

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE AKLI MOHAND OULHADJE-BOUIRA



Faculté des Sciences et des Sciences Appliquées
Département de Génie Civil

Mémoire de fin d'étude

Présenté par :
Zaoui Razika
Mesrane Khadidja

En vue de l'obtention du diplôme de **Master 2** en :

Filière : Génie Civil
Option : Matériaux en Génie Civil

Thème :

**Effets d'ajouts des déchets métalliques des pneus et les
déchets plastiques (fibres) sur le mortier**

Devant le jury composé de :

SAOUDI Brahim	MAA	UAMOB	Président
KENNOUCHE Salim	MCB	UAMOB	Encadreur
AMRANE Belaid	MCB	UAMOB	Examineur

Année Universitaire 2018/2019

Dédicace

Je dédie ce modeste travail,

A ma famille ;

A ma mère, qui m'a donné autant d'amourait d'affection et qui est toujours éveillé à ce que leur filleait de bonnes qualités, je vous remercie pour m'avoir donné la chance de découvrir le monde du savoir.

A mes chers frères

A mes très chères sœurs

A ma binôme KHADIDJA et leur famille ;

A tous mes amis(es) : AMIRA, HASSIBA, SARAH, DJEGDJIGA,

SOUHILA, SONIA et HALIM;

A tous ceux qui sont dans mes pensées et que

Je n'ai pas cité.

R.ZAOUI

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

*A celui qui a été toujours là pour moi,
à celui qui m'indique la bonne voie en me rappelant que
la volonté fait toujours les grands hommes, à mon adorable*

Papa.

*A Celle qui m'a donné la vie et l'envie
de vivre, à celle qui m'a entouré de sa tendresse, à celle
qui a attendu avec patience les fruits de sa bonne éducation,*

à ma très chère mère.

A tout mes chères

A cher frère MOHAMED

A mes chères sœurs

A toute ma famille

A mes chères copines : AMIRA ; HASSIBA ; SOUHILA

A ma binôme RAZIKA et leur famille

*Et sans oublier mes enseignants qui m'ont soutenu durant toutes mes
années d'études.*

KH.MESRANE

Remerciements

Tout d'abord, nous remercions Dieu, le Tout Puissant, de nous avoir donné la volonté et le courage afin d'arriver à la finalité de ce modeste travail.

Ensuite, nous remercions nos parents qui nous ont soutenus beaucoup pendant toute la vie et qui continueront à nous aider dans tous les projets de l'avenir.

Ainsi que tous les membres de nos familles qui ont participé de près ou de loin à nous encourager et nous aider dans notre projet.

*Nous remercions très sincèrement notre promoteur, **Mr. KENNOUCHE.S** pour tout le savoir qu'elle nous a apporté, et pour nous avoir encadré et dirigé au cours de notre projet de fin d'étude.*

Nous remercions les membres de jury, pour accepter d'examiner ce mémoire et juger notre travail, on leurs exprime toute notre gratitude pour l'intérêt qu'ils ont accordé à ce travail.

*Sans oublier la technicienne **Mme LWIZA** et **Mr FARID** ; qui nous a aidé pour l'accès au laboratoire Matériaux afin d'effectuer les opérations et pour son aide dans la plupart de nos essais.*

*Notre reconnaissance va aussi à l'ensemble du personnel d'usine de recyclage des pneus de **HACHIMIA**.*

Enfin, nous tenons à exprimer toute notre gratitude à toutes les personnes ayant contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.

Merci à tous

Sommaire

Sommaire

Introduction Générale	3
Chapitre I : Généralités sur les déchets et les fibres	3
I.1. Introduction	6
I.2. Les déchets	6
I.2.1. Définition d'un déchet	6
I.2.2. Classifications des déchets	6
I.2.2.1. Les déchets ménagers	6
I.2.2.2. Les Déchets Industriels Banals (DIB)	6
I.2.2.3. Les déchets dangereux	6
I.2.2.4. Les Déchets Toxiques en Quantité Dispersée (DTQD).....	7
I.2.2.5. Les déchets inertes.....	7
I.2.2.6. Les déchets ultimes.....	7
I.2.2.7.Cas particulier (les déchets d'emballage).....	7
I.2.3.Origine de la production des déchets.....	7
I.2.4. Constitution chimique des déchets	8
I.2.5. Définition de recyclage.....	8
I.2.6. Valorisation des déchets	9
I.2.6.1. L'intérêt de la valorisation.....	9
I.2.6.2. Gestion des déchets	9
I.2.6.3. Technique de gestion des déchets.....	9
I.2.7. Impacts du recyclage sur l'environnement.....	10
I.3.Les déchets pneumatiques	10
I.3.1. Introduction	10
I.3.2. La composition de pneu.....	11
I.3.3. Caractéristiques physiques des pneus.....	11
I.3.4. Valorisation et domaine d'application des pneumatiques	12
I.4.les déchets plastiques	13
I.4.1.Avantages de valorisation du plastique	13
I.4.2.Utilisation de déchets plastiques recyclés.....	13
I.4.3. Avantages et inconvénients des matières plastiques	13
I.4.4.Trois grandes méthodes de valorisation du plastique.....	14
I.4.5. les fibres plastiques.....	14
I.4.5.1.Type des fibres plastiques utilisées dans le béton / mortier.....	14
I.4.5.2.Le feillard en plastique	15

I.5. les fibres.....	16
I.5.1. Définition des fibres	16
I.5.2. Différents types de fibres.....	16
I.5.2.1. Fibres naturelles.....	16
I.5.2.2. Fibres synthétiques	17
I.5.2.2.1.Fibres artificielles	17
I.5.2.2.2.Les fibre organique.....	19
I.5.3.Propriétés des fibres.....	19
I.5.3.1.La notion de fibres structurales	19
I.5.3.2.Le facteur d'élancement	20
I.5.3.3.La performance.....	20
I.5.3.4.La valeur de résistance résiduelle	20
I.5.4.Caractéristiques physiques et mécaniques des fibres	20
I.5.5. Critère de choix du type de fibres.....	21
I.5.6.Rôle des fibres	23
I.5.7. Durabilité des bétons ou mortiers de fibres	24
I.5.8.Influence du dosage en fibres	25
I.5.9.Avantage de la technique du renforcement par fibres	27
I.5.10.Utilisation et influence de deux ou plusieurs types de fibres	27
I.5.11.Diverses applications	28
I.6.Conclusion	28
Chapitre II : Généralités sur les mortiers	30
II.1.Historique	30
II.2.Introduction	30
II.3. Définition de mortier	30
II.4. Les constituants des mortiers	30
II.4.1. Liants	30
II.4.2.Types de liants.....	31
II.4.2.1.Ciment	31
II.4.2.Le sable	33
II.4.3.L'eau.....	34
II.4.4.Les adjuvants.....	35
II.5.Les types des mortiers et leurs compositions	35
II.6. Les mortiers fibrés et les bétons de fibres	36
II.7.La méthode de formulation et le domaine d'application.....	36

II.8.Les essais sur les mortiers	37
II.7.1.Comportement physiques	38
II.7.1.1.Ouvrabilité.....	38
II.7.1.2. Prise.....	38
II.7.1.3. Masse volumique.....	38
II.7.1.4.Porosité et compacité	39
II.7.2. Comportement mécanique.....	39
II.7.2.1. Résistance a la compression	39
II.7.2.2. Résistance a la traction	39
II.7.3.Comportement chimique	39
II.7.4.Changements volumétriques au jeune âge	39
II.9. Le rôle du mortier.....	41
II.10. Certains travaux de recherches effectuées sur les bétons fibrés.....	41
II.10.1.Comportement mécanique des mortiers fibrés à des températures élevées	41
II.10.2.Effet des fibres métalliques sur la caractérisation et les variations	43
dimensionnelles et pondérales des matrices cimentaires renforcées de fibres.....	43
II.10.3.Influence de l'introduction de fibres métalliques sur le comportement différé d'une matrice cimentaire.....	44
II.10.4. Valorisation et recyclage des déchets plastiques dans le Béton.....	45
II.10.Conclusion.....	46
CHAPITRE III : Partie expérimentale	47
Partie 1 : Caractéristiques des matériaux utilisés et Formulation	47
III.1.1.Introduction.....	51
III.1.2. Matériaux utilisés	51
III.1.2.1. Le ciment	51
III.1.2.1.1. Essai de prise sur la pâte de ciment à l'état frais	52
III.1.2.2.Eau de gâchage.....	53
III.1.2.3. Sable.....	53
III.1.2.3.1.Analyse granulométrique	53
III.1.2.3.2.Module de finesse	55
III.1.2.3.3. Masse volumique	55
III.1.2.3.4. Equivalent de sable	56
III.1.2.4. Les Fibres.....	58
III.1.2.4.1. Fibres métalliques (déchet Pneumatique)	58
III.1.2.4.2. Fibre plastique (feuillard en polyester)	59

III.1.2.4.3. Les Caractéristiques physiques des fibres plastiques et métalliques	59
III.1.2.5. L'adjuvant	59
III.1.4. Formulation des mortiers	60
III.1.4.1. Dosage et pesée des constituants	60
III.1.4.2. Malaxage de mortier	62
III.1.4.3. Préparation des éprouvettes	62
III.1.4.4. Démoulage des éprouvettes prismatiques	63
III.1.4.5. Conservation des éprouvettes.....	63
III.1.5. La masse volumique des mortiers à l'état frais et durcis	63
Partie 2 : Essais mécaniques et procédures expérimentales et résultats et discussions.....	65
I.2.1. Introduction	66
III.2.2. Essais mécaniques.....	66
III.2.2.1. Résistance à flexion	66
III.2.2.2. Résistance à compression.....	66
III.2.3. Les Résultats	67
III.2.3.1. Résultats des essais en flexion par trois points	67
III.2.3.2. Résultats des essais en compression	70
III.2.3.3. Résultats des corrélations entre les propriétés physiques et mécaniques.....	73
III.2.4. Discussion des résultats	74
Conclusion Générale	78
Recommandations et perspectives	80
Références bibliographiques	82
Annexes.....	86

Abréviations

Chapitre I

DIB :Déchets industriels banals.

DIS :Déchets industriels spéciaux.

DMS : Déchets ménagers spéciaux.

DTQS : Déchets toxiques en quantité dispersé.

OM :Ordures ménagères.

FFOM :Fraction fermentescible des ordures ménagères.

TBM : Traitement Biologique et Mécanique.

VL :Véhicule léger.

PL : Poids lourds.

PVC :Polychlorure de vinyle.

HAP : Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques.

PET :Polyester.

PP : Feuillard polypropylène.

Chapitre II

CaO : Chaux.

SiO₂ : Silice.

Al₂O₃ : Alumine.

Fe₂O₃ : Oxyde de fer.

Na₂O : Oxyde de sodium.

K₂O : Oxyde de potassium.

SO₃ : Oxyde de soufre.

MgO :Magnésie.

C₃S : Silicate tricalcique.

C₂S : Silicate bicalcique.

C₃A : Aluminate tricalcique.

C₄AF : Aluminoferrite tétracalcique.

CH : Portlandite.

C-S-H : Silicate de calcium hydraté.

CPA-CEM I : Ciment Portland artificiel (CPA dans la notation française).

CPJ-CEM II : Ciment Portland composé (CPJ).

CHF-CEM III : Ciment de haut fourneau.

CPZ-CEM IV : Ciment pouzzolanique.

CLC-CEM V :Ciment au laitier et aux cendres (ciment composé).

BSF :Béton sans fibre.

BFI50 :Béton avec fibres industrielles.

BSP50 :Béton avec 50% sous-produit.

BSP25 :Béton avec 25% sous-produit.

BDP :Bétons des déchets plastiques.

BT :Béton témoin.

Chapitre III

FP :La fibre plastique.

FM :La fibre métallique.

MT : Mortier normal sans fibre (Témoin).

M+P 1%.: Mortier fibré avec 1% fibre plastique.

M+P 1,5%: Mortier fibré avec 1,5% fibre plastique.

M+M 1%: Mortier fibré avec 1% fibre métallique.

M+M 1,5%: Mortier fibré avec 1,5% fibre métallique.

M+mél 1%: Mortier fibré avec 0,5% fibre plastique et 0,5% fibre métallique.

M+mél 1,5% : Mortier fibré avec 0,75% fibre plastique et 0,75% fibre métallique.

Symboles

Symboles	Désignations	Unités
E/C	Rapport eau sur ciment	-
P	Masse volumique	(g/cm³)
R_f	Résistance à la flexion	(Mpa)
R_c	Résistance à la compression	(Mpa)
F_f	Charge de rupture de l'éprouvette en flexion	(N)
F_c	Charge à la rupture en Compression	(N)
L	Longueur totale de l'éprouvette	(mm)
B	Largeur de la section carrée du prisme	(mm)
M_f	Module de finesse	-
M_v	Masse volumique	(g/cm³)
M_s	Masse des grains solides	(g)
E_s	Equivalent de sable	%
E_{sp}	Equivalent de sable au piston.	%
F_{c28}	Résistance à la compression du béton à 28 jours	(Mpa)
F_{t28}	Résistance à la traction du béton à 28 jours	(Mpa)

Liste des figures

Chapitre I

Figure I. 1 :Les déchets inertes.....	7
Figure I. 2 : Stratégies de traitement des déchets [5].	8
Figure I. 3:Coupe de pneumatique.	11
Figure I. 4:des fibres plastiques utilisées dans le béton / mortier [12].	14
Figure I. 5: microfibrés synthétiques.....	17
Figure I. 6:fibre de verre.....	18
Figure I. 7 :fibres métalliques.....	18
Figure I. 8:fibre de carbone.	19
Figure I. 9:fibre polypropylène.	19
Figure I. 10:Différentes formes géométriques de fibres métalliques [21].....	22
Figure I. 11: Illustration de l'apport du renfort par des fibres [22].....	23
Figure I. 12: Principe de couturassions d'une fissure [23].....	24
Figure I. 13: Différents facteurs influant sur le comportement mécanique d'un béton renforcé de fibre [22].	24
Figure I. 14:Processus de couture: a) Influence des fibres courtes dans le processus de couture des microfissures, b) Influence des fibres longues dans le processus de couture des macro fissures [22].	28

Chapitre II

Figure II. 1: les étapes de fabrication de ciment [31].	31
Figure II. 2: application des mortiers [41].	37
Figure II. 3: Table à secousses.	38
Figure II. 4: a) moule des prismes (4×4×16) cm ³ ; b) plots.	40
Figure II. 5: Gonflement au jeune âge d'un échantillon de béton mûri dans l'eau.	41
Figure II. 6: Evolution de la résistance en compression des mortiers en fonction de la température 42	42
Figure II. 7: Pertes de la résistance en compression sur la résistance initiale.	42
Figure II. 8: Evolution de la résistance en traction par flexion 4 points des mortiers chauffés..... 43	43
Figure II. 9: a) Influence de la nature des fibres le retrait sur le retrait (1 % et 2 %) mode ambiant. b) Influence de % sur fibre industrielles. c)Influence du % sur le retrait avec (fibres copeaux) Mode ambiant.	43
Figure II. 10:a) Histogramme de Résistances à la traction. b) histogramme de charges de rupture à la compression.....	44
Figure II. 11: Temps d'écoulement des bétons types BFP et BDGP [56].	45
Figure II. 12:Résistance a la traction des bétons types BDGP et BFP [54].	46

Chapitre III

Partie 1

Figure III. 1: Début et de fin de prise.	53
Figure III. 2: Tamiseuse et tamis de laboratoire.....	54
Figure III. 3: la courbe granulométrique de sable.	55
Figure III. 4: Dispositif de l'essai d'équivalent de sable.	58
Figure III. 5: Les étapes de l'essai d'équivalent de sable.	58
Figure III. 6: Déchets métalliques des pneumatiques.....	58
Figure III. 7: Déchets Feuillard en polyester.....	59
Figure III. 8: Adjuvant SIKA VISCOCRETE 655.....	60

Figure III. 9: Les quantités des constituants des mortiers.	61
Figure III. 10: Malaxage des mortiers étudiés.....	62
Figure III. 11: les étapes de remplissage de l'éprouvette.	63
Figure III. 12: Les éprouvettes des tous les mélanges.....	63
Figure III. 13: Histogramme des résultats des masses volumiques des différentes variantes.	64
Figure III. 14: Dispositif d'essai de flexion trois points.....	66
Figure III. 15: éprouvette après l'écrasement.....	66
Figure III. 16: Dispositif d'essai en compression.....	67
Figure III. 17: éprouvette après l'écrasement.....	67
Figure III. 18: Ordinateur de laboratoire GC.....	67
Figure III. 19:Histogramme des résultats des essais de flexion sur les mortiers.....	68
Figure III. 20: Histogramme des résultats des essais de flexion sur les mortiers.....	68
Figure III. 21:Histogramme des résultats des essais de flexion sur les mortiers.....	69
Figure III. 22: Histogramme des résultats des essais en flexion de tous les mélanges.....	70
Figure III. 23: Histogramme des résultats des essais de compression sur les mortiers.	70
Figure III. 24:Histogramme des résultats des essais de compression sur les mortiers.....	71
Figure III. 25:Histogramme des résultats des essais de compression sur les mortiers.	72
Figure III. 26: Résultats des essais de compression sur les variantes.....	72
Figure III. 27: Corrélacion entre les masses volumiques et les résistances à la flexion.	73
Figure III. 28: Corrélacion entre les masses volumiques et les résistances à la compression.....	73
Figure III. 29: Corrélacion entre les résistances à flexion et les résistances en compression.	74

Liste des Tableaux

Chapitre I

Tableau I. 1:composition moyenne d'un pneu VL en Europe [6].	12
Tableau I. 2:caractéristiques physiques d'un pneu [6].	12
Tableau I. 3:Facteur d'élancement 20	20
Tableau I. 4: Principales caractéristiques physicomécaniques des fibres les plus utilisées [17].....	21
Tableau I. 5:Domaine d'application privilégiée par type de fibres [20].	28

Chapitre II

TableauII. 1: Quantité des composants de ciment [31].	32
Tableau II. 2: Les anhydres et les hydrates de ciment [34].	32
Tableau II. 3: Classes de résistance du ciment [36].	33

Chapitre III

Partie 1

Tableau III. 1: Les caractéristiques physicomécaniques du ciment.	51
Tableau III. 2: Composition chimique ciment CPJ-CEMII / A42, 5N.....	52
Tableau III. 3: Temps de début et de fin de prise.....	53
Tableau III. 4: Analyse granulométrique de sable.....	55
Tableau III. 5: Résultats d'équivalent de sable.	57
Tableau III. 6: Les valeurs d'équivalent de sable indiquant la nature et qualité du sable.	57
Tableau III. 7: caractéristique physique du sable.	58
Tableau III. 8: Les Caractéristiques physiques des fibres plastiques et métalliques.	59
Tableau III. 9: Dosage et pesée des constituants.....	61
Tableau III. 10: Résultat des masses volumiques des variantes étudiées.....	63

Tableau III. 11: Résistance à la flexion des mortiers fibrée avec de fibre plastique.	68
Tableau III. 12: les résultats de flexion des mortiers fibrée avec de fibre métallique.	68
Tableau III. 13: Résistance à la flexion des mortiers fibrée avec de fibres mélangées.	69
Tableau III. 14: Les résultats des essais en flexion des variantes étudiées.....	69
Tableau III. 15: les résultats de compression des mortiers fibrée avec de fibre métallique.	70
Tableau III. 16: les résultats de compression des mortiers fibrée avec de fibre métallique.	71
Tableau III. 17: les résultats de compression des mortiers fibrée avec de fibre mélange.	71
Tableau III. 18: Les résultats de compression des variantes étudiées.	72

Résumé

L'ajout d'un déchet comme fibres dans les matériaux de construction, particulièrement les mortiers et les bétons est une technique de plus en plus utilisée, pour plusieurs objectifs tels que les aspects écologiques, économiques, et techniques permettant d'améliorer certaines propriétés à l'état frais et durci.

Les propriétés mécaniques du béton de fibres dépendent de plusieurs facteurs qui sont les conditions de mise en œuvre, le dosage, l'espacement, l'orientation et la distribution des fibres dans la matrice.

Dans notre travail nous avons étudié l'effet d'ajout des fibres métalliques (fibres récupérées à partir du déchet pneumatique issues de l'entreprise de recyclage des pneus qui est sise au niveau de la commune de EL-HACHIMEIA –WILA DE BOUIRA) et les fibres plastique (déchet plastique type polyester PET haut résistant [feuillard en plastique]).

L'objectif de notre travail est de faire une étude comparative sur des mortiers à base de deux types de fibres telles que : la fibre plastique, et la fibre métallique dont les pourcentages varient de 1% et 1,5% pour chaque fibre ayant la même longueur et largeur, sur le comportement mécanique (flexion et compression) du mortier fibrée les comparants à un mortier témoin.

Les résultats des essais mécaniques, montrent une amélioration des résistances mécaniques en flexion et en compression, en fonction des taux d'introduction et de l'âge.

Mots clés : fibres métalliques, fibres plastiques, mortiers fibrés, résistance à la flexion, résistance à la compression.

Abstract

The addition of waste as fibers in building materials, particularly mortars and concrete, is an increasingly used technique for several objectives such as the ecological, economic and technical allowing to improve certain properties in the state fresh and hardened.

The mechanical properties of fiber concrete depend on several factors that are the conditions of implementation, dosage, spacing, orientation and distribution of the fibers in the matrix.

In our work we have studied the effect of adding metal fibers (fibers recovered from the waste pneumatic from the recycling company located in the municipality of El Hachimia in Bouira)

And plastic fibers (plastic waste types PET polyester high resistant [plastic stepping]).

The objective of our work is to make a comparative study on mortars based on two types of fibers such as: plastic fiber and metal fiber whose percentages vary from 1% and 1,5% for each fiber having the same length and width on the mechanical behavior (flexion and compression) of the fiber-reinforced mortar compared to a control mortar.

