



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



Université Amar Thelidji- Laghouat

FACULTE DE : TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT : GENIE CIVIL

MEMOIRE DE MASTER

Présenté par : AOUIFFAT Abdessamed et ZAOUI Mohamed

DOMAINE : Sciences et Technologies

FILIERE : Génie Civil

OPTION : Conception et Calcul des Structures

Thème

Etude l'effet de la nature minéralogique du sable sur la durabilité des poutres en béton armé renforcées par des fibres de polypropylène

Jury de soutenance :

Nom et Prénom	qualité
Mme.BOULAGHMAN Farida	Présidente
Mr .FERHAT Ahmida	Examinateur
Mme .BENDJILLALI Khadra	Encadreur
Mme.GOTTEICHA Massaouda	Co-Encadreur

Promotion : 2016

Table des matières

Table des matières

Remercîments	
Dédicace	
Résumé.....	I
Abstract.....	II
ملخص.....	III
Liste des tableaux.....	IV
Liste des figures.....	VI
Introduction générale.....	1

Chapitre I : Synthèse bibliographique

I.1. Introduction.....	3
I.2. Propriétés des bétons de fibres.....	4
I.2.1. Ouvrabilité.....	4
a. Dosage de fibres	5
b. Géométrie des fibres	5
c. Granulométrie de la matrice.....	5
I.2.2. Résistance à la compression.....	6
I.2.3. Résistance à la flexion	7
I.2.4. Résistance à la traction	8
I.2.5. Durabilité.....	9
a. Porosité	9
b. Absorption.....	9
c. Durabilité du béton aux attaques chimiques	10
d. Attaque par les solutions acides	11
e. Moyens de résister à l'attaque des acides.....	13

I.3. Comportement mécanique des poutres en béton armé.....	13
I.3.1. Effet de fibres sur le comportement d'une poutre en béton armé	15
I.3.2. Effet de granulat sur le comportement d'une poutre en béton armé	16
a. Origine de granulats	16
b. Caractéristiques géométriques des granulats.....	17
c. Caractéristiques mécaniques des granulats	17

Chapitre II : Identification des matériaux et techniques expérimentales

II.1. Introduction	19
II.2. Matériaux employés.....	19
II.2.1. Granulats	19
II.2.2. Ciment	20
II.2.3. Eau de gâchage	20
II.2.4. Super-plastifiant	20
II.2.5. Fibres	20
II.3. Essais de caractérisation de matériaux.....	21
II.3.1. Masse volumique apparente	21
II.3.2. Masse volumique absolue	21
II.3.3. Analyse granulométrique	22
II.3.4. Equivalent du sable	24
II.3.5. Coefficients d'absorption.....	25
II.3.6. Analyses minéralogiques	26
II.4. Composition et préparation de bétons.....	27
II.4.1. Composition de béton.....	27

II.4.2. Préparation du béton	33
II.5. Ferrailage des poutres.....	34
II.5.1. Recommandations de RPA99/version 2003	34
II.6. Confection des échantillons.....	35
II.7. Cures des éprouvettes.....	36
II.8. Essai.....	37
II.8.1. Essais de durabilité	37
II.8.2. Absorption par immersion	37
II.8.3. Résistance à la compression	38
II.8.4. Résistance à la traction par flexion à trois points.....	38
II.8.5. Essai de résistance à la traction par flexion à quatre points ...	39
II.8.6. Suivi des éprouvettes	39

Chapitre III : Résultats expérimentaux et discussions

III.1. Introduction.....	41
III.2. Optimisation du dosage du superplastifiant dans le béton sans fibres.....	41
III.3. Optimisation du dosage du superplastifiant dans le béton de fibres.....	42
III.4. Etude du comportement mécanique du béton de fibres.....	43
III.4.1. Résistance à la traction par flexion..	44
III.4.2. Résistance a la compression	47
III.5. Absorption par immersion.....	52
III.6. Variation de poids	53
III.7. Observations visuelles.....	55
III.8. Comportement des poutres en béton armé.....	57
III.8.1. Comportement à la rupture des poutres	57

III.9. Mode de rupture.....	60
Conclusion générale.....	64
Références Bibliographiques.....	65
Annexe.....	70

Remerciements

Louange et le grand remerciement à *Allah* qui nous a donné la santé, la sagesse et le pouvoir de faire ce travail.

Nous tenons à remercier de fonds de nos cœurs notre Encadreur *Mme. BENDJILLALI khadra* grâce à sa détermination, sa simplicité, son entière disponibilité et ses conseils.

Nous tenons aussi à exprimer nos remerciements à notre gratitude à l'égard Co-encadreur *Mme. GOTTEICHA Massaouda*, ainsi qu'à tout le corps enseigne du département de génie civil de l'université de laghouat.

Nous remercions également les membres de jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à ce modeste travail, en l'occurrence *M. FARHAT Ahmida* et *Mme. BOULAGHMEN Farida*.

On saisit cette occasion pour exprimer nos sincères remerciements à toute l'équipe de laboratoire de génie civil. Sans oublier ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Merci



Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

A mes très chers parents ;

A mes frères et sœurs;

A mes grands parents ;

A mes oncles ;

A toute ma famille ;

A mon encadreur et Co-encadreur ;

A tous mes enseignants ;

A tous mes amis fidèles.

Abdessamed

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

- ❖ Ma chère mère, symbole de tendresse, d'amour et de courage,
- ❖ Mon cher père que j'aime très fort,
- ❖ Mes chères soeurs et chers frères,
- ❖ Tous les membres de la famille Zaoui,
- ❖ A mon encadreur et Co-encadreur,
- ❖ Tous mes amis fidèles.

Mohamed

Résumé

L'objectif de notre travail expérimental est l'étude de l'effet de la nature minéralogique du sable sur la durabilité des poutres en béton armé renforcé par des fibres de polypropylène vis-à-vis d'une attaque chimique par l'acide sulfurique. Deux types de sables sont utilisés, un sable calcaire de concassage et un sable dunaire. Les fibres employées sont des fibres de polypropylène possédant une longueur variant entre 4 et 7 cm et un diamètre moyen de 0.8 mm. Les bétons de fibres sont renforcés par 1 % de fibres (dosage calculé par rapport à la masse sèche totale du béton). Les échantillons sont immergés pendant 150 jours dans une solution acide de PH constant égale à 2. Nous avons mesuré pour chaque composition du béton, l'affaissement au cône d'Abrams et la résistance mécanique à la traction par flexion à trois points et à la compression. Des mesures de l'absorption par immersion et de poids sont aussi faites accompagnées d'observations visuelles. Nous avons également mesuré la charge à la rupture des poutres en béton armé soumises à la flexion.

D'après les résultats obtenus, nous avons constaté que les bétons à base du sable calcaire présentent les meilleures performances mécaniques, aussi bien dans l'eau que dans l'acide sulfurique. L'introduction des fibres de polypropylène dans le béton a un effet positif sur son comportement mécanique à la traction par flexion et sur sa durabilité vis-à-vis de l'attaque chimique par l'acide sulfurique.

Abstract

The objective of our experimental work is the study of the effect of the mineralogical nature of sand on the durability of the concrete beams reinforced by polypropylene fibres subjected to sulfuric acid attack. Two types of sands are used, a crushed limestone sand and dune sand. The used fibres are polypropylene fibres having a length varying between 4 and 7 cm and an average diameter of 0.8 cm. The weight percentage of fibres is 1 % (with regard to the total dry mass concrete). The samples are immersed during 150 days in an acid solution of constant pH equal to 2. We measured for each composition, the slump and the mechanical flexural and compression resistance. The Measure of the absorption by immersion and the measure of the weight of the samples are also made accompanied by some visual observations. We also measured the rupture load of the reinforced concrete beams subjected to the flexion.

According to the results obtained, we noted that the concretes prepared with limestone sand has presented the best mechanical performances, as well in water as in the sulfuric acid. The introduction of polypropylene fibres into the concrete has a positive effect on its mechanical behaviour and its durability vis-à-vis the chemical attack by the sulfuric acid.

المخلص

الهدف من هذا العمل التجريبي هو دراسة تأثير الطبيعة المعدنية على ديمومة العوارض الخرسانية المسلحة المدعومة بألياف المكانس المتعرضة لحمض الكبريت . نوعان من الرمل مستعملان, الرمل الجيري المسحوق ورمل الكثبان. نوعية الألياف المستعملة هي ألياف المكانس ذات طول يتراوح بين 4 و 7 سم وذات قطر متوسط 0.8 ملم. تركيز الألياف للخرسانة 1% (هذا التركيز مأخوذ من الكتلة الجافة للخرسانة) . العينات وضعت لمدة 150 يوم في محلول حمض الكبريت ذو PH يقدر بـ 2. لكل نوع من الخرسانة قمنا بقياسات, الهبوط بمخروط أبرامس و مقاومة الشد بالإنحناء ومقاومة الضغط وقياس الإمتصاص بواسطة الغمر, الوزن, مرفوعة بملاحظات البصرية. كما قمنا أيضا بقياس إنهيار العوارض الخرسانية المعرضة للإنحناء .

وعلى ضوء النتائج المتحصل عليها وجد أن الخرسانة المحضرة من الرمل الجيري المسحوق يعطي أفضل الخصائص الميكانيكية سواء في الماء أو في حمض الكبريت . إضافة ألياف المكانس في الخرسانة يعطي أثر إيجابي على السلوك الميكانيكي للشد بالإنحناء وعلى الديمومة في وسط الحمض الكبريتي .

Liste des Tableaux

Chapitre I : Synthèse bibliographique

Tableaux I-1 : Applications de bétons renforcés de fibres.....	4
Tableaux I-2 : Mesure d'absorption pour différents bétons.....	10
Tableaux I-3 : Valeurs limites pour les classes d'exposition en cas d'attaque chimique.....	11
Tableaux I-4 : Quelques substances pouvant provoquer de graves attaques chimiques au béton	12
Tableaux I-5 : Densités et résistances en compression de roches.....	18

Chapitre II : Identification des matériaux et techniques expérimentales

Tableaux II-1 : Analyse granulométrique des granulats	23
Tableaux II-2 : Propriétés des matériaux utilisés	25
Tableaux II-3 : Evaluation de l'ouvrabilité.....	28
Tableaux II-4 : Valeurs approximatives du coefficient granulaire G	28
Tableaux II-5 : Valeurs de terme correcteur K.	30
Tableaux II-6 : Pourcentages des granulats pour 1 m ³ de béton.	30
Tableaux II-7 : Valeurs du coefficient de compacité.....	32
Tableaux II-8 : Composition en masse pour 1m ³ du béton.	32
Tableaux II-9 : Ferrailages des poutres 10x10x50cm.....	34
Tableaux II-10 : Caractéristiques du ferrailage.....	35

Chapitre III : Résultats expérimentaux et discussions

Tableau III-1 : Composition optimale en kg/m ³ du béton témoin sans fibres	42
Tableau III-2 : Dosages d'adjuvant dans les bétons de fibres	43
Tableau III-3 : Résistance à la traction par flexion dans les deux milieux	44
Tableau III-4 : Taux de variation de la résistance à la traction par flexion du béton de fibres par rapport au béton témoin.....	47

Tableau III-5: Résistance à la compression dans les deux milieux	48
Tableau III-6: Taux de variation de la résistance à la compression du béton de fibres par rapport au béton témoin.....	51
Tableau II-7: variation de la résistance à la flexion des poutres	57
Tableau III-8: Taux de variation de la résistance à la traction par flexion du béton de fibres par rapport au béton sans fibres	60

Liste des figures

Chapitre I : Synthèse bibliographique

Figure I. 1 : Apport des fibres dans un matériau	3
Figure I.2 : Effet du pourcentage de fibres sur l'affaissement du béton	5
Figure I.3 : Courbe contrainte- déformation en compression simple.	6
Figure I.4 : Variation de la résistance à la flexion en fonction de fibres.....	7
Figure I.5 : Influence de fibres sur la résistance à la flexion.....	8
Figure I.6 : Résistance à la traction du ciment armé de fibres de verre.....	9
Figure I.7 : Activité bactérienne dans un réseau d'égout	12
Figure I.8 : Représentation de la fissuration initiale et intermédiaire par flexion d'une poutre en béton armé.....	14
Figure I.9 : Charge-flèche d'une poutre en béton armé soumise à la flexion.....	15
Figure I.10 : Influence de fibres sur la courbe force-flèche	16

Chapitre II : Identification des matériaux et techniques expérimentales

Figure II.1 : Granulats employés	19
Figure II.2 : Super plastifiant utilisé	20
Figure II.3 : Fibres utilisées	21
Figure II.4 : Courbes granulométriques des différents granulats.....	23
Figure II.5 : Essai d'équivalent de sable	24
Figure II.6 : Mesure du coefficient d'absorption du sable	25
Figure II.7 : Analyse minéralogique du sable calcaire	26
Figure II.8 : Analyse minéralogique du sable dunaire.....	26
Figure II.9 : Abaque donnant le dosage en ciment à prévoir en fonction du rapport C/E et de l'ouvrabilité désirée (affaissement au cône).....	29
Figure II.10 : Courbes granulométriques des granulats et de référence de Dreux-Gorisse.....	31
Figure II.11 : Mesure d'affaissement au cône d'Abrams.....	33
Figure II.12 : Ferrailage des poutres 10x10x50 cm.....	34

Figure II.13: confection des éprouvettes.....	36
Figure II.14: Conservation des éprouvettes dans l'eau saturée de chaux.....	36
Figure II.15: Conservation des éprouvettes dans l'eau potable.....	36
Figure II.16: Conservation des éprouvettes dans l'acide sulfurique H_2SO_4	37
Figure II.17: Acide sulfurique utilisé.....	37
Figure II.18: Presse d'écrasement de compression.....	38
Figure II.19: Dispositif de flexion à trois points.....	38
Figure II.20: Dispositif de flexion à quatre points.....	38

Chapitre III : Discussion des résultats expérimentaux

Figure III.1 : Variation d'affaissement au cône d'Abrams des bétons	41
Figure III.2 : Consistance du béton de fibres	43
Figure III.3: Résistance à la traction par flexion des bétons dans l'eau	45
Figure III.4 : Résistance à la traction par flexion des bétons dans l'acide sulfurique	46
Figure III.5 : Résistance à la compression des bétons dans l'eau	49
Figure III.6 : Résistance à la compression des bétons dans l'acide sulfurique	50
Figure III.7: Coefficient d'absorption des bétons	52
Figure III.8 : Variation en poids des bétons dans l'eau	54
Figure III.9 : Variation en poids des bétons dans l'acide sulfurique	55
Figure III.10 : Eprouvettes conservées dans l'acide sulfurique	56
Figure III.11 : Résistance en flexion des poutres en bétons armés dans l'eau.....	58
Figure III.12 : Résistance en flexion des poutres en bétons armés dans L'acide sulfurique.....	59
Figure III.13 : Eprouvettes (7x7x28) cm ³ écrasées en traction par flexion	61
Figure III.14 : Eprouvettes (7x7x28) cm ³ écrasées en compression	61
Figure III.15 : Rupture des poutres en béton sans fibres	62
Figure III.16: Rupture des poutres en béton de fibres.....	63

Introduction générale

Introduction générale

Le béton est le matériau de construction le plus utilisé dans le monde. Les ouvrages en béton armé sont conçus et construits pour durer, mais ils se dégradent sous l'effet de l'agressivité de l'environnement au quel ils sont exposés.

Le milieu d'équilibre naturel du béton est une solution très alcaline, il est voisin de 13, donc tout autre milieu dont le PH est inférieur à cette valeur peut être considéré comme un milieu agressif, Cependant le comportement du béton placé dans un environnement chimiquement agressif dépend de facteurs complexes et multiples liés d'une part à l'environnement (nature, concentration et renouvellement ou non des éléments agressifs) et d'autre part au matériau lui-même (nature et dosage des constituants, conditions de fabrication et de cure).

Les structures de béton en contact avec les milieux acides peuvent être sensiblement attaquées. Une pluie acide ou une eau fortement acide peuvent justifier les dégradations importantes et même conduire à la ruine de l'ouvrage. De même, le stockage de produits chimiques dans le béton présente souvent des problèmes de durabilité dus aux attaques chimiques.

Les études expérimentales des phénomènes liés à la durabilité nécessitent souvent un temps très long et les résultats sont parfois difficiles à interpréter et à exploiter.

L'objectif de ce travail est l'étude du comportement mécanique et de la durabilité vis-à-vis d'une attaque chimique par l'acide sulfurique des bétons préparés à base de sable calcaire et de sable dunaire et renforcés par 1% de fibres plastiques en polypropylène.

Afin de présenter le travail expérimental réalisé, trois chapitres vont être déterminés:

Le premier chapitre correspond à une analyse bibliographique globale sur les bétons de fibres et sur la durabilité des bétons à des attaques chimiques en particulier l'attaque par les acides.

Le deuxième chapitre donne les résultats des essais de l'identification et de la caractérisation des différents matériaux employés et les modes de conservation employés.

Introduction générale

Le dernier chapitre donne les résultats de l'étude d'optimisation du dosage d'adjuvant dans le béton sans et avec fibres, les résultats du comportement mécanique à la traction par flexion et à la compression des bétons à base de sable calcaire et dunaire conservés dans l'eau et dans l'acide sulfurique et les résultats du comportement mécanique des poutres fléchies en béton armé et le mode de leur rupture avec la présentation des observations visuelles faite le long du travail expérimental réalisé.

Chapitre I

Synthèse bibliographique

I.1. Introduction

Le béton est un matériau de construction préparé à base de granulats, de ciment, d'eau et d'adjuvant. Le béton se caractérise par une bonne résistance à la compression et une certaine fragilité à la traction. Généralement les matériaux cimentaires sont sujets à un départ prématuré de l'eau de gâchage, qui va conduire à sa fissuration dès jeune âge. Pour remédier ce problème de fissuration, nous incorporons des inclusions fibreuses au moment de son gâchage, on parle alors de béton de fibres. Plusieurs types de fibres sont employées jusqu'à maintenant dans la fabrication du béton de fibres tels que les fibres naturelles (fibres végétales) et les fibres artificielles (fibres minérales, fibres métalliques, fibres synthétiques). Les fibres ont pour rôle de renforcer la structure en s'opposant au développement des fissures et à leur propagation, d'augmenter la ductilité et le comportement post-fissuration et d'améliorer la cohésion du béton frais. La figure I.1.a schématise le contrôle de la propagation d'une fissure par réduction de son ouverture dans un matériau en état de service. La transformation du comportement fragile d'un matériau en un comportement ductile est montrée sur la figure I.1.b. Le tableau I.1 donne quelques applications des bétons de fibres.

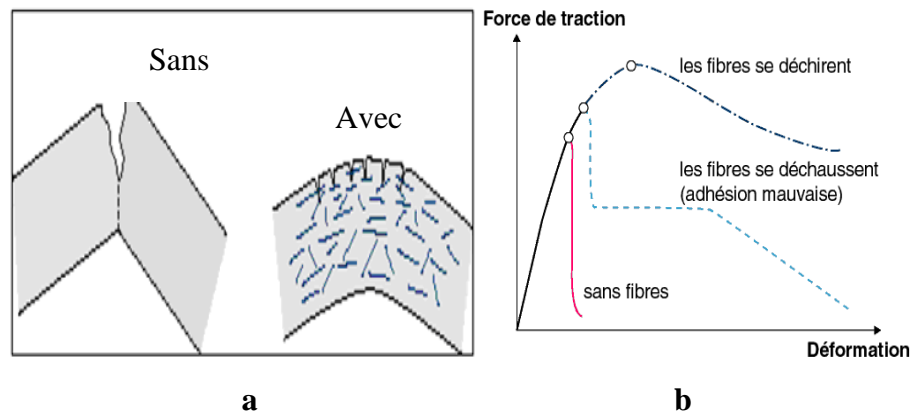


Figure I.1: Apport des fibres dans un matériau [1].

Les Fibres synthétiques (nylon, polypropylène, acryle, polyster ...etc.) sont apparues à la fin du XIX^{ème} siècle sous le nom de rayonne. Aujourd'hui, la plupart des fibres proviennent de produits dérivés du pétrole et de polymères géants dont la structure ressemble à celle des matières plastiques. Le polypropylène est un polymère cristallisable de la famille des polyoléfines, découvert en 1954. Les longueurs les plus courantes varient de 25 à 75mm pour des diamètres compris entre 10 et 200 microns,

leurs densité relative est d'environ 0,9 et leur résistance à la traction est sensiblement le quart de celle des fibres métalliques [2].

Tableau I.1: Applications de bétons renforcés de fibres [3].

