

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



Faculté des Sciences et des Sciences Appliquées
Département de Génie Civil

Mémoire de fin d'étude
Présenté par :
MECILI MOHAMED LAMINE
HERKAT DJAMEL EDDINE

En vue de l'obtention du diplôme de **Master 02:**

Filière : Génie Civil
Option : Matériaux en Génie Civil

Thème :
**ETUDE EXPERIMENTALE SUR LES PROPRIETES PHYSICO-
MECANIQUES D'UN MORTIER DE FIBRE DE PLASTIQUE**

Devant le jury composé de :

Mme BOUMAIZA Malika	MCB	UAMOB	Président
Mr MESBOUA Noureddine	MAB	UAMOB	Encadreur
Mr KENNOUCHE Salim	MCB	UAMOB	Examineur

Année Universitaire 2020/2021

Remerciements

Nous tenons en premier lieu, à exprimer notre profonde gratitude à notre encadreur M^r MESBOUA .N, qui nous a assistés pour l'élaboration de notre projet de fin d'étude.

Nous tenons à remercier sincèrement M^r le directeur du "laboratoire centrale des travaux publics de BOUIRA t " (LCTP) pour nous avoir accordé les moyens nécessaires pour effectuer le stage pratique au sein de ce laboratoire, et pour la confiance qu'il nous a témoigné.

Nous tenons à exprimer notre vive reconnaissance aux enseignants de La Faculté des Sciences et des sciences appliquées (Département Génie Civil) de l'université de Bouira.

Enfin, que toutes celles et tous ceux qui, de près ou de loin nous ont généreusement offert leurs concours à l'élaboration de ce travail, trouvant ici l'expression de notre profonde sympathie.

DEDICACE

Aucun mot ne pourrait exprimer des sentiments comme la gratitude, l'amour, le respect ou la reconnaissance. Je dédie cette thèse à ...

A mes très chers parents

Jamais je ne saurais m'exprimer quant aux sacrifices et dévouement que vous avez consacrés à mon éducation et mes études. Les mots aussi expressifs soient ils, restent faibles pour vous énoncer ma gratitude hautement profonde. Puisse Dieu vous exaucer de santé, de prospérité et de bien-être et vous octroyer une longue vie,

A mes très chères sœurs

A mes chers frères : Slimane, fatah, abd elhai

A ma femme et ma petite fille

Et sans oublier Samir Sahraoui

Et a tout mes amis sans exception

MECILI Mohamed Lamine



DEDICACE

Aucun mot ne pourrait exprimer des sentiments comme la gratitude, l'amour, le respect ou la reconnaissance. Je dédie cette thèse à ...

*A mes très chers parents
Jamais je ne saurais m'exprimer quant aux sacrifices et dévouement que vous avez consacrés à mon éducation et mes études. Les mots aussi expressifs soient ils, restent faibles pour vous énoncer ma gratitude hautement profonde. Puisse Dieu vous exaucer de santé, de prospérité et de bien-être et vous octroyer une longue vie,*

A mes chers frères : Amine, Sid Alli, Salah,

Abd Raouf

A ma très chère sœur

Et sans oublier Samir Sahraoui

Et a tout mes amis sans exception

HERKAT Djamel Eddine



RESUME

Résumé

Dans notre travail nous avons étudié l'effet d'ajout des fibres plastiques (fibres plastique longue et fibre plastique courte) (déchets 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 fibres telles que : la fibre plastique longue, et la fibre plastique courte dont les pourcentages varient de 1% et 2% ,3% ,4% et 5% pour chaque fibre, sur le comportement mécanique (flexion et compression) du mortier fibrée les comparants à un mortier témoin.

La première partie du mémoire est consacrée aux connaissances actuelles sur les différents types de mortiers à savoir ces constituants (ciment, sable, adjuvants, fibre et l'eau).

La seconde partie consiste à caractériser tous les matériaux utilisés dans notre étude (ciment, sable, adjuvants, fibre et l'eau) et les essais d'identification exécutés au laboratoire. Le mode opératoire retenu pour l'étude, les résultats des différents essais effectués, l'interprétation des résultats ainsi que les recommandations qui en résultent.

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

Abstract

In our work we have studied the effect of adding plastic fibers (plastic waste types PET polyester high resistant [plastic stapping]).

The objective of our work is to mark is to make a comparative study on mortars based on two types of fibers such as: plastic fiber longue and courte whose percentages vary from 1% and 2%, 3%, 4% and 5% for each fiber on the mechanical behavior (flexion and compression) of the fiber-reinforced mortar compared to a control mortar.

The first part of the thesis is devoted to the current knowledge on the different types of mortars namely these constituents (cement, sand, admixtures, fiber and water) and the influence of heat treatment on the mortars while exposing case studies and the syntheses obtained.

The second part consists in characterizing all the materials used in our study (cement, sand, admixtures, fiber and water) and the identification tests carried out in the laboratory. The procedure chosen for the study, the results of the various tests carried out, the interpretation of the results as well as the resulting recommendations

Key words

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

الخلاصة

في عملنا هذا قمنا بدراسة تأثير إضافة 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 الطويلة و الألياف البلاستيكية القصيرة، ذات نسب مؤية تختلف 1 و 2 و 3 و 4 إلى 5 لكل ليف على سلوك (انثناء و الضغط) للملاط ليفي و مقارنته مع الملاط العادي .

يكرس الجزء الأول من الأطروحة للمعرفة الحالية حول أنواع مختلفة من الملاط وهي هذه المكونات (الاسمنت والرمل والمواد المضافة والألياف والمياه).
الجزء الثاني يتمثل في توصيف جميع المواد المستخدمة في دراستنا (الأسمنت والرمل والمواد المضافة والألياف والمياه) واختبارات تحديد الهوية التي أجريت في المختبر. الإجراء الذي تم اختياره للدراسة، ونتائج الاختبارات المختلفة التي أجريت، وتفسير النتائج والتوصيات الناتجة عنها.

الكلمات المفتاحية :

ليف بلاستيكي، ملاط ليفي، مقاومة الانحناء ومقاومة الضغط

SOMMAIRE

Sommaire

Résumés

Introduction générale	1
------------------------------------	---

Partie théorique

Chapitre 1 : Généralité sur le ciment.

I.1. Historique.....	4
I.2. Définition du ciment.....	4
I.3. Constituants de ciment.....	5
I.4. Prise et durcissement du ciment.....	9
I.5. Principe de fabrication.....	10
I.6. Classification normalisées des ciments.....	12
I.7. L'hydratation de ciment.....	14
I.8. Porosité.....	15
I.9. Propriétés des ciments.....	15

Chapitre 2 : Généralité sur les mortiers et les bétons.

II .1. Introduction.....	19
II.1. Mortier	19
II.1.1. Définition d'un mortier	19
II.1.2. Constituants des mortiers	19
II.1.3. Classification des mortiers	22
II.1.4. Préparation des mortiers	24
II.1.5. Caractéristiques des mortiers	25
II.2. Béton.....	29
II.2.1. Définition d'un béton.....	29
II.2.2. Classification du béton.....	29
II.2.3. Méthodes de compositions des bétons.....	29
II.2.4. Etude comparative des méthodes de composition.....	30
II.2.5. Principe de la formulation des bétons.....	31
II.2.6. But de la composition des bétons.....	31
II.3. Conclusion	32

Chapitre 3 : Généralité sur les fibres et le déchets.

III. Introduction	33
-------------------------	----

III.1. les fibres.....	33
III.1.1. Définition des fibres.....	33
III.1.2. Différents types de fibres.....	33
III.1.3. Propriétés des fibres.....	37
III.1.4. Caractéristiques physiques et mécaniques des fibres.....	38
III.1.5. Critère de choix du type de fibres.....	39
III.1.6. Rôle des fibres.....	40
III.1.7. Influence du dosage en fibres.....	42
III.1.8. Avantage de la technique du renforcement par fibres.....	44
III.1.9. Diverses applications.....	44
III.2. Les déchets.....	45
III.2.1. Définition d'un déchet.....	45
III.2.2. Classifications des déchets.....	45
III.2.3. Origine de la production des déchets.....	46
III.2.4. Valorisation des déchets.....	46
III.2.5. les déchets plastiques.....	48

Partie expérimentale

Chapitre 4 : Matériaux et méthodes.

IV.1. Introduction	50
IV.2. Les matériaux utilisés	50
IV.2.1. Le ciment	50
IV.2.2. Le sable	52
IV.2.3. La fibre	52
IV.2.4. L'adjuvant	52
IV.2.5. Pouzzolane.....	53
IV.2.6. L'eau de gâchage	54
IV.3. Les essais sur les matériaux	54
IV.3.1. Les essais réalisés sur le ciment	54
IV.3.1.1. La consistance normalisée	54
IV.3.1.2. Le temps de prise	56
IV.3.1.3. La classe de résistance	57
IV.3.2. Les essais sur le sable	59
IV.3.2.1. L'analyse granulométrique par tamisage	59
IV.3.2.1.2. L'équivalent de sable	60

IV.3.2.1.3. L'essai au bleu de méthylène	61
IV.4. Préparation des mortiers	63
IV.4.1. Le mortier normal (témoin)	63
IV.4.2. Mortier fibré	64
IV.6. Les essais mécaniques réalisés sur les mortiers	66
IV.6.1. La résistance à la flexion 3 points	66
IV.6.2. La résistance à la compression	67
Chapitre 5 : Résultats et discussions.	
V.1. Introduction	68
V.2. Résultats des essais sur ciment	68
V.2.1. Consistance normalisée	68
V.2.2. Le temps de prise du ciment	68
V.2.3. La classe de résistance	70
V.3. Résultats des essais sur sable	70
V.3.1. L'analyse granulométrique	70
V.3.2. L'équivalent de sable	71
V.3.3. L'essai au bleu de méthylène	72
V.4. La résistance mécanique.....	73
V.5. Comparaison du comportement des mortiers.....	77
V.5.1. Comparaison de la résistance à la flexion.....	77
V.5.2. Comparaison de la résistance à la compression.....	79
Conclusion générale	81

