

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE 20 AOUT 55 -SKIKDA

Faculté de technologie

Département de Génie civil



SOUTENANCE DE MEMOIRE DE MASTER

Option : Matériaux en Génie civil

-Thème -

Etude des performances d'un béton de sable fibré

Présenté par :

-ZEROUEL Bouchra

Membres de Jury :

M : RAMMACH Karim	MCA	Président	UNIVERSITE 20 AOUT 55 – SKIKDA
Mme : MOHAMED BOUTEBAN Yasmine	MCA	Examineur	UNIVERSITE de Constantine
Mme : KHERRAF Leila	MCA	Promoteur	UNIVERSITE 20 AOUT 55 – SKIKDA
M : ABDELOUAHED Assia	PR	Examineur	UNIVERSITE 20 AOUT 55 – SKIKDA

Année universitaire : 2023/2024

Remerciements

Tout d'abord je remercie le bon DIEU tout puissant de nous avoir donné le courage , la santé et la patience pour accomplir ce travail .

J'exprime mes vifs remerciements à Dr :K H E R R A F L e i l a pour ses conseils et ses remarques de fond, je tiens à elle exprimer ma profonde reconnaissance

Je tiens à exprimer mes sincères remerciements aux président et membres du jury pour l'honneur qu'ils m'ont fait en acceptant d'être membres de jury et de bien vouloir juger ce travail.

Je rends hommage à tous ceux qui, de près ou de loin, m'ont apporté de l'aide pour l'élaboration de ce travail

Je remercie très chaleureusement mes parents, mes sœurs , mes frères, et tous mes collègues.

RESUME

Ce mémoire présente les résultats d'une étude expérimentale sur l'influence de la substitution du sable de dune par des fibres métalliques de type Dramix sur le comportement, à l'état frais et à l'état durci d'un béton de sable fabriqué à partir de matériaux locaux de l'Est de l'Algérie. Pour cela, une substitution volumique partielle du sable dunaire par des taux de fibres métalliques de 0%, 0,25%, 0,50%, 0,75% et 1% a été réalisée. L'ouvrabilité, la densité, l'air occlus, la résistance en compression, la résistance en traction par flexion et par fendage, la dureté, ainsi que les résistances chimiques face aux attaques acides ont été mesurées et comparées à celles d'un béton de sable sans fibre. Les résultats obtenus montrent que l'ouvrabilité du béton a été affectée, mais que les résistances en compression, en flexion et en traction par fendage ont été nettement améliorées. En revanche, il a été constaté que les bétons de sable fibrés sont plus vulnérables aux attaques chimiques que le béton témoin.

Mots-clés : Fibre, Béton de sable, Ouvrabilité, compression, flexion, attaques chimiques.

Abstract

This thesis presents the results of an experimental study on the influence of substituting dune sand with Dramix-type metallic fibers on the behavior of sand concrete, both in fresh and hardened states, made from local materials in Eastern Algeria. For this purpose, a partial volumetric substitution of dune sand with metallic fibers at rates of 0%, 0.25%, 0.50%, 0.75%, and 1% was carried out. Workability, density, entrapped air, compressive strength, flexural and splitting tensile strength, hardness, as well as chemical resistance to acid attacks were measured and compared to those of sand concrete without fibers. The results show that the workability of the concrete was affected, but the compressive, flexural, and splitting tensile strengths were significantly improved. However, it was found that fiber-reinforced sand concretes are more vulnerable to chemical attacks than the reference concrete.

Keywords: Fiber, Sand concrete, Workability, Compression, Flexure, Chemical attacks.

ملخص

Dramix تقدم هذه الرسالة نتائج دراسة تجريبية حول تأثير استبدال رمل الكثبان بألياف معدنية من نوع على سلوك الخرسانة الرملية في الحالة الطازجة والمتصلبة، المصنوعة من مواد محلية في شرق الجزائر. لتحقيق ذلك، تم استبدال حتمي جزئي لرمل الكثبان بنسب من الألياف المعدنية بمعدلات 0%، 0.25%، 0.50%، 0.75%، و 1%. تم قياس قابلية التشغيل، الكثافة، الهواء المحبوس، مقاومة الضغط، مقاومة الشد بالانحناء والشد بالانشطار، الصلابة، وكذلك المقاومة الكيميائية تجاه الهجمات الحمضية ومقارنتها مع تلك الخاصة بالخرسانة الرملية بدون ألياف. أظهرت النتائج أن قابلية تشغيل الخرسانة تأثرت، لكن مقاومة الضغط والانحناء والشد بالانشطار تحسنت بشكل ملحوظ. ومع ذلك، وُجد أن الخرسانات الرملية المدعمة بالألياف أكثر عرضة للهجمات الكيميائية من الخرسانة المرجعية.

الكلمات المفتاحية: ألياف، خرسانة رملية، قابلية التشغيل، ضغط، انحناء، هجمات كيميائية.

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE

Chapitre I :Etat des connaissances sur le béton de sable.

I .Introduction.....	3
II .Historique de béton de sable.....	3
III.1. Définition béton de sable	4
III.2. Les composants du béton de sable.....	5
III.2.1. Les sables.....	5
III.2.2. Les fines d'ajouts.....	5
III.2.3. Les ciments	6
III.2.4. L'eau de gâchage.....	6
III.2.5. Les adjuvants.....	7
III.3. Autres ajouts	7
III.3.1. Les fibres.....	7
III.3.2. Les gravillons	7
III.3.3. Les colorants	7
IV .Formulation de béton de sable	7
IV.1 Approche théorique de la formulation de béton de sable	8
IV.2 Approche expérimentale de la formulation de béton de sable	10
V.1 .Caractéristiques béton de sable	11
V.1 .Maniabilité.....	11
V.2 Compacité.....	11
V.3 Comportement mécanique	12
V.4 Le retrait.....	12
V.5 Fluage	14

VI. Notion sur la durabilité	14
VI.1 Attaque chimique par différents milieux agressifs	15
VI.1.1 Attaques des acides	15
VI.1.2 Les différents types des acides	16
VI.1.3 Mécanisme d'attaque	17
VI.1.4 Sources des acides	18
VI.2 Action des sels	18
VI.3 L'attaque par l'eau de mer	19
VII. Domaines d'emploi des bétons de sable	21
VIII. Limites des bétons de sable	23
IX. Conclusion	23

Chapitre II. l'effet de l'utilisation des fibres dans le béton.

I I .1.Introduction.....	25
I I.2. Généralités sur le béton armé.....	25
II.2. Généralités sur le béton renforcé de fibres métalliques	26
II.3 Les différents types de fibres et domaine d'Application	27
II.3.1 Les fibres métalliques	28
II.4 Rôles des fibres dans le béton.....	28
II.4.1 Effet des fibres dans une matrice.....	29
II.4.2 Influence de l'adhérence fibre –matrice.....	30
II.4.3 Influence de la géométrie de la fibre.....	30
II.4.4 Influence du pourcentage en fibres.....	30
II.4.5 Influence du type de fibres.....	31
II.5 Résistance des bétons de fibres en compression.....	31

II.6 Contrôle de la fissuration de retrait.....	32
II.7 Conclusion.....	33

Chapitre III. Caractérisation des matériaux

III.1 Introduction.....	35
III.2 Les matériaux utilisés dans le béton.....	35
III.3 Caractéristiques des matériaux utilisées.....	35
III.3.1 Sable.....	35
III.3.2 Ciment.....	38
III.3.3 Filler de calcaire	39
III.3.4 Les fibres.....	40
III.3.5 Adjuvant.....	41
III.3.6 Eau de gâchage.....	42
III.4 Commentaires sur les matériaux utilisées.....	42
III.5 Méthodes expérimentales de caractérisation des matériaux.....	42
III.5.1 Masse volumique absolue	42
III.5.2 Masse volumique apparente.....	44
III.5.3 Coefficient d'absorption d'eau.....	45
III.5.4 Equivalent de sable.....	45
III.5.5 Analyse granulométrique.....	46
III.5.6 Module de finesse.....	47
III.6. Conclusion	47

CHAPITRE IV : PROGRAMME EXPERIMENTALE ET METHODOLOGIES DES ESSAIS

IV.1 Introduction.....	49
IV.2 Programme expérimental.....	49
IV.3 Formulation du béton de sable.....	49
IV.3.1 Notation des mélanges d'étude.....	49
IV.3.2 Formulation du béton de sable témoin BS (100%SD).....	50
IV.3.3 compositions des différents mélanges.....	51
IV.3.4 Confection des mélanges retenus.....	51
IV.4 METHODOLOGIE DES ESSAIS.....	53
IV.4.1 Essais effectués sur le béton à l'état frais.....	53
IV.4.1.1 Affaissement au cône d'Abrams.....	53
IV.4.1.2 La densité fraîche	54
IV.4.1.3 Air occlus	55
IV.4.2 Essais à l'état durci	56
IV.4.2.1. Essai de compression.....	56
IV.4.2.2 Résistance à la traction par flexion.....	56
IV.4.2.3 Essai au scléromètre [NF EN 12504-2]	57
IV.4.2.4 Essai d'ultrason [NF EN 12504-4]	58
IV.4.2.5 Retrait.....	58
IV.4.2.6 Gonflement	59
IV.4.2.7.Essai des attaques chimiques [ASTM C267-17]	60
IV.5. Conclusion.....	61
<u>CHAPITRE V : RESULTATS ET DISCUSSIONS</u>	
V.1. Introduction	63
V.1. Caractérisation des bétons à l'état frais	63

V.1.1 L'ouvrabilité.....	63
V.1.2 La densité	64
V.1.3 L'air occlus.....	65
V.2 Caractérisation des bétons à l'état durci	65
V.2.1 La résistance à la compression	66
V.2.2 La résistance à la flexion	67
V.2.3 Résistance à la traction par fendage	68
V.2.4 Le retrait.....	69
V.2.4 L'attaque chimique.....	70
V.2.4.1 Acide HCl et H ₂ SO ₄	70
V.2.5 Essai scléromètre.....	71
V.3 Conclusion	72
Conclusion générale	74
BIBLIOGRAGHE	77

Liste des figures

Figure I.1	Métro de Saint Pétersbourg avec une voûte mince en béton de sable	Page 04
Figure I.2	Influence de la dimension d sur la porosité minimale du béton pour deux tailles D du sable.	Page 09
Figure I.3	Effet de la granularité sur la résistance [Sablocrète, 1994].	Page 12
Figure I.4	Retrait béton de sable	Page 13
Figure I.5	Fluage béton de sable	Page 14
Figure I.6	La détérioration des silos-tours en béton due à l'attaque des acides d'ensilage.	Page 16
Figure I.7	représentation schématique des différents processus d'attaque du béton par l'eau de mer	Page 20
Figure I.8	Le béton de sable en projection (Projection sur surface ancienne. Vue de détail	Page 21
Figure I.9	Le béton de sable dans la préfabrication	Page 22
Figure II.1	Le béton armé	Page 25
Figure II.2	Le béton précontrainte.	Page 26
Figure II.3	Fissuration dans le béton sans et avec fibres	Page 27
Figure II.4	Les fibres métalliques, (formes et dimensions variables).	Page 28
Figure II.5	Effet de la taille d'agrégat sur la distribution des fibres dans un carré avec une longueur égale à la longueur d'une fibre.	Page 29
Figure II.6	. Influence de la longueur des fibres sur la résistance à la traction par flexion.	Page 31
Figure II.7	Courbe contrainte déformation en compression du béton de fibre	Page 32

Liste des figures

Figure III.1	sable d'oued Zhour	Page 35
Figure III.2	La textures du sable utilisé La textures du sable utilisé	Page 36
Figure III.3	Ciment compose CPJ-CEM II 42.5N de Hadjar Essoud	Page 38
Figure III.4	Filler de calcaire	Page 40
Figure III.5	Fibre métallique utilisé.	Page 40
Figure III.6	Adjuvant utilisé.	Page 41
Figure III.7	Masse volumique absolu	Page 43
Figure III.8	Masse volumique apparente.	Page 44
Figure III.9	Coefficient d'absorption de sable	Page 45
Figure III.10	équivalents de sables	Page 46
Figure III.11	Essai analyse granulométrique..	Page 46
Figure IV.1	Malaxeur utilisé.	Page 52
Figure IV.2	Eprouvette avant et après le démoulage	Page 52
Figure IV.3	Conservation des éprouvettes dans un bain d'eau	Page 53
Figure IV.4	Essai d'affaissement	Page 54
Figure IV.5	Essai de la densité à l'état frais	Page 55

Liste des figures

Figure IV.06	Mesure de l'air occlus	Page 55
Figure IV.07	Essai de compression.	Page 56
Figure IV.08	Essai traction par flexion.	Page 57
Figure IV.09	Essai au scléromètre.	Page 57
Figure IV.10	Essai ultrason.	Page 58
Figure IV.11	Essai de retrait.	Page 59
Figure IV.12	Essai de gonflement	Page 60
Figure IV.13	Essai attaque des solutions chimiques	Page 61
Figure V.01	Variation de l'ouvrabilité en fonction de taux de substitution	Page 63
Figure V.02	variation de la densité en fonction de taux de substitution	Page 64
Figure V.03	L'air occlus dans les bétons testés	Page 65
Figure V.04	Evolution de la résistance à la compression des différents mélanges	Page 66
Figure V.05	Résistance à la flexion des échantillons	Page 67
Figure V.06	résultats traction par fendages des bétons	Page 68
Figure V.07	Résultats de retrait en $\mu\text{m}/\text{m}$.	Page 69
Figure V.08	Perte de masse des bétons.	Page 70
Figure V.09	Perte de masse des bétons.	Page 70
Figure V.10	variations de résistance de la surface des bétons	Page 71

Liste des tableaux

Tableau I.01	Compositions théoriques et expérimentales de béton de sable	Page 11
Tableau I.02	Composants du béton menacé par la corrosion	Page 17
Tableau II.01	Différents types de fibres et leur domaine d'application	Page 27
Tableau III.01	Composition chimique	Page 36
Tableau III.02	La masse volumique absolu..	Page 36
Tableau III.03	Les masses volumiques apparentes	Page 36
Tableau III.04	Coefficients d'absorption	Page 37
Tableau III.05	Equivalent de sable.	Page 37
Tableau III.06	analyse granulométrique du sable de dune.	Page 37
Tableau III.07	Module de finesse.	Page 38
Tableau III.08	Caractéristiques Physiques du ciment CPJ 42.5.	Page 38
Tableau III.09	Caractéristiques mécaniques du ciment CPJ 42.5	Page 39
Tableau III.10	Caractéristique Chimique du ciment CPJ 42.5	Page 39
Tableau III.11	Caractéristique chimique du filler calcaire	Page 40
Tableau III.12	caractéristiques de la fibre	Page 41
Tableau III.13	Caractéristiques d'adjuvant utilisé.	Page 41
Tableau IV.01	Notation des mélanges	Page 50
Tableau IV.02	Composition d'un 1m ³ de béton témoin.	Page 50
Tableau IV.03	Compositions des mélanges retenus	Page 51



Introduction générale

INTRODUCTION GENERALE

Le béton de sable est un matériau de construction innovant qui se distingue par l'utilisation (sable) et des granulats grossiers (gravier). Cette particularité confère au béton de sable des propriétés uniques, en faisant un choix intéressant pour diverses applications, notamment dans les projets de construction exclusive de sable comme granulats fins, contrairement au béton traditionnel qui inclut à la fois des granulats fins légers, les éléments préfabriqués et les structures nécessitant une finition de surface de haute qualité.

Le béton de sable présente une excellente maniabilité et cohésion, bonne adaptation aux milieux fortement ferraiillés et meilleures qualités esthétiques, etc. Toutefois, il reste relativement fragile, de ce fait, les constructeurs lui associent des fibres métalliques ou synthétiques, afin d'y remédier à ces faiblesses.

L'objectif de cette étude est d'évaluer l'impact de l'utilisation des fibres métalliques dans un béton de sable fabriqué à partir de matériaux locaux (Est Algérie) et d'examiner les effets de leur incorporation dans la matrice cimentaire à l'état frais et durci, ainsi que sur certains aspects de durabilité.

Nous avons partiellement substitué le sable dunaire par des fibres métalliques de type DRAMYX dans la composition d'un béton de sable ordinaire, avec des taux de substitution de 0%, 0.25, 0.5, 0.75 et 1%. Les propriétés des bétons élaborés, tant à l'état frais qu'à l'état durci, ont été évaluées et comparées à celles d'un béton témoin sans fibre.

Ce mémoire englobe l'ensemble des essais réalisés et des résultats obtenus et est structuré en cinq chapitres :

Chapitre I: Ce premier chapitre présente un état des connaissances sur le béton de sable.

Chapitre II : Ce chapitre traite de l'effet de l'utilisation des fibres dans le béton

Chapitre III : Le troisième chapitre est consacré à la présentation des caractéristiques physiques, mécaniques et chimiques des matériaux utilisés.

Chapitre IV: Dans le quatrième chapitre, le programme expérimental, les différentes compositions testées ainsi que les méthodes d'essais utilisées sont détaillés.

Chapitre V : Le cinquième chapitre relate les résultats expérimentaux obtenus ainsi que l'interprétation des phénomènes observés.

Enfin, une conclusion générale clôture notre étude.



Chapitre I

Chapitre I. État des connaissances sur le béton de sable.

I- Introduction

Le béton, depuis longtemps, a trouvé sa place d'application dans les différents types de construction à savoir : les constructions civiles, industrielles et hydrauliques, son intérêt réside de sa grande facilité de mise en œuvre, sa résistance en compression, sa durabilité, son ouvrabilité et son coût acceptable. Toutefois, ces bétons sont encore peu employés et leurs mises en œuvre ont encore un caractère exceptionnel, essentiellement à cause de leurs coûts élevés liés à l'utilisation importante de composants onéreux (fumée de silice, ciment, superplastifiant, et, dans une moindre mesure, de sable siliceux fin et très pur).

Béton dans lequel le sable constitue le seul granulat. Sa composition diffère d'un mortier car il contient généralement plus de fines. Ce type de béton, utilisé pour valoriser les ressources naturelles locales en l'absence d'autres granulats, possède une résistance mécanique plus faible que les bétons courants.

II- Historique de béton de sable

Il y a plus de deux mille ans, les romains utilisaient comme liant la chaux vive obtenue par la cuisson du calcaire. Ils employèrent cette chaux mélangée à du sable après avoir constaté que lorsque ce sable était d'origine volcanique, ils obtenaient un produit très résistant, durable et capable de faire prise avec l'eau. De grands monuments tels les « Panthéon », les « Colisée » témoignent de la durabilité du premier matériau composite de l'histoire des techniques industrielles.

En union soviétique, le béton de sable est une technique connue depuis très longtemps. A l'origine, son développement tient à l'absence de granulats dans de nombreuses régions de ce pays, mais à l'heure actuelle, il est même préféré au béton traditionnel dans certains emplois ; en particulier, les travaux de réhabilitation par projection (ponts, bâtiments, silos, égouts, etc.). Mais, l'utilisation du béton de sable proprement dit, et à grande échelle, a commencé en France à la deuxième moitié du 19ème siècle ; suite aux travaux effectués par F. Coignet qui a procédé au mélange sans caillou, de sable et peu d'eau, de cendres, de scories de charbon brûlé, de terre argileuse cuite et pilée et de la chaux hydraulique afin de réaliser plusieurs ouvrages. Ceux-ci constituent les premières applications de cette technique dont certains sont encore en service. Les possibilités qu'offrait ces matériaux et vu la rareté des agrégats en URSS ; cette technique a été utilisée à grande échelle et ceci suite aux travaux effectués par le

comte Nicolas de Rochefort en 1918. Durant les années vingt elle est tombée en sommeil et ce n'est que durant la deuxième guerre mondiale qu'elle est devenue d'actualité grâce à ses propriétés spécifiques, à la pénurie des gros granulats dans certaines régions et bien entendu à la disponibilité de gros gisements de sable. Les Russes construisent des pistes aéronautiques et composantes du génie civil en béton de sable où ils ont développé une méthodologie de formulation et de mise en œuvre dans la préfabrication et projection.