Applications	Intérêts d'ajout de fibres dans le béton
Canalisations et coques minces faiblement sollicitées	- Amélioration de la tenue des pièces aux jeunes âges - Lutte contre la fissuration
Dallages, chaussé en béton, dallages manufacturés, éléments structuraux soumis à la flexion	- Diminution de 40 % de l'ouverture de fissures - Augmentation de la rigidité après fissuration - Augmentation de la résistance au cisaillement - Augmentation de la résistance à l'usure
Éléments structuraux comprimés (poteaux, pieux, fondations)	- Amélioration de la charge ultime - Pas de rupture fragile
Structures soumises à des sollicitations dynamiques (piste d'aéroport)	- Energie absorbée plus importante - Augmentation de la résistance aux chocs - Loi de comportement du matériau fortement améliorée
Réparation des revêtements routiers, tabliers de ponts	- Amélioration de la résistance aux chocs - Amélioration de la déformabilité et de la durabilité
Parties exposées aux fortes variations de température et aux très hautes températures	- Remplacement avec succès de revêtement réfractaire - Diminution du coût de réparation des éléments réfractaires
Stabilisation des parois rocheuses, les talus, tunnels, et galeries souterrains	- Suppression du travail de fixation du grillage ordinairement employé - Diminution du coût de réparation et/ou de stabilisation des parois rocheuses et des talus
Fabrication des pieux, revêtements ignifuges isolants (construction navale), panneaux de revêtement de façade	- Augmentation de la résistance aux chocs - Augmentation de la résistance à l'usure - Augmentation de la durabilité de revêtement

I.2. Propriétés des bétons de fibres

I.2.1. Ouvrabilité

L'ouvrabilité est une caractéristique très importante des composites dont le but d'avoir une maniabilité acceptable avec caractéristique mécanique satisfaisante. Les fibres inertes dans le béton peuvent être considérées comme des granulats avec une forme particulière (forme allongée). Cette forme peut créer des frottements parasites qui confèrent au mélange une cohésion artificielle, ainsi qu'une augmentation de la porosité à cause de la perturbation de l'arrangement du squelette granulaire. Ces changements conduisent à une maniabilité et une compacité faible par rapport au béton sans fibres.

L'ouvrabilité du béton de fibres est influencée par les paramètres, suivants:

a. Dosage de fibres

Toutes les études s'accordent, qu'avec une même composition de la matrice, une diminution de la maniabilité aura lieu lorsque le dosage en fibres augmente. Edigton [4], à l'aide des mesures de l'affaissement au cône d'Abrams, a remarqué que la maniabilité du béton diminue avec l'augmentation du dosage de fibres d'acier et de polypropylène (figure I.2).

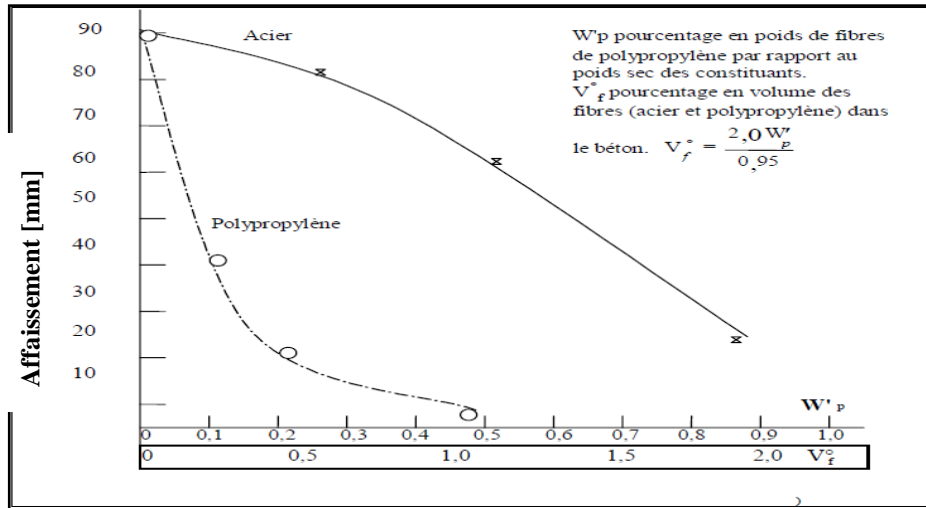


Figure I.2: Effet du pourcentage de fibres sur l'affaissement du béton [4]

b. Géométrie des fibres

L'élanement d'une fibre est défini comme étant le rapport entre la longueur de la fibre (l) et son diamètre (d). Il est évident que plus les fibres ont un élanement plus grand, plus elles ont tendance à s'enchevêtrer, c'est ce qui favorise la formation des oursins et par conséquent la perturbation de l'arrangement du squelette granulaire et la diminution de l'ouvrabilité du mélange.

c. Granulométrie de la matrice

Du point de vue de la granulométrie, les fibres s'accrochent mieux dans les bétons relativement fins dont le diamètre maximal des grains est environ de l'ordre de 8 à 15mm. Les recommandations granulométriques doivent cependant être associées à des impératifs dictés par les performances de la matrice. Ainsi toute modification du rapport S/C devra être obligatoirement associée à une conservation du rapport ciment /sable C/S assurant une compacité optimale et un contrôle du rapport eau/ciment (E/C) qui est déterminant pour les performances mécaniques de la matrice. Bentur et Mindess [5] recommandent que la fibre doit avoir une longueur supérieure à deux fois la dimension du plus gros granulat (D_{max}), soit $l \geq 2D_{max}$, d'autres études, comme

celle d'Absi [6] recommandent que la longueur doit être supérieure à quatre fois la dimension du plus gros granulats, soit $l \geq 4D_{max}$, pour $D=8$ à 15mm . Les fibres longues ne pourront être utilisées qu'en pourcentage beaucoup plus faible que les fibres courtes [7].

I.2.2. Résistance à la compression

Le comportement en compression du béton de fibres se résume en trois phases qui sont les trois parties indissociables du diagramme effort-déformation [8]:

- 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 (représentée par un diagramme courbé), durant laquelle la courbe commence à se démarquer de celle du béton témoin, dû à l'amorçage des microfissures et par conséquent la mise en service des fibres qui se mettent en tension.
- Dans la dernière phase (à 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-Rose [9], la résistance ultime et le module d'élasticité d'un béton fibre métallique 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 (figure I.3).

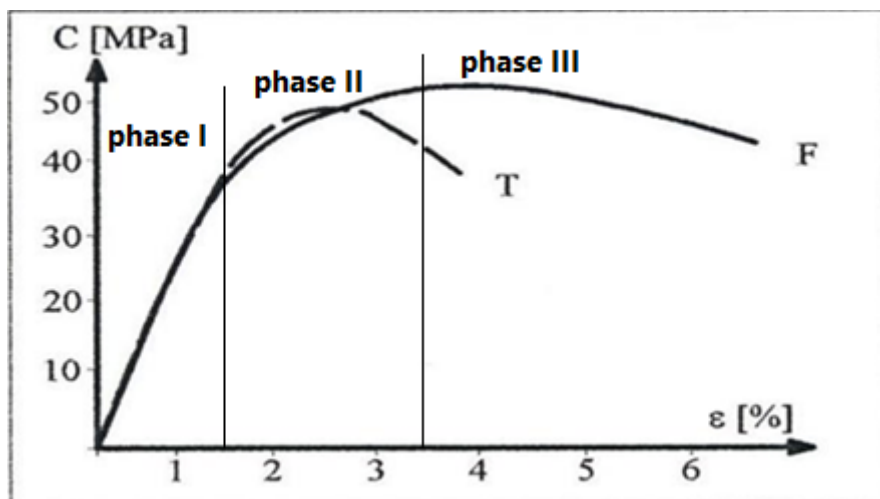


Figure I.3: Courbe contrainte déformation en compression simple [9].

Avec : T : Béton témoin. F : Béton de fibres métalliques.

C : contrainte en compression.

I.2.3. Résistance à la flexion

L'augmentation de la résistance en flexion du béton de fibres est beaucoup plus importante, elle peut atteindre plus de 200% due à la déformabilité du matériau. Abbani [10] montre que l'augmentation du pourcentage en masse des fibres végétales de palmier dattier de longueur de 4 cm, améliore notablement la résistance à la flexion (figure I.4).

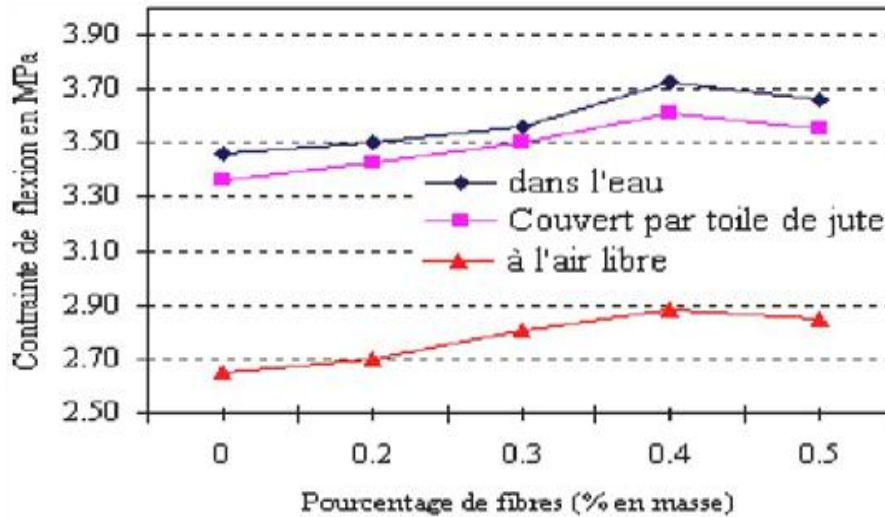


Figure I.4: Variation de la résistance à la flexion en fonction de fibres.

Dans un rapport publié par A.C.I COMMITTEE [11], les auteurs confirment que les fibres métalliques, introduites jusqu'à 4% par volume augmentent la résistance de la première fissure deux fois et demi plus de celle de béton non renforcé de fibres.

Benyahia [12] a trouvé que l'incorporation de fibres de fil d'attache dans la matrice béton apporte une amélioration de la résistance à la flexion lorsque le pourcentage de fibres est de 3%, et une diminution pour les pourcentages élevés (figure I.5). Swamy [13] a rassemblé les résultats de divers expérimentateurs et il a proposé une formule de régression qui donne la résistance à la flexion du béton de fibre σ_c en fonction de celle du béton sans fibres :

$$\sigma_c = 0,97 \sigma_m (1 - V_f) + 3,41 V_f l/d$$

Avec : V_f : Pourcentage, en volume de fibres.

l/d : Elancement de fibres.

σ_c : Résistance à la flexion du béton de fibres.

σ_m : Résistance à la flexion du béton sans fibres.

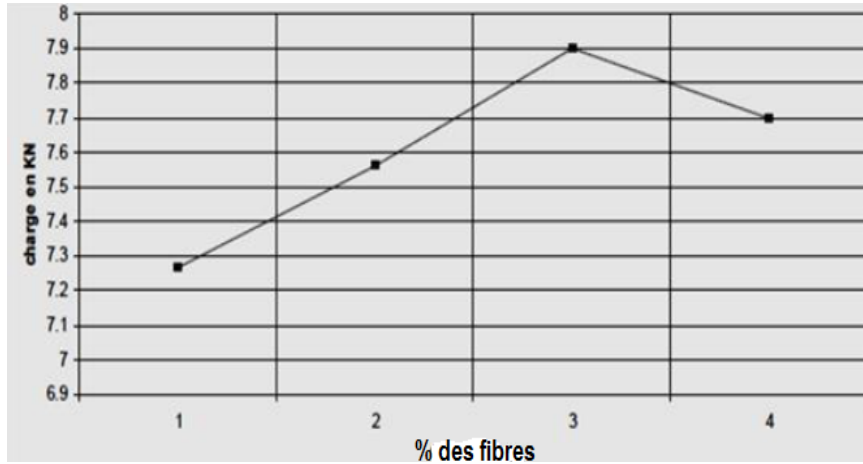


Figure I.5: Influence de fibres sur la résistance à la flexion [12].

I.2.4. Résistance à la traction

Peu d'essais ont été réalisés en traction directe, car l'essai est délicat et coûteux. D'après la bibliographie, les augmentations de la résistance en traction dues aux fibres sont variables, elles peuvent atteindre 30% pour les fibres résistantes par exemple les fibres d'acier [14], elles sont plus faibles ou nulles lorsque les fibres ont une résistance inférieure, comme le cas des fibres de polypropylène. Johnson et Coleman [15] donnent une formule qui permet de calculer la contrainte en traction du béton de fibres σ_c en fonction de celle du béton sans fibres σ_m .

$$\sigma_c = \sigma_m [1 + 0,015 V_f (l/d)^{3/2}]$$

Avec : V_f : pourcentage, en volume de fibres

l/d : élancement de fibres.

σ_c : résistance à la flexion du béton de fibres

σ_m : résistance à la flexion du béton sans fibres

En règle générale, les améliorations constatées sur le comportement en traction dépendent essentiellement du dosage de fibres, leur longueur, de leur orientation par rapport au sens des efforts, de leur forme (droite, à crochets, emboutis aux extrémités) de leur résistance et de leur module. La figure I.6 montre l'influence de la longueur des fibres de verre et de leur pourcentage en volume, d'après Majumdar [16] avec ce matériau les améliorations sont très importantes. Toutefois, il faut signaler qu'un accroissement du volume de fibres peut être la cause d'une mauvaise compacité du béton et donc d'une diminution de ses caractéristiques mécaniques.

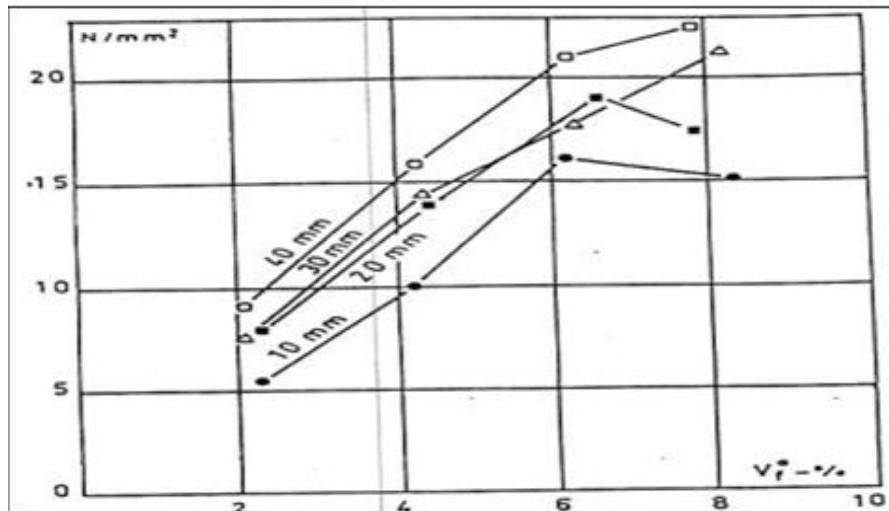


Figure I.6: Résistance à la traction du ciment armé de fibres de verre [16].

I.2.5. Durabilité

Le nombre des études consacrées à la durabilité des bétons de fibres est assez restreint car elles nécessitent une assez longue durée, ce qui limite les recherches. Ces études sont plus orientées vers la caractérisation globale du béton de fibres (résistance à la flexion, aux chocs, adhérence) que vers l'étude des réactions susceptibles de se produire entre la fibre et la matrice.

a. Porosité

Le COMITEE 544 de l'A.C.I [17] montre que l'ajout de fibres entraîne une augmentation de la porosité à cause de la perturbation du squelette granulaire ainsi qu'une chute de maniabilité. Pour diminuer la porosité, il faut remplir les vides créés entre les fibres et les granulats par une augmentation de la quantité du sable et une diminution de la quantité des gros granulats, ce qui se traduit par une augmentation du rapport S/G du fait qu'une partie des granulats sera remplacé par les fibres.

b. Absorption

Le volume poreux du béton facilite le passage des fluides. L'absorption se mesure habituellement en faisant sécher une éprouvette de béton à masse constante, en l'immergeant dans l'eau et en mesurant l'augmentation de la masse exprimée en pourcentage de la masse sèche. Différentes façons de procéder peuvent être utilisées et les résultats obtenus peuvent varier considérablement, comme le montre le tableau I.2. L'une des raisons des grands écarts observés dans la mesure de l'absorption est liée au fait que, d'un côté, le séchage à des températures ordinaires peut se révéler

inefficace pour retirer toute l'eau du béton alors que, de l'autre côté, le séchage à des températures élevées peut retirer une partie de l'eau combinée chimiquement. Des lors, l'absorption ne peut pas être utilisée comme une mesure de la qualité de béton. La plupart des bons bétons ont une absorption inférieure à 10% en masse; si l'on calcule le volume occupé par l'eau, on doit tenir compte de la différence de densité entre l'eau et le béton [18].

Tableau I.2: Mesure d'absorption pour différents bétons

Conditions de séchage	Condition d'immersion	Absorption (%) pour un béton					
		A	B	C	D	E	F
100°C	Dans l'eau pendant 30min	4.7	3.2	8.9	12.3		
100°C	Dans l'eau pendant 24 h	7.4	6.9	9.1	12.9		
100°C	Dans l'eau pendant 48 h	7.5	7.0	9.2	13.1		
100°C	Dans l'eau pendant 48 h puis ébullition pendant 5 h	8.1	7.3	14.1	18.2		
65°C	Dans l'eau pendant 5 h	6.4	6.4	13.2	17.2		
100°C à masse constante 20°C sons vide au-dessus de chaux pendant 30 jours	{ 1 heure { 7 heures { 7 jours					3.0	7.4
						3.4	7.7
						3.5	7.8
	{ 1 heure { 7 heures { 7 jours					1.9	5.9
						2.2	6.3
						2.3	6.4

c. Durabilité du béton aux attaques chimiques

Les ouvrages en béton peuvent se trouver dans des milieux industriels ou naturels agressifs pour le béton et/ou l'acier des armatures. En raison des interactions du béton avec des influences externes, la durabilité du béton peut être menacée et perdue. Le béton doit présenter une résistance chimique, lorsqu'il est exposé à des attaques chimiques [19]. Parmi les facteurs menaçants et qui peuvent détériorer le béton, le cycle gel/dégel, l'abrasion, la corrosion d'acier, l'attaque chimique. L'ACI COMMITTEE 201 [20] a classé les attaques chimiques comme suit:

- i) attaque acide,
- ii) attaque par les sulfates,
- iii) attaque par chlorures,
- iv) carbonatation,
- v) lixiviation,
- vi) attaque alcaline.

Généralement, le béton résiste bien aux attaques chimiques si sa composition est bien appropriée. L'étude de la durabilité est un sujet pour les documents de COMITEE Euro-International du béton [21,22]. La norme EN 206 [23] définit trois classes correspondant aux degrés d'attaques chimiques: faible(XA1), modérée (XA2) et forte (XA3).

Le tableau I.3 regroupe les sept caractéristiques chimiques, lorsque l'attaque chimique s'effectue par des sols naturels, des eaux de surface ou d'eau de mer. Lors d'une attaque par les produits chimiques ou en cas de vitesse d'écoulement élevée des solutions agressives, une expertise s'avère nécessaire, pour déterminer les exigences que le béton doit satisfaire.

Tableau I.3: Valeurs limites pour les classes d'exposition en cas attaque chimique [23]
(XA1: attaque faible, XA2: attaque modérée, XA3: attaque forte)

Elément en béton	XA1	XA2	XA3
SO_4^{2-} mg/l dans l'eau	≥ 200 et ≤ 600	> 600 et ≤ 300	> 300 et ≤ 6000
SO_4^{2-} mg/kg dans le sol en général	≥ 2000 et ≤ 3000	> 3000 et ≤ 12000	≥ 12000 et ≤ 240000
pH de l'eau	≤ 6.5 et ≥ 5.5	< 5.5 ≥ 4.5	< 4.5 et ≥ 4
Degré d'acidité du sol	$> 20^\circ C$ Baumann Gully		
CO ₂ mg/l dissolution de calcaire dans l'eau	≥ 15 et ≤ 40	> 40 et ≤ 100	> 100
NH_4^+ mg /l dans l'eau	≥ 15 et ≤ 30	≥ 30 et < 60	> 60 et ≤ 100
Mg_2^+ mg /l dans l'eau	≥ 300 et ≤ 1000	> 1000 et ≤ 3000	> 3000

d. Attaque par les solutions acides

Le béton contenant du ciment portland, hautement alcalin, ne résiste pas aux attaques acides fortes ou des composés qui peuvent transformer en acide [24]. L'attaque du béton par les acides prend la forme d'une décomposition des produits de l'hydratation et de la formation de nouveaux composés. La nocivité des acides dépend du caractère soluble ou insoluble de ces composés, s'ils sont solubles peuvent être lessivés ou insolubles peuvent être préjudiciables in situ. Par exemple, l'acide phosphorique est moins dangereux parce qu'il donne des phosphates de calcium insolubles alors que l'acide chlorhydrique est plus nocif car il génère du chlorure de calcium qui est très soluble.

Le béton peut être attaqué par des liquides dont le PH est inférieur à 6.5 [18], mais cette attaque ne devient grave que pour des PH inférieur à 5.5, au-dessous de

4.5, l'attaque devient très sévère. Les substances qui attaquent le béton selon les normes (ACI.201.2R.92) [18] sont regroupées dans le tableau suivant :

Tableau I.4: Quelques substances pouvant provoquer de graves attaques chimiques au béton [18].