LISTE DES FIGURES

Chapitre I

Figure I.1: les étapes de fabrication de ciment.....	11
--	----

Chapitre II

Figure II.1 : Constituants des mortiers.....	19
--	----

Figure II.2 : Diagramme de phase ternaire CaO-SiO ₂	20
--	----

Chapitre III

Figure III.1: microfibres synthétiques.....	34
---	----

Figure III.2: fibre de verre.....	35
-----------------------------------	----

Figure III.3 : Fibres métalliques.....	36
--	----

Figure III.4: fibre de carbone.....	36
-------------------------------------	----

Figure III.5: fibre polypropylène.....	37
--	----

Figure III.6: Différentes formes géométriques de fibres métalliques.....	40
--	----

Figure III.7: Illustration de l'apport du renfort par des fibres.....	41
---	----

Figure III.8: Principe de couturassions d'une fissure.....	42
--	----

Figure III.9: Différents facteurs influant sur le comportement mécanique.....	42
---	----

Figure III.10 : Les déchets inertes.....	45
--	----

Chapitre IV

Figure IV.1 . Appareil Vicat.	55
------------------------------------	----

Figure IV.2 . Détermination du temps de prise.....	57
--	----

Figure IV. 3 .Milieu de conservation.....	58
---	----

Figure IV. 4. Table de choc	58
-----------------------------------	----

Figure IV.5. Appareille de compression et flexion.....	58
--	----

Figure IV.6. Essai d'équivalent de sable.....	61
---	----

Figure IV.7. Appareille de bleu de méthylène.....	62
---	----

Figure IV.8. Test négatif.....	62
--------------------------------	----

Figure IV.9. Test positif.....	62
--------------------------------	----

Figure IV.10. Malaxeur.....	63
-----------------------------	----

Figure IV.11. Les matériaux.....	63
----------------------------------	----

Figure IV.12. Fibre plastique courte.....	64
---	----

Figure IV.13 . Fibre plastique longue.....	64
--	----

Figure IV.14. Confection des mortiers dans les moules.....	65
--	----

Figure IV.15. Démoulage et conservation des mortiers.....	65
---	----

Figure IV.16. Essai de flexion.....	66
-------------------------------------	----

Figure IV.17. Essai de compression.....	67
---	----

Chapitre V

Figure V.1. La courbe granulométrique du sable 0/3mm.....	71
Figure V.2. Test à la tache du bleu de méthylène.....	72
Figure V.3. Resistance mécanique (mortier avec fibre longue) à 14jours.....	73
Figure V.4. Resistance mécanique (mortier avec fibre courte) à 14jours.....	74
Figure V.5. Resistance mécanique (mortier avec fibre longue) à 28jours.....	75
Figure V.6. Resistance mécanique (mortier avec fibre courte) à 28jours.....	76
Figure V.7. Comparaison de la résistance (Flexion) entre les mortiers fibrés à 14jours.....	77
Figure V.8. Comparaison de la résistance (Flexion) entre les mortiers fibrés à 28jours.....	78
Figure V.9. Comparaison de la résistance (Compression) entre les mortiers fibrés à 14jours.....	79
Figure V.10. Comparaison de la résistance (Compression) entre les mortiers fibrés à 28jours.....	79

LISTE DES TABLEAUX

Chapitre I

Tableau I.1 : Sources des matières premières entrant dans la fabrication du ciment portland..9

Tableau I.2: Procédés généraux de fabrication du ciment.....12

Tableau I.3: Les anhydres et les hydrates de ciment.....14

Chapitre II

Tableau II.1:Variation de l'ouvrabilité et de la résistance.....31

Chapitre III

Tableau III.1: Facteur d'élanement.....38

Tableau III.2:Principales caractéristiques physicomécaniques des fibres les plus utilisées.....38

Tableau III.3: Domaine d'application privilégiée par type de fibres.....44

Chapitre IV

Tableau IV.1. Composition chimique ciment CEM II/A 42,5.....50

Tableau IV.2. Composition minéralogique de ciment CEM II/A 42.5.....51

Tableau IV.3. Caractéristiques mécaniques du ciment CEM II/A 42.5.....51

Tableau IV.4. Caractéristiques physiques du ciment CEM II/A 42.5.....51

Tableau IV.5. Données techniques de l'adjuvant Sika-v 665.....53

Tableau IV.6.la composition chimique de pouzzolane de Beni-saf.....53

Tableau IV.7.Caractéristique physique de pouzzolane de Beni-saf.....54

Tableau IV.8: Dosage et pesée des constituants.....64

Chapitre V

Tableau V.5. Détermination de la consistance normalisée.....68

Tableau V.6. Détermination du temps de début de prise.....69

Tableau V.7. Détermination du temps de fin de prise.....69

Tableau V.8 . Les résistances mécaniques de ciment.....70

Tableau V.9. Analyse granulométrique par tamisage du sable 0/3.....70

Tableau V.10. Résultat d'équivalent de sable.....72

Tableau V.7. Résistance mécanique des mortiers (fibre longue) à 14jours.....73

Tableau V.8. Résistance mécanique des mortiers (fibre courte) à 14jours.....74

Tableau V.9. Résistance mécanique des mortiers (fibre longue) à 28jours.....75

Tableau V.10. Résistance mécanique des mortiers (fibre courte) à 28jours.....76

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale :

Le mortier fibré est principalement utilisé dans le domaine de la construction, aussi bien dans le cadre d'une rénovation que de la réalisation de constructions neuves. La spécificité de sa formulation en fait un mortier aux propriétés mécaniques intéressantes en termes de durabilité, de résistance, d'adhérence, de compacité et de retrait. Il se compose de différents types de sables majoritairement siliceux, de ciments hydrauliques, de fibres synthétiques ainsi que d'adjuvant plastifiant généralement.

Le rôle principal des fibres dans un matériau cimentaire est le contrôle de la propagation d'une fissure dans un matériau en état de service en réduisant l'ouverture des fissures, ainsi que la transformation du comportement fragile d'un matériau en un comportement ductile qui accroît la sécurité lors des états de chargement ultimes.

Devant les besoins sans cesse croissant des ressources en matériaux et aux exigences liées 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 plastiques dans le béton ou mortier a une influence directe sur sa maniabilité qui se traduit par une mise en œuvre particulière.

Notre travail est divisé en cinq chapitres

Après une introduction générale,

- ✓ Le premier chapitre, nous présentons les généralités sur les ciments.

- ✓ Le deuxième chapitre, nous présentons les généralités sur les mortiers et les bétons et leurs constituants et classifications, ainsi que le domaine d'utilisation.

- ✓ Le troisième chapitre, s'intitule généralités sur les fibres et les déchets ainsi que les possibles valorisations des déchets dans la construction, les fibres et leurs utilisations dans la construction.

Introduction générale

Les 02 derniers chapitres seront consacrés à l'étude expérimentale : une campagne des essais d'identification des matériaux utilisés pour la confection des mortiers, le protocole expérimental retenu pour l'étude et son déroulement ainsi que les essais mécanique effectués sur les mortiers sont regroupés au quatrième chapitre.

Les principaux résultats obtenus, leurs interprétations, l'ensemble des constatations sur les différents types de mortiers considérés ainsi que la synthèse de ce travail sont présentés dans le dernier chapitre.

Chapitre I : Généralité sur le ciment

Chapitre I. Généralité sur le ciment

I.1. Historique

L'industrie du ciment, dont le développement est considérable, surtout après la deuxième guerre mondiale, est un matériau de base fondamental et nécessaire à la performance et réduire son coût de fabrication.

On peut dire, sans se tromper je pense que l'inter réversibilité de la mondialisation de l'économie est acquise, aussi, relever le défi de l'amélioration de la norme qualitative de vos produits et de l'organisation de vos entreprises fait des exigences de l'économie de marche et des mutations économiques internationale.

Dans les équipements de production et de manutention d'une usine de ciment, 6 à 12 m³ d'air extrait et d'effluents gazeux par kg de produit doivent être aspirés et dépoussiérés.

Des technologies éprouvées sont mises en œuvre depuis des années pour réduire la pollution.

Dans les pays industrialisés, les coûts des installations visant à réduire les nuisances représentent jusqu'à 20% des investissements globaux d'une nouvelle cimenterie. A l'avenir, ce pourcentage est appelé à augmenter.

Dans l'industrie du ciment, les principaux rejets vers l'atmosphère sont constitués essentiellement par les gaz de combustion au niveau des fours de cuisson mais surtout par les émissions des poussières à tous les niveaux de production du ciment (de l'extraction de la matière première au niveau des carrières jusqu'à l'ensachage du ciment).

La pollution par les poussières représente la forme de pollution la plus importante au niveau des cimenteries. Elle est plus ressentie par la population pour des raisons physiologiques et psychologiques.

La granulométrie des poussières est un facteur important. Les poussières fines restent en suspension dans l'atmosphère alors que les plus grosses sont appelées à se déposer sur le sol à différentes distances de la source selon leur taille.[1]

I.2. Définition du ciment

Le ciment est un liant hydraulique, c'est-à-dire un matériau minéral qui est sous forme de poudre finement broyée qui, gâché avec l'eau, forme une pâte qui fait prise et durcit par suite de réaction et de processus d'hydratation et qui, après durcissement, conserve sa résistance et sa stabilité même sous l'eau.[2]

I.3. Constituants de ciment

Le ciment est fabriqué à essentiellement partir des matières calcaires.