The results of the mechanical tests show an improvement of the resistors in flexion and compulsion according to the introduction rate and the age.

Key words

Metal fibers, plastic fibers, fiber-reinforced mortar, the resistors in flexion, the resistors in compression .

ملخص

إضافة النفايات كألياف في مواد البناء خاصة الملاط و الخرسانة تقنية كثيرة الاستعمال من اجل عدة أهداف بيئية اقتصادية و تقنية من اجل تحسين بعض الخصائص في الحالة الجديدة و الحالة الصلبة .
هذه الخصائص الميكانيكية للخرسانة الليفية تتأثر بعدة عوامل منها عامل التنفيذ, التركيز, أبعاد التوجيه و توزيع الألياف داخل المصفوفة.

في عملنا هذا قمنا بدراسة تأثير إضافة الألياف المعدنية (ألياف تمت استعادتها عن طريق نفايات العجلات للمؤسسة تحويل العجلات التي تقع في بلدية الهاشمية – ولاية البويرة.) و كذلك الألياف البلاستيكية (نفايات بلاستيكية نوع البوليستر ذات مقاومة عالية).

الهدف من هذا العمل القيام بدراسة مقارنة بين الملاط ذات أساس نوعين من الألياف, مثل الألياف البلاستيكية و المعدنية ذات نسب مؤية تختلف من 1 إلى 1,5 لكل ليف لهم نفس طول و العرض على سلوك (انتشاء و الضغط) للملاط ليفي و مقارنته مع الملاط العادي .

تبين نتائج اختبارات ميكانيكية تحسن المقاومة الميكانيكية للانحناء و الضغط, وفقا للمعدل التمهيدي و العمر.
الكلمات المفتاحية.

ليف معدني , ليف بلاستيكي , ملاط ليفي , مقاومة الانحناء , مقاومة الضغط

Introduction Générale

Introduction Générale

Le béton est actuellement l'un des matériaux de construction les plus utilisés à travers le monde grâce à la simplicité de sa fabrication et de sa mise en place. Depuis sa découverte, ce matériau n'avait que peu évolué mais, ces dernières années, d'importantes avancées ont été réalisées en améliorant certaines caractéristiques existantes.

Devant les besoins sans cesse croissant des ressources en matériaux et aux exigences liées aux à la protection de l'environnement dans une vision de développement durable, il est devenu nécessaire et pertinent de prospecter et étudier toutes les possibilités et opportunités de réutilisation par la valorisation des déchets et sous-produits industriels notamment dans le domaine des matériaux de construction.

La recherche et l'expérience acquises ont permis l'introduction des fibres dans les matériaux de construction, et qui rend la possibilité de produire des éléments minces, plus légers, résistants et moins sujets à la fissuration par la simple addition d'une quantité de fibres. L'incorporation des fibres métalliques et plastiques dans le béton ou mortier a une influence directe sur sa maniabilité qui se traduit par une mise en œuvre particulière.

Aujourd'hui, le respect l'environnement et la sauvegarde des ressources naturelles obligent les autorités, à encourager sérieusement la valorisation de ses déchets et l'utilisation de matériaux recyclés, en particulier dans le bâtiment.

Notre travail est divisé en deux parties

Après une introduction générale,

La première partie, consacrée à l'étude bibliographique qui est devisée en deux chapitres

- ✓ Le premier chapitre, s'intitule généralités sur les déchets ainsi que les possibles valorisations des déchets dans la construction, les fibres et leurs utilisations dans la construction.
- ✓ Le deuxième chapitre, nous présentons les généralités sur les mortiers et leurs constituants et classifications, ainsi que le domaine d'utilisation.

La deuxième partie est consacré pour l'étude expérimentale, elle est divisée en deux partie : La premier s'intéresse à l'étude des caractéristiques des matériaux utilisés et la formulation des variantes étudiées, la deuxième partie est consacrée à la présentation des méthodes expérimentales des essais physicomécaniques réaliser dans la partie pratique, notamment les essais mécaniques (flexion, compression) des mortiers contenant des fibres métalliques (déchets pneumatiques) et les fibres plastiques (feuillard en plastique), qui ont été utilisés pour pouvoir analyser le comportement de ce matériau, dont l'objectif final est d'établir le

Introduction Générale

bilan de l'influence des fibres sur son comportement et à la fin nous présentons la discussion des résultats obtenus .

Enfin nous présentons, nous terminons par une conclusion et nous présentons des recommandations.

Chapitre I : Généralités sur les déchets et les fibres

I.1. Introduction

Le choix du renfort est très important. Il doit avoir de bonnes propriétés intrinsèques de résistance (module d'élasticité, géométrie, etc.), être compatible avec la matrice cimentaire et doit aussi avoir un coût acceptable. Les fibres métalliques, qui proviennent d'une source renouvelable, sont une voie de recherche intéressante.

Le béton ou le mortier renforcé de fibre métallique répond au souci de plus en plus important des pays développés pour la préservation de l'environnement, la valorisation des déchets, l'isolation thermique- acoustique et le coût.

I.2. Les déchets

I.2.1. Définition d'un déchet

Tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériaux, produit ou plus généralement tout bien meuble abandonné ou que son détenteur destine à l'abandon [1].

I.2.2. Classifications des déchets

I.2.2.1. Les déchets ménagers

Les déchets ménagers comprennent :

- les ordures ménagères représentant plus de la moitié de ces déchets,
- Les déchets encombrants ou volumineux,
- Les déchets verts issus de l'entretien des jardins et des espaces publics,
- Les déchets ménagers spéciaux (DMS) provenant par exemple de l'entretien automobile (huile de vidange, liquide de refroidissement...) ou encore des activités de bricolage (pots de peinture, produits souillés...) [2].

I.2.2.2. Les Déchets Industriels Banals (DIB)

Ce sont des déchets produits par les entreprises (commerces, artisanat, services, industries) et par les établissements collectifs (éducatifs, hospitaliers, pénitentiaires...) qui ne présentent pas de caractère dangereux. Leur manutention et leur stockage ne nécessitent pas de précautions particulières au regard de la protection de l'environnement et des travailleurs. Cependant une fraction est valorisable et peut donc nécessiter des précautions de stockage telles qu'un stockage séparé ou à l'abri de la lumière. Les DIB sont des déchets assimilables aux ordures ménagères constitués de verres, plastiques, métaux, bois, papiers, cartons, textiles... [2].

I.2.2.3. Les déchets dangereux

Encore communément appelés Déchets Industriels Spéciaux (DIS), ils correspondent à des déchets nocifs, toxiques, corrosifs, inflammables [2].

Chapitre I : Généralités sur les déchets et les fibres

I.2.2.4. Les Déchets Toxiques en Quantité Dispersée (DTQD)

Ils sont de même nature que les déchets dangereux, mais ils ont la particularité d'être produits en faible quantité et répartis de façon non homogène sur le territoire. Ils proviennent essentiellement de l'activité des artisans et des petites entreprises [2].

I.2.2.5. Les déchets inertes

Ils correspondent à des déchets qui ne se décomposent pas, ne brûlent pas et ne produisent aucune réaction physique ou chimique. Ils ne sont pas biodégradables et ne détériorent pas d'autres matières, avec lesquelles ils entrent en contact, d'une manière susceptible d'entraîner une pollution de l'environnement ou de nuire à la santé humaine. Ils correspondent à des déchets minéraux non pollués (tuiles, céramiques, briques, bétons...). Il peut également s'agir de déchets industriels comme certains laitiers de hauts-fourneaux ou encore des scories[2].



Figure I. 1 : Les déchets inertes.

I.2.2.6. Les déchets ultimes

Déchet résultant ou non du traitement d'un déchet, qui n'est pas susceptible d'être traité dans les conditions techniques et économiques du moment, notamment par extraction de la part valorisable ou par réduction de son caractère polluant ou dangereux [2].

I.2.2.7. Cas particulier (les déchets d'emballage)

Les emballages appartiennent à la fois aux déchets ménagers et aux déchets industriels ; de plus, ils peuvent être considérés comme dangereux s'ils sont souillés par des matières présentant des caractéristiques dangereuses [2].

I.2.3. Origine de la production des déchets

La production des déchets est inéluctable pour les raisons suivantes :

- Biologiques: tout cycle de vie produit des métabolites ;
- Chimiques: toute réaction chimique est régie par le principe de la conservation de la matière ;
- Technologiques: tout procédé industriel conduit à la production de déchet ;
- Économiques: les produits ont une durée de vie limitée ;
- Écologiques: les activités de la dépollution (eau, air) génèrent inévitablement d'autres déchets qui nécessiteront une gestion spécifique ;
- Accidentelles: l'inévitable dysfonctionnement des systèmes de production et de consommation sont eux aussi à l'origine de déchets [3].

Chapitre I : Généralités sur les déchets et les fibres

I.2.4. Constitution chimique des déchets

Les déchets sont pour la plupart constitués des mêmes molécules chimiques que celles des produits. Ce qui différencie les déchets des autres produits provenant d'un certain nombre de particularités. Certains déchets résultent du traitement involontaire de molécules usuelles avec production de sous-produits de composition, a priori inconnu. Par ailleurs, le déchet peut se retrouver dans un milieu dont il n'est pas issu en tant que produit et de ce fait auquel il n'est pas destiné. Enfin, le mélange au hasard des déchets peut conduire à la formation de produits nouveaux [3].

I.2.5. Définition de recyclage

Le recyclage est un procédé de traitement des déchets industriels et des déchets ménagers qui permet de réintroduire, dans le cycle de production d'un produit, des matériaux qui le composent.

Le recyclage a deux conséquences écologiques majeures : la réduction du volume de déchets et la préservation des ressources naturelles. Certains procédés sont simples et bon marché mais, à l'inverse, d'autres sont complexes, coûteux et peu rentables. Dans ce domaine, les objectifs de l'écologie et ceux des consommateurs se rejoignent mais parfois divergent ; c'est alors le législateur qui intervient. Ainsi, en particulier depuis les années 70, le recyclage est une activité importante de l'économie et des conditions de vie des pays développés. Le recyclage s'inscrit dans la stratégie de traitement des déchets dite des trois R :

- réduire, qui regroupe tout ce qui concerne la réduction de la production de déchets ;
- réutilisé, qui regroupe les procédés permettant de donner à un produit usagé un nouvel usage ;
- Le recyclage apporte une contribution importante à la baisse des quantités de déchets à éliminer par enfouissement et par incinération, mais il n'est pas suffisant pour contrer l'augmentation de la production des déchets ou y suffit à peine [4].

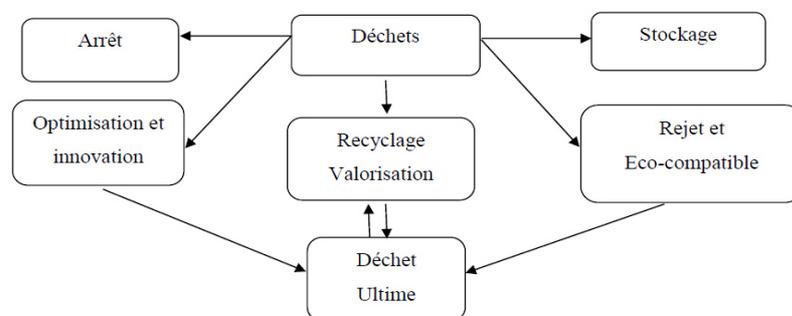


Figure I. 2 : Stratégies de traitement des déchets [5].

Chapitre I : Généralités sur les déchets et les fibres

Leur mise en œuvre concrète passe par un certain nombre de filières techniques, elles articulent autour des objectifs généraux suivants :

- ❖ Valorisation énergétique ;
- ❖ Valorisation en matière première organique et minérale ;
- ❖ Valorisation en science des matériaux ;
- ❖ Valorisation en agriculture ;
- ❖ Valorisation en technique de l'environnement ;
- ❖ Technique dite d'élimination [4].

I.2.6. Valorisation des déchets

I.2.6.1. L'intérêt de la valorisation

Pour porter de plus en plus à la valorisation des déchets et des sous produits industriels est lié à la fois à la crise de l'énergie, à la diminution des ressources mondiales en matières premières et enfin la législation qui devient très sévère concernant la protection de la nature et l'environnement.

Les arguments peuvent être résumés en :

- ❖ Augmentation de la production ;
- ❖ Le coût de stockage ou de traitement est de plus en plus élevé ;
- ❖ Une législation de plus en plus sévère ;
- ❖ Une meilleure gestion de la recherche.

I.2.6.2. Gestion des déchets

La gestion des déchets est la collecte, le transport, le traitement (le traitement de rebut), la réutilisation ou l'élimination des déchets, habituellement ceux produits par l'activité humaine, afin de réduire leurs effets sur la santé humaine, l'environnement, l'esthétique ou l'agrément local. L'accent a été mis, ces dernières décennies, sur la réduction de l'effet des déchets sur la nature et l'environnement et sur leur valorisation [3].

I.2.6.3. Technique de gestion des déchets

a. Décharge

Stocker les déchets dans une décharge est la méthode la plus traditionnelle de stockage des déchets, Historiquement, les décharges étaient souvent établies dans des carrières, des mines ou des trous d'excavation désaffectés.

b. Incinération

L'incinération est le processus de destruction d'un matériau en le brûlant.

Elle est connue pour être une méthode pratique pour se débarrasser des déchets contaminés

c. Compost et fermentation

Chapitre I : Généralités sur les déchets et les fibres

Les déchets organiques, comme les végétaux, les restes alimentaires, ou le papier, sont de plus en plus recyclés. Ces déchets sont déposés dans un composteur ou un digesteur pour contrôler le processus biologique de décomposition des matières organiques et tuer les agents pathogènes.

d. Traitement Biologique et Mécanique

Le Traitement Biologique et Mécanique (TBM) est une technique qui combine un tri mécanique et un traitement biologique de la partie organique des déchets municipaux.

La partie « mécanique » est souvent une étape de tri du vrac. Cela permet de retirer les éléments recyclables du flux de déchets (tels les métaux, plastiques et verre) ou de les traiter de manière à produire un carburant à haute valeur calorifique nommé combustible dérivé des déchets qui peut être utilisé dans les fours des cimenteries ou les centrales électriques.

La partie « biologique » réfère quant à elle à une fermentation anaérobique ou au compostage [3].

I.2.7. Impacts du recyclage sur l'environnement

Les bénéfices économiques et environnementaux du recyclage sont considérables : il permet de protéger les ressources, de réduire les déchets, de créer des emplois, de protéger la nature et d'économiser les matières premières. Le recyclage permet de réduire l'extraction de matières premières :

- l'acier recyclé permet d'économiser du minerai de fer ;
- chaque tonne de plastique recyclé permet d'économiser 700 kg de pétrole brut ;
- le recyclage de 1 kg d'aluminium peut économiser environ 8 kg de bauxite, 4 kg de produits chimiques et 14 kWh d'électricité (É) ;
- l'aluminium est recyclable à 100% ; 1 kg d'alu donne 1 kg d'aluminium (après avoir été fondu) ;
- chaque tonne de carton recyclé fait économiser 2,5 tonnes de bois ;
- chaque feuille de papier recyclé fait économiser 11 l d'eau et 2,5 kWh d'électricité (É) en plus de 15 g de bois [4].

I.3. Les déchets pneumatiques

I.3.1. Introduction

Un pneu de voiture ou d'engin est composé principalement d'un mélange de caoutchouc, de noir de carbone, d'aciers et de textile divers. Les pneus usés ne sont pas catégorisés comme déchets toxique ou dangereux, mais en cas d'incendie un dépôt de pneus présente un danger pour la santé et l'environnement. Mis en décharge, les pneus provoquent une instabilité du sol de la décharge, se dégradant très lentement et créant des lieux propices à la nidification des moustiques et des rats. De plus, cela constitue un énorme gaspillage vu qu'un pneu à un

Chapitre I : Généralités sur les déchets et les fibres

pouvoir calorifique élevé. Une directive européenne interdit la mise en décharge de pneus entiers à partir de 2003 [6].

I.3.2. La composition de pneu

a. La carcasse

Elle constitue le squelette du pneu, l'ossature du pneu est composée de couches de câble de différents types (nylon, acier, rayonne, polyester, aramide ...).

b. Le talon

Est l'élément rigide de la liaison entre la jante et le pneu. Il est composé d'une tringle de câble d'acier à haute adhérence.

c. La bande de roulement

Elle est composée d'un mélange de caoutchouc devant résister aux chocs, aux coupures, aux échauffements, à l'abrasion...

d. Le flanc

Il est constitué de plusieurs types de caoutchoucs; son rôle est double : il doit, dans sa partie supérieure protéger la carcasse contre les échauffements et l'abrasion, et dans sa partie inférieure (plus épaisse) protéger la carcasse des contacts avec le rebord de la jante [8].

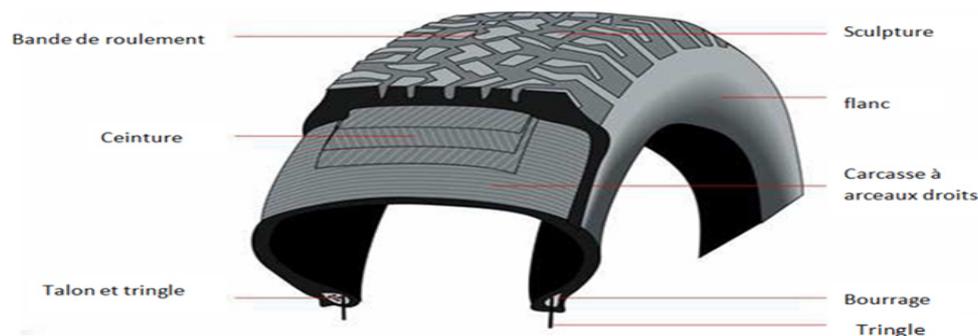


Figure I. 3: Coupe de pneumatique.

I.3.3. Caractéristiques physiques des pneus

Sur le plan chimique, un pneu est un mélange à base de caoutchouc synthétique ou naturel, dans lequel sont ajoutées des éléments améliorant les qualités de résistance et de sécurité, tels les plastifiants, les charges renforçant (noir de carbone), et les agents vulcanisant (dont le soufre).

D'autres composés chimiques sont ajoutés pour rendre plus performante la délicate opération de vulcanisation (accélérateur ultra accélérateur, activateurs, oxyde de zinc odorants) [7].

Le (tableau I.1), donne la composition moyenne d'un pneu pour véhicule léger (VL) :

Tableau I. 1:composition moyenne d'un pneu VL en Europe [6].

Matériaux /éléments	Pourcentage massique
Caoutchoucs	48%
Noir de carbone	22%
Acier	15%
Textile	5%
Oxyde de zinc	1%
Soufre	1%
Additif	8%

Le (tableau I.2), présente aussi d'autres caractéristiques des pneus telles que :

Tableau I. 2:caractéristiques physiques d'un pneu [6].

Caractéristiques	Tourisme (VL)	Poids lourds (PL)
Poids moyen	7Kg	50Kg
Densité moyenne	0,2 entier	0,4 décheté
Nombre de pneu /m ³	20	3
Présence de métal	15%	25%

❖ **Remarque**

Le pourcentage de la présence de métal est par rapport au poids total

I.3.4.Valorisation et domaine d'application des pneumatiques

Les problèmes engendrés par la dispersion de déchets de pneus rendent difficiles leur collecte et leur valorisation. Ces déchets constituent alors une menace de nuisance pour notre environnement : dépôts sauvages, émission de fumées toxiques dues au brûlage; la mise en décharge constitue un gaspillage de matière et d'énergie.

Cependant les pneus usagés peuvent suivre différentes filières de valorisation [8] :

a. Le réemploi

Rechapage, revente d'occasion, réutilisation en ensilage par les agriculteurs.

b. La valorisation énergétique

Le caoutchouc à un pouvoir calorifique élevé. Les déchets de pneus peuvent donc servir de combustible de qualité dans les cimenteries et chaudières industrielles [8].

c. La valorisation en matière

Broyage en poudrette pour une utilisation en revêtement de sol [8].

d. La valorisation en travaux publics

Le broyage de pneus utilisés comme : remblais, confortement de digue et le recyclage sous forme de déchetés, granulats dans les applications du type enrobés, etc.

Utilisation de granulats en caoutchouc issus de broyage de pneus usagés, en substitution volumique des granulats naturels dans la confection du béton [9].

e. les fibres métalliques

Peuvent être utilisées comme renfort, c'est l'objectif de notre étude.

I.4.les déchets plastiques

I.4.1.Avantages de valorisation du plastique

- Conservation des énergies fossiles non-renouvelables, la production en plastique utilise 8% de la production mondiale du pétrole dont 4% comme matière première et 4% au cours de la fabrication ;
- Réduction de la consommation énergétique ;
- Réduction des déchets solides mis en décharges ;
- Réduction des émissions du dioxyde de carbone (CO₂), l'oxyde d'azote (NO) et du dioxyde de soufre(SO₂) [10].

I.4.2.Utilisation de déchets plastiques recyclés

Les applications et l'utilisation des plastiques sont étendues. Certains articles en plastique tels que les emballages alimentaires deviennent des déchets juste après leurs achats. D'autres articles en plastique peuvent être réutilisés plusieurs fois. La Réutilisation des plastiques est préférable au recyclage car elle consomme des quantités moindres d'énergie et des ressources. Aux États-Unis, 80% des déchets plastiques post-consommation sont envoyés à la décharge, 8% sont incinérés et seulement 7% sont recyclés [11].