Acide inorganique	Acide organique
Carbonique	Acétique
Chlorhydrique	Citrique
Fluorhydrique	Formique
Nitrique	Humique
Phosphorique	Lactique
Sulfurique	Tannique

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. Quoique les eaux usées domestiques elles-mêmes soient alcalines et n'attaquent pas le béton. On a observé dans plusieurs cas d'importants désordres dans des égouts, en particulier sous des températures assez élevées, lorsque des composés contenant du soufre sont transformés en H_2S par des bactéries anaérobies. Ce composé n'est pas en lui-même un agent destructeur, mais il est dissous par le mince film d'humidité recouvrant la surface du béton et subit une oxydation par les bactéries (figure I.7), ce qui produit finalement de l'acide sulfurique. L'attaque apparaît donc au-dessus de l'eau à l'intérieur de la canalisation. La pâte de ciment durci est dissoute graduellement provoquant une détérioration progressive du béton.

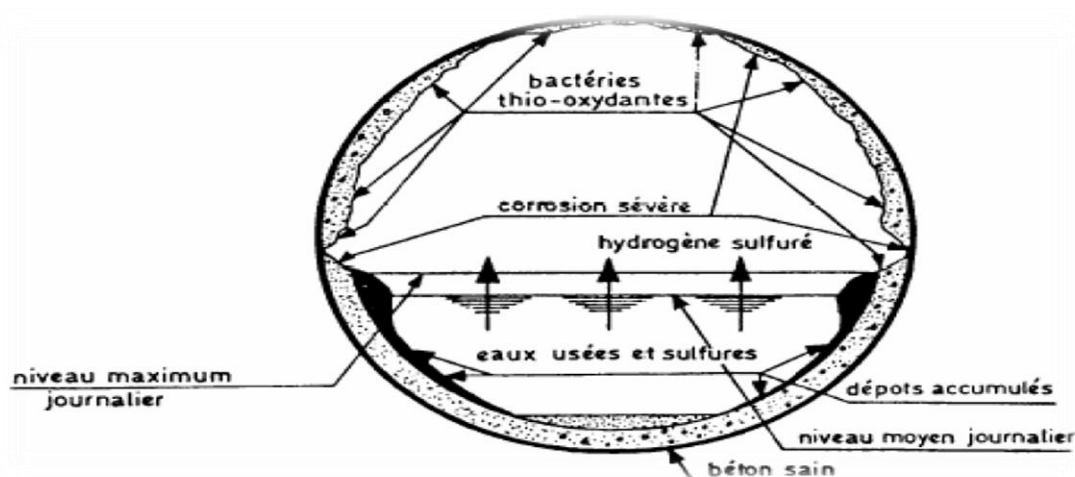


Figure I.7: Activité bactérienne dans un réseau d'égout [25].

L'acide sulfurique est un acide très agressif qui réagit avec la chaux libre $Ca(OH)_2$ dans le béton et forme du gypse ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$). Cette réaction est associée à

une augmentation du volume du béton. L'action la plus destructive est la réaction entre l'aluminat de calcium et les cristaux formés de gypse. Ces deux produits forment l'ettringite ($3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 3\text{CaSO}_4\cdot 32\text{H}_2\text{O}$). Ces composés très expansifs causent la pression interne dans le béton, qui mène à la formation des fissures [26]. La surface corrodée devient molle et blanche. Quand la corrosion continue, la structure du béton corrodé perd sa propriété mécanique. La diminution du dosage du ciment dans le béton peut être bénéfique [27] à condition, bien sûr que la masse volumique du béton reste intacte.

e. Moyens de résister à l'attaque des acides

Le béton est un matériau alcalin, donc un pH supérieur à 12.5 est nécessaire pour sa bonne résistance et sa durabilité. Bien que ce niveau de pH mette le béton ouvert à réagir avec les composés acides, le pH doit être maintenu à un niveau élevé afin de prévenir l'érosion. Le maintien d'un faible rapport E/C augmente la résistance du béton à la dégradation par l'acide. Une faible perméabilité permettra de garder la solution acide en dehors des pores de la structure du béton. Certains mélanges aident le béton à résister à l'attaque des acides, les cendres volantes et la fumée de silice. Toutes les deux ont montré leur effet à augmenter la résistance à la corrosion par les acides, acétique, lactique et l'acide nitrique. La pâte de ciment contenant des cendres volantes contient moins d'hydroxyde de calcium $\text{Ca}(\text{OH})_2$, par rapport au ciment portland seul. Tant que l'hydroxyde de calcium est particulièrement vulnérable à l'attaque par l'acide, la résistance augmente. Aussi la pâte est plus homogène et contient de petits pores. Les cendres volantes ont un effet similaire avec la fumée de silice.

Les laitiers granulés de hauts-fourneaux(LGHF) ont également montré une plus grande résistance à l'attaque des acides par rapport au béton à base de ciment portland. Les bétons des LGHF contiennent moins de calcium et possèdent une faible perméabilité.

I.3. Comportement mécanique des poutres en béton armé

Le comportement global d'une poutre en béton armé soumise à un essai de flexion peut se décomposer de 3 phases.

Phase I : Élastique non fissurée

Phase linéaire traduisant le comportement élastique des matériaux, béton et acier de la poutre. Elle correspond au domaine de déformations réversibles. Dans cette zone de fonctionnement de la poutre, aucune fissure d'origine mécanique n'apparaît.

Phase II : Élastique fissurée

Elle est caractérisée par une diminution significative de la pente de la courbe force-flèche due à l'apparition de la première fissure de flexion qui se forme dans la section, où le moment fléchissant est maximal. La fissure apparaît lorsque la contrainte normale de traction en fibre inférieure atteint la valeur correspondante à la résistance en traction du béton en flexion. Le moment pour lequel ce phénomène se produit est appelé moment de fissuration. L'augmentation de la charge provoque la propagation verticale de cette dernière et l'apparition de nouvelles fissures du fait de l'élargissement en partie centrale de la zone où la valeur de moment de fissuration est dépassée. Ces premières fissures dites de flexion se propagent vers le haut de la poutre et remontent vers l'axe neutre de la section fissurée. Cette phase est caractérisée par une diminution progressive de la rigidité au fur et à mesure de l'apparition de nouvelles fissures. Cette phase est dite élastique-fissurée car les armatures longitudinales de traction demeurent dans leur domaine élastique. Dans le cas de déchargement, une refermeture des fissures qui s'explique par la réversibilité des déformations de l'acier aura lieu. La flèche résiduelle traduit une irréversibilité liée à la fissuration du béton. Les fissures dans les zones de cisaillement élevées se propagent suite à la contrainte principale de traction oblique. Ces fissures sont appelées fissures de cisaillement. La phase de fissuration est divisée en deux, phase de formation de fissures et phase de fissuration stabilisée. La figure I.8 schématise la fissuration initiale et intermédiaire par flexion d'une poutre en béton armé.

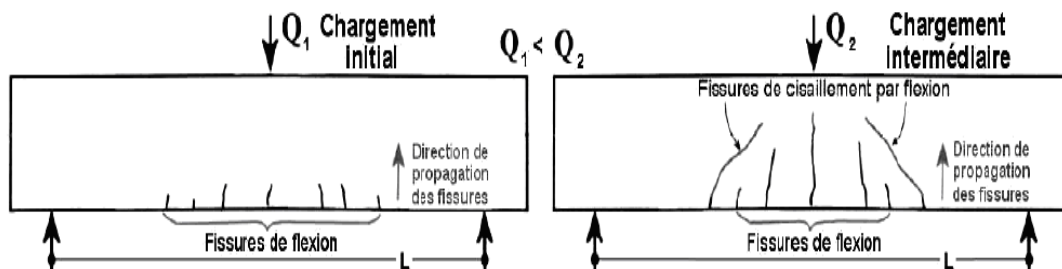


Figure I.8: Représentation de la fissuration initiale et intermédiaire par flexion d'une poutre en béton armé [28].

Phase III : Rupture

C'est la phase de rupture qui est atteinte juste après la plastification des armatures tendues. On note deux mécanismes principaux de rupture : rupture par flexion, et rupture par cisaillement. La rupture par cisaillement est due soit à :

- La contrainte principale oblique.
- La rupture en compression par cisaillement.
- La perte d'adhérence par cisaillement.

La figure I.9 donne la courbe caractéristique charge-flèche d'une poutre en béton armé soumise à de la flexion [29]. La fissuration et le mode de rupture sont influencés par les paramètres suivants :

- mode de chargement,
- portée d'effort tranchant qui correspond au rapport a/d (a étant la distance entre le point d'application de la force et l'appui, et d la hauteur utile, distance entre le centre de gravité des armatures de traction et la fibre supérieure),
- quantité, répartition et type du renforcement transversal,
- quantité et type des armatures longitudinales,
- caractéristiques mécaniques du béton et des aciers,
- géométrie et dimensions de la poutre.

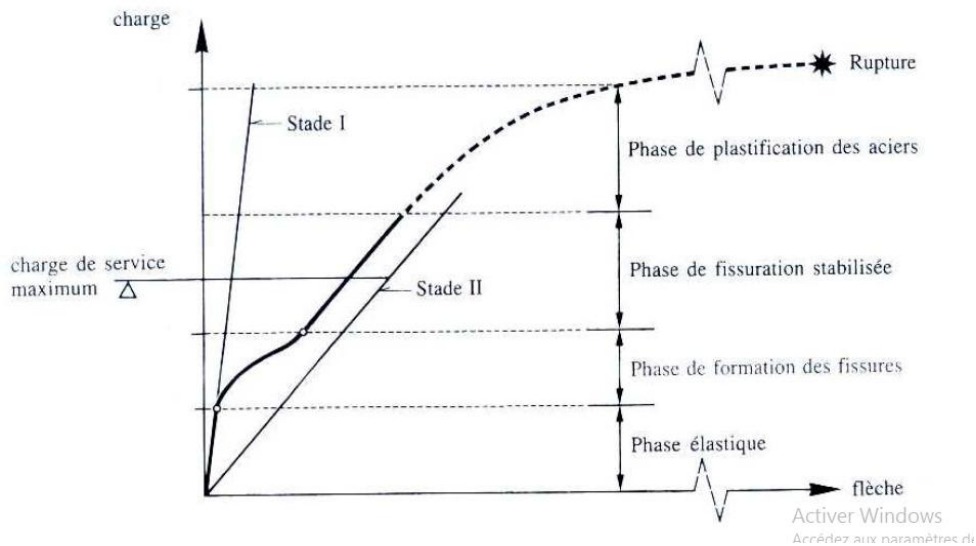


Figure I.9: Courbe charge-flèche d'une poutre en béton armé soumise à la flexion [29].

I.3.1. Effet de fibres sur le comportement d'une poutre en béton armé

En présence de fibres, les poutres en béton armé résistent à des niveaux de charges plus élevés [30] selon leur type et leur dosage. Cet effet est plus prononcé lorsque les armatures transversales sont omises (figure I.10) et le taux des armatures

longitudinales est faible. En présence de fibres non seulement les charges de rupture sont supérieures mais aussi les charges de fissuration [31].

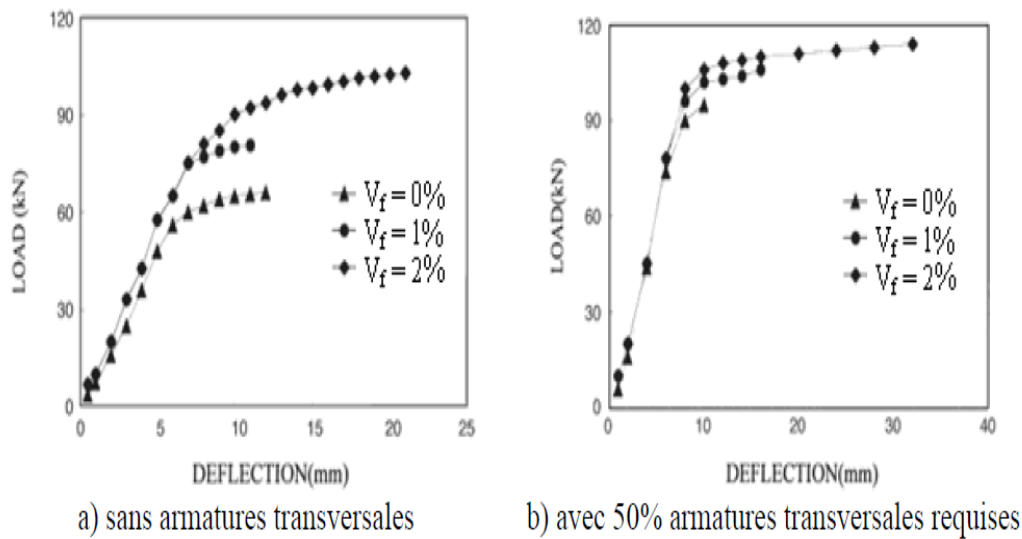


Figure I.10: Influence de fibres sur la courbe force-flèche [30].

Après fissuration, les fibres améliorent aussi la rigidité et la capacité portante des éléments en béton armé grâce à un contrôle plus efficace de la fissuration indépendamment de la valeur du module d'élasticité [31]. Les résultats concernant le comportement mécanique global avant fissuration sont plus contradictoires. Selon Barragain [30], les flèches à la première fissure sont plus élevées pour les poutres en béton fibré, alors que d'autres auteurs [31], n'ont constaté aucune différence.

I.3.2. Effet de granulats sur le comportement d'une poutre en béton armé

Les granulats jouent un rôle important dans le comportement du béton et donc des poutres en béton armé. Leur influence est très forte en termes de performances mécaniques. Pour obtenir un béton ayant de bonnes caractéristiques, plusieurs paramètres entrent en jeu dans le choix des granulats, tels que la qualité, la minéralogie, la forme et la granulométrie.

a. Origine de granulats

Les granulats destinés au béton proviennent de trois sources :

- Les carrières de roches massives ;
- Les gisements alluvionnaires ;
- Les productions de granulats artificiels légers (laitier expansé, argile expansée, schiste expansé, etc.).

Trois grandes catégories de roches existent dans la nature :

- Les roches éruptives qui proviennent des profondeurs de l'écorce terrestre ;
- Les roches métamorphiques qui sont partiellement ou complètement recristallisées sous l'effet de pression et de température élevées, ces transformations leur donnant souvent une structure orientée
- Les roches sédimentaires qui proviennent de la consolidation de sédiments ou de la précipitation de minéraux en solution. Elles ont une origine détritique chimique ou organique.

b. Caractéristiques géométriques des granulats

Généralement, l'usage des granulats roulés dans la technologie classique du béton est préféré à celui des granulats concassés, car ils sont supposés conférer une meilleure ouvrabilité au béton. En revanche, les granulats concassés sont réputés développer une meilleure liaison avec la pâte de ciment (de par l'auréole de transition).

La forme et l'étendue granulaire des granulats vont influencer la compacité du mélange granulaire. La forme peut être définie par les indices d'allongement et d'aplatissement dépendant des dimensions géométriques d'un granulat. Ainsi les granulats peuvent être plus ou moins ronds, sous forme de plaquettes ou d'aiguilles, anguleux.

L'étendue granulaire est caractérisée par la granulométrie qui représente la distribution de taille des granulats utilisés dans un béton donné. Cette distribution doit permettre une réduction du volume des vides afin d'améliorer la compacité du béton. Dans cette optique, cette granulométrie doit donc être optimisée en utilisant par exemple la méthode de Dreux-Gorisse [32].

c. Caractéristiques mécaniques des granulats

Des valeurs indicatives de densité et de résistances à la compression de différents types de roches sont présentées dans le tableau ci-dessous [33]

Tableau I.5: Densités et résistances en compression de roches [33]

Nature	Densité	Résistance à l'écrasement (MPa)
<i>Roches éruptives</i>		
Granites, syénites	2,62-2,85	160-250
Diorites, gabbros	2,85-3,05	170-300
Porphyres	2,58-2,83	130-240
Basaltes	3,00-3,15	180-400
<i>Roches sédimentaires</i>		
Quartzites	2,64	225-360
Grès, quartzeux	2,64-2,72	60,8-102,5
Calcaires compacts,	2,70-2,90	70-180
dolomies, Schistes	1,80-2,70	20-80
<i>Roches métamorphiques</i>		
Micaschistes	2,70-3,03	35-110
Gneiss	2,59-3,06	160-280
Amphibolites	2,75-3,15	170-280
Serpentines	2,62-2,78	140-250

La résistance mécanique des granulats n'intervient pas directement sur la porosité et la performance mécanique du béton, mais elle peut influencer indirectement: un gravillon provenant d'un calcaire tendre contient toujours des fines dues au concassage et aux opérations de chargement, transport, déchargement et parfois au malaxage lorsqu'on utilise un malaxeur à pâles mobiles [34]. Les roches tendres (ou mi-dures) concernées, les calcaires, sont d'autant plus poreuses qu'elles sont plus tendres et souvent, la dureté et la porosité varient fortement d'un point à l'autre de la carrière. Enfin, on peut également estimer que les granulats de mauvaise qualité, de module d'élasticité faible, de porosité importante peuvent entraîner des déformations différées beaucoup plus importantes qu'attendues [35].

Chapitre II

**Identification des matériaux
et techniques expérimentales**

II.1. Introduction

Dans le présent chapitre, nous allons exposer les résultats de la caractérisation des matériaux employés dans la préparation du béton d'essai et de sa composition. Tous les essais effectués sur les échantillons du matériau béton sont donnés aussi dans cette partie.

II.2. Matériaux employés

II.2.1. Granulats

Les granulats employés sont des granulats locaux qui proviennent tous de la région de Laghouat. Il s'agit de deux types de sables, un sable calcaire de concassage de la station d'Ouazzane 0/4 mm et un sable de dunes d'Oasis Nord 0/2 mm.

Les graviers employés sont des graviers concassés de nature calcaire de calibres granulaires, 3/8 et 8/16 mm (figure II.1).



Sable calcaire.



Sable de dunes.



Gravier 8/16.



Gravier 3/8

Figure. II.1: Granulats employés.

II.2.2. Ciment

Comme il assure la cohésion des différents constituants du béton, le ciment est considéré comme étant le constituant fondamental dans sa composition. Le ciment composé CEM II/B 42.5 N produit par LAFARGE de HAMMAM DALAA de M'Sila est le ciment utilisé dans ce travail. La masse volumique absolue du ciment utilisé est de l'ordre de 3,03 [g/cm³].

II.2.3. Eau de gâchage

Nous avons utilisé l'eau potable du robinet directement sans analyse chimique.

II.2.4. Super-plastifiant

Il s'agit d'un super-plastifiant réducteur d'eau de nouvelle génération, connu sous le nom commercial de «SIKAVISCOCRETE TEMPO 12» (figure II.2). La fiche technique du produit est donnée en annexes.



Figure II.2: Superplastifiant utilisé.

II.2.5. Fibres

Les fibres utilisées dans cette étude sont des fibres de polypropylène provenant de déchet de fabrication des brosses de l'usine PLAST BROS de Bordj Bou Arreridj. Les fibres ont une longueur entre 4 et 7 cm et un diamètre moyen de 0,8 mm (figure II.3). La résistance à la traction des fibres est de l'ordre de 160 MPa et leur déformation est au voisinage de 102 %.



Figure II.3: Fibres utilisées.

II.3. Essais de caractérisation de matériaux

II.3.1. Masse volumique apparente

C'est la masse de l'unité de volume du corps à l'état naturel, calculée selon la norme NFP 18-555 [36] par la relation suivante:

$$\gamma_{app} = \frac{M - M_0}{V_{app}}$$

Avec:

γ_{app} : Masse volumique apparente du matériau [g/cm^3].

M: Masse du récipient plein du matériau [g].

M_0 : Masse du récipient vide [g].

V_{app} : Volume du récipient [cm^3].

II.3.2. Masse volumique absolue

C'est la masse de l'unité de volume absolue sans vides du matériau, déterminée selon la norme NFP 18-555 [36] par la relation suivante:

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

Avec:

γ_{abs} : Masse volumique absolue du matériau [g/cm^3].

M: Masse d'agrégats [g].

V_1 : Volume de l'eau [cm^3].

V_2 : Volume total (grains+eau) [cm^3].

II.3.3. Analyse granulométrique

Il permet selon la norme NF P18-560 [37] de déterminer la grosseur et les dosages pondéraux des différents grains de matériaux, dont les particules sont de diamètre supérieur ou égal à 0.08 mm. Le poids de l'échantillon prise dans l'essai est tel que $200D < M < 600D$

Avec :

M : Poids d'échantillon [g]

D : Dimension maximal du plus gros élément [mm]

II.3.3.1. Module de finesse

Il correspond à la somme des pourcentages des refus cumulés ramenée à l'unité, pour les tamis de modules 23, 26, 29, 32, 35, et 38:

$$M_f = \frac{\sum \text{des refus sur les tamis (0,16;0,315;0,63;1,25;2,5;5)}}{100}$$

II.3.3.2. Coefficient d'uniformité

Il est donné par la relation suivante:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

Avec :

D10 : Diamètre correspondant à 10 % des passants.

D60 : Diamètre correspondant à 60 % des passants.