En France, ce n'est qu'à partir des années soixante-dix qu'un réel regain d'intérêt s'est manifesté en faveur du béton de sable, notamment dans le sud-ouest. Les premières applications ont été réalisées avec succès à partir des années quatre-vingt, à l'initiative du laboratoire régional des ponts et chaussées de Bordeaux. Devant les succès de ces expériences, le projet SABLOCRETE a vu le jour en 1988.

En Algérie, malgré l'abondance de sable de dunes dans le sud du pays, ce matériau reste inconnu. Une tentative du CNERIB en 1988 a été vite abandonnée, et elle reste sans suite. Le même sable (sable de dunes) a été utilisé au Golf d'Arabie pour la construction de murs de soutènement et pour la préfabrication des dalles et plancher.[1]



Fig.I.1 Métro de Saint Pétersbourg avec une voûte mince en béton de sable

III.1. Définition béton de sable :

Un béton de sable est un béton fin constitué par un mélange de sables, de ciments, d'additions et d'eau ; et éventuellement des adjuvants. Pour répondre aux besoins de certains usages, des ajouts spécifiques peuvent être envisagés : gravillons, fibres, colorants...

Un béton de sable chargé est un béton de sable comportant un ajout de gravillon avec un rapport gravillon (G) / sable (S) est inférieur à 0,7 ($G / S < 0,7$).[2]

III.2. Les composants du béton de sable :

III.2.1. Les sables :

Par sables on entend tous granulats 0/D conformes aux définitions des normes NF P 18-101 et NF P18-301*. Il s'agit soit d'un sable naturel alluvionnaire ou de ballastière, soit d'un sable de carrière issu du concassage d'une roche massive ou détritique.

Aucun critère granulaire n'est à priori exigible pour réaliser un béton de sable : on peut utiliser aussi bien un sable fin même (horométrique, type sable de dune) qu'un sable alluvionnaire moyen ou grossier ou de type (0/D) de concassage. La seule restriction d'emploi des sables réside dans leur propreté. Même si des études ont été faites sur les sables- pollués, aucune application n'a été réalisée avec ces sables. Les sables riches en fines naturelles nécessitent généralement beaucoup plus d'eau de gâchage, ce qui entraîne une chute de la résistance. Mais il est plus prudent à ce stade de se limiter à l'utilisation des sables propres tels qu'ils sont employés pour les bétons classiques.

- A- **Sable de dune** : c'est une variété des sables de mer. Il est donc très fin. Les sables de dune se trouvent dans les régions sud du pays. Ils sont situés en zone présaharienne. Les sables retenus sont ceux issus des dunes continentales. Ces dunes sont constituées des nombreux amas de sables fins accumulés dans certaines régions spécifiques du Sahara.
- B- **Sable de rivière** : il est obtenu par dragage des lits des cours d'eau. Il doit être dur et propre pour qu'on puisse l'utiliser dans les bétons.
- C- **Sable de mer** : il provient des côtes de la mer. Pour l'utiliser dans les bétons, il faut qu'il ne soit pas trop fin et qu'il soit lavé de son sel.
- D- **Sable de carrière** : Il contient souvent de l'argile qui enrobe les grains et les empêche.

III.2.2. Les fines d'ajouts :

La compacité est l'une des qualités essentielles du béton, elle est en relation directe avec les principales caractéristiques du béton, comme la résistance en compression, en traction, le module de Young, le fluage... etc.

A- Filler calcaire :

Le filler calcaire est un matériau très finement broyé, dont les plus gros grains ne dépassent pas 80 μm , ayant une finesse à peu près identique à celle du ciment portland. Il a pour rôle de remplir les vides entre les sables.

L'addition de filler calcaire peut avoir plusieurs fonctions, comme par exemple compléter la courbe granulométrique d'un ciment déficient en grains fins, et compléter aussi la granulométrie du sable comme le cas des bétons de sable.

B- Fumé de silice :

La fumée de silice est une nouvelle venue parmi les liants hydrauliques. A l'origine, elle a été présentée comme une pouzzolane. Cependant, son action dans le béton n'est pas seulement celle d'une pouzzolane très réactive, car elle présente d'autres qualités particulièrement bénéfiques pour les bétons. Ajoutons cependant que la fumée de silice est un matériau peu économique.

Les fumées de silice sont un sous-produit de l'industrie du silicium et de ses alliages. Elles sont formées de particules sphériques de très faible diamètre (de l'ordre de 0.1 μm). Pour entrer dans la composition d'un ciment en tant que constituant principal, elles doivent comporter au moins 85% (en masse) de silice amorphe et avoir une surface massique supérieur à 15 m²/g.

III.2.3. Les ciments :

Le choix du ciment pour confectionner un béton de sable est conforme à la norme NF P15-301, le choix du ciment est fait à partir de sa classe de résistance, de ses caractéristiques d'hydratation, de l'agressivité du milieu. D'une façon générale, de la composition du béton et de l'usage auquel il est destiné.

Pour bien exploiter l'activité hydraulique des fines d'additions au mélange du béton de sable, les ciments type CPA (ciment portland) sont préférables.

III.2.4. L'eau de gâchage :

L'eau utilisée pour la confection des bétons de sable est conforme à la norme NF P15-303 L'eau efficace comprend, en plus de l'eau de gâchage, une quantité non négligeable d'eau apportée par les additions d'adjuvants et autres ajouts et surtout par les sables.

III.2.5. Les adjuvants :

Les adjuvants sont les produits qui sont incorporés en très faible quantités aux bétons (dose inférieure à 5% du poids de ciment) avant ou pendant le malaxage, dans le but d'améliorer certaines propriétés, soit à l'état frais, ou pendant la prise et le durcissement, soit à l'état durci. On définit le superplastifiant d'après son action principale, même s'il a plusieurs actions secondaires.

III.3. Autres ajouts :**III.3.1. Les fibres :**

Elles sont surtout utilisées dans le but de réduire le retrait au premier âge : dosage et nature sont des paramètres très importants pour assurer l'efficacité de cet ajout.

III.3.2. Les gravillons :

Le béton de sable peut contenir un certain pourcentage de gravillons et conserver sa dénomination de « béton de sable chargé ». En effet, tant que les gravillons sont dispersés dans le sable, et ne constituent pas un squelette structuré, le comportement reste le même, l'ajout de gravillons en faible dosage peut améliorer certaines caractéristiques du béton de sable telles que la maniabilité, le retrait, le fluage et la résistance mécanique.

En pratique, on pourra considérer qu'on a affaire à un béton de sable tant que le rapport massive G/S (gravillon/sable) reste inférieur à 0,7.

III.3.3. Les colorants :

Dans certains usages particuliers du béton de sable, les colorants utilisés dans le béton classiques peuvent également être utilisés, à condition de prendre soin de l'homogénéisation et la stabilité de la teinte au cours du temps, pour cela il est recommandé de procéder à une formulation appropriée à ce cas. [3]

IV. Formulation de béton de sable :

L'étude de formulation consiste à trouver le mélange optimal qui répond aux critères techniques et économiques fixés dans la norme.

IV.1 Approche théorique de la formulation de béton de sable :

Le problème de la formulation d'un béton s'articule sur l'optimisation de la compacité du squelette granulaire. Cette compacité est définie comme le rapport du volume développé par les constituants solides sur le volume total et correspond au complément à l'unité de la porosité.

Etape 1 : l'estimation du dosage en fines

L'approche théorique commence par l'estimation du dosage en fines qui s'inspire principalement de la formule de CAQUOT qui a pu établir, à partir de résultats expérimentaux, une relation mathématique entre le volume des vides (v) d'un mélange granulaire et son étendue granulaire (d/D) :

$$V = V_0 (d/D)^{1,5}$$

Où,

V_0 : constante empirique, des valeurs de l'ordre de 0,7 à 0,8 permettent également d'obtenir une bonne estimation de la porosité du mélange granulaire.

d : correspond à la dimension du tamis retenant 90 % des granulats.

D : correspond à la dimension du tamis retenant 10 % des granulats.

Cette formule suppose que le mélange défini par son étendue granulaire est optimisé (la répartition des grains à l'intérieur de cette étendue granulaire est telle que le mélange présente une porosité minimale).

Pour l'optimisation la compacité des constituants du béton de sable, ces constituants sont séparés en deux fractions, les fines regroupant l'ensemble des grains de tailles inférieures à 80 μm et le sable couvrant l'étendue granulaire 80 $\mu\text{m}/D$ (D étant défini ici comme le diamètre maximal du sable).

Etape 2 : estimation de dosage en eau

Les vides inters granulaires se décomposent en la somme d'un volume d'eau (e) et d'un volume de vides piégés (v), porosité minimale théorique du béton est donnée par la relation de la compacité de CAQUOT :

$$(e + v)_{\min} = 0,8 \left(\frac{d}{D} \right)^{0,2}$$

d/D : l'étendue granulaire y compris les fines.

Le calcul de la porosité minimale nécessite la valeur de d , borne inférieure de l'étendue granulaire. L'estimation de cette valeur est délicate, compte tenu des effets de floculation dans l'eau qui peuvent se produire à l'échelle des fines particules. Ainsi, dans le cas de mélange totalement défloculer, d peut être défini comme la moyenne harmonique de la dimension des grains du constituant le plus fin.

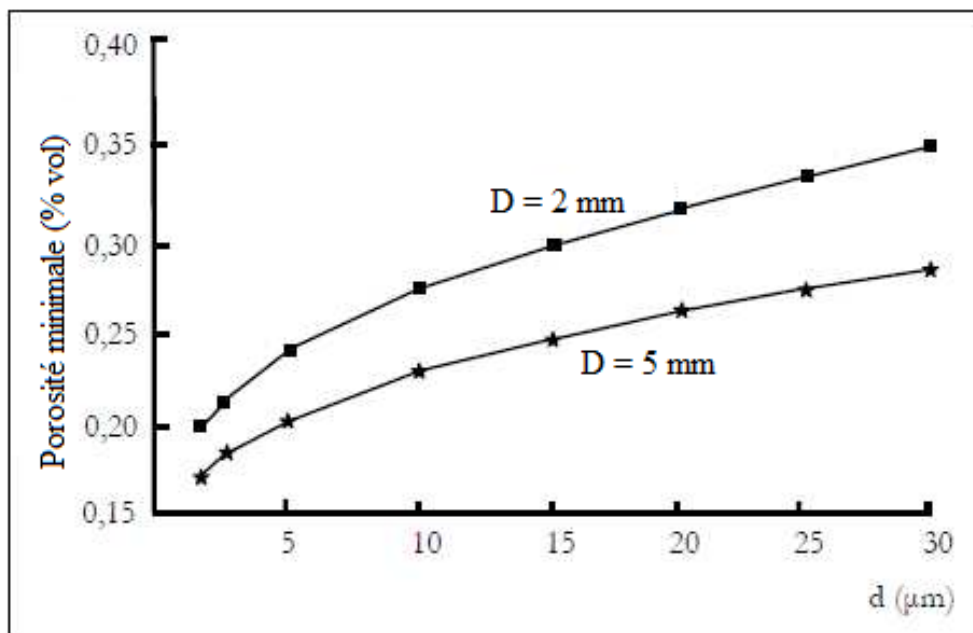


Fig. I.2. Influence de la dimension d sur la porosité minimale du béton pour deux tailles D du sable.

Par sécurité, il sera préférable de mettre en œuvre un dosage en eau légèrement supérieur au dosage théorique obtenu au minimum de porosité, il faut préalablement évaluer la quantité d'air piégée. Dans le cas des bétons de sables, cette quantité est légèrement supérieure à ce qu'elle est dans les bétons ordinaires. Un ordre de grandeur peut être obtenu par la formule suivante, qui conduit à des teneurs en air de l'ordre de 3 à 5 %.

$$[\text{Vide}] = k [\text{eau}] \text{ (l/m}^3\text{)}$$

Avec k compris entre 0,2 et 0,25.

En ce qui concerne l'estimation du dosage en sable, il suffit de compléter au mètre cube la somme des dosages des constituants fines, eau et vides. Nous avons alors :

$$[\text{Sable}] = 1\,000 - [\text{fines}] - [\text{eau+adj}] - [\text{vides}] \text{ (l/m}^3\text{)}$$

IV.2 Approche expérimentale de la formulation de béton de sable :

Différentes formulations de bétons de sable ont déjà été réalisées par cette méthode bétons de pieux, bétons routiers, bétons de projection, etc. et ont donné toute satisfaction.

L'objectif de la méthode expérimentale n'est pas d'expliquer ou de formuler les phénomènes qui entrent en jeu dans la formulation du béton.

Les différentes étapes de la formulation sont :

- Détermination d'une formule de base sans fines d'addition
- Choix de la teneur en ciment ;
- Fixation d'une teneur en eau ;
- Détermination d'un dosage en sable ;
- Réglage de la maniabilité et du rendement ;
- Détermination du dosage en fines d'addition ;
- Adaptation de la maniabilité à la mise en œuvre ;
- Contrôle des résistances ;
- Corrections éventuelles.

Le dosage en eau, il peut être évalué par une autre formule théorique en fonction de la porosité du squelette granulaire :

$$e = (800/1 + \rho) * (d/D)^{1/5}$$

ρ : compris entre 0.1 et 0.15 ;

Enfin, on suit la même démarche que celle de la formule pour estimer le dosage en fine calcaire, puis il suffit de compléter au mètre cube la somme des dosages des constituants pour calculer le dosage en sable. [4]

Tableau I.1. Composition théorique et expérimentale du béton de sable.

Tableau : compositions théorique et expérimentale du béton de sable.

	Référence	Composition théorique	Composition expérimentale	Composition corrigée
Formule	Sable [Kg/m ³]	1615	1601	1433
	Ciment [Kg/m ³]	335	350	350
	Addition [Kg/m ³]	154	140	140
	Adjuvant [%]	1*	1*	1*
	Eau [Kg/m ³]	175	180	210
Calcul	Masse totale [Kg/m ³]	2282.4	2274.5	2176.5
	Volume total [l/m ³]	1000	1000	1000
	e/C+k.A	0.36	0.5	0.67
	A/A+C	0.32	0.29	0.29
	Affaissement [cm]	/	3.9	5
* pourcentage du poids du liant équivalent				

V. Caractéristiques béton de sable

V.1 Maniabilité

En général, la maniabilité d'un béton dépend essentiellement de la quantité d'eau utilisée. Le béton de sable, où les granulats sont caractérisés par une grande surface spécifique, nécessite plus d'eau que le béton classique, ceci se traduit par des valeurs du rapport E/C systématiquement supérieures à 0,5 et se situe généralement entre 0,6 et 0,7. Cependant si l'on considère le rapport E/ (C+ F) (eau/ciment + filler), on obtient des valeurs similaires à celles des bétons classiques [5].

V.2 Compacité

La compacité d'un granulat est définie comme le rapport du volume solide sur le volume total et correspond à un complément à l'unité de la porosité. C'est l'un des paramètres qui influe sur les performances du béton. Elle est bien sûr complémentaire à la porosité [6].

Dans un mélange granulaire, plus le diamètre du plus gros grain diminue, plus la porosité augmente. C'est le cas des granulats des bétons de sable, où le diamètre ne dépasse pas 5 mm. Bien que dans ce cas-là cet inconvénient soit compensé par l'ajout de fines, le béton de sable reste toujours moins compact qu'un béton ordinaire.

V.3 Comportement mécanique

La résistance mécanique est l'une des caractéristiques majeures pour un béton. De ce fait, il est indispensable pour n'importe quelles études de prendre en considération les résistances à la rupture en traction et en compression.

On constate pour une même valeur du rapport E/C, que la résistance n'est pas trop influencée par le diamètre maximal des grains de sable (D_{max}) (Fig. I.12). Mais la maniabilité s'améliore avec l'augmentation de D_{max} . Par contre à des rapports E/C différents et à une maniabilité constante, la résistance diminue avec la diminution de D_{max} . Ceci est dû, comme nous l'avons déjà vu, au besoin plus élevé en eau. Notons qu'à une même maniabilité, la résistance du béton de sable dunaire est nettement inférieure à celle du béton de sable alluvionnaire [7].

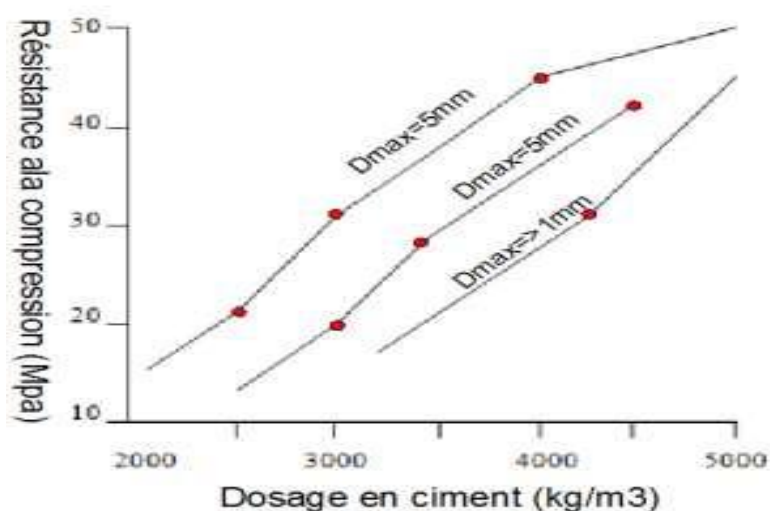


Fig. I.3 : Effet de la granularité sur la résistance [Sablocrete, 1994].

V.4 Le retrait

En l'absence de toute charge, le béton se déforme de façon spontanée, ses déformations sont liées à l'humidité du support de stockage. Pour les bétons conservés à l'air, les dimensions initiales diminuent. Il s'agit d'un phénomène connu sous le nom de retrait.

On a des principaux types de retrait :

V.4.1 Retrait de séchage

Qui est le retrait le plus célèbre. Il apparait au cours des premiers mois, c'est-à-dire lors du durcissement du béton.

V.4.2 Retrait plastique

Est due à une diminution du volume d'eau par évaporation, alors que le béton à l'état plastique et encore déformable.