Les matières premières nécessaires pour fabriquer du ciment sont disponibles à peu près partout dans le monde et des cimenteries existent dans presque tous les pays. [3]

I.3.1. Constituants Principaux

A) Clinker Portland (K)

Le clinker Portland est obtenu par calcination d'un mélange fixé avec précision de matières premières (farine crue, pâte) contenant des éléments couramment exprimés en oxydes CaO , SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 et de petites quantités d'autres matières.

La farine crue ou la pâte, qui est finement divisée et intimement mélangée, est donc homogène.

Le clinker Portland est un matériau hydraulique qui doit être constitué d'au moins deux tiers en masse de silicates de calcium ($3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ et $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$), la partie restante étant constituée de phases contenant de l'aluminium et du fer, ainsi que d'autres composants. Le rapport massique $(\text{CaO})/(\text{SiO}_2)$ ne doit pas être inférieur à 2,0.

La teneur en oxyde de magnésium (MgO) ne doit pas dépasser 5,0 % en masse. [3]

B) Laitier granule de haut fourneau (S)

Le laitier granulé de haut fourneau est obtenu par refroidissement rapide du laitier fondu de composition adaptée provenant de la fusion du minerai de fer dans un haut fourneau ; il contient au moins deux tiers en masse de laitier vitreux et présente des propriétés hydrauliques après avoir subi une activation convenable.

Le laitier granulé de haut fourneau doit être constitué d'au moins deux tiers en masse de la somme de l'oxyde de calcium (CaO), l'oxyde de magnésium (MgO) et du dioxyde de silicium (SiO_2).

Le restant contient de l'oxyde d'aluminium (Al_2O_3) ainsi que de faibles quantités d'autres composants. Le rapport massique $(\text{CaO} + \text{MgO})/(\text{SiO}_2)$ doit être supérieur à 1,0. [3]

C) Matériaux pouzzolaniques

Les matériaux pouzzolaniques sont des substances naturelles siliceuses ou silico-alumineuses, ou une combinaison de celles-ci.

Bien que les cendres volantes et les fumées de silice aient des propriétés pouzzolaniques, leurs spécifications font l'objet d'articles séparés.

Les matériaux pouzzolaniques ne durcissent pas par eux-mêmes lorsqu'ils sont mélangés avec de l'eau mais, lorsqu'ils sont finement broyés, ils réagissent à température ambiante, en

présence d'eau, avec l'hydroxyde de calcium $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$ dissous, pour former des composés de silicates de calcium et d'aluminates de calcium générateurs de résistances. Ces composés sont comparables à ceux qui sont formés lors du durcissement des matériaux hydrauliques.

Les pouzzolanes sont composées essentiellement de SiO_2 réactif et d' Al_2O_3 .

La partie restante contient de l'oxyde de fer (Fe_2O_3) et d'autres oxydes.

La proportion de CaO réactif est négligeable vis-à-vis du durcissement.

La teneur en SiO_2 réactif doit être au moins égale à 25 % en masse.

Les matériaux pouzzolaniques doivent être convenablement préparés, c'est-à-dire sélectionnés, homogénéisés, séchés ou traités thermiquement et réduits en poudre, en fonction de leur état à la production ou à la livraison. [3]

D) Cendres volantes

Les cendres volantes sont obtenues par précipitation électrostatique ou mécanique de particules pulvérulentes contenues dans les fumées des chaudières alimentées au charbon pulvérisé. Les cendres obtenues par d'autres méthodes ne doivent pas être utilisées dans les ciments conformes à l'EN 197-1.

Les cendres volantes peuvent être de nature siliceuse ou calcique.

Les premières ont des propriétés pouzzolaniques ; les dernières peuvent avoir, en plus, des propriétés hydrauliques.

La perte au feu des cendres volantes, déterminée conformément à l'EN 196-2, mais avec un temps de calcination de 1 h, ne doit pas excéder 5,0 % en masse.

Il est également possible d'accepter des cendres volantes dont la perte au feu est comprise entre 5,0 % et 7,0 % en masse, à condition que les exigences particulières de durabilité, et notamment en ce qui concerne la résistance au gel, et la compatibilité avec les adjuvants, soient respectées, en application des normes et/ou règlements en vigueur sur le lieu d'utilisation du béton ou du mortier.

Dans le cas de cendres volantes dont la perte au feu est comprise entre 5,0 % et 7,0 % en masse, la limite maximale de 7,0 % doit être mentionnée sur l'emballage et/ou sur le bon de livraison du ciment. [3]

E) Schiste calciné(T)

Le schiste calciné, et en particulier le schiste bitumineux calciné, est produit dans un four spécial à une température d'environ 800 °C.

En raison de la composition des matériaux naturels et du procédé de production, le schiste calciné contient des phases du clinker, principalement du silicate bicalcique et de l'aluminate mono calcique.

Il contient également, outre de petites quantités de chaux libre et de sulfate de calcium, des quantités plus importantes d'oxydes réagissant de façon pouzzolanique, notamment SiO_2 .

En conséquence, le schiste calciné finement broyé présente, outre des propriétés pouzzolaniques, des propriétés fortement hydrauliques, comme le ciment Portland.

Déterminée conformément à l'**EN 196-1**, la résistance à la compression à 28 jours du schiste calciné convenablement broyé doit être supérieure ou égale à 25,0 MPa.

Le mortier doit être préparé à partir de schiste calciné finement broyé seul, au lieu du ciment.

Les éprouvettes de mortier doivent être démoulées 48 h après leur préparation et conservées en atmosphère humide d'au moins 90 % d'humidité relative jusqu'à l'essai.

Déterminée conformément à l'**EN 196-3**, sur un mélange contenant 30 % en masse de schiste calciné broyé et 70 % en masse d'un ciment CEM I conforme à l'**EN 197-1**, l'expansion (stabilité) du schiste calciné ne doit pas dépasser 10 MM. [3]

F) Calcaire (L, LL)

Le calcaire doit respecter les exigences suivantes :

- a) la teneur en carbonate de calcium (CaCO_3) calculée à partir de la teneur d'oxyde de calcium (CaO) doit être supérieure ou égale à 75 % en masse.
- b) la teneur en argile déterminée par l'essai au bleu de méthylène conformément à l'EN 933-9 ne doit pas être supérieure à 1,20 g/100 g. Cet essai implique que le calcaire soit broyé à une finesse d'environ 5 000 cm^2/g déterminée en termes d'aire massique, conformément à l'EN 196-6.
- c) la teneur totale en carbone organique doit, lorsqu'elle est déterminée selon EN 13639 :1999, être conforme à l'un des critères suivants :
 - LL : inférieure à 0,20 % en masse.
 - L : inférieure à 0,50 % en masse. [3]

G) Fumée De Silice

La fumée de silice provient de la réduction de quartz de grande pureté par du charbon dans des fours à arc électrique utilisés pour la production de silicium et d'alliages de Ferro

silicium ; elle est formée de particules sphériques contenant au moins 85 % en masse en silice amorphe.[3]

La fumée de silice doit satisfaire aux exigences suivantes :

- A) la perte au feu, déterminée conformément à l'EN 196-2, mais avec un temps de calcination de 1 h, doit être inférieure ou égale à 4,0 % en masse.
- B) l'aire massique (BET) de la fumée de silice non traitée, déterminée conformément à l'ISO 9277, doit être supérieure ou égale à 15,0 m²/g.[3]

I.3.2.Constituants secondaires

Les constituants secondaires sont spécialement sélectionnés ; ce sont des matériaux minéraux naturels, ou des matériaux minéraux dérivés du processus de fabrication du clinker ou des constituants spécifiés en 1.1, sauf s'ils sont déjà inclus en tant que constituants principaux du ciment.

Les constituants secondaires améliorent les propriétés physiques des ciments (telles que l'ouvrabilité ou la rétention d'eau), après une préparation adaptée et du fait de leur granulométrie. Ils peuvent être inertes ou présenter des propriétés faiblement hydrauliques, hydrauliques latentes ou pouzzolaniques. Aucune exigence vis-à-vis de ces propriétés n'est toutefois établie.

Les constituants secondaires doivent être préparés correctement, c'est-à-dire qu'ils doivent être sélectionnés, homogénéisés, séchés et pulvérisés, en fonction de leur état à la production ou à la livraison. Ils ne doivent pas accroître sensiblement la demande en eau du ciment, ni diminuer en aucune manière la résistance du béton ou du mortier à la détérioration, ni diminuer la protection des armatures contre la corrosion.[3]

A) Sulfate de calcium

Le sulfate de calcium est ajouté aux autres constituants du ciment au cours de sa fabrication, pour réguler la prise.

Le sulfate de calcium peut être du gypse (sulfate de calcium dihydraté, CaSO₄.2H₂O), de l'hémi hydraté (CaSO₄.1/2H₂O), de l'anhydrite (sulfate de calcium anhydre CaSO₄) ou tout mélange de ceux-ci. Le gypse et l'anhydrite existent à l'état naturel. Le sulfate de calcium existe également sous forme de sous-produit de certains procédés industriels. [3]

B) Additifs [6]

La quantité totale des additifs doit être inférieure ou égale à 1,0 % en masse de ciment (exception faite des pigments).

La proportion des additifs organiques, sous forme d'extrait sec, doit être inférieure ou égale à 0,5 % en masse du ciment.

Ces additifs ne doivent pas favoriser la corrosion des armatures ni altérer les propriétés du ciment ou du béton ou du mortier fabriqué avec ce ciment.