II.3.3.3. Coefficient de courbure

Il est calculé à partir de la relation ci-dessous:

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{60} \cdot D_{10}}$$

Avec :

D30 : Diamètre correspondant à 30 % des passants.

Les résultats de l'analyse granulométrique sont regroupés sur le tableau II.1.

Tableau II.1: Analyse granulométrique des granulats

Sable calcaire		Sable dunaire		Gravier 3/8		Gravier 8/15	
Tamis [mm]	Passant [%]	Tamis [mm]	Passant [%]	Tamis [mm]	Passant [%]	Tamis [mm]	Passant [%]
4.0	100	2	100	10	100	20	100
3.15	97.00	0.63	91.1	8.0	99.1	16	99.4
2.5	89.92	0.5	85	6.3	76.86	12.5	74.06
2.0	78.45	0.315	56.9	5.0	42.72	10	32.67
1.6	66.70	0.25	37.6	4.0	20.02	8	9.3
1.25	58.55	0.2	22.2	3.15	7.68	6.3	1.44
0.80	41.62	0.16	13.20	2.50	2.51	5	0.76
0.63	34.57	0.125	6	Fond	0.45	4	0.64
0.40	28.27	0.1	3.4			Fond	0.01
0.315	25.38	0.08	1.8				
0.20	20.42						
0.16	18.44						
0.10	14.18						
0.08	13.00						
Fond	0.84						

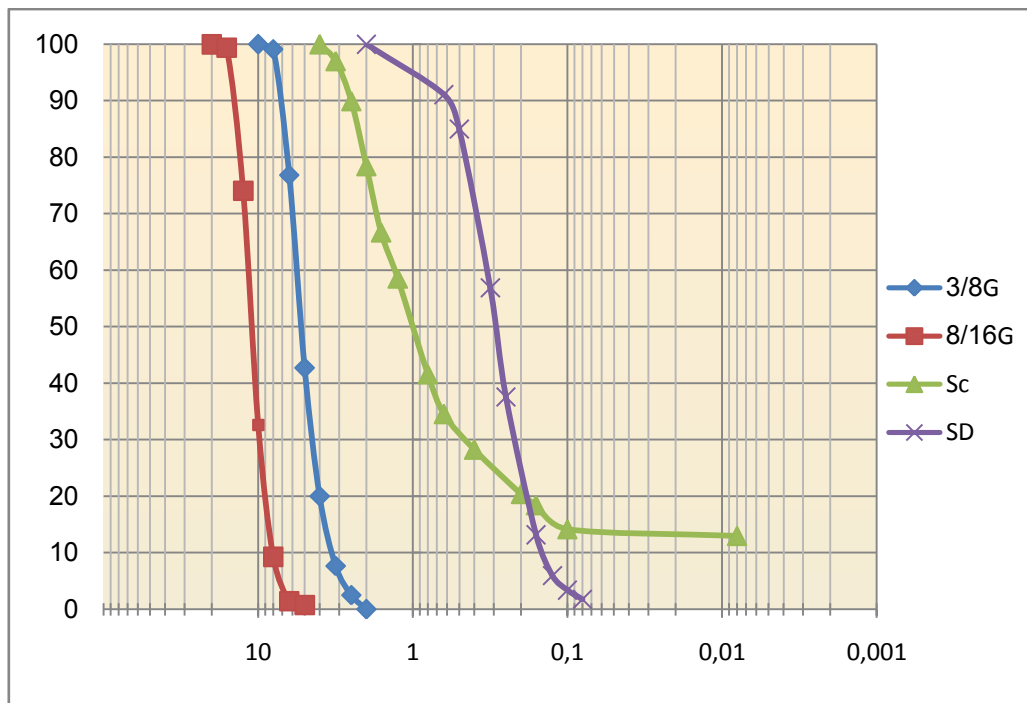


Figure II-4 : Courbes granulométriques des différents granulats.

II.3.4. Equivalent du sable

L'essai consiste à évaluer la propreté du sable et à déterminer le pourcentage des impuretés et des poussières nuisibles, conformément à la norme NF P 18-598 [38]

(figure II.5), comme suit:
$$ES_v = \frac{H_2}{H_1} \cdot 100\%$$

$$ES_p = \frac{H'_2}{H_1} \cdot 100\%$$

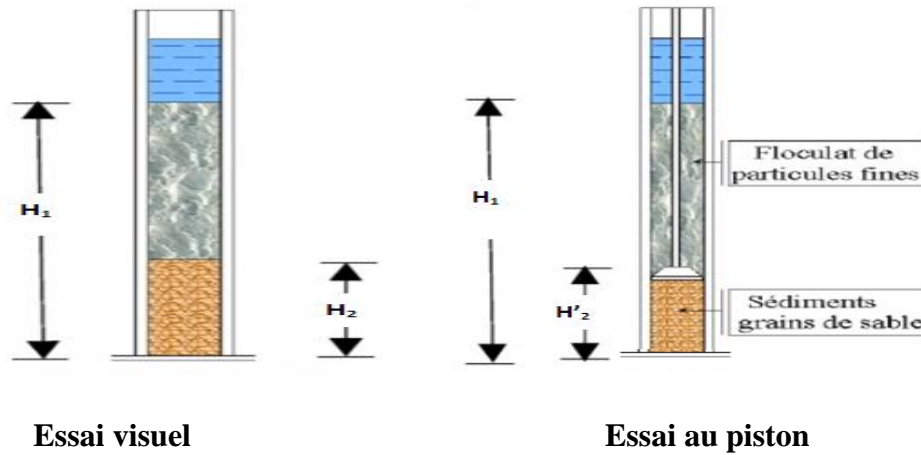


Figure II.5: Essai d'équivalent de sable.

II.3.5. Coefficients d'absorption

II.3.5.1. Coefficient d'absorption du sable

Il est défini comme étant le rapport de l'augmentation de la masse de l'échantillon du sable après imbibition par l'eau, à sa masse sèche. Cette imbibition est obtenue par immersion de l'échantillon dans l'eau pendant 24 heures à 20 °C. Le coefficient d'absorption est déterminé par la relation ci-dessous selon la norme NF P 18-555 [36].

$$A_b = \frac{M_a - M_s}{M_s} \times 100$$

Avec :

A_b : Coefficient d'absorption.

M_s : Masse à l'état sec.

M_a : Masse de l'échantillon imbibé à la surface sèche en gramme, déterminé comme suit:

Après imbibition dans l'eau pendant 24 heures, étaler l'échantillon sur une surface plane non absorbante et le soumettre à un flux d'air chaud, tout en le remuant

afin que la surface externe des grains sèche. En plaçant le matériau dans un moule tronconique (figure II.6), posé sur une surface plane non absorbante, et en le compactant légèrement, on vérifie que celui-ci s'écoule en démoulant.

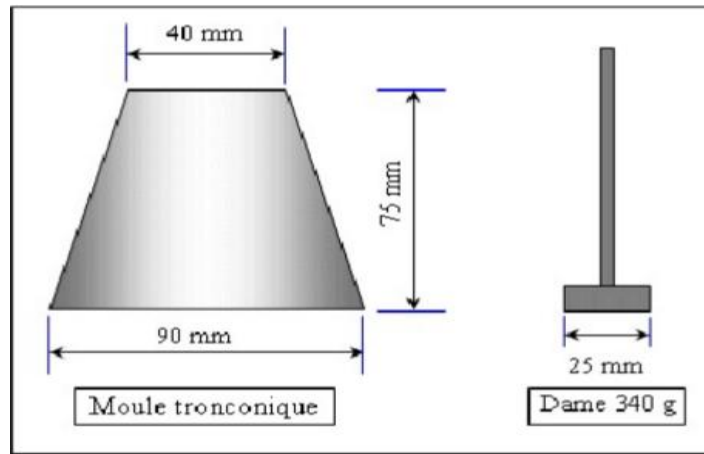


Figure II.6: Mesure du coefficient d'absorption du sable.

II.3.5.2. Coefficient d'absorption des graviers

La procédure est la suivante:

- Immerger l'échantillon dans l'eau pendant 24 heures à 20 °C à la pression atmosphérique.
- Peser ensuite l'échantillon après l'avoir épongé soigneusement avec un chiffon absorbant, soit M_a sa masse.
- Assécher les pores en entreposant la prise d'essai dans l'étuve jusqu'à obtenir une masse constante. Puis peser ces granulats secs, soit M_s .

Le tableau II.2 ci-dessous regroupe les différentes propriétés physiques des matériaux utilisés.

Tableau II.2: Propriétés des matériaux utilisés

Caractéristiques	Unité	Sable Calcaire	Sable Dunaire	Gravier (3/8)	Gravier (8/16)
Masse volumique apparente	[kg /m ³]	1.54	1.55	1.44	1.46
Masse volumique absolue	[kg /m ³]	2.5	2.66	2.5	2.5
Equivalent de sable.ES à piston	[%]	73.60	81	/	/
Equivalent de sable ES visuel	[%]	75.5	86	/	/
Module de finesse M_f	/	2.73	1.38	/	/
Coefficient d'uniformité C_u	/	28	2.06	1.69	1.4
Coefficient de courbure C_c	/	3.75	1.00	0.98	1.08
Coefficient d'absorption A_b	[%]	3.77	1	1.53	1.77

II.3.6. Analyses minéralogiques

Les analyses minéralogiques effectuées sur le sable sont réalisées au laboratoire du diffractométrie de l'université de Laghouat à l'aide d'un diffractométrie X'PERT couplé à un système informatique qui permet le traçage et l'analyse des résultats obtenus.

La composition minéralogique des sables utilisés est donnée sur les diffractogrammes suivants:

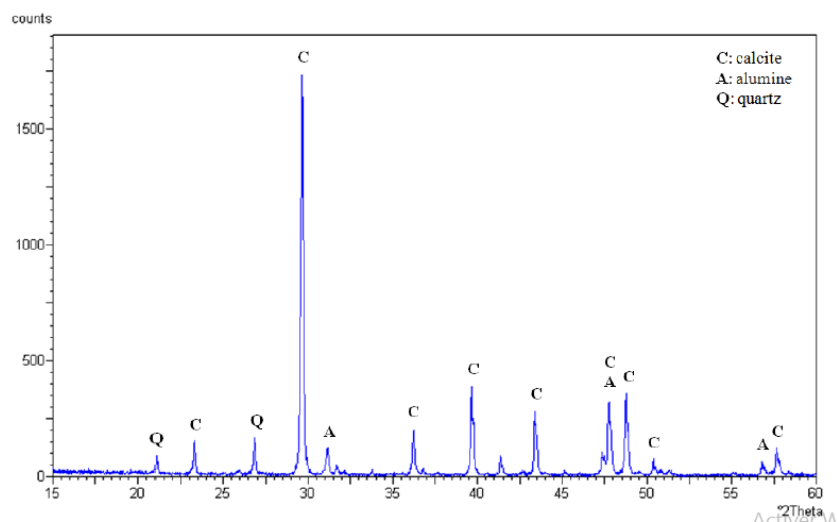


Figure II.7: Analyse minéralogique du sable calcaire [39].

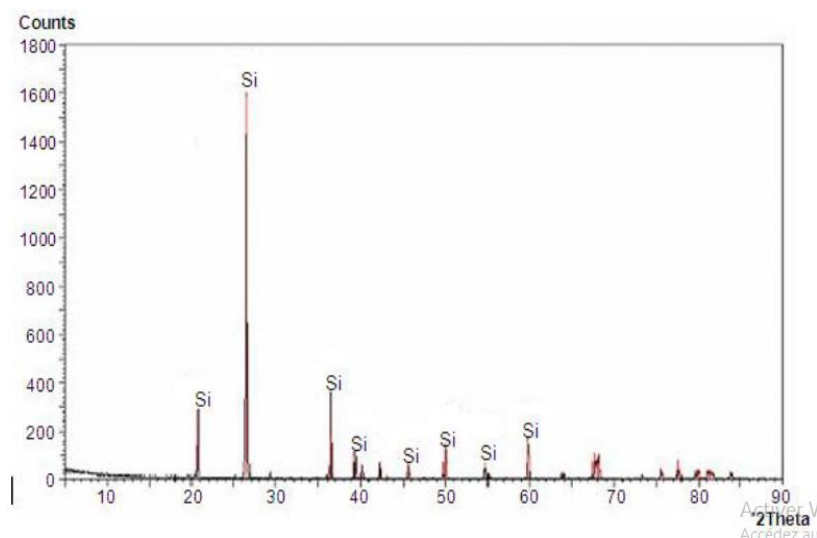


Figure II.8 : Analyse minéralogique du sable dunaire [39].

D'après les résultats de caractérisation des sables, on constate que:

- * Le sable calcaire concassé est un sable moyen (son module de finesse ($2.3 < M_f = 2,73 < 2.9$) et propre puisque nous avons eu un équivalent de sable au piston $70 \leq ESP \leq 80$ et visuel $75 \leq ESV \leq 85$ [38].
- * Le sable dunaire est très fin $M_f = 1.38 \leq 1.7$ et très propre puisque nous avons eu un équivalent de sable au piston $ESP \geq 80$ et visuel $ESV \geq 85$ [38].

* Les deux sables calcaire et dunaire possèdent une granularité continue et étalée ($C_u > 2$).

II.4. Composition et préparation de bétons

II.4.1. Composition de béton

La composition du béton est déterminée par la méthode de Dreux –Gorisse [32].

II.4.1.1. Résistance visée

Par sécurité, la résistance visée doit être majorée de 15% par rapport à la résistance que l'on souhaite obtenir. Elle doit être obtenue comme suit:

$$f_c = f_{c28} + 15\% f_{c28}$$

$$\text{Soit: } f_c = 1,15 f_{c28}$$

La résistance désirée pour un béton témoin à 28 jours est prise $f_{c28} = 25 \text{ MPa}$. La résistance visée est alors $f_c = 1,15 \times 25 = 28,75 \text{ MPa}$.

II.4.1.2. Dimensions maximales des granulats

Les granulats utilisés dans la fabrication du béton doivent permettre la réalisation d'un squelette granulaire à minimum de vides. Il faut en conséquence utiliser des granulats de toutes tailles pour que les plus petits éléments viennent combler les vides laissés par les plus gros. Pour permettre une mise en œuvre correcte du béton, il est important que la taille des plus gros granulats D_{\max} (le diamètre des plus gros granulats entrant dans la composition du béton) ($D_{\max} = 16\text{mm}$) ne s'oppose pas au déplacement des grains entre les armatures métalliques du ferrailage. Les règles BAEL91 [40] donnent une borne supérieure de D_{\max} à respecter en fonction de la densité du ferrailage, des dimensions de la pièce à réaliser et de la valeur de l'enrobage des armatures.

II.4.1.3. Consistance désirée

Elle est en fonction de la nature de l'ouvrage (plus ou moins massif ou plus ou moins ferrillé), de la difficulté du bétonnage et des moyens de serrage. Elle peut se définir en général par la plasticité désirée mesurée par affaissement au cône d'Abrams, selon la norme NFP 18-451 [41]. Pour un béton plastique, l'affaissement est de 6 à 9 cm (tableau II.3).

Tableau II.3: Evaluation de l'ouvrabilité [32].

Plasticité	Serrage	Affaissement A [cm]	Nombre de chocs (test C.E.S)
Béton très ferme	Vibration puissante	0 à 2	> 60
Béton ferme	Bonne vibration	3 à 5	30 à 50
Béton plastique	Vibration courante	<u>6 à 9</u>	15 à 25
Béton mou	Piquage	10 à 13	10 à 15
Béton liquide	Léger piquage	≥ 14	< 10

II.4.1.4. Dosage en ciment

On commencera par évaluer approximativement le rapport $\frac{C}{E}$ en fonction de la résistance moyenne désirée f_c' : $f_c' = G F_{CE} \left(\frac{C}{E} - 0,5\right)$

Avec:

f_c' : Résistance moyenne en compression désirée à 28 jours en [MPa].

F_{CE} : Classe vraie du ciment à 28 jours en [MPa].

C: Dosage en ciment en [kg/cm^3].

E: Dosage en eau totale en (litre) pour 1 m^3 du béton.

G: Coefficient granulaire (tableau II-5).

Les granulats utilisés ont un diamètre maximal égale à 16 mm, ce qui donne un coefficient granulaire $G = 0.45$, avec une bonne qualité.

Tableau II.4: Valeurs approximatives du coefficient granulaire G [32]

(Ces valeurs supposent que le serrage du béton sera effectué dans de bonnes conditions).

Qualité des granulats	Dimension D des granulats		
	Fins ($D \leq 16 \text{ mm}$)	Moyens ($25 \leq D \leq 40 \text{ mm}$)	Gros ($D \geq 63 \text{ mm}$)
Excellent	0.55	0.60	0.65
Bonne, Courante	0.45	0.50	0.55
Passable	0.35	0.40	0.45

La valeur de C est déterminée grâce à l'abaque de la figure II.9 en fonction des valeurs de C/E et de l'affaissement au cône d'Abrams.

Soit $A = 9\text{cm}$, le dosage de ciment est de $350 \text{ kg}/\text{m}^3$, d'où $C/E = 1,68$

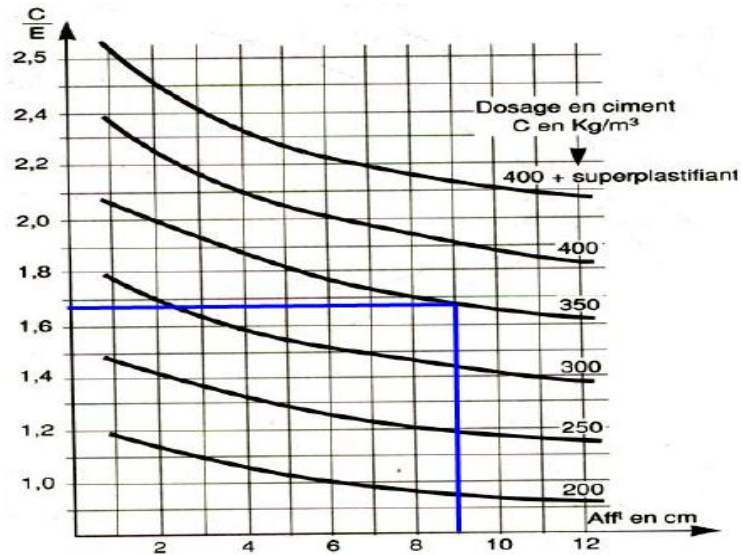


Figure II.9: Abaque permettant d'évaluer approximativement le dosage en ciment à prévoir en fonction du rapport C/E et de l'ouvrabilité désirée (affaissement au cône) [32].

II.4.1.5. Dosage en eau

$$E/C = 0,6 \rightarrow E = C \cdot 0,6 = 210 \text{ kg.}$$

II.4.1.6. Dosage des granulats

La droite de référence de Dreux représente la courbe idéale d'un matériau à minimum de vides. C'est une droite brisée dont le point de brisure est défini par son abscisse X et son ordonnée Y, on trace une composition granulaire de référence OAB

Avec :

- Le point O est repéré par ses coordonnées: [0; 0.08].
- Le point B est repéré par ses coordonnées: [16; 100], (16: le diamètre du plus gros granulat).
- Le point de brisure A aux coordonnées suivantes :

En abscisse :

- Si $D \leq 20 \text{ mm}$, l'abscisse est de $D/2$.
- Si $D > 20 \text{ mm}$, l'abscisse est située au milieu limité par le module 38 (5 mm) et le module correspondant à D. Le plus gros granulat est $D = 16 \text{ mm}$, donc le point de brisure a pour abscisse: $D/2 = 8 \text{ mm}$.

En ordonnée : $Y = 50 - \sqrt{D} + K$

Le terme **K** est un terme correcteur qui dépend du dosage en ciment, de l'efficacité du serrage, de la forme des granulats roulés ou concassés et du module de finesse de sable. Il est calculé comme suit:

Sable concassé: $K = +2$

$$Y = 50 - \sqrt{16} + 2$$

$$Y = 48.13 \%$$

Sable roulé: $K = +4$.

$$Y = 50 - \sqrt{16} + 4$$

$$Y = 50.13 \%$$

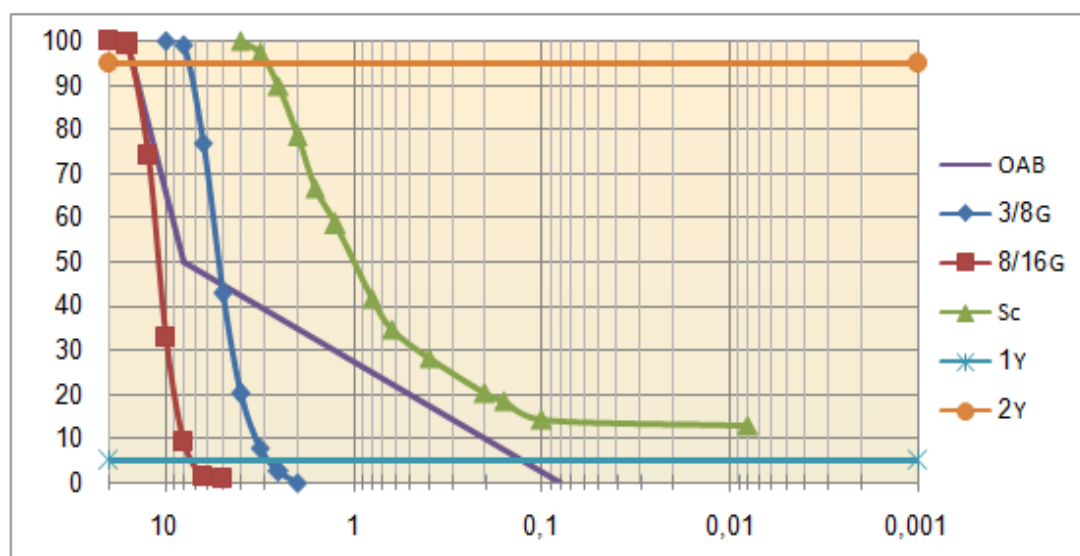
Graphiquement $Y = 50 \%$.