V.4.3 Retrait chimique (retrait endogène)

Est celui qui se passe dans le béton qui durcit dû au développement de la réaction d'hydratation. La plupart des recherches ont envisagé des études sur ce qu'on appelle le béton de sable, cependant on remarque que le béton de sable de dunes présente des propriétés presque similaires à celles de béton ordinaire, tel que la résistance à la compression, l'ouvrabilité, l'élasticité, mais en revanche, le béton de sable de dunes donne des valeurs de retrait très importantes par rapport au béton ordinaire.[8]

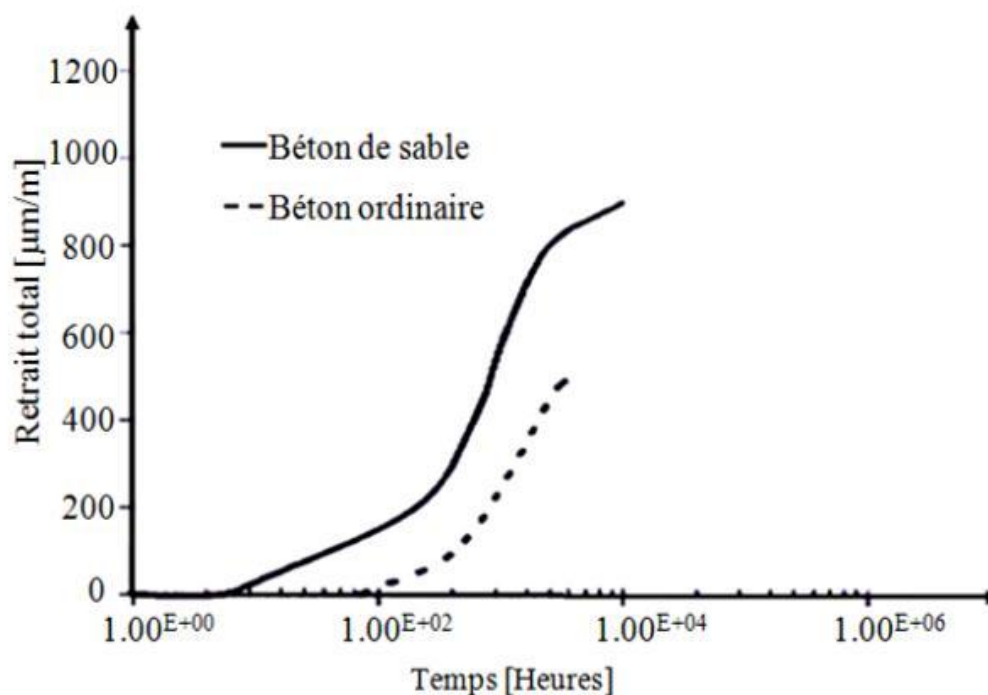


Fig.I.4 : Retrait béton de sable

V.5 Fluage :

Le fluage est une déformation qui résulte de l'effet d'une contrainte constante appliquée au béton. Afin d'atténuer ce phénomène, il est conseillé de réduire le dosage en ciment en ajoutant des granulats.

Les essais de fluage effectués ont concerné les bétons de sable et les bétons ordinaires afin de les comparer. La figure montre que la valeur du fluage du béton de sable est plus importante que celle du béton classique. Ceci est lié aux paramètres rentrant dans la composition des deux matériaux et qui influent systématiquement sur les déformations et donc sur les résistances. [9]

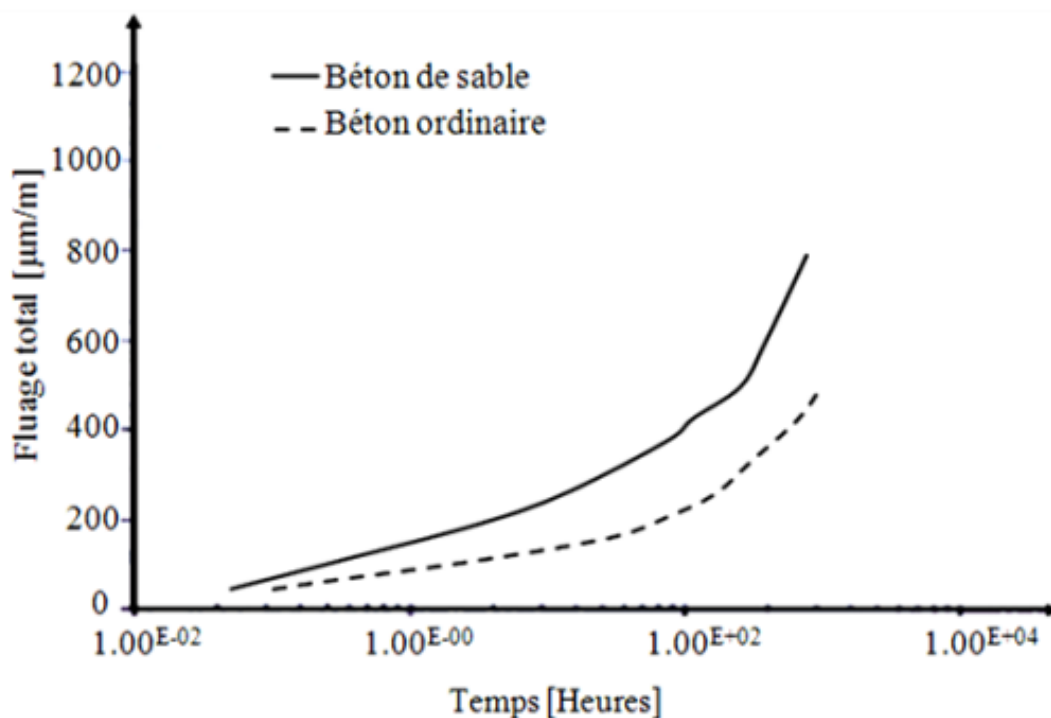


Fig. I.5: Fluage béton de sable

VI. Notion sur la durabilité

La durabilité du béton s'explique en grande partie, par la difficulté qu'ont les agents agressifs à pénétrer dans les réseaux poreux des bétons. Traditionnellement l'aptitude d'un béton à résister à la dégradation – c'est-à-dire sa stabilité - était d'apprécier par sa résistance à

la compression. Bien qu'une forte résistance soit une propriété liée étroitement à la structure poreuse, à la perméabilité et la diffusivité et par conséquent à la durabilité. Ces deux grandeurs physiques permettent de caractériser l'aptitude des bétons à résister à l'intrusion des agents agressifs.

La perméabilité est relative au déplacement d'un fluide sous l'effet d'une pression motrice.

Elle dépend de la taille des espaces poreux dans lesquels s'écoule le fluide, ainsi que leur interconnecte la figure. La diffusivité est relative au déplacement d'une espèce chimique à l'échelle moléculaire sous l'effet d'un gradient de concentration. Contrairement à la perméabilité, la diffusivité dans un matériau poreux ne dépend pas de la taille des pores, elle dépend que de leur interconnexion.

VI.1 Attaque chimique par différents milieux agressifs :

Les ouvrages en béton peuvent se trouver dans des milieux, industriels au naturel, agressifs pour le béton et/ou l'action des armatures. En raison des interactions du béton avec des influences externes, la durabilité du béton peut être menacée et perdue. Parmi les facteurs menaçants on site, le cycle gel/ dégel, l'abrasion, corrosion d'acier, l'attaque chimiques qui peuvent détériorer le béton ACI Commette 201 à classé les attaques chimiques comme suit [10].

- Attaque acide.
- Attaque alcaline.
- Carbonatation.
- Attaque par les chlorures
- Lixiviation.
- Attaque par les sulfates.

VI.1.1 Attaques des acides

Les attaques acides se font principalement suivant un mécanisme de dissolution. Suivant le cas, le phénomène de dissolution peut être accompagné de la précipitation du sel formé lors de la réaction base + acide si le sel est peu soluble. Ce sel peut avoir un effet colmatant et ralentir les réactions de dissolution.

Le produit final de dégradation par un acide peut-être un gel de silice résultant de la décalcification totale des C-S-H qui, peut avoir un rôle protecteur à la surface du béton et ralentir les réactions. Ces auteurs insistent également sur le fait que les conditions de transport de l'agent agressif sont plus importantes que sa concentration.



Fig. I.6 : La détérioration des silos-tours en béton due à l'attaque des acides d'ensilage.

VI.1.2 Les différents types des acides :

Les acides peuvent être divisés en acides organiques et acides inorganiques : l'acide chlorhydrique, l'acide nitrique et l'acide sulfurique par exemple sont des acides inorganiques

L'acide formique, l'acide acétique et l'acide oléique sont des acides organiques. Les acides inorganiques sont plus nuisibles pour le béton que les acides organiques.

A- Acides organiques :

Les acides organiques tels que l'acide acétique, lactique, butyrique, formique, contenus dans certains eaux usées, attaquent les constituants calciques du ciment. Ces acides faibles, peu dissociés, sont généralement modérément agressifs et provoquent des dégradations lentes.

B- Acides minéraux :

Les acides chlorhydriques et nitriques réagissent avec la chaux de ciment et donnent des sels très solubles, sont très agressifs vis-à-vis des ciments portland.

L'acide sulfurique H_2SO_4 est doublement agressif par son acidité et par l'anion SO_4^{2-} qui peut conduire à la formation de sels expansifs tel que le gypse et l'étrangement.

L'acide phosphorique H_3PO_4 , qui entraîne la précipitation de phosphates de calcium très peu solubles, est modérément agressif.

VI.1.3 Mécanisme d'attaque

Le béton est très alcalin en nature, il est extrêmement susceptible à l'attaque de l'acide. Le mécanisme pour ce processus est très simple. De façon générale, les réactions chimiques et ou l'élimination physique n'endommage qu'un ou deux composants de la pâte de ciment.

Tableau2 : Composants du béton menacé par la corrosion.

Composants du béton	Désignation	Formule chimique
Pâte de ciment	Hydroxyde de calcium (CH)	Ca (OH)₂
	Silicate de calcium hydraté (CSH).	3CaO·2SiO₂·3H₂O
	Aluminate de calcium hydraté	3CaO·Al₂O₃·6H₂O
	Aluminate de calcium ferrique hydraté	6CaO·Al₂O₃·Fe₂O₃·12H₂O
Granulats	Calcaire (Carbonate de calcium)	CaCO₃
	Dolomite	Ca Mg (CO₃)₂
	Grès amorphe	SiO₂·xH₂O

Des acides plus agressifs tels que les acides chlorhydriques, acétiques, nitriques, et sulfuriques produisent les sels de calcium qui sont très solubles. Les acides moins agressifs tels que les acides phosphoriques et humiques produisent des sels de calcium avec une faible solubilité. Ces sels de basse solubilité peuvent agir en tant qu'inhibiteur partiel au processus global en bloquant les pores dans la pâte de ciment par lesquels l'eau passe. Ceci réduit la quantité de sels de calcium qui entrent dans la solution et retardent le processus global.

Un cas plus agressif et plus destructif d'attaque par l'acide se produit lorsque le béton est exposé à l'acide sulfurique. Le sel de calcium produit par la réaction de l'acide sulfurique et de l'hydroxyde de calcium est un sulfate de calcium qui cause alternativement une dégradation accrue due à l'attaque de sulfate.

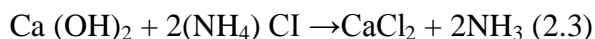
VI.1.4 Sources des acides

Les milieux acides les plus fréquents sont :

- Les eaux naturelles dans les tourbières et les marécages, où le pH peut s'abaisser jusqu'à 4.
- Les milieux industriels : dans les industries chimiques ainsi que les industries agroalimentaires.
- Les réseaux d'égouts : l'activité bactérienne conduit au dégagement d'hydrogène sulfuré par la transformation des produits soufrés qui, combiné à l'humidité atmosphérique se condensent sous forme d'acide sulfurique qui va attaquer le béton.
- Les pluies acides, qui contiennent principalement de l'acide sulfurique et de l'acide nitrique, ayant un pH entre 4.0 et 4.5, peuvent provoquer la dégradation de la surface exposée du béton.

VI.2 Action des sels :

De très nombreux sels attaquent la pâte de ciment durcie en formant des sels solubles dans l'eau, lesquels sont lessivés. Tous les sels de magnésium, à l'exception du sulfate de magnésium très difficilement soluble dans l'eau sont ainsi à même de remplacer les ions de calcium dans la pâte de ciment durcie. Il se forme à la surface du béton de l'hydroxyde de magnésium et des silicates de magnésium, qui empêchent une autre attaque. L'hydroxyde de magnésium se présente toutefois sous forme de masse molle, gélatineuse, qui est emportée par l'eau coulant plus rapidement. Les sels d'ammonium dissolvent sur tout le $\text{Ca}(\text{OH})_2$ de la pâte de ciment durcie, ce qui engendre de l'ammoniac. Pour le chlorure d'ammonium, la réaction est par exemple :



Hydroxyde de calcium + chlorure d'ammonium chlorure de calcium + ammoniac

L'ammoniac libéré, une base se dissout dans l'eau. Il n'attaque pas le béton. Le carbonate d'ammonium et le fluorure d'ammonium, qui engendreraient du carbonate de calcium et de fluorure de calcium, des composés difficilement solubles, ne sont pas dangereux pour la pâte de ciment durcie. Contrairement à l'armature, la pâte de ciment durcie n'est altérée par les ions de chlorure que s'ils sont fortement concentrés. Dans l'eau de gâchage, les chlorures accélèrent l'hydratation du clinker Portland encore existant. Par réaction avec les

aluminates hydratés, les ions de chlorure se transforment en chlorure d'aluminates difficilement solubles, par exemple $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, partiellement fixés dans le béton.

VI.3 L'attaque par l'eau de mer

La durabilité du béton en milieu marin est un problème complexe en raison du nombre de facteurs pouvant intervenir lors d'une attaque par l'eau de mer qui se résumant comme suit : complexité des conditions environnementales (immersion totale, marnage, aspersion, embruns). Complexité des réactions chimiques susceptibles de se produire en relation avec la diversité des ions présents dans l'eau de mer (action simultanée des chlorures, des sulfates, des carbonates), certaines réactions pouvant avoir un effet atténuateur (carbonatation, précipitation de brucite $\text{Mg}(\text{OH})_2$).

Les principaux sels qui composent l'eau de mer sont les suivants :

- Le chlorure de sodium (NaCl) qui est prépondérant ;
- Le chlorure de magnésium (MgCl_2) ;
- Le sulfate de magnésium (MgSO_4) ;
- Le sulfate de calcium (CaSO_4) ;
- Le chlorure de calcium (CaCl_2) ;
- Le carbonate acide de potassium (KHCO_3).

Dans les zones immergées en permanence, l'agressivité chimique de l'eau de mer vis-à-vis des bétons fabriqués suivant les règles de l'art est modérée et, sauf conditions exceptionnelles (gel par exemple) les dégradations restent superficielles. Dans ces zones, où le béton est constamment saturé, les risques de corrosion des aciers sont également limités du fait du très faible coefficient de diffusion de l'oxygène dans l'eau.

Les zones de marnage, les zones soumises à des projections ou des embruns sont les plus exposées en raison des actions physiques qui viennent se superposer aux processus chimiques effets mécaniques des vagues et érosion par les sables et graviers, cycles d'humidification/séchage, variations de température journalières et saisonnières, dissolution/recristallisation de sels (chlorure de sodium) ... Les risques de corrosion des aciers sont également les plus importants dans ces zones.

Dans les zones aériennes, le béton est exposé à l'air véhiculant du sel marin mais n'est pas en contact avec l'eau de mer.

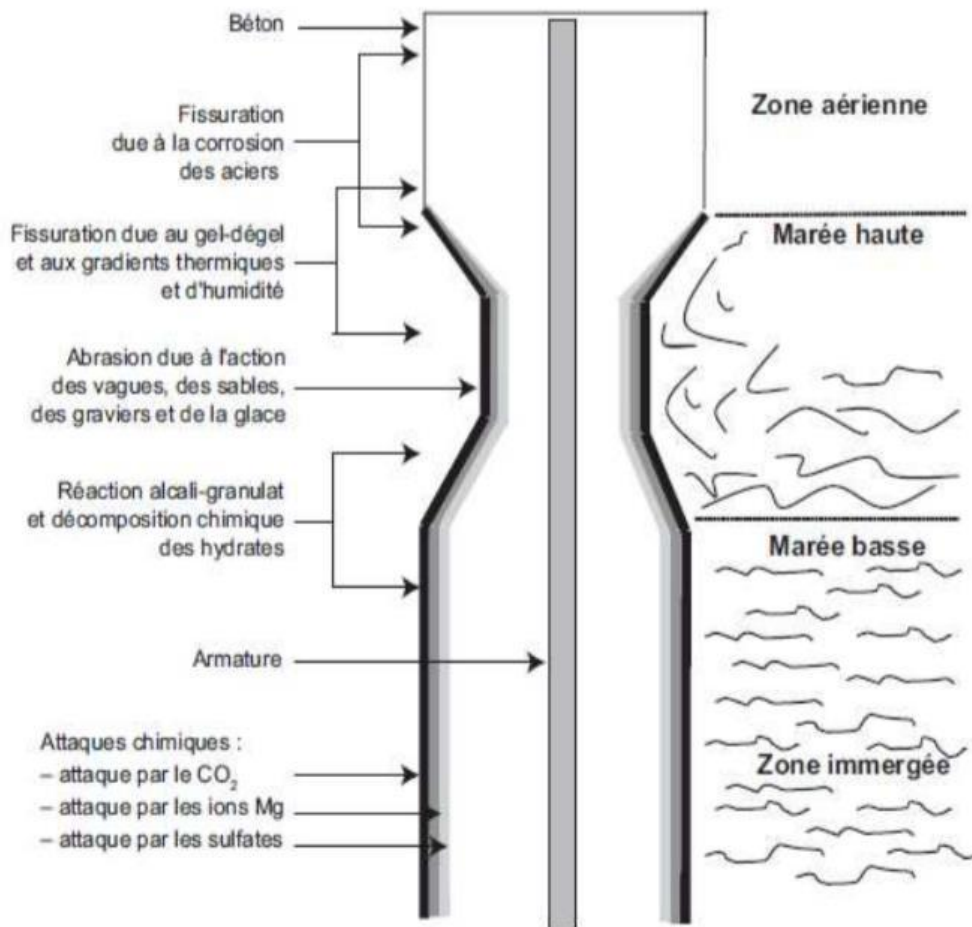


Fig.I.7 : représentation schématique des différents processus d'attaque du béton par l'eau de mer

VI.3.1 Les paramètres contrôlant la durabilité du béton en milieu marin :

- Perméabilité : Une faible perméabilité retarde la pénétration des ions agressifs.
- Rapport E/C : Un rapport E/C faible diminue la porosité, la perméabilité et retarde la pénétration des ions agressifs.
- Recouvrement : Il faut prévoir un bon recouvrement (60 mm) des aciers d'armature pour éviter la corrosion métallique. [11]

VII. Domaines d'emploi des bétons de sable :

Le béton de sable peut être utilisé dans différents domaines, et sous plusieurs formes. La plupart des applications actuelles du béton de sable tiennent davantage à ses propriétés spécifiques, par rapport au béton traditionnel, qu'à l'économie qu'il pourrait représenter en remplaçant celui-ci.

VII.1 Les bétons non vibrés :

Ces bétons sont souvent des bétons fluides utilisés notamment, lorsque la vibration est impossible, pour la fabrication des pieux forés et la réalisation de dallages autocompactants ou autonivelants.

VII.2 Les bétons projetés :

Ils se sont révélés particulièrement intéressants, techniquement et économiquement et se prêtent au renforcement de structure par projection, exemple :

- La réhabilitation de collecteurs d'assainissement.
- La stabilisation de parois ou talus.

En général, le béton de sable peut être également utilisé en projection dans des travaux de rénovation, de ponts, d'égouts visitables et de bâtiments.



Fig.I.8 : Le béton de sable en projection (Projection sur surface ancienne. Vue de détail.

VII.3. Les travaux d'injection :

A cause de sa petite granularité et sa maniabilité, le béton de sable est favorable aux techniques de reprise en sous-œuvre par injection ou coulage gravitaire :

- Le comblement de cavités.
- La réparation de fondation et renforcement d'ouvrages portuaires.

VII.4. La préfabrication d'éléments destinés à rester apparents :

Le souci esthétique est de plus en plus pris en compte dans toutes les constructions ; les bétons de sable permettent la réalisation d'effets architectoniques tant sur la forme que sur l'aspect. Le béton de sable peut être utilisé dans la préfabrication pour des murs architecturaux, pour des mobiliers urbains, en bâtiment et en voirie.



Fig.I.9 : Le béton de sable dans la préfabrication

VIII. Limites des bétons de sable :

A l'heure actuelle, les connaissances sur le béton de sable ne permettent pas un remplacement systématique du béton classique, soit pour des raisons économiques, soit pour des raisons techniques.