I.4.3.Avantages et inconvénients des matières plastiques

a. Avantages des matières plastiques

La croissance de l'utilisation du plastique est due à ses propriétés bénéfiques, qui comprennent sa polyvalence extrême et sa capacité d'adaptation pour répondre aux besoins techniques spécifiques, caractériser par un poids plus léger que les matériaux concurrents réduisant ainsi la consommation de carburant pendant le transport, notamment il assure une bonne sécurité et d'hygiène pour les emballages alimentaire avec une longévité et durabilité élevé, connu aussi par sa résistance aux produits chimiques, à l'eau et à l'impact des chocs, et une excellentes propriété d'isolation thermique et électrique. Sa capacité de combiner avec d'autres matériaux comme l'aluminium, du papier, adhésifs a fait du plastique un matériau de choix pour l'utilisation, notamment avec son faible coût de production.

b. Inconvénients des plastiques

La production du plastique comprend également l'utilisation des produits chimiques potentiellement nocifs, qui sont ajoutés comme stabilisateurs ou colorants. Beaucoup d'entre eux n'ont pas subi une évaluation des risques environnementaux et leur impact sur la santé humaine et l'environnement, sont actuellement incertain, à titre d'exemple les phtalates, qui sont employés dans la fabrication de PVC.

L'élimination des produits plastiques contribue également de manière significative sur leur l'impact environnemental, Parce que la plupart des plastiques prennent beaucoup de temps

Chapitre I : Généralités sur les déchets et les fibres

pour se décomposer, probablement pouvant aller jusqu'à des centaines d'années, bien que personne ne sache avec certitude que les plastiques ne durent pas longtemps quand ils sont mis en décharge[11].

I.4.4. Trois grandes méthodes de valorisation du plastique

a. La valorisation énergétique

Consiste à incinérer les déchets plastiques pour récupérer l'énergie qu'ils contiennent sous forme de chaleur. Les plastiques, composés de pétrole raffiné, ont une capacité calorifique proche de celui-ci. Cette méthode de valorisation permet de recycler une grande partie des déchets plastiques. En revanche si elle est mal maîtrisée elle peut présenter des risques majeurs pour l'environnement et la santé des êtres vivants par l'émission de dioxines et de HAP, molécules cancérigènes présentes dans les fumées.

b. La valorisation matière, ou valorisation mécanique

Consiste à réutiliser les déchets plastiques avec un minimum de transformation de la matière. Cette technique est utilisée pour le traitement des déchets thermoplastiques. Elle repose avant tout sur une collecte sélective ou un tri des déchets plastiques à partir des ordures ménagères. Il est très souvent nécessaire d'avoir des déchets plastiques triés par type de résine plastique. Plus le tri est efficace, plus le produit en sortie de valorisation matière est de bonne qualité. Les expériences que nous présentons ci-après sont des modes de valorisation matière.

c. La valorisation chimique

Consiste à transformer la matière plastique en molécule de base (polymère, ester...), pouvant servir à la synthèse d'une nouvelle matière plastique, ou pour la pétrochimie. Ces technologies sont encore peu développées ou limitées à certaines natures de résines plastiques. On ne les utilise que dans les pays du Nord et les pays émergents [11].

I.4.5. les fibres plastiques

Peuvent être utilisées comme renfort, c'est l'objectif de notre étude.

I.4.5.1. Type des fibres plastiques utilisées dans le béton / mortier

La (figure I.4) montre différents types de fibres plastiques utilisées dans le béton ou mortier

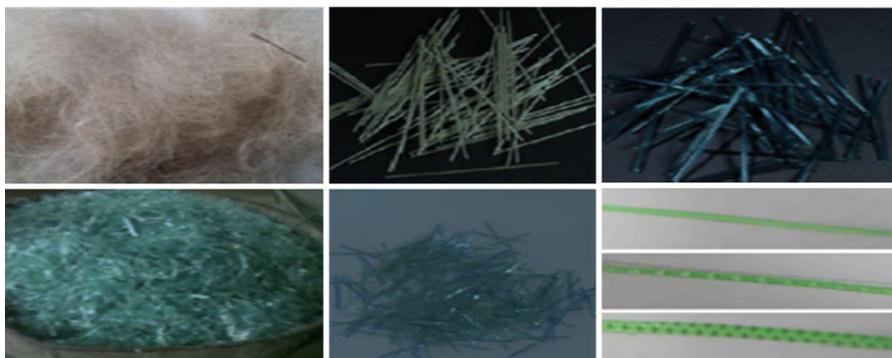


Figure I. 4: des fibres plastiques utilisées dans le béton / mortier [12].

I.4.5.2. Le feillard en plastique

Le feillard en plastique comprend deux types de feillards différents :

a. Le feillard polypropylène PP

Très économique, le feillard en polypropylène (PP) est à privilégier pour le cerclage de colis ou de palettes relativement légers (350 kg maximum). Son principal atout est d'être souple et donc facile à utiliser. Il est également très résistant à la rouille et aux variations de Température . Il peut servir à sécuriser des produits fragiles ou à empêcher le vol de produits de valeur ou bien servir au stockage de marchandises mais seulement pour une courte durée.

Il peut le dérouler manuellement ou bien à l'aide d'un tendeur électrique ou d'une autre machine. Le feillard de cerclage PP est un feillard synthétique pour des applications manuelles et automatiques. Ce feillard PP bon marché et sûr est utilisé pour le cerclage de boîtes en carton, colis et charges moyennes de palettes. Souple, léger et maniable : s'adapte à toutes les formes d'emballages sans les détériorer. La résistance à la rupture est déterminée par la largeur et l'épaisseur de la bande [12].

b. Le feillard polyester PET

Le feillard en polyester (PET) est parfait pour le cerclage de charges relativement lourdes (jusqu'à 550 kg ou 1000 kg selon les modèles) ou compressibles comme le bois, le carton (mis à plat) et les matériaux de construction. Grâce à sa très grande résistance et à sa souplesse, il protège efficacement les marchandises emballées face aux chocs rencontrés sur la route. De plus, ce feillard polyester permet une manipulation facile et sûre. Il résiste à l'humidité, aux UV et à une température maximale de 80°C. Il ne rouille pas et ne se déforme pas. Il peut également servir au stockage de longue durée des marchandises. Enfin, il peut être appliqué sur la charge à cercler manuellement ou à l'aide d'une machine pneumatique ou d'un tendeur électrique [12].

c. Feillards étroits en Polypropylène PP

- Pour colis légers pesant jusqu'à 30 kg ;
- Pour paquets, colis en vrac ainsi que pour journaux et magazines ;
- Assurent la sécurité contre le vol pour les produits de valeur ;
- Sécurisent le transport des produits délicats ;
- Pour un cerclage manuel ou à la machine ;
- Supportent des écarts de températures allant de -18°C bis +50°C ;
- La solution industrielle universelle pour la logistique et la sécurité du transport [12] .

d. Feillards haute résistance en Polyester PET

Chapitre I : Généralités sur les déchets et les fibres

- Pour la sécurité du transport des marchandises sur palettes de tout type ;
- Grâce à leur résistance aux UV, peut s'employer pour les produits stockés en plein air ;
- Supportons-les :
 - Contraintes liées ;
 - Contraintes liées au maniement et au transport, comme secousses etc ;
 - Influences climatiques comme l'humidité ou les écarts de températures allant de -30°C à $+80^{\circ}\text{C}$ (rétractation ou dilatation des colis) ;
- Pour un cerclage manuel ou à la machine ;
- L'alternative qui l'emporte sur les feuillards en acier :
 - Économie de coûts ;
 - Colis moins endommagés (surface, arêtes) ;
 - Réduction du danger de se blesser en coupant le feuillard [12].

I.5. les fibres

L'utilisation des fibres dans la construction remonte à plusieurs siècles, l'intérêt pour leur utilisation ne cesse de se croître pour la fabrication du béton prêt à l'emploi les fibres peuvent exister sous différents types et formes.

I.5.1. Définition des fibres

Le terme Fibre se rapporte à un corps solide flexible, de forme sensiblement cylindrique, d'un diamètre de quelque centimètre dont la longueur égale à quelques milliers de fois ce diamètre. Ce terme est généralement aussi utilisé pour définir le constituant élémentaire des structures textiles. Par ailleurs, on distingue la fibre de longueur réduite ou fibre courte, de 20 à 150 mm, de la fibre de grande longueur ou filament continu.

Dans le rapport sur l'état de l'art publié par le comité 544, de L'American Concrete Institute en 1982 nous pouvons lire : "**Les fibres sont produites à partir d'acier, de plastique, de verre et de matériaux naturels sous différentes formes et dimensions**" [13].

I.5.2. Différents types de fibres

Les fibres sont ajoutées aux matériaux cimentaires afin d'améliorer leurs caractéristiques à l'état durci. Les fibres sont classées selon leur origine (naturelle, synthétique artificielle ou organique), leur forme (droite, ondulée, aiguille, etc), leur dimension (macro ou micro-fibre) et aussi par leur propriétés mécaniques. Les principales fibres utilisées sont:

I.5.2.1. Fibres naturelles

a. Fibres minérales

Elles regroupent plusieurs sortes de fibres (amiante, alumine ... etc), et sont utilisées en grande quantité dans plusieurs applications traditionnelles. Les fibres d'amiante autrefois utilisée pour l'isolation, se sont aujourd'hui révélées cancérigènes [14].

b. Fibres végétales

La principale fibre végétale est la cellulose qui résiste aux alcalis. Les fibres végétales résistent à la plupart des acides organiques mais sont détruite par les acides minéraux forts. Il existe quatre sorts de fibres végétales: les fibres provenant des poils, les fibres de liber. Elles sont souvent utilisées dans la fabrication du papier et dans les panneaux de construction (fibres de bois) [14].

I.5.2.2. Fibres synthétiques

Cette famille regroupe plusieurs types de fibres comme (nylon, polypropylène, polyester ...etc).

Elles sont apparues à la fin du XIXème siècle sous le nom de rayonne. Elles sont dérivées de la cellulose naturelle. Aujourd'hui, la plupart des fibres synthétiques proviennent des produits dérivés du pétrole et de polymères géants dont la structure ressemble à celle des matières plastiques. La première fibre plastique commercialisée avec succès, le Nylon, daté de 1938. Depuis, de nombreux synthétiques, dont les fibres acrylique, l'aramide, l'oléfine et le polystyrène sont apparus. Ces fibres ont également été étudiées à des fins industrielles très précises, telles que la fabrication des matériaux d'isolation, t'issus pare-balle, les fuselages et ailes d'avion [15].



Figure I. 5: microfibres synthétiques.

I.5.2.3. Fibres artificielles

Ce type de fibre est le plus utilisé dans le domaine industriel en général et dans le domaine de génie civil en particulier. Il regroupe les fibres de verre, les fibres de carbone, les fibres d'acier et d'autre. Elles sont aujourd'hui les plus répandues dans l'industrie de la construction. Nous allons présenter quelques principales fibres utilisées pour renforcer les mortiers et bétons [14].

a. Fibre de verre

Ces fibres sont fabriquées à partir de verre fondu qui passe dans une filière, chauffé par effet Joule, qui comporte 50 à 800 tours d'un diamètre de l'ordre de 10 à 100µm. Elles sont disponibles dans le commerce sous forme de bobines (découpage à la demande) ou sous forme de morceaux prédécoupés de 3, 6, 12 et 50 mm de long. Ils sont regroupés en trois types: les fibres de verre classique (silice, soude, chaux), la fibre de verre au zirconium et la fibre au borosilicate. Ces fibres sont généralement caractérisées par une bonne adhérence avec la matrice et résistance à l'humidité et à la corrosion et la disponibilité sous toutes les formes (coupées, continues.....) [14].



Figure I. 6: fibre de verre.

b. Fibres métalliques

Ce type de fibres, qui regroupe les fibres d'acier et les fibres de fonte amorphe, à été reste encore l'objet de recherche très importante dans le monde. On se limite aux fibres d'acier qui sont les plus utilisées dans le domaine de génie civil. En effet les propriétés mécaniques du béton renforcé par ces fibres sont influencées par la résistance d'adhésion interrassiale entre fibre et la matrice. Les fabricants des fibres d'acier ont essayé par tous les moyens d'améliorer l'adhérence en jouant sur l'irrégularité de la surface de la fibre. Ce qui les conduits aux nombreuses variétés de fibre qui se différencient les unes des autres par leurs diamètre, leur section (rond, carré, rectangulaire). Leur longueur et leur mode d'opération. Les diamètres des fibres d'acier varient généralement entre 0,1 et 0,7 mm, avec des longueurs de 10 à 70 mm.

Les fibres métalliques utilisées en dallage industriel sont les plus souvent des fibres tréfilées comportant généralement des fils de 1mm de diamètre. Les différentes fibres existantes se différencient les unes des autres par le type d'ancrage actif dans la matrice du béton.

Chaque type de fibres présente des caractéristiques et des propriétés qui lui sont propres : Dimensions (diamètre, longueur...), formes (lisse, rugueuse, plate, ondulée, crantée...), résistance à la traction et adhérence au béton, qui procurent un comportement mécanique spécifique aux structures renforcées de fibres [14].

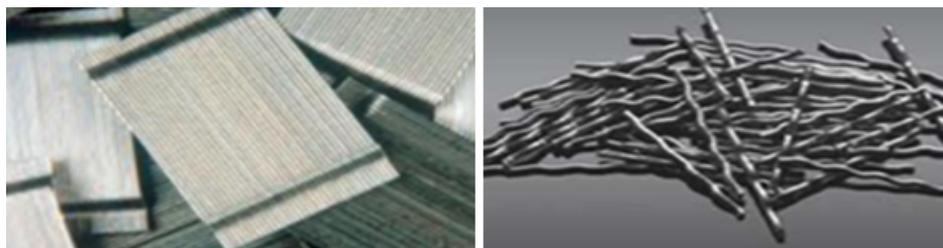


Figure I. 7 : Fibres métalliques.

c. Les Fibres de Carbone

Suivant les conditions de fabrication, il existe toute une variété de fibres de carbone mais actuellement trois types de fibres sont commercialisés: Les fibres hautement résistant (H.R.) ; Les fibres à module intermédiaire (I.M.) ; Les fibres à hauts modules (H.M.).

Les fibres de carbone sont très fragiles ce qui rend l'opération de malaxage du béton de ces fibres très difficile. Pour cela, elles sont ajoutées par la suite au béton par projection [16].



Figure I. 8: fibre de carbone.

I.5.2.4. Les fibres organiques

a. Fibres de polypropylène

Le polypropylène est un polymère cristallisable de la famille de polyoléfinés. Il a connu une extension croissante dans ce domaine où il apporte les avantages suivants: bonne résistance à la traction qui peut atteindre 800 Mpa, déformabilité élevée.

Ces fibres sont obtenues suivant les processus d'extrusion, étirage qui confère une orientation prépondérante aux molécules et qui engendre des propriétés mécaniques élevées. Ces fibres sont utilisées dans les bâtiments pour l'élaboration de panneaux décoratifs, ainsi que l'élaboration de revêtement de façades de plusieurs constructions [14].



Figure I. 9: fibre polypropylène.

b. Fibre d'amiante

Ces fibres sont considérées comme les renforcements les plus anciens des matrices cimentaires est aussi pour la confection de tissus résistants aux feux. Elles sont en fait des bûchettes de micro- fibres extrêmement fines, difficilement fusible (vers 1500 °C et ont l'avantage d'être inattaquables par les ciments. Elles possèdent un excellent tenu au feu, une bonne résistance à la traction et un module d'élasticité élevé. Elles sont aussi plus résistante agressions chimiques et micro-organismes, ainsi que leur résistance électrique élevée. Les fibres d'amiante sont utilisées dans les applications suivantes : voiles, tuyaux, panneaux, matériaux d'isolation thermique et protection contre le feu [16].

I.5.3. Propriétés des fibres

I.5.3.1. La notion de fibres structurales

La notion de fibres structurales n'est applicable qu'à certains types de fibres métalliques pour lesquelles les résistances résiduelles s'apparentent à l'action structurale des armatures traditionnelles. Il est important de réaliser que le terme « fibre structurale » est inapplicable à la plupart des types de fibres [15].

Chapitre I : Généralités sur les déchets et les fibres

I.5.3.2. Le facteur d'élanement

Le facteur d'élanement est défini par un ratio géométrique. Le facteur d'élanement est donc le ratio qui représente le rapport de la longueur sur le diamètre équivalent de la fibre. Le (tableau I.3) indique des valeurs de ratio pour certains types de fibres.

Le lien entre la matrice du béton et la fibre augmente proportionnellement avec le facteur d'élanement. Par contre, les fibres avec un facteur d'élanement supérieur à 60 et dotées d'une géométrie particulière sont potentiellement susceptibles de former des « oursins » [15].

Tableau I. 3:Facteur d'élanement

Types de fibres	Elancement (L/D)*
Macro synthétiques	50-100
Métalliques	25-100
Fonte amorphe	1200-1400
Polypropylène	140-1700
Carbone	150-400

**L : Longueur, D : Diamètre*

I.5.3.3. La performance

La performance des fibres est directement reliée à la valeur de résistance résiduelle qu'il est possible d'obtenir pour une formulation donnée d'un béton. La performance des fibres est évaluée selon différentes normes japonaises et américaines [15].

I.5.3.4. La valeur de résistance résiduelle

Les fibres dans le béton apportent une meilleure résistance aux déformations en flexion des ouvrages de béton soumis à des charges. C'est lorsque apparaît la première fissure que les fibres sont sollicitées et qu'il est possible de déterminer une valeur de résistance résiduelle.

Effectivement, les fibres apportent une meilleure cohésion et résistance intrinsèque de la matrice et augmentent ainsi la résistance à la propagation et à l'augmentation de la fissuration.

Les fibres permettent une reprise de charge en postfissuration [15].

I.5.4. Caractéristiques physiques et mécaniques des fibres

Les principales caractéristiques physiques et mécaniques des fibres les plus utilisées sont présenté dans le (tableau I.4) suivant :

Chapitre I : Généralités sur les déchets et les fibres

Tableau I. 4:Principales caractéristiques physicomécaniques des fibres les plus utilisées [17].

Fibres	Diamètre (Um)	Long mm	Densité	Rt MPa	E 103MPa	Allongement a la rupture %	Coef de dilatation (u/m)	Rfeu temps Max°C
Acier	5-500	20-80	7,8	1000 - 3000	200	3-4	11	1500
Fonte	36*260 0 de section	50-60	7,8	2500	140	1	-	1500
Verre	5-20	40-70	2,6	1500 - 3000	5-10	15-25	9	150
Polypropylène	10-200	25-75	0,9	400- 750	5-10	15-25	9	150
Polyester	-	-	1,4	700- 850	8	11-13	-	-
Amiante	0,02-20	5	2,5- 3,4	3000	8-15	2-3	1	1500
Carbone	5-9	variabl e	1,7-2	2000 - 3000	250- 400	0,5-1,5	-	400- 1500
Sisal	10-50	1,5	1,5	-	130	3	-	-

I.5.5. Critère de choix du type de fibres

Il existe différents types de fibres dont les caractéristiques chimiques, physiques et mécaniques diffèrent selon leur nature ou leur géométrie. La nature, la forme, et les propriétés chimiques, physiques, et mécaniques des fibres choisies dépendent de :

- La qualité a conférée à la matrice cimentaire ;
- La compatibilité avec les composantes de la matrice « ciment-granulats » ;
- Une bonne adhérence avec la matrice cimentaire ;
- Conservation de leurs propriétés dans le temps ;

Les fibres couramment utilisées pour la fabrication de bétons renforcés de fibres sont généralement métalliques, synthétiques de verre ou naturelles. Selon leur utilisation, ces différents types de fibres présentent des avantages ou des inconvénients. Certaines sont affectées par des dégradations chimiques dans les matériaux cimentaires ou présentent un mauvais comportement dans les milieux alcalins (certaines fibres de verre ou fibres naturelles) [18].

Les fibres en amiante utilisées avec le ciment ont prouvées la bonne tenue, et la durabilité du composite dans le temps ; Par contre les fibres de verre leur performance mécanique chute par la réaction de ciment sur le verre (effet des alcalins) Malgré que ce problème est solutionné en partie par une mise au point d'un verre à haute teneur en zirconium l'utilisation des fibres de verre est toujours limitée.

Chapitre I : Généralités sur les déchets et les fibres

Les fibres de nylon et polypropylène sont instables devant l'action des rayons ultraviolets ils doivent être protégés.

La technologie du béton armé a montré que l'acier a une très bonne compatibilité avec le béton :

- Protection par le ciment ;
- Bonne adhérence ;
- Coefficient de dilatation est presque le même ;
- Grande résistance ;

Par leurs propriétés et qualités les fibres métalliques sont les plus adaptables et les plus utilisées avec la matrice de béton [19].

Leur géométrie est très variable (Figure I.10). Les fibres les plus utilisées sont les fibres droites. C'est l'adhérence de ces fibres avec la matrice cimentaire qui diminue la fragilité du béton par amélioration du comportement post fissuration.

Il existe des fibres à crochets. Leurs extrémités recourbées développent un ancrage et dissipent une énergie de fissuration par plastification de la fibre et par frottement à l'interface avec la matrice [20].

On trouve aussi des fibres ruban, des fibres à tête d'ancrage ou encore des fibres ondulées dont, qualitativement, les modes de fonctionnement sont les mêmes que ceux cités précédemment.

L'avantage des fibres à crochets ou ondulées est qu'elles développent un ancrage supplémentaire en plus de l'adhérence avec la matrice les rendant plus efficaces que les fibres droites. Cependant, ce type de fibres peut engendrer la formation d'oursins durant la fabrication entraînant une répartition non homogène dans le béton. Les fibres droites sont généralement utilisées pour pallier à ce problème mais, ne fonctionnant que par adhérence avec la matrice, leur efficacité s'en ressent.