Le tableau II.5 donne les valeurs de terme correcteur K en fonction de dosage en ciment, de la puissance de la vibration et de granularité des granulats.

Tableaux II.5: Valeurs de terme correcteur K [32].

Vibration		Faible		Normale		Puissante	
		Roulé	Concassé	Roulé	Concassé	Roulé	Concassé
Dosage en ciment	400+superplastifiant	-2	0	0	-2	-6	-4
	s	0	+2	+2	0	-4	-2
	400	+2	+4	+4	+2	-2	0
	350	+4	+6	+6	+4	0	+2
	300	+6	+8	+8	+6	+2	+4
	250	+8	+10	+10	+8	+4	+6
	200						

Sur la courbe granulométrie, les points d'intersection entre les lignes de partage et la courbe OAB (figure II.10) donnent les pourcentages des granulats comme montré sur la figure II.9 (a et b). Le tableau II.6 regroupe les pourcentages des différents granulats pour 1 m³ de béton.



a

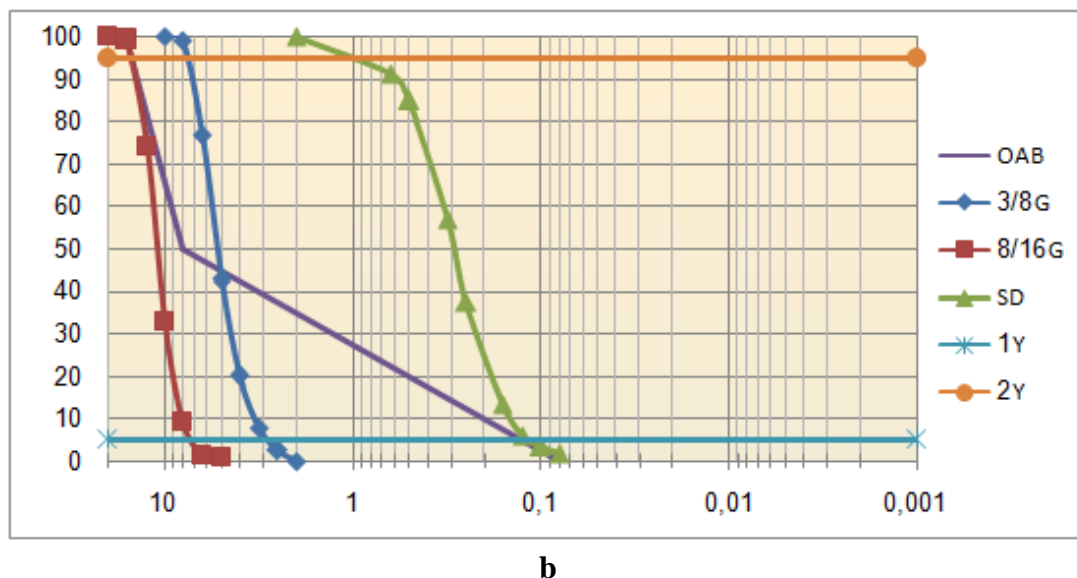


Figure II.10: Courbes granulométriques des granulats et de référence de Dreux-Gorisse.

Tableaux II.6: Pourcentages des granulats pour 1 m³ de béton.

Constituants	Béton de sable calcaire	Béton de sable dunaire
Sable [%]	42	37
Gravier 3/8 [%]	6	10
Gravier 8/16 [%]	52	57

II.4.1.7. Coefficient de compacité

En utilisant le tableau des valeurs du coefficient de compacité (tableau II.7) et après interpolation pour un diamètre maximum de granulats égal à 16 mm, on trouve une valeur de $\gamma = 0.819$. Nous avons retenu une valeur de γ telle que $\gamma = 0.82$.

Tableaux II.7: Valeurs du coefficient de compacité [32].

Consistance	Serrage	Coefficient de compacité						
		D=5	D=10	D=12.5	D=20	D=31,5	D=50	D=80
Molle	Piquage	0.750	0.780	0.795	0.805	0.810	0.815	0.820
	Vibration faible	0.755	0.785	0.800	0.810	0.815	0.820	0.825
	Vibration normale	0.760	0.790	0.805	0.815	0.820	0.825	0.830
Plastique	Piquage	0.730	0.790	0.805	0.815	0.820	0.825	0.830
	Vibration faible	0.765	0.795	0.810	0.820	0.825	0.830	0.835
	Vibration normale	0.770	0.800	0.815	0.825	0.830	0.835	0.840
	Vibration puissante	0.775	0.805	0.820	0.830	0.835	0.840	0.845
Ferme	Vibration faible	0.775	0.805	0.820	0.830	0.835	0.840	0.845
	Vibration normale	0.780	0.810	0.825	0.835	0.840	0.845	0.850
	Vibration puissante	0.785	0.815	0.830	0.840	0.845	0.850	0.855

Ces valeurs sont convenables pour des granulats roulés sinon il coonviendra d'apporter les corrections suivantes:
 Sable roulé et gravier oncassé = -0.01.
 Sable et gravier concassé = -0.03

$$\text{Sable et gravier concassé} = \gamma - 0.03 \quad \gamma = 0.820 - 0.03 = 0.790$$

• **Dosages en volume de chaque constituant du béton pour 1 m³**

Volume absolu du ciment : $V_c = \frac{M_c}{\bar{\alpha}}$

Volume absolu de l'ensemble des granulats : $V_G = 1000\gamma - V_c$.

• **Dosages en poids de chacun constituant du béton pour 1 m³**

Masse de sable: $M_S = V_S \cdot \gamma_S$.

Masse de gravier 3/8: $M_{G3/8} = V_{G3/8} \cdot \gamma_{G3/8}$.

Masse de gravier 8/15: $M_{8/15} = V_{G8/15} \cdot \gamma_{G8/15}$.

Masse de ciment: $M_c = 350 \text{ Kg}$.

Masse d'eau: $M_e = 210 \text{ Kg}$.

La composition du béton en masse par 1 m³ est donnée sur le tableau II.8 suivant:

Tableaux II.8: Composition en masse pour 1m³ du béton.

Constituants	Béton de sable calcaire	Béton de sable dunaire
Sable [kg]	707.07	609.2
Graviers 3/8 [kg]	100.1	242.9
Graviers 8/16 [kg]	876.2	919.55
Ciment [kg]	350	350
Eau [kg]	210	210

II.4.2. Préparation du béton

II.4.2.1. Mode opératoire du béton sans fibres

Tous les mélanges ont été fabriqués dans un malaxeur à axe vertical, le malaxage s'effectue de la façon suivante:

- Introduction du sable, du ciment, et des granulats dans le malaxeur.
- Ajouter d'une façon uniforme la moitié de la quantité d'eau mélangée avec le super-plastifiant puis la deuxième moitié (la quantité de super-plastifiant utilisé sera présente dans la troisième chapitre)
- Continuer le malaxage.

II.4.2.2. Mode opératoire du béton avec fibres

- Introduction de tous les composants secs (sable, graviers et ciment).
- Ajouter d'une façon uniforme la moitié de la quantité d'eau mélangée avec le super-plastifiant puis la deuxième moitié (la quantité de super-plastifiant utilisé sera présente dans la troisième chapitre).
- Continuer le malaxage.
- Les fibres sont ajoutées par petite quantité, sous forme de pluie pour éviter la formation d'oursins «pelotes».

II.4.3. Mesure et contrôle de l'ouvrabilité du béton

Nous avons utilisé pour déterminer l'ouvrabilité du béton, le test de cône d'Abrams (figure II.11), selon la norme NF P 18-451 [41]. Il s'agit de mesurer la hauteur d'affaissement d'une masse de béton frais sous l'effet de son poids propre après démoulage et les résultats obtenus permettent de classer le béton selon sa maniabilité.



Figure II.11: Mesure d'affaissement au cône d'Abrams.

II.5. Ferrailage des poutres

Le ferrailage des poutres se calcule en flexion simple sous l'effet du moment le plus défavorable suivant les règlements RPA 99/version 2003 [42].

II.5.1. Recommandations de RPA99/version 2003

*Armatures longitudinales

- Le pourcentage minimal des aciers longitudinaux sur toute la largeur de la poutre doit être supérieur de 0.5 % de toute la section.
- Le pourcentage maximal est de 4 % en zone courante, et 6 % en zone de recouvrement.
- La longueur minimale de recouvrement est de $40 \varnothing$ (zone I).

*Armatures transversales

- La quantité des armatures transversales minimale est de : $A_t = 0.003.S.b$.
- L'espacement maximal entre les armatures transversales est déterminé comme suit :
 - ✓ Dans la zone nodale et en travée, si les armatures comprimées sont nécessaires, le RPA exige un minimum de « $h/4, 12\varnothing$ ».
 - ✓ En dehors de la zone nodale l'espacement doit être « $s \leq h/2$ ».

Le ferrailage des poutres est donné dans le tableau II.9 suivant:

Tableau II.9: Ferrailages des poutres 10x10x50cm.

A_{CNF} [cm ²]	A_{RPA} [cm ²]	A_{totale} choisie [cm ²]	A_t [cm ²]	S_t (cm)
0.1	0.5	4T8 = 2.01	4 cadre T6	9

-La condition de non fragilité : $A_{CNF} > 0.23bdf_{t28}/f_e$.

-Le ferrailage longitudinal selon les règles RPA : $A_{RPA} = 0.5\% S$.

Avec :

b : Largeur de la poutre.

d : Hauteur de la poutre moins l'enrobage ($d = h - c = 9$; $h = b = 10$ cm).

f_{t28} : Résistance de traction égale à 2.1 MPa.

$f_e = 400$ MPa.

S : Section du béton.

En béton armé, les armatures en acier sont utilisées très majoritairement pour reprendre les efforts de traction, et dans des cas spécifiques pour participer à la résistance en compression (armatures comprimées dans des poteaux et des poutres soumises à des moments élevés ou à des flexions composées).

Les aciers que nous avons utilisés sont du type HA FeE40 pour les armatures longitudinales et de type RL FeE24 pour les armatures transversales. Les caractéristiques des aciers sont indiquées au tableau II.10. La figure II.12 schématise le ferrailage des poutres 10x10x50cm.

Tableau II.10: Caractéristiques du ferrailage.

Caractéristiques	Valeurs [MPa].
Limite d'élasticité f_e (HA)	400
Limite d'élasticité f_e (RL)	235
Contrainte limite σ_s (ELU)	348
Module d'élasticité longitudinale E_s	2.10^5



Figure II.12: Ferrailage des poutres 10x10x50 cm.

II.6. Confection des échantillons

Les éprouvettes sont des prismes normalisés de dimensions 7x7x28 cm et 10x10x50 cm remplis en trois couches successives (figure II.13) à l'aide d'une table vibrante pour se débarrasser des bulles d'air, puis piquées pour assurer l'adhérence inter-couches.

**7x7x28cm****10x10x50cm****Figure II.13:** confection des éprouvettes.

II.7. Cures des éprouvettes

Après 24 heures de leur démoulage, les éprouvettes sont immergées dans une solution (eau+chaux) (figure II.14), au terme du 28 jour, elles sont conservées dans deux solutions: l'eau potable (figure II.15) et l'acide sulfurique H_2SO_4 (figure II.16).

**Figure II.14:** Conservation des éprouvettes dans l'eau saturée de chaux.**Figure II.15:** Conservation des éprouvettes dans l'eau potable.



Figure II.16: Conservation des éprouvettes dans l'acide sulfurique H_2SO_4 .

II.8. Essai

II.8.1. Essais de durabilité

Sont réalisés selon la norme ASTM 1012 sur des éprouvettes prismatiques (7x7x28) cm qui ont été immergées dans la solution d'acide sulfurique H_2SO_4 (figure II.17), la solution est préparée avec une concentration de 0.01 mol/l et renouvelée chaque mois pour maintenir son PH constant (PH = 2).



Figure II.17: Acide sulfurique utilisé.

II.8.2. Absorption par immersion

La mesure de la capacité d'absorption massique permet de calculer la quantité d'eau absorbée par le matériau. L'essai consiste à mettre des éprouvettes de béton âgée de 28 jours dans l'étuve et de les peser jusqu'au poids constant, ensuite les immergée totalement dans l'eau jusqu'à saturation du matériau. Le poids de l'eau absorbée est donc déterminé avec la relation ci-dessous:

$$A_b = \frac{M_a - M_s}{M_s} \times 100$$

Avec:

A_b : Coefficient d'absorption.

M_a : Masse des éprouvettes saturée.

M_g : Masse des éprouvettes après séchage.

II.8.3. Résistance à la compression

Déterminée selon la norme NFP 15-451 au moyen d'une presse d'écrasement IBERTEST (figure II.18) par la formule :

$$\sigma_c = \frac{F_c}{S}$$

Avec :

σ_c : Résistance à la compression [MPa].

F_c : Charge maximale enregistrée à la rupture [N].

S : Aire de l'éprouvette [mm^2].



Figure II.18: Presse d'écrasement de compression.

II.8.4. Résistance à la traction par flexion à trois points

Déterminée selon la formule ci-dessous sur des éprouvettes 7x7x28 cm âgées de 28 jours avec une machine de marque CONTROLS couplé à un ordinateur menu d'un logiciel de charge avec une vitesse constante égale à 16 kg/s, en utilisant un dispositif de flexion à trois points, tel que schématisé sur la figure II.19.

Avec :

$$\sigma_f = \frac{(3 \times F_c \times L)}{2d}$$

σ_f : Résistance à la flexion [MPa].

F_c : Charge maximale enregistrée à la rupture [N].

L : Distance entre les deux appuis [mm].

d : Côté de l'éprouvette [mm].

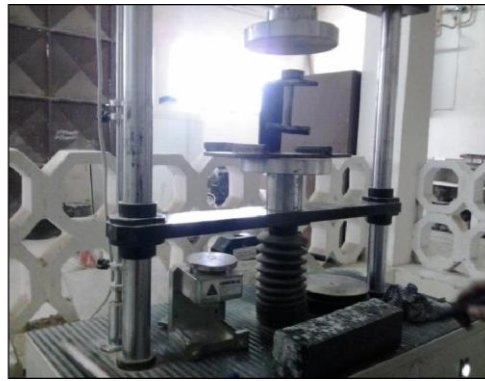
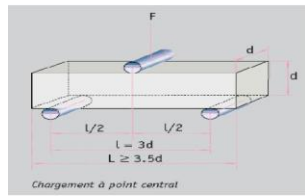


Figure II.19: Dispositif de flexion à trois points.

II.8.5. Essai de résistance à la traction par flexion à quatre points

La résistance à la flexion des poutres est mesurée sur des éprouvettes 10x10x50 cm par des essais de flexion à quatre points (figure II.20), par la même machine CONTROLS employée pour le premier essai, avec une vitesse égale 20 kg/s. La résistance est calculée selon la relation suivante:

$$\sigma_f = \frac{(F \times L)}{b^3}$$

Avec:

σ_f : résistance à la flexion en [MPa].

L: distance entre les deux appuis [=450mm].

F: charge maximale enregistrée à la rupture en [N].

b = h: côté de l'éprouvette (=100 mm).

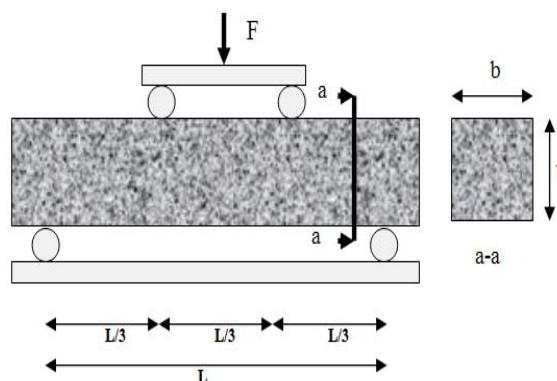


Figure II.20: Dispositif de flexion à quatre points.

II.8.6. Suivi des éprouvettes

II.8.6.1. Suivi de la masse des échantillons

Le suivi de la masse se fait par pesée de l'éprouvette à l'aide d'une balance de résolution égale au dixième de gramme. Les échantillons après leur immersion sortent donc nécessairement ruisselants d'eau, afin de limiter l'incertitude liée à la masse d'eau présentée sur la surface de l'éprouvette. Cette dernière est légèrement épongée à l'aide d'un tissu sec absorbant avant de procéder à la pesée. Cette variation de masse est exprimée par la relation suivante:

$$\frac{\Delta m}{m} = \frac{m - m_0}{m_0}$$

Avec:

m_0 : Poids de l'éprouvette après l'immersion dans la solution d'attaque. [g].

m : Poids de l'éprouvette avant l'immersion dans la solution d'attaque. [g].

-Les éprouvettes (7x7x28) cm conservées dans les deux milieux sont pesées après 1, 2, 3, 4, 5 et 6 mois.

II.8.6.2. Suivi de la résistance mécanique

L'évolution de la résistance mécanique est étudiée en fonction du temps, en effectuant des essais de flexion et de compression sur les éprouvettes (7x7x28) cm conservées dans les deux milieux après 3, 4 et 5 mois et les éprouvettes (10x10x50) cm conservées dans les deux milieux pendant 3 mois.

Chapitre III

**Discussion des résultats
expérimentaux**

III.1. Introduction

Nous présentons dans cette partie, les résultats expérimentaux des différents essais réalisés en cours de ce travail de mémoire. Il s'agit donc de faire les points sur la durabilité vis-à-vis d'une attaque par l'acide sulfurique des bétons préparés à base de sable calcaire et de sable dunaire et renforcés par 1% de fibres synthétiques. L'évolution du comportement mécanique des bétons traités sera schématisée sur des graphes ou des histogrammes, puis interprétés et analysés selon la nature du sable et encore selon la présence ou non de fibres. Des observations visuelles faites sur les échantillons testés seront présentées aussi afin d'expliquer mieux le phénomène de l'attaque.

III.2. Optimisation du dosage du superplastifiant dans le béton sans fibres

Le rapport E/C est pris égal à **0,6**, valeur déterminée par la méthode pratique de Dreux-Gorisse présentée dans le second chapitre. Avec un dosage de ciment de 350Kg par un mètre cube de béton, ce rapport d'eau a donné un béton trop raide de mise en œuvre très difficile, d'où la nécessité de faire appel à un adjuvant superplastifiant. Nous avons fait le choix d'un superplastifiant réducteur d'eau de nouvelle génération du nom commercial SIKAVISCOCRETE TEMPO, fabriqué par SIKAELEDJAZAIR.

Les résultats de la mesure de l'affaissement au cône d'Abrams réalisée sur le béton sans fibres sont illustrés sur les deux graphes a et b de la figure III.1.

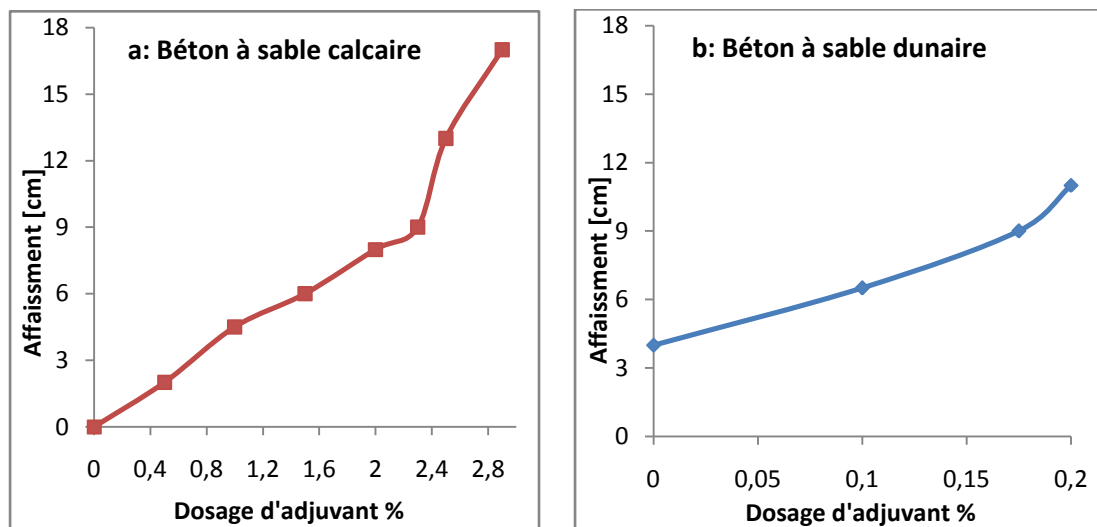


Figure III.1: Variation d'affaissement au cône d'Abrams des bétons.