➤ **Raisons économiques :**

L'expérience a montré que, par l'utilisation des ajouts, on peut augmenter d'une façon considérable la résistance d'un béton de sable. Toutefois, la multiplication des ajouts ou l'augmentation du dosage en ciment ne sont pas sans incidence sur le coût. Dans la mesure où ce béton n'apporte pas "un plus" dans l'usage envisagé, il est donc inutile de chercher des performances supérieures. Tout sera donc fonction du contexte local en matière de granulats et de l'usage envisagé. En ce qui concerne notre pays il existe des déchets de carrière de concassage à partir desquels nous pouvons tirer des fillers. Il existe également des fillers naturels dans certaines régions, notamment dans le sud du pays.

➤ **Raisons techniques :**

On n'a que peu de connaissances sur les caractéristiques et le comportement du béton de sable, comme le retrait, le fluage et la durabilité, ce qui exclut, peut-être, ce matériau des éléments fortement sollicités ou précontraints.[12].

IX. Conclusion

Et avec cela nous arrivons à la conclusion de notre intéressant chapitre sur le "béton de sable".

Nous avons présenté la définition et les composants du béton de sable. Aussi, nous avons souligné que le béton de sable présente d'excellentes propriétés mécaniques et un faible coût. Et nous avons constaté qu'il est largement utilisé dans les structures simples et les structures à charge légère, telles que les petites fondations, les colonnes et les murs intérieurs.



Chapitre II

Chapitre II. L'effet de l'utilisation des fibres dans le béton

I .1.Introduction

Le développement de nouveaux matériaux est soumis aux besoins des utilisateurs (constructeurs). Ceux-ci veulent toujours des matériaux plus performants, plus économiques et qui durent plus longtemps. Les chercheurs sont le plus souvent amenés à optimiser les solutions déjà utilisées. En effet, on ne découvre plus de nouveaux matériaux, mais on crée plutôt des nouvelles associations de matériaux. L'un des résultats de cette association est l'aboutissement à béton renforcé par des fibres. Dans ce chapitre nous allons résumés les principales connaissances de béton, Béton armé et les bétons fibrés.

I I.2. Généralités sur le béton armé

La mise en œuvre du béton armé est généralement attribuée à Joseph Lambot, qui, en 1848, fit flotter une barque en ciment armé et à Joseph Monier, qui construisait indépendamment grâce à ce matériau, des bacs à fleurs en 1849. L'emploi du béton armé dans les structures s'étend dès lors rapidement en France sous l'impulsion de Joseph Monier, mais aussi de Coignet, de François Hennebique et de Armand Gabriel qui considèrent dès 1906, une circulaire ministérielle fixe des instructions relatives à l'emploi du béton armé, codifiant ainsi pour la première fois la conception et le calcul des ponts et des bâtiments avec ce matériau.

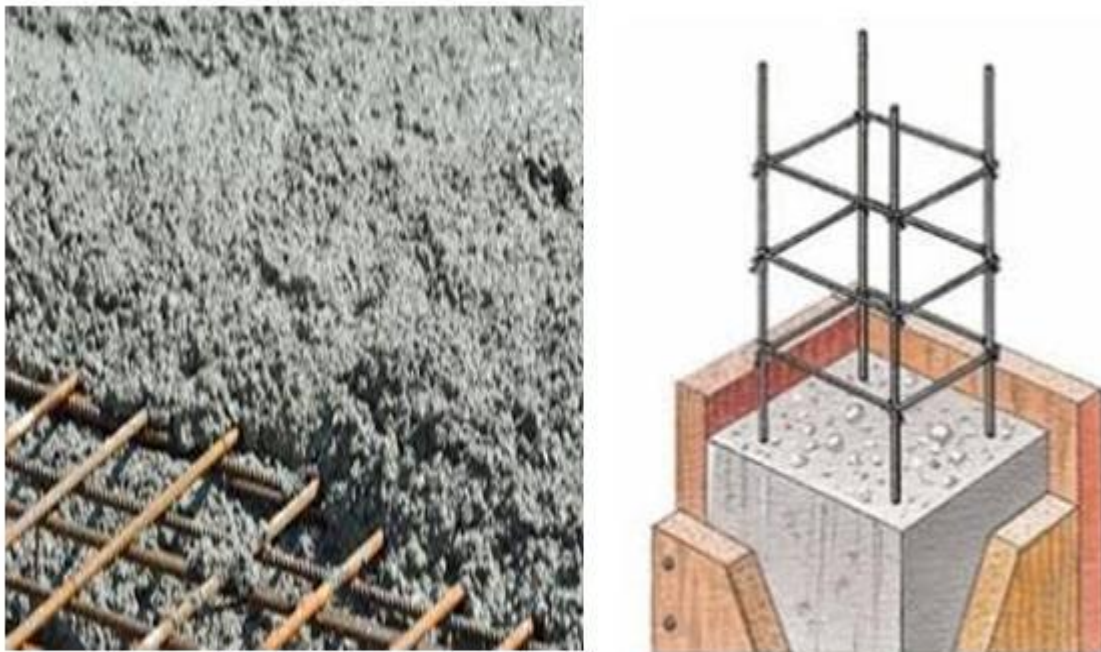


Fig.II.1 Le béton armé

Un nouvel essor est apporté par l'invention vers 1930, du béton précontraint par Eugène Freyssinet. Un pas conceptuel important est alors franchi, qui a constitué une véritable révolution dans l'art de construire, tant par la mise en pratique de la notion de précontrainte que par l'approfondissement de la compréhension du comportement mécanique et rhéologique du béton [1].



Fig.II.2 Le béton précontrainte.

II.2. Généralités sur le béton renforcé de fibres métalliques

II.2.1. Définition

Le béton renforcé de fibres métalliques (BRFM) est un matériau composite dont les propriétés mécaniques résultent de la combinaison des propriétés du béton, des fibres et de l'interface entre les matériaux.

L'ajout de fibres dans le béton modifie ses propriétés. Largement utilisées pour assurer la pérennité des ouvrages, certaines sont capables de couvrir les macro fissures (voir fig. II.3).

Une pièce en béton armé renforcée à l'aide d'une couche en béton de fibres permettrait d'augmenter la résistance au feu (par limitation des ouvertures des fissures et aussi protègent les armatures traditionnelles). Il existe maintenant cinq gammes de fibres utilisées pour des applications très différentes : métalliques, macro fibres synthétiques et microfibres

Polypropylènes. [2]

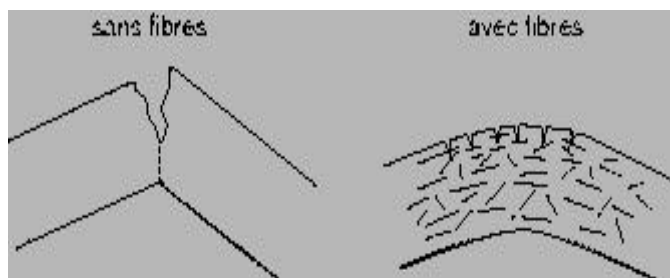


Fig.II.3 Fissuration dans le béton sans et avec fibres.

II.3 Les différents types de fibres et domaine d'Application :

Les fibres sont classées selon leur origine (naturelle, synthétique ou artificielle), leur forme (droite, ondulée, aiguille, ...etc.), leur dimension (macro ou microfibre) et aussi par leurs propriétés mécaniques.

Tab.II.1 Différents types de fibres et leur domaine d'application.

Types de fibre	Domaine d'application
Verre	Panneaux préfabriqués, murs, rideaux, tuyaux d'égout, toiture, Voile Mince, enduit
Acier	Elément de toitures en béton cellulaire, linteau, revêtement de chaussée, tabliers de pont, produit réfractaire, tuyaux en béton, piste d'atterrissage, réservoirs sous pression, travaux de restauration bâtiments.
Amiante	Voiles, tuyau, panneaux matériaux d'isolation thermique, tuyaux d'égouts plaques de toitures plates et ondulées, revêtement des murs.
Carbone	Elément ondulé pour la construction des planchers, membrane simple ou double courbure, coques, plancher d'échafaudage.
Végétale	Dalles, tuiles.
Polypropylène	Pieux de fondation, pieux précontraints, panneaux de revêtement, élément flottant de débarquement et amarres pour les marinas, réparation des routes, tuyau sous-marin, travaux de restauration bâtiments.
Mica	Panneaux, tuyaux, travaux de restauration.

II.3.1 Les fibres métalliques

Les fibres métalliques caractérisées par un module d'élasticité élevé, par conséquent, offre au béton une meilleure résistance à la traction, au choc et améliore sa ductilité en augmentant son pouvoir de résister aux déformations dues à la rupture, de même donne une ténacité appréciable, leurs formes et leurs dimensions améliorent leur ancrage et leur adhérence (fibres, copeaux, fibres, refilees, ondulées, déformées aux extrémités, en tête de clou).

La fibre métallique est parmi les fibres les plus commercialisées vendues, et bien sûr disponibles sous des formes et dimensions les plus variées (fig. II .4). Ces fibres présentent un module d'élasticité de 210GPa, une masse volumique de 7.85t/m³ et une résistance à la traction de 1 à 2GPa. Elles existent sous diverses formes et longueurs. L'éclatement est souvent compris entre 30 et 150 pour une longueur allant de 6.4 à 76 mm. Le pourcentage volumique de fibres métalliques dans le béton varie de 0.3 à 3%. L'optimisation du pourcentage de fibres, de la longueur et de la forme a donné lieu à de nombreuses études.[3]

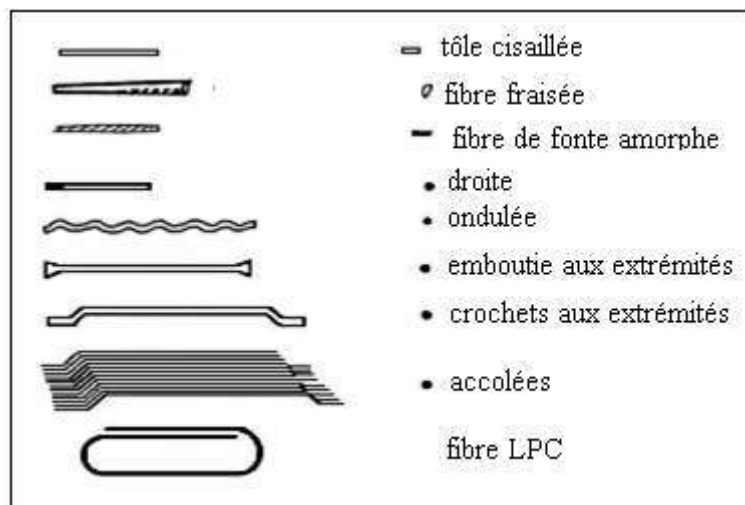


Fig.II.4 Les fibres métalliques, (formes et dimensions variables).

II.4 Rôles des fibres dans le béton

Les fibres ont généralement pour rôle de renforcer le béton et améliorer le comportement du béton essentiellement en traction, et en s'opposant à la propagation des microfissures. Elles peuvent également dans certaines applications remplacer les armatures passives (les ouvrages minces) [4].

Selon les fibres utilisées (forme et nature) et les ouvrages auxquels elles sont incorporées, ce rôle se traduit par des améliorations relatives a :

- La cohésion du béton frais.
- La déformabilité avant rupture.
- La résistance à la traction.
- La résistance aux chocs.
- La résistance à l'usure.
- La résistance à l'abrasion.
- La résistance mécanique du béton aux jeunes âges.
- La tenue au feu ;
- La réduction des conséquences du retrait par effet de couture des microfissures.

II.4.1 Effet des fibres dans une matrice

La dimension des granulats est très importante pour avoir un bon béton résistant et maniable car avec une présence d'une certaine quantité de gros grains, le béton peut avoir une mauvaise ouvrabilité.

Les B.R.F sont composés, en plus des gros granulats, d'une quantité de fibres, qui en entrant en contact avec ceux-ci tend à figer leur mouvement, fait qui se répercute principalement sur la maniabilité.

Les multiples travaux de recherche montrent que la mise en œuvre des B.F.M. est souvent difficile et a toujours posé de problème. Ainsi pour Faciliter cette mise en œuvre, la composition du béton ne doit en aucun cas contenir des éléments dont la taille est supérieure au quart de la longueur de la fibre (une dimension maximale d'environ 8 à 15mm), c'est la raison qui fait que les bétons de sable se révèlent compatibles à l'inclusion des fibres [5].

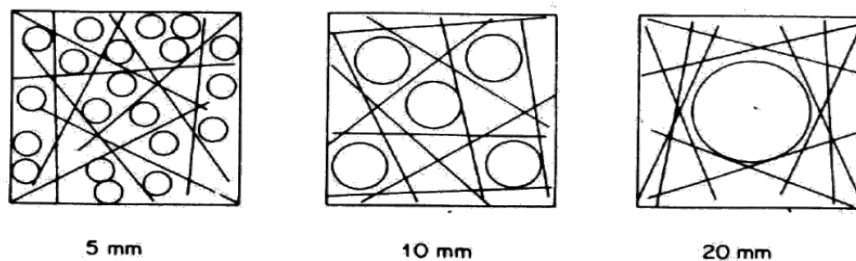


Fig.II.5 Effet de la taille d'agrégat sur la distribution des fibres dans un carré avec une longueur égale à la longueur d'une fibre.

II.4.2 Influence de l'adhérence fibre –matrice

L'adhérence fibres-matrice est un facteur très important vis-à-vis de l'efficacité des fibres dans la matrice. D'après Bartos (1981), l'adhérence entre fibres et matrice est assurée par trois liaisons :

- Une liaison élastique,
- Une liaison de frottement,
- Une liaison créée par un ancrage mécanique dans le cas des fibres non rectilignes (crochets ondulation dentelles).

Des essais d'arrachement effectués par Eurosteel sur les fibres ondulées (1982) montrent que la résistance d'adhérence dépend de la teneur en ciment dans la matrice. Il existe une teneur en ciment voisine de 400 à 500 Kg/m². [6]

II.4.3 Influence de la géométrie de la fibre

Plusieurs types de fibres ont fait l'objet de beaucoup de recherches, mais il est prouvé que les seuls types de fibres susceptibles d'augmenter la résistance à la traction du béton, par la transmission d'une palpable énergie de plastification et de rupture, sont celles dotées d'un système d'ancrage. Les deux prérogatives qui en découlent sont :

- En se plastifiant, l'ondulation diffuse, dans le béton, une énergie capable de multiplier par 2.5 celle de la rupture en traction de la fibre.
- Contrairement aux autres types de fibres, celles ondulées sont capables de s'agripper au béton. En effet, l'existence d'ondulations le long de ces fibres créent des réactions de butées et s'opposent par le fait au déchaussement de ces fibres.

II.4.4 Influence du pourcentage en fibres

La figure II-6 montre l'influence du pourcentage en fibres sur le comportement des éprouvettes soumises à la traction par flexion. Pour chaque longueur de fibre, le phénomène est clairement mis en évidence tout en comparant les différentes courbes au béton témoin (sans fibres). Il apparaît que les fibres apportent une ductilité aux matériaux, la rupture devient ductile au lieu de fragile. L'effort maximal à la première fissuration ainsi que l'énergie de rupture augmentent en fonction du pourcentage en fibres.

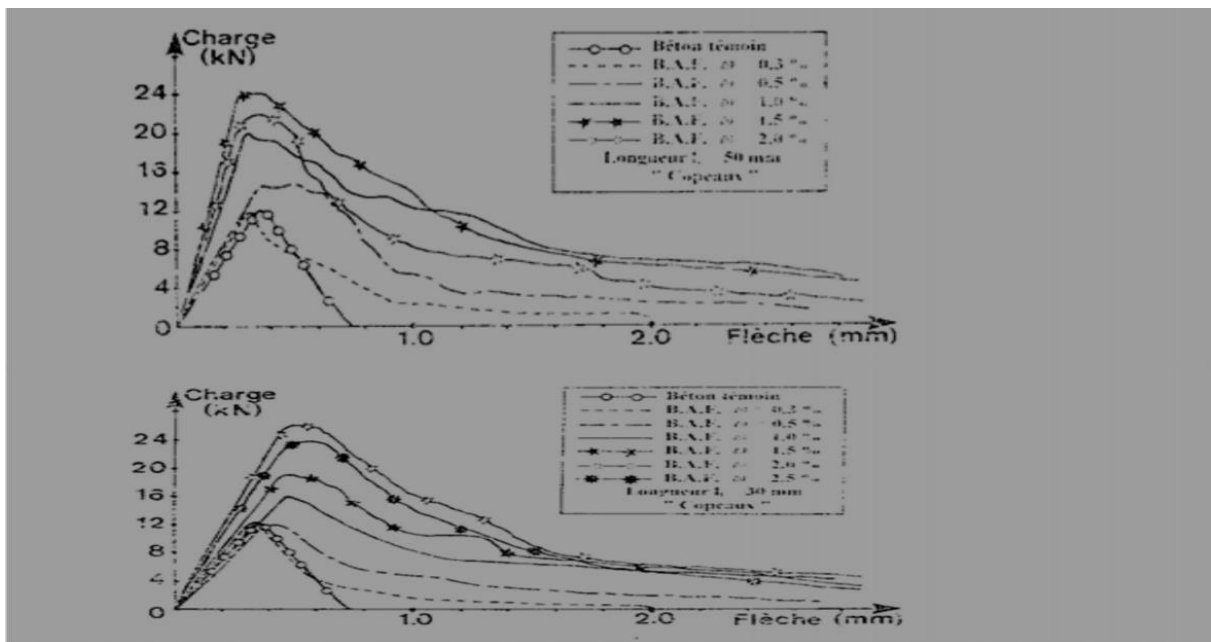


Fig.II.6 Influence de la longueur des fibres sur la résistance à la traction par flexion.

II.4.5 Influence du type de fibres

Le comportement global des éprouvettes de deux types de béton (béton armé de fibres Dramix et béton armé de fibres locales, en copeaux, de longueur de 30 et 50 mm, avec des pourcentages de 0,5 et 1%) est sensiblement le même pour les deux types d'éprouvettes.

L'ajout des fibres au béton apporte une certaine ductilité. Pour une longueur de fibres égale à 30mm et un pourcentage en fibres de 1%, le résultat est meilleur avec les fibres en copeaux.

Cependant, en ce qui concerne l'énergie de rupture, elle est plus importante dans le cas des éprouvettes armées de fibres Dramix (pour $L_f = 50$ mm). Ceci peut s'expliquer par le fait que ces fibres présentent un système d'ancrage, elles sont munies de crochets aux extrémités. L'adhérence fibres-matrice (béton) est ainsi meilleure.

II.5 Résistance des bétons de fibres en compression

Le comportement en compression du béton renforcé de fibres se résume en trois phases qui sont les trois parties indissociables du diagramme effort-déformation : [7]

- La première phase, avant microfissuration, est traduite par une partie linéaire de la courbe, Effort – déformation : celle-ci est identique à celle du béton témoin pour toute valeur de l'effort inférieure à 50% de la charge de rupture. Cela nous permet de dire que le module de Young est insensible à la présence des fibres durant cette phase.
- La seconde phase est représentée par un diagramme courbé, durant laquelle la courbe relative à un BFM commence à se démarquer de celle du béton témoin. Ceci est dû à l'amorçage des microfissures et par conséquent la mise en service des fibres qui se mettent en tension.
- Dans la dernière phase, qui va dans une direction descendante, les fibres reprennent la quasi- totalité de l'effort tout en maintenant le béton fissuré, en un seul bloc.
- D'après SERNA ROS (1984), la résistance ultime et le module d'élasticité d'un BFM sont très proches de ceux du béton témoin. Néanmoins, les fibres nourrissent le béton, au-delà du pic, d'une énergie, produisant ainsi un comportement ductile et corrélativement une augmentation de la déformation à la rupture voir figure II.7

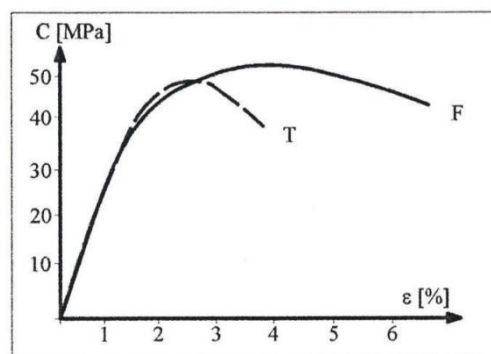


Fig.II.7 Courbe contrainte déformation en compression du béton de fibre.