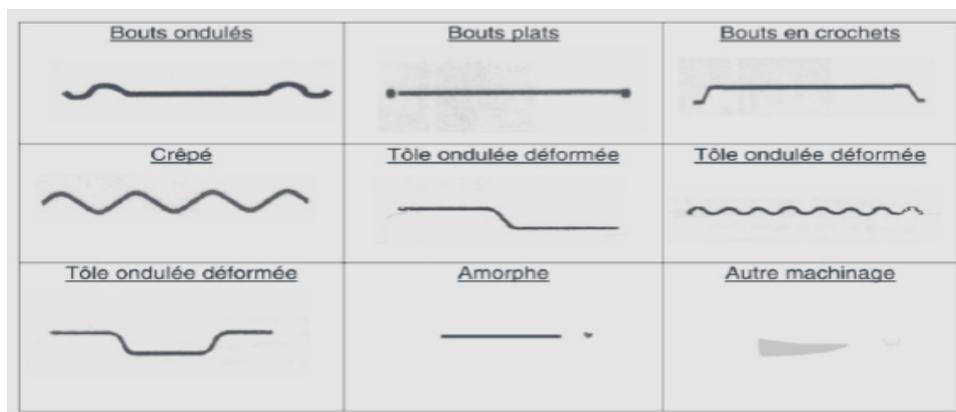


Figure I. 10: Différentes formes géométriques de fibres métalliques [21].

Chapitre I : Généralités sur les déchets et les fibres

L'élanement ou le rapport longueur/diamètre joue un rôle prépondérant dans la maniabilité d'un béton renforcé de fibres (notamment métalliques). Pour un dosage en fibre donné, plus l'élanement est important, plus la maniabilité du béton diminue.

I.5.6. Rôle des fibres

Au début, les chercheurs ont essayé, par l'addition de fibres, d'augmenter les caractéristiques mécaniques du béton comme la résistance à la compression et la résistance à la flexion, mais le résultat obtenu était limité. Il a été constaté que le rôle principal des fibres dans un matériau cimentaire peut-être apprécié sous deux volets :

- Le contrôle de la propagation d'une fissure dans un matériau en état de service en réduisant l'ouverture des fissures, comme schématiquement illustré par la (Figure I.11).
- La transformation du comportement fragile d'un matériau en un comportement ductile qui accroît la sécurité lors des états de chargement ultimes [22].

Les fibres ont généralement pour rôle de renforcer la structure en s'opposant au développement des fissures et à leur propagation. Selon le type, le dosage et les éléments en béton dans lesquels elles sont insérées, les fibres permettent :

- L'amélioration de la cohésion du béton frais ; par exemple, les fibres rigides changent la structure du squelette granulaire ;
- l'augmentation de la ductilité et le comportement post-fissuration ;
- la réduction de la microfissuration due aux variations dimensionnelles notamment au jeune âge ;
- la réduction de la fissuration d'origine mécanique (chargement extérieur) ;
- l'augmentation de la résistance à la traction par flexion ;
- l'amélioration de la tenue au feu et de la résistance aux chocs, à la fatigue, à l'usure, et à l'abrasion [22].

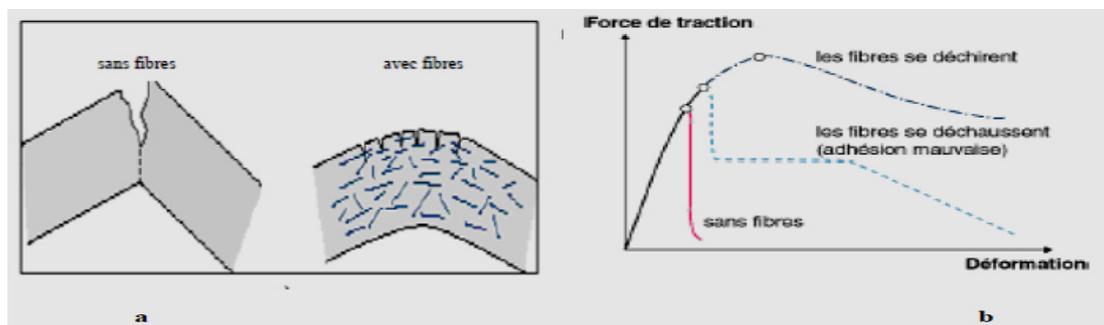


Figure I. 11: Illustration de l'apport du renfort par des fibres [22].

Le principe de couturassions des fissures et limitation de leurs ouvertures est comme montré en (Figure I.12). Les fibres qui traversent la fissure offrent une résistance résiduelle (résistance au-delà de la fissuration). Ces fibres se déforment aux extrémités ancrées qui se

Chapitre I : Généralités sur les déchets et les fibres

redressent graduellement avec l'augmentation du chargement au-delà de la charge de fissuration [23].

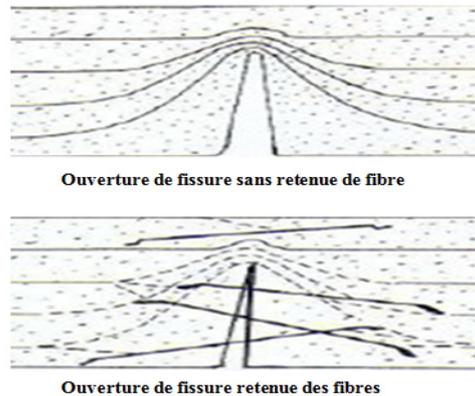


Figure I. 12: Principe de couturassions d'une fissure [23].

En réalité, les fibres ont des effets sur les performances mécaniques des bétons dans tous les modes de rupture [Gopalaratnam et Shah 1987]. La (Figure I.13) illustre les différents facteurs influant sur le comportement d'un béton renforcé de fibres [22].

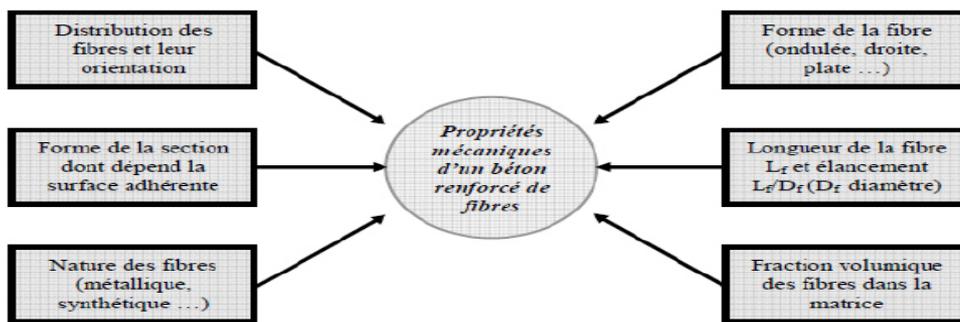


Figure I. 13: Différents facteurs influant sur le comportement mécanique d'un béton renforcé de fibre [22].

On peut donc aisément comprendre qu'il est extrêmement difficile de généraliser l'apport exact des fibres par rapport à un béton ordinaire car le nombre des paramètres influant sur son comportement est considérable.

I.5.7. Durabilité des bétons ou mortiers de fibres

Quand on parle de durabilité des bétons de fibres, il faut se placer à deux niveaux - deux échelles : celui du matériau et celui de la structure.

a. Le premier aspect à évoquer concerne bien sûr le problème de la corrosion des fibres (échelle matériau). Pour ce qui concerne les fibres synthétiques, à l'exception de certaines fibres d'aramide, il n'y a pas de problème de durabilité de la fibre dans le béton. Pour ce qui concerne les fibres métalliques, la corrosion des fibres peut bien évidemment survenir.

Le retour d'expérience et la recherche concluent sur deux points :

Chapitre I : Généralités sur les déchets et les fibres

- La corrosion superficielle des fibres peut provoquer des salissures à la surface des structures exposées ;

- La corrosion superficielle des fibres ne génère aucune pathologie, ni perturbation dans le fonctionnement mécanique des structures les utilisant.

Cette corrosion potentielle des fibres métalliques peut être minimisée dans la pratique en :

- Optimisant la formulation du béton fibré ;
- Utilisant des coffrages non métalliques ou munis d'une "peau interne" (tissu synthétique, par exemple) ;
- Utilisant des fibres galvanisées.

b. Le second aspect relatif à la durabilité des bétons fibrés concerne la tenue au feu des structures. Les fibres métalliques n'apportent pas un plus déterminant dans la tenue au feu des structures. Ce que l'on peut simplement souligner est qu'une structure en béton de fibres métalliques se comporte plutôt mieux vis-à-vis du feu qu'une structure en béton armé classique (moins d'éclatements).

c. Pour ce qui concerne la durabilité des structures en béton fibré, un dernier point important concerne le maintien dans le temps d'une fonction demandée à une structure donnée. A l'exemple d'un revêtement quelconque en béton fibré à qui on demande d'assurer une fonction d'étanchéité (vis-à-vis des infiltrations d'eau, par exemple). Du fait du fluage des fibres synthétiques, évoqué précédemment, cette fonction, un moment assuré par une structure en béton de fibres synthétiques, peut ne plus l'être quelque temps plus tard. Il s'agit d'un problème pour lequel les bétons de fibres métalliques ne sont pas concernés.

Enfin, dans le cas d'éléments préfabriqués manu portables, ou dans celui des structures susceptibles d'être en contact direct avec les usagers, des problèmes de sécurité peuvent se poser, s'agissant de bétons de fibres métalliques. Ce phénomène concerne surtout les bétons de fibres dont les fibres sont de petits diamètres, c'est-à-dire inférieures ou égales à 0,25 mm.

En effet, on ne peut jamais garantir à 100 % qu'aucune fibre métallique n'affleurerà à la surface de la structure, ce qui peut occasionner des blessures.

Des solutions techniques existent pour pallier cet inconvénient, solutions dont il ne faut pas faire l'impasse. Ces problèmes de blessure occasionnés par des fibres n'existent pas avec les fibres synthétiques [24].

I.5.8. Influence du dosage en fibres

a. Optimisation rhéologique

L'ajout de fibres dans un béton à l'état frais nécessite de nombreuses précautions notamment pour éviter la formation de pelotes et limiter le risque d'une orientation préférentielle.

Chapitre I : Généralités sur les déchets et les fibres

La durée du malaxage influe sur la répartition des fibres au sein du béton frais. Si elle est trop courte, les fibres ne peuvent pas se répartir de manière homogène. Si elle est trop longue, la répartition peut devenir hétérogène du fait de la ségrégation des fibres.

La maniabilité du béton est diminuée par l'ajout des fibres. Plus la quantité de fibres et leur élanement sera fort, plus l'ouvrabilité du mélange sera affecté. Il est donc important d'utiliser des fibres de dimensions optimales et d'ajuster la composition de la matrice afin de permettre au béton de conserver une maniabilité suffisante.

Lors de la mise en place dans les moules, il faut limiter l'écoulement qui est responsable de l'orientation préférentielle des fibres dont nous parlerons plus spécifiquement dans le paragraphe suivant. L'orientation peut aussi être due à la vibration qu'il est important de limiter voir de supprimer en travaillant avec des bétons autoplaçants et à l'effet de paroi, ce dernier étant plus difficile à contourner.

b. Optimisation mécanique

La quantité de fibres dans un béton est une caractéristique prépondérante vis-à-vis du comportement post-fissuration.

Soit deux fibres, l'une perpendiculaire au plan d'une fissure, l'autre inclinée par rapport à cette fissure. Si les deux fibres sont suffisamment éloignées l'une de l'autre, elles agissent indépendamment vis-à-vis de la fissure, la fibre perpendiculaire étant plus efficace que la fibre inclinée. Le bilan du couple se résume alors à la somme de leurs actions individuelles.

En revanche, si la distance entre les deux fibres est telle que l'action de la fibre qui travaille le mieux conduit, en outre, à confiner la fibre qui fonctionne le moins bien (c'est-à-dire provoquer une étreinte autour de cette fibre), cette dernière verra donc son efficacité vis-à-vis de la fissure accrue. Le bilan devient alors la somme de leurs actions individuelles plus quelque chose qui est la conséquence de leur « entraide », qu'on peut également qualifier de synergie positive.

Au contraire, lorsqu'on rapproche de plus en plus les deux fibres, il arrive un moment où la quantité de pâte de ciment qu'il y a entre elles devient tellement faible que l'enrobage de chaque fibre devient insuffisant (même si l'on augmente la quantité de pâte de ciment avec le pourcentage de fibres pour des raisons de maniabilité) pour assurer un fonctionnement correct de l'interface pâte-fibre. Les fibres travailleront moins efficacement que si elles avaient travaillé sans interactions. Le bilan est alors la somme de leurs actions individuelles moins un effet qui est la conséquence de leur « promiscuité », qu'on peut également qualifier de synergie négative. A partir de ce seuil, plus on ajoute des fibres, moins elles seront efficaces individuellement, et on assistera, au mieux, à une très faible augmentation des caractéristiques mécaniques et, au pire, à une diminution.

Chapitre I : Généralités sur les déchets et les fibres

Il est évident que le choix de la fibre est lié à la caractéristique mécanique que l'on désire améliorer, par exemple une fibre métallique pour augmenter les capacités portantes, ou une fibre synthétique pour améliorer le comportement post-fissuration ou la ductilité des bétons [25].

I.5.9. Avantage de la technique du renforcement par fibres

Les avantages du renforcement des bétons par fibres sont :

- Résistance mécanique supérieure (résistance aux impacts ténacité en traction meilleure tenue à la fatigue, résistance au cisaillement, meilleur contrôle de largeur des fissures) ;
- Renforcement multidirectionnel dans toute la masse du béton ;
- Qualité de conception supérieure ;
- Les fibres sont plus efficaces que les barres découpées et les treillis ;
- Éliminent la tâche d'élaborer l'acier sur chantier (décharge trier couper et poser l'acier) ;
- Le bétonnage plus simplifié ;
- Une meilleure rentabilité sur le chantier (cout d'entretien, de la main d'œuvre, et temps d'exécution) [26].

I.5.10. Utilisation et influence de deux ou plusieurs types de fibres

Les fibres présentent des caractéristiques, tant géométriques que mécaniques différentes selon leur nature. Chaque type de fibre peut présenter une influence particulière sur le comportement mécanique du béton, ce qui se traduit par des applications spécifiques. Le choix du type de fibres utilisées est donc fonction du domaine d'utilisation et des performances souhaitées. S'agissant de la nature, la fibre métallique est la plus utilisée. Dans le cas de l'utilisation de deux types de fibres métalliques dans la même composition, les fibres courtes qui, à même dosage, sont plus nombreuses peuvent être actives en jouant le rôle de couture sur des microfissures qui se développent aux premiers stades du chargement. La résistance à la traction peut se retrouver augmentée. Au fur et à mesure que la charge augmente l'ouverture des fissures augmente aussi. Ceci cause l'arrachement des fibres courtes, alors que les longues fibres peuvent continuer à transférer les efforts à travers les fissures et ainsi à contribuer à l'augmentation de la résistance résiduelle post-fissuration. Les fibres longues sont donc généralement actives dans l'amélioration de la ductilité [Markovic et Walraven 2003] , [Pons et al 2007] (Figure I.14 a et b) [22].

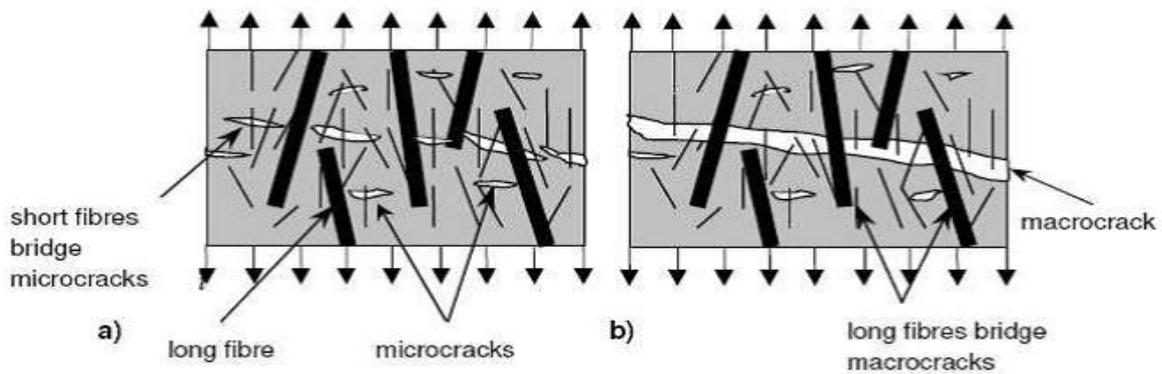


Figure I. 14:Processus de couture: a) Influence des fibres courtes dans le processus de couture des microfissures, b) Influence des fibres longues dans le processus de couture des macro fissures [22].

I.5.11.Diverses applications

Les nombreuses innovations de la technologie des bétons renforcés de fibres ont permis d'étendre considérablement la gamme des applications (tableau I.5) [20].

Tableau I. 5:Domaine d'application privilégiée par type de fibres [20].

Type de fibre	Dosage courant	Domaine d'application Privilégié	Exemples d'application
Fibres métalliques	0,5 à 2% en volume 40 à 160 Kg /m ³	Renfort pour bétons structurels et armature structurelle	- Dallages, sois industriels , planchers, dalles de compression -Eléments préfabriqués voussoirs de tunnels, poutres, conteneurs, tuyaux - Bétons projetés entra vaux souterrains, stabilisation en pente et ouvrages d'assainissements -Pieux de fondations , semelles filantes
Fibres de Polypropylènes	0,5 à 2% en volume 0,5 à 2 Kg /m ³	Limitation de la Fissuration liée au retrait Amélioration de la tenue en feu des bétons	-Dallages -Voussoirs tunnels -Revêtements d'ouvrages souterrains -Mortiers projetés -Parements esthétiques

I.6.Conclusion

La production plus ou moins importante de déchets d'un point de vue de leur quantité et/ou de leur diversité ne réside pas seulement dans un choix humain mais peut être totalement indépendant d'une volonté humaine.

En effet, plusieurs facteurs peuvent influencer la composition des déchets les techniques et habitudes de gestion des différents intervenants ont également une influence sur la nature, la qualité et la composition des déchets.

Les innovations constructives, qui font souvent appel à de nouveaux matériaux, ont rendu les ciments ou les mortiers renforcés de fibres très populaires. La possibilité d'améliorer la

Chapitre I : Généralités sur les déchets et les fibres

résistance à la traction et au choc permet d'envisager une réduction du poids et de l'épaisseur des éléments, et devrait aussi réduire les dommages attribuables au transport et à la manutention.

Chapitre II : Généralités sur les mortiers

Chapitre II : Généralités sur les mortiers

II.1.Historique

Les mortiers ont été très utilisés du 16^{ème} siècle. En 1959, l'anglais JHON Smeaton produit un mortier aussi dur que la pierre en mélangeant des CaO hydrauliques et des cendres volcaniques. A la première guerre mondiale, en raison de leur grande légèreté, pour le même calibre, par rapport aux autres bouches à feu, et parce qu'ils permettent de tirer à partir d'un emplacement encaissé ou d'atteindre des objectifs masqués. Pendant la seconde guerre mondiale, leur emploi a été plus restreint, le bombardement aérien s'étant révélé plus efficace. C'est pourquoi l'utilisation des mortiers lourds (jusqu'à 160 mm) a pratiquement disparu au profit des mortiers légers, dit d'infanterie [27].

II.2.Introduction

Une construction est généralement réalisée par éléments, dont il faut assurer la liaison ou qu'il faut protéger par un revêtement. On doit alors effectuer des scellements ou divers travaux de reprise, de bouchage, etc. Toutes ces opérations se font à l'aide d'un liant toujours mélangé à du sable, de l'eau et éventuellement un adjuvant, pour obtenir un « mortier », qui se distingue du béton par l'absence de gravillons.

Le mortier est un des matériaux de construction que l'on utilise pour solidariser les éléments entre eux, assurer la stabilité de l'ouvrage, combler les interstices entre les blocs de construction. Dans ce chapitre, nous présenterons les différents constituants des mortiers, méthodes de formulation, essais sur les mortiers, domaine d'utilisation, classification et ensuite les travaux de recherches sur les mortiers pour avoir l'amélioration des caractéristiques mécanique de mortier par l'ajout des fibres plastiques ou bien métallique et finalement donner des résultats des autres mémoire pour comparer avec notre résultat dans le chapitre suivant.

II.3.Définition de mortier

Le terme mortier désigne un mélange de liant (ciment ou chaux) et de sable gâché avec une certaine quantité d'eau, des adjuvants et des colorants peuvent aussi être ajoutés.

Selon qu'il contient plus au moins de liant, un mortier est dit gras ou maigre [28].

II.4.Les constituants des mortiers

II.4.1. Liants

Le liant est un élément actif qui est mélangé avec de l'eau ou un autre lubrifiant, pour lier les granulats et donner du mortier ou du béton. Dans le cas courant, le liant utilisé est un liant hydraulique; c'est-à-dire un produit ayant la propriété de durcir au contact de l'eau et qui, après durcissement, conserve sa résistance et sa stabilité même sous l'eau. Il existe essentiellement deux types de liants hydrauliques: le ciment et la chaux hydraulique. Nous nous intéresserons au premier dans cette étude [29].

Chapitre II : Généralités sur les mortiers

II.4.2.Types de liants

- Les ciments normalisés (gris ou blanc) ;
- Les ciments spéciaux (alumineux fondu,...) ;
- Les liants à maçonnerie ;
- Les chaux hydrauliques naturelles ;
- Les chaux éteintes [30].