Nous concluons selon cette figure que pour un affaissement de 9cm qui correspond à un béton plastique, le dosage optimal du superplastifiant varie entre 2.3 et 0.175% de la masse du ciment respectivement pour le béton à sable calcaire et le béton à sable dunaire.

La composition optimale du béton sans fibres est alors la suivante

(Tableau III.1):

Tableau III.1:Composition optimale en kg/m^3 du béton sans fibres.

Composants	Béton à sable calcaire	Béton à sable dunaire
Sable	707	609
Graviers 3/8	100	243
Graviers 8/15	876	920
Ciment	350	350
Eau	210	210
Superplastifiant	8.05 (2.3%)	0.613 (0.175%)
Masse totale	2251	2332
Affaissement	9 cm	

D'après le tableau III.1 nous observons que la consommation du superplastifiant est plus grande dans le béton à sable calcaire, ce qui est dû au taux élevé d'absorption d'eau du sable calcaire par rapport au sable dunaire.

III.3. Optimisation du dosage du superplastifiant dans le béton de fibres

Dans le béton de fibres nous ne pouvons pas dépasser dans une composition donnée certaines limites de fibres au-delà desquelles le gâchage et la mise en œuvre deviennent délicats, il existe toujours des dosages limites de fibres pour une bonne plasticité et une bonne résistance en même temps. D'autres paramètres principaux liés à la fibre, outre que le dosage peut agir sur la plasticité, sur la mise en place et sur le comportement mécanique du béton. Suite aux recommandations de nombreux travaux réalisés avec le même type de fibres [43,44], nous avons opté pour des bétons renforcés par 1 % de fibres (de la masse sèche totale du béton). Les résultats de mesure de l'affaissement sont donnés dans le tableau III.2 ci-dessus.

Tableau III.2: Dosages d'adjuvant dans les bétons de fibres

Béton	Dosage de fibres (%)	Dosage du superplastifiant (%)
Béton à sable calcaire	1	2.5
Béton à sable dunaire		0.30

Nous remarquons selon le tableau III.2 que le dosage du superplastifiant est plus élevé dans le béton de fibres (1% de fibres) que dans le béton sans fibres, ce qui est prouvé par la majorité des études de la littérature [45 - 48] qui s'accordent à que l'introduction de fibres dans un matériau cimentaire engendre une diminution de sa maniabilité. Ce problème de plasticité rencontré dans les bétons de fibres et qui constitue l'un de leurs majeurs inconvénients est du selon certains auteurs au faite que les fibres vont agir comme des inclusions de grande surface spécifique, ce qui donne des matériaux de mauvaise raideur. Nous pouvons voir à travers la figure III.2 que le béton est devenu ferme en introduisant les fibres et sa mise en place dans les moules sera difficile.

**Figure III.2:** Consistance du béton de fibres.

III.4. Etude du comportement mécanique du béton de fibres

Les résultats présentés concernent le comportement à la traction par flexion et à la compression des éprouvettes en béton conservées dans l'eau et dans l'acide sulfurique.

III.4.1. Résistance à la traction par flexion

Les essais d'écrasement à la traction par flexion sont réalisés sur des éprouvettes (7x7x28) cm conservées dans les deux milieux après 90, 120 et 150 jours.

Les éprouvettes témoins sont celles testées à l'âge de 28 jours après leur conservation dans l'eau saturée de la chaux, leur résistance est notée R_{f0j} (Exposition égale à 0j). Le développement de la résistance à la traction par flexion est donné pour les deux bétons en fonction de la durée d'exposition dans les deux milieux sur le tableau III.3.

Tableau III.3: Résistance à la traction par flexion dans les deux milieux.

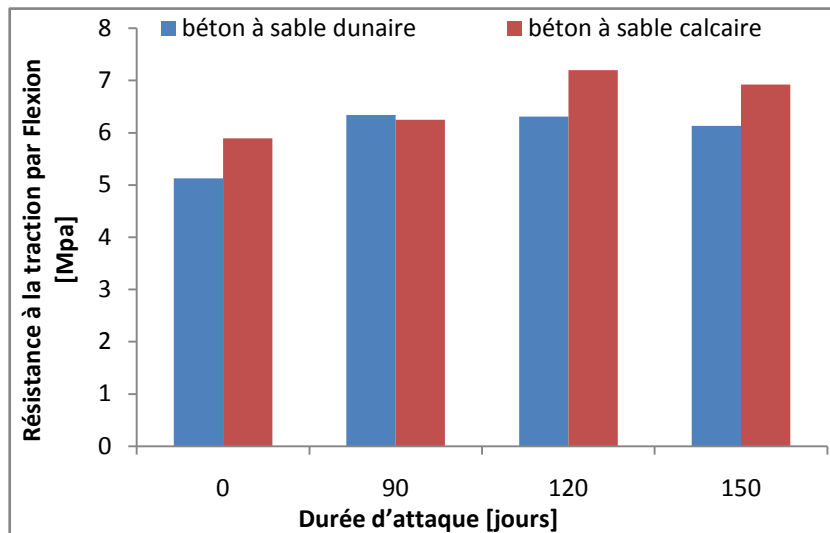
		Résistance à la traction par flexion [Mpa]							
		Béton sans fibres				Béton de fibres			
Durée d'attaque (jours)		0	90	120	150	0	90	120	150
Béton à sable dunaire	Eau	5.13	6.34	6.31	6.13	5.85	6.21	6.42	6.61
	Acide		5.89	6.78	6.55		6.54	7.13	6.83
Béton à sable Calcaire	Eau	5.89	6.25	7.20	6.92	6.36	6.74	7.46	7.61
	Acide		6.52	7.30	6.70		6.67	7.60	8.57

α -Effet de la nature de sable

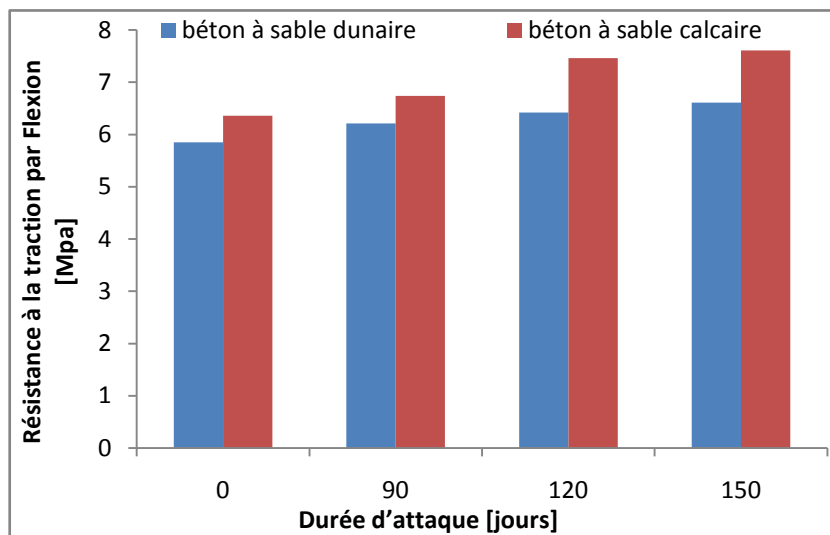
Les figures III.3 et III.4 schématisent le comportement des bétons conservés dans l'eau et dans l'acide sulfurique respectivement.

D'après les deux figures III.3 et III.4, on observe que les bétons à base de sable calcaire soit renforcés ou non renforcés par des fibres donnent une résistance à la traction par flexion élevée par rapport aux bétons à sable dunaire; cette conclusion qui est trouvée dans les deux milieux, dans l'eau et dans l'acide sulfurique est confirmée par d'autres chercheurs [49,50]. Ce comportement positif des bétons à sable calcaire peut être justifié par la texture superficielle rugueuse et par la réactivité des granulats calcaires avec la pâte de ciment, ce qui améliore nettement le travail de l'ensemble à la traction [50].

Nous remarquons aussi que la résistance à la traction par flexion des bétons témoins sans fibres croit avec la durée d'exposition jusqu'à 120 jours, puis elle diminue et ceci dans les deux milieux. Alors que dans les bétons de fibres, la résistance continue son évolution, sauf pour le béton à sable dunaire conservé dans l'acide sulfurique.

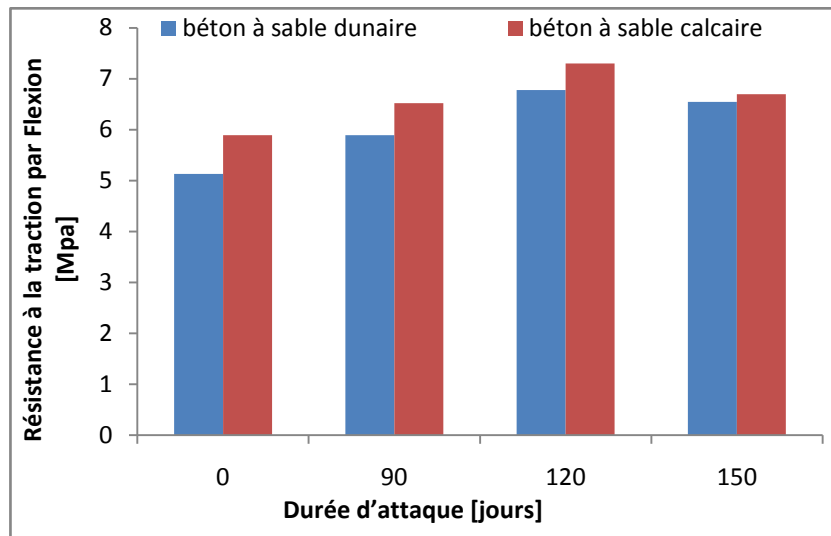


a: Résistance à la traction par flexion du béton sans fibres.

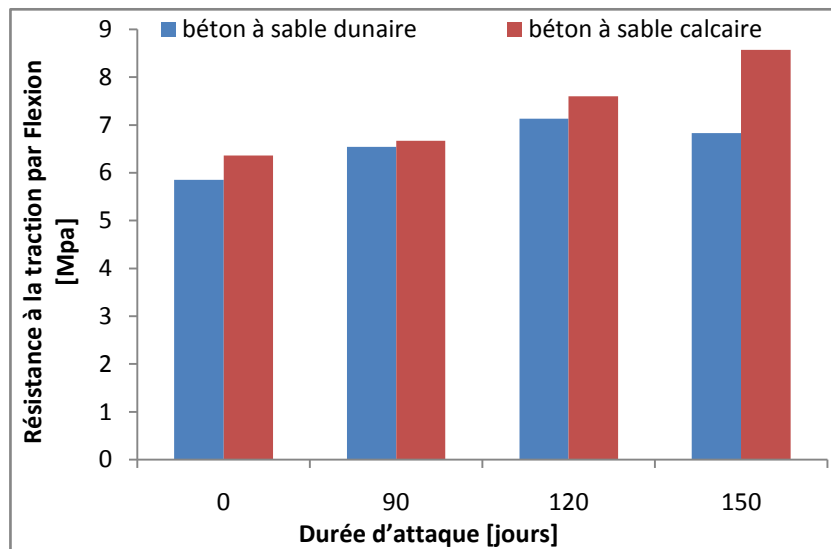


b: Résistance à la traction par flexion du béton de fibres.

Figure III.3: Résistance à la traction par flexion des bétons dans l'eau.



a: Résistance à la traction par flexion du béton sans fibres.



b: Résistance à la traction par flexion du béton de fibres.

Figure III.4: Résistance à la traction par flexion des bétons dans L'acide sulfurique.

b-Effet de fibres

Pour estimer l'effet de fibres sur la résistance à la traction par flexion des bétons testés, nous calculons la variation de la résistance à la traction par flexion du béton de fibres par rapport à celle du béton sans fibres avec la relation ci-dessous. Les taux calculés sont regroupés dans le tableau III.4.

$$T = \frac{R_{FT} - R_0}{R_0} \times 100$$

Avec:

T: taux de variation de la résistance à la traction par flexion.

R_{FT} : résistance à la traction par flexion du béton de fibres.

R_0 : résistance à la traction par flexion du béton sans fibres.

Tableau III.4: Taux de variation de la résistance à la traction par flexion du béton de fibres par rapport au béton témoin.

Bétons	Milieu d'exposition	Durée d'exposition (jours)	Variation (%)
Béton à sable dunaire	Eau	90	-2.05
		120	1.74
		150	7.83
	Acide sulfurique	90	11.03
		120	5.16
		150	4.27
Béton à sable calcaire	Eau	90	7.84
		120	3.61
		150	9.97
	Acide sulfurique	90	2.30
		120	4.10
		150	27.91

D'après le tableau III.4, on observe qu'il existe toujours un effet positif des fibres employées sur la résistance à la traction par flexion des bétons analysés. Ce résultat est confirmé par d'autres travaux [51 - 54]. L'effet positif de l'ajout de fibres est beaucoup plus important dans les bétons conservés dans l'acide sulfurique. On peut dire que l'ajout des fibres améliore la résistance à la flexion des bétons immergés dans l'eau et leur donnent un bon comportement vis-à-vis des attaques chimiques par l'acide sulfurique.

III.4.2. Résistance à la compression

Les essais d'écrasement à la compression sont réalisés sur les demi- éprouvettes (7x7x28) cm conservées dans les deux milieux après 90, 120 et 150 jours.

Les éprouvettes témoins sont celles testées à l'âge de 28 jours après leur conservation dans l'eau saturée de la chaux, leur résistance est notée R_{f0j} (Exposition égale à 0j). Le développement de la résistance à la compression est donné pour les

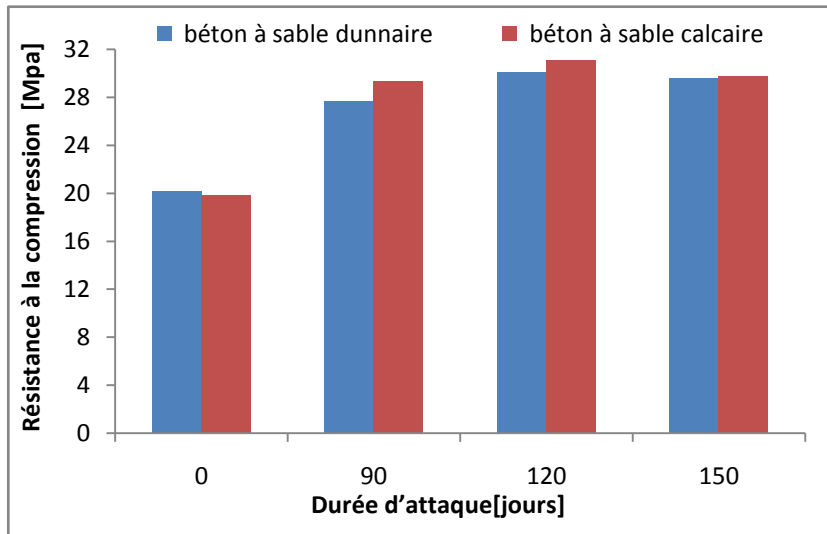
deux bétons en fonction de la durée d'exposition dans les deux milieux sur le tableau III.5. Les figures III.5 et III.6 schématisent le comportement des bétons conservés dans l'eau et dans l'acide sulfurique respectivement.

Tableau III.5: Résistance à la compression dans les deux milieux.

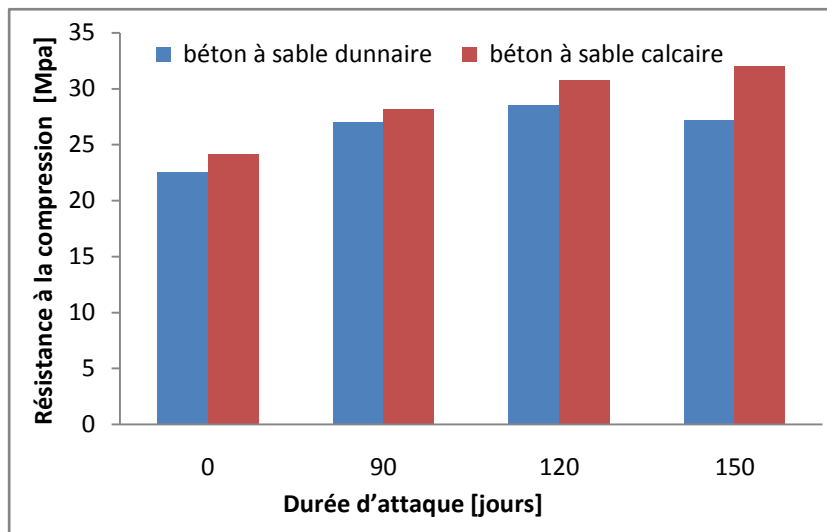
		Résistance à la compression [Mpa]							
		Béton sans fibres				Béton de fibres			
Durée d'attaque (jours)		0	90	120	150	0	90	120	150
Béton à sable dunaire	Eau	20.14	27.67	30.05	29.55	22.52	27.03	28.48	27.22
	Acide		34.47	29.1	28.17		30.42	33	28.85
Béton à sable calcaire	Eau	19.86	29.32	31.08	29.74	24.16	28.16	30.8	32
	Acide		39.92	34.52	29.46		30.12	34.13	31.97

a-Effet de la nature de sable

D'une façon générale, on remarque que les bétons à sables calcaires ont offert le meilleur comportement à la compression par rapport aux bétons à sable dunaire (figures III.5 et III.6). Cette bonne propriété des bétons à sable calcaire est du à leur meilleure compacité qui est assurée par les fines calcaires. Le sable calcaire contient presque 13 % de particules inférieures à 0.08 mm, alors que le taux de ces particules ne dépasse pas 1.8% dans le sable dunaire. Cette conclusion se concorde avec d'autres études [49] et se contredit avec d'autres [50]. Certains chercheurs [55] voient que la résistance du béton en compression est fonction croissante avec la résistance à la compression de ses granulats.



a : Résistance à la compression du béton sans fibres.



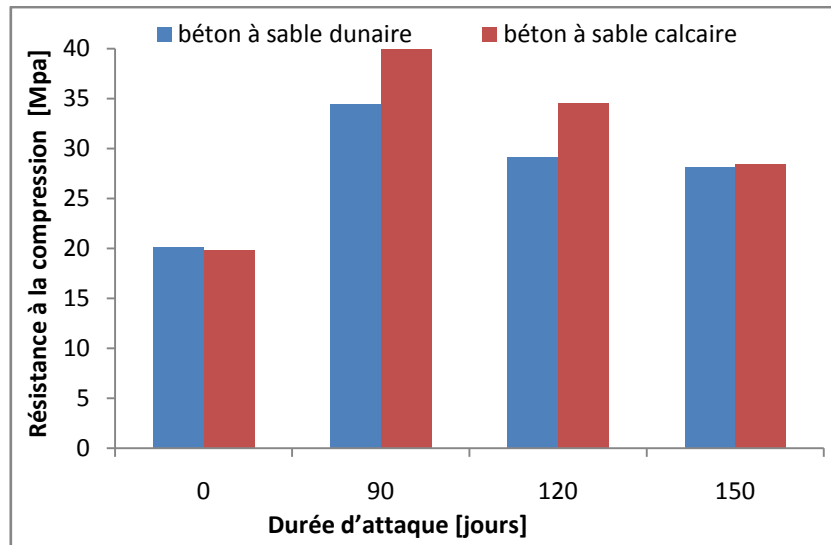
b: Résistance à la compression du béton de fibres.

Figure III.5: Résistance à la compression des bétons dans l'eau.

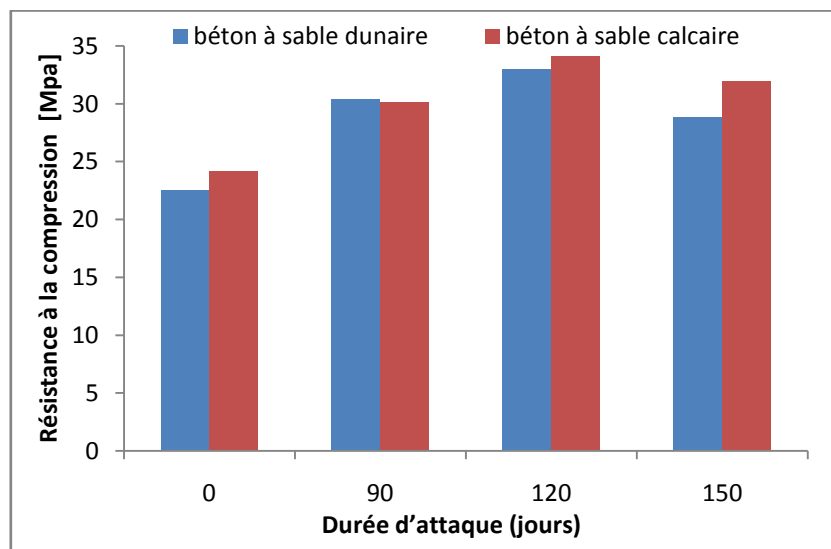
Selon la figure III.5 une augmentation de la résistance à la compression est observée pour les deux types de bétons durant les 120 j. Après 150 jours d'exposition, toutes les résistances ont subit une légère chute. Sauf la résistance dans le béton à sable calcaire renforcé par les fibres qui a continué son évolution dans le temps. Cette légère réduction de la résistance est du point de vue pratique non significative et elle peut être justifiée par les erreurs de à l'expérimentation (confection, mesure, écart type...etc). Certains travaux ont Dans un autre travail il était constaté que les bétons à sable siliceux offrent les résistances à la compression les plus élevées, ce qui est

justifié par le faite, que le sable siliceux contribue par la dureté élevée de ses grains par rapport au sable calcaire à l'augmentation de la résistance à la compression de la matrice.