Lorsque des adjuvants du béton, mortier ou coulis conformes aux différentes parties de l'EN 934 sont utilisés dans le ciment, la notation normalisée leur correspondant doit figurer sur l'emballage ou le bon de livraison. [3]

Tableau I.1 : Sources des matières premières entrant dans la fabrication du ciment portland

Chaux	Fer	Silice	Alumine	Sulfate
Aragonite*	Argile*	Argile*	Argile*	Anhydrite
Argile	Minerai de fer*	Basalte	Bauxite	Gypse*
Calcaires*	Poussières de haut	Calcaires	Calcaires	Sulfate de
Calcite*	fourneau	Cendres d'écorce	Cendres volantes*	calcium
Coquillages	Poussières de	de riz	Granodiorite	
Craie	laminoirs*	Cendres volantes	Laitiers	
Déchets alcalins	Pyrite calcinée	Grès	Laitier de cuivre	
Laitiers	Résidus de	Laitiers	Loess	
Marbre	nettoyage	Loess	Minerai	
Marne*	de minerais	Marne*	d'aluminium*	
Pierre à ciment	Schistes	Pierre à ciment	Pierre à ciment	
Poussière de four		Quartzite	Résidus de	
à ciment		Résidus de	nettoyage	
Schistes*		nettoyage	de minerais	
Terre à foulons		de minerais	Schistes*	
		Sable*	Staurolite	
		Schiste*	Terre à foulons	
		Silicate de		
		calcium		
		Terre à foulons		

* Sources les plus communes.

I.4. Prise et durcissement du ciment

Le mécanisme de durcissement du ciment est très différent de celui de la chaux. Le ciment durcit par hydratation des silicates et des aluminates de chaux, alors que la chaux durcit lentement à l'air en se carbonatant.

La chaux est obtenue par cuisson du calcaire CO_3Ca , qui, vers 400°C , perd son gaz carbonique et se transforme en chaux vive, CaO . Celle-ci doit d'abord être éteinte avec de l'eau, ce qui la transforme en chaux hydratée,

Ca(OH)_2 ; cette dernière réabsorbe alors lentement le gaz carbonique de l'air et reconstitue progressivement un calcaire tendre.

Le ciment portland contient quatre constituants : le silicate tricalcique « $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ » ou, par abréviation, C3S ; silicate bi calcique « $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ » ou C₂S ; l'aluminate tricalcique « $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ » ou C3A ; le Ferro aluminatetétra calcique « $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{FeO}_3$ » ou C4 AF.

L'élément noble du ciment est le silicate tricalcique, qui lui donne ses fortes résistances. La proportion de silicate tricalcique dans le ciment portland, qui était de 50% avant guerre, s'est progressivement accrue jusqu'à 60%, et atteint même actuellement 70% dans certains ciments très résistants.

Par hydratation, les silicates tri et bi calciques donnent du silicate monocalcique hydraté et dégagent de la chaux libre hydratée. Ce sont les cristaux de silicates mono calcique hydraté qui, en se fixant entre eux et aux granulats, confèrent au ciment sa résistance.

L'aluminate tricalcique donne, par hydratation, de l'aluminate monocalcique hydraté et dégage de la chaux libre hydratée. C'est aussi un élément actif de la résistance des ciments ; il contribue notamment beaucoup, par la rapidité relative de sa réaction, aux résistances dans les premiers temps. C'est également la première cristallisation du trisulfoaluminates

(Ou ettringite) produite par hydratation de C3 A en présence de gypse, ainsi que des réactions physico-chimiques complexes qui sont à l'origine du raidissement de la pâte de ciment : ce qu'on appelle la prise du ciment (entre 1h 30 et 6 h après le malaxage). [4]

I.5. Principe de fabrication

Le ciment Portland artificiel, le CPA, résulte du broyage du clinker avec environ 5% de gypse pour réguler la prise. Le clinker est une roche artificielle obtenue par cuisson à 1450°C, constitue le plus souvent d'un mélange de calcaire (environ 80%) et d'argile (20%) ou de matériaux apportant la silice, l'alumine et le fer. Les clinkers peuvent être très différents les uns des autres du fait de la composition du cru, du mode de cuisson et du refroidissement. C'est-à-dire qu'en les broyant à des finesse variées avec des teneurs en gypse plus ou moins importantes, on obtiendra des ciments Portland artificiels n'ayant pas les mêmes caractéristiques.

On fabrique des ciments encore plus variés grâce à l'ajout de constituants secondaires tels que les laitiers de haut fourneau (L), les cendres volantes (C), les pouzzolanes (Z), et la fumée de silice (D). [4]

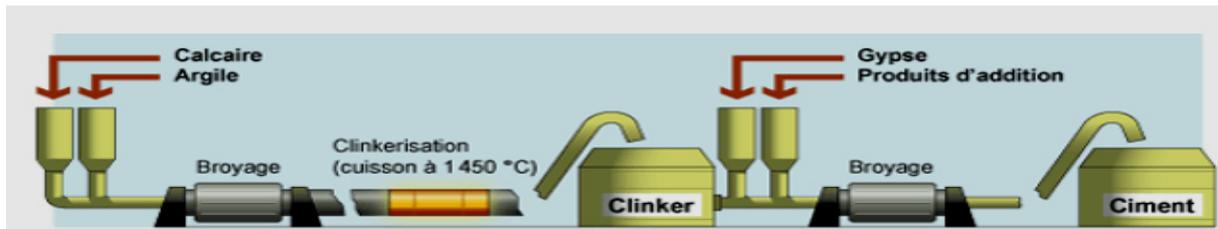


Figure I.1: les étapes de fabrication de ciment

I.5.1. Procédés de fabrication du ciment

I.5.1.1. Procédé par voie humide

Les matériaux sont délayés avec de l'eau de façon à obtenir une pâte fluide (28 à 35% d'eau) ayant une composition chimique convenable et qui sert à alimenter des fours rotatifs. Un four moyen de 150 mètres de long, 4 mètres de diamètre permet une production de 1000 tonnes/jours.

Les plus grands en service ont des diamètres de 6 à 7 mètres, des longueurs de 230 mètres et peuvent produire près de 4000 tonnes de clinker par jour. Le clinker est refroidi vers 1000°C dans des appareils spéciaux et stocké dans des halls.

C'est le procédé le plus ancien mais il n'est pas économique car il consomme énormément d'énergie (de l'ordre de 1250 à 1400 kcal par kg de clinker produit). Ce procédé tend pratiquement à disparaître actuellement. [4]

I.5.1.2. Procédé par voie semi-humide

C'est une variante du procédé par voie humide, la pâte est essorée par des filtres presses, boudinée, déshydratée, décarbonatée, avant d'être cuite dans les fours rotatifs courts. [4]

I.5.1.3. Procédés par voie sèche

Les roches sont concassées, échantillonnées, déversées dans des halls de pré-homogénéisation de façon à reconstituer une « carrière artificielle ».

Elles sont reprises afin d'être transformées en poudre sèche dans des broyeurs sécheurs puis parfaitement homogénéisées par le procédé de fluidification. La poudre obtenue passe ensuite dans des fours le plus souvent constitués de deux parties : une partie verticale (préchauffer) où elle se décarbonate et arrive ainsi vers 1000°C dans un four rotatif court (60 à 80 mètres de longueur).

Un four de 4 mètres de diamètre et 70 mètres de longueur a une production de 2500 tonnes/jours. Il existe des fours capables de produire jusqu'à 8000 tonnes de clinker par jour. Ce procédé est économique et consomme de l'ordre de 800 à 900 kcal/kg de clinker ; soit environ 40% de moins que le procédé par voie humide. [4]

I.5.1.4. Procédé par voie semi-sèche

Il constitue une variante de la voie sèche. La poudre est agglomérée avec de l'eau pour former des granulats qui passent d'abord sur une grille de décantation. On peut, avec ce procédé, utiliser des fours droits.[4]

Tableau I.2: Procédés généraux de fabrication du ciment.

Opération communes aux quatre procédés	
Extraction en carrière : calcaire, argile, marne, Concassage, Transport.	
Voie Humide	Voie sèche
Concassage ; Délayage + Broyage ; Dosage ; Stockage ; Four.	Pré-homogénéisation ; Broyage-Séchage ; Homogénéisation ; Four.
Voie semi-humide	Voie semi-sèche
Filtration ; Boudinage ; Four.	Granulation ; Four.
Opérations communes aux quatre procédés	
Broyage ; Gypse + constituants secondaires éventuelles (laitier, cendres, etc.) ; Stockage ; Expédition (en sacs ou en vrac).	

I.6. Classification normalisées des ciments

La classification des ciments est faite de deux manières : soit d'après leur composition chimique, soit d'après leur classe de résistance.[3]

I.6.1. Classification d'après la composition

Les ciments courants sont classés, en fonction de leurs compositions minéralogiques, en quatre catégories :[3]

1. Ciment portland

CPA.CEMI Ciment portland artificiel

C'est un ciment constitué de 95 % à 100 % de clinker et de 0 à 5 % de constituants secondaires.[3]

CPJ-CEM II/A et B Ciment Portland Composite

Les ciments CPJ-CEM II/A sont constitués d'au moins 80 % de clinker.

Les CPJ-CEM II/B sont constitués d'au moins 65 % de clinker.

Un ou plusieurs des constituants énumérés à l'article 1 forment les parts restantes.

Ces ciments existent dans la plupart des classes (de 32,5 à 52,5) à l'exception des CPJ-CEM II/B qui ne sont pas produits dans les classes 52,5 et 52,5 R.[3]

2. Ciment de haut fourneau**CHF-CEM III/A et B Ciment De Haut Fourneau**

Les ciments de haut fourneau contiennent de 35 % à 64 % de clinker pour le CHF-CEM III/A et 20 % à 34 % pour le CHF-CEM III/ B, le reste des constituants étant du laitier avec éventuellement 5 % au maximum de constituants secondaires.[3]

CLK-CEM III/C Ciment De Haut Fourneau

Ce ciment contient de 81 % à 95 % de laitier, le reste des constituants étant du clinker ou des constituants secondaires (5 % au maximum). [3]

3. Ciment pouzzolanique**CPZ-CEM IV/A et B Ciment Pouzzolanique**

Les ciments pouzzolaniques contiennent de 65 % à 90 % de clinker pour le CPZ-CEM IV/A et de 45 % à 64 % pour le CPZ-CEM IV/B, le reste des constituants étant de la pouzzolane naturelle, des cendres volantes siliceuses ou de la fumée de silice, avec éventuellement 5 %, au maximum, de constituants secondaires.