II.6 Contrôle de la fissuration de retrait

Selon l'efficacité du type de fibres utilisé, il est possible de mieux contrôler et de diminuer le phénomène de fissuration et d'augmenter les propriétés mécaniques en post fissuration. Pour optimiser le contrôle de la fissuration, les fibres doivent être distribuées de manière homogène dans le béton tout en ayant un dosage adéquat. L'utilisation de fibres aide donc à diminuer la fissuration causée par le retrait plastique. Pour le béton durci, le retrait de séchage reste présent, mais les fissures sont mieux contrôlées. Les fissures sont donc plus

minces, moins longues et mieux distribuées sur la surface totale de l'ouvrage. Elles peuvent même s'avérer invisibles à l'œil nu [8].

II.7 Conclusion

L'introduction des fibres dans une matrice béton amène une certaine ductilité au comportement mécanique du matériau, cet ajout retarde la microfissuration et permet de retenir les "morceaux" en cas de rupture accidentelle. Il a été mis en évidence une légère augmentation de la résistance à la compression et aussi à la flexion. Cependant, il y a certaines précautions à prendre quant à la mise en œuvre de ce matériau, puisque les fibres modifient la maniabilité. Les pourcentages maximums de fibres incorporées restent limités compte tenu des problèmes liés à la mise en œuvre (formation d'oursins et pelotes donc création de porosité au sein de la matrice).

Cette étude bibliographique nous a permis de distinguer plusieurs types de fibres ainsi que leurs utilisations, propriétés et leur comportement. Dans la seconde partie de ce travail, une étude expérimentale va porter sur la maniabilité de fibres métalliques. Des essais mécaniques à la compression et la traction par flexion sur trois points sont aussi effectués sur de différente variante de fibres.



Chapitre III

Chapitre III. Caractérisation des matériaux

III.1 Introduction

Dans ce travail nous avons jugé d'utiliser des matériaux disponibles en grande quantités dans la région de Skikda (sable de dune, filler de calcaire, fibres métalliques, ciment CPJ-CEM II / A 42.5 de Hadjar el soude). Ceci afin d'établir une formulation à moindre coût.

Avant de présenter la formulation nous allons présenter les résultats d'essais réalisés sur des matériaux utilisés dans la préparation du béton de sable fibrés.

III.2 Les matériaux utilisés dans le béton

Dans le cadre de cette étude, nous avons utilisé les matériaux suivants :

- ✓ Un sable naturel de dune de provenance d'oued Zhour ;
- ✓ Un ciment CEMII/A(CPJ) ;
- ✓ Filler de calcaire F15 (Constantine ENG) ;
- ✓ Les fibres métalliques de type DRAMIX ;
- ✓ Un adjuvant superplastifiant ViscoCrete 665 ;
- ✓ L'eau potable.

III.3 Caractéristiques des matériaux utilisées

III.3.1 Sable

Le sable utilisé pour notre étude expérimentale est un sable de dune de la région d'Oued Zhour située au l'ouest de la wilaya de Skikda.



Figure III.1- sable d'oued Zhour

La figure III.2 montre la texture du sable dunaire

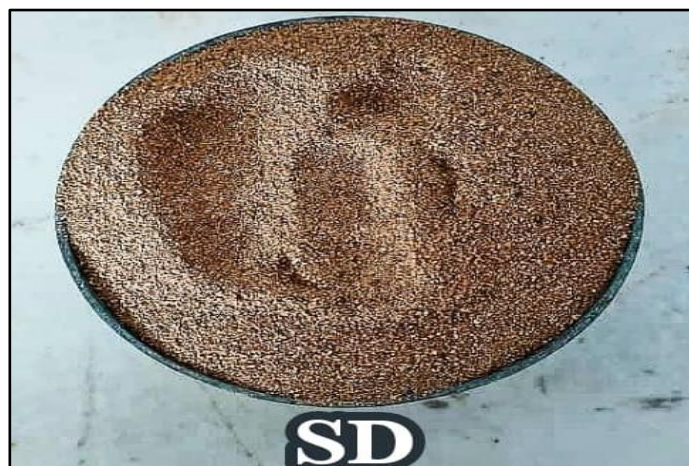


Fig.III.2 La textures du sable utilisé.

Le tableau III.1 affiche les résultats d'analyse chimiques du sable utilisé.

Tab.III.1 Composition chimique

	SD
CaO	0.80
Al₂O₃	2.37
Fe₂O₃	1.14
SiO₂	94.50
MgO	0.15

La masse volumique absolu du sable utilisé est affiché dans le tableau2.

Tab.III.2 La masse volumique absolu.

	Masse volumique absolu (g/cm ³)
Sable de dune	2.64

La masse volumique apparente du sable dunaire est mentionné dans le tableau 3.

Tab.III.3 Les masses volumiques apparente.

	Masse volumique apparente (g/cm ³)
Sable de dune	1.40

Le coefficient d'absorption du sable utilisé est donné dans le tableau 4

Tab.III.4 Coefficients d'absorption.

	Coefficient d'absorption (%)
Sable de dune	0.29

Le tableau III.5 illustre l'équivalent de sable du sable dunaire.

Tab.III.5 Equivalent de sable.

	Equivalent de sable (%)
Sable de dune	80

Le tableau (III.6), présente l'analyse granulométrique du sable.

Tab.III.6 analyse granulométrique du sable de dune.

Tamis (mm)	Refus % cumulus	Tamisât %
4	0	100
2	0	100
1	2	98
0.5	4	96
0.25	84	16
0.125	93	7
0.063	99	1

La courbe granulométrique est représentée sur la figure suivante :

Le Module de finesse « MF » : utilisé pour caractériser le sable, c'est le 1/100 de la somme des refus cumulets en % aux tamis 0,125-0,25-0,50-1-2 et 4mm. Cette valeur doit être comprise selon la norme NF EN 933-1 entre 1,8 et 3,2

Le tableau III.7 donne le module de finesse du sable utilisé.

Tab.III.7 Module de finesse.

	Module de finesse
Sable de dune	1.83

III.3.2 Ciment

Le ciment utilisé est un ciment CPJ CEM II /A 42.5 disponible sur le marché fabriqué par la cimenterie de Hadjar el soude (Skikda). Ses caractéristiques physiques, mécaniques, chimiques et minéralogiques sont représentées dans les tableaux suivants :



Fig.III.3 Ciment compose CPJ-CEM II 42.5N de Hadjar Essoud

Tableau III.8 Caractéristiques Physiques du ciment CPJ 42.5.

Masse volumique Absolu (g/cm_3)	3.11
Masse volumique apparente (g/cm_3)	1.09
Surface spécifique de Blaine (cm_2/g)	3330

Consistance (%)	25.5
-----------------	------

Tableau III.9 Caractéristiques mécaniques du ciment CPJ 42.5.

Age	2 Jours	28 Jours
Résistance en traction par flexion en (Mpa)	4.2	8.1
Résistance en compression en (MPa)	20.3	48.4

Tableau III.10 Caractéristique Chimique du ciment CPJ 42.5

Composition chimique		Composition minéralogique	
CaO	63.17	C₃S	62.45
Al₂O₃	4.94	C₂S	12.35
Fe₂O₃	3.32	C₃A	7.48
SiO₂	20.62	C₄AF	10.09
MgO	1.16	/	/

III.3.3 Filler de calcaire

Le Filler calcaire utilisé est de type SFDM CFD15 fournie par L'ENG de la carrière de Constantine-Est de l'Algérie. Il a une masse volumique absolue de 2.7 g/Cm³ et une SSB de 3900 cm²/g.

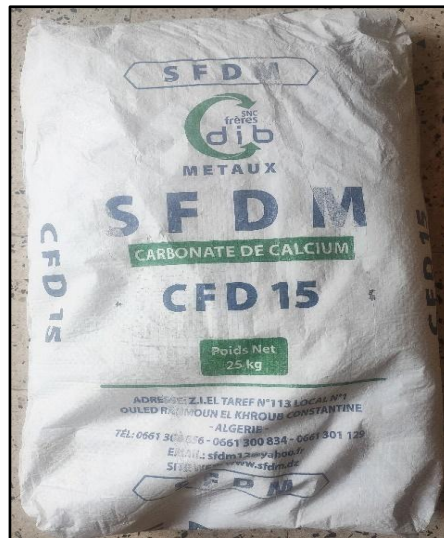


Fig. III. 4 Filler de calcaire.

Ses caractéristiques chimiques sont présentées dans le tableau III.11

Tab.III.11 Caractéristique chimique du filler calcaire.

Composant	CaO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	MgO
Teneur en %	55.94	0.03	0.02	0.04	0.20

III.3.4 Les fibres

Les fibres utilisées sont des fibres métalliques de type DRAMIX commercialisées par **la ????????????** de longueur 50mm et de densité égale 7.9g/cm³.

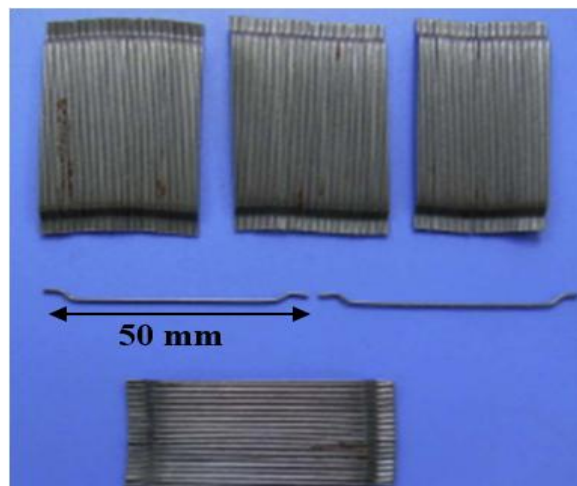


Fig.III.5 Fibre métallique utilisé.

Les caractéristiques de la fibre sont présentées dans le tableau III.9 :

Tab.III.12 caractéristiques de la fibre.

Fibre	/
Longueur (mm)	50
Diamètre (mm)	1.05
Densité (g/cm ³)	7.9
Résistance à la traction (N/mm ²)	1.15

III.3.5 Adjuvant

On a utilisé un super plastifiant haut réducteur d'eau polyvalent de nouvelle génération non chloré à base de copolymère acrylique, fourni par la société SIKA sous le nom ViscoCrete 665 (conforme à la norme EN 934-2).



Fig.III.6 Adjuvant utilisé.

Les caractéristiques de l'adjuvant sont présentées dans le tableau III.10.

Tableau III.13 Caractéristiques d'adjuvant utilisé.

Designations	Couleur	Densité	PH	Teneur en ions CL	Teneur Na ₂ O éq	Extrait Sec
Résultats	marron	1.085 g/cm ³	5	< 0.1%	< 1.0%	32%

III.3.6 Eau de gâchage

L'eau utilisée pour la confection des matériaux est celle du robinet du laboratoire (LTPEst)

III.4 Commentaires sur les matériaux utilisées

- Nous remarquons que les grains de sable utilisés ont une capacité d'absorption très faible voir négligeable, alors on peut dire qu'elle est acceptable.
- D'après la valeur du M_f , il s'agit d'un sable fin ayant une granulométrie serrée avec absence d'éléments.
- D'après le résultat obtenu par l'essai équivalent de sable, il s'agit d'un sable très propre. Alors nous pouvons conclure qu'il y'a une absence ou presque de fines argileuses, risquant d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau ou par l'utilisation d'un adjuvant.
- Notre ciment répond à toutes les exigences de la norme NA 442-2013.
- Le filler utilisé est un filler de calcaire qui avait une granulométrie presque inf. à $80\mu\text{m}$ pour toutes les particules.
- L'adjuvant utilisé est conforme à la norme EN- 934-2 et compatible avec notre ciment.
- Les fibres métalliques sont des fibres normalisées.

III.5 Méthodes expérimentales de caractérisation des matériaux

III.5.1 Masse volumique absolue :

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



Fig.III.7 Masse volumique absolu.

Mode opératoire :

Généralement deux méthodes sont utilisées pour déterminer la masse volumique absolue :

- Méthode de l'éprouvette graduée.
- Méthode de la mesure au pycnomètre.

Dans cette étude nous avons utilisé la méthode de l'éprouvette graduée, elle est simple, rapide et utilise le matériel courant du laboratoire.

Cette méthode consiste à remplir une éprouvette graduée avec un volume **V1** d'eau, ensuite peser un échantillon sec **Ms** de granulats (environ 300g) et l'introduire dans l'éprouvette en prenant soin d'éliminer toutes les bulles d'air, le liquide monte dans l'éprouvette. Lire le nouveau volume **V2**, la masse volumique absolue est alors donnée par la formule suivante :

$$\mathbf{Ps = (Ms / V2 - V1) \dots\dots\dots III.1}$$

Ps : Masse volumique absolue.

Ms : Masse des grains solides.

V1 : Volume de l'eau.

V2 : Volume total (grains + solide).

La masse volumique absolu de nos sables utilisés sont affiché dans le tableau III.1.

III.5.2 Masse volumique apparente :

Cet essai est régi par la norme NFP18 – 301 ; elle est définie comme étant la masse à l'état naturel du matériau rapportée à l'unité de volume, celui-ci intégrant à la fois les grains et les vides.



Fig.III.8 Masse volumique apparente.

Mode opératoire :

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

$$P_a = (M / V) \dots\dots\dots\text{III.2}$$

P_a : Masse volumique apparente ;

M : Masse totale de l'échantillon ;

V : Volume total de l'échantillon.

La masse volumique apparente de nos sables sont mentionnés dans le tableau III.2

III.5.3 Coefficient d'absorption d'eau :

Il est défini par la norme NFP 18-555 ; cet essai sert à déterminer la porosité interne d'un granulat qui est défini comme étant le rapport de l'augmentation de la masse de l'échantillon après imbibition par l'eau, à la masse sèche de l'échantillon. Il est donné par la formule suivante :

$$A_b = ((M_a - M_s) / M_s) \cdot 100 \dots\dots\dots III.3$$

A_b : coefficient d'absorption d'eau des grains (%) ;

M_s : masse des grains de sable à l'état sec après passage à l'étuve à 105°C ;

M_a : masse des grains après imbibition.



Fig.III.9 Coefficient d'absorption de sable.

III.5.4 Equivalent de sable :

Cet essai est régi par la norme NFP 18-598 ; utilisé de manière courante pour évaluer la propreté des sables entrant dans la composition des bétons ou des mortiers, en déterminant la proportion des impuretés argileuses contenu dans le sable.

a) - Principe de l'essai :

L'essai est effectué sur la fraction 0/5 mm du matériau à étudier, il consiste à laver l'échantillon avec une solution lavante permettant de séparer les éléments fins argileux et en provoque la floculation, selon un processus normalisé, puis en laisse reposer le tout, au bout de 20 minutes, ensuite on mesure les hauteurs h_1 , h_2 .

Enfin nous déduisons l'équivalent de sable qui, par convention est :

$$E_s = (h_2 / h_1) \cdot 100 \dots\dots\dots(III.4)$$

E_s : Equivalent de sable (%) ;

H_1 : Hauteur de sable (propre + éléments argileux) ;

H_2 : Hauteur (sable propre seulement).



Fig.III.10 équivalents de sables.

III.5.5 Analyse granulométrique :

L'analyse granulométrique permet de déterminer les pourcentages pondérés respectifs des différentes familles de grains constituant l'échantillon. Cet essai est défini par la norme NFP 18-560.



Fig.III.11 Essai analyse granulométrique.

Le tableau (III.6), présente le résultat moyen d'analyse granulométrique du sable de dune utilisé dans notre étude.

III.5.6 Module de finesse :

La finesse d'un sable est estimée conventionnellement par une grandeur appelée module. Ce dernier est égal au (1/100) ème de la somme des refus. Exprimés en pourcentage des différents tamis de la série suivante : (0.125 - 0.250 – 0.5 – 1–2– 4 mm).

Un bon sable à béton ou mortier doit avoir un module de finesse d'environ 2.2 à 2.8. Au-dessous, le sable a une majorité d'éléments fins à très fins ce qui nécessite une augmentation du dosage en eau.

$$M_F = \text{Somme } (R_c) / 100 \dots\dots\dots (III.5)$$

R_c : refus cumulé en (%) sous les tamis (0.125 ; 0.250 ; 0.5 ; 1 ; 2 ; 4).

III.6. Conclusion

Les essais de caractérisation effectués au laboratoire donnent une idée générale sur les caractéristiques principales des différents matériaux qui ont été incorporées dans les différentes formulations étudiées.



Chapitre IV

CHAPITRE IV. PROGRAMME EXPÉRIMENTALE ET MÉTHODOLOGIES DES ESSAIS

IV.1 Introduction

Dans ce chapitre, on présente en premier lieu le programme expérimental et la méthode de formulation des bétons de sable. Par la suite, les différentes compositions des mélanges obtenues, les méthodes expérimentales de fabrication des variétés de béton testées et finalement les essais réalisés sur les bétons élaborés.

IV.2 Programme expérimental

L'objectif de cette étude est d'évaluer l'impact de l'utilisation des fibres métalliques dans un béton de sable fabriqué à partir de matériaux locaux et d'examiner les effets de leur incorporation dans la matrice cimentaire à l'état frais et durci, ainsi que sur certains aspects de durabilité.

Pour atteindre l'objectif visé, nous avons partiellement substitué le sable dunaire par des fibres métalliques de type DRAMYX dans la composition d'un béton de sable ordinaire, avec des taux de substitution valant 0, 0.25, 0.5, 0.75 et 1%. Les propriétés des bétons élaborés, tant à l'état frais qu'à l'état durci, ont été évaluées et comparées à celles d'un béton témoin sans fibre.

IV.3 Formulation du béton de sable

La méthodologie de formulation adoptée repose sur une approche empirique, se fondant sur des expérimentations et prenant en compte certains critères préconisés par la méthode théorique de SABLOCRETE (1994).

Ces critères se résument en :

- ✓ Un rapport E/L compris entre 0.60 et 0.7.
- ✓ Un dosage en ciment très élevé $> 400 \text{ kg} / \text{m}^3$.
- ✓ Les dosages en fines d'addition entre 70 et $220 \text{ kg} / \text{m}^3$.
- ✓ Le volume des vides compris entre 3 et 5 %.

IV.3.1 Notation des mélanges d'étude

La notation des mélanges effectués est comme le tableau IV.1 indique :

Tab.IV.1 Notation des mélanges

BF₀	Béton témoin (sans fibre)
BF_{0.25}	Taux de fibre :0.25 %
BF_{0.50}	Taux de fibre :0.50 %
BF_{0.75}	Taux de fibre :0.75 %
BF₁	Taux de fibre : 1 %

IV.3.2 Formulation du béton de sable témoin BS (100%SD)

- ✓ **Détermination du dosage en ciment** : la masse du ciment est fixée à 420 kg/m³
- ✓ **Détermination du dosage en fines** : pris égale 200 kg/m³
- ✓ **Détermination du dosage en eau** : Le rapport E/L est maintenu constant avec une valeur égale à 0,60.
- ✓ **Détermination du dosage en superplastifiant** : la masse égale à 1.2% du poids de ciment.
- ✓ **Détermination du volume des vides [vides]** : le volume des vides est égal 30 litres.
- ✓ **Détermination du dosage en sable** : D'après la formule exposée par la méthode Sablocrete le dosage volumique du sable égale à : [Sable] = 1000 - [fines] - [eau] - [vides] - [superplastifiant] l/m³. Après l'ajustement de la formulation, on a trouvé un dosage en sable égale à 1338 kg/m³.