D'après tous ces résultats on peut confirmer que les bétons à sable calcaire avec et sans fibres donne un bon comportement à la compression par rapport aux bétons à sable dunaire dans les deux milieux de conservation.



a : Résistance à la compression du béton sans fibres.



b: Résistance à la compression du béton de fibres

Figure III.6: Résistance à la compression des bétons dans l'acide sulfurique.

b-Effet de fibres

Pour estimer l'effet de fibres sur la résistance à la compression des bétons testés, nous calculons la variation de la résistance à la compression du béton de fibres par rapport à celle du béton sans fibres avec la relation ci-dessous. Les taux calculés sont regroupés dans le tableau III.4.

$$T = \frac{R_{FT} - R_0}{R_0} \times 100$$

Avec:

T: taux de variation de la résistance à la traction par flexion.

R_{FT} : résistance à la compression du béton de fibres.

R_0 : résistance à la compression du béton sans fibres.

Tableau III.6: Taux de variation de la résistance à la compression du béton de fibres par rapport au béton témoin.

Bétons	Milieu d'exposition	Durée d'exposition (jours)	Variation (%)
Béton à sable dunaire	Eau	90	-2.31
		120	-5.22
		150	-7.88
	Acide sulfurique	90	-3.95
		120	-0.90
		150	7.75
Béton à sable calcaire	Eau	90	11.74
		120	13.41
		150	2.41
	Acide sulfurique	90	-24.54
		120	-1.12
		150	8.52

Nous remarquons d'après le tableau III.6 que l'introduction dans le béton à sable dunaire des fibres engendre une réduction de sa résistance à la compression, alors que dans le béton à sable calcaire, l'effet des fibres est bien enregistré, particulièrement dans le milieu eau. Dans l'acide sulfurique, l'effet des fibres n'est remarqué que sur la résistance à long-terme des bétons à sable calcaire. Ce résultat est d'une grande importance pratique, car il confirme l'efficacité des fibres utilisées dans

l'amélioration du comportement mécanique des bétons à sable calcaire et de leur durabilité contre les attaques chimiques d'origine acide. Selon ce qui est dit on peut recommander ce type de bétons dans la construction des égouts et des caniveaux des eaux pluviales. La non efficacité des fibres sur le comportement des matériaux cimentaires est confirmée par la majorité des recherches [56,57,58]. Mais d'autres chercheurs ont détecté une amélioration de la résistance à la compression des matériaux cimentaires par l'ajout de fibres [47,54].

III.5. Absorption par immersion

Nous remarquons d'après la figure III.7 que tous les bétons possèdent des coefficients d'absorption qui n'excèdent pas 10 %; selon Neville [18], les bétons de qualité doivent avoir un coefficient d'absorption inférieur à 10 %, ce qui nous mène dire que les bétons testés dans ce travail semblent être des bons bétons. L'absorption est très proche dans les deux types de bétons, sans et avec fibres, la différence entre les coefficients d'absorption ne dépasse pas 0.003. Concernant l'effet de fibres, nous constatons que l'absorption en eau est plus grande en présence de fibres. Cela peut être expliqué par le fait que l'introduction de fibres dans le béton va engendrer des pores qui vont être des chemins faciles pour le passage de l'eau à l'intérieur de l'échantillon. Ce résultat est confirmé par le travail de Sadrumontazi et Hagi [59] réalisé sur un déchet de fibres de polypropylène et aussi par l'étude de Karahan et Atiş [66] effectuée sur des fibres de polypropylène.

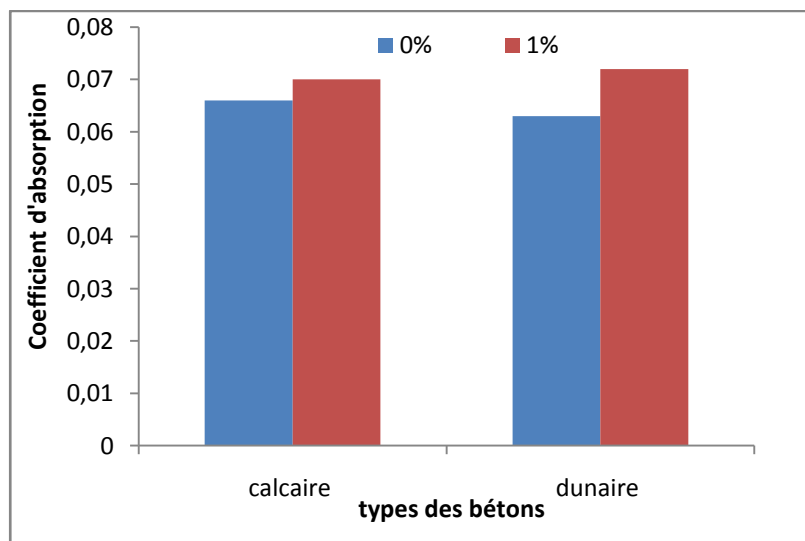


Figure III.7: Coefficient d'absorption des bétons.

III.6. Variation de poids

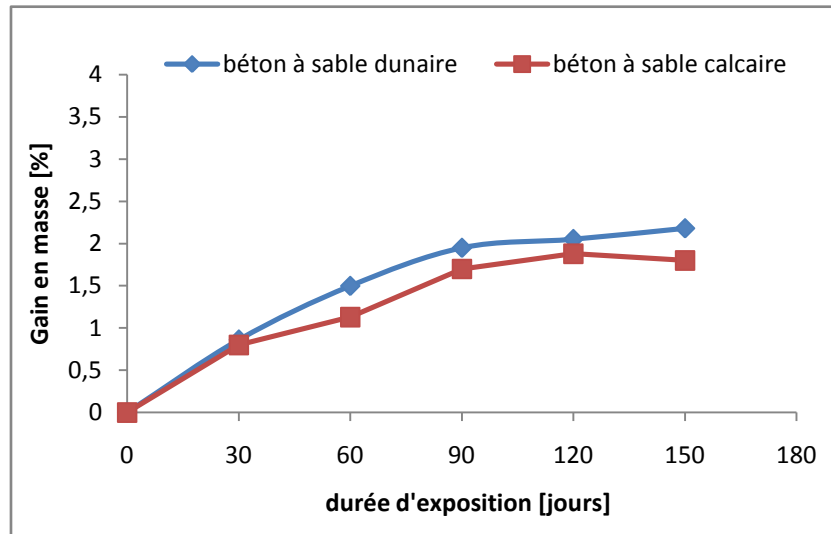
Les résultats des variations du poids dans les deux milieux (eau et acide sulfurique) sont donnés respectivement dans les figures III.8 et III.9. Généralement un gain en masse est détecté dans tous les bétons testés, ce gain est plus important durant le premier mois de conservation, car la capacité d'absorption d'un matériau est plus élevée à jeune puis elle continue jusqu'à sa saturation.

a-Effet de la nature de sable

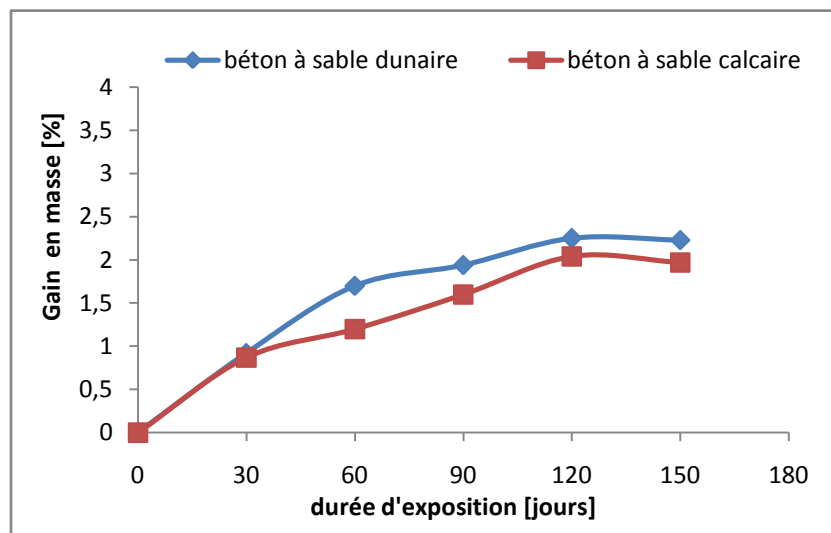
En général, les bétons à sable dunaire ont présenté un gain en masse légèrement plus important par rapport aux bétons à sable calcaire (figures III.8 et III.9). Le taux d'augmentation de la masse dans le béton à sable dunaire varie entre 2.18, 2.23 % dans l'eau et entre 2.53 et 2.89 dans l'acide sulfurique, alors que dans le béton à sable calcaire, il varie entre 1.8, 1.97 % dans l'eau et entre 2.31 et 2.75 dans l'acide sulfurique. Cela peut être dû à des nouvelles formations qui contribuent à l'augmentation du poids des échantillons. Il faut signaler que l'eau (PH = 7.5) est un milieu acide en le comparant par le milieu alcalin (PH = 13) du béton.

b-Effet de fibres

Nous constatons selon les figures III.8 et III.9 que les bétons avec fibres ont gagné plus de poids que les bétons sans fibres. Nous justifions ce résultat par le fait qu'en présence de fibres, la capacité d'absorption des bétons est plus grande, elle est de l'ordre de 0.07 dans le béton à sable calcaire et 0.072 dans le béton à sable dunaire alors que dans les bétons sans fibres, le coefficient d'absorption varie entre 0.066 et 0.063 respectivement dans le béton à sable calcaire et à sable dunaire. L'effet de fibres est plus apprécié dans le milieu acide, où nous remarquons que les bétons ont continué à gagner plus de poids. Dans l'eau (figure III.8), le gain en masse dans les bétons sans fibres croit avec la durée d'exposition jusqu'à 90 jours, puis il se stabilise, alors que dans les bétons avec fibres, la stabilisation est marquée après 120 jours. Dans le milieu acide (figure III.9), les résultats indiquent une croissance de poids pour tous les types de bétons, sauf le béton à sable dunaire sans fibres qui a subi une petite réduction en poids.

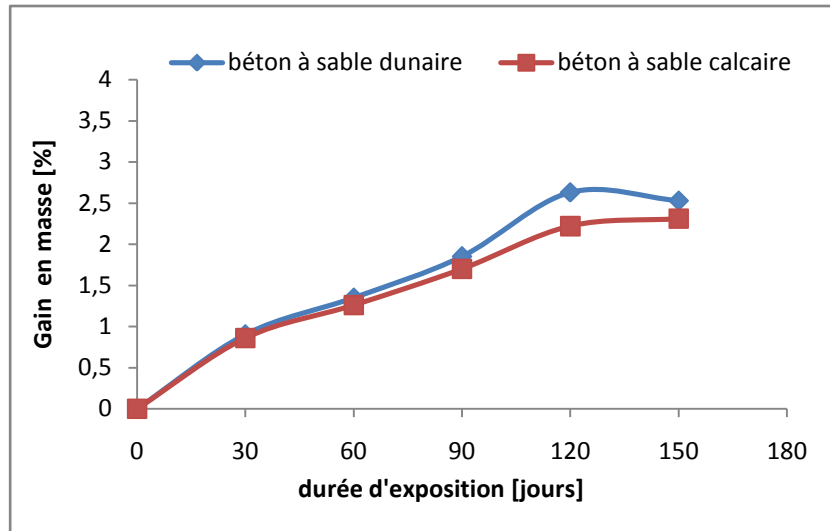


a : Variation en poids du béton témoins sans fibres.

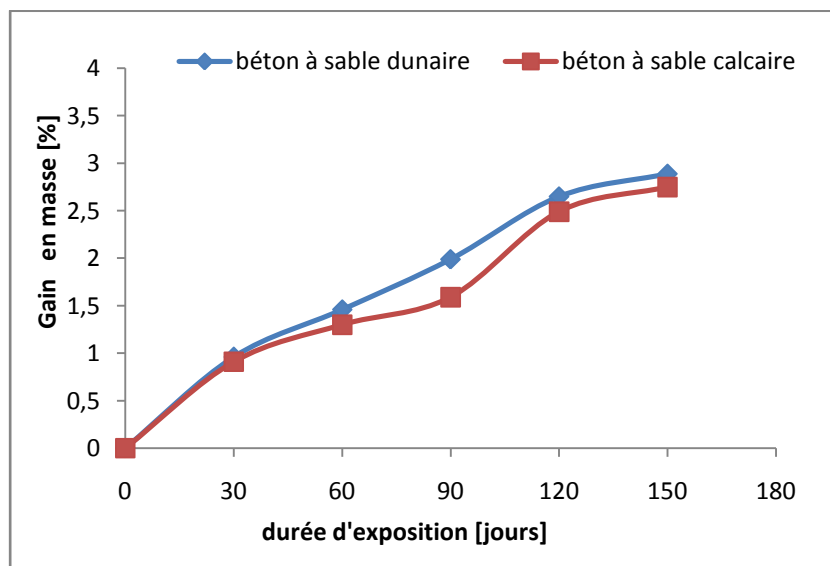


b : Variation en poids du béton avec fibres.

Figure III.8 : Variation en poids des bétons dans l'eau.



a : Variation en poids du béton sans fibres.



b : Variation en poids du béton avec fibres.

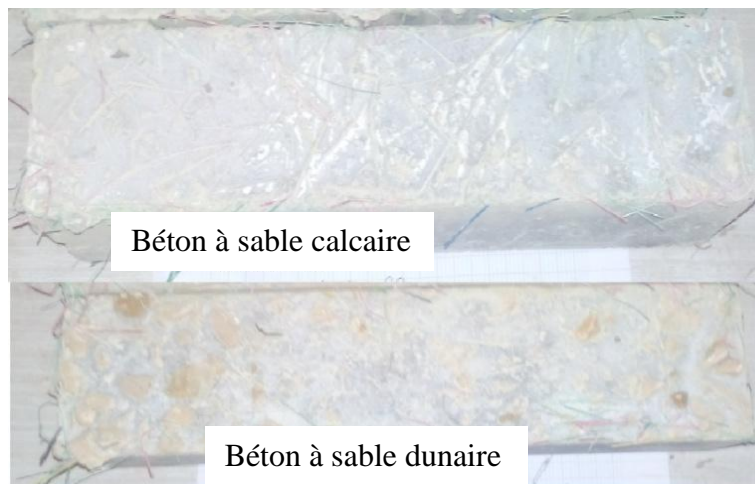
Figure III.9 : Variation en poids des bétons dans l'acide sulfurique.

III.7. Observations visuelles

Quelques observations visuelles sont faites sur les éprouvettes immergées dans l'acide sulfurique (figures III.10).



a : Béton sans fibres.



b : Béton de fibres

Figure III.10: Eprouvettes conservées dans l'acide sulfurique.

D'après ces photos on observe que les éprouvettes immergées dans l'acide sulfurique se manifestent d'une couche jaune dans le béton à sable calcaire et une couche marron dans le béton à sable dunaire. Ce changement de couleur n'est apparu qu'après quatre mois d'immersion et il est dû aux nouveaux produits formés par la réaction entre la solution acide H_2SO_4 et les composés du béton.

Cependant les éprouvettes du béton avec fibres paraissent les moins influencées par l'attaque chimique acide.

III.8. Comportement des poutres en béton armé

Notre but de ce volet est l'étude du comportement mécanique et de l'état de rupture des poutres en béton armé renforcées par des fibres de polypropylène et conservées dans les deux milieux de conservation, dans l'eau et dans l'acide sulfurique.

III.8.1. Comportement à la rupture des poutres

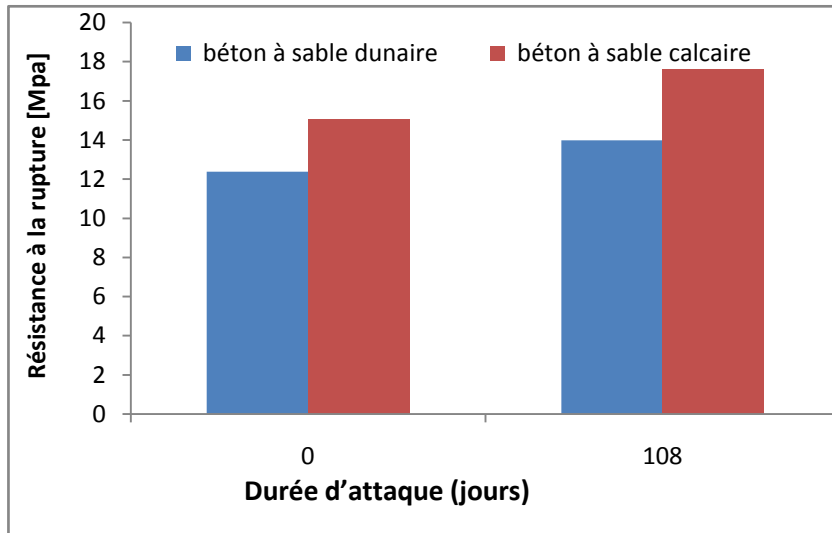
Les essais d'écrasement en flexion sont réalisés sur des poutres (10x10x50) cm après une conservation de 108 jours dans les deux milieux, eau et acide, dont les résultats sont regroupés sur le tableau suivant:

Tableau III.7: Variation de la résistance en flexion des poutres.

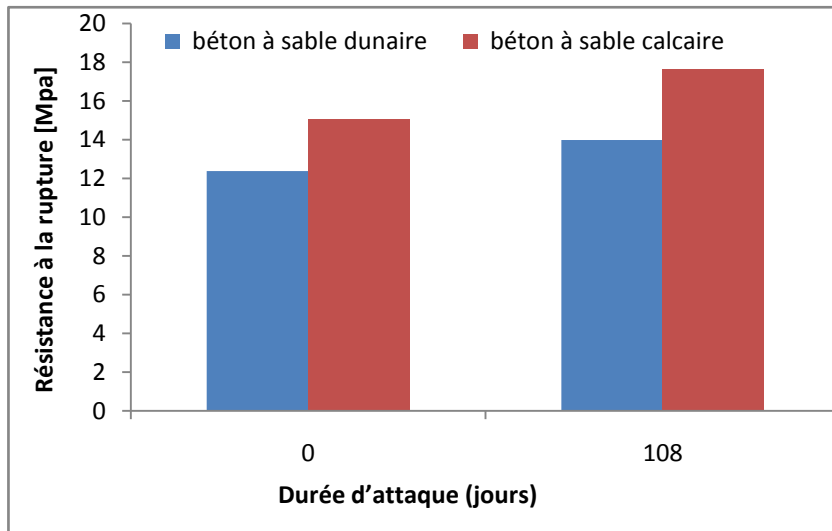
		Résistance à la traction par flexion [Mpa]			
		Béton sans fibres		Béton de fibres	
Durée d'attaque (jours)		0	108	0	108
Béton à sable dunaire	Eau	12.38	13.99	13.48	15.48
	Acide		14.22		15.84
Béton à sable calcaire	Eau	15.05	17.61	17.35	18.91
	Acide		16.57		19.35

Les poutres témoins sont celles testées à l'âge de 28 jours après leur conservation dans l'eau saturée de la chaux, leur résistance est notée R_{f0j} (Exposition égale à 0 j).

Les figure III.11 et III.12 schématisent le comportement mécanique à la rupture des poutres en bétons avec et sans fibres, conservés dans l'eau et dans l'acide respectivement. Nous remarquons une augmentation avec le temps de la charge de rupture des poutres avec et sans fibres.



a : Résistance à la rupture des poutres sans fibres.



b: Résistance à la rupture des poutres renforcées par des fibres.

