure I.17: Béton sollicité en traction (Djebaili, 2013).

Melais et Achoura (2011) ont effectué une étude de caractérisation et de suivi du comportement mécanique des bétons de sable renforcés par des fibres en Polypropylène (PP). Les résultats obtenus ont montré que la matrice du sable influence considérablement les bétons à l'état frais et durci. La **Figure I.18** illustre l'effet de l'addition des fibres de polypropylène sur les caractéristiques des bétons de fibres

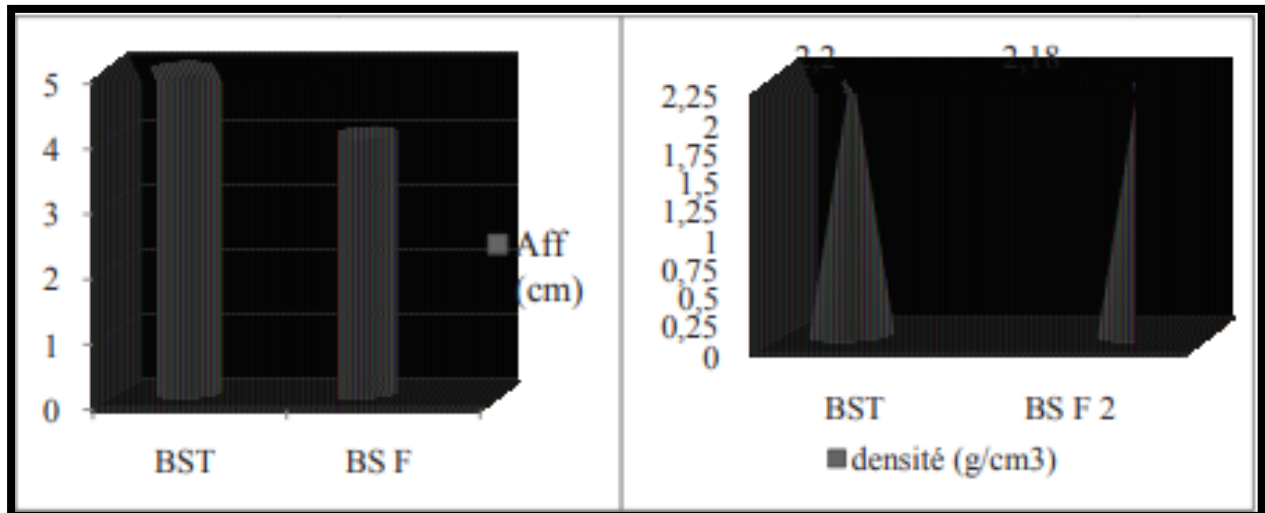
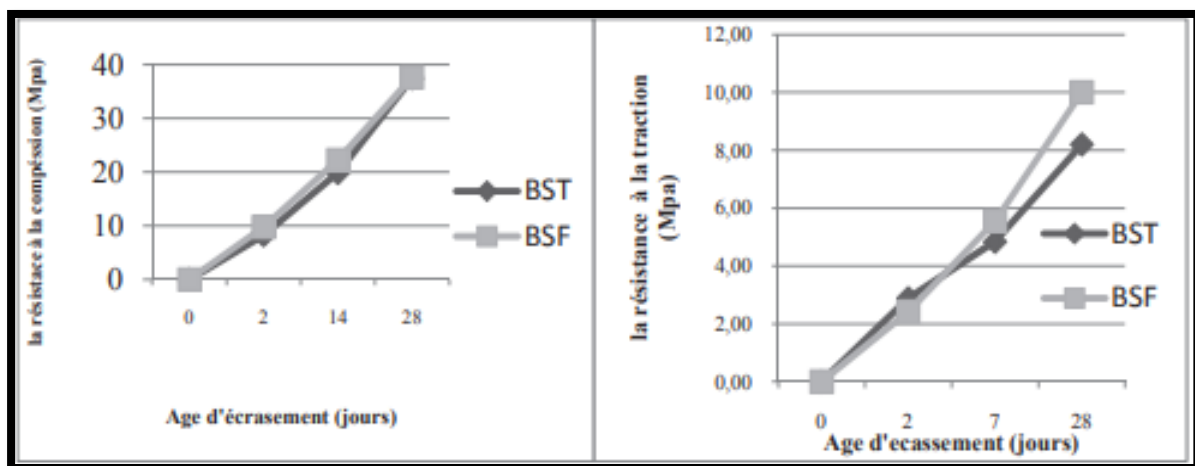


Figure I.18: L'influence de l'ajoute des fibres sur les propriétés des bétons frais. (Melais et Achoura, 2011)

L'ajout des fibres au béton de sable présente un effet négligeable sur les caractéristiques des bétons à l'état frais (affaissement et densité). La **Figure I.19** montre que les bétons de sable fibré ont le même niveau de résistance mécanique à la compression et aussi à la traction aux différents âges de durcissement



a: Résistance à la compression

b: Résistance à la traction.

Figure I.19: Influence de l'ajout sur la résistance à la compression et à la traction par flexion des bétons de sable d'étude. (Melais et Achoura, 2011)

Guendouz et al., (2015) ont trouvé que le renforcement du béton de sable par un déchet de fibres plastiques quoi qu'il influe négativement sur sa maniabilité, il contribue à l'amélioration de sa résistance à la traction. La **Figure I.20** représente la variation de la maniabilité du béton de sable en fonction des pourcentages de poudre plastique utilisé.

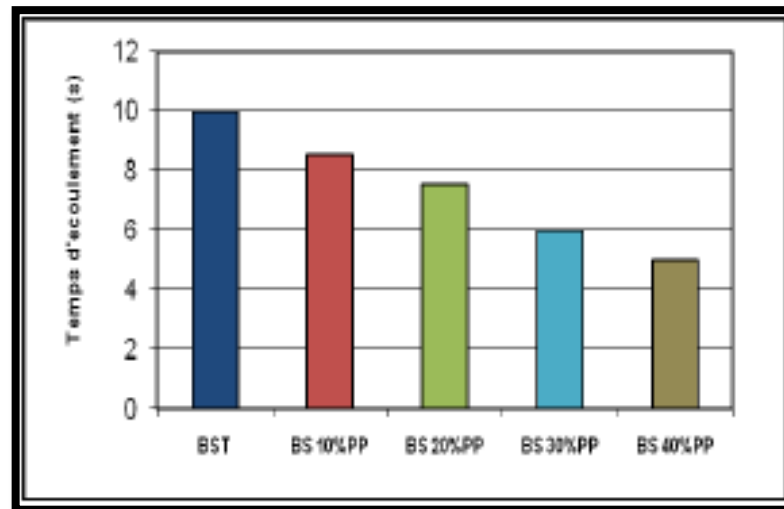


Figure I.20: La maniabilité de béton de sable en fonction d'ajout de poudre plastique.
(Guendouz et al, 2015)

La **Figure I.21** montre l'influence des fibres plastiques sur la maniabilité du béton de sable.

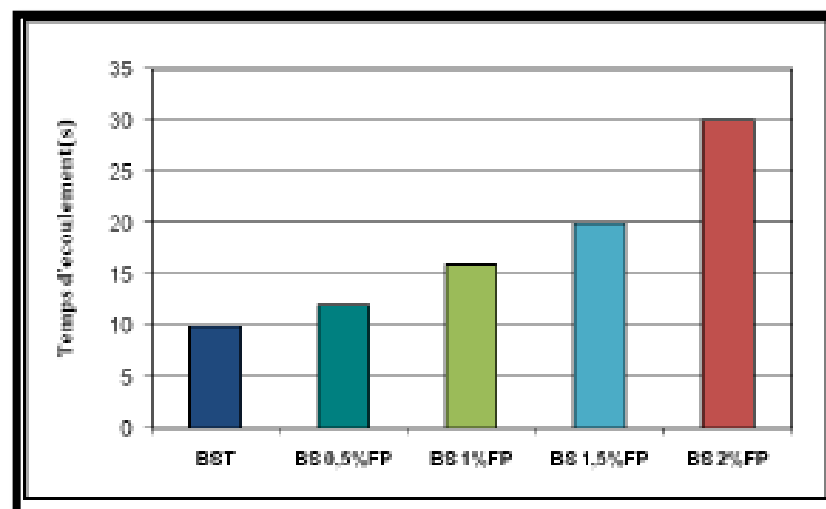
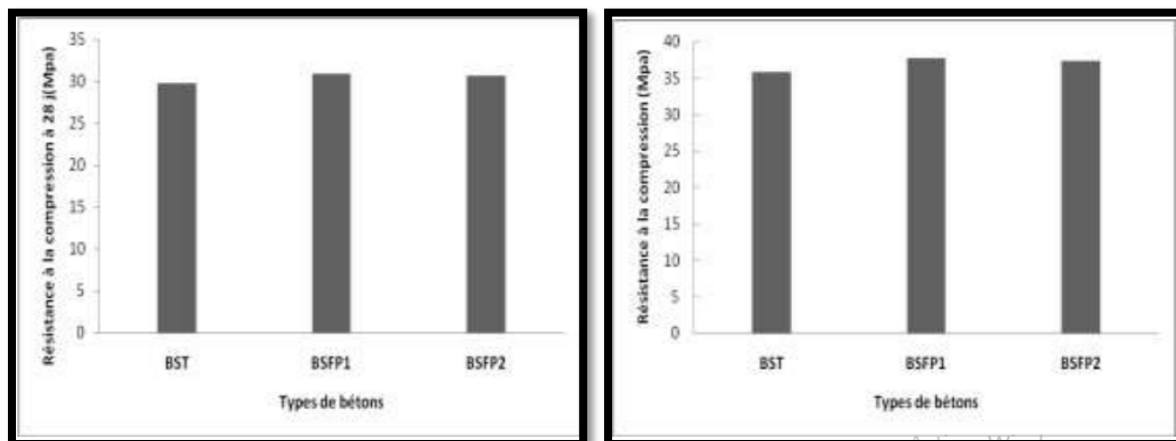


Figure I.21: Maniabilité des bétons de sable en fonction d'ajout de fibres plastiques.
(Guendouz et al, 2015)

Melais et al. (2015) ont mené une étude sur l'influence du dosage de fibres de Polypropylène (PP) et métalliques et du mélange des deux types de fibres sur les propriétés à l'état frais et les caractéristiques physico-mécaniques des bétons de sable. Ils ont trouvé que l'utilisation des fibres en PP améliore la résistance en compression. La **Figure I.22** montre les résultats illustrés par l'influence du dosage en fibres de polypropylène sur la résistance en compression pour les deux sections.



a: Une section (10×10) cm²

b: Une section de (25) cm²

Figure I.22: Résistance à la compression des BSFP.

(Melais et al., 2015)

Suiffi et al. (2019) ont réalisé une étude sur l'influence des fibres en Polypropylène (PP) sur la ductilité de béton de sable avec des différents dosages (0.05 %, 0.1 %, 0.3 %, et 0.5 %), leurs résultats montrent une amélioration des performances mécanique. Les **Figures I.23** et **I.24** montrent l'influence de l'ajoute des fibres de polypropylènes par différents dosages (0.05 %, 0.10 %, 0.3 %, 0.5 %) sur les caractéristiques mécaniques du béton de sable.

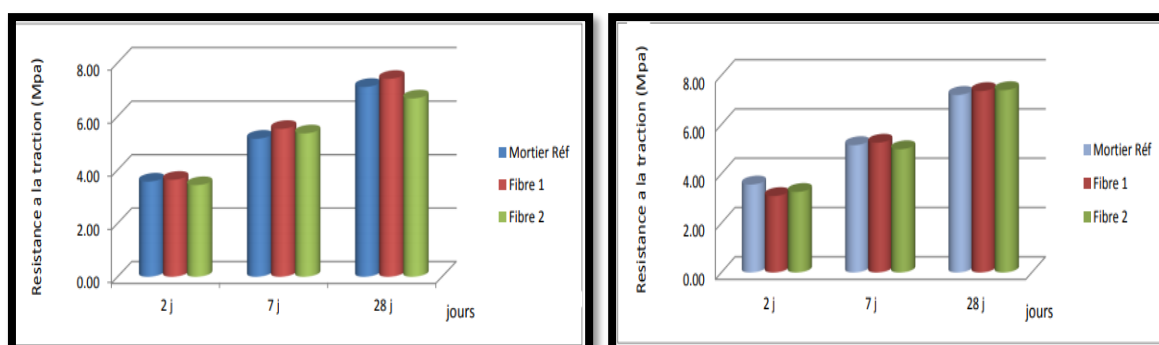


Figure I.23: Résistance à la flexion des mortiers de fibres pour le dosage 0.05 % et 0.10 %. (Suiffi et al, 2019)

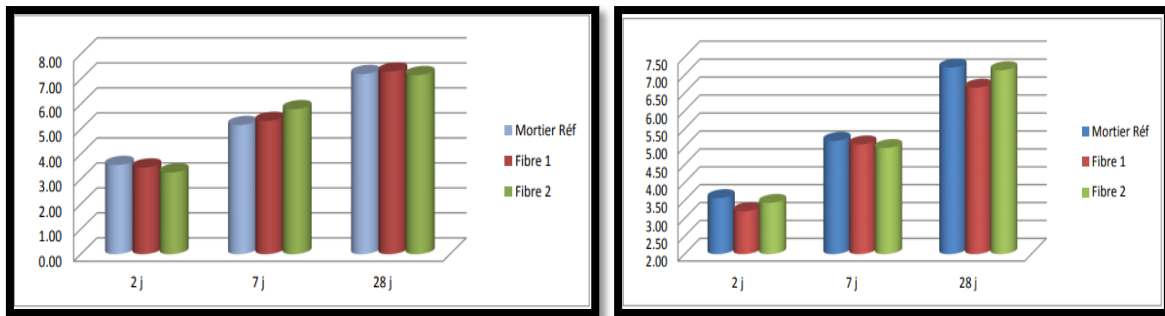


Figure I.24: Résistance à la flexion des mortiers de fibres pour le dosage 0.3% et 0.5%. (Suiffi et al, 2019)

Les **Figures I.25** et **I.26** montrent la comparaison du faciès de rupture du béton de sable sans fibres et celui des bétons de sable fibrés polypropylènes.