II.4.2.1.Ciment

a.Définition

Le ciment est un liant hydraulique, c'est à dire une matière inorganique finement moulue qui gâcher avec de l'eau, forme une pâte qui fait prise et durci par suit de réactions et processus d'hydratation et qui âpres durcissement, conserve sa résistance et sa stabilité même sous l'eau [31].

b. Fabrication

La fabrication du ciment Portland se fait à partir de la pierre calcaire et de l'argile. Ces matériaux sont extraits des carrières, concassés et stockés, puis l'analyse chimique est faite pour déterminer le dosage des matières premières. Après avoir été dosées, les matières premières sont broyées et mélangées. La poudre ainsi obtenue est introduite dans l'extrémité supérieure d'un four rotatif légèrement incliné. Un appareil est placé à l'extrémité inférieure du four pour que la température soit comprise entre 1450 et 1650 °C. Une telle température provoque la fusion partielle des matériaux et transforme chimiquement les matières premières en clinker de ciment. Le clinker se retrouve sous forme de billes ayant un diamètre de 3 à 25 mm. Par la suite, le clinker est refroidi et broyé, puis on ajoute une faible quantité de gypse (environ 3 % de la masse de ciment) pour contrôler la prise du ciment. Le produit ainsi obtenu constitue le ciment Portland [31].



Figure II. 1:les étapes de fabrication de ciment [31].

c. Composition chimique du ciment portland

Les principaux oxydes qu'on trouve dans le ciment Portland sont :

* Chaux (CaO);* Silice (SiO₂); * Alumine (AL₂O₃); * Oxyde de fer (Fe₂O₃)

On trouve aussi les autres oxydes en plus faible quantité sont:

Chapitre II : Généralités sur les mortiers

* Oxyde de sodium (Na₂O) ; * Oxyde de potassium(K₂O) ; * Oxyde de soufre(SO₃) ; * La magnésie(MgO).

Ces quatre principaux oxydes sont combinés pour former quatre phases minérales qui représentent (90 %) de masse du ciment Portland, il s'agit des phases données dans le tableau présenté ci-dessous

Tableau II. 1:Quantité des composants de ciment [31].

Elément	Chaux CaO	Silice SiO ₂	Alumine Al ₂ O ₃	Oxyde de fer Fe ₂ O ₃	Oxyde de sodium Na ₂ O	Oxyde de potassium K ₂ O	Oxyde de soufre SO ₃	La magnésie MgO
Quantité %	58-67	16-26	4-8	2-5	0-1	0-1	0,1-0,5	1-5

d. L'hydratation de ciment

En présence d'eau, les sels minéraux amorphes, anhydres est instables s'hydratent ; il se produit alors une cristallisation qui aboutit à un nouveau système de constituants hydratés stables ; la formation de cristaux en aiguilles plus au moins enchevêtrées produit la prise. Par exemple, le silicate tricalcique anhydre [3CaO, SiO₂] donne par hydratation un silicate hydraté, la tembermorite, et de l'hydroxyde de chaux :

$2 [3CaO, SiO_2] + 6H_2O \rightarrow [SiO_2 \cdot 0,7 Ca_3, 3H_2O] + 3Ca(OH)_2$ Cette réaction chimique d'hydratation s'accompagne d'un dégagement de chaleur plus au moins important selon les ciments et la rapidité de prise [32].

L'aluminate tricalcique entrant en réaction avec l'eau en présence du gypse hydraté subit une hydratation à la température ambiante et donne des composées complexes appelés sulfoaluminates hydratés de calcium. Cette réaction s'écrit :



Le minéral naturel de même composition porte le nom d'ettringite (sel de Candlot) [33].

Les anhydres et les hydrates cités dans ce paragraphe sont résumés dans le tableau ci-dessous

Tableau II. 2: Les anhydres et les hydrates de ciment [34].

Notation Abrégée	Formule Chimique en oxyde	Dénomination
C ₃ S	(CaO) ₃ -SiO ₂	Silicate tricalcique
C ₂ S	(CaO) ₂ -SiO ₂	Silicate bicalcique
C ₃ A	(CaO) ₃ -Al ₂ O ₃	Aluminate tricalcique
C ₄ AF	(CaO) ₄ -Al ₂ O ₃ -Fe ₂ O ₃	Aluminoferrite tétracalcique
CH	Ca(OH) ₂	Portlandite
C-S-H	(CaO) _x -SiO ₂ -(H ₂ O) _y	Silicate de calcium hydraté
C ₃ A.(C ₃ S) ₃ .H ₃₂	(CaO) ₆ - Al ₂ O ₃ -(SO ₃) ₃ -(H ₂ O) ₃₂	Ettringite ou 'Aft'
C ₃ A.(C ₂ S).H ₁₂	(CaO) ₆ - Al ₂ O ₃ -(SO ₃)-(H ₂ O) ₁₂	Monosulfoaluminate de calcium hydrate ou 'Afm'
C ₂ AH ₈	(CaO) ₂ - Al ₂ O ₃ -(H ₂ O) ₈	Aluminate dicalcique hydraté
C ₃ AH ₆	(CaO) ₃ - Al ₂ O ₃ -(H ₂ O) ₆	Aluminate tricalcique hydraté
C ₄ AH ₁₃	(CaO) ₄ - Al ₂ O ₃ -(H ₂ O) ₁₃	Aluminate tétracalcique hydraté

Chapitre II : Généralités sur les mortiers

e. Les différents types de ciment

Les ciments sont classés en fonction de leur composition, en cinq types principaux selon les normes NF P 15-301 et EN 197-1 :

- * CPA-CEM I : ciment Portland artificiel (CPA dans la notation française) ;
- * CPJ-CEM II : ciment Portland composé (CPJ) ;
- * CHF-CEM III : ciment de haut fourneau ;
- * CPZ-CEM IV : ciment pouzzolanique ;
- * CLC-CEM V : ciment au laitier et aux cendres (ciment composé).

En plus des ciments courants cités précédemment, il existe des ciments courants à caractéristiques complémentaires comme le cas des ciments résistant aux sulfates (CRS), ciments pour travaux à la mer, ciments pour travaux au contact d'eaux très pures [35].

f. Classe de résistance du ciment :

Les ciments sont répartis en trois classes de résistances ; 32,5 – 42,5 – 52,5, définis par la valeur minimale de la résistance caractéristique du ciment à 7 et à 28 jours [36].

Tableau II. 3: Classes de résistance du ciment [36].

Classe de résistance	Résistance à la compression 2 jours limite inf (MPa)	Résistance à la compression 28 jours limite inf (MPa)
32,5N(Normal)	-	$\geq 32,5$
32,5R(Rapide)	$\geq 13,5$	$\geq 32,5$
42,5	$\geq 12,5$	$\geq 42,5$
42,5R	≥ 20	$\geq 42,5$
52,5	≥ 20	$\geq 52,5$
52,5R	≥ 30	$\geq 52,5$

II.4.2.Le sable

a. Définition

Le sable est le granule employé le plus fréquemment dans les mortiers. Il est inerte et sert d'abord à accroître la compacité. Ses limites granulométriques sont indiquées dans la norme AFNOR (NF P 18-560) [37].

Malheureusement, la plupart des granulats sont choisis pour des raisons de coût et de disponibilité. Il peut y avoir une certaine variation granulométrique sans que les propriétés du mortier soient fortement altérées, mais la qualité du mortier serait certainement améliorée si on choisissait le granulat avec plus de soin [38].

Ils peuvent être :

- Naturels et roulés (de rivières, de sablières, ..), de nature siliceuse ou silico-calcaire;
- Naturels concassés (roches de carrières), comme des basaltes, porphyres, quartzites. Ils sont anguleux et durs ;
- Spéciaux (lourds, réfractaires, légers) ;

Chapitre II : Généralités sur les mortiers

- Sable de laitier ;
- Sable d'oxydes de fer, de chromite ; corindon ;
- Sable de briques concassées ; liège torréfié ; polystyrène expansé ; vermiculite, perlite.

Le degré de propreté est mesuré par l'essai d'équivalent de sable, $ES \geq 75$.

Il est préférable des sables roulés de rivière, les sables de carrière conviennent s'ils ne renferment pas d'impuretés nocives. Les sables de mer doivent être lavés (sinon ils sèchent mal et peuvent donner lieu à des efflorescences en raison des sels qu'ils contiennent).

La granulométrie des sables doit être limitée à 5 mm. En général le dosage des mortiers est exprimé en poids de liant par m^3 du sable sec. Or le plus souvent, sur le chantier, le sable renferme un certain pourcentage d'eau (pouvant varier de 0 à 20 %) et il suffit de très peu d'eau pour que le poids du m^3 soit modifié ; c'est le phénomène bien connu du foisonnement du sable [39].

✓ le coefficient de foisonnement

Le coefficient se calcul par Suivant [32]: $Kf = \frac{V_{humide} - V_{sec}}{V_{sec}} \times 100 \%$

✓ le module de finesse

Le sable est caractérisé aussi par le module de finesse qui se calcul par la formule

Suivante [40] : $Mf = \sum \frac{1}{100} [refuscumulésurtamisdemodule\ 23,26,29,32,35,38]$

Selon si :

$Mf > 2,5 \rightarrow$ le sable est gros ;

$2,0 < Mf < 2,5 \rightarrow$ le sable est moyen ;

$1,5 < Mf < 2,0 \rightarrow$ le sable est fin ;

$1,0 < Mf < 1,5 \rightarrow$ le sable est très fin [33].

b. Le rôle de sable

Ils jouent un rôle important : ils réduisent la variation volumique, les dosages se feront en poids plutôt qu'en volume comme c'est souvent le cas, afin d'éviter les erreurs de dosage, par suite de l'augmentation de volume de sable humide.

II.4.3.L'eau

L'eau remplit un double rôle : elle sert à hydrater le ciment, et ce qui est plus important, elle contribue à son ouvrabilité. Il convient de noter que les exigences relatives à l'eau de gâchage diffèrent beaucoup pour les mortiers et le béton. Dans le cas de béton un faible rapport eau-ciment est préférable. L'eau devrait être propre et ne pas contenir de produits nocifs tels que des acides, des alcalis ou des matières organiques. Lorsqu'elle est potable, on peut l'utiliser.

Chapitre II : Généralités sur les mortiers

II.4.4. Les adjuvants

a. Définition

L'emploi d'adjuvants doit répondre à la norme **NF EN 934-2 [2009]**. Les adjuvants sont des produits dont l'incorporation à faible dose (inférieure à 5% de la masse de ciment) aux bétons, mortier ou coulis lors du malaxage ou avant la mise en œuvre, provoque les modifications recherchées de certaines de leurs propriétés, à l'état frais (le temps de prise, le processus de durcissement et l'ouvrabilité) ou durci (la résistance et la durabilité). Chaque adjuvant est défini par une unique fonction principale, mais peut présenter une ou plusieurs fonctions secondaires [41].

L'efficacité des adjuvants dépend d'une quantité de facteurs qui sont, entre autres :

- Le dosage de l'adjuvant, le type et le dosage en ciment, le dosage en eau ;
- Ainsi que la consistance, les conditions de malaxage et la température [42].

b. Le types des adjuvants

Plusieurs catégories sont ainsi définies par la norme **NF EN 934-2** [4].

a) Adjuvants modifiant la rhéologie de la pâte de mortier

-Plastifiants et fluidifiants.

b) Adjuvants modifiant la prise et le durcissement

-Accélérateurs de prise et durcissement ;

-Retardateurs de prise ;

c) Adjuvants modifiant les propriétés physiques

-Hydrofuge de masse ;

-Entraîneurs d'air ;

-Rétenteurs d'eau.

II.5. Les types des mortiers et leurs compositions

-Mortier de ciment : fabriqué avec du ciment artificiel de type portland blanc ou gris, il est très résistant ;

-Mortier de chaux : fabriqué avec de la chaux hydraulique. Moins résistant et moins étanche que le mortier de ciment, il est plus souple et laisse respirer les murs ;

-Mortier bâtard : fabriqué avec un mélange de ciment et de chaux, avec des caractéristiques intermédiaires entre le mortier de ciment et le mortier de chaux ;

-Mortier réfractaire à base de ciment fondu ;

-Mortier rapide à base de ciment prompt ;

-Mortier pour hourdage : C'est le mortier utilisé pour construire, c'est lui qui assemble les éléments de maçonneries. On utilise du mortier de ciment ou du mortier bâtard ;

Chapitre II : Généralités sur les mortiers

-Mortier pour enduit : C'est le mortier qui est utilisé en revêtement de murs, On utilise du mortier de ciment, du mortier de chaux ou du mortier bâtard [39].

II.6. Les mortiers fibrés et les bétons de fibres

Le béton ou mortier de fibres est un matériau composite constitué d'une matrice béton ou mortier et d'un renfort par inclusion directe de fibres isolées, dont les propriétés mécaniques résultent de la combinaison des propriétés du béton ou mortier, des fibres et de l'interface entre les matériaux.

L'ajout des fibres a pour rôle principal dans le béton ou mortier est de modifier ces propriétés. Les fibres sont des éléments discontinus, de nature variable, répartis uniformément dans la matrice et ayant une orientation aléatoire (naturelle) ou forcée. Les fibres sont capables de l'arrêt et couvrir les fissures. Les fibres aussi permettent d'améliorer ainsi le comportement post-fissuration du béton. Ces dernières jouent un rôle de renforcement qui compense la fragilité du béton par couture de la microfissuration et la macro fissuration. Elles ont de plus, la capacité de transférer les charges, dès lors qu'une bonne adhérence fibre/matrice est assurée la distribution homogène des fibres dans le béton est donc la condition principale pour pouvoir parler d'un béton renforcé uniformément, avec les mêmes caractéristiques dans tous les points de la matrice. Par ailleurs, les fibres constituent une sorte de granulats filiforme gênant l'assemblage optimal du squelette des granulats. La géométrie des fibres, leur dosage, ainsi que la mise en place du matériau frais, sont des paramètres affectants très fortement le comportement global du matériau durci [43].

II.7. La méthode de formulation et le domaine d'application

a. Mortiers fabriqués sur chantier

Ils sont préparés avec le ciment et le sable du chantier. Le ciment est un ciment courant CPA ou CPJ et parfois des ciments spéciaux comme le ciment alumineux fondu. On emploie également des chaux hydrauliques et parfois des liants à maçonner. Le sable est le plus souvent roulé (nature silicocalcaires) parfois concassé et le gâchage s'effectue à la pelle ou à l'aide d'une petite bétonnière.

Ces mortiers ne sont donc pas très réguliers et les sables peuvent être différents d'une livraison à l'autre, mais de toutes façons ils doivent être propre et de bonne granulométrie.

b. Mortier industriel

Ce sont des mortiers que l'on fabrique à partir de constituants secs, bien sélectionnés, conditionnés en sacs, contrôlés en usine et parfaitement réguliers. Pour utiliser ce type de mortiers, il suffit de mettre la quantité d'eau nécessaire et malaxer pour ensuite les mettre en œuvre. Les fabricants de mortiers industriels proposent une gamme complète de produits répondant à tous les besoins :

Chapitre II : Généralités sur les mortiers

- Mortiers pour enduits de couleur et d'aspect varié ;
- Mortiers d'imperméabilisation ;
- Mortier d'isolation thermique ;
- Mortier de jointoiment ;
- Mortier de ragréage ;
- Mortier de scellement, mortier pour chapes ;
- Mortier-colle pour carrelages, sur fond de plâtre ou de ciment, etc....

A chaque domaine d'application correspond un type de mortier pouvant être consacré à :

- la protection et la décoration (sous-enduits, enduits de parement colorés, enduits monocouche) ;
- la pose des carrelages (mortiers colles et mortiers de joints) ;
- la préparation des sols (chapes, réparations, enduits de lissage, d'égalisation) ;
- les assemblages (éléments de maçonnerie, fixation des éléments de cloisons et de doublage) ;
- l'isolation et l'étanchéité (systèmes d'isolation thermique par l'extérieur, d'imperméabilisation, d'étanchéité, d'isolation phonique, d'ignifugation) ;
- les travaux spéciaux (gunitage, réparations d'ouvrages d'art et de génie civil, scellement et calages, coulis d'injection, cuvelages) [44].



Figure II. 2: application des mortiers [41].

II.8. Les essais sur les mortiers

Pour que les mortiers et les bétons soient de bonne qualité, il est indispensable que les granulats composant ces matériaux adhèrent parfaitement au ciment. En effet, les essais sont souvent effectués sur tous les comportements quel que soit physique, mécanique et chimique donc on peut dire que les résistances des mortiers dépendent de très nombreux facteurs :

- La nature et dosage en ciment;
- Le rapport E/C;
- La granulométrie et la nature du sable;

➤ L'énergie de malaxage et mise en œuvre [45].

II.7.1. Comportement physiques

II.7.1.1. Ouvrabilité

L'ouvrabilité d'un mortier se mesure à l'aide de divers appareils. Les plus connus sont:

a. Table à secousses

Après le démoulage du mortier, ce dernier reçoit 15 chocs en 15 secondes. On mesure le diamètre de la galette ainsi obtenue. L'étalement en % est donné par la formule:

$$E\% = 100 (D_r - D_i) / D_i$$

Avec :

D_r : Diameter final

D_i : Diameter initial

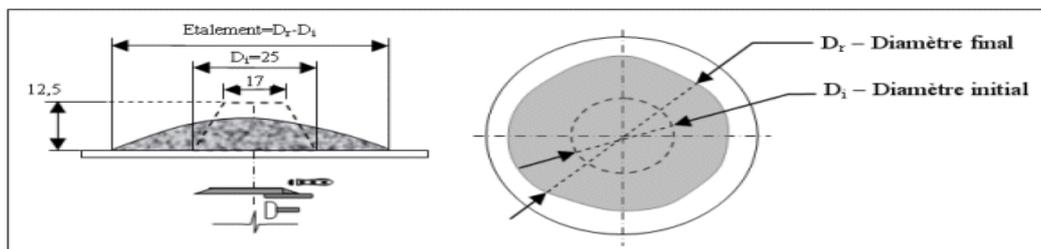


Figure II. 3: Table à secousses.

b .Le cône

Dans le cas d'un mortier fluide, on peut mesurer le temps d'écoulement d'une certaine quantité de mortier au travers d'un ajustage calibré situé à la partie inférieure d'un cône. Le cône peut aussi être muni d'un vibreur[46].

II.7.1.2. Prise

Le temps de prise se mesure habituellement sur une pâte pure de ciment de consistance normale (24 à 30% d'eau) et conformément à la norme concernée (à l'aide de l'appareil de Vicat). Il est possible d'obtenir (hors norme) le temps de prise d'un mortier avec le même appareillage mais en plaçant une surcharge de 700g sur le plateau supérieur. Le poids de l'aiguille pénétrant dans le mortier est de 1000g. Le début de prise est l'instant où l'aiguille s'arrête à 2,5 mm du fond (taille des plus gros grains de sable) et la fin de prise est l'instant où l'aiguille s'arrête à 2,5 mm du niveau supérieur [45].

II.7.1.3. Masse volumique

a. Masse volumique apparente

C'est la masse d'un corps par unité de volume apparent en état naturel (y compris les vides et les capillaires). Elle est exprimée en (g/cm^3 , kg/m^3 ou t/m^3).

b. Masse volumique absolue

Chapitre II : Généralités sur les mortiers

C'est la masse d'un corps par unité de volume absolu de matière pleine (volume de matière seule sans tenir compte les vides et les pores). Elle est exprimée en (g/cm^3 , kg/m^3 ou t/m^3) [50].

II.7.1.4. Porosité et compacité

a. La porosité

La porosité est le rapport du volume vide sur le volume total [45].

$$P = \text{volume de vide} / \text{volume totale}$$

b. La compacité

La compacité est le rapport du volume des pleins sur le volume total [45].

II.7.2. Comportement mécanique

II.7.2.1. Résistance a la compression

Est la propriété la plus utilisée dans le dimensionnement et la conception des ouvrages en béton et béton armé. Le béton est caractérisé par la résistance à la compression R_{c28} mesurée sur des éprouvettes écrasée à 28 jours selon la norme **NF EN 1239-3**.

II.7.2.2. Résistance a la traction

Elle est moins étudiée que la résistance en compression car le béton est conçu essentiellement pour résister a la compression et son comportement en traction est quasi fragile le comportement en traction du béton peut être identifié par l'essai de flexion sur trois points désignée par F_{t28} [46].

II.7.3. Comportement chimique

L'attaque externe se produit lorsqu'un matériau cimentaire se trouve en contact direct avec une source de sulfate, comme dans les sols, les eaux souterraines, les eaux d'infiltration, les pluies acides (acide sulfurique) liées à la pollution industrielle atmosphérique. Elle peut être décrite selon trois processus permettant d'évaluer l'agression :

- Le transfert dans le milieu poreux des ions sulfates qui est contrôlé par la perméabilité et la diffusivité du matériau ;
- Les réactions chimiques entre les composants de la pâte de ciment, qui dépendent du ciment utilisé, et les ions ;
- Le phénomène d'expansion, résultant de l'apparition de nouvelles phases cristallines et conséquence des deux premiers processus [47].

II.7.4. Changements volumétriques au jeune âge

Le volume du béton commence à varier peu de temps après sa mise en place. Les variations volumétriques au jeune âge, durant les premières 24 heures, peuvent influencer les

Chapitre II : Généralités sur les mortiers

changements volumétriques (comme le retrait de séchage) et la fissuration du béton durci, particulièrement dans le cas des bétons ayant un faible rapport eau/liants.

Les différentes formes de changements volumétriques au jeune âge sont les suivantes :

✓ Le retrait

Le retrait est la diminution du volume de mortier ou béton se mesurent sur des prismes $(4 \times 4 \times 16) \text{cm}^3$ en mortier 1/3, munis de plots à leurs extrémités (figure II. 6) et conservés, après démoulage, dans une enceinte à 20°C et à 50 % d'humidité relative. Ce retrait progresse à peu près comme le logarithme entre 1 et 60 jours. Le mortier prend son retrait plus rapidement que la pâte pure. Le rapport du retrait de la pâte pure sur le retrait du mortier croît avec le temps. Il est de l'ordre de 1,5 à 2,5 les premiers jours, puis augmente pour atteindre 2,5 à 3,5 en un an [45].