Ces ciments sont actuellement produits dans la classe 22,5 des ciments à usage tropical (norme NF P 15-302).[3]

4. Ciment au laitier et aux cendres**CLC-CEM V/A Ciment Au Laitier Et Aux Cendres**

Ce ciment contient de 40 % à 64 % de clinker, de 18 % à 30 % de cendres volantes siliceuses et de 18 % à 30 % de laitier, avec éventuellement 5 % au maximum de constituants secondaires.

Le CLC-CEM V/B prévu par la norme n'est actuellement pas produit.[3]

I.6.2. Classification des ciments d'après leur classe de résistance

Outre leur composition, les ciments peuvent être également classés selon leur résistance nominale, ou classe. Cette classe est déterminée conformément à la norme NA 234.

Cette norme distingue trois classes de résistance des ciments, exprimées en (N/mm²), et qui sont les suivants :[4]

Classe I = 32,5

Classe de Résistance (MPa) → Classe II = 42,5

Classe III = 55

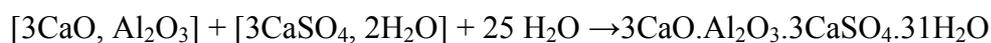
I.7. L'hydratation de ciment

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 $[3\text{CaO}, \text{SiO}_2]$ donne par hydratation un silicate hydraté, la tembermorite, et de l'hydroxyde de chaux :



Cette réaction chimique d'hydratation s'accompagne d'un dégagement de chaleur plus au moins important selon les ciments et la rapidité de prise.

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).[5]

Les anhydres et les hydrates cités dans ce paragraphe sont résumés dans le tableau ci-dessous :[5]

Tableau I.3: Les anhydres et les hydrates de ciment.

Notation Abrégée	Formule Chimique en oxyde	Dénomination
C₃S	(CaO) ₃ -SiO ₂	Silicate tricalcique
C₂S	(CaO) ₂ -SiO ₂	Silicate bicalcique
C₃A	(CaO) ₃ -Al ₂ O ₃	Aluminate tricalcique
C₄AF	(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
C3A.(C3S)3.H32	(CaO) ₆ - Al ₂ O ₃ -(SO ₃) ₃ -(H ₂ O) ₃₂	Ettringite ou 'Aft'
C3A.(C2S).H12	(CaO) ₆ - Al ₂ O ₃ -(SO ₃)-(H ₂ O) ₁₂	Monosulfoaluminate de calcium hydrate ou 'Afm'
C2AH8	(CaO) ₂ - Al ₂ O ₃ -(H ₂ O) ₈	Aluminate dicalcique hydraté

C3AH6	$(\text{CaO})_3 - \text{Al}_2\text{O}_3 - (\text{H}_2\text{O})_6$	Aluminate tricalcique hydraté
C4AH13	$(\text{CaO})_4 - \text{Al}_2\text{O}_3 - (\text{H}_2\text{O})_{13}$	Aluminate tétracalcique hydraté

I.8. Porosité

La porosité de gel dans le C-S-H et la porosité capillaire forment la porosité totale de la pâte de ciment durcie. Lorsque le rapport E/C dans une pâte de ciment dépasse une certaine limite ($\sim 0,38$), les hydrates ne peuvent plus entièrement remplir l'espace disponible initialement occupé par l'eau et par conséquent une porosité avec des pores relativement grands, appelée porosité capillaire, est introduite dans la pâte durcie.

Les diamètres des pores dans la porosité de la pâte de ciment couvrent une large gamme, de 0,5nm dans la porosité de gel jusqu'à 10 μm dans la porosité capillaire. Dans les microphotographies de la pâte de ciment, on peut parfois voir aussi des grands pores créés par des bulles d'air au moment de la fabrication de coulis du ciment, qui peuvent atteindre un diamètre de 1,0mm.

La porosité totale de ciment peut être évaluée en séchant un échantillon à 105°C. Cette porosité contient une partie de l'eau interfoliaire de la structure de C-SH.

Au cours du séchage de ciment, à partir d'une humidité relative égale à 11%, une partie de l'eau située dans la porosité interfoliaire s'évapore, mais une autre partie liée aux feuillettes de C-S-H reste dans la structure de ciment. Par conséquent une autre porosité, appelée porosité de l'eau libre, peut être définie qui ne prend pas en compte l'eau interfoliaire.

Cette porosité peut être évaluée en mettant un échantillon en équilibre à 11% d'humidité relative. [6]

I.9. Propriétés des ciments

I.9.1. La prise

Les constituants anhydres donnent en présence d'eau, naissance des silicates, des aluminates de calcium hydrates et de la chaux hydratée dite portlandite formant un gel microcristallin, à l'origine du phénomène dit de «prise». [7]

Le phénomène de prise du ciment est lié à de nombreux paramètres tels :

- La nature du ciment.
- La finesse de mouture du ciment ; plus son broyage a été poussé, plus le temps de prise est court.

- La température ; alors qu'à zéro degré la prise est stoppée, plus la température ambiante est élevée plus la prise est rapide, pour un ciment donné le début de prise sera de 18 heures.
- La présence de matières organique dans l'eau ou dans l'un des autres constituants du béton qui ralentit la prise.
- L'excès d'eau de gâchage qui a entre autres un inconvénient, une action retardatrice sur la prise.

En de leur classe de résistance, les normes spécifient un temps de prise minimum qui est, à la température de 20°C :

- 1h30 pour les ciments de classes 35 et 45.
- 1h pour les ciments de classes 55 et HP.

Il est à noter que pratiquement tous les ciments ont des temps de prise largement supérieurs à ces valeurs minimales, l'ordre de grandeur étant de 2h30 à 3h pour la majorité des ciments[8].

I.9.2.Durcissement

On a l'habitude de considérer le durcissement comme la période qui suit la prise et pendant laquelle l'hydratation du ciment se poursuit. La résistance mécanique continue à croître très longtemps mais la résistance à 28 jours est la valeur conventionnelle [7].

I.9.3.Fausse prise

Dans la composition des ciments rentre en général un peu de gypse (sulfate de calcium hydraté à deux molécules d'eau ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)). si les clinkers sont trop chauds ou s'échauffent trop au cours du broyage, il se forme alors un peu de plâtre $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$ dont la prise très rapide donne l'impression d'un début de prise, c'est la «fausse prise». Dans ce cas il ne faut surtout pas ajouter d'eau mais augmenté la durée de malaxage. Les ciments les plus sensibles sont ceux à très fine mouture ou à assez fort pourcentage de gypse [9].

I.9.4. Retrait

La pâte de ciment se rétracte dans l'air sec (alors qu'au contraire elle gonfle dans l'eau), ce phénomène se poursuivant dans le temps et pendant des durées d'autant plus longues que les pièces sont massives. C'est le retrait qui cause des fissures que l'on observe dans des pièces en béton.

En fait, il existe plusieurs types de retrait :

1. Le retrait avant prise du essentiellement à la perte prématurée d'une partie de l'eau de gâchage par évaporation et se traduit par l'apparition, à la surface du béton encore plastique, de grosses fissures peu profondes.

2. Le retrait hydraulique qui découle de la contraction du béton ou du mortier en séchant.
3. Le retrait thermique, qui est dû à la contraction du béton lors de son refroidissement.

L'importance du retrait hydraulique, dehors du facteur de temps, est fonction de nombreux paramètres parmi lesquels :

- La nature du ciment.
- Le dosage en eau.
- La propreté des sables.
- La forme et la dimension des granulats[8].

I.9.5. Expansion

Les causes possibles de l'expansion proviennent de l'hydratation des oxydes de calcium ou de magnésium que peuvent contenir certains ciments sous forme de chaux ou de magnésie libres. Elle se mesure suivant un procédé normalisé par la norme NF EN 196-1 et grâce aux aiguilles de LECHATÉLIER, permet de s'assurer de la stabilité du ciment. L'expansion ne doit pas être supérieure à 10mm sur la pâte pour les ciments (NF EN 197-1).

Le pourcentage maximal de magnésie dans les CPA-CEM I ainsi que le clinker doit être inférieur à 5%.

I.9.6. Surface spécifique (finesse Blaine)

Elle permet de mesurer la finesse de mouture d'un ciment. Elle est caractérisée par la surface développée totale de tous les grains contenus dans un gramme de ciment (norme NF EN 196-6). Elle s'exprime en cm^2/g . suivant le type de ciment, cette valeur est généralement entre 2800 et 3500 cm^2/g . [7]

Plus la finesse de mouture est grande, plus la vitesse des réactions d'hydratation est élevée et plus ces résistances mécaniques à un âge jeune sont grandes, par contre plus le ciment est sensible à l'éventuellement et plus le retrait est important.

I.9.7. Les résistances mécaniques

Les résistances mécaniques des ciments sont déterminées par les essais sur mortier dit “normal”, à 28 jours d’âges en traction et en compression des éprouvettes 4x4x16cm³. La résistance du mortier est alors considérée comme signification de la résistance ciment.

Elle dépend de la classe de ciment et est exprimée en MPa. Le mortier utilisé est réalisé conformément à la norme NF EN 195-1 ; le sable utilisé est un sable appelé « sable normalisé»[8].

Chapitre II. Généralités sur les mortiers et les bétons

Chapitre II. Généralités sur les mortiers et les bétons

II. 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. Des compositions multiples de mortiers peuvent être obtenues en jouant sur les différents paramètres : liant (type et dosage), adjuvants et ajouts, dosage en eau. En ce qui concerne le liant, tous les ciments et les chaux sont utilisables ; leur choix et le dosage sont fonction de l'ouvrage à réaliser et de son environnement. Le mortier est un mélange de liant – chaux ou ciment –, de sable, d'eau et éventuellement d'adjuvants.