Figure I.25: Mortier sans fibres.



Figure I.26: Mortier avec fibres.

(Suiffi et al, 2019)

I.4 Eléments de structure en béton armé renforcé avec des fibres

Plusieurs travaux ont étudié l'effet de fibres de plusieurs natures sur le comportement mécanique des poutres en béton armé.

L'étude de **Konin (2011)** avait pour but d'utiliser les déchets en plastique à base du polypropylène comme matériau de liaison dans la fabrication de carreaux. Les tuiles en plastique ont des valeurs de porosité relativement faibles, ce qui les rend pratiquement imperméables par rapport aux tuiles en micro-béton. Cette propriété pourrait éviter le noircissement de ces tuiles au cours du temps et permettre la réduction de la pente de couverture dans leur implémentât.

Le travail d'**Abdo et Hori (2012)** avait pour but d'utiliser la fibre de la PP tissées dans 3 directions pour renforcer un béton armé qui est susceptible au séisme. Les résultats obtenus de l'utilisation de 3D-PP-FRP est d'améliorer la performance d'un modèle renforcé relativement les hautes excitations dynamiques.

Bendjillali et Chemrouk (2018) ont utilisé un déchet de fibre de polypropylène pour le renforcement des poutres en béton armé avec ou sans armatures transversales. Ils ont constaté que ce type de déchet a considérablement amélioré le comportement des poutres au cisaillement et vis-à-vis de la fissuration, même sans présence du ferrailage transversal et aussi le comportement en flexion à la rupture et à la première fissure.

La **Figure I.27** montre le comportement des bétons en flexion par l'addition de fibre de polypropylène. La **Figure I.28** montre la résistance à la compression des bétons à 28 jours par l'ajout de déchets de fibres de polypropylène.

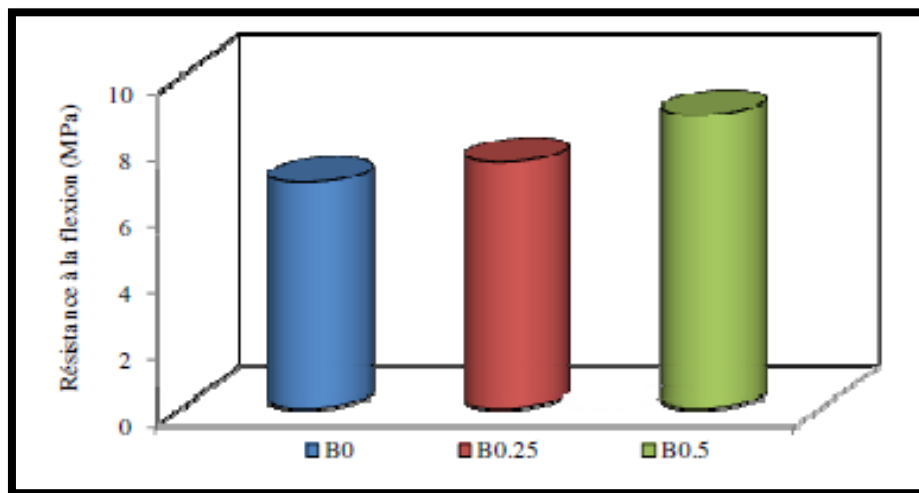


Figure I.27: Résistance à la flexion à 28 jours des bétons
(Bendjillali et Chemrouk, 2018)

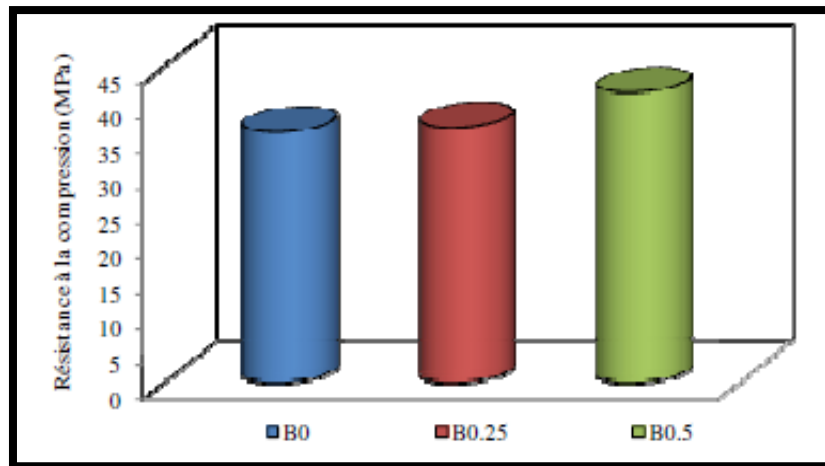


Figure I.28: Résistance à la compression à 28 jours des bétons.

(Bendjillali et Chemrouk, 2018)

Les **Figures I.29, I.30 et I.31** montrent le comportement mécanique des poutres avec la présence et l'absence des armatures transversal.



Figure I.29: Poutre en B0.50 sans ferrailage transversal. (Bendjillali et Chemrouk, 2018)



Figure I.30: Poutre en B0 avec ferrailage transversal (Bendjillali et Chemrouk, 2018)



Figure I.31: Poutres en B0.50 avec ferrailage transversal. (Bendjillali et Chemrouk, 2018)

I.5 Conclusion

L'étude bibliographique nous a permis de retenir les points suivants :

- L'effort actuel de la recherche scientifique dans le domaine du béton de sable est orienté principalement vers la recherche des bonnes formulations qui conduisent à des matériaux de propriétés améliorées.
- Le choix du type de sable utilisé pour produire du béton influe significativement sur ses propriétés mécaniques et sur sa durabilité.
- L'emploi de matériaux locaux affecte positivement le coût, les aspects environnementaux et parfois même les qualités techniques et confort des structures.
- L'ajout de fibres au béton de sable améliore positivement sa qualité et ses performances.

Chapitre II
Matériaux et Méthodes
Expérimentales

II.1 Introduction

Aujourd'hui le renforcement du mortier ou du béton par des fibres naturelles ou synthétiques constitue une voie à explorer dans le domaine des matériaux composites.

Dans ce présent chapitre nous nous sommes intéressés aux essais de caractérisation des matériaux qui entrent dans la constitution du béton de sable (analyse granulométrique, absorption et équivalent du sable, propriétés géométriques et mécaniques des fibres de polypropylène employées, analyse chimique de l'eau, etc.).

II.2 Caractérisation des matériaux premiers

II.2.1 Granulats

Dans tous les mélanges de notre étude, nous avons utilisé les matériaux granulaires suivants:

- Sable **alluvionnaire (SA)** provenant de la région Oued Mzi de Laghouat.
- Sable de **dune (SD)** provenant de la région Oasis Nord de Laghouat.

Dans le but de déterminer les caractéristiques et les propriétés des granulats utilisés une série d'essais a été exécutée, il s'agit de:

- | | |
|--|-------------------|
| - Analyse granulométrique | norme NF P 94-056 |
| - Module de finesse | norme NF 18-360 |
| - Equivalent de sable | norme EN 933-8 |
| - Masse volumique absolue et apparente | norme EN 1097-6 |
| - Coefficient d'absorption | norme NF P 18-555 |

a. Analyse granulométrique

La granulométrie par tamisage sec est l'un des plus importants essais pour reconnaître les dimensions des granulats utilisés dans la formulation. L'essai est réalisé selon la norme **NF P 94-056 (1996)** En utilisant les tamis répondant aux normes **EN 933-2 (1996)**, comme indiqué sur la **Figure II.1**. Les résultats de l'analyse granulométrique pour les deux sables alluvionnaires et de dune sont représentés sur le **Tableau II.1**.



Figure II.1: Conduite d'analyse granulométrique.

Tableau II.1 : La granularité du sable alluvionnaire et du sable de dune.

Diamètre des Tamis (mm)	Refus partiel (g)		Refus cumulé (g)		Refus cumulé (%)		Tamisât (%)	
	SA	SD	SA	SD	SA	SD	SA	SD
4	0		0		0		100	
3.15	16		16		0.8		99.2	
2.5	37.77		53.77		2.6		97.4	
1.6	72.5		226.27		11.3		88.7	
1.25	76		202.27		10.1		89.9	
1	47.5		249.77		12.4		87.6	
0.8	77	0	326.77	0	16.3	0	83.7	100
0.63	378.5	5.5	705.27	5.5	35.2	0.2	64.8	99.8
0.4	308.5	36.5	1013.77	42	50.6	2.1	49.4	97.9
0.315	518	887.5	1531.77	929.5	76.5	46.4	23.5	53.6
0.25	145.5	446.0	1677.27	1375.5	83.8	68.7	16.2	31.3
0.16	114.93	259.5	1792.2	1635	89.6	81.75	10.4	18.25
0.125	59.8	131.4	1852	1766.4	92.6	88.32	7.4	11.68
0.01	34.6	60.8	1886.6	1827.2	94.33	91.36	5.67	8.64
0.08	54.6	46.4	1941.2	1873.6	97.06	93.68	2.95	6.32
Fond	55.4	71.8	1996.6	1945.4	99.8	97.27	0.2	2.73

La courbe suivante (**Figure II.2**) représente le passant en pourcentage en fonction du diamètre des tamis, pour connaître la forme et la grosseur des granulats des deux sables, "alluvionnaire et de dune".

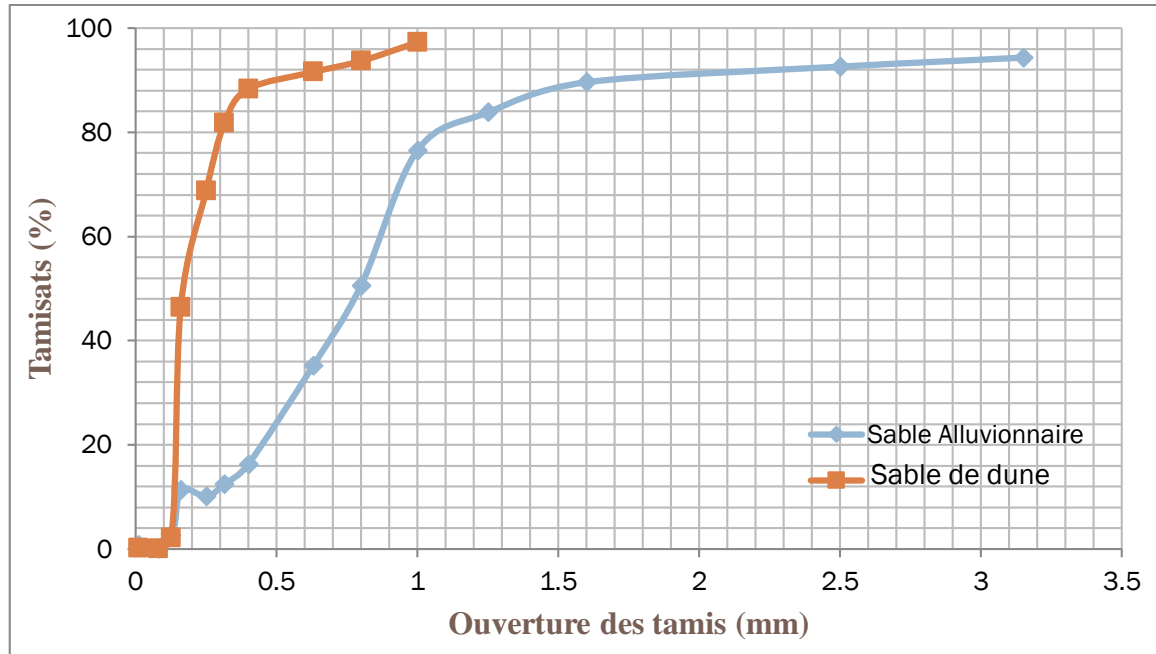


Figure II.2 : Courbes granulométriques des sables utilisés.

b. Module de finesse

On peut connaître la finesse de notre sable à partir de la courbe granulométrique grâce au module de finesse (M_f) mesuré selon la norme **NF 18-360 (1985)** comme suit:-

$$M_f = \frac{\sum \text{refus cumulée en \% pondéral des tamis (0.16, 0.315, 0.63, 1.25, 2.5, 5)}}{100} \quad (\text{II.1})$$

c. Equivalent de sable

L'essai d'équivalent de sable est réalisé selon la norme **EN 933-8 (1999)**. Cette procédure normalisée permet de déterminer le coefficient d'équivalent de sable qui quantifie la propreté de celui-ci et influe sur son comportement (**Dupain et al., 2009**). L'essai consiste à séparer les particules fines contenues dans le sol des éléments sableux plus grossiers (**Figure II.3**).