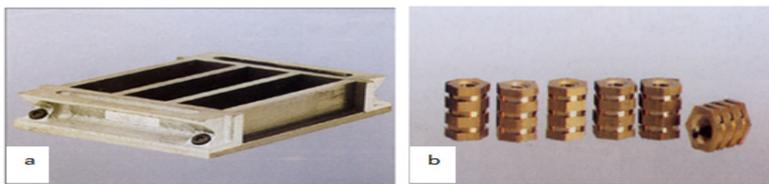


Figure II. 4:a) moule des prismes $(4 \times 4 \times 16) \text{cm}^3$; b) plots.

✓ Gonflement

Le gonflement des mortiers (qui se produisent lorsqu'ils sont conservés dans l'eau) se mesure sur les mêmes éprouvettes de $(4 \times 4 \times 16) \text{cm}^3$ conservées dans l'eau à 20°C . Ils sont en général assez faibles (cas de ciment stable ayant une expansion aux aiguilles de le Châtelier inférieure sur pâte pure à 10mm).

Le béton, le mortier et la pâte de ciment gonflent en présence d'eau externe. Le volume de la masse de béton augmente lorsque l'eau externe est aspirée dans la porosité capillaire pour y occuper les espaces vides créés par le retrait chimique. Il n'y a pas d'auto dessiccation, donc il n'y a pas de retrait endogène. L'eau extérieure peut être apportée par un mûrissement humide ou par une immersion complète. Le gonflement résulte des effets de la croissance cristalline, de l'absorption d'eau et de la pression osmotique. Ce gonflement au jeune âge est relativement faible, soit environ 50×10^{-6} (figure II.7) Lorsque le béton n'est plus en contact avec de l'eau externe, le gonflement s'arrête et les retraits endogènes et de séchage engendrent une contraction du béton [49].

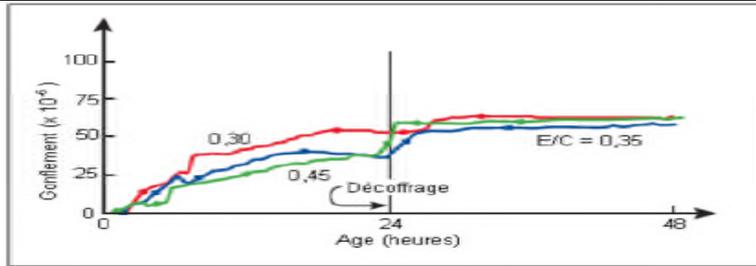


Figure II. 5: Gonflement au jeune âge d'un échantillon de béton mûri dans l'eau.

II.9. Le rôle du mortier

La pâte plastique obtenue peut jouer plusieurs rôles essentiels :

- Assurer la liaison, la cohésion des éléments de maçonnerie entre eux, c'est-à-dire la solidité de l'ouvrage, le rendre monolithique ;
- Protéger les constructions contre l'humidité due aux intempéries ou remontant du sol ;
- Sous forme d'enduits aériens ;
- Sous forme d'écrans étanches ;
- Constituer des chapes d'usure, un pour dallages en béton ;

Devenir la matière première dans la fabrication de blocs manufacturés, carreaux, tuyaux divers éléments moulés ;

- Etre le constituant essentiel du béton ;
- Consolider certains sols de fondations sous forme d'injections [50].

II.10. Certains travaux de recherches effectuées sur les bétons fibrés

Au cours de ces trente dernières années, les matériaux composites à base de béton renforcés de fibres ont eu un certain développement au niveau de leur conception, de leur fabrication et de leur utilisation dans le domaine du renforcement et de la réparation d'ouvrages de différents types.

Plusieurs recherches ont été menées sur l'utilisation des fibres dans les bétons, et chacune de ces recherches ont abouties à des résultats.

Dans ce qui suit nous allons présenter quelques-unes de ces recherches

II.10.1. Comportement mécanique des mortiers fibrés à des températures élevées

M. Ezziane, R. Jauberthie, T. Kadri et A. Bouhaloufa (26 -27 octobre 2010), ont étudié l'effet de la température élevée atteint (400 et 1000°C) sur des mortiers fibrés à de tau (0,58%) et les résultats sont comme suit :

➤ Résistance à la compression

La (figure. II.8) présente l'évolution de la résistance en compression des mortiers ordinaires fibrés et non fibrés, en fonction de la température à laquelle ils ont exposés.

Chapitre II : Généralités sur les mortiers

L'introduction des fibres a nettement contribué à l'amélioration de la résistance en compression lors des expositions entre 400 et 700°C (environ 30%).

La perte de contrainte est définie par la relation : $(\sigma_i - \sigma_T) / \sigma_i$

- σ_i : contrainte à la rupture par compression pour l'échantillon non traité thermiquement ;

- σ_T : contrainte à la rupture par compression pour l'échantillon traité à la température T.

Au-delà de 500°C, la perte de résistance en compression sur la résistance initiale dépasse les 30% (Figure. II.9), par conséquent au-delà de ce seuil, les fibres n'apportent aucune amélioration sur les résistances à la compression résiduelles.

A partir de 800°C, la résistance du mortier fibré est moindre que celle du mortier non fibré. Cette différence peut être attribuée au phénomène d'écaillage qui est important sur les mortiers renforcés (Figure. II.9). Ce comportement est fonction de la sollicitation thermique (vitesse d'échauffement et température atteinte), de la forme de l'élément, de la densité des fibres et de la porosité du mortier [51].

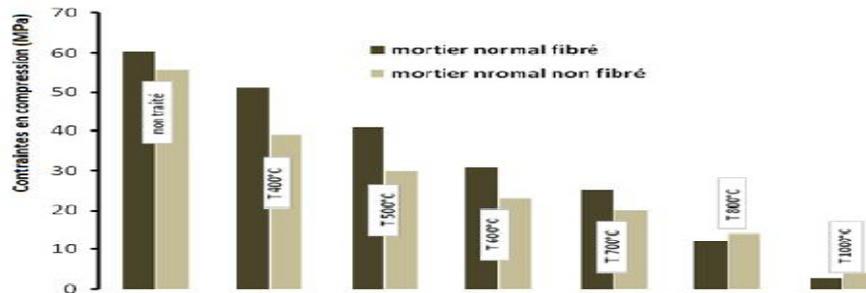


Figure II. 6: Evolution de la résistance en compression des mortiers en fonction de la température

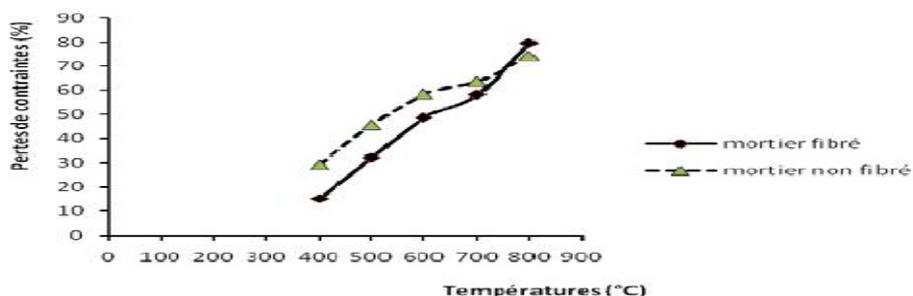


Figure II. 7: Pertes de la résistance en compression sur la résistance initiale.

➤ Résistance à la traction

L'analyse des résultats d'essais de traction par flexion 4 points indique que la résistance des mortiers renforcés par des fibres d'acier est nettement supérieure à celle des mortiers ordinaires (Figure II.10). De plus, les résistances résiduelles des mortiers fibrés sont nettement supérieures à celles des mortiers non fibrés et ceci quelle que soit la température de chauffage atteinte [51].

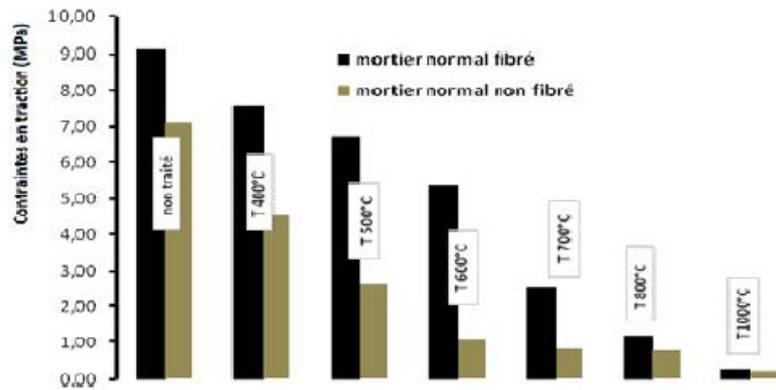


Figure II. 8: Evolution de la résistance en traction par flexion 4 points des mortiers chauffés.

II.10.2. Effet des fibres métalliques sur la caractérisation et les variations dimensionnelles et pondérales des matrices cimentaires renforcées de fibres

Setti Bakhti (26 –27 octobre 2010), a étudié l’effet des fibres métalliques sur la caractérisation et les variations dimensionnelles et pondérales des matrices cimentaires renforcées de fibres et les résultats sont comme suit :

-Des essais de retrait libre ont été effectués sur des éprouvettes $7*7*7\text{ cm}^3$, munis de plots aux extrémités. En même temps que le retrait, ce travail s'est intéressé à mesurer la perte en poids des éprouvettes. Dans cette étude, une évaluation de la performance à moyen et longterme est présentée pour les différents types de mortiers. Deux types de fibres, avec deux pourcentages en volume (1.0%) et (2.0%), utilisant une même composition de base pour tous les mortiers. Les résultats sont reportés sur les (figures II.11.a ; II.11.b ; II.11.c) ; on peut constater que les fibres diminuent le retrait, cette diminution est de l'ordre de 16 % par rapport au témoin pour le dosage de 1 % de fibres, et de 27 % pour le dosage de 2 % [52].

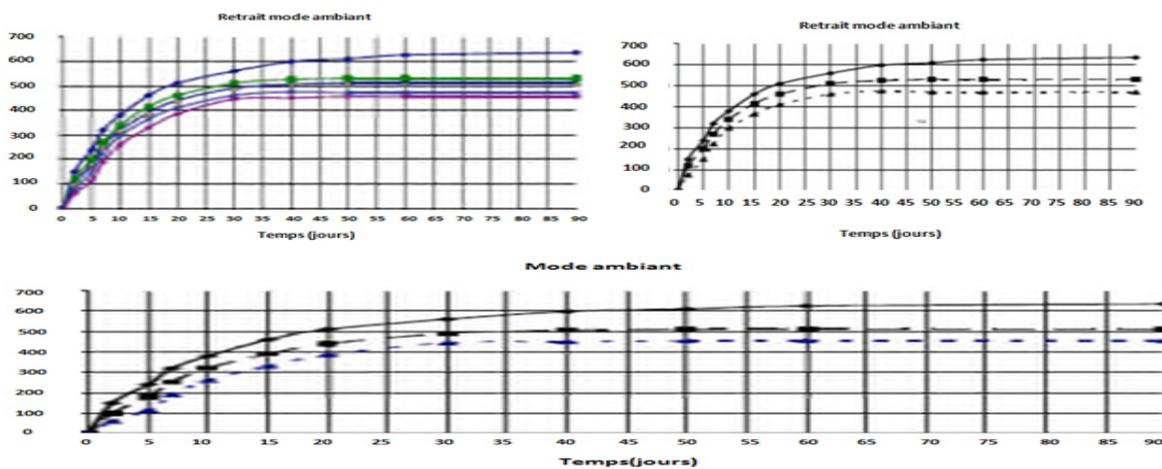


Figure II. 9: a) Influence de la nature des fibres le retrait sur le retrait (1% et 2%) mode ambiant. b) Influence de % sur fibre industrielles. c) Influence du % sur le retrait avec (fibres copeaux) Mode ambiant.

MT : Mortier témoin.

Chapitre II : Généralités sur les mortiers

MC10 : Mortier renforcé de 1 % de fibres copeaux d'acier.

MC20 : Mortier renforcé de 2 % de fibres copeaux d'acier.

MF10 : Mortier renforcé de 1 % de fibres métallique industrielles.

MF20 : Mortier renforcé de 2 % de fibres métallique industrielles.

On constate que les fibres diminuent le retrait, cette diminution est de l'ordre de 16 à 20% par rapport au mortier sans fibres à 90 jours. Il y a très peu de différence entre les deux types de fibres (environ de l'ordre de 9 %). Après une longue durée, l'action des fibres est plus précise [52].

II.10.3. Influence de l'introduction de fibres métalliques sur le comportement différé d'une matrice cimentaire

Mme BENTALHA(2007), a étudié l'effet d'influence de l'introduction de fibres métalliques sur le comportement différé d'une matrice cimentaire et les résultats sont comme suit :

-Dans cette recherche ils ont pris quatre types de bétons ; un béton renforcé de fibres métalliques, deux bétons renforcés de copeaux métalliques et enfin un béton témoin sans fibres. Les histogrammes dans les (Figure II.12.a, II.12.b) nous montre la résistance à la compression et à la traction des quatre types de béton [53] :

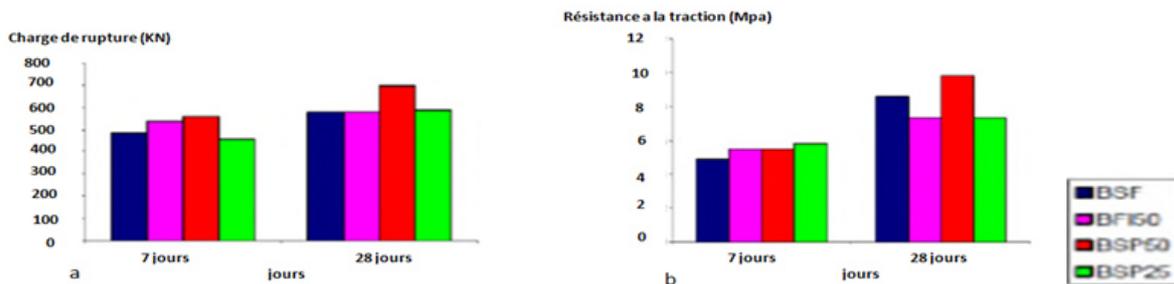


Figure II. 10:a) Histogramme de Résistances à la traction. b) histogramme de charges de rupture à la compression.

BSF : béton sans fibre

BFI50 : béton avec fibres industrielles

BSP50 : béton avec 50% sous-produit

BSP25 : béton avec 25% sous-produit

Pour les résistances à la compression, les résultats indiquent que les fibres industrielles ont une augmentation très peu importante.

À la traction il y'a une augmentation de la résistance pour tous les bétons, On constate que les BSP25 réagissent comme les bétons témoins, cela peut s'expliquer par la dimension des fibres qui se rapprochent de la dimension d'un gros granulats et fonctionnent ainsi comme un béton sans fibres. Il y a une nette augmentation de la résistance à la traction pour tous les mélanges de 7 à 28 jours [53].

Chapitre II : Généralités sur les mortiers

II.10.4. Valorisation et recyclage des déchets plastiques dans le Béton

Benimam Samir, DebiebFarid, Bentchikou Mohamed et Guendouz Mohamed, ont étudié l'effet de valorisation et recyclage des déchets plastiques dans le béton ils ont utilisé trois types de déchets plastiques (GP), fibres (ondulées (FPO) et rectilignes (FPR)) sont ajoutés dans le mortier et béton à pourcentages de substitutions (0 ; 5 ; 10 et 20 % de grains plastiques par rapport à la masse du gravier) et d'incorporation (0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 et 2 % de fibre plastique (forme rectiligne ou ondulée) par rapport à la masse du ciment) et les résultats sont comme suit :

-La composition du béton pour la confection des éprouvettes est basée sur la méthode de Dreux Gorisse donnée pour un dosage en ciment de 350 kg/m^3 avec un rapport de G/S égal à 1,74 et E/C égal à 0.5 Après démoulage des éprouvettes à 24 h conservation se fait dans l'eau (20°C) sauf pour les éprouvettes destinées aux essais de retrait et d'absorption capillaire qui sont conservés à l'air libre (20 à 30°C et 50 à 60% d'humidité relative). Pendant de la confection des éprouvettes, ils ont remarqué que les bétons des déchets plastiques (BDP) sont peu compacts par rapport au béton témoin (BT) et le temps d'écoulement des différents bétons est illustré dans les (Figures II.13.a et II.13.b) et les densités des bétons de déchets plastiques sont plus faibles [54].

➤ état frais

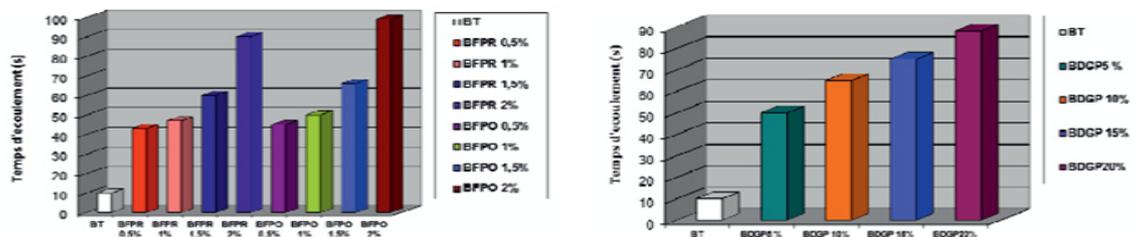


Figure II. 11: Temps d'écoulement des bétons types BFP et BDGP [56].

➤ Etat durci

D'après les (figures II.14.a et II.14.b) ils remarquent que la cinétique de la résistance du béton à base de déchets plastiques est comparable à celle de béton témoin et que le béton gagne en résistance en fonction du pourcentage d'ajout en déchets plastiques.

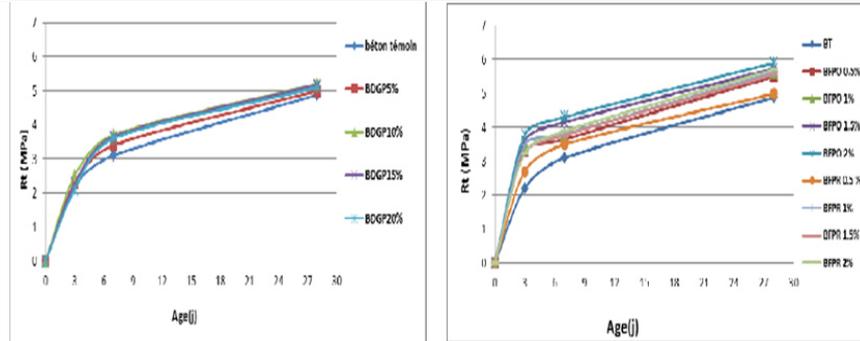


Figure II. 12: Résistance à la traction des bétons types BDGP et BFP[54].

II.10. Conclusion

Cette synthèse bibliographique à montre que nombreux produits peuvent être utilisés dans la formulation du mortier et aussi le béton pour :

- Améliorer certaines propriétés mécaniques et physiques ;
- Et aussi l'effet, l'action des additions minérales sur la matrice cimentaire ;
- Les différents types des adjuvants utilisés pour les formulations des bétons/mortiers.

Dans cette revue bibliographique, notre objectif était de définir les différents constituants du mortier, les mécanismes d'action, et sa caractérisation.

Nous envisageons dans cette recherche sur la consommation des mortiers au niveau mondial.

- Les différents types des mortiers et ces classes ;
- Type et choix d'un mortier en fonction de la Performance.

Notre recherche bibliographique s'appuie sur la normalisation française et européenne a permis de dégager les principaux arguments sur lesquels nous appuyons notre approche méthodologique.

CHAPITRE III : Partie expérimentale

Partie 1 :Caractéristiques des matériaux utilisés et Formulation

Partie I Caractéristiques des matériaux utilisés et Formulation

III.1.1. Introduction

Dans cette partie, on s'intéresse à la présentation des matériaux et des méthodes utilisées pour réaliser les différents essais expérimentaux de la recherche. Tous les essais sur les mortiers, ainsi que les méthodes de contrôle ont été effectués suivant les normes Européennes et Algériennes en vigueur.

L'objectif de notre travail est de faire une étude comparative sur des mortiers à base de deux types de fibres telles que : la fibre plastique (FP), et la fibre métallique (FM) dont les pourcentages varient de 1% et 1,5% pour chaque fibre, et de même longueur et largeur.

Cette partie est réalisée au niveau du laboratoire pédagogique du département Génie Civil De Pole Université De Bouira.

III.1.2. Matériaux utilisés

Le mortier normal est un mortier qui sert à définir certaines caractéristiques d'un ciment et notamment sa résistance. Ce mortier est réalisé conformément à la norme **EN 196-1**.

La norme décrit le sable utilisé pour les essais ainsi que le malaxeur.

III.1.2.1. Le ciment

Le ciment utilisé est un ciment portland composé **CPJ-CEMII / A42,5N**, de provenance de la cimenterie de Sour el Ghoulane, dont les caractéristiques techniques sont données par la fiche technique de contrôle de qualité du ciment récupérée du laboratoire de contrôle de qualité de l'entreprise (**Voir l'annexe**), les propriétés essentielles du ciment sont résumées dans les tableaux suivants :

Tableau III. 1: Les caractéristiques physicomécaniques du ciment.

Désignations		Unité	Exigences	Moyenne
Poids spécifique		g/cm ³		03,09
SSB		cm ² /g		4000
Consistance Normale		% H ₂ O		26,11
Temps de prise	Début	min	≥ 60%	151
	Fin	min		322
Expansion à chaud		mm	≤ 10%	02,79
Chaleur d'hydratation à (41 h)		J/ g	270	238,8
Refus sur tamis 45 µm		%		15,58
Résistance à la flexion	02 J	MPa		04,56
	07 J	MPa		06,12
	28 J	MPa		06,92
Résistance à la compression	02 J	MPa	≥ 10	19,94
	07 J	MPa		34,92
	28 J	MPa	Li ≥ 42,50 Ls ≤ 62,50	43,53

Tableau III. 2:Composition chimique ciment CPJ-CEMII / A42, 5N.