II.1. Mortier

II.1.1. Définition d'un mortier

Le mortier est l'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. En général le mortier est le résultat d'un mélange de sable, liant (ciment ou chaux), d'eau et d'adjuvant et éventuellement d'ajout. En ce qui concerne le liant, tous les ciments et les chaux sont utilisables, leur choix et dosage sont en fonction de l'ouvrage à réaliser et de son environnement. [10]

II .1.2. Constituants des mortiers

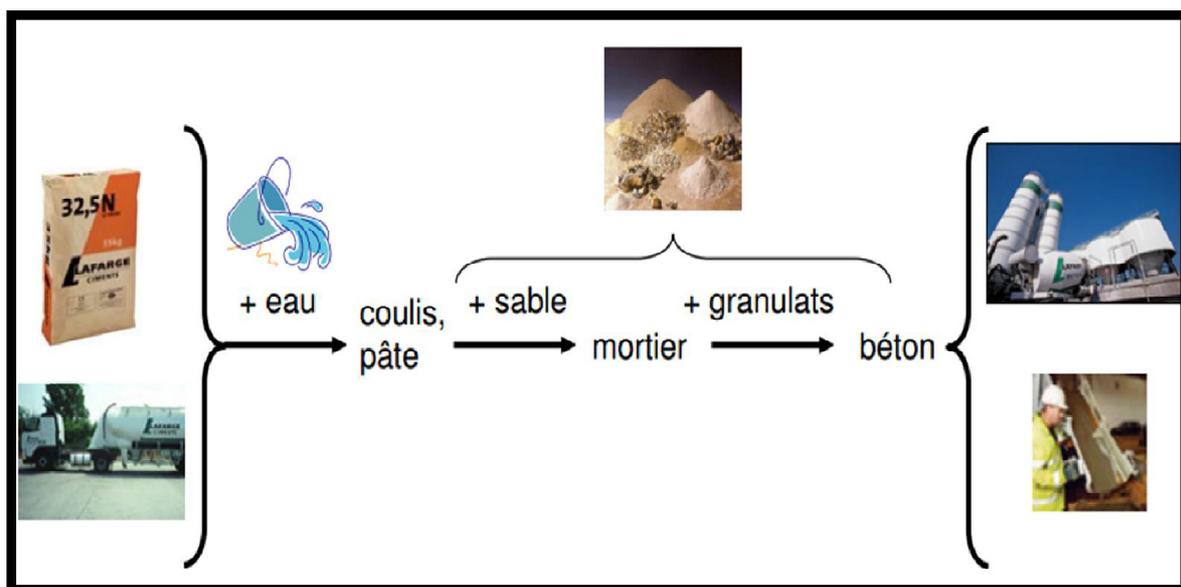


Figure II.1 : Constituants des mortiers.

II.1.2.1. Le Liant

On utilise généralement des liants hydrauliques qui peuvent être le ciment

Le ciment est un liant hydraulique. C'est un matériau anhydre finement broyé qui, par simple mélange avec l'eau, développe des hydrates dont l'imbrication rigidifie le matériau granulaire non cohésif de départ en matériau cohésif présentant des propriétés mécaniques élevées.

D'un point de vue minéralogique, le ciment peut être définie comme un mélange d'oxyde basique, CaO noté C, et d'oxydes acides ou amphotères comme SiO₂, noté S, Al₂O₃, noté A, ou Fe₂ O₃, noté F, en notation cimentaire.

Il existe deux grandes familles de Ciments (les ciments portlands et les ciments alumineux).

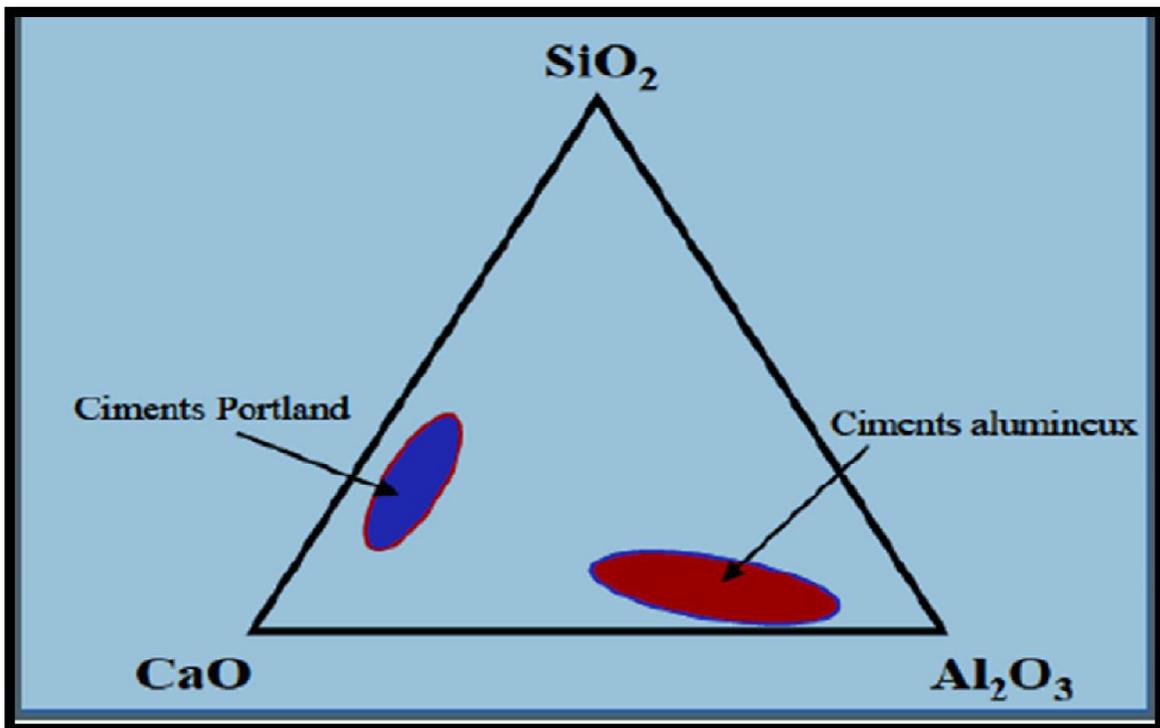


Figure II.2 : Diagramme de phase ternaire CaO-SiO₂-Al₂O₃, et repérage des compositions de Ciment Portland et de ciment alumineux.

- Les ciments Portland, constitués majoritairement de silice et de chaux et qui Utilisée principalement dans les bétons de bâtiments et les ouvrages de génie civil.
- Les ciments alumineux qui se composent essentiellement d'alumine et de chaux. Ils ont développés au début du 20^{ème} siècle par BIED. En raison de leur résistance aux attaques chimiques, de leur prise rapide ou de l'absence de chaux, ils sont utilisés en génie civil pour la confection de sols industriels, d'ouvrage d'assainissements ou des mises en service rapides, et dans la réalisation de réfractaires monolithiques utilisés dans l'industrie sidérurgique ou verrière [11].

Généralement, on peut utiliser:

- Les ciments normalisés (gris ou blanc).
- Les ciments spéciaux (alumineux fondu, prompt,...).
- Les liants à maçonner.
- Les chaux hydrauliques naturelles.
- Les chaux éteintes.

II.1.2.2. Le sable

C'est une matière minérale siliceuse ou calcaire qui se présente dans le sol sous la forme de grains ou de poudre, suivant qu'il s'agit de sable grossier ou de sable fin. Les sables proviennent de la désagrégation des roches qui constituent l'écorce terrestre; suivant leur composition, ils sont blancs, jaunes, gris ou rougeâtres. On peut encore classer les sables d'après leur origine et distinguer les sables de carrière, les sables de mer et les sables de rivière. Le terrain dans lequel le sable grossier domine, manque d'homogénéité, sa trop grande perméabilité ne lui permet pas de retenir les engrais solubles, qui sont entraînés par les eaux avant d'avoir produit leur effet, amenant, en outre, l'assèchement rapide du sol. Des amendements sont nécessaires pour corriger les défauts des sols sableux; l'apport de marne argileuse donne de la cohésion aux terrains qui en manquent, mais le fumier de ferme, en augmentant l'humus, est dans tous les cas le meilleur des traitements: il apporte au sable grossier l'agglomérant dont il a besoin et au sable fin l'allègement et l'aération qui lui font défaut. [12]

L'introduction des sables permet de diminuer le retrait du liant (ossature mortier) en augmentant les résistances mécaniques, ajoutant à cela, sa disponibilité et son aspect esthétiques (couleur). Les sables de bonne granulométrie doivent contenir des grains fins, moyens et gros. Les grains fins se disposent dans les intervalles entre les gros grains pour combler les vides. Ils jouent un rôle important: Ils réduisent les variations volumiques, les chaleurs dégagées et même le prix. 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. [12]

II.1.2.3. L'eau de gâchage

Le dosage en eau est un facteur très important de la composition du mortier, ou bien l'influence qu'il a sur la propriété du mortier par les vides créés, lorsque l'eau s'élimine pour différentes raisons (évaporation, combinaison chimique, absorption par les granulats).

Avec le rapport E/C couramment utilisé de 0,5 on estime que la moitié de l'eau de gâchage sert à l'hydratation du ciment, l'autre moitié est eau de mouillage interstitielle qui contribue à la plasticité du mortier requise pour sa mise en œuvre.

L'eau doit être propre et ne pas contenir d'impuretés nuisibles (matières organiques, alcalis). L'eau potable convient toujours le gâchage à l'eau de mer est à éviter, surtout pour le béton armé. [13]

II.1.2.4. L'adjuvant et additifs

Les adjuvants et additifs sont utilisés pour améliorer l'adhérence, la plasticité, l'imperméabilité, pour accélérer ou retarder la prise des liants ou pour augmenter la résistance au gel. Les adjuvants et additifs incorporés dans les mortiers doivent être Compatibles avec les liants utilisés et ils ne doivent produire aucun effet nocif sur les armatures et les pièces métalliques (conduites, chambranles, etc.) en contact avec les mortiers. Ainsi par exemple Les chlorures attaquent les métaux ferreux.