Tableau IV.2 : Composition d'un 1m³ de béton témoin.

Désignation	Quantité (kg/m ³)
Sable	1388
Ciment	420
Calcaire	200
Adjuvant	5.04
Eau	252

IV.3.3 compositions des différents mélanges

Le Tableau IV.2 montre les différentes compositions réalisées (nous citons juste les matériaux dont la quantité est variable dans chaque variante).

Tableau IV.3 : Compositions des mélanges retenus

Mélange	SD (kg/m ³)	Fibre métallique
BF_{0.25}	1326,37	19.85
BF_{0.50}	1324,95	19.85
BF_{0.75}	1318,425	39.70
BF₁	1311,90	39.70

IV.3.4 Confection des mélanges retenus

A. Malaxage

Le malaxeur utilisé pour la fabrication des bétons est un malaxeur à un axe de rotation Horizontal planétaire de capacité de 120 litres.

La séquence d'introduction des différents matériaux est faite comme Suit :

- ✓ On verse (le sable dune) dans le malaxeur, puis une opération d'homogénéisation est entreprise pendant environ 30 secondes ;
- ✓ On verse le ciment et le filler calcaire à sec dans le malaxeur et on malaxe pendant 1 min ;
- ✓ Ensuite, on introduit par partie les fibres durant le malaxage à sec pendant 3-5 minutes
- ✓ On ajoute de l'eau et la moitié du super plastifiant et on malaxe pendant 1 minute ;
- ✓ On ajoute enfin le reste de super plastifiant et on malaxe pendant 2 minutes ;
- ✓ On commence les essais à l'état frais immédiatement.



Fig.IV.1 Malaxeur utilisé.

B. Corps d'épreuves

Les corps d'épreuves ont été choisis selon les essais à réaliser de diverses formes et dimensions en conformité avec les normes en vigueur.

Les résultats, obtenus sur deux éprouvettes de chaque composition de même gâchée, du béton de sable, sont exprimés sous la moyenne de deux valeurs mesurées.

- ✓ Des prismes 7x7x28 cm : pour le retrait et la traction par flexion 7 et 28 jours ;
- ✓ Des cubes 15x15x15 cm : pour la résistance à la compression à 7 et 28 jours et la résistance à la traction par fendage.
- ✓ Des prismes 7x7x7 cm : pour l'essai de durabilité attaques chimique.



(a)



(b)

Fig.IV.2 (a, b) Eprouvette avant et après le démoulage.

C. Conservation

Avant le démoulage toutes les éprouvettes ont été conservées pendant 24 heures dans la condition ambiante du laboratoire.

Après 24 heures, les échantillons ont été démoulés, nous sélectionnons chaque éprouvette avec un crayon résistant à l'eau et introduit les éprouvettes dans un bain d'eau à température $20^{\circ} \pm 1^{\circ}\text{C}$.



Figure IV.3 : Conservation des éprouvettes dans un bain d'eau.

IV.4 METHODOLOGIE DES ESSAIS

IV.4.1 Essais effectués sur le béton à l'état frais

Pour caractériser le comportement des bétons de sable à l'état frais, nous avons réalisé les essais suivants :

IV.4.1.1 Affaissement au cône d'Abrams

La consistance du béton de sable frais est mesurée généralement par l'affaissement au cône d'Abrams conformément à la norme NF P 18-451, cet essai consiste à remplir le moule conique normalisé fixé sur une plaque avec le mélange du béton. Le remplissage se fait en 3 couches de préférence de la même hauteur et on y applique 25 coups de tige d'une manière répartie. Après le remplissage le cône doit être arasé à l'aide d'une règle ou en faisant rouler

la tige de piquage. On termine le teste par le soulèvement du cône et la mesure de l'affaissement du béton donné en cm.



Fig.IV.4 Essai d'affaissement.

IV.4.1.2 La densité fraiche :

La densité apparente du béton frais ou la masse volumique est calculée en pesant un moule vide dont le volume est connu.

La formule de calcul est donnée comme Suit :

$$\mathbf{D = M - M_0 / V [g/cm^3] \dots\dots\dots IV.1}$$

D : Masse volumique du béton (g/cm³).

M : Masse du moule vide (g).

M₀ : Masse du moule rempli (g).

V : Volume du moule (cm³).



Fig.IV.5 Essai de la densité à l'état frais.

IV.4.1.3 Air occlus

La teneur en air occlus est mesurée à l'aide d'un aéromètre à béton, de 1 litre. Après le malaxage des constituants de béton, et suivant la norme NF EN 1015-7, on remplit la cuve d'aéromètre avec le béton frais. La partie supérieure reste fixée, on applique une pression à l'aide de la pompe manuelle jusqu'à ce que l'aiguille de l'appareil indique 0%. A ce moment, on ouvre la valve qui sépare les volumes des deux chambres, le mortier se comprime et le manomètre intégré dans l'aéromètre indique directement le pourcentage de l'air occlus.



Fig.IV.6 Mesure de l'air occlus.

IV.4.2 Essais à l'état durci

IV.4.2.1. Essai de compression

L'essai de compression selon la norme NF EN 12390-3 consiste à appliquer une charge de compression axiale sur une éprouvette de béton jusqu'à la rupture. Les éprouvettes utilisées sont cubiques (15x15x15 cm). Si la surface de l'éprouvette est S (mm²) et la charge maximale enregistré au cours de l'essai est notée P (N), la résistance à la compression F_c est calculée par la relation :

$$F_c = P / S \text{ (N/mm}^2\text{)} \dots\dots\dots\text{IV.2}$$



Fig.IV.7 Essai de compression.

IV.4.2.2 Résistance à la traction par flexion :

L'essai mécanique en traction par flexion (3 points) est établi à l'aide d'un dispositif à rouleau utilisé en flexion comportant deux appuis à rouleau sur lesquels reposent l'éprouvette prismatique et un troisième rouleau équidistant des deux premiers, transmettant une charge concentrée.

L'appareil utilisé est une machine asservie en contraintes. La résistance à la traction par flexion a été évaluée avec une vitesse d'application du chargement de 0,1 MPa/s

La résistance est calculée avec la relation :

$$R_t = 1,5FL / B^3 \text{ (N/mm}^2\text{)} \dots\dots\dots\text{IV.3}$$

F : Charge appliquée en N,

L : Distance entre les appuis (mm),

B : Coté de l'éprouvette en mm.



Fig.IV.8 Essai traction par flexion

IV.4.2.3 Essai au scléromètre [NF EN 12504-2]

L'essai au scléromètre est une méthode non destructive qui permet d'estimer la résistance du béton conformément à la norme NF EN 12504-2. Cette méthode permet de mesurer la dureté à la surface du béton et évaluer la qualité globale de l'ouvrage. Après avoir placé les points de mesure sur la surface de l'éprouvette conformément à la norme, l'éprouvette est fixée entre les deux supports d'une presse de compression, puis le scléromètre est appliqué aux points de mesure. La tige en acier sort du cylindre, appuie sur le béton et comprime un ressort. Ce ressort projette ensuite une masse dans la tige, qui revient à la surface du béton et entraîne le curseur de retour, permettant ainsi de lire l'indice de rebondissement. En moyennant ces indices et en utilisant une table de référence de l'appareil, on peut connaître la résistance du béton. Les essais de scléromètre sont effectués sur des éprouvettes cubiques de dimension 15*15*15 cm.



Fig.IV.9 Essai au scléromètre.

IV.4.2.4 Essai d'ultrason [NF EN 12504-4]

La méthode de mesure en transparence (directe) conformément à la norme NF EN 12504-4 consiste à mesurer la vitesse de propagation des ondes ultrasoniques longitudinales entre deux points désignés sur la surface de l'objet testé, en connaissant la distance entre ces deux points. La vitesse de propagation du son en km/s peut être calculée en utilisant la formule suivante :

$$V = L/t \text{ (km/s)IV.3}$$

V : représente la vitesse de propagation,

L : est la longueur de parcours en mm,

T : est le temps nécessaire à l'impulsion pour parcourir cette distance en μs .



Fig. IV10 Essai ultrason.

IV.4.2.5 Retrait

L'objectif de cet essai de mesurer, en fonction du temps, la variation de longueur due aux effets de l'hydratation et de la dessiccation des matériaux cimentaires. Cet essai est régi suivant la norme selon la norme NF P15-433. Cette mesure a été réalisée sur des éprouvettes prismatiques de dimensions (7x7x28) cm. Après 24 heures, les éprouvettes sont démoulées et conservées à l'air ambiant du laboratoire. Les variations dimensionnelles ont été déterminées à l'aide d'un rétractomètre.

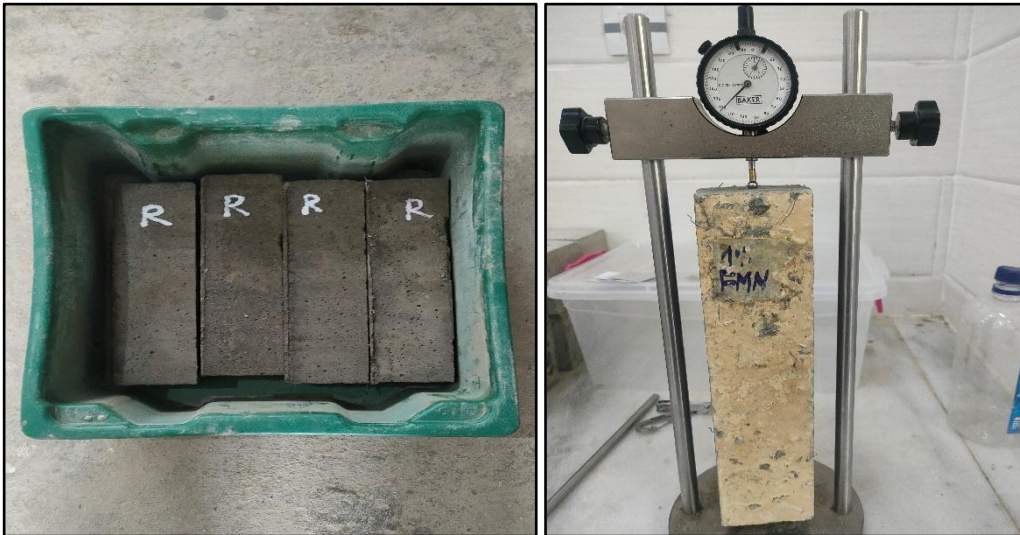


Fig.IV.11 Essai de retrait.

IV.4.2.6 Gonflement :

L'objectif de cet essai est de mesurer, en fonction du temps, les variations dimensionnelles des éprouvettes testés (7*7*28 cm).

Les éprouvettes sont conservées dans l'eau (Température ambiante).

À l'aide d'un refractomètre à comparateur digital (précision $\pm 0,02$ mm), les mesures de variation dimensionnelle commencent après les décoffrages et sont effectuées ensuite avec une périodicité qui augmente avec le temps.

L'expression du gonflement se traduit par le rapport de la variation de longueur de l'éprouvette ($\Delta L/L$) en fonction du temps.



Fig.IV.12 Essai de gonflement.

IV.4.2.7. Essai des attaques chimiques [ASTM C267-17]

La mesure de la résistance face aux attaques chimiques par les acides et les bases est effectuée sur des éprouvettes cubique (7x7x7) cm.

Après 28 jours de cure sous l'eau, les éprouvettes sont pesées pour déterminer M1, puis elles sont immergées dans les différentes solutions citées ci-dessous et renouvelées chaque 14 jours (Selon la valeur du PH) :

- 5% Acide chlorhydrique (**H Cl**).
- 5% Acide sulfurique (**H₂SO₄**).

La résistance due aux agressions chimiques des échantillons immergés dans ces solutions, est évaluée par leur perte de masse selon la norme ASTM C 267-96, les éprouvettes sont nettoyées avec l'eau puis laissées sécher à la température ambiante pendant 30 minutes. Ensuite, on procède à la pesée de ces dernières d'où la masse M2. Les mesures sont effectuées après 1, 7, 14, 21, 28, 56, 90 jours après l'immersion.

La résistance chimique est évaluée par la mesure de la variation de masse de l'éprouvette :

$$\text{Perte de masse \%} = ((M1-M2) / M) * 100$$

Avec :

M1 : masse de l'éprouvette avant l'immersion,

M2 : masse de l'éprouvette après l'immersion.



Fig.IV.13 Essai attaque des solutions chimiques.

IV.5. Conclusion

Dans ce chapitre on a présenté les points suivants :

- Le programme expérimental détaillé.
- La formulation des différents mélanges de béton, les paramètres de composition ainsi que le mode de fabrication et de conservation des éprouvettes.
- L'ensemble des essais réalisés sur le béton ainsi que les méthodes d'essais.



Chapitre V

CHAPITRE V : RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

V.1. Introduction

Nous présenterons dans ce chapitre les résultats des différents essais effectués sur les bétons confectionnés selon les différentes compositions mentionnées en détail dans le chapitre précédent. Ces résultats concernent l'ouvrabilité, la masse volumique, l'air occlus, les résistances mécaniques et l'absorption par immersion et par capillarité ainsi que la résistance vis-à-vis les attaques chimiques par les acides H_2SO_4 et HCl. On s'intéresse aussi, tout au long de ce chapitre à interpréter l'effet de l'incorporation des fibres dans la composition du béton de sable témoin sur les propriétés à l'état frais et durci des nouveaux bétons.

V.1. Caractérisation des bétons à l'état frais :

V.1.1 L'ouvrabilité

Les résultats de l'ouvrabilité issus de l'essai de d'affaissement des différents bétons, mesurés par le cône d'Abrams sont illustrés dans la figure ci-dessous.

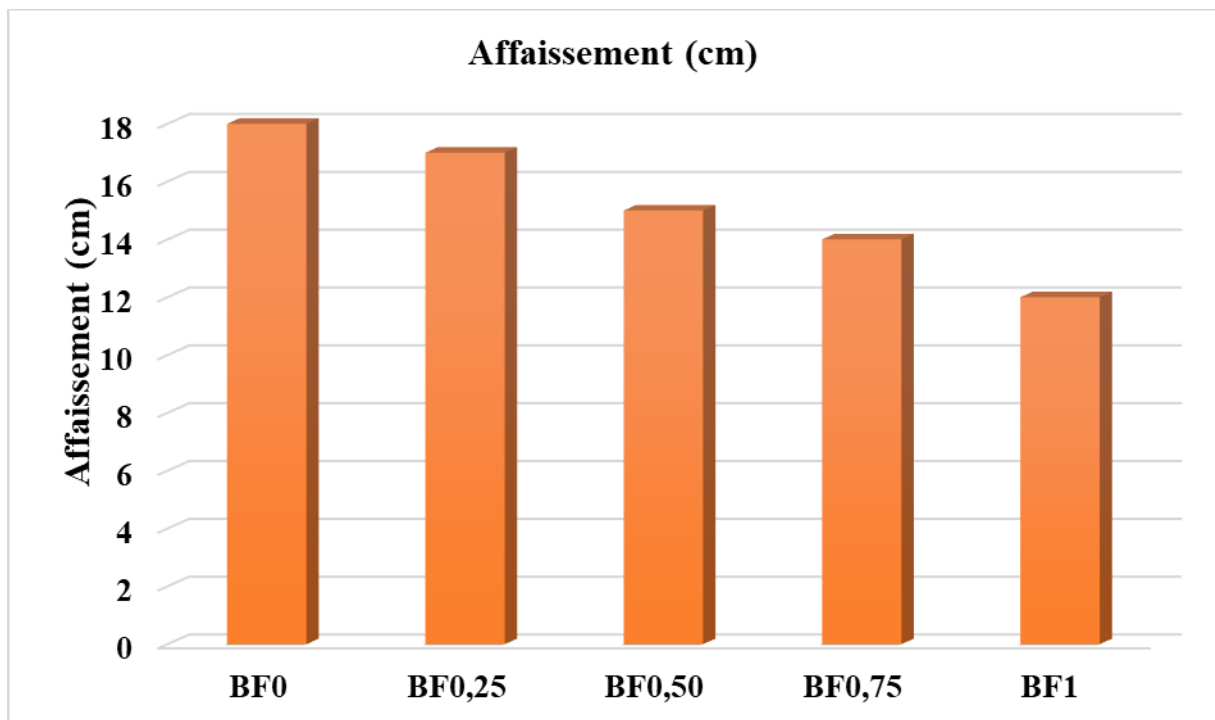


Fig. V.1 : Variation de l'ouvrabilité en fonction de taux de substitution.

D'après la figure V.1, on remarque que l'ouvrabilité décroît avec l'augmentation du taux de substitution de sable de dune par la fibre métallique. La valeur minimale est de 12 cm pour le béton BF1 (1% de fibre), et la valeur la plus élevée est de 18 cm pour le béton témoin.

Cette diminution d'ouvrabilité est due principalement à la forme géométrique des fibres qui comportent des crochets à leurs extrémités. Ces derniers peuvent s'entremêler et créer une masse plus rigide, ce qui rend le mélange moins fluide et plus difficile à travailler. Cela peut se traduire par une consistance plus épaisse et une difficulté à couler.

V.1.2 La densité :

Les résultats de la masse volumique à l'état frais présentés dans la figure V.2 correspondent à une moyenne des valeurs obtenues pour trois mesures

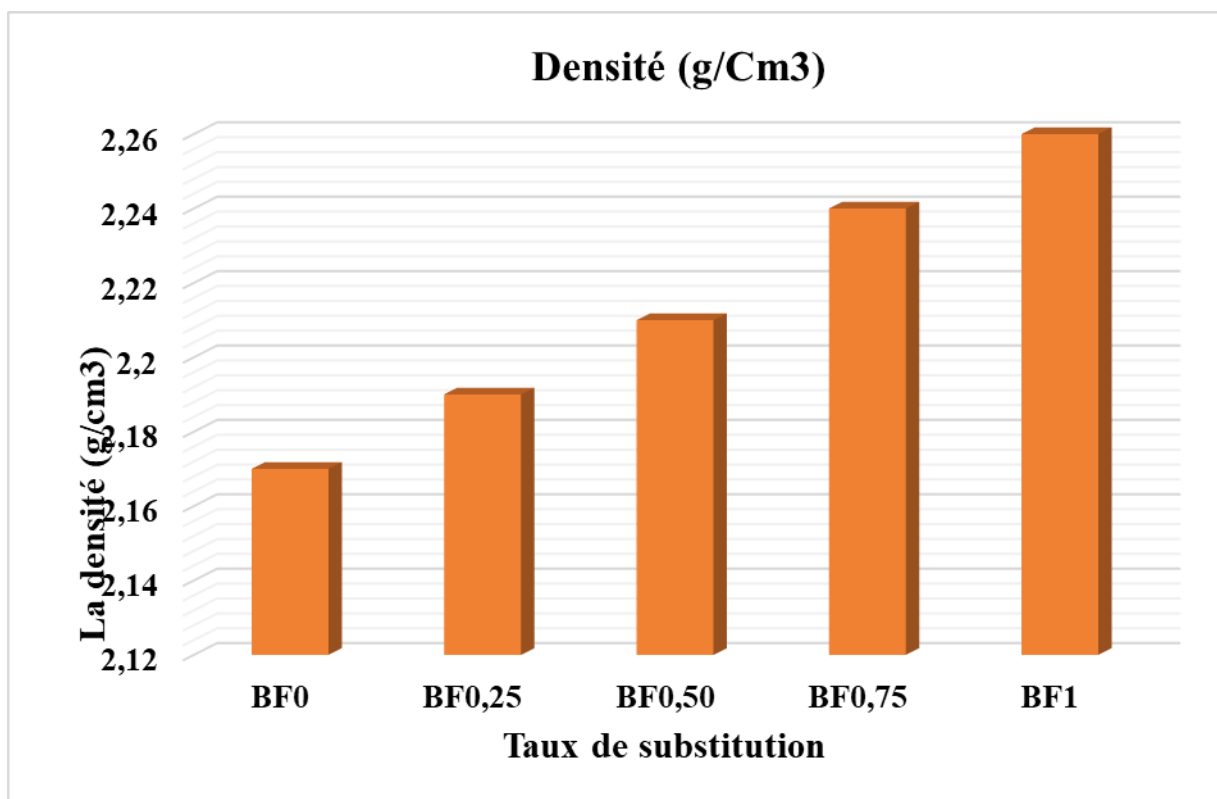


Fig. V.2 : variation de la densité en fonction de taux de substitution.