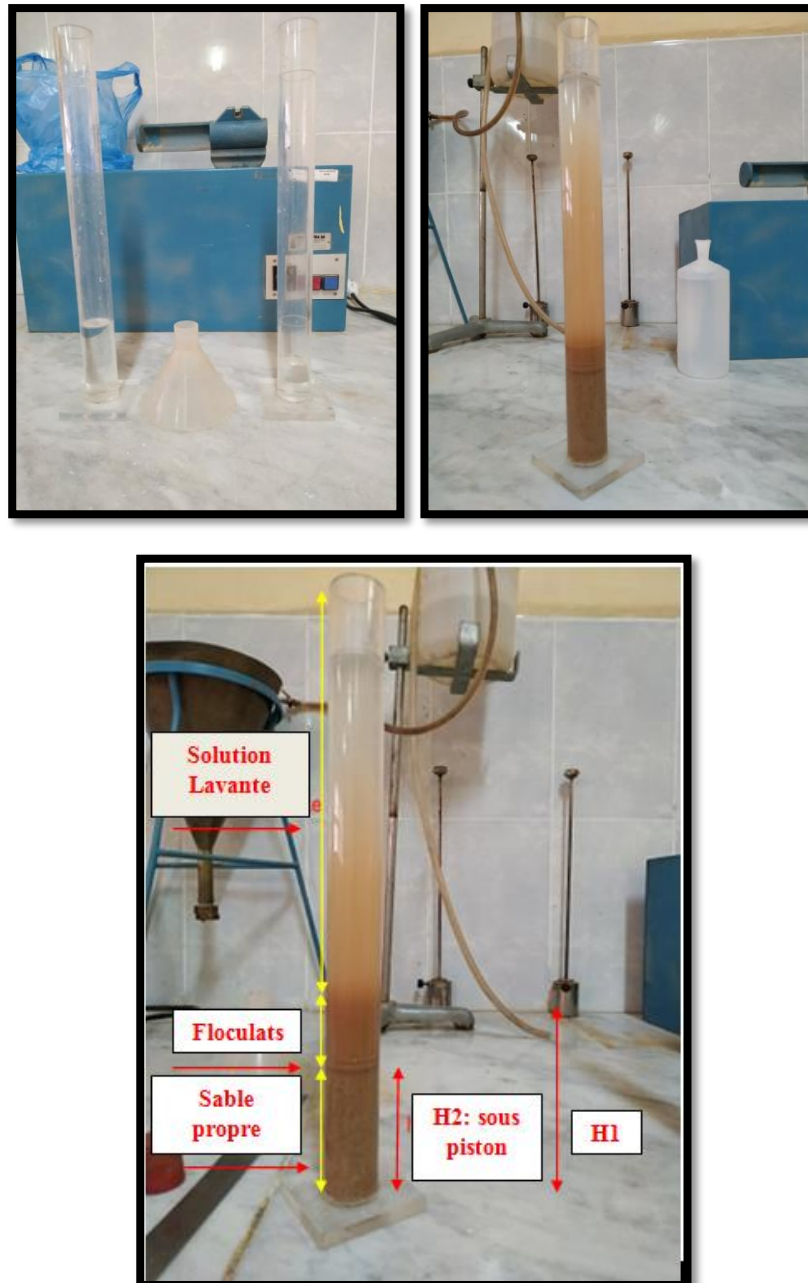


Figure II.3 : Conduite de l'essai d'équivalent de sable

Pour connaître la valeur d'équivalent de sable **ES**, on doit appliquer la relation suivante:

$$ES = \frac{h_2}{h_1} \times 100 \quad (\text{II.2})$$

avec:-

- **h₁** : Correspond à la hauteur du sable propre avec les éléments fins.
- **h₂** : Correspond à la hauteur du sable propre seulement.

d. Masse volumique absolue et apparente

* **La masse volumique absolue** est déterminée avec le pycnomètre selon la norme **EN 1097-6 (2001)**, il s'agit d'un récipient de 1000 cm³ avec un bouchon rodé et d'un tube gradué avec un trait de repère (**Figure II.4.a**), la masse volumique absolue sera calculée par la relation suivante :-

$$\rho_{abs} = \frac{w_s}{w_s + (w_3 - w_2)} \times 1000 \quad (\text{II.3})$$

avec:

w_s :- Poids du sable (g)

w_3 :- Poids du pycnomètre rempli d'eau (g)

w_2 :- Poids de pycnomètre rempli d'eau et de sable (g)

* **La masse volumique apparente** est déterminée avec une tasse de 1 litre (**Figure II.4.b**), selon la norme **NF P 18-555 (1990)**. Elle est définie par la relation:

$$\rho_{app} = \frac{w_s}{v} \quad (\text{II.4})$$

avec:

w_s :- Poids du sable (g)

v :- Volume du récipient (cm³)



a:-Pycnomètre



b:- Récipient

Figure II.4 : Mesure de la masse volumique

e. Coefficient d'absorption

L'essai d'absorption est réalisé selon la norme **NF P 18-555 (1990)**. On en déduit le coefficient d'absorption (en pourcentage de la masse sèche) après immersion pendant 24 h (WA_{24}) (**Figure II.5**).

$$WA_{24} = 100 \frac{M_1 - M_2}{M_2} \quad (\text{II.5})$$

Avec :

M_1 :- Poids des grains après séchage dans une température de 105°

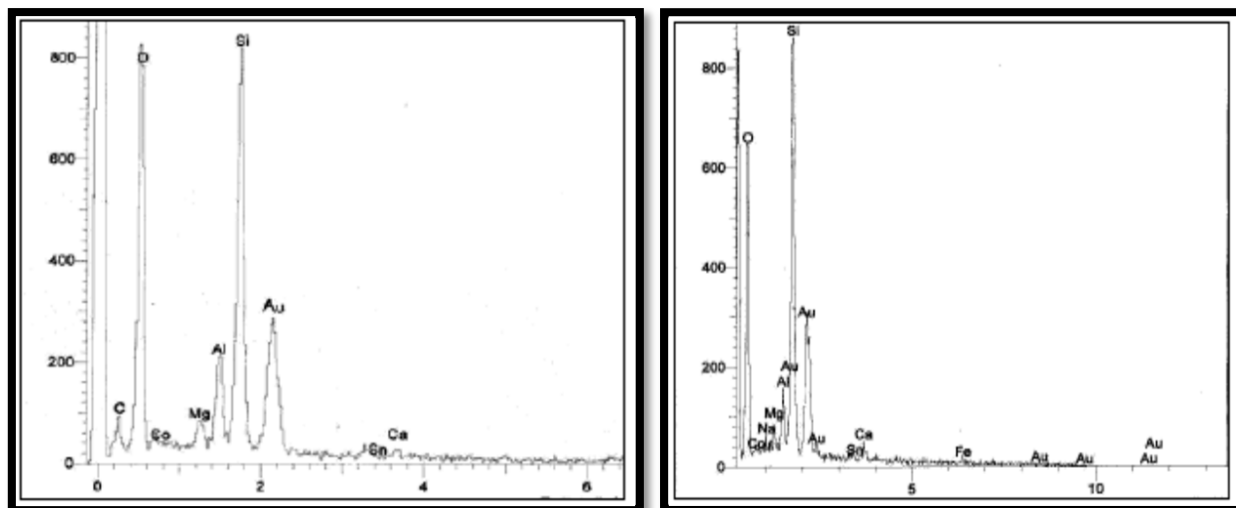
M_2 :- Poids des grains saturés et séchés seulement sur la surface.



Figure II.5 : Conduite d'essai d'absorption du sable

f. Analyse chimique

L'analyse chimique des deux sables, dunaire et alluvionnaire a été menée avec un microscope électronique à balayage (**Hadjoudja, 2014**). Elle révèle la présence d'atomes de Si et O, ce qui correspond à la présence de l'espèce silice (SiO_2). De plus le pourcentage atomique important de Si indique que la silice est l'espèce prépondérante. Les autres valeurs de pourcentages atomiques, permettent de conclure que les deux sables contiennent aussi quelques traces, en comparaison avec silice, d'espèces calciques et magnésiennes (**Figure II.6**).



a: Sable Alluvionnaire -SA-

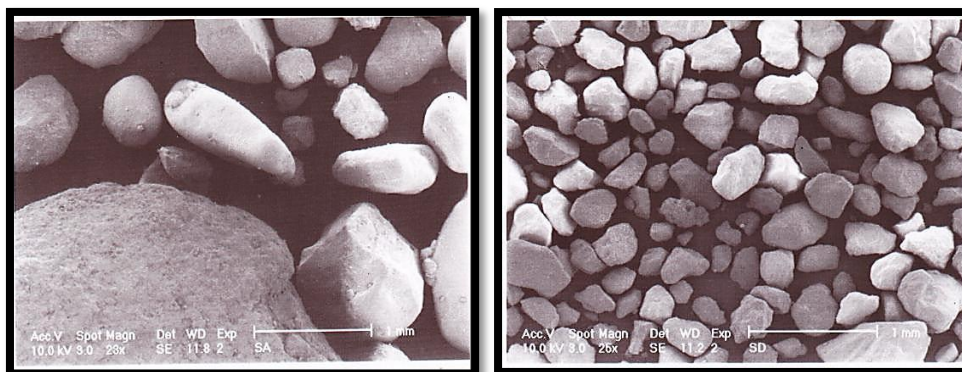
b: Sable de Dune -SD-

Figure II.6 : Analyse chimique des deux sables. (Bederina, 2005)

Il est remarqué que les deux sables (SD et SA) présentent une grande teneur en silice SiO_2 . Leur caractérisation chimique a montré que ces sables pourraient donner des résistances acceptables grâce à leur composition chimique siliceuse; la nature siliceuse donne souvent de meilleures performances.

g. Observation à grande échelle des deux sables

Les photos présentées à grande échelle par la **Figure II.7** montrent les deux sables (dunaire et alluvionnaire) visualisés par microscope électronique à balayage (MEB). Il est constaté que la taille des grains est plus homogène dans le cas du sable de dune que celle du sable alluvionnaire.



a:- sable alluvionnaire-SA-

b:- sable de dune-SD

Figure II.7 : Observations des grains de sable au MEB. (Bederina, 2005)

h. Résultats de la caractérisation physico-chimique des deux sables

Le tableau suivant résume les résultats obtenus par la caractérisation des deux sables objets de notre étude.

Tableau II.2: Les caractéristiques physico-chimiques des sables utilisés

Essais	SA	SD	Observations
Module de finesse MF	2.14	1.28	SA: un bon sable pour avoir un bon béton (Mf = 1.8 - 2.2) SD: le sable a une majorité d'éléments fins et très fins. (Festa et Dreux, 2007)
Cu	4.88	1.25	SA: Cu>2 granulométrie étalée. SD: Cu<2 granulométrie uniforme (Festa et Dreux, 2007)
Cc	2.27	1.01	1<Cc<3 : Sol bien graduée (Festa et Dreux, 2007)
Equivalent de sable ES (%)	87.5	43.63	SA: sable très propre et ne contient que très peu de fines. (ES > 80) SD: sable impropre pour la fabrication d'un bon béton (ES < 60) (Festa et Dreux, 2007)
Masse volumique absolue ρ_{abs} (g/cm ³)	2.63	3.07	Sables courants conformes aux normes
Masse volumique apparente ρ_{app} (g/cm ³)	1.60	1.48	
Coefficient d'absorption Abs (%)	0.56	1.40	Les deux sables ont une absorption faible (Abs < 6 %), ils peuvent donner des mélanges maniables (Festa et Dreux, 2007)
Analyse Chimique	Grande Teneur en Silice (SiO ₂)		Les deux sables sont de nature siliceuse, ils pourraient donner des résistances acceptables
Observations à grande Echelle (Taille des grains)	Non homogène	Homogène	--

II.2.2 Ciment

Le ciment utilisé est un ciment composé de type **CEM II/B 42.5 N**, provenant de la cimenterie **Cement Company SPA de M'Sila**, Les caractéristiques du ciment employé sont données sur le **Tableau II.3** et en annexe.

Tableau II.3: Résultats de caractérisation de ciment

Les propriétés	La norme	Les résultats
Masse volumique apparente ρ_{app} (g/cm ³)	NF P 18-555	3.1 g/m ³
Masse volumique absolue ρ_{abs} (g/cm ³)	NF P 18-555	1.13 g/m ³
Module de finesse	EN 196-6	3700 cm ² /g
Consistance	EN 196-3	26.5 ± 2.0 %
Prise de ciment	EN 196-3	150±30 min
Compression à 7 jours	NF EN 197-1	37.89 ± 1.88 MPa
Flexion à 7jours	NF EN 197-1	6.45 ± 0.44 MPa

II.2.3 Fibres

Les fibres utilisées dans cette étude sont des fibres synthétiques de polypropylène, obtenues à partir d'un déchet de fabrication des tapis plastiques à usage domestique (**Figure II.8**).



Figure II.8: Morphologie des fibres de polypropylène employées

a. Propriétés géométriques des fibres

Le **Tableau II.4** ci-dessous regroupe les différentes caractéristiques géométriques de la fibre utilisée.

Tableau II.4: Géométrie de la fibre

Propriétés	La fibre
La nature	Polypropylène
La surface	Lisse
Le diamètre	0.40 mm (Figure II.9)
La longueur	30 - 60 mm
La section	Circulaire

**Figure II.9:** Pied à Coulis employé pour la mesure du diamètre de la fibre.

Deux longueurs de fibres sont testées dans ce travail 3 cm et 6 cm (**Figure II.10**).



Figure II.10 : Les deux longueurs de fibres de polypropylène testées

b. Propriétés physico-chimiques des fibres

Dans le but d'utiliser les fibres de polypropylène dans la formulation des bétons de sable, les propriétés physico-chimiques sont déterminées. Le tableau suivant présente les résultats obtenus.