Les mortiers peuvent comporter différents types d'adjuvants:

- les plastifiants (réducteurs d'eau).
- les entraîneurs d'air.
- les modificateurs de prise (retardateurs, accélérateurs).
- les hydrofuges.

Dans tous les cas des soins particuliers doivent être pris afin d'obtenir des mortiers sans ressuage, homogènes d'une gâchée à l'autre. [14].

II.1.3. Classification des mortiers

La classification des mortiers est comme suite: [15]

II.1.3.1. Selon leur domaine d'utilisation

Généralement les mortiers varient selon leur domaine d'application, on peut citer les catégories suivantes:

- Mortier de pose.
- Mortier de joints.
- Mortier pour les crépis
- Mortier pour le sol.

- Mortier pour les stucs.
- Pierres artificielles.
- Mortier d'injection.
- Mortier pour les mosaïques.
- Mortier de réparation pour pierres. [15]

II.1.3.2. Selon la nature du liant

On peut classer les mortiers selon la nature du liant en:

➤ **Mortier de ciment portland :**

Le ciment portland donne au mortier de maçonnerie sa résistance mécanique, en particulier la résistance initiale, qui est indispensable à une époque où la vitesse de construction est telle que l'on exige qu'un mur puisse supporter une charge importante le lendemain même de sa construction. Les mortiers de ciment portland manquent de plasticité, ont un faible pouvoir de rétention d'eau et sont difficiles à travailler. Le dosage du rapport entre le ciment et le sable est en général volumétrique de 1,3 et le rapport de l'eau sur ciment est environ 0,35. De plus, un dosage en ciment les rend pratiquement imperméables. [15]

➤ **Mortier de chaux :**

C'est le composant traditionnel du mortier, il possède une plasticité et un pouvoir de rétention d'eau excellent, mais sa résistance mécanique est faible et sa cure est lente. La chaux grasse, obtenue par extinction de la chaux vive en la laissant vieillir, est le produit de qualité que l'on devrait utiliser, mais le vieillissement prend beaucoup de temps et le travail de la chaux grasse est très salissant. C'est pourquoi il est plus pratique d'utiliser la chaux hydratée sèche. La cure des mortiers de chaux s'effectue lentement par carbonatation sous l'effet du gaz carbonique de l'air; ce processus peut être fortement ralenti par un temps froid et humide. [15]

➤ **Mortiers bâtards :**

Ce sont les mortiers, dont le liant est le mélange de ciment et de chaux, dans les proportions égales, suivant leur domaine d'utilisation éventuelle, les compositions de chaux et ciment peuvent être variées. [15]

➤ **Mortier à base de ciment de maçonnerie :**

C'est un produit déposé contenant du ciment portland et un filler minéral inerte (calcaire) et des adjuvants tels que des agents mouillants, des agents hydrofuges et des entraîneurs d'air, les adjuvants donnent la plasticité et le pouvoir de rétention d'eau que confère la chaux aux mortiers de ciment. Certains ciments de maçonnerie sont des mélanges de ciment portland et de chaux hydratée, avec des adjuvants. [15]

➤ **Les Mortier réfractaire :**

Il est fabriqué avec du ciment fondu, qui résiste à des températures élevées. Il est utilisé pour la construction des cheminées et barbecues. [16]

➤ **Les 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 mortier, il suffit de mettre la quantité d'eau nécessaire et malaxer pour ensuite les mettre en œuvre. [16]

II.1.3.3. Classes des mortiers

- **Classe 1:** Adjuvant modifiant les caractéristiques des mortiers, bétons et coulis à l'état frais.
- **Classe 2:** Adjuvant modifiant les caractéristiques des mortiers, bétons et coulis pendant la prise et le durcissement.
- **Classe 3:** Adjuvant modifiant la teneur en air ou en autre gaz.
- **Classe 4:** Adjuvant modifiant la résistance des mortiers, bétons et coulis.
- **Classe 5:** Adjuvant améliorant la durabilité des mortiers, bétons et coulis.
- **Classe 6:** Adjuvant modifiant des propriétés spéciales. [17]

II.1.4. Préparation des mortiers

Les quantités nécessaires en fonction des dosages et des travaux à faire comme le montre tableaux ci-dessous : [18]

Sable	Ciment	Eau
Unité(g)	Unité(g)	Unité(g)
1350	450	225

- Prévoir une surface de gâchage plate et assez grande, balayer cette aire de gâchage au balai de chantier, elle doit être propre et surtout sans débris végétaux.
- Installer la bétonnière ou le seau de maçon à proximité des produits.
- Prévoir un tuyau d'alimentation en eau muni d'un robinet d'arrêt.
- Déposer sur l'aire prévue à cet effet la quantité de sable.
- Verser le ciment (ou la chaux) sur le sable.

- Commencer à mélanger à la pelle le sable et le ciment. Afin d'obtenir un bon mélange, déplacer le tas deux ou trois fois. Le mélange doit être de couleur homogène.
- Creuser le tas en cratère et verser 2/3 de l'eau prévue.
- Faire tomber peu à peu les bords du cratère dans l'eau pour humidifier le mélange.
- Mélanger le tas afin de répartir l'eau. Pour homogénéiser le mélange, le déplacer deux ou trois fois comme pour le mélange à sec.
- Couper le dessus du tas de mortier avec la pelle. S'il ne se forme pas de *boudins*, ajouter un peu d'eau et mélanger à nouveau.
- Le mortier est correctement humidifié lorsqu'on passe le plat de la pelle dessus, il se lisse et l'eau remonte en surface. [18]

II.1.5. Caractéristiques des mortiers

Les caractéristiques principales des mortiers sont [19] :

II.1.5.1. Ouvrabilité :

L'ouvrabilité d'un mortier se mesure à l'aide de divers appareils. Les plus connus sont: [19]

❖ 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:

$$E\% = 100 \cdot \frac{D_r - D_i}{D_i}$$

Avec : D_r : diamètre final

D_i : diamètre initial

❖ Maniabilimètre du LCPC

Il est constitué d'un moule parallélépipédique comportant une paroi mobile et un vibreur. Le principe de l'essai consiste, après avoir enlevé la paroi mobile, à mesurer le temps mis par le mortier sous vibrations pour atteindre un repère gravé sur la face intérieure du moule. [19]

❖ 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. [19]

II.1.5.2. 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 700 grammes sur le plateau supérieur. Le poids de l'aiguille pénétrant dans le mortier est de 1000 grammes. 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. [19]

II.1.5.3. Comportement mécaniques :

Les essais sont souvent effectués sur les éprouvettes prismatiques de 4x4x16cm conservés dans l'eau à 20 °C. Les éprouvettes sont rompues en traction par flexion puis en compression. Les résistances, aussi bien en traction par flexion qu'en compression, progressent à peu près comme logarithme du temps (entre 1 et 28 jours). [19]

Les résistances des mortiers dépendent de très nombreux facteurs:

- Nature et dosage en ciment.
- Rapport E/C.
- Granulométrie et nature du sable.
- Energie de malaxage et mise en œuvre.
- Protection des premiers jours.

II.1.5.4. 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. [20].

II.1.5.5. 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 changements volumétriques.

Les différentes formes de changements volumétriques au jeune âge sont les suivantes : [21]

1. Le Retrait

Les retraits se mesurent sur des prismes 4x4x16cm en mortier 1/3, munis de plots à leurs extrémités 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 28 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. En moyenne, le retrait sur mortier est 2 à 3 fois plus faible que celui de la pâte pure (avec le même ciment). [21]

- ❖ **Le retrait chimique :** Le retrait chimique est la diminution du volume absolu des solides et des liquides de la pâte lors de l'hydratation du ciment. Le volume absolu des produits d'hydratation est inférieur à la somme des volumes absolus de l'eau et du ciment anhydre. [21]
- ❖ **Le retrait endogène :** Le retrait endogène est la diminution du volume externe apparent d'une pâte de ciment, d'un mortier ou d'un béton engendrée par l'hydratation du ciment. La diminution du volume externe apparent engendré par le retrait endogène est bien inférieure à la diminution du volume absolu engendrée par le retrait chimique en raison de la rigidité de la structure de la pâte de ciment durcie. Le retrait chimique est le mécanisme fondamental à la base de la formation du retrait endogène. [21]
- ❖ **Le retrait plastique :** Le retrait plastique caractérise le changement de volume se produisant avant le durcissement, lorsque le mortier est encore à l'état frais. Il s'observe généralement par la formation de fissures de retrait plastique se formant avant ou pendant la finition. Ces fissures semblent avoir déchiré la surface. Le retrait plastique résulte des effets combinés des retraits chimiques et endogènes et d'un taux élevé d'évaporation de surface excédant l'apport d'eau par le ressuage. [21]

- ❖ **Retrait thermique** : Résulte de la baisse de la température du béton tout juste après sa prise, température occasionnée, soit par la chaleur d'hydratation du ciment qui est une réaction exothermique, soit par la variation thermique du milieu de conservation. Le retrait thermique dépend de plusieurs facteurs comme composition, la finesse de mouture et la quantité du ciment, la forme et les dimensions de l'élément, de la température initiale et la température ambiante. [21]

2. Le gonflement :

Le gonflement des mortiers (qui se produisent lorsqu'ils sont conservés dans l'eau) se mesure sur les mêmes éprouvettes de 4x4x16cm conservées dans l'eau à 20°C. Ils sont en général assez faibles (cas de ciment stable ayant une expansion aux aiguilles de la chate lier inférieure sur pâte pure à 10mm). Le mortier et la pâte de ciment gonflent en présence d'eau externe. Le volume de la masse de mortier 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. [21]

II.1.5.6. 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/cm³, kg/m³ ou t/m³).[19]

II.1.5.7.Masse volumique absolue :

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/cm³, kg/m³ ou t/m³).