D'après la figure V.3, on observe une augmentation de la densité avec l'augmentation du dosage en fibres. Il y a une augmentation de l'ordre de 41% pour le béton BF1 qui illustre la plus grande valeur de la densité (2.26).

Cette augmentation dans la densité a une explication unique : c'est que la densité de la fibre est plus élevée que la densité du sable de dune.

V.1.3 L'air occlus

La figure V.3 présente les résultats de mesures d'air occlus effectuées sur les différentes compositions de bétons.

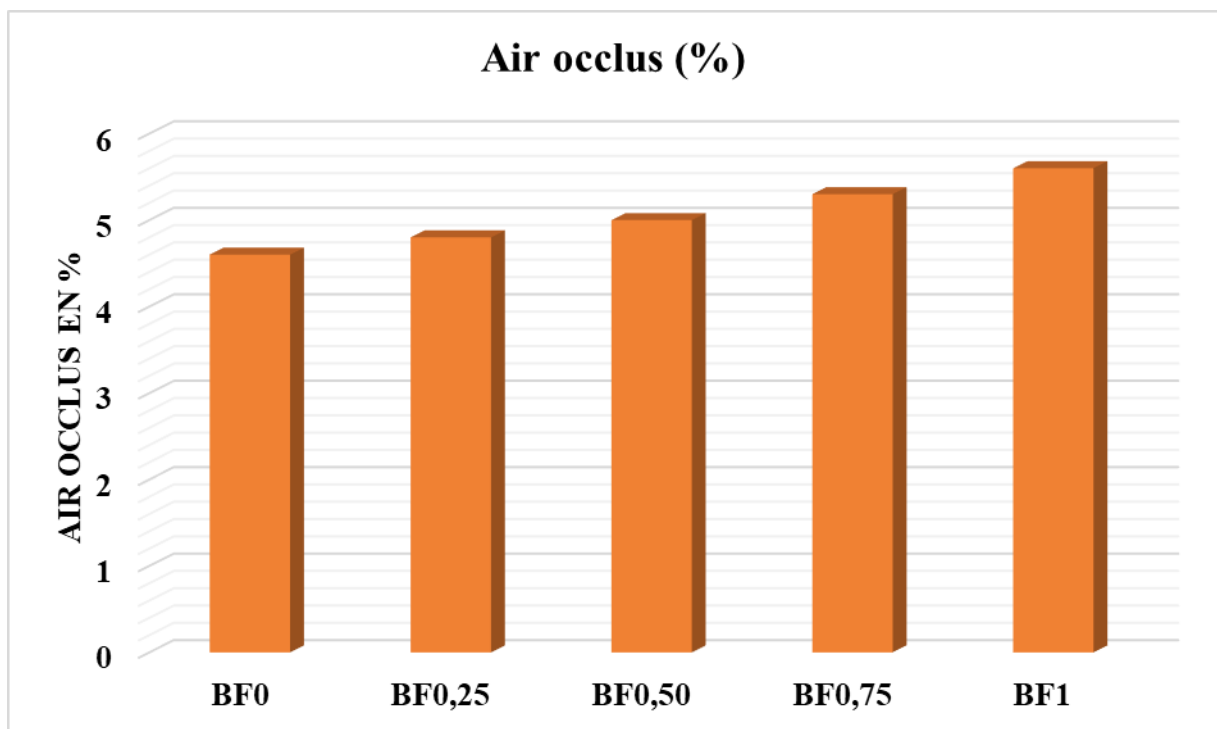


Fig. V.3 L'air occlus dans les bétons testés

D'après la figure V.4 on constate une augmentation de la valeur de l'air occlus dans le béton avec l'augmentation du dosage de la fibre métallique. Des augmentations de l'ordre de 4.34%, 8.69%, 15,21%, 21.73% respectivement pour les mélanges BF0.25, BF0.5, BF0.75, BF1 sont enregistrées.

En effet, l'introduction des fibres favorise la formation de nouvelles bulles dans le mélange et cela se traduit par une augmentation de la quantité d'air piégé dans le béton.

V.2 Caractérisation des bétons à l'état durci :

La caractérisation des bétons confectionnés à l'état durci est basée sur l'étude des propriétés suivantes :

- La résistance à la compression à 7 et 28 jours.
- La résistance à la flexion à 7 et 28 jours.
- La résistance à la traction par fendage à 7 et 28 jours.
- Le retrait jusqu' au 65 Jours.
- L'attaque chimique dans des solution acides.
- Essai scléromètre et ultrason.

V.2.1 La résistance à la compression :

La figure V.4 représente les valeurs moyennes de la résistance à la compression en MPa.

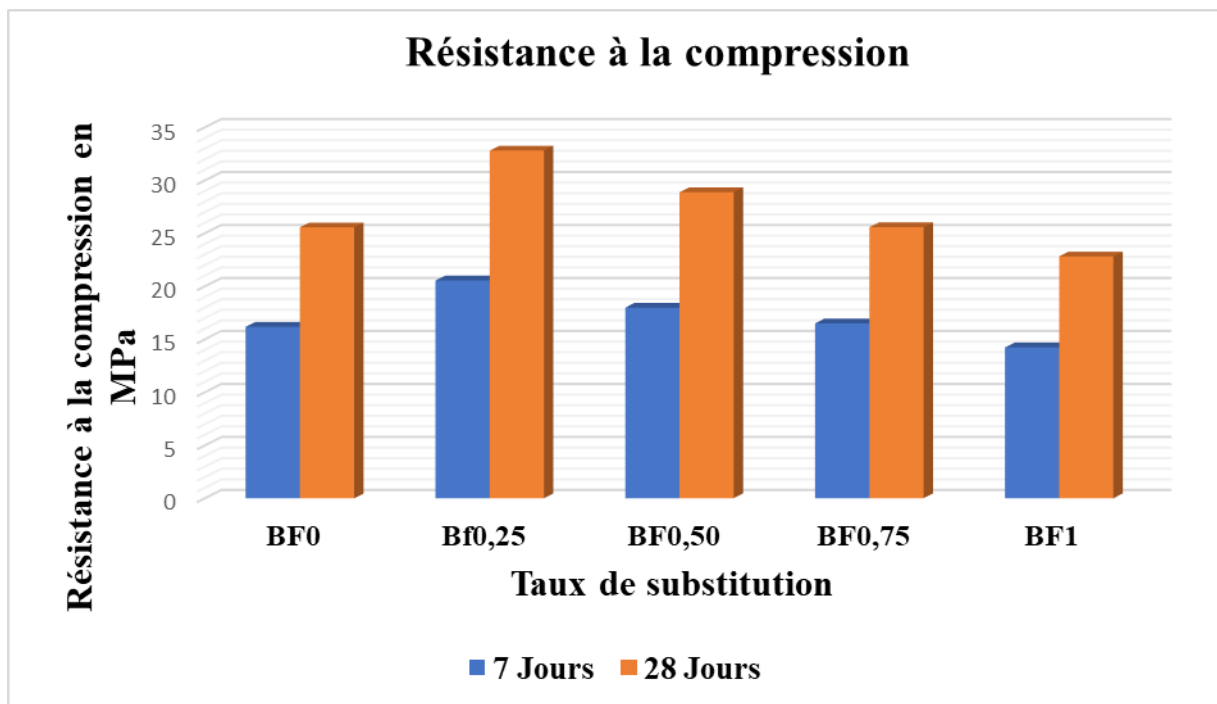


Fig. V.4 : Evolution de la résistance à la compression des différents mélanges

D'après la figure, on remarque que pour tous les bétons d'étude, la résistance moyenne à la compression augmente progressivement avec l'âge de béton. Ceci s'explique par le développement du phénomène d'hydratation du ciment dans les bétons de sable en fonction du temps.

On constate aussi que la résistance à la compression à 7 et 28 jours augmente avec l'augmentation de la teneur en fibre métallique, elle atteint une valeur maximale dans le béton

contenant un taux de 0.25% de fibre et ceci, à cause de la bonne répartition des fibres au sein de la matrice suite à la présence d'une quantité optimale de fibre. Au-delà de ce taux, la résistance en compression des autres bétons chute progressivement pour atteindre une valeur minimale dans le béton à base d'1% de fibre

En effet, l'ajout de fibres métalliques au béton témoin à un taux qui s'élève à 0.75% a notablement amélioré la résistance en compression, principalement en renforçant la microstructure et en réduisant la fissuration. Les fibres métalliques augmentent également la ductilité et la capacité de déformation du béton avant la rupture.

V.2.2 La résistance à la flexion :

Les résistances à la traction par flexion 3 points des différents bétons à 7 et 28 jours de maturation sont représentées dans la figure V.6

Il est très clair d'après cette figure que la résistance à la flexion augmente en fonction de l'âge pour tous les mélanges.

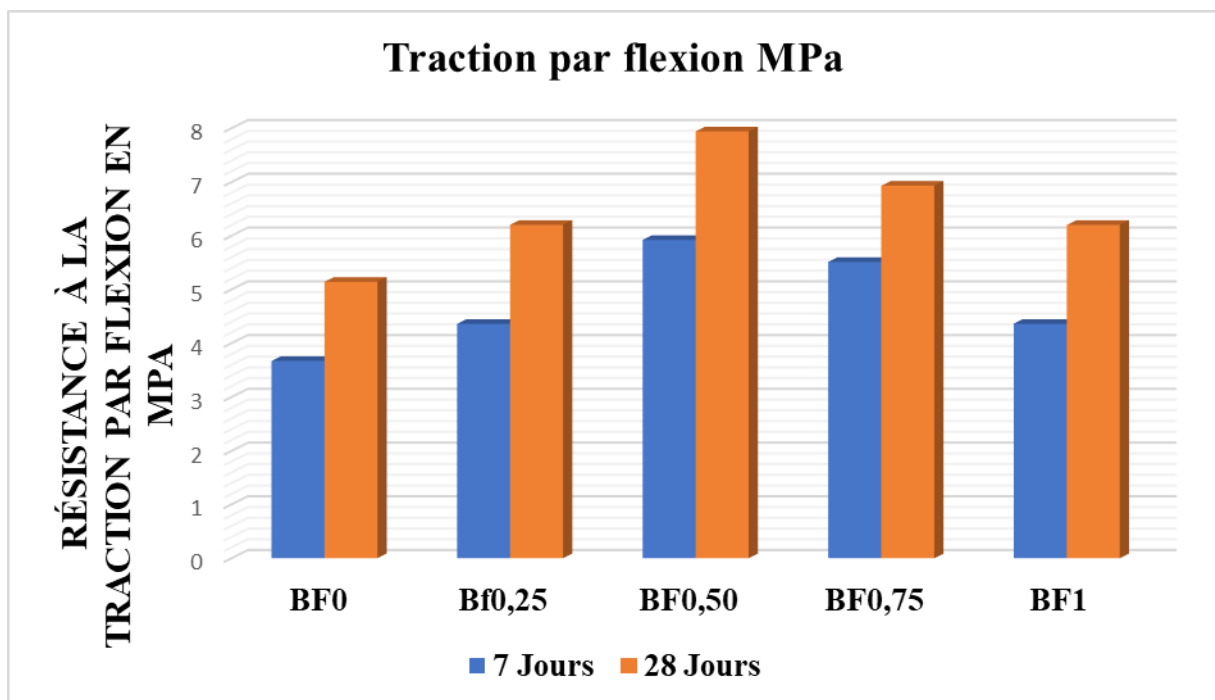


Fig. V.5 : Résistance à la flexion des échantillons.

On constate également une augmentation de la résistance en traction par flexion en augmentant le dosage en fibres métalliques. En fait, la meilleure résistance à la flexion à 7 et

28 jours est obtenue par le mélange à 0.5% de fibre métallique. Cette augmentation est due à bonne adhérence entre les fibres métalliques et les autres composants de la matrice cimentaire.

Au-delà, pour des dosages de 0.75% et 1% de fibre métallique, il y a une diminution de la résistance à la flexion. Le béton BF1 représente la valeur la plus faible à 7 et 28 jours dans la série des bétons fibrés. Cette diminution s'explique par un surdosage de fibre qui favorise la création des vides supplémentaires dans le béton, ce qui engendre des pertes de résistance.

Globalement, l'introduction des dosages variables de fibre métallique dans la composition du béton témoin engendre l'amélioration de la résistance en flexion.

V.2.3 Résistance à la traction par fendage :

Les résultats de la résistance à la traction par fendage sont présentés dans la Figure V.7

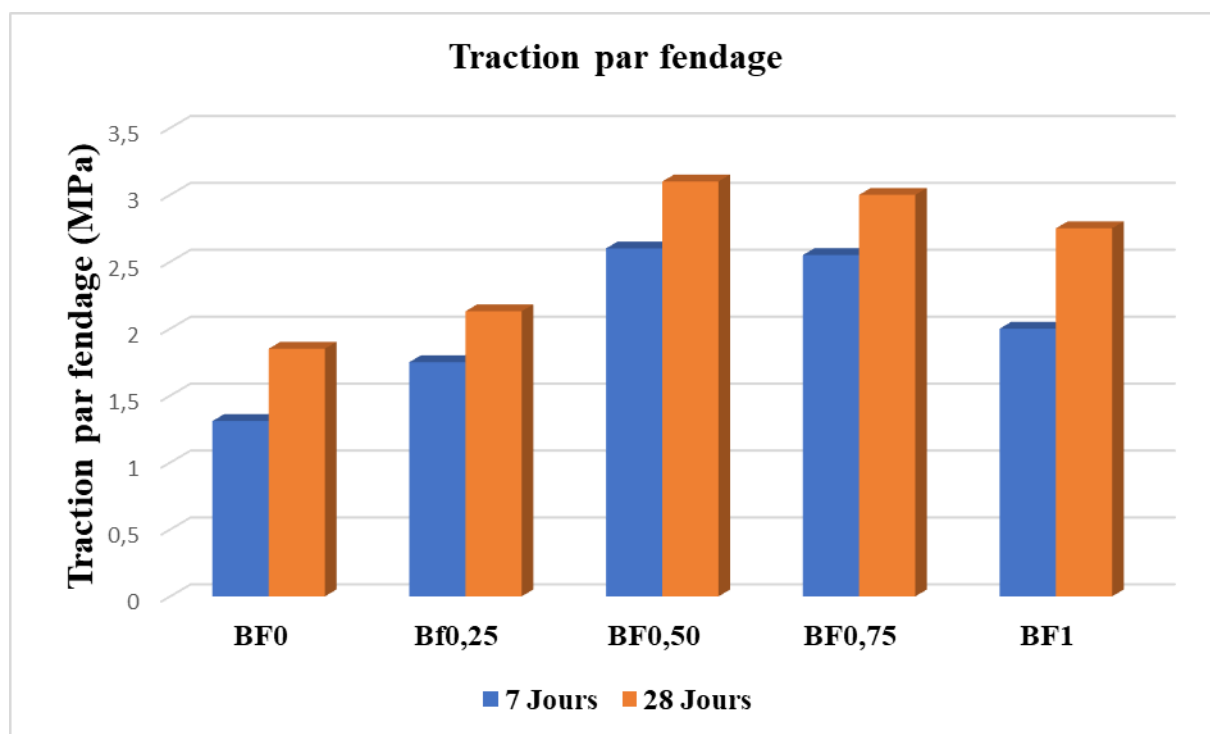


Fig.V.6 résultats traction par fendages des bétons.

D'après la figure V7, on remarque qu'il y a une augmentation de la résistance en traction par fendage avec l'augmentation du dosage en fibre. A titre indicatif, à 7, et 28 jours, le béton (BF0.5) illustre des croissances valant 98.47%, et 67.56% comparativement au béton témoin.

Cette amélioration peut être due à la présence d'un bon nombre de fibres, ayant une préférentielle orientation au sein de la matrice, ce qui aide à supporter les efforts de traction.

A partir du taux de fibre 0.75 % et aux deux échéanciers 7 et 28 jours, il y a une chute progressive de la résistance à la traction par fendage, néanmoins, les valeurs enregistrées restent toujours supérieures par rapport à ceux affichés par le béton témoin.

V.2.4 Le retrait

La figure V.8 représente les valeurs de retrait en $\mu\text{m}/\text{m}$.

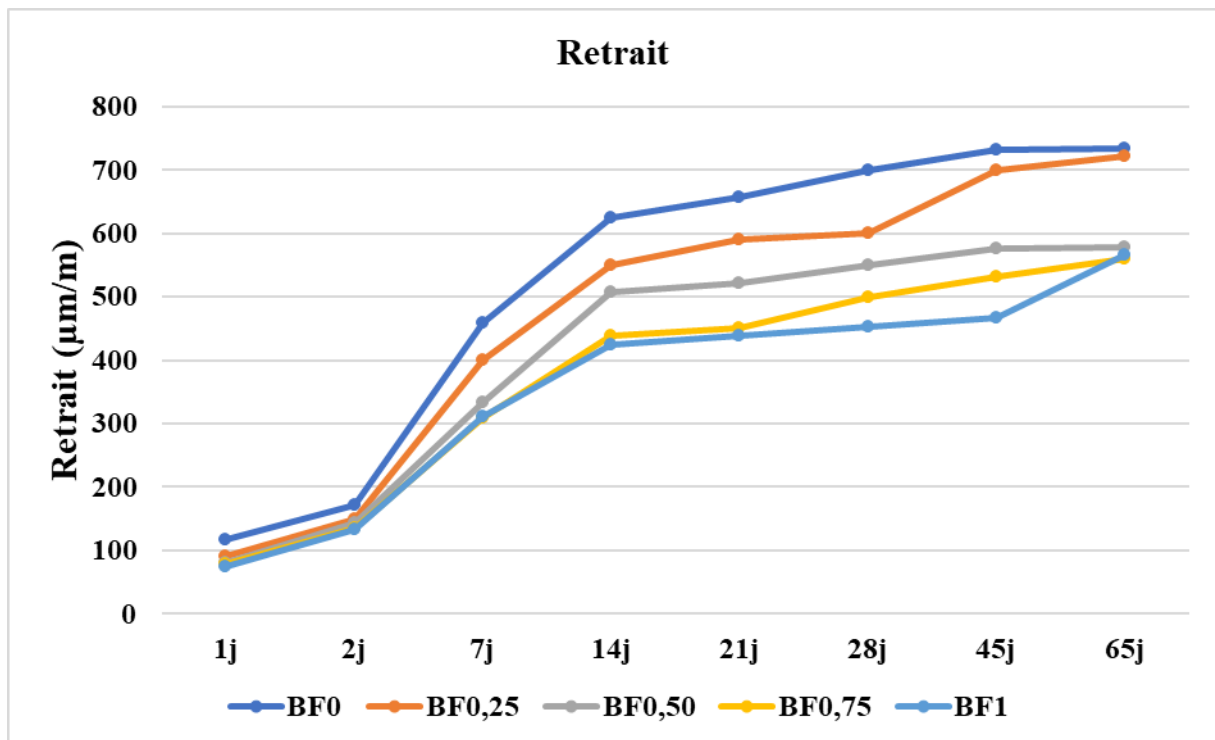


Fig.V.7 Résultats de retrait en $\mu\text{m}/\text{m}$.