Tableau II.5: Propriétés physico-chimiques de la fibre de polypropylène employée

Propriétés	Résultats
Densité	0.9 (Figure II.11)
Absorption	Pas d'absorption



Figure II.11: Mesure de la masse volumique absolue des fibres

c. Propriétés mécaniques des fibres

L'essai de la traction qui était effectué au laboratoire de mécanique par L'appareil MTS (**Figure II.12**) a réveillé les résultats présentés par les courbes des **Figures II.13 et II.14**. Les résultats des propriétés mécaniques sont représentés dans le **Tableau II.6** ci-dessous.

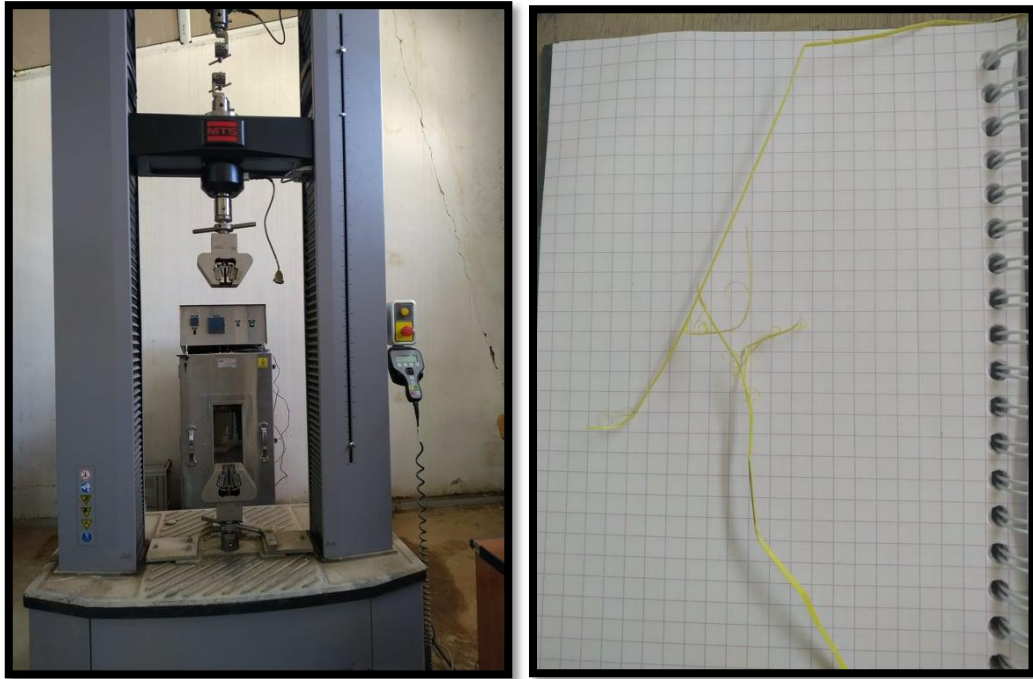


Figure II.12: Essai de traction de la fibre de polypropylène employée

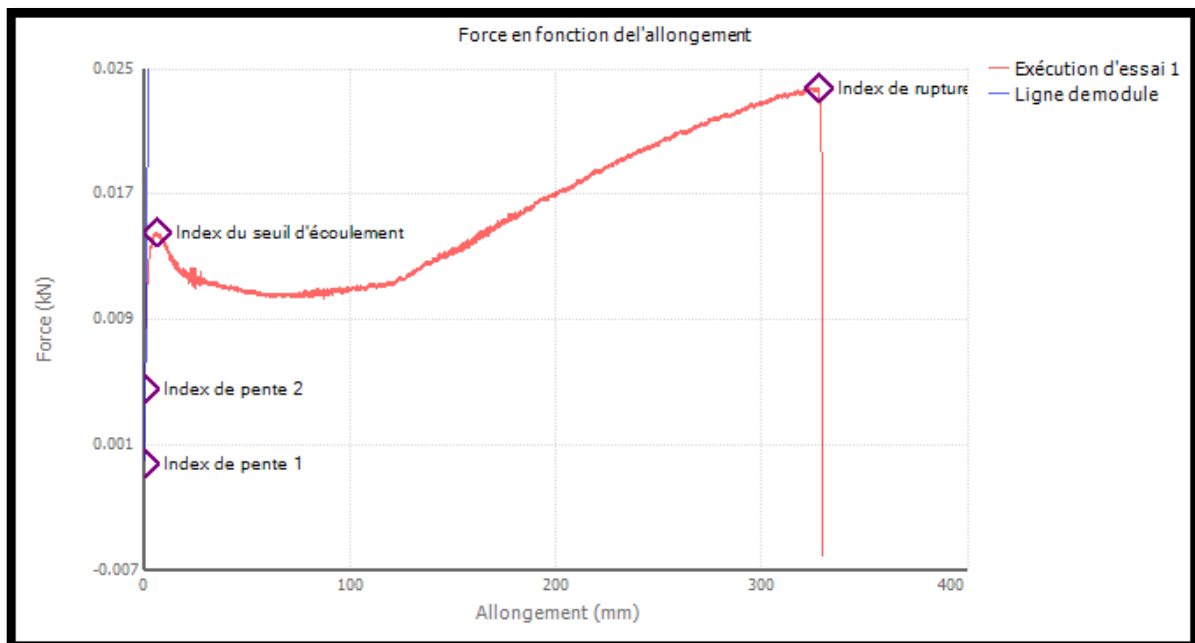


Figure II.13: Graphique de la fibre force en fonction de l'allongement

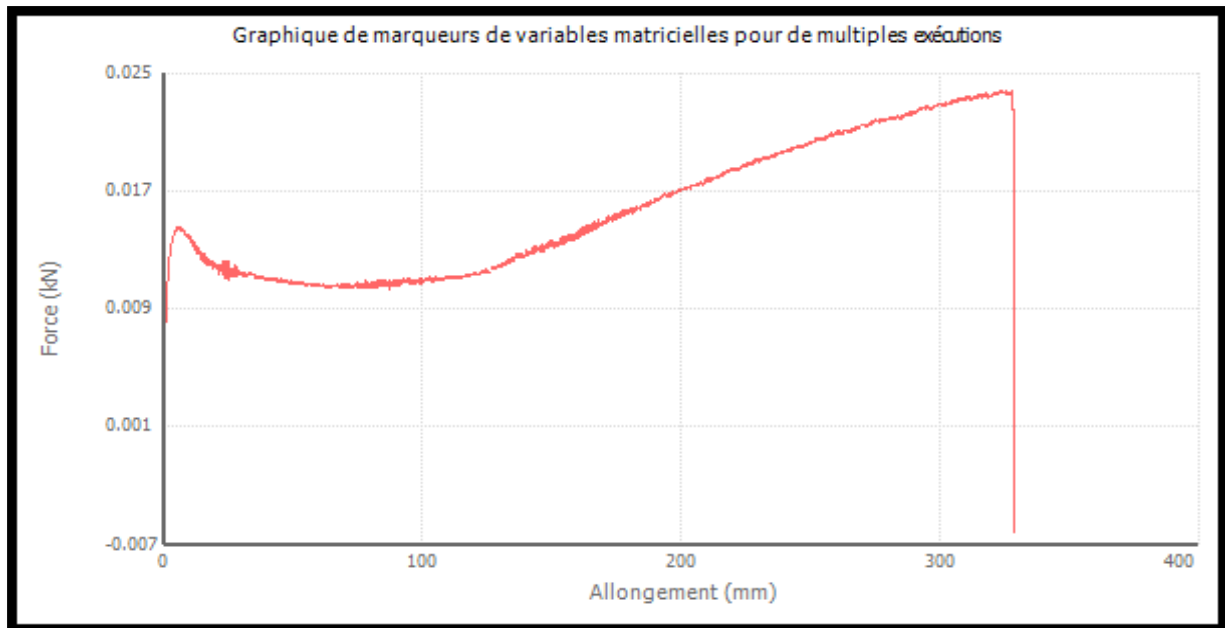


Figure II.14: Graphique de marqueurs de variables pour de multiples exécutions

Tableau II.6: Propriétés mécaniques de la fibre de polypropylène employée

Propriété	Résultat
Pic de contrainte	0.01 kN/mm ²
Force maximale	0.024 kN
Déformation à la rupture	6.459 mm/mm
Module d'élasticité	0.181 kN/mm ²

D'après les résultats obtenus la fibre de polypropylène a une propriété très élastique qui est caractérisée par un module d'élasticité très petit.

II.2.4 Eau

Pour le gâchage du béton, on a utilisé l'eau potable du robinet du laboratoire de Génie Civil. L'analyse chimique de l'eau employée réalisée précédemment (**Bendjillali, 2015**) est donnée sur le **Tableau II.7**.

Tableau II.7: Analyse chimique de l'eau de gâchage

Nature d'eau	Soupape		
Ca^{+2} (mg/l)	119.04	Balance Cations m.éq/l 15.10	5.94
Mg^{+2} (mg/l)	32.93		2.71
Na^+ (mg/l)	144.90		6.30
K^+ (mg/l)	5.69		0.14
Cl^- (mg/l)	169.96	Balance Anions m.éq/l 16.24	4.79
SO_4^{-2} (mg/l)	420		8.75
HCO_3^- (mg/l)	153.80		2.52
NO_3^- (mg/l)	11.70		0.18
Résidu sec à 110 C°	pH	Conductivité de 1/10 mm à 25 C°	Dureté totale
1172 mg/l	7.77	16.30	4.25
Essai de chlore (ml d'eau de javel à 15°/m³)	T.A.C	S.A.F	IS
0.30 ml/l	12.60°F	67.70°F	45.05°F
Minéralisation	M.O milieu acide en O₂	SiO₂	Somme des ions
1010.60	8.53	4.45 mg/l	1057.40 mg/l
Cations	$Ca^{+2} = 39.34 \%$	$Mg^{+2} = 18 \%$	$Na^+ + K^+ = 43.01 \%$
Anions	$HCO_3^- = 15.5 \%$	$SO_4^{-2} = 53.8 \%$	$Cl^- + NO_3^- = 30.6 \%$

II.2.5 Adjuvant

L'adjuvant utilisé dans cette étude est un superplastifiant de type SIKA VISOCRETE TEMPO 12 (**Figure II.15**), qui est un réducteur d'eau polyvalent de nouvelle génération non chloré à base de copolymère acrylique. Le présent superplastifiant est fabriqué par l'entreprise Sika OM El Djazair d'Alger. Le SIKA VISOCRETE TEMPO 12 offre une longue souplesse rhéologique, plus de 2 heures, une robustesse à la ségrégation et une bonne qualité de parement. Les caractéristiques du superplastifiant employé dans cette étude sont représentées dans le **Tableau II.8**.



Figure II.15 : Superplastifiant utilisé

Tableau II.8: Propriétés du superplastifiant employé.

Forme	Couleur	Densité	pH	Teneur en Chlore	Extrait sec
Liquide	Brun claire	1.06 ± 0.01	6 ± 1	$\leq 1\%$	$30.2 \pm 1.3 \%$

II.3 Méthodes Expérimentales

II.3.1 Composition de béton de sable

On a préparé quatre formulations par la variation de dosage E/C et le superplastifiant, les différents mélanges sont fibres.

- On a fixé le dosage de ciment avec $c=350$ kg.
- Le dosage des deux sables sont fixé avec 70 % de sable de dune et 30 % de sable alluvionnaire.
- La variation du rapport E/C jusqu'à obtenir la bonne maniabilité avec la variation du pourcentage de superplastifiant.

II.3.2 Malaxage

Le malaxage est réalisé avec un malaxeur de 5 litres (**Figure II.16**) en suivant les étapes suivantes:

- En premier, on mélange les deux sables avec le ciment pendant 60 secs avec une vitesse lente.
- Après, on ajoute les 70 % d'eau et on laisse le malaxeur tourner pendant 30 sec.
- Ensuite, on ajoute les 30 % d'eau avec le superplastifiant et on laisse le malaxeur tourner pendant 30 secs.
- Une fois les fibres sont ajoutées manuellement, on continue le malaxage avec une vitesse rapide pendant 90 secs.



Figure II.16 : Malaxeur utilisé

II.3.3 Essais sur béton de sable à l'état frais

L'élaboration et la caractérisation d'un béton de sable passe par deux étapes, la première étape est les essais réalisés à l'état frais. La deuxième étape consiste à caractériser le béton à l'état durci. Malheureusement cette étape n'a pas été faite à cause du confinement et la suspension des travaux restants au laboratoire.

Nous présentons ci-dessous la caractérisation du béton de sable à l'état frais:

a. Maniabilité

L'essai est réalisé en utilisant un Maniabilimètre B (**Figure II.17**) selon la norme **NF P18-452 (2017)**. Par mesure du temps que met le béton pour s'écouler sous l'effet d'une vibration (**Duphain et al., 2009**).