Composés	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	Cl-	CaOl	PAF à 1000 C°
Pourcentage %	20,06	03,99	03,04	61,57	01,62	00,54	00,26	00,06	< 0,001	1,56	7,16

III.1.2.1.1. Essai de prise sur la pâte de ciment à l'état frais

➤ Objectif de l'essai

Déterminer les temps de début et de fin de prise des pâtes pures des ciments étudiés conformément à la norme **EN 196-3**.

➤ Principe de l'essai

Le début de prise correspond au moment où l'on constate une augmentation relativement brusque de la viscosité de la pâte de consistance normalisée avec échauffement. L'appareil utilisé est l'appareil de Vicat équipée d'une aiguille de Vicat. Quand la partie mobile est libérée l'aiguille s'arrête à une distance **d** du fond du moule telle que **d = 4mm ± 1mm**. La fin de prise correspond au moment où la pâte est devenue un bloc rigide, le moment où l'aiguille ne s'enfonce plus dans la pâte que de 0,5mm.

➤ Équipement nécessaire utilisé

- Une armoire maintenue d'une manière continue à une température de 20°C ± 2°C et à une humidité relative supérieure ou égale à 90% ;

- Appareil de Vicat est équipé de :

*une aiguille de 1,13mm + porte aiguille ;

*masse mobile de 1000g (partie mobile 300g + masse 700g).

➤ Conduite de l'essai

Le mode opératoire de l'essai est fixé par la norme **EN 196-3** :

- confectionner une pâte normalisée. Le temps zéro est celui où le ciment a fini d'être ajouté à l'eau dans la cuve du malaxeur. La consistance recherchée de la pâte, une fois atteinte, la pâte est introduite dans le moule tronconique comme indiquée pour l'essai de consistance ;

- Remplir le moule tronconique, et agrafer la face supérieure ;

- Mettre le moule dans l'armoire en attendant, que la prise soit commencée ;

- Quand le moment supposé du début de prise approche, on fait sortir le moule de l'armoire et on le met sur le socle de l'appareil ;

- Immobiliser l'aiguille au contact de la pâte ;

- Libérer la partie mobile sans vitesse initiale ;

- Relever la distance **d** séparant l'extrémité de l'aiguille de la plaque de base ;

Partie 1 Caractéristiques des matériaux utilisés et Formulation

- si l'arrêt se produit à une distance $d = 4\text{mm} \pm 1\text{mm}$; La prise est commencée ;
- si non, on retourne le moule dans l'armoire qu'on le sortira qu'à intervalles de temps convenablement espacés jusqu'à ce que $d = 4\text{mm} \pm 1\text{mm}$;
- On retourne le moule tronconique utilisé pour la détermination du début de prise de façon que les essais de fin de prise soient faits sur la face du moule en contact avec la plaque de base voir la (figure III.1).

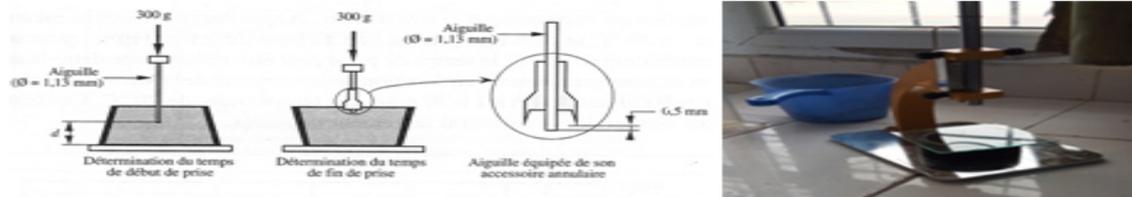


Figure III. 1: Début et de fin de prise.

➤ Résultats Obtenus

Tableau III. 3: Temps de début et de fin de prise.

Début de prise (mn)	Fin de prise (mn)	Temps de prise (mn)
137 min (2h et 17min)	310 min (5h et 10 min)	173 min (2h et 53 min)

➤ Interprétation des résultats

Le début de prise se manifeste après 2h et 17 min ce ciment est donc classé en catégorie des liants à prise lente.

III.1.2.2. Eau de gâchage

L'eau de gâchage est en fonction du rapport (E/C), et pour la formulation de nos mélanges on a utilisée l'eau du robinet du laboratoire GC.

III.1.2.3. Sable

Le sable utilisé est de classe (0/5), afin de contre-pôle la qualité du sable, plusieurs essais ont été effectués à savoir :

III.1.2.3.1. Analyse granulométrique

Analyse granulométrique par tamisage du sable selon la norme (NF P 18-560)

➤ But de l'essai

Pour de nombreux travaux de construction et pour l'exécution de nombreux essais, il est nécessaire de connaître certaines caractéristiques des matériaux utilisés, caractéristiques qui représentent: les dimensions, la forme, la masse volumique, porosité, teneur en impureté, de l'échantillon qui a été prélevé.

Partie 1 Caractéristiques des matériaux utilisés et Formulation

L'analyse granulométrique est la première de ces recherches, elle caractérise les granulats en déterminant la grosseur des grains qui les constituent, et les pourcentages des grains de chaque grosseur [55].

➤ **Matériels utilisés**

Ce sont des tamis Tamiseuse

-Une balance ;

- Échantillon bien sur.



Figure III. 2: Tamiseuse et tamis de laboratoire.

➤ **Principe de l'essai**

L'essai consiste à classer les différents grains constituant l'échantillon en utilisant une série de tamis, emboîtés les uns sur les autres, dont les dimensions des ouvertures sont décroissantes du haut vers le bas. Le matériau étudié est placé en partie supérieure des tamis et le classement des tamis et le classement des grains s'obtient par vibration de la colonne de tamis.

➤ **Conduite de l'essai**

-Préparation de l'échantillon pour l'essai

L'échantillon doit être préparé suivant les prescriptions de la norme **P 18-553**. La masse M de l'échantillon pour essai doit être supérieure à $0,2 D$, avec M exprimé en kg et D est la plus grande dimension spécifiée en mm. Les résultats sont représentés dans le tableau et la courbe granulométrique suivantes (**Voir l'annexe**) :

Tableau III. 4: Analyse granulométrique de sable.

Ouverture des tamis (mm)	Refus cumulés(g)	Teneur(%)	
		Refus cumulés	Tamisât cumulé
6,3	00,00	00,00	100,00
5	03,00	00,30	99,70
4	06,00	00,60	99,40
3,15	38,00	03,80	96,20
2,5	139,00	13,90	86,10
2	280,00	28,00	72,00
1,25	509,00	50,90	49,10
0,63	693,00	69,30	30,70
0,53	726,00	72,60	27,40
0,5	768,00	76,80	23,20
0,315	843,00	84,30	15,70
0,16	920,00	92,00	08,00
0,08	958,00	95,80	04,20
FT	1000	100	00,00

La (Figure III.3) suivante représente la courbe granulométrique du sable utilisé dans notre travail

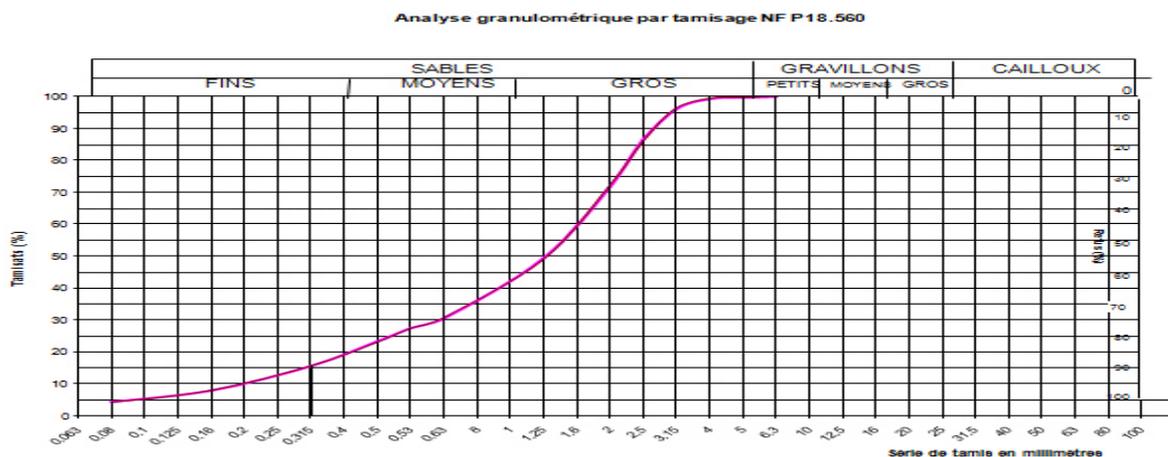


Figure III. 3: la courbe granulométrique de sable.

III.1.2.3.2. Module de finesse

Le module de finesse est déterminé selon la norme (NF P 18-540), qu'est égal au:

$$MF = \frac{1}{100} \sum \text{Refus cumulés en \% des tamis } \{0,16 ; 0,315 ; 0,63 ; 1,25 ; 2,5 ; 5 \}$$

Donc notre module de finesse égale a 3,107

Remarque

On remarque que notre sable a un module de finesse égale « **Mf = 3,107** », ce qui permet de classer le sable utilisé dans ce travail comme un sable grossier.

III.1.2.3.3. Masse volumique

a. Masse volumique absolue

Partie 1 Caractéristiques des matériaux utilisés et Formulation

Cet essai est régi par la norme **NFP 18-301**; elle est définie comme étant la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat sans tenir compte des vides pouvant exister entre les grains [56].

Mode opératoire :

Dans cette étude nous avons utilisé la méthode de l'éprouvette graduée, elle est simple, rapide et utilise le matériel courant du laboratoire. Cette méthode consiste à remplir une éprouvette graduée avec un volume V_1 d'eau, ensuite peser un échantillon sec M_s de granulats (environ 300g) et l'introduire dans l'éprouvette en prenant soin d'éliminer toutes les bulles d'air, le liquide monte dans l'éprouvette. Lire le nouveau volume V_2 , la masse volumique absolue est alors donnée par la formule suivante : [56].

$$\rho_s = (M_s / V_2 - V_1)$$

ρ_s : Masse volumique absolue ;

M_s : Masse des grains solides ;

V_1 : Volume de l'eau ;

V_2 : Volume total (grains + solide).

$$\rho_s = 2,3 \text{ g / cm}^3$$

b. Masse volumique apparente

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

➤ **Mode opératoire :**

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

$$\rho_a = (M_s / V)$$

ρ_a : Masse volumique apparente ;

M : Masse totale de l'échantillon : 976 g ;

V : Volume total de l'échantillon : 600 cm^3 .

$$\rho_a = 1,62 \text{ g / cm}^3$$

III.1.2.3.4. Equivalent de sable Cet essai est régi par la norme **NFP 18-598**; utilisé de manière courante pour évaluer la propreté des sables entrant dans la composition des bétons ou des mortiers, en déterminant la proportion des impuretés argileuses contenu dans le sable [56].

➤ **Principe de l'essai**

Partie 1 Caractéristiques des matériaux utilisés et Formulation

L'essai est effectué sur la fraction 0/5 mm du matériau à étudier, il consiste à laver l'échantillon avec une solution la vante permettant de séparer les éléments fins argileux et en provoque la floculation, selon un processus normalisé, puis en laisse reposer le tout, au bout de 20 minutes, ensuite on mesure les hauteurs h_1 , h_2 , (Figure III.6).

Enfin nous déduisons l'équivalent de sable qui, par convention est [56] :

$$E_s = (h_2 / h_1) \cdot 100$$

E_s : Equivalent de sable (%);

h_1 : Hauteur de sable (propre + éléments argileux);

h_2 : Hauteur (sable propre seulement).

D'après l'essai réalisé on a obtenu les résultats suivante :

Tableau III. 5: Résultats d'équivalent de sable.

Numéro d'essai	Visuel (cm)	Piston (cm)
Essai 1	$h_1=10,9$ $h_2=8,6$	$h_p=8,7$
Essai 2	$h_1=11,6$ $h_2=8,9$	$h_p=9,1$
ES %	77,85	79,13

Esp : 79,13 % (équivalent de sable au piston).

Tableau III. 6: Les valeurs d'équivalent de sable indiquant la nature et qualité du sable.

ES visuel	ES au piston	Nature et qualité du sable
$ESV < 65\%$	$ESP < 60\%$	Sable argileux : risque de gonflement. Sable à rejeter pour des bétons de qualité.
$65\% < ESV < 75\%$	$60 \leq ESP < 70\%$	Sable légèrement argileux de propreté admissible n'a pas de conséquence notable sur la qualité du béton.
$75\% \leq ESV < 85\%$	$70\% \leq ES < 80\%$	Sable propre à faible proportion de fines argileuses convenant parfaitement pour les bétons de haute qualité.
$ESV \geq 85\%$	$ESP \geq 80\%$	Sable très propre : l'absence presque totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra compenser par une augmentation du dosage en eau.

D'après le résultat obtenu et le (tableau III.7) il s'agit d'un sable propre. Alors nous pouvons conclure qu'il y'a une quantité faible des fines argileuses convenant parfaitement pour les bétons de haute qualité, risquant d'entraîner un défaut de plasticité du béton ou mortier qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau ou par l'utilisation d'un adjuvant.

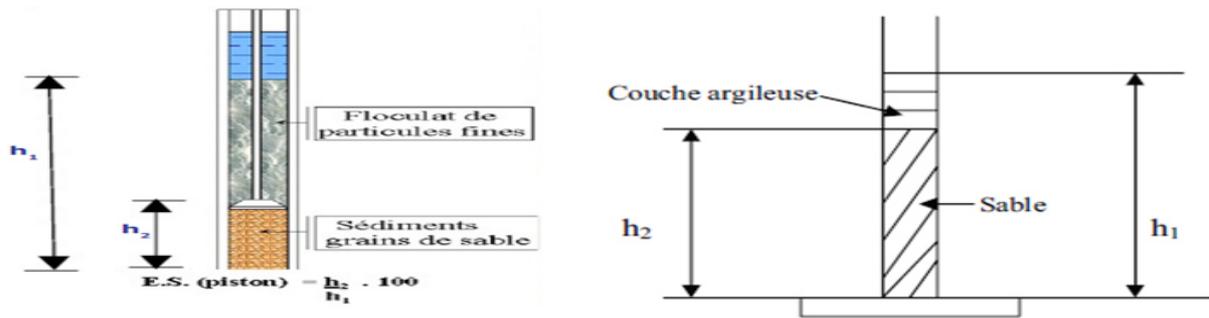


Figure III. 4: Dispositif de l'essai d'équivalent de sable.

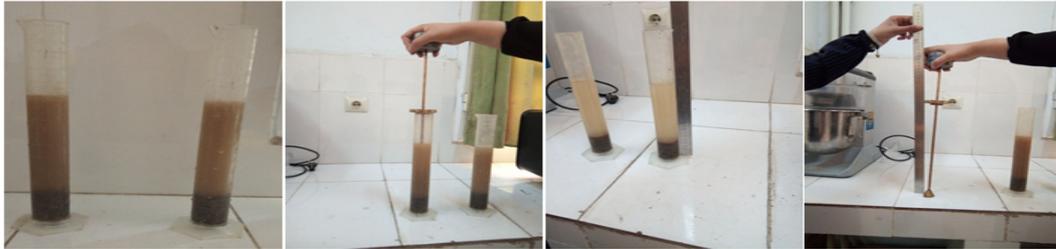


Figure III. 5: Les étapes de l'essai d'équivalent de sable.

Les caractéristiques physiques de sable sont mesurées dans le tableau suivant :

Tableau III. 7: caractéristique physique du sable.

Caractéristiques physiques du sable	La valeur
Masse volumique apparente (g/cm ³)	1,62
Masse volumique absolue (g/cm ³)	2,30
Equivalent de sable Esv	77,85%
Equivalent de sable Esp	79,13%
Densité absolue	2,69

III.1.2.4. Les Fibres

III.1.2.4.1. Fibres métalliques (déchet Pneumatique)

Les fibres utilisées dans cette étude sont des fibres de nature métalliques issues de l'incinération des pneus usés, (Figure III.6). Le choix de la fibre a été fait dans le but d'une valorisation d'un déchet industriel.



Figure III. 6: Déchets métalliques des pneumatiques.

Partie 1 Caractéristiques des matériaux utilisés et Formulation

III.1.2.4.2. Fibre plastique (feuillard en polyester)

Dans le but de valoriser les déchets plastiques vient l'idée d'utiliser les feuillards en polyester (Figure III.7) et les introduire dans notre matériau afin d'améliorer sa résistance à la flexion. Et la Figure ci-dessus présente un échantillon des déchets plastique utilisés.



Figure III. 7: Déchets Feuillard en polyester.

➤ La Masse volumique absolue des fibres métalliques et plastiques

Cet essai est régi par la norme **NFP 18-301**; elle est définie comme étant la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat sans tenir compte des vides pouvant exister entre les grains [56].

Dans cette étude nous avons utilisé la méthode de l'éprouvette graduée on a réalisé 3 essais pour prendre la moyenne :

$$\rho_s = (M_f / V_2 - V_1)$$

ρ_s : Masse volumique absolue ;

M_f : Masse des fibres ;

V_1 : Volume de l'eau ;

V_2 : Volume total (fibre + eau).

III.1.2.4.3. Les Caractéristiques physiques des fibres plastiques et métalliques

Tableau III. 8: Les Caractéristiques physiques des fibres plastiques et métalliques.

Fibre	La masse volumique absolue ρ_s (g/cm ³)	Longueur (mm)	Largeur (mm)	Epaisseur (mm)
Métallique	6,47	50	2	1
Plastique	1,71	50	2	0,5

III.1.2.5. L'adjuvant

Afin d'assurer une fluidité aux mélanges étudiés, on a utilisé un adjuvant de type Super plastifiant/Haut réducteur d'eau polyvalent de la nouvelle génération (Figure III.8), conforme à la norme **NF EN 934-2**, pour bétons prêts à l'emploi, issu de la boîte « **SIKA-Algérie** » (Voir l'annexe), le pourcentage du super plastifiant est choisi selon les essais préliminaires sur mortiers ayant donné une meilleure fluidité, on a retenu le pourcentage de 0,5 % par rapport au dosage du ciment, il est important de signaler que l'adjuvant est rajouté après dilution dans l'eau durant cinq minutes, afin d'assurer une bonne dissolution et une meilleure homogénéisation.



Figure III. 8: Adjuvant SIKA VISCOCRETE 655.

III.1.3.Équipement nécessaire utilisé dans tous les essais

L'ensemble est décrit de manière détaillée par la norme **EN 196-1**. Il est énuméré ci-dessous ;

- Des tamis et Tamiseuse ;
- Une balance ;
- Une balance électrique ;
- Un malaxeur normalisé ;
- Des moules normalisés à trois compartiments horizontaux permettant la préparation de trois éprouvettes prismatiques de section transversale de $(4 \times 4) \text{ cm}^2$ et de 16 cm de longueur ;
- Une machine d'essais de résistance à la flexion permettant d'appliquer des charges jusqu'à 10 KN avec une vitesse de mise en charge de $50 \text{ N/S} \pm 10 \text{ N/S}$;
- Une machine d'essais à la compression permettant d'appliquer des charges jusqu'à 150 KN (ou plus) avec une vitesse de charge de $2400 \text{ N/S} \pm 200 \text{ N/S}$;
- Un appareil à choc, la hauteur de chute est de $15 \text{ mm} \pm 0,3 \text{ mm}$ à la fréquence d'une chute par seconde pendant 60 s.

III.1.4.Formulation des mortiers

Afin de cerner notre étude, concernant l'effet d'ajouts des déchets métalliques des pneus et les déchets plastiques (fibre) sur les propriétés physicomécaniques des mortiers, nous avons préparé des éprouvettes $(4 \times 4 \times 16) \text{ cm}^3$ à base d'un mortier normal sans fibres, comme témoins, et des éprouvettes avec des renforts (fibres plastiques, fibres métalliques), en faisant varier les pourcentages des fibres : (1% ; 1,5%), l'incorporation des fibres s'effectue en fraction volumique par rapport au mélange total.

III.1.4.1.Dosage et pesée des constituants

➤ Pesée des constituants de mortier témoin (MT)

La masse des constituants nécessaires aux essais est déterminée en fonction des éprouvettes à préparer ; les pesées ont été réalisées avec une précision de 0,5 % selon la norme **EN**

Partie 1 Caractéristiques des matériaux utilisés et Formulation

1961. Dans le cas de la préparation de 3 éprouvettes (4×4×16) cm³, les quantités sont respectivement les suivantes :

- ✓ Sable → 1350±5g ;
- ✓ Ciment → 450±2g ;
- ✓ Eau → 225±1g ;
- ✓ Adjuvants → 2,25g ;
- ✓ Le rapport E /C d'un tel mortier est donc 0,5.



Figure III. 9: Les quantités des constituants des mortiers.

Mais dans notre travail nous avons préparé les quantités des constituants pour chaque éprouvette pour éviter le problème de décalage des fibres.

➤ Pesée des constituants de mortier fibrées

Dans notre partie expérimentale, on n'a élaboré plusieurs variantes (6 variantes) avec un rapport (E/C=0,5), le (tableau III.10), illustre les variantes à étudier, ainsi que leurs compositions en fonction de l'addition de deux types de fibres (fibre métallique, fibre plastique et mélange de deux fibres) à des différents pourcentages (1 % et 1,5%), dans notre partie expérimentale et dans chaque variante élaborée, on a pris trois (03) éprouvettes afin d'avoir une moyenne des résultats après trois essais pour chaque caractérisation.