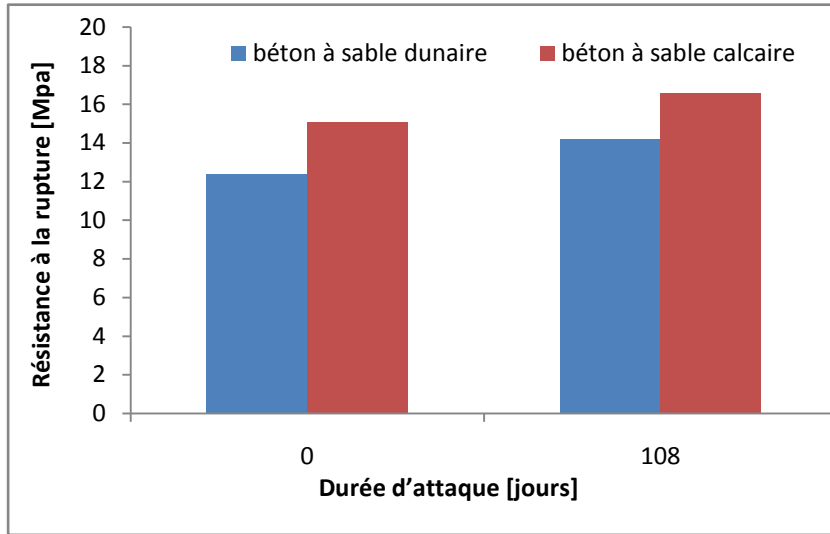
Figure III.11 : Résistance en flexion des poutres en béton armé dans l'eau.

a-Effet de la nature de sable

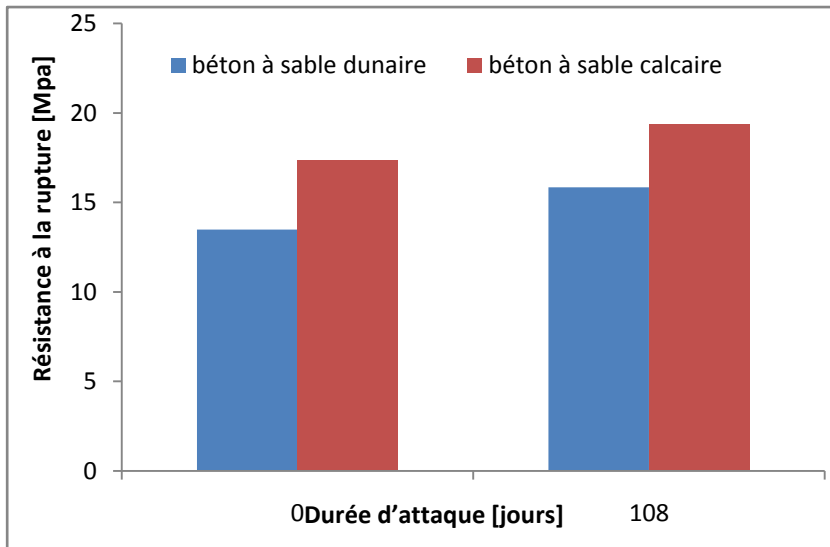
Il est remarqué que les poutres en béton à sable calcaire ont donné les meilleures résistances à la rupture par rapport aux poutres en béton de sable dunaire.

b-Effet de fibres

Les poutres renforcées de fibres exhibent une résistance plus élevée que les poutres sans fibres. L'effet de fibres est plus appréciable dans les bétons immergés dans l'acide sulfurique, ce qui est justifié par les taux élevés d'amélioration présentés ci-dessous.



a : Résistance à la rupture des poutres témoins sans fibres.



b : Résistance à la rupture des poutres renforcées de fibres.

Figure III.12 : Résistance à la rupture des poutres en bétons armés dans l'acide sulfurique.

Le calcul de la variation de la résistance à la rupture des poutres en béton de fibres par rapport au béton sans fibres est fait selon la relation ci-dessous. Les résultats sont donnés en pourcentage dans le tableau III.10 suivant.

$$T = \frac{R_{Fp} - R_{p0}}{R_0} \times 100$$

Avec :

T: taux de variation.

R_{fp} : résistance à la rupture des poutres en béton de fibres.

R_{p0} : résistance à la rupture des poutres en béton sans fibres.

Tableau III.8 : Taux de variation de la résistance à la rupture du béton de fibres par rapport au béton sans fibres.

Bétons	Milieu d'exposition	Durée d'exposition (jours)	Variation (%)
Béton à sable dunaire	Eau	108	10.65
	Acide sulfurique		11.39
Béton à sable calcaire	Eau	108	7.38
	Acide sulfurique		16.77

Le tableau III.8 permet de voir que l'effet positif de fibres est marqué dans tous les bétons et dans les deux milieux. Néanmoins qu'il est plus important dans les bétons conservés dans l'acide, particulièrement dans le béton à sable calcaire, où on a enregistré un taux de l'ordre de 16.77 %.

III.9. Mode de rupture

Les figures III.13 et III.14 montrent le mode de rupture suite à l'essai de traction par flexion et l'essai de compression pour les deux types de bétons.



a : Béton sans fibres dans l'acide.



b : Béton de fibres dans l'acide.



c : Béton sans fibres dans l'eau.



d : Béton de fibres dans l'eau.

Figure III.13: Eprouvettes (7x7x28) cm³ écrasées en traction par flexion.



a : Béton sans fibres dans l'acide.



b : Béton de fibres dans l'acide.



c : Béton sans fibres dans l'eau.

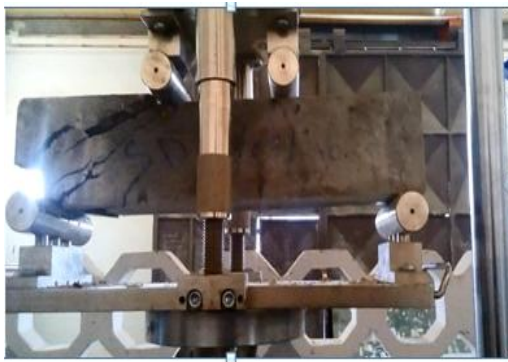


d : Béton avec fibre dans l'eau.

Figure III.14: Eprouvettes (7x7x28) cm³ écrasées en compression.

D'après la figure III.13 on remarque que la rupture dans les bétons sans fibres est développée brutalement par contre dans les bétons avec fibres, la rupture se manifeste par l'apparition d'une seule fissure à mi-travée. Les bétons sans fibres soumises à la compression se détruisent totalement. Cependant dans les bétons de fibres plusieurs fissures se forment sur toute la surface sans détérioration totale de l'échantillon (figure III.14).

Les figures III.15 et III.16 ci-dessous illustrent le mode de rupture des poutres sans et avec fibres dans les deux milieux de conservation. Dans les poutres sans fibres (figure III.15), la rupture intervient brutalement avec l'ouverture importante d'une fissure oblique. par contre l'ouverture de fissures obliques est moins importante dans les poutres renforcées de fibres (figure III.16).



a : Poutre en béton à sable dunaire dans l'acide.



b : Poutre en béton à sable calcaire dans l'acide.



c : Poutre en béton à sable dunaire dans l'eau.



d : Poutre en béton à sable calcaire dans l'eau.

Figure III.15: Rupture des poutres en béton sans fibres.



b : Poutre en béton à sable dunaire dans l'acide



a : Poutre en béton à sable calcaire dans l'acide.



c : Poutre en béton à sable dunaire dans l'eau.



d : Poutre en béton à sable calcaire dans l'eau.

Figure III.16: Rupture des poutres en béton de fibres.

Conclusion générale

Conclusion générale

Notre travail consiste à étudier l'effet de la nature minéralogique du sable sur la durabilité à l'attaque chimique par l'acide sulfurique des bétons renforcés par des fibres de polypropylène et sur le comportement mécanique des poutres en béton armé de fibres de polypropylène. Cette étude expérimentale nous a permis de tirer les conclusions suivantes:

- ❖ A même maniabilité, la consommation en superplastifiant du béton à sable calcaire est plus élevée que celle du béton à sable dunaire.
- ❖ En incorporant dans la masse du béton une quantité de fibres, leur affaissement diminue.
- ❖ L'ajout des fibres de polypropylène améliore la résistance à la flexion des bétons immergés dans l'eau et leur donnent un bon comportement vis-à-vis des attaques chimiques par l'acide sulfurique.
- ❖ L'addition de fibres de polypropylène aux bétons n'a donné aucune amélioration de la résistance à la compression, particulièrement avec le sable dunaire.
- ❖ Les bétons à sable calcaire ont offert les meilleures performances mécaniques par rapport aux bétons à sable dunaire dans les deux milieux.
- ❖ L'absorption des bétons étudiés augmente avec l'ajout de fibres polypropylènes.
- ❖ Dans les deux milieux les bétons avec fibres ont gagné plus de poids que les bétons sans fibres.
- ❖ Aucune dégradation visuelle n'est détectée sur les éprouvettes soumises à l'attaque chimique par l'acide sulfurique.
- ❖ Le renforcement des poutres en béton armé par 1 % de fibres de polypropylène a amélioré nettement leurs résistances en flexion et a offert un bon comportement vis-à-vis de la fissuration.

Références bibliographiques

Références Bibliographiques

- [1] **FRITH. Y**, « Apport d'un renfort de fibres sur le comportement d'éléments en béton auto plaçant armé », Thèse de doctorat, INSA de Toulouse, France 2009.
- [2] **ABDOU. K**, «Influence des fibres métalliques sur les variations dimensionnelles et pondérales d'une matrice cimentaire» Thèse de doctorat d'état, Université Mentouri, Constantine, Algérie, 2007
- [3] **SUKONTASUKKUL. P**, « Toughness evaluation of steel and polypropylene fiber reinforced concrete beams under bending ». *Thammasat international journal of science and technology* 9, 3 (Jul.-Sep), pp. 35-41, 2004.
- [4] **EDINGTON. I, et Al**, « Steel fiber reinforced concrete », Building Research Establish, G-B, 17p, current paper .CP69/74, July 1974.
- [5] **BENTUR. A and MINDESS.S**,« fiber reinforced cementation composite » ELSEVIER Cement and Concrete Composites, vol 4, N°3, 1974.
- [6] **ABSLE**, « Béton de fibres »' synthèse des études et recherches réalisées au C.E.B.T.P, Annales de L'I.B.T, N°520, 1994.
- [7] **HACHANI. I. and KHLIF.R**, « Etude de l'effet de la géométrie des fibres synthétiques sur les propriétés physico-mécaniques des mortiers à sable calcaire », mémoire d'ingénieur d'état en G.C encadré par BENDJILLALI KHADRA, Université de Laghouat, 2009.
- [8] **BOUHERAOUA. A**, « Effet des fibres bi-ondulées sur le comportement du béton », étude expérimentale, mémoire de Magister, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 2006.
- [9] **SERNA. R**, « Etude de la contribution des fibres métalliques à l'amélioration du Comportement du béton au cisaillement », Thèse de Doctorat, Université de l'ENPC 1984.
- [10] **ABBANI. S**, « Caractérisation et durabilité des bétons renforcés de fibres végétales de palmier dattier », Mémoire de magister, Université de Ouargla, Algérie, 2003.
- [11] **ACI 544**, « State of the-art: « report on fiber reinforced concrete », Journal American Concrete Institute. U.S.A, Proc. Vol. 70, N°11 pp. 729-744, 1973.

- [12] **BENYAHIA. A**, « L'influence des fibres métalliques sur le comportement mécanique du béton », Mémoire de magistère Université de M'sila, Algérie, 2001.
- [13] **SWAMY.R. N et Al**, « Workability of S F R lightweight aggregate concrete », International. J, cement composites and Lightweight concrete, vol4, n^o2, p103-109, 1982.
- [14] **DURAND. G**, « Les béton à base de fibres d'acier », C E R I L H Stage 26.02, n^o6 pp 48-49, 1986.
- [15] **JONHSTON. C.D, COLEMAN. R.N**, « Strength and deformation of steel fiber reinforced mortar in uniaxial tension », International Symposium : Fiber reinforced concrete, Am. Concr. Inst. Publication SP- 44, Detroit, 1974, pp. 177-193.
- [16] **MAJUMDAR. A.J**, « Properties of fiber cement composite », RILEM, Neville (A), 120Communication 7.1, pp. 279-313.
- [17] **A.C.I. COMITE 544**, « state of the art reporton fiber reinforced concrete » , U.S.A, A.C.I,1982.
- [18] **NEVILLE. A**, « Propriétés du béton » traduit par le CRIB, Edition Eyrolles, Paris, 2000.
- [19] **HERMANN. K**, « Substances chimique exerçant une action sur le béton » ,bulletin du ciment 63, P12,1995.
- [20] **ACI COMMITE 201**, « Quid to durable concrete, American concrete institute », report of ACI Committee. Detroit; ACI 201.2R-77, DETER, 1982.
- [21] **COMITE OF EURO-INTERNATIONAL DU BETON**, « Durability of Concrete structures » , Bulletin d'Information ,n^o.148,Paris,1982.
- [22] **COMITE OF EURO-INTERNATIONAL DU BETON** « Durability of Concrete structures : CEB Design Guide », Bulletin d'Information ,n^o.148, Lausanne, 1989.
- [23] **EN 206**, « Béton –part1 : spécification, performances, production et conformité » Comité Européen de Normalisation (CEN), Bruxelles, 1999.
- [24] **BENOSMAN. A.S**, « Comportement mécanique et durabilité des matériaux composites mortier-polymère », mémoire de Magister , université d'Oran Es-Senia, Algérie, 2006.
- [25] **DUVAL. R and HORNAIN. H**, « Durabilité du béton vis-à-vis des eaux agressives », presse de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Paris, pp. 351-389.
- [26] **KAEMPFER. W and BERNDT. M**, « polymer modified with heigh resistance to acid and corrosion by biogenous sulfuric acid », Proceeding of the IXth ICPIC Congress, bologna Italy, pp.681-687, 1998.

- [27] **IFATTUHI. I and HGHEES. BP**, « the performance of cement paste and concrete subjected to sulfuric acid attack », *Cement and Concrete Research* , vol 18,n°4,pp.545-553,1988.
- [28] **CROSTON. T**, «Etude expérimentale du comportement d'une poutre en béton armé en flexion 3 points réparée par matériaux composites approche (probabiliste)», Thèse de Doctorat, Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers, Centre de Bordeaux, 2006.
- [29] **FAVRE. R et AI**, «Dimensionnement des structures en béton», *Aptitude au service et éléments de structures, Traité de Génie Civil de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Suisse, Vol. 18. 1997.*
- [30] **BARRAGÁN. B**, « Failure and toughness of steel fiber reinforced concrete under tension and shear», PhD-Thesis, Universitat Politecnica de Catalunya, Spain, 2002.
- [31] **LIM. D.H, OH B. H**, « Experimental and theoretical investigation on the shear of steel fibre reinforced concrete beams », *Engineering Structures journal*, Vol. 21, pp. 937–944, 1999.
- [32] **DREUX. G and FESTA. J**,«Nouveau Nouveau guide du béton et de ses constituants» Edition Eyrolles, Huitième Edition, 1998.
- [33] **LETOURNEUR. J and MICHEL. R** « Géologie du Génie Civil, Armand Colin », Paris, 1971.
- [34] **BARON. J and SAUTEREY. R**, « Le béton hydraulique », Presse de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Paris, 1982.
- [35] **PONS. G and TORRENTI. J**, « Retrait et fluage. La durabilité des bétons, Bases scientifiques pour la formulation de bétons durables dans leur environnement », Sous la direction de Jean-Pierre OLLIVIER et Angélique VICHOT , Presses de l'Ecole nationale des Ponts et chaussées, Paris,2008.
- [36] **NORME FRANCAISE AFNOR NF P18-555** , « Granulat : mesures des masses volumique ,coefficient d'absorption et teneur en eau des sables » ,paris,1990.
- [37] **NORME FRANÇAIS AFNOR NF P18-560** , « Granulat : Analyse granulométrique par tamisage » ,paris 1990.
- [38] **NORME FRANÇAIS AFENOR P18-598** , « Granulats :équivalent de sable » , paris ,1990.
- [39] **MAOUCHE. Y and LAOUIRET. M**, «Etude de l'effet de la nature minéralogique des granulats sur le comportement mécanique des poutres en béton armé renforcées par un déchet de fibres synthétiques mémoire Master en G.C encadré par BENDJILLALI KHADRA, Université de Laghouat, 2016.

- [40] **BAEL 91**, « Des règles de calcul du Béton Armé », BAEL 91 révisées 99(article A.7.2). Mars 1992, Février 2000.
- [41] **AFNOR P18-451**, « Béton – Retrait », Paris, 1981.
- [42] **RPA/VERSION 2003**, « Les règles parasismiques Algériennes », 2003.
- [43] **BENDJILLALI .K et Al** « Improvement of the mechanical behaviour of limestone mortars by the incorporation of synthetic fibers waste » 2^{ème} Conférence internationale MEDACHS 10, La Rochelle, France, pp 315-322, 2010.
- [44] **BENDJILLALI .K et Al**, « Study of the reinforcement of limestone mortars by polypropylene fibers waste », Physics Procedia Journal, Elsevier, Vol 21, pp42-46, 2011.
- [45] **BENDJILLALI .K et Al**, « Mechanical behaviour of polypropylene fibre concrete beams », Congrès international CMSS, Rabat, Maroc, 2013, p 65.
- [46] **BENDJILLALI .K et Al**, « Etude de l'effet de l'introduction de déchet de fibres plastiques sur le comportement physico-mécanique des mortiers », 1^{er} Congrès international ICCE'2012, Laghouat, Algérie, 2012.
- [47] **BELFERRAG et Al**, « Improvement of the compressive strength of mortar in the arid climates by valorization of dune sand and pneumatic waste metal fibers », Construction & Building Materials, Vol 40, pp 847-853, 2013.
- [48] **SOYLEV and OZTURAN**, « Durability, physical and mechanical properties of fiber-reinforced concretes at low-volume fraction », Construction & Building Materials, Vol 73, pp 67-75, 2014.
- [49] **CHAOUCH. M and BELLANGER. M**, « Interaction Liant-Granulat, Influence sur les propriétés mécaniques des mortiers et bétons », Mines et carrières, pp 81-83,1996.
- [50] **BENDJILLALI. K and MAKHLOUFI. Z**, « Etude de l'effet de la nature des granulats sur le comportement mécanique du béton en zones chaudes et arides (Contribution de la cure) », MATEC Web of Conférences 2, p 01013, 2012.
- [51] **AIT-TAHAR. K**, « Etude expérimentale des poutres combinées en béton de fibres », Annales du Bâtiment & des Travaux Publics, N° 3, 2000.
- [52] **HASHEM et Al**, « Characterization of natural fiber concrete using destructive and non-destructive testing methods ». The 6th Inter Conf on Concrete Technology for Developing Countries, Amman, Jordan, pp 551-560, 2002.
- [53] **GARCIA-SANTOS et Al**, « Characterization of a polypropylene fibered cement composite using ESEM, FESEM and mechanical testing», Construction & Building Materials Journal, Vol 19, pp 396-403, 2005.

- [54] **BENDJILLALI. K et AL**, «The effect of synthetic fibres on the mechanical behavior of reinforced concrete beam's, International Conference THERMAM 2014, Izmir, Turkey, 2014, p 40.
- [55] **KILIÇ. A et Al**, « The influence of aggregate type on the strength and abrasion resistance of high strength concrete ». Cement and Concrete Composites. N° 30, 290-296
- [56] **SADRMOMTAZI. A and HAGHI. A.K**, « Properties of cementitious composites containing polypropylene fiber waste», Composite Interfaces Journal, Vol 15, N° 7-9, 2008, pp 867-879.
- [57] **MEDDAH. M.S. and BENCHEIKH. M**, « Properties of concrete reinforced with different kinds of industrial waste fibre materials », Construction & Building Materials Journal, Vol 23, N° 10, 2009, pp 3196-3205.
- [58] **BOULEKBACHE. B et Al**, « Influence de la rhéologie des bétons renforcés de fibres métalliques sur leurs propriétés mécaniques »; European Journal of Environmental & Civil Engineering, Pub Taylor & Francis, Vol 13, N° 4, 2009, pp 473-488.
- [59] **KARAHAN. O and ATIŞ. C.D**, « The durability properties of polypropylene fiber reinforced fly ash concrete“, Materials & Design Journal, Vol 32, pp 1044-1049, 2011.

Annexe



Malaxeur à Béton.



10X10X50 cm



7X7X28 cm

Vibration des moules par table vibrante.



Béton à sable dunaire.



Béton à sable calcaire.

Les éprouvettes du béton sans fibre immergées dans l'acide sulfurique.



Béton à sable dunaire.



Béton à sable calcaire.

Les éprouvettes du béton avec fibre immergées dans l'acide sulfurique.

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

SIKA® VISCOCRETE® TEMPO 12

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

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

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

Domaines d'application

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

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

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



Agréments, essais de laboratoire ■ PV CNERIB : DTEM : 33/2010.

Caractéristiques

Aspect Liquide brun clair

Conditionnement

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

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

Conservation 1 an en emballage intact

Données techniques

densité 1,06 ± 0,01

pH 6 ± 1

Teneur en Na₂O Eq. ≤ 1 %

Extrait sec 30,2 ± 1,3 %

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

Organisme de certification :
AFNOR CERTIFICATION
11, avenue Francis de Pressensé
93571 Saint-Denis La Plaine cedex
France



Sika El Djazair
08 route de l'Arbaa, 16111 Eucalyptus
Alger/ ALGERIE
Web : dza.sika.com

Tel.: 213 (0) 21 50 21 84
213 (0) 21 50 16 92 à 95
Fax: 213 (0) 21 50 22 08