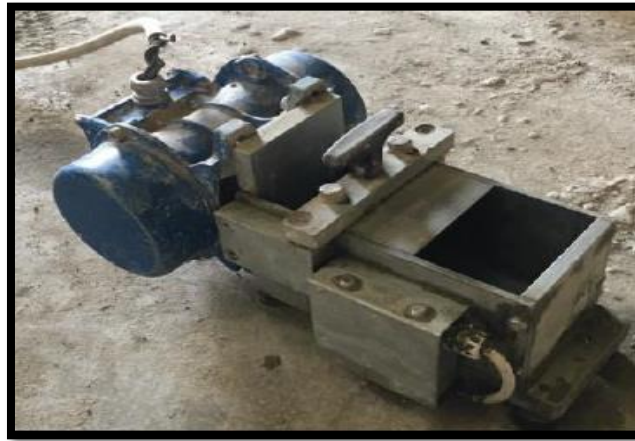


Figure II.17 : Maniabilimètre B employé

b. Mesure de la masse volumique du béton

Lorsqu'une meilleure précision est nécessaire pour évaluer la masse volumique du béton, il est possible de procéder par pesée hydrostatique. Il s'agit de peser l'eau de 3 éprouvettes de béton dans l'air (m_1) puis dans l'eau (m_2).

$$\rho = \rho_w \frac{m_1}{m_1 - m_2} \quad (\text{II.6})$$

Avec:-

m_1 :- Masse d'éprouvette dans l'air (g).

m_2 :-Masse d'éprouvette après l'immersion (g).

ρ_w :- Masse volumique d'eau (cm^3).

II.3.4 Préparation des éprouvettes

Pour préparer les échantillons du béton de sable, les étapes suivantes sont à suivre:

- Avant le remplissage les éprouvettes sont nettoyées à l'aide d'un torchant pour éliminer les résidus et huiler pour faciliter leur démoulage.
- Des moules ($4 \times 4 \times 16$) cm^3 et ($7 \times 7 \times 28$) cm^3 et sont remplis par le béton maniable.
- Après 24 heures, les éprouvettes sont démoulées (**Figure II.18**).
- Les éprouvettes sont conservées dans une chambre sous $20\text{ }^\circ\text{C}$ et $95 \pm 5\%$ HR.

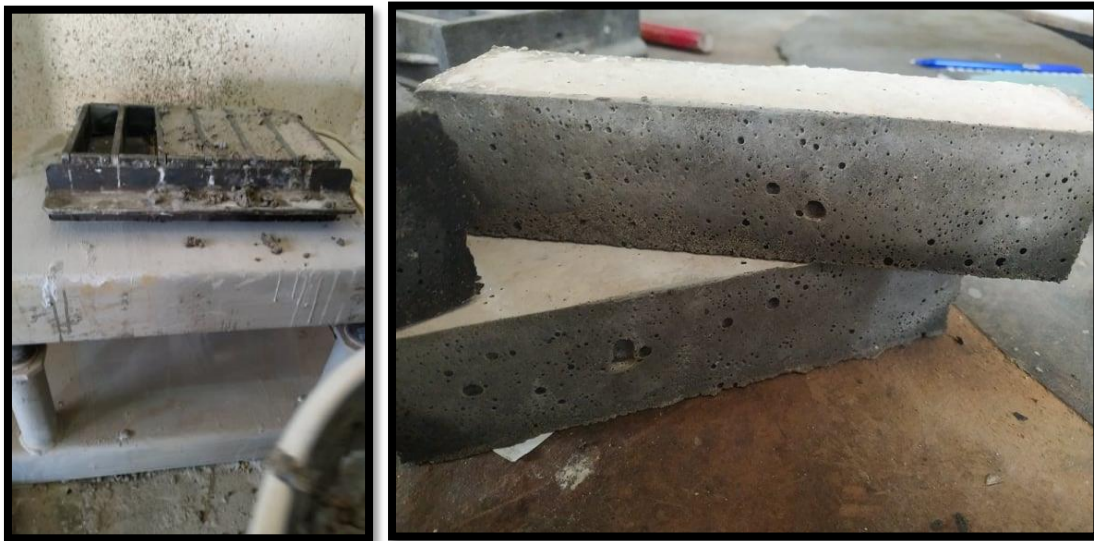


Figure II.18 : Les éprouvettes du béton de sable sans fibres ($4 \times 4 \times 16\text{ cm}^3$).

II.3.5 Préparation des poutres

Les poutres préparées ont les dimensions suivantes :

- une longueur totale de 110 cm,
- une longueur entre nus d'appuis de 90 cm,
- et une section transversale de $(10 \times 15)\text{ cm}^2$.

Après 24 heures, les éprouvettes poutres sont démoulées et conservées dans une chambre climatique jusqu' 28 jours d'essai.

II.3.6 Essais sur béton de sable à l'état durci

Cette partie consiste à étudier les résistances à la traction et à la compression d'éprouvettes du béton selon la norme **EN 196-1 (2006)**. Comme nous l'avons mentionné ci-dessus, cette partie n'a pas été réalisée vue l'état du confinement. Néanmoins, nous donnerons les différentes étapes à réaliser pour ces essais.



Figure II.19 : Machine de compression et de traction

a. Essais de flexion

Les échantillons sont soumis à un moment de flexion par application d'une charge constante et continue au moyen de rouleaux supérieurs et inférieurs en trois points sur une presse **CONTROLS** à vérin hydraulique (**Figure II.20**). Les essais de la flexion trois points sont réalisés à 3, 7, 14, et à 28 jours de murissement du béton sur des éprouvettes prismatiques ($4 \times 4 \times 16$) cm³ et ($7 \times 7 \times 28$) cm³ (**Figure II.21**).

La mesure est quasi-statique et la vitesse d'asservissement du compactage est très faible, de 0.1 kN/s \pm 1% suivant la norme **EN 12390-5 (2012)**. Les faces des éprouvettes sur lesquelles on applique la charge sont apprêtées et présentent des surfaces planes. A partir de la charge maximale, la résistance à la traction par essai de flexion trois points peut être calculée. D'après la norme **EN 12390-5 (2012)**, la résistance de traction à la flexion est donnée indirectement par la contrainte correspondant à la force maximale F flexion admissible par éprouvette en flexion par trois points avant rupture ($l = 3b$, $a = b$).



Figure II.20: Appareil CONTROLS à vérin hydraulique

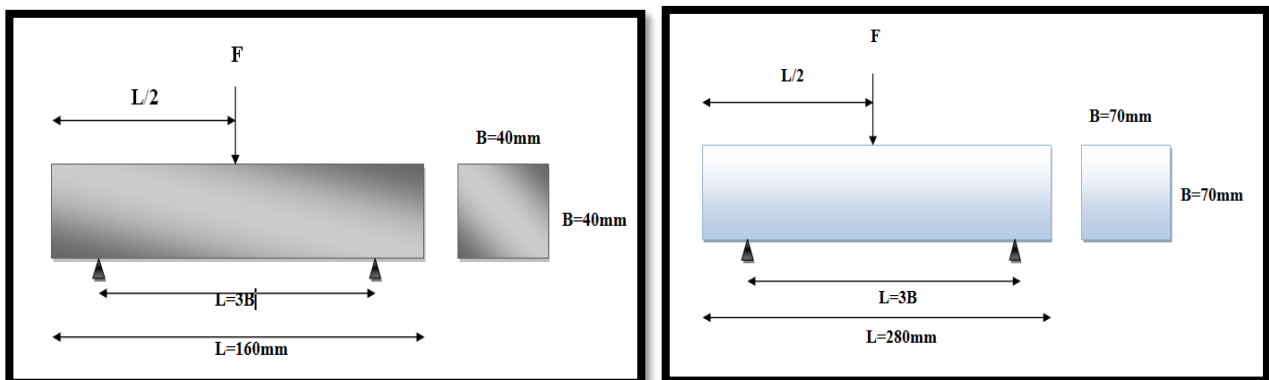


Figure II.21 : Schématisation de dispositif de flexion à 3 points pour les éprouvettes $(4 \times 4 \times 16) \text{ cm}^3$ et $(7 \times 7 \times 28) \text{ cm}^3$.

La résistance de flexion sera calculée par la formule suivante:-

$$R_f = \frac{1.5 F_f l}{b^3} \quad (\text{II.7})$$

avec:

l :- Distance entraxe d'appuis des éprouvettes (cm).

R_f :- Résistance à la flexion (MPa)

F_f :- Charge de rupture (N)

b :- Coté de la section carrée d'éprouvette (cm).

b. Essais de compression

Les échantillons utilisés pour déterminer la résistance mécanique en compression du béton étudié sont des éprouvettes cubiques de dimension $(4 \times 4) \text{ cm}^2$ et $(7 \times 7) \text{ cm}^2$ (**Figure II.22**) qui ont été conservées dans un milieu à $20 \text{ }^\circ\text{C}$ et $95 \pm 5 \%$ d'humidité relative, jusqu'à des échéances bien déterminée, à 3, 7, 14, et à 28 jours d'âge.

La presse utilisée est d'une capacité maximale de 3000 kN, asservie en force, La résistance en compression a été évaluée suivant la norme **NF P 18-406 (1981)**, les essais ont été réalisés à vitesse de chargement qui varie entre $2400 \text{ N/sec} \pm 200 \text{ N/sec}$.

La charge de compression est calculée par :-

$$R_c = \frac{F_c}{b^2} \quad (\text{II.8})$$

Avec:

R_c :- Résistance à la compression (MPa)

F_c :- Charge de rupture (N)

b :- Coté de la section (cm)

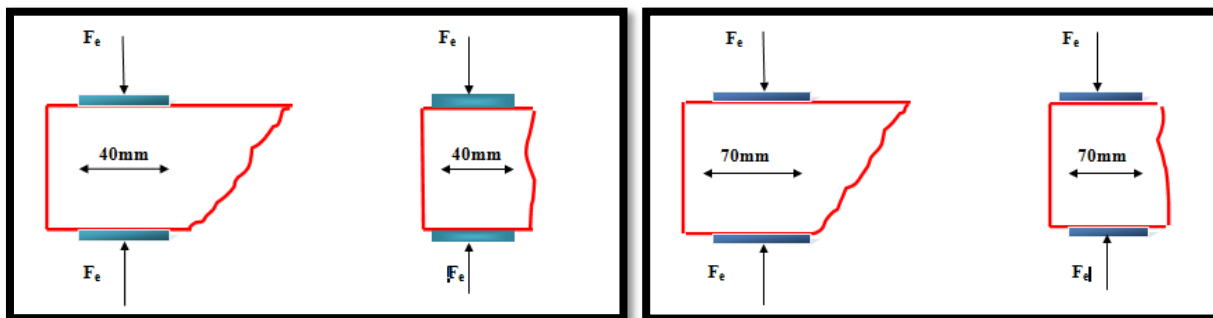


Figure II.22 : Dispositif de rupture en compression pour les éprouvettes

$(4 \times 4 \times 16) \text{ cm}^3$ et $(7 \times 7 \times 28) \text{ cm}^3$.

II.4 Conclusion

Cette partie nous a permis de réaliser une caractérisation complète des matériaux composants de notre béton. A partir des résultats obtenus on a pu tracer les conclusions suivantes:

- Le module de finesse des sables utilisés (SD et SA) est acceptable pour préparer un béton de qualité.
- L'équivalent de sable nous confirme la propreté du sable (SA) et la non propreté du sable de dunes (SD).
- Les masses volumiques absolues et apparentes obtenues sont conformes aux normes
- Les coefficients d'absorption obtenus sont inférieurs 6 %, les deux sables (SD et SA) possèdent une très faible capacité d'absorption et donc ils peuvent donner des mélanges maniabiles avec une bonne mise en œuvre.
- les deux sables (SD et SA) présentent une grande teneur en silice SiO_2 , ce qui confirme leur nature siliceuse. Cette nature siliceuse donne souvent des meilleures performances.
- Les fibres de polypropylène employées qui sont issues d'un déchet plastique possèdent des bonnes propriétés mécaniques, qui peuvent servir à améliorer la qualité du béton préparé.

Chapitre III
Comparaison et
Constatation

III.1 Introduction

Dans ce présent chapitre, nous nous sommes occupées à trouver la bonne formulation du béton de sable à partir de l'essai de maniabilité (à l'état frais), ainsi la préparation du ferrailage des poutres. L'apparition de la pandémie du virus Covid-19 nous a empêchés d'achever notre travail expérimental au laboratoire qui devrait consister à remplir les poutres par les différents bétons et à faire les essais mécaniques (à l'état durci). C'est ainsi qu'on s'est retrouvé dans cette situation, c-à-d dans l'obligation de faire une comparaison avec une étude qui était déjà faite par des étudiants Master (option structure) durant l'année universitaire 2014/2015 (**Rouane et Ben Hammouda, 2015**).

III.2 Comparaison des caractéristiques des matériaux

Tableau III.1: Comparaison des caractéristiques des sables

Caractéristiques	Sables alluvionnaire		Sables de dune	
	Notre Etude	Etude Précédente	Notre Etude	Etude Précédente
ES (%)	87.5	90.81	43.63	93.68
ρ_{abs} (g/cm ³)	2.63	2.50	3.07	2.67
ρ_{app} (g/cm ³)	1.60	1.56	1.48	1.52
Abs (%)	0.56	0.58	1.40	1.14

Tableau III.2: Comparaison des caractéristiques des ciments

Caractéristiques	Ciments	
	Notre Etude	Etude précédente
Type	CEM II/B 42.5 N	CEM II/A 42,5
Finesse (cm ² /g)	3700	4200
Prise (min)	150 ± 30	≥ 60
Rc (MPa)	37.89 ± 1.88	17 ± 55

Tableau III.3: Comparaison des caractéristiques des fibres

Caractéristiques	La fibre	
	Notre Etude	Etude précédente
Nature	Polypropylène	Métallique
Source	Déchet (Tapis plastique)	Déchet (Fils de coupe)
Etat de Surface	Lisse	Lisse
Section	Circulaire	Circulaire
Longueur (mm)	30 - 60	20 - 40
Dosage (%)	1	1

Tableau III.4: Comparaison des caractéristiques des adjuvants

Caractéristiques	Notre Etude	Etude précédente
Type	Superplastifiant	Superplastifiant
Nom	SIKA VISOCRETE TEMPO 12	MEDAPLAST SP 40
Forme	Liquide	Liquide
Couleur	Brun claire	Marron
Densité	1.06 ± 0.01	1.2 ± 0.01
pH	6 ± 1	8.2
Teneur en Chlore	$\leq 1\%$	1 g/l
Extrait Sec (%)	30.2 ± 1.3	40

III.3 Comparaison des formulations des bétons

Tous les bétons testés sont préparés avec 30 % du sable alluvionnaire (SA) et 70 % du sable de dune (SD). Le dosage de ciment pris dans cette étude est 350 kg/m^3 . Pour aboutir à un béton de plasticité suffisante, trois rapports E/C sont testés: 0.5, 0.55 et 0.6, tout en jouant sur le dosage d'adjuvant. Le **Tableau III.5** présente les résultats de formulation obtenus par l'étude précédente (**Rouane et Ben Hammouda, 2015**).