Tableau III. 9: Dosage et pesée des constituants

N° de la Série	% des fibres plastique	Fibres plastique (g)	% des fibres métalliques	Fibres métalliques (g)	Ciment (g)	Sable (g)	Eau (g)
MT	0,00	0,00	0,00	0,00	450	1350	225
M+P 1%	1,00	4,37	0,00	0,00	450	1350	225
M+P 1,5%	1,50	6,56	0,00	0,00	450	1350	225
M+M 1%	0,00	0,00	1,00	16,56	450	1350	225
M+M 1,5%	0,00	0,00	1,50	24,80	450	1350	225
M+mél 1%	0,50	2,18	0,50	8,28	450	1350	225
M+mél 1,5%	0,75	3,28	0,75	12,42	450	1350	225

➤ Les différents mortiers étudiés sont notés comme suit :

MT : mortier normal sans fibre (Témoin) ;

M+P 1% : mortier fibré avec 1% fibre plastique ;

M+P 1,5% : mortier fibré avec 1,5% fibre plastique ;

M+M 1% : mortier fibré avec 1% fibre métallique ;

Partie 1Caractéristiques des matériaux utilisés et Formulation

M+M 1,5%: mortier fibré avec 1,5% fibre métallique ;

M+mél 1%: mortier fibré avec 0,5% fibre plastique et 0,5% fibre métallique ;

M+mél 1,5% : mortier fibré avec 0,75% fibre plastique et 0,75% fibre métallique.

III.1.4.2. Malaxage de mortier

Le mélange doit être effectué au moyen d'un malaxeur, les mortiers sont malaxés pendant 4 min conformément aux prescriptions de la norme :

- Introduire 80 % d'eau en premier dans la cuve du malaxeur ; y verser ensuite le ciment ; aussitôt après, mettre le malaxeur en marche à la vitesse lente pendant 30s.
- Introduire régulièrement le sable pour le mortier témoins pendant les 30s suivantes et pour les autres mortiers on mélange les fibres métalliques et plastiques au sable ;
- Verser la quantité d'adjuvant +20% quantité d'eau qui reste et mettre alors le malaxeur à sa vitesse rapide et continuer le malaxage pendant 30s supplémentaires ;
- Arrêter le malaxeur pendant 1min 30s. Pendant les 15 premières secondes enlever au moyen d'une raclette en caoutchouc tout le mortier adhère aux parois et au fond du récipient en le repoussant vers le milieu de celui-ci ;
- Reprendre ensuite le malaxage à grande vitesse pendant 60s ;



Figure III. 10:Malaxage des mortiers étudiés.

III.1.4.3. Préparation des éprouvettes

La norme **EN 196-1** décrit de manière détaillée le mode opératoire concernant la préparation des éprouvettes.

- On doit nettoyer les éprouvettes à l'aide d'une brosse métallique puis on les étale avec l'huile pour faciliter le démoulage ;
- On prépare le mortier comme indiqué au dessus ;
- On remplit un moule (4x4x16)cm³ qui doivent être graissés au préalable par le mortier préparé en deux couches en appliquant à chaque couche 60 chocs à l'aide d'appareil à chocs ;
- La face supérieure arasée, les moules sont mis à l'abri de l'air et de la lumière ;

Partie 1 Caractéristiques des matériaux utilisés et Formulation



Figure III. 11: les étapes de remplissage de l'éprouvette.

III.1.4.4. Démoulage des éprouvettes prismatiques

Le démoulage est exécuté après 24 heures de sa mise en moule, les éprouvettes de mortier, marquées et placés jusqu'au moment de démoulage, le démoulage doit être effectué avec précaution.



Figure III. 12: Les éprouvettes des tous les mélanges.

III.1.4.5. Conservation des éprouvettes

-Après le démoulage des éprouvettes, elles seront conservées dans un milieu humide (eau) à 20 °C ; et en attendant le moment de chaque essai mécanique (flexion et compression à 7 et 28 jours).

III.1.5. La masse volumique des mortiers à l'état frais et durci

La masse volumique apparente des mortiers étudiés sont déterminées par la pesée des masses correspondantes par rapport à leurs volumes, en utilisant la loi suivante :

$$M_v = \frac{m}{v} (\text{g/cm}^3)$$

Où : **m** : La masse en (g), **v** : Le volume en (cm³)

Le résultat des essais physiques des différentes variantes élaborées, notamment les valeurs des masses volumiques à l'état frais et durci à 7 et 28 Jours sont illustrés dans le tableau et l'histogramme suivants :

Tableau III. 10: Résultat des masses volumiques des variantes étudiées.

Variantes	Masse volumique (g/cm ³)		
	Etat frais	7 Jours	28 Jours
Témoins	2,20	2,20	2,23
M+P 1%	2,33	2,28	2,27
M+P 1,5%	2,36	2,26	2,30
M+M 1%	2,45	2,37	2,39
M+M 1,5%	2,45	2,39	2,41
M+mél 1%	2,53	2,47	2,45
M+mél 1,5%	2,52	2,40	2,43

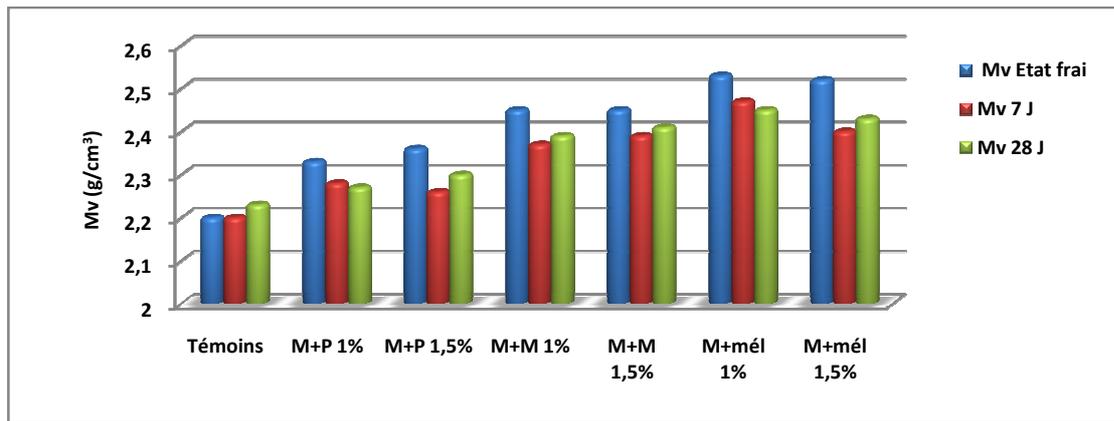


Figure III. 13: Histogramme des résultats des masses volumiques des différentes variantes.

NB :

- On remarque que la masse volumique à l'état frais est inférieure à la masse volumique à l'état durci dans le mortier témoins ; et supérieure dans les autres variantes ;
- Les valeurs de la masse volumique à l'état frais est presque stable dans toutes les variantes en fonction de pourcentage ;
- On remarque que la masse volumique à l'état durci des éprouvettes augmente en fonction de l'âge (7 et 28 jours) dans toutes les variantes ; sauf dans la variante mortier plus 1% des fibres plastiques et mortier plus 1% de fibres mélange.

Partie 2 :Essais mécaniques et procédures expérimentale et résultats et discussions

Partie 2 : Essais mécaniques et procédures expérimentale et résultats et discussions

I.2.1.Introduction

Dans cette partie nous allons présenter des essais sur le comportement mécanique.

Parmi les caractéristiques importantes du mortier renforcé par des fibres métalliques ou plastiques, nous avons choisi de déterminer les résistances à la compression et à la flexion à 7 et 28 jours.

III.2.2.Essais mécaniques

III.2.2.1.Résistance à flexion

La flexion centrée de l'éprouvette (4x4x16)cm³ est effectuée sur une machine de flexion décrite par la norme NF EN 196-1(Figure III.14).

Les éprouvettes sont exposées à l'air libre pendant 20 minutes pour qu'elles acquièrent l'état normal d'humidité.

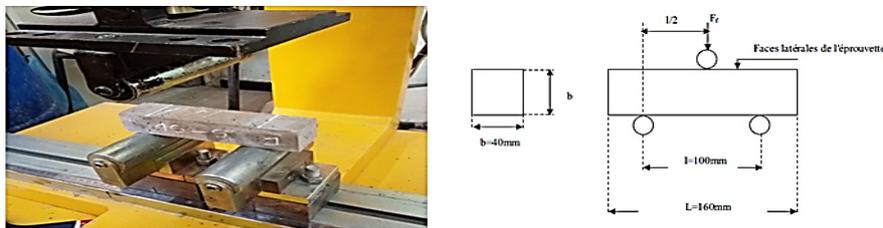


Figure III. 14:Dispositif d'essai de flexion trois points.



Figure III. 15:éprouvette après l'écrasement.

La résistance à la flexion est calculée selon l'équation suivante :

$$R_f = (1,50 \cdot F_f \cdot l) / b^3$$

Rf : Résistance à la flexion en (Mpa);

Ff : Charge de rupture de l'éprouvette en flexion (N);

l : Longueur qui sépare les deux appuis en (mm);

b : Côte de l'éprouvette est égal à 40mm;

L : Longueur totale de l'éprouvette.

III.2.2.2.Résistance à compression

Cet essai est régi suivant la norme EN 196-1, exécuté avec une presse pour matériaux durs, sur les demi-échantillons provenant de l'essai précédent. Chaque demi prisme est essayé en compression sur ces faces latérales de moulage sous une section de (40x40) mm², entre deux

Partie 2 : Essais mécaniques et procédures expérimentale et résultats et discussions

plaques de métal dur. Le demi-prisme est placé entre elle de manière que son extrémité intacte dépasse d'environ 1cm (Figure .III.16).

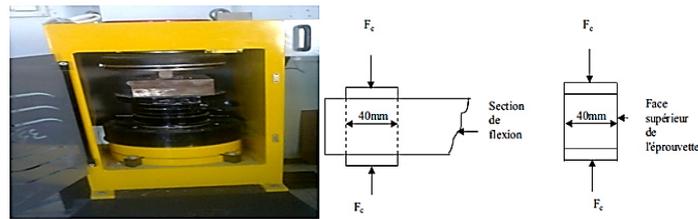


Figure III. 16: Dispositif d'essai en compression.



Figure III. 17: éprouvette après l'écrasement.

La résistance à la compression est calculée selon l'équation suivante :

$$R_c = F_c / b^2$$

R_c : Résistance à la compression en (Mpa);

F_c : Charge de rupture en (N);

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

➤ Les forces de rupture

Les forces de rupture sont affichées sur l'écran de l'ordinateur de Laboratoire de Génie Civil comme il est présenté dans la figure suivante :

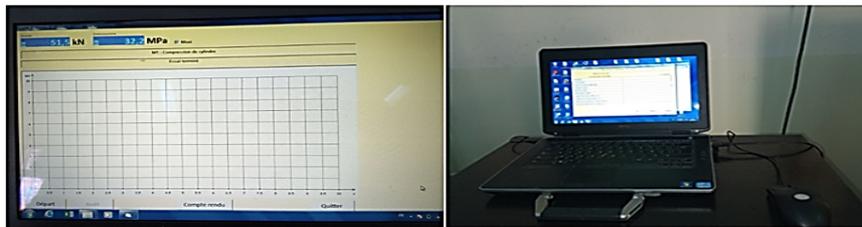


Figure III. 18: Ordinateur de laboratoire GC.

III.2. 3. Les Résultats

III.2.3.1. Résultats des essais en flexion par trois points

Les résultats obtenus lors d'essais mécanique en flexion des différentes éprouvettes issues des variantes étudiées dans ce travail, il y'a lieu de signalé que les valeurs présentées dans les tableaux et les histogrammes ci-après présentent les valeurs moyennes de chaque essai.

Tableau III. 11:Résistance à la flexion des mortiers fibrée avec de fibre plastique.

Variantes	Resistance a la flexion 7j	Resistance a la flexion 28j
M témoins	4,83	5,00
M+P 1 %	6,03	7,70
M+ P 1.5%	7,33	7,83

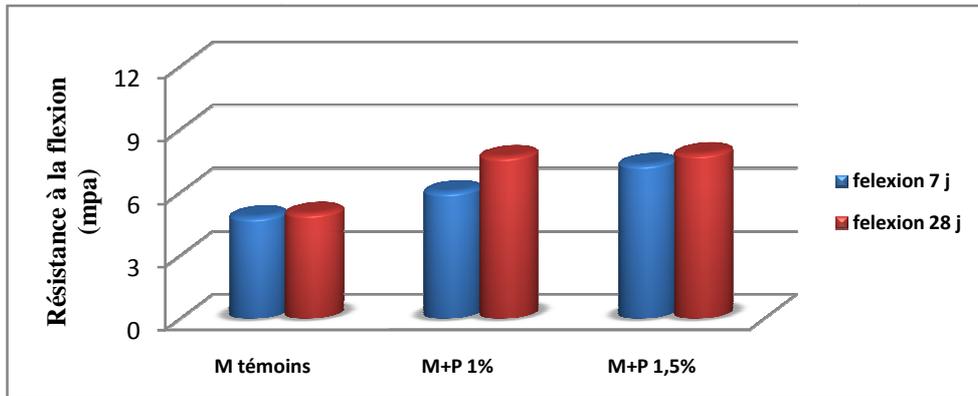


Figure III. 19:Histogramme des résultats des essais de flexion sur les mortiers.

NB :

- La résistance à la flexion augmente avec l'augmentation de dosage des fibres plastiques 1% et 1,5%, notamment avec l'âge.
- La meilleure variante est obtenue pour le dosage en fibre plastique de 1,5%.

Tableau III. 12:les résultats de flexion des mortiers fibrée avec de fibre métallique.

Variantes	Resistance a la flexion 7j	Resistance a la flexion 28j
M témoin	4,83	5,00
M+M 1 %	7,50	10,70
M+ M 1.5%	7,23	9,27

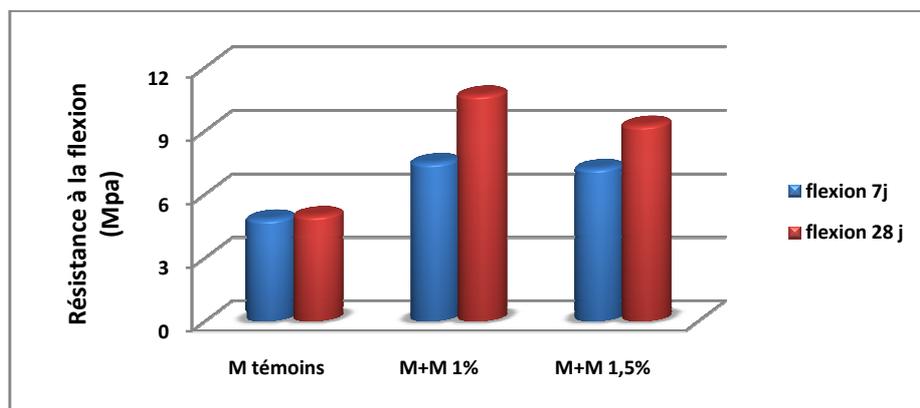


Figure III. 20: Histogramme des résultats des essais de flexion sur les mortiers.

Partie 2 : Essais mécaniques et procédures expérimentale et résultats et discussions

NB :

- La résistance mécanique à la flexion et diminue avec l'augmentation de dosage des fibres métallique.
- La résistance mécanique à la flexion augment en fonction l'âge.

Tableau III. 13:Résistance à la flexion des mortiers fibrée avec de fibres mélangées.

Variantes	Resistance a la flexion 7j	Resistance a la flexion 28j
M témoin	4,83	5,00
M+Mél 1 %	7,50	10,70
M+ Mél 1,5 %	7,23	9,27

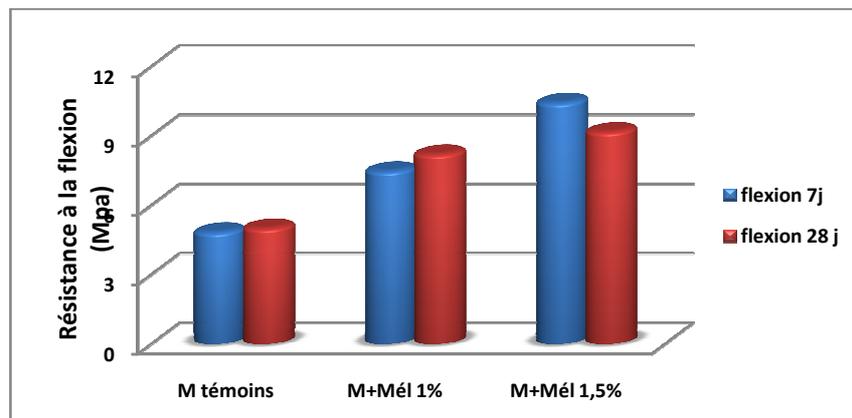


Figure III. 21:Histogramme des résultats des essais de flexion sur les mortiers.

NB :

- Augmentation de la résistance mécanique en flexion en fonction de l'augmentation du pourcentage des fibres.
- Résistance à la flexion des mortiers de dosage 1% de mélange (fibre plastique et fibre métallique) et augmente en fonction d'âge, par contre on a une diminution de résistance à la flexion a dosage 1,5 %.

Tableau III. 14: Les résultats des essais en flexion des variantes étudiées.

Variantes	Resistance a la flexion 7 j	Resistance a la flexion 28j
M témoins	4 ,83	5,00
M +P 1%	6,03	7,70
M+P 1,5%	7,33	7,83
M+M 1%	7,50	10,70
M+M 1,5%	7,23	9,27
M+Mél 1 %	7,47	8,20
M+Mél 1,5%	10,43	9,17

Partie 2 : Essais mécaniques et procédures expérimentale et résultats et discussions

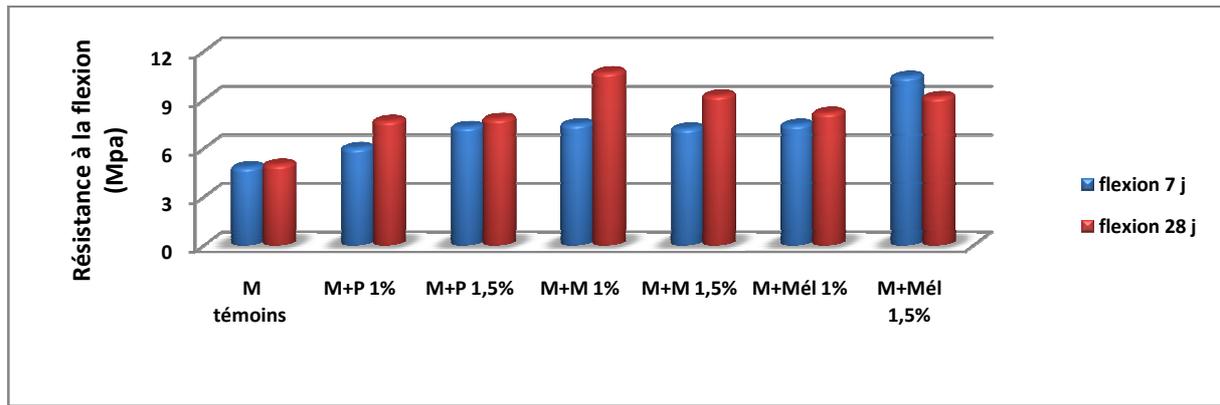


Figure III. 22: Histogramme des résultats des essais en flexion de tous les mélanges.

NB :

- Le graphesuivant montre lacomparaison entre la résistance mécanique a la flexion de mortier témoins et la résistance mécanique de mortiers fibrée (dépende la nature et dosage des fibres utilisée)
- La résistance mécanique à la flexion des mortiers fibrée est toujours supérieure à la résistance de mortiers témoins.
- L'amélioration de la résistance à la flexion à 7 jours et obtenue avec lesfibres mélangées à dosage de 1,5% ; et à 28 jours et obtenue avec les fibres métalliques à dosage de 1 %.

III.2.3.2. Résultats des essais en compression

Tableau III. 15: les résultats de compression des mortiers fibrée avec de fibre métallique.

Variante	Resistance a la compression 7j	Resistance a la compression 28j
M témoins	30,35	37,00
M+P 1 %	33,60	43,17
M+ P 1,5%	31,80	37,70

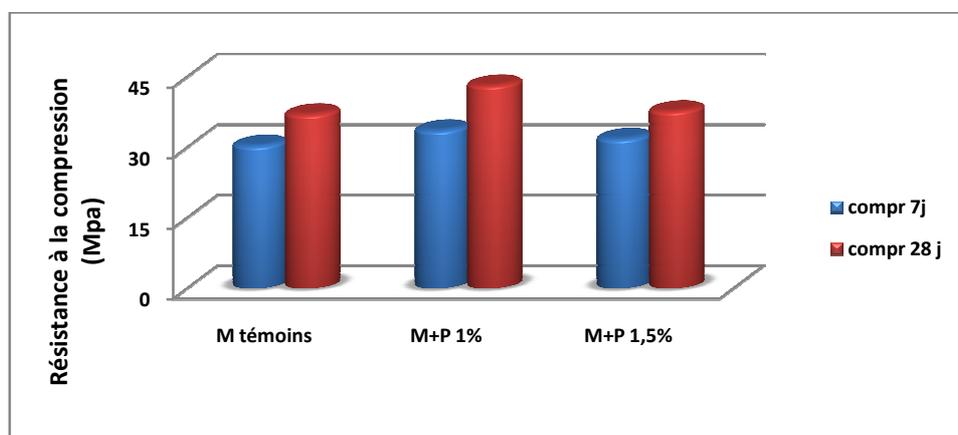


Figure III. 23: Histogramme des résultats des essais de compression sur les mortiers.

NB :