D'après la figure V.8, on constate qu'il y a une diminution des valeurs de retrait avec l'augmentation du taux de fibre. Le béton BF1 (1% de fibre) présente les meilleurs résultats par rapport aux autres bétons élaborées ; le taux de décroissance est de l'ordre de (23.80 %) à 65 jours. Cette diminution du retrait est liée essentiellement à l'éclatement (l/d) de ces fibres, car l'éclatement de ces fibres est le facteur le plus important qui diminue le retrait.

V.2.4 L'attaque chimique

V.2.4.1 Acide HCl et H₂SO₄

Les pertes de masse induites par l'attaque d'acides HCl et H₂SO₄ sont présentés dans les figures ci-dessous

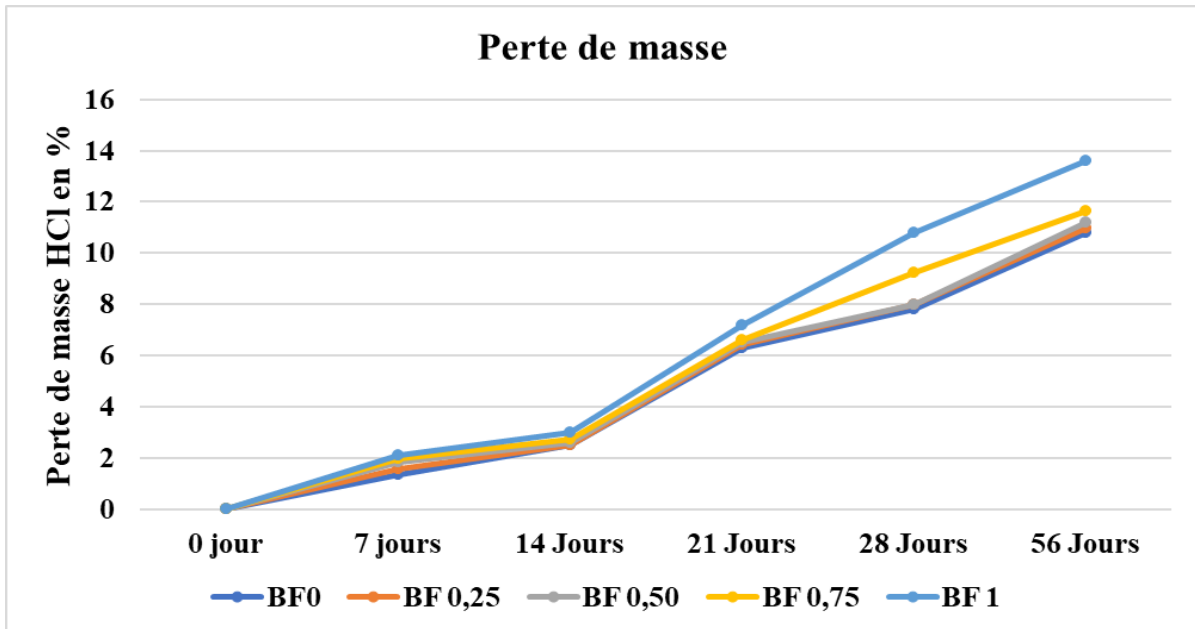


Fig.V.8. Perte de masse des bétons.

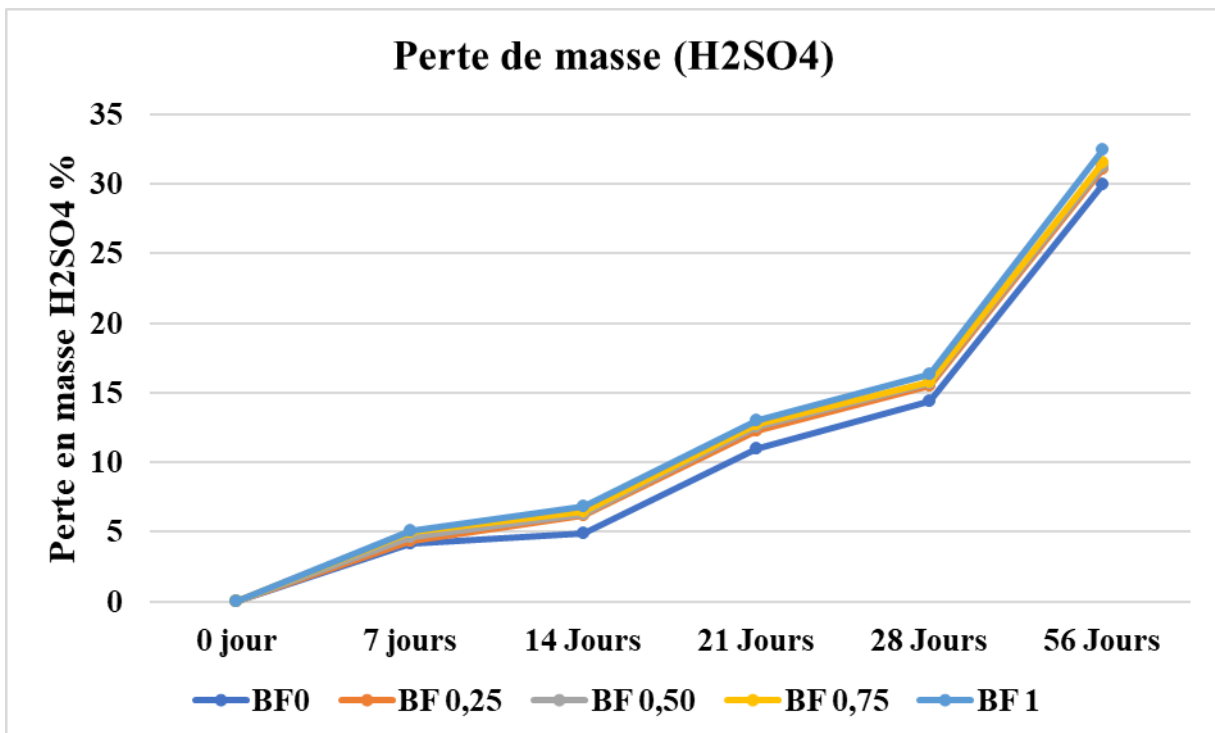


Fig.V.09. Perte de masse des bétons.

D'après les figures V9 et V10 on remarque que les pertes de masse du béton témoin sont inférieures à celles des bétons contenant des fibres métalliques dans les deux différentes solutions acides.

Les valeurs maximales sont toujours illustrées par le béton BF1%.

Au final ; après 56 jours d'immersion le béton BF1% subit les plus grandes pertes de masse. En outre, il a perdu de 13% de sa masse dans l'acide HCl et de 33% de sa masse dans l'acide H₂SO₄.

A la lumière de ces résultats on conclut que l'incorporation des fibres métallique n'a pas eu d'impact positif sur la résistance des bétons vis-à-vis les agressions chimiques.

La vitesse d'attaque enregistrée dépend de la composition et de la perméabilité du béton étudié, de la mobilité des ions chlorure et également de la solubilité du sel résultant des réactions développées au sein de la matrice cimentaire.

V.2.5 Essai scléromètre

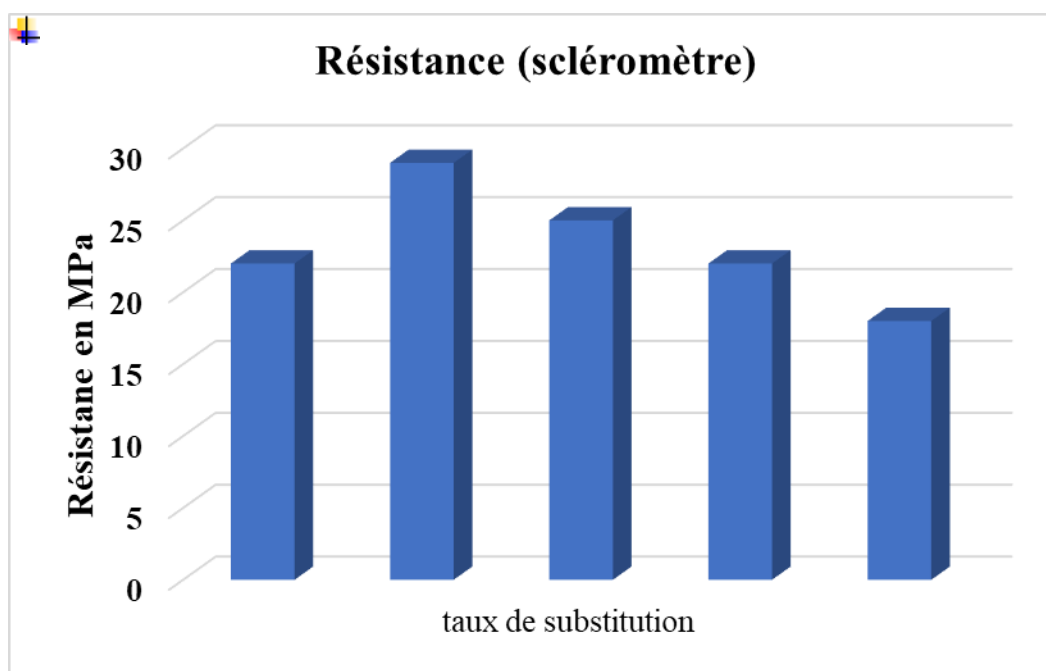


Figure V.10 variations de résistance de la surface des bétons.

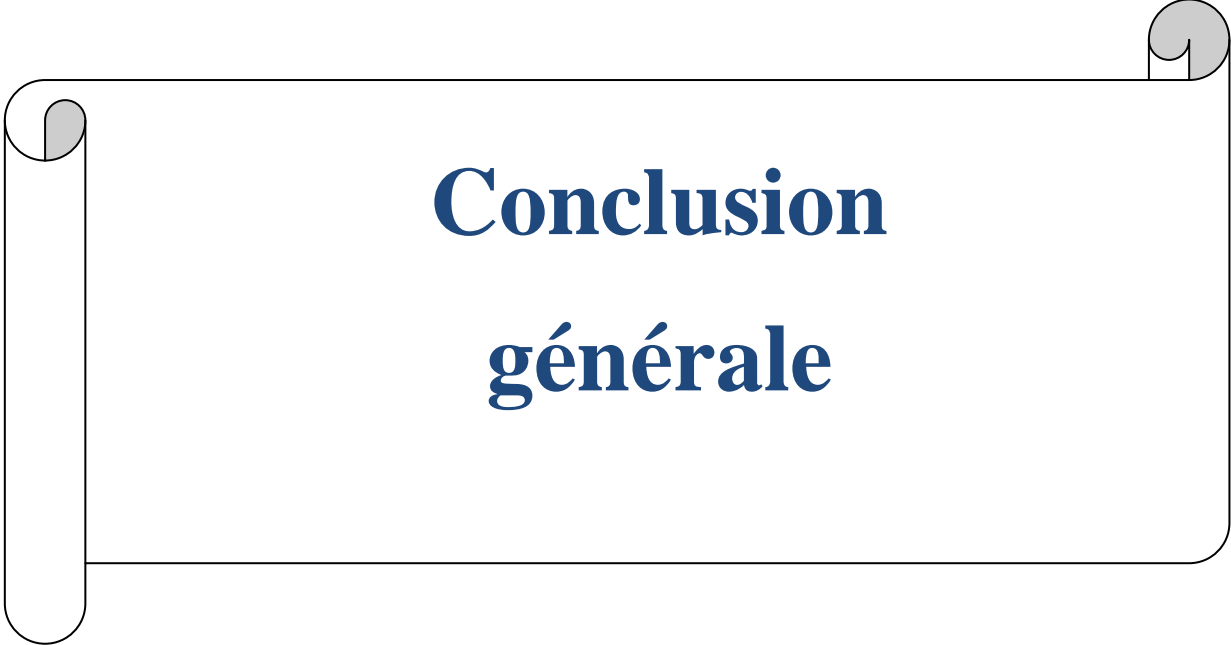
D'après la figure V.11, on remarque une augmentation de la dureté de surface des bétons de sables fibré contenant jusqu'à 0.75% de fibre métallique. Toutefois, la valeur maximale est enregistrée par le béton BF0.25.

En effet, l'ajout de la fibre métallique a un effet positif sur la dureté de surface des bétons confectionnés.

V.3 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté les résultats d'étude des propriétés à l'état frais et durci des bétons de sable fibré avec des fibres métalliques de type (DRAMIX) et à la fin, on a tiré les conclusions suivantes :

1. L'introduction de la fibre métallique dans la composition de référence a engendré des pertes d'affaissement ; l'ensemble des mélanges étudiés ont montré une consistance très plastique.
2. La densité à l'état frais est plus élevée dans les bétons de sable fibré que dans le béton témoin, et elle augmente avec l'augmentation de la teneur en fibre métallique.
3. L'utilisation de la fibre métallique augmente la teneur en air dans les bétons fibrés.
4. La résistance à la compression du béton augmente en fonction du temps et le béton BF1 dont la teneur en fibre est de 0.25 % illustre les meilleures résistances en compression à 7 et 28 jours.
5. Le béton BF2 dont la teneur en fibre est de 0.5 % présente les meilleurs résultats en termes de résistance en flexion et en traction par fendage. Ceci est due à la participation de la fibre à la couture de fissures
6. L'introduction des taux croissants des fibres métalliques engendre la décroissance du retrait plastique.
7. En matière de résistance vis à vis l'attaque chimique par les deux acides H_2SO_4 et HCl , les pertes de masse sont plus importantes dans les bétons fibrés que dans le béton témoin.
8. L'ajout de la fibre métallique impacte positivement la dureté de surface des bétons confectionnés.



Conclusion générale

CONCLUSION GENERALE

Le renforcement des bétons de sable par des fibres est une technique prometteuse visant à améliorer la résistance à la traction par flexion et à réduire la fissuration de ces bétons, permettant ainsi d'élargir leurs champs d'application et de les introduire dans de nouveaux domaines.

L'objectif de ce travail est d'étudier les modifications apportées aux propriétés d'un béton de sable courant formulé à partir de matériaux locaux (Est Algérie) en substituant partiellement le sable dunaire par des fibres métalliques à des taux de 0%, 0,25%, 0,50%, 0,75%, et 1%.

Les propriétés examinées dans leur état frais incluent l'ouvrabilité, la densité et la présence d'air occlus. Une fois durci, des mesures de résistance à la compression, à la flexion, et au fendage, ainsi que des tests de dureté et de résistance aux attaques chimiques par les acides ont été réalisés pour évaluer l'impact de ces fibres sur les caractéristiques du béton, comparativement au béton témoin sans fibres.

Après cette étude expérimentale nous pouvons présenter les conclusions suivantes :

1. L'introduction de la fibre métallique dans la composition de référence a engendré des pertes d'affaissement ; l'ensemble des mélanges étudiés ont montré une consistance très plastique.
2. La densité à l'état frais est plus élevée dans les bétons de sable fibré que dans le béton témoin, et elle augmente avec l'augmentation de la teneur en fibre métallique.
3. L'utilisation de la fibre métallique augmente la teneur en air dans les bétons fibrés.
4. La résistance à la compression du béton augmente en fonction du temps et le béton BF1 dont la teneur en fibre est de 0.25 % illustre les meilleures résistances en compression à 7 et 28 jours.
5. Le béton BF2 dont la teneur en fibre est de 0.5 % présente les meilleurs résultats en termes de résistance en flexion et en traction par fendage. Ceci est due à la participation de la fibre à la couture de fissures
6. L'introduction des taux croissants des fibres métalliques engendre la décroissance du retrait plastique.
7. En matière de résistance vis à vis l'attaque chimique par les deux acides H_2SO_4 et HCl , les pertes de masse sont plus importantes dans les bétons fibrés que dans le béton témoin.
8. L'ajout de la fibre métallique impacte positivement la dureté de surface des bétons confectionnés.

Enfin, il convient de noter que les résultats obtenus viennent de confirmer l'impact positive de l'utilisation de la fibre métallique de type Dra mix pour améliorer certaines propriétés du béton de sable fabriqué à base des matériaux locaux.



Bibliographique

Références

- [1] **LAZAR Mohamed Badreedine**, Etude de l'influence des fibres issues de déchets d'aluminium sur le retrait du béton de sable ; mémoire master, université Ouargla 2023.
- [2] **OUKIL Youcef**, Formulation et caractérisation d'un béton de sable à partir des déchets minéraux ; mémoire master, université Bouira 2017.
- [3] **SABLOCRETE**, (1994) « Béton de sable », Presse de l'école nationale des ponts et chaussées, Paris, France.
- [4] **OUKIL Youcef**, Formulation et caractérisation d'un béton de sable à partir des déchets minéraux ; mémoire master, université Bouira 2017.
- [5] **SABLOCRETE**, Projet National de Recherche et Développement, "Bétons de sable : caractéristiques et pratiques d'utilisation", Presse de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Paris 1994.
- [6] **DREUX G, FESTA J.**, (2002), Nouveau guide du béton et de ses constituants, Huitième édition, Edition Eyrolles.
- [7] **C.E.B.T.P, Dec.** (1986) : "Synthèse de connaissance sur le béton de sable" ; Opération 52 G 119 ; LRPC de bordeaux.
- [8] **LAZAR Mohamed Badreedine**, Etude de l'influence des fibres issues de déchets d'aluminium sur le retrait du béton de sable, mémoire de master ; université Ouargla 2023.
- [9] **SAHRAUOI Chahinez**, Étude de la durabilité du béton pouzzolanique fibré, mémoire de master ; université Ain-Temouchent 2020.
- [10] **ACI Committee,201** «Quid to durable concrete, American Concrete Institutel. Report » of ACI Committee,detrair,ACI 201.2R-77,deter,1982.37.
- [11] **SAHRAUOI Chahinez**, Étude de la durabilité du béton pouzzolanique fibré, mémoire de master ; université Ain-Temouchent 2020.
- [12] **REZIG Salima**, Optimisation de la formulation du béton de sable dans le cadre de valorisation des matériaux locaux, mémoire de magister ; Université du Biskra.
- [13] **ABDELMADJID Bilal**, Étude du comportement mécanique d'un béton à base de fibres métallique, mémoire de master, université de tizi Ouzou 2021.
- [14] **Pascal Casanova**, « Bétons renforcées de fibres métalliques », Ecole nationale de Paris,

1995.

[15] BELFERRAG ALLAOUA, « valorisation des fibres métallique issues des déchet pneumatiques dans les bétons de sable da dune », mémoire magister, université Ouargla 2006.

[16] LAFARGE Holcim, « fiche technique Fibres SIKA, Steel mix, Steel construction et des avis technique sur les vibres métallique. ».

[17] ABDELMADJID Bilal, Étude du comportement mécanique d'un béton à base de fibres métallique, mémoire de master, université de tizi Ouzou 2021.

[6] ACI COMMITTEE (1984), "State of the art report on fiber reinforced concrete", Journal. American. Concrete Institute. March-April 1984, pp.140-146.

[18]. ABDELMADJID Bilal, Étude du comportement mécanique d'un béton à base de fibres métallique, mémoire de master, université de tizi Ouzou 2021.

[19]. ASSOCIATION BETON QUEBEC (janvier 2005)"Guide de bonnes pratiques pour l'utilisation des fibres dans le béton " Dépôt légal Bibliothèque nationale du Québec ISBN 2 923379-00-4