Tableau III.5: Résultats de formulation de l'étude précédent.

Composants	F-1	F-2	F-3	F-4	F-5	F-6	F-7	F-8
SD [kg/m ³]	1071	1034	998	1034	998	979	979	979
SA [kg/m ³]	436	421	406	421	406	399	406	399
Ciment [kg/m ³]	400	400	400	400	400	400	400	400
Filler [kg/m ³]	170	170	170	170	170	170	170	170
Eau [kg/m ³]	220	240	260	240	260	260	260	270
Superplastifiant (%)	--	--	--	1.5	1.7	2	2	1
Fibre (%)	--	--	--	--	--	--	1	--
E/C+F	0.38	0.54	0.59	0.54	0.59	0.59	0.59	0.59
Maniabilité (Sec)	--	> 20	> 20	> 20	15,35	12,33	9,21	10.18

Après une série d'essai, il était remarqué que la formulation du béton avec fibre F-7 a donné la meilleure maniabilité, alors que sans fibres, la formulation F- 8 est la meilleure.

Pour la préparation de notre béton témoin (sans fibres), une série d'essais a été effectuée jusqu'à l'obtention d'une bonne maniabilité, dont les résultats sont présentés dans le **Tableau III.6** ci-dessous.

Tableau III.6 : Résultats de formulation de notre étude (kg/m³).

Composants	F-1	F-2	F-3	F-4
SD	979	979	979	979
SA	399	399	399	399
Superplastifiant(%)	0	1	1.1	1.1
Ciment	350	350	350	350
Eau	175	192.5	192.5	210
Superplastifiant (kg/m ³)	0	3.5	3.85	3.85
E/C	0.5	0.55	0.55	0.6
Maniabilité (Sec)	85	45	27	13
Appréciation	Béton très ferme	Béton Ferme	Béton ferme	Béton maniabile

D'après les résultats obtenus dans le tableau ci-dessus, la meilleure formulation du béton témoin est F-4.

Le **Tableau III.7** ci-dessous donne une comparaison des deux formulations citées ultérieurement (**Tableaux III.5 et III.6**).

Tableau III.7 : Comparaison des formulations.

Constituants	Notre Etude (sans fibres)	Etude précédente (sans fibres)	Etude précédente (avec fibres)
Sable de dune (%)	70	70	70
Sable alluvionnaire (%)	30	30	30
Superplastifiant (%)	1.1	1	2
SD (kg/m ³)	979	979	979
SA (kg/m ³)	399	399	406
Ciment (kg/m ³)	350	400	400
Superplastifiant (kg/m ³)	3.85	4	8
Eau (kg/m ³)	210	270	260
Fibre (%)	0	0	1
E/C	0.6	0.89	0.59
Maniabilité (Sec)	13	10.18	9.21
Appréciation	Maniable	Maniable	Maniable

Il est bien clair que nous avons adopté les mêmes pourcentages du sable, pour le ciment nous différons de quelque Kg par m³, l'adjuvant et les fibres aussi sont très proches de l'autre étude, ce qui justifie les mêmes appréciations finales.

III.4 Ferrailages des poutres

Nous avons adopté le modèle expérimental classique utilisé dans l'étude de comportement mécanique d'un élément de construction sollicité à la flexion à quatre points. Les poutres en béton armé ont été sous-dimensionnées et sous ferrillées pour mettre en évidence l'effet du renforcement supplémentaire en fibres synthétiques du polypropylène.

La **Figure III.1** donne une illustration du schéma statique équivalent des poutres d'essai

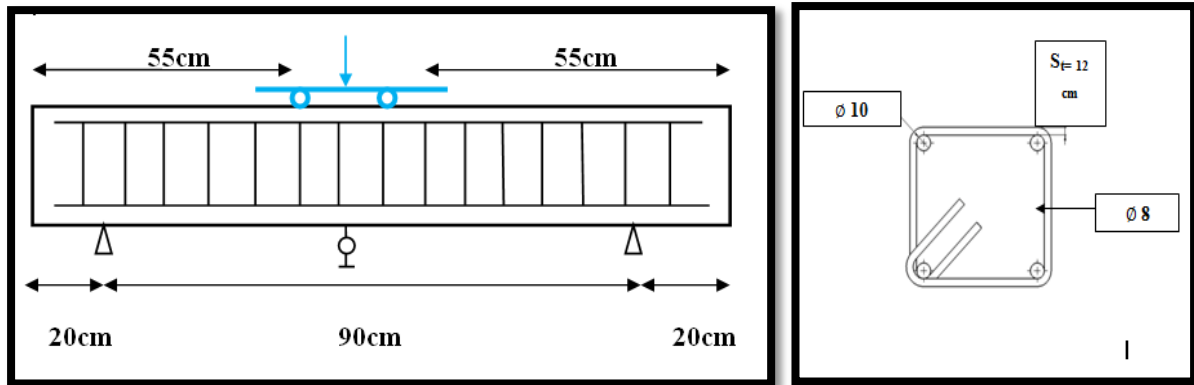


Figure III.1: Schéma statique de chargement.

Les aciers utilisés ont des limites d'élasticités suivantes :-

- Les ronds lisses **FeE24 Fe = 215 MPa**.
- Les hautes adhérences **FeE40 Fe = 400 MPa**

Deux séries de poutres ont été confectionnées avec deux types de ferrailage, avec ou sans armatures transversales, afin notamment de vérifier si l'apport de fibres pouvait modifier le modèle rupture en améliorant la résistance à l'effort tranchant.

- **Armatures longitudinales et transversales**

Pour le renforcement longitudinal de la poutre, deux barres d'acier HA10 pour les armatures tendues (inférieur) et deux barres d'acier HA8 pour les armatures comprimées (supérieur) ont été utilisées. Pour les cadres des armatures, les barres en acier lisses de diamètre $\varnothing 6$ ont été utilisées. La distance entre les cadres a été fixée à 12 cm (**Figure III.2**).



a: sans armatures transversales

b: avec armatures transversales

Figure III.2: Ferrailage adopté pour les poutres

III.5 Nomenclature des poutres

Les essais portent sur cinq poutres de section rectangulaire soumises à un chargement concentré symétrique (chargement en flexion quatre points) (**Figure III.1**). La notation des poutres est faite en tenant en compte du mode de renforcement envisagé.

Le tableau ci-dessous montre les différentes poutres coulées.

Tableau III.8 : Nomenclature des différentes poutres destinées à la flexion à 4 points.

Différentes poutres coulées	Abréviations
Poutre en béton de sable ordinaire (béton témoin) avec armatures transversales	PBO
Poutre en béton de sable contenant 1 % de fibres courtes sans Armatures transversales	PBFC0
Poutre en béton de sable contenant 1 % de fibres courtes avec Armatures transversales	PBFC1
Poutre en béton de sable contenant 1 % de fibres longues sans Armatures transversales	PBFL0
Poutre en béton de sable contenant 1% de fibres longues avec Armatures transversales	PBFL1

III.6 Comportement en flexion des poutres en béton de sable armées contenant des fibres

L'étude de comportement de flexion dans notre recherche intéresse deux paramètres, la flèche à mi-travée et l'évolution d'ouverture de fissure.

Une fissuration non contrôlée est nuisible pour le matériau béton armé; elle conduit à long-terme à un problème de durabilité du fait qu'elle représente un passage aux agents agressifs qui détériorent le béton et l'acier noyé à l'intérieur. Du point de vue structurelle, la fissuration diminue la rigidité des sections en béton armé et avec le temps, toute la partie tendue devient inefficace structurellement puisque fissurée, même si un effet rigidifiant de cette partie tendue subsiste toujours et contribue à réduire la flèche (**Tahenni et al., 2009**). En plus avec la présence de fibres, la structure en béton reste attachée et aucun éclat ne sera observé après rupture (**Suiffi et al., 2019**).

La fissure diagonale critique est la continuité de la propagation de la fissure de flexion la plus proche de l'appui. Dans la partie post-pic, la fissure se propage le long des armatures, causant ainsi un déchaussement de celles-ci, la **Figure III.3** montre le profil de la fissuration des poutres.

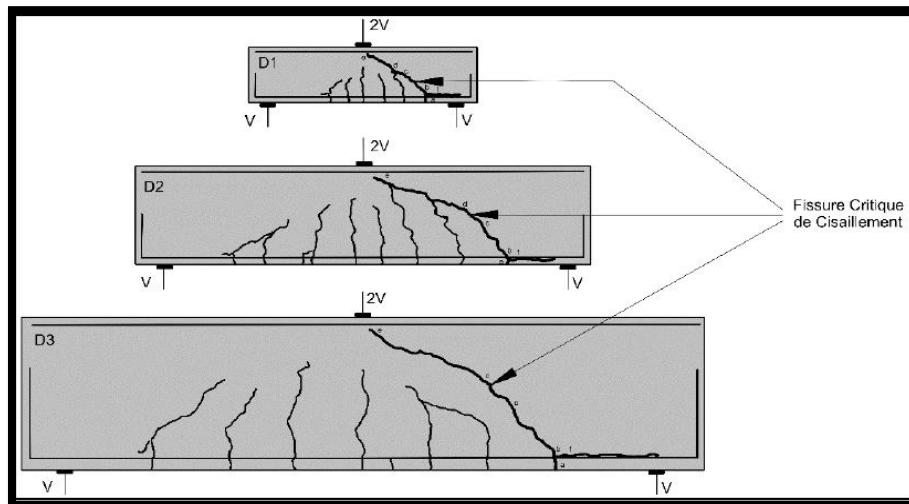


Figure III.3 : Profil de fissuration des poutres (Belbachir, 2011).

Dans une poutre en béton armé contenant des armatures transversales, la force de cisaillement agissant sur la poutre est reprise par le béton ($V_b = V_{cz} + V_a + V_d$) et par l'armature transversale (V_s), la **Figure III.4** montre les différentes forces internes dans une poutre avec armatures transversales.

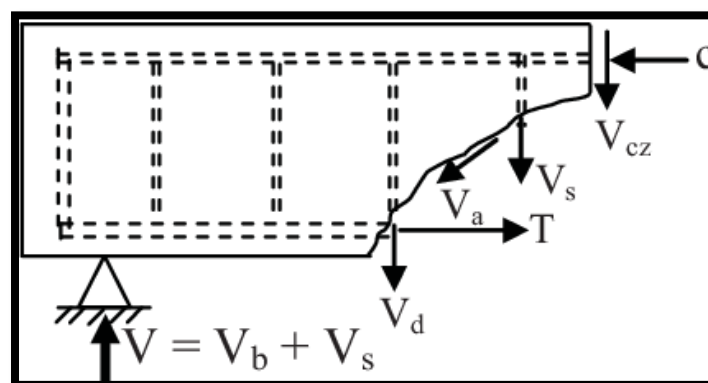


Figure III.4 : Forces internes dans une poutre avec armatures transversales (Ameziane ,2011)

III.7 Constatation

Les résultats obtenus dans l'étude précédente réalisée sur l'effet des fibres métalliques sur le comportement des poutres en béton de sable sans ou avec armatures transversales sont regroupés dans les points principaux suivants:

Résultats de l'étude précédente

- * L'ajout des fibres métalliques induit une augmentation de la masse volumique apparente pour les deux états frais et durci par rapport à celle du béton sans fibres.
- * Les résistances en compression et en flexion de béton de fibres métalliques sont nettement supérieures à celles d'un béton sans fibres (notamment en flexion).
- * Le dosage et l'élanement de fibres métalliques semblent être les facteurs les plus importants qui diminuent le retrait de séchage.
- * En présence d'armature transversale des fibres métalliques sont peu utilisées comme armature supplémentaire pour les poutres en béton armé soumises à la sollicitation de flexion importante.

Puisque notre étude n'est pas encore achevée à cause des conditions actuelles de la pandémie Covid 19, plusieurs questions restent suspendues et doivent trouver des réponses au future, concernant l'efficacité de l'ajout des fibres de polypropylène dans les poutres en béton de sable. Toutes ces questions vont trouver in Chaa Allah un écho au future proche.

Questions posées à travers notre étude?

- * La présence des fibres de polypropylène dans la masse du béton de sable peut-elle affecter négativement sa maniabilité et sa mise en œuvre?
- * Vu le poids faible des fibres de polypropylène, peut-on avoir un béton de sable avec la même masse volumique, mais avec des bonnes propriétés d'isolation thermique et phonique?
- * L'ajout de la fibre de polypropylène peut-il apporter une amélioration du comportement mécanique de notre béton de sable?
- * Peut-on obtenir des poutres en béton de sable ductiles et résistantes lors de la rupture, en les renforçant par des fibres de polypropylène?
- * Est -ce que les fibres de PP peuvent remplacer les armatures transversales dans les poutres en béton armé, notamment dans les nœuds?
- * Les fibres de polypropylène peuvent-elles influencer positivement la stabilité des structures en béton de sable?

III.8 Conclusion

Dans ce chapitre on a fait une comparaison entre les résultats de notre étude et une étude précédente réalisée dans notre laboratoire avec les mêmes sables. La comparaison a touché les caractéristiques des matériaux, les formulations et aussi le comportement des poutres en béton de sable avec ou sans ferraillement transversal.

Différentes compositions de béton de sable ont été testées à l'état frais, nous avons retenu la formulation **F-4** sans addition de fibres. Une bonne maniabilité est alors obtenue en utilisant cette formulation. La recherche d'une bonne formulation de notre béton de sable avec présence de fibres de polypropylène n'a pas été achevée vue les circonstances actuelles du COVID-19. Encore nous n'avons pas pu réaliser les essais mécaniques nécessaires pour la caractérisation de notre béton de sable, ni le suivi du comportement des poutres avec et même sans présence du ferraillement transversal.

Conclusion Générale & Perspectives

Conclusion Générale

Le travail présenté dans ce mémoire avait pour but d'étudier la possibilité d'utiliser des fibres de polypropylène issues d'un déchet plastique comme renforcement des éléments de structure (poutres) en béton armé.

Sachant que le confinement sanitaire nous a malheureusement négativement affecté. Cependant les essais au laboratoire ont été interrompus, ce qui nous a empêché d'achever le travail qui a été programmé.

Le travail nous a permis de mettre les conclusions suivantes en points :

A l'heure actuelle, tout l'effort de la recherche scientifique dans le domaine du béton de sable est orienté principalement vers la recherche des meilleures formulations qui conduisent à des matériaux de performance.

La nature du sable utilisé pour produire un béton influe significativement sur ses propriétés mécaniques et sur sa durabilité.

L'emploi des matériaux locaux influe positivement sur le coût, les aspects environnementaux et sur la qualité des structures.

L'efficacité des fibres, et particulièrement les fibres de polypropylène sur le comportement du béton de sable a été mise en évidence par la majorité des travaux de recherches.

La présente étude nous a permis d'examiner l'effet de l'ajout d'adjuvant et du rapport E/C sur la maniabilité des matrices cimentaires.

Le module de finesse des sables utilisés (SD et SA) dans cette étude est acceptable pour préparer un béton de sable de bonne qualité.

L'équivalent de sable confirme la propreté du sable (SA) et la non propreté du sable de dunes (SD) utilisés dans ce travail.

Les masses volumiques absolues et apparentes des sables (SD et SA) utilisés indiquent qu'il s'agit de granulats conformes aux normes.

Conclusion Générale et Perspectives

Les sables employés (SD et SA) possèdent une très faible capacité d'absorption (Leurs coefficients d'absorption sont inférieurs 6%) et donc ils peuvent donner des mélanges maniables avec une bonne mise en œuvre.

Les deux sables (SD et SA) utilisés dans le présent travail sont de nature siliceuse suite à leur grande teneur en silice SiO_2 . Ces types de sable donnent souvent des meilleures performances, selon la littérature.

Les fibres de polypropylène employées dans cette étude et qui sont issues d'un déchet plastique possèdent des bonnes propriétés mécaniques, donc elles peuvent servir à améliorer la qualité du béton préparé.

La formulation F-4 est la formulation retenue pour le béton de sable sans addition de fibres et qui a donné un mélange de bonne plasticité.

A cause des conditions sanitaires de la pandémie Covid 19, notre étude n'est pas achevée, plusieurs questions restent suspendues et doivent trouver des réponses au future, concernant l'efficacité de l'ajout des fibres de polypropylène dans les poutres en béton de sable. Toutes ces questions vont trouver in Chaa Allah un écho au future proche.

Perspectives

Le présent thème pourrait être développé expérimentalement et complété en mettant l'accent sur d'autres aspects fondamentaux, des futurs travaux sont recommandés dans les points suivants :

- Compléter et finaliser le travail en s'appuyant sur notre étude.
- Etudier l'utilisation des déchets en plastiques et métalliques dans la fabrication des matériaux de construction et participer efficacement à protéger l'environnement en recyclant ces derniers.
- Etudier la possibilité de réparer les fissures avec l'utilisation des fibres polypropylènes dans les différentes constructions.
- Contribution à la substitution des armatures transversales d'une poutre fabriquée en béton de sable de dune par l'addition des plusieurs pourcentages en fibres surtout au niveau des zones où l'effort tranchant est maximal.
- Confirmation de la possibilité de fabrication des poutres en béton de sable de dune sollicitées par la flexion, en réduisant le pourcentage d'acier longitudinal avec l'augmentation du dosage en fibres.

Références bibliographiques

Références Bibliographiques

Abdel-Basset Abdo. M, Hori. M. (2012): "Reliability of using 3-D woven polypropylene fiber in strengthening of a Large-Scal RC Structure Subjected to Seismic Loads". Arabian Journal for Science and Engineering, Vol 37, pp 505-520.

Absie. E. (1994): "Béton de fibres, Synthèse des études et recherches réalisées au CEBTP", Annales de l'ITBTP, N° 520.

Ameziane. S, Boulekbache. B, Hamrat. M. (2011):"Apport des armatures transversales à la résistance à l'effort tranchant des poutres en béton à hautes performances". Site web: Cimanti Scholar.

Azzouz. L, Benabed. B, Belaidi. S.A, Menadi.B. (2008): "Durability of dunes sand mortar in the region of Laghouat- Algeria". International Conference of Construction and Building Technology -,A Vol 32, pp 355-364, 2008.

Baron. J. (1982) : "Les principes de composition du béton de porosité minimale (Le béton hydraulique) ". Presse de l'ENPC. Paris, pp 143-159.

Batata. A, Merouani. Z. (1991): "Le béton de sable de dune: sa formulation et ses propriétés", Séminaire organisé par CNERIB, Biskra, Déc. 1991.

Bederina. M , Khenfer. M, Dheilily. R, et Queneudec. M. (2005):"Reuse of Local Sand: effect of limestone filler proportion on the rheological and mechanical properties of different sand concretes". Cement and concrete research, Vol 35(6), pp 1172-1179.

Belaribi. H. (2007):" l'évaluation de la qualité de béton de fibres in situ par les essais non destructifs (méthodes combinée ultrason et scléromètre)". Thèse de Magister, Université Mohamed Khider, Biskra .

Belbachir. A. (2018):" Etude Expérimentale et Numérique de l'effet d'échelle dans les structures en béton armé soumises au cisaillement". Thèse de doctorat, université Abou Bekr Belkaid Telemcen

Belhadj. B, Bederina. M, Benguettache. K, et Queneudec. M (2014):"Effect of the type of sand on the fracture and mechanical properties of sand concrete". *Advances in concrete construction*, Vol 2(1), pp 13-27.

Benaissa. A, Morlier. P, et Tram. V. (1992a): "Le béton de sable un matériau non fissurant". *Revue Algérie Équipement*, Vol 66, pp 7-11.

Bendjillali. K, Chemrouk. M. (2018): "Study of the reinforcement of structure members by polypropylene fibres waste". *MATEC Web of Conferences*, N° 149, pp 01022

Bendjillali. K, Chemrouk. M, et Boulekbache. B. (2018):"Recycled synthetic waste fibres for the reinforcement of concrete". *WASTES – Solutions, Treatments and Opportunities II – Vilarinho, Castro & Lopes (Eds) © 2018 Taylor & Francis Group, London, ISBN 978-1-138-19669-8*, pp 9-15.

Ben Hammouda. H, Rouane. S. (2015): " Étude du comportement à la flexion d'une poutre en béton de sable renforcé par un déchet métallique". *Mémoire de MASTER*.

Berndt. M.L, Kukacha. L.E. (1995): "Strength and durability of polypropylene fiber reinforced grouts". *Cement and Concrete Research*, Vol 25(3), pp 511-521.

Bernier.G. (1988): " Composition rhéologique, mise en œuvre et composition du béton de fibres métalliques". *C.R journée ENS CACHAN MRES 22-25 NOV, 1988. Composite cement fibre*, p: 19.

Boulekbache. B, Hamrat. M, Chemrouk. M, et Ameziane. S. (2009): "Influence de la rhéologie des bétons renforcés de fibres métalliques sur leur propriétés mécaniques". *SBEIDCO 1st International Conferences on Sustainable Built Environment Infrastructure in Developing Countries ENSET, Oran ,Algeria, October 12-14 (2009)*.

C.E.B.T.P. (1986):"Synthèse des connaissances du béton de sable". *Opération 52 G 119 de Décembre 86*.

Casanova. P. (1996) :" Béton renforcés de fibres métalliques du matériau à la structure". *Etude de recherche des laboratoires des ponts et chaussées, série ouvrages d'art OA20, France, février 1996*.

Chanvillard. G. (1993):"Analyse expérimentale et modélisation micromécanique du comportement des fibres d'acier tréfilées dans une matrice cimentaire". Etude et recherches du LPC 1993.

Chaouach. A. (1993):"Etude des caractéristiques du béton de sable de dunes", Thèse de Magister, Ecole National Polytechnique (ENP), juillet 1993.

Chauvin.J.J. (1991):"Le béton de sable en union soviétiques, Bulletin liaison laboratoire, ponts et chaussés", N°157, Réf 3336, pp 9-19.

Chauvin. J.J, Grimaldi. G. (1988) :"Les bétons de sables, Bulletin liaison laboratoire ponts et chaussées". N°: 174. Réf: 3589, pp 9-15.

Cimebeton. (2006) :"Les bétons: formulation, fabrication et mise en œuvre". Fiches techniques tom 2, centres d'information sur le ciment et ses applications, Octobre 2006.

Debieb. F, Bentchikou. M. (2014):"Valorisation et recyclage des déchets plastiques dans le béton". MATEC Web of Conferences, N° 11, pp 01033.

Dehousse. N, Lejeune. A T, Kuykens. (1974):" Les mortiers et bétons renforcés de fibres d'aciers". Bruxelles, Centre Scientifique et Technique de la Construction, Revue N°2.

Djebali. S. (2013): " Caractérisation des éléments de structures en béton de fibre métalliques". Thèse de doctorat, université Mouloud Mammeri, Tizi-ouzou.

Djelouahi. H. (2017): " Influences des fibres végétales sur les propriétés physico-mécaniques d'un béton". Université M'hamed Bougara, Boumerdes.

Dupain. R, Saint-Arroman. J.C. (2009):"Granulats, Sols, Ciments, et Bétons" Caractérisation des matériaux de génie civil par les essais de laboratoire. Ecole Français Du Béton, Edition : CASTEILLA Février 2009. France.

Festa. J, Dreux. G. (2006):"Nouveau guide de béton et de ses constituants". Eyrolles. Huitième Edition.

Fritih. Y. (2007) : "Apport d'un renfort de fibres sur le comportement d'élément en béton auto-plaçant armé". Thèse de doctorat, université l'INSA de Toulouse.

Gadri. K. (2018) :" Etude expérimentale sur la compatibilité déformationnelle des réparations en béton de sable". Thèse de doctorat. Université Mohamed Khider Biskra.

Guendouz. M, Debieb. F, Kadri. E. (2015) :" Formulation et caractérisation d'un béton de sable à base de déchets plastique". 33^{ème} rencontres de l'AUGC, ISABTP/UPPA, Anglet, France Mai 26-29 (2015).

Guy. L. (1997):"Contribution au recyclage des polyéthylènes par une thermolyse ménagée en solution". Contrôle de mécanismes et valorisation. Thèse de l'université Claude Bernard Lyon 1, France.

Hadjouja. M. (2014):" Influence de l'incorporation des fibres métalliques sur les propriétés physico-mécaniques et sur le mécanisme de fissuration d'un béton de sable de dune ".Thèse de doctorat, USTHB-Alger 2014

Hadjouja. M, Khenfer. M, Mesbah.H, et Yahia. A. (2014):"Statistical models to optimize fiber-reinforced dune sand concrete". Arabian Journal for Science and Engineering, Vol 39(4), pp 2721-2731.

Jaballah Slaoui. A, El Euch Khay. S. (2014): "Valorisation du béton de sable dans le secteur bâtiment". Technologue et maitre technologue à l'institut supérieur des études technologiques de Radès (ISET de Radès).

Kettab. R. (2007) :" Valorisation du sable de dune". Thèse de doctorat ENSP.

Khouadjia. M.L.K. (2016): " Etude des propriétés physico-mécaniques et rhéologiques des bétons à base des sables de carrières : expérimentation et modélisation". Thèse de doctorat, université Mohamed Khider de Biskra.

Kilic. A, Atic. C.D, Yasar. E, et Ozan. F. (2003):" Hight strenght lightweight concrete made with scoria aggregate containing mineral admixtures". Cem, Conc, Res, Vol 33, pp 1595-1599.

Konin. K. (2011): "Use of plastic wastes as a binding material in the manufacture of tiles: case of wastes with a basis of polypropylene". Materials and Structures (2011), Vol 44, pp 1381-1387.

Makhlouf. N. (2010) :"Caractérisation en statique de comportement en traction directe du béton armé de fibres en copeaux". Mémoire de Magister, université de Tizi-Ouzou.

Melais. S, Melais. F, et ACHOURA. D. (2015) :" Influence de la nature et du dosage en fibres sur le comportement physico-mécanique des bétons de sable à base de fillers de laitier granulé, Rev, Sci, technol, Synthèse 30:91 -101, (2015).

Melais. F, ACHOURA. D. (2011):" Formulation et propriétés des bétons de sable de fibre de polypropylène". Laboratoire Génie Civil. Université Badji-Mokhtar , Annaba, BP12, 23000 Annaba, Algérie. XXIXe rencontres universitaires de Génie Civil, Tlemcen, Mai 29-31 (2011).

Newman. J, Choo. B.S. (2003) :"Advanced concrete technology". Editions Elsevier, pp 699.

Paillerie. A.M. (1993) :" Le béton de fibres métalliques état actuel des connaissances". Annales de l'ITBTP, N° 515.

Presse DE L'ENPC. (1996) :"Béton de sable- caractéristiques et pratiques d'utilisation". projet nationale de recherche et de développement SABLOCRETE.

Presse d'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées. (1994): "Béton de sable caractéristiques et pratiques d'utilisation". Projet "SABLOCRETE".

Ramachandran. V.S, Malhotra. V.M, Jolicoeur. C, et Spiratos. N. (1998) :"Superplasticizer: properties and applications in concrete", CANMET, pp 404.

Sablocrete. (1994) :" Béton de sable, caractéristiques et pratiques d'utilisation". Ed. Association Amicale des ingénieurs Anciens Elèves de l'école nationale des Ponts et chaussées. Presse de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées.

Setti. F , Ezziane. K ,Setti. B , et Merzoug. F. (2012):"Etude des comportements des poutres en béton renforcé de fibres métalliques sous chargement monotone croissant". Colloque Internationale (Réduction du risque sismique). Chlef les 10-11 Octobre 2012.

Suiffi. H, EL MALIKI. A, CHERKAOUI. O, et DALAL. M. (2019): " Influence de fibre en polypropylène sur la ductilité d'un béton de sable", 26^{ème} congrès français de mécanique, Aout 26-30 (2019).

Standard EN 933-8, (2012) : Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats- Partie 8: évaluation des fines- équivalent de sable.

Standard NF EN 1097-6, (2014) : Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats- Partie 6: détermination de la masse volumique réelle et du coefficient d'absorption d'eau.

Standard NF EN 12390-5, (2012) : Essais pour béton durci- Partie 5 : résistance à la flexion sur éprouvettes.

Standard NF EN 196-1, (2016) : Méthodes d'essais des ciments- Partie 1: détermination des résistances- Méthodes d'essais des ciments- Partie 1: Détermination des résistances.

Standard NF P15-301, (1994) : Liants hydrauliques. Ciments courants- composition, spécifications et critères de conformité.

Standard NF P18-101, (1983) : Granulats. Vocabulaire. Définition. Classification.

Standard NF P18-103, (1989) : Adjuvants pour béton, mortiers et coulis -Définition et marquage.

Standard NF P18-301, (1983) : Granulats. Granulats naturels pour béton hydrauliques.

Standard NF P18-303, (1941) : Béton- Mise en œuvre- Eau de gâchage pour béton de construction.

Standard NF P18-360, (1985) : Adjuvants pour béton, mortiers et coulis- coulis courants d'injection pour précontrainte - essais mécaniques- flexion- compression.

Standard NF P18-406, (1981) : Bétons- Essais de compression - BETON.

Standard NF P18-452, (2017) : Bétons- Mesure du temps d'écoulement des bétons et mortiers au Maniabilimètre.

Standard NF P18-555, (1990) : Granulats- Mesures des masses volumiques, coefficient d'absorption et teneur en eau des sables.

Standard NF P94-056, (1996) : Reconnaissances et essais- Analyse granulométrique- méthode par tamisage sec après lavage.

Standard PR NF EN 933-2, (2019) : Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats- Partie 2 : Détermination la granularité- Tamis de controle, dimensions nominales des ouvertures

Sulyman. M, Haponiuk. J, et Formela. K. (2016):"Utilization of Recycled Polyethylene Terephthalate (PET) in Engineering Materials: A Review". International Journal of Environmental Science and Development, Vol 7, No. 2, pp 100-108.

Tahenni, T., & Chemrouk, M. (2009):"Etude des flèches et des ouvertures de fissures des poutres en béton armé contenant desfibres d'acier". Proceedings of the First International Conference on Sunstainable Built Environment Infrastructures in Developing Countries, SBEIDCO,Oran Algeria, Vol 2 (32),pp 249–26.

Venuat. M. (1983): " Des fibres pour allège et renforcer le béton", cahiers techniques de bâtiment, 1983. N° 58, pp 59-70.

Webb. H.K, Arnott. J, Crawford. R.J, et Ivanova. E.P. (2012): "Plastic degradation and its environmental implications with special reference to poly (ethylene terephthalate)". Poly, Vol 5, pp 1-18.

Yagoub. M. (2009): " Evaluation de la qualité du béton de fibres in situ cas de béton auto-plaçant avec des fibres mixtes". Université Mohamed Khider , Biskra ,Algérie.

Annexes

Annexe I: Fiche technique du superplastifiant SIKA

Notice technique
Edition octobre 2006
Numéro 2.11
Version n°136.2006 R 001
SIKA® VISCOCRETE® TEMPO 12

SIKA® VISCOCRETE® TEMPO 12

Superplastifiant/Haut Réducteur d'eau polyvalent pour bétons prêts à l'emploi.

Conforme à la norme NF EN 934-2 Tab. 1, 3.1 et 3.2.



Construction

Présentation SIKA VISCOCRETE TEMPO 12 est un superplastifiant/haut réducteur d'eau polyvalent de nouvelle génération non chloré à base de copolymère acrylique.

Domaines d'application

- SIKA VISCOCRETE TEMPO 12 permet la fabrication de bétons plastiques à autoplacants transportés sur de longues distances et pompés.
- Dans les bétons autoplacants, SIKA VISCOCRETE TEMPO 12 améliore la stabilité, limite la ségrégation du béton et rend les formules moins susceptibles aux variations d'eau et des constituants.

Caractères généraux SIKA VISCOCRETE TEMPO 12 est un superplastifiant puissant qui confère aux bétons les propriétés suivantes :

- longue rhéologie (>2h),
- robustesse à la ségrégation,
- qualité de parement.

**Caractéristiques**

Aspect Liquide brun clair

Conditionnement

- Fûts de 230 kg
- CP de 1000 L
- Vrac

Stockage Dans un local fermé, à l'abri de l'ensoleillement direct et du gel, entre 5 et 30 °C. SIKA VISCOCRETE TEMPO 12 peut geler, mais, une fois dégelé lentement et réhomogénéisé, il retrouve ses qualités d'origine. En cas de gel prolongé et intense, vérifier qu'il n'a pas été déstabilisé.

Conservation 1 an en emballage intact

Données techniques

densité 1,06 ± 0,01

pH 6 ± 1

Teneur en Na₂O Eq. ≤ 1 %

Extrait sec 30,2 ± 1,3 %



Teneur en ions Cl⁻	? 0,1 %
Conditions d'application	
Dosage	Plage d'utilisation recommandée : 0,2 à 3 % du poids du liant ou du ciment selon la fluidité et les performances recherchées. Plage d'utilisation usuelle : 0,4 à 1,5 % du poids du ciment ou du liant.
Mise en œuvre	SIKA VISCOCRETE TEMPO 12 est ajouté, soit en même temps que l'eau de gâchage, soit en différé dans le béton préalablement mouillé avec une fraction de l'eau de gâchage.
Précautions d'emploi	En cas de contact avec la peau, laver abondamment à l'eau. Consulter la fiche de données de sécurité accessible par Minitel 3613, code
Mentions légales	Produit réservé à un usage strictement professionnel Nos produits bénéficient d'une assurance de responsabilité civile. «Les informations sur la présente notice, et en particulier les recommandations relatives à l'application et à l'utilisation finale des produits SIKA, sont fournies en toute bonne foi et se fondent sur la connaissance et l'expérience que la Société SIKA® a acquises à ce jour de ses produits lorsqu'ils ont été convenablement stockés, manipulés et appliqués dans des conditions normales. En pratique, les différences entre matériaux, substrats et conditions spécifiques sur site sont telles que ces informations ou toute recommandation écrite ou conseil donné n'impliquent aucune garantie de qualité marchande autre que la garantie légale contre les vices cachés. Nos agences sont à votre disposition pour toute précision complémentaire. Notre responsabilité ne saurait d'aucune manière être engagée dans l'hypothèse d'une application non conforme à nos renseignements. Les droits de propriété détenus par des tiers doivent impérativement être respectés. Toutes les commandes sont acceptées sous réserve de nos Conditions de Vente et de Livraison en vigueur. Les utilisateurs doivent impérativement consulter la version la plus récente de la fiche technique correspondant au produit concerné, qui leur sera remise sur demande.»

Annexe II: Fiche technique du ciment

MATINE

Ciment pour béton exigeant
CEM II/B 42,5 N NA 442

FICHE TECHNIQUE

Réf : DC/FT MT. v03

Analyses et caractérisation

Analyses chimiques

Perte au feu (%), (NA 5042):	7,50 – 12,00
Résidus insolubles (%), (NA 5042):	0,7 – 2,00
Teneur en sulfates SO ₃ (%), (NA 5042):	2,00 – 2,70
Teneur en oxyde de magnésium MgO (%):	1,00 – 2,20
Teneur en chlorures (%), (NA 5042):	0,01 – 0,05
Teneur équivalent en alcalis (%):	0,3 – 0,75

Composition hypothétique du clinker (Bogue)

Silicates tricalciques C ₃ S (%):	58 - 64
Silicates bicalciques C ₂ S (%):	12 - 18
Aluminates tricalciques C ₃ A (%):	6,00 – 8,00
Aluminoferrites tetracalciques C ₄ AF (%):	10,00 – 12,00

Propriétés physiques

Consistance normale de la pâte de ciment (%):	25 – 28,50
Finesse suivant la méthode de Blaine (NA 231):	4150 – 5250
Retrait à 28 jours en µm/m	<1 000
Expansion en mm	0,3 – 2,5

Temps de prise à 20°C (NA 230)

Début de prise (min)	140 - 195
Fin de prise (min)	195 - 290

Résistance à la compression (NA 234)

02 jours (MPa)	≥ 10,0
28 jours (MPa)	≥ 42,5

عنوان المذكرة : السلوك الميكانيكي لعنصر الشعاع الخرساني الليفي بناءً على المواد المحلية

المؤطر: حجوجة مراد و بن الجليلي خضراء

تقديم الطالب (ة): قريز هالة و هبول غيثاء

ملخص: الهدف الرئيسي من هذه الدراسة هو المساهمة في استرداد المواد الطبيعية المحلية (الكثبان الرملية النفايات الناتجة عن محاجر التكسير) من منطقة الأغواط واستغلال المنتجات الثانوية الاصطناعية التي يتم الحصول عليها من مخلفات تصنيع السجاد. اللدائن للاستخدام المنزلي لغرض استخدامها في تكوين الخرسانة الإنشائية. الهدف الثاني من هذا العمل هو دراسة تأثير ألياف البولي بروبيلين الاصطناعية هذه على المقاومة الميكانيكية للانحناء والضغط ، على الانكماش وسلوك الانحناء على عوارض الخرسانة الرملية المسلحة. تم استخدام نوعين من الألياف: رقائق ألياف قصيرة (30 مم) وشرائح ألياف طويلة (60 مم). من خلال هذا العمل ، يمكننا الحكم على أن هذا النوع من الخرسانة يمكن استخدامه لتصنيع العناصر الإنشائية بموثوقية وأمان تامين ، خاصة في المناطق التي قد توجد فيها ضغوط مفرطة. من المرجح أن توسع جميع الملاحظات والاستنتاجات مجال تطبيقات هذه المواد المقواة بالألياف الاصطناعية.

وبالنظر إلى الظروف الحالية لـ COVID-19 وعدم إمكانية وصولنا إلى المختبر ، فإن عملنا لم ينته تمامًا ؛ لقد اقتصرنا على إجراء اختبارات التوصيف للمواد المستخدمة كمكون من مكونات الخرسانة الرملية وصياغة الخرسانة الرملية بدون ألياف.

الكلمات المفتاحية: التقييم ، الخرسانة ، الكثبان الرملية ، الألياف ، البولي بروبيلين ، العارضة ، قوة الانحناء

Memory title : Mechanical behaviour of a fibre concrete beam element based on local materials

présenté par: Guerbouz Hala et Hebboul Ghaitha

Directed by: Hadjouja Mourad & Bendjillali Khadra

Abstract: The main objective of this study is the contribution to the valuation of local natural materials (dune sand) from the Laghouat region and the exploitation of a synthetic by-product obtained from a waste from the manufacture of plastic carpets for household use for the purpose of their use in the composition of structural concrete. The second objective of this work is to study the effect of these synthetic polypropylene fibers on the mechanical resistance to bending and compression, on the shrinkage and on the bending behavior on reinforced sand concrete beams. Two types of fibers were used: short fiber chips (30 mm) and long fiber chips (60 mm). From this work, can we judge that this type of concrete can be used for the manufacture of structural elements with complete reliability and safety, especially in areas where excessive stresses may exist. All observations and conclusions are likely to broaden the field of applications of these materials reinforced with synthetic fibers.

And given the current circumstances of COVID-19 and the non-possibility of our access to the laboratory, our work is not completely finished; we limited ourselves to carrying out the characterization tests of the materials used as a component of our sand concrete and the formulation of the sand concrete without fiber.

Key words: Upgrading, Concrete, Dune sand, Fiber, Polypropylene, Beam, Flexural strength