[19]

II.1.5.8. Porosité et compacité :

❖ La porosité

La porosité est le rapport du volume vide sur le volume total. [19]

P = volume de vide /volume totale

❖ La compacité

La compacité est le rapport du volume des pleins sur le volume total. [19]

II.2. Béton

II.2.1. Définition d'un béton

Le béton est un matériau composite agglomère constitué de granulats durs de dimensions collées entre eux par un liant. Dans les bétons courants, les granulats sont des grains de pierre, sable, gravier, cailloux et le liant est un ciment, généralement un ciment portland, les composants sont très différents : leurs masses volumiques vont, dans les bétons courants de 1(eau) à 3(ciment) t/m³. Si le type de liant utilisé n'est pas un ciment, on parle alors, selon le liant utilisé, de béton de résine, de béton d'hydrocarboné, de béton d'argile. [22]

II.2.2. Classification du béton

En général le béton peut être classé en quatre groupes, selon la masse volumique : [22]

- Béton très lourd : > 2500 Kg/m³.
- Béton lourd (béton courant) : 1800-2500Kg/m³.
- Béton léger : 500-1800Kg/m³.
- Béton très léger : <500Kg/m³.

Le béton courant peut aussi être classé en fonction de la nature des liants [22]

- Béton de ciment (le ciment).
- Béton silicate (la chaux).
- Béton de gypse (le gypse).

Les conditions favorables pour le durcissement d'un béton : [22]

- l'humidité
- la température supérieure à 50 °c.
- le calme pendant la période de cure (absence de sollicitation d'ordre mécanique ou physique).

Pour être durable, un béton doit : [22]

- Etre bien composé
- Correctement mis en œuvre.
- Protégé des causes possibles d'altération par disposition constructives adéquates.

II.2.3. Méthodes de compositions des bétons

Deux théories sont actuellement en présence. Celle qui préconise un béton dit continu, la courbe granulométrique du mélange ne présentant pas alors de discontinuité. Celle qui préconise un mélange dit discontinu ou l'on admet une discontinuité dans la courbe granulométrique du mélange c'est-à-dire que l'on admet l'absence d'une certaine gamme de granulats. Si nous comparons des bétons réalisés selon ces deux théories, pour un même

dosage en ciment, on obtient généralement des bétons légèrement plus résistants et moins ouvrables par la théorie de la discontinuité par rapport à la théorie de la continuité et réciproquement. [22]

II.2.4. Etude comparative des méthodes de composition

Toutes les méthodes graphiques ou expérimentales s'accordent sur les qualités essentielles à rechercher pour un béton (bonne résistance, faible porosité, durabilité, etc.), par contre se différencient dans la procédure à suivre et les résultats qui en découlent.

Pour les méthodes graphiques (Bolomey, Faury, Joisel), la principale différence réside dans la définition de la courbe granulométrique de référence, selon que l'on inclue ou non le ciment dans les matières fines, pourtant, toutes ont un point commun, elles dépendent de paramètres qui sont intimement reliés aux caractéristiques morphologiques des matériaux utilisés (nature et qualité des granulats, type de liant, etc.). [22]

- **Méthode Dreux-gorisse**

C'est la méthode la plus utilisée actuellement, elle est simple et pratique. Et donne d'excellents résultats.

- **Méthodes de Faury**

Cette méthode donne des bétons contenant moins de sable et davantage de gravier : les bétons Faury seront donc plus raides, et conviendront à des travaux pour lesquels une très bonne maniabilité n'est pas indispensable. Les bétons Faury présentent souvent une résistance mécanique supérieure à ceux préconisés par Bolomey.

- **Méthode de Bolomey**

Cette méthode donne généralement des bétons riches en éléments fins (sable), donc très maniables, son emploi est fréquent pour les travaux routiers, et pour les bétons devant être mis en place par pompage. Cependant elle ne tient pas compte des idées modernes sur les effets de paroi et d'interférence, et du rayon moyen de moule.

- **Méthode de valette**

Cette méthode donne un bon béton, d'une grande compacité, si les matériaux utilisés sont homogènes et de caractéristiques constantes, sinon, le béton obtenu est raide, peu maniable, difficile à mettre en place, est parfois sujette à la ségrégation.

- **Méthode de Baron-Lesage**

C'est une excellente méthode, elle est exclusivement expérimentale, elle mesure directement l'ouvrabilité réelle du béton et permet de déduire la quantité d'eau exacte à incorporer, cependant c'est une méthode assez lourde d'utilisation, et nécessite la fabrication de plusieurs

centaines de litre de béton, et elle est nettement plus coûteuse qu'une méthode graphique. Elle est utilisable dans le cas des études régionales de composition ou lorsque le laboratoire doit contrôler un chantier et assurer le suivi en continu de la fabrication, il faut avoir les moyens de connaître le béton et les conséquences des fluctuations de dosage des constituants car dans ce cas, elle devient économique. [22]

II.2.5.Principe de la formulation des bétons

L'étude de la composition d'un béton, consiste à définir le mélange optimal des différents granulats dont on dispose, ainsi que le dosage en ciment, et en eau afin de réaliser un béton présentant de bonnes caractéristiques rhéologiques telles que [ouvrabilité, maniabilité résistance à la ségrégation] à l'état frais, et les meilleures caractéristiques à l'état durci [résistance a la compression].

Il est bon de se rappeler que l'objectif de la formulation est de confectionner le béton le plus économique, et donnant satisfaction à l'état frais ainsi qu'à l'état durci.

Les principales données du problème de la composition des bétons se résument à :

- La dimension maximale des granulats.
- L'ouvrabilité, qui peut être défini par la plasticité mesurée au cône d'ABRAMS.
- La résistance à la compression qui peut être défini par l'écrasement d'éprouvettes cylindriques réalisées avec le béton en question. Ce sont d'ailleurs là, trois données qui sont à préciser lorsqu'on passe commande d'un béton à une centrale de béton prêt à l'emploi. [22]

II.2.6.But de la composition des bétons

L'étude d'une composition de béton consiste presque toujours, à rechercher conjointement deux qualités essentielles : résistance et ouvrabilité ; or ces deux qualités sont étroitement liées l'une à l'autre quant aux facteurs dont elles dépendent mais elles varient en sens inverses comme l'indique le tableau suivant : [22]

Tableau II.1 : variation de l'ouvrabilité et de la résistance en fonction des facteurs de composition du béton.

Facteurs de composition du béton	Pour une bonne ouvrabilité	Pour une bonne résistance
Finesse du sable	Plutôt fin	Plutôt grossier
Rapport G/S (gravier/sable)	A diminuer	A augmenter
Dosage en eau	A augmenter	A diminuer

Granularité	Continue préférable	Discontinue préférable
Dimension max, des granulats	Plutôt petite	Plutôt forte

II.3.Conclusion

Le mortier est un matériau très proche du béton dans sa composition. Cependant, contrairement au béton, il n'y a pas de graviers dans le mortier. Ce dernier est un matériau utilisé comme enduit ou élément de liaison, le type de mortier est différent en fonction de l'objectif visé.

Afin de modifier les propriétés de mortier, des additifs de différentes fonctions sont introduits dans le mélange à petites quantités afin d'augmenter la résistance de l'ouvrage face au gel, d'hydrofuges qui améliorent l'imperméabilité du mortier ou de colorants pour réaliser des travaux décoratifs. Aussi L'ajout de fibres dans le mortier permet d'augmenter la densité du matériau. Il bénéficie d'une meilleure résistance à la compression et à la traction, et il est moins sujet aux risques de fissurations lors de la phase de retrait et au service.

Chapitre III. Généralité sur les fibres et le déché

Chapitre III. Généralité sur les fibres et le déchets

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.

III.1. 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.

III.1.1. 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**" [23].

III.1.2. 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:

III.1.2.1. 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 cancérogènes [24].

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) [24].

III.1.2.2. 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[25].

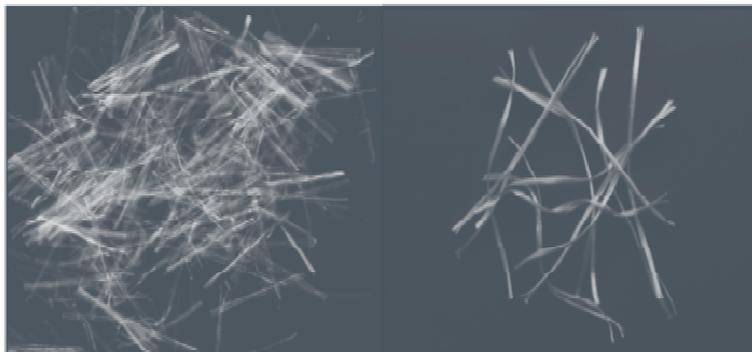


Figure III.1: microfibrilles synthétiques.

III.1.2.3. 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 [24].

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.....)[24].



Figure III.2: fibre de verre.

b. Fibres métalliques

Ce type de fibres, qui regroupe les fibres d'acier et les fibres de fonte amorphe, a été resté 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 interfaciale 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 [24].



Figure III.3 :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 [26].



Figure III.4:fibre de carbone.

III.1.2.4. Les fibres organiques

a. Fibres de polypropylène

Le polypropylène est un polymère cristallisable de la famille de polyoléfines. 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 [24].



Figure III.5: fibre polypropylène.

b. Fibre d'amiante

Ces fibres sont considérées comme les renforcements les plus anciens des matrices cimentaires et sont aussi utilisées pour la confection de tissus résistants aux feux. Elles sont en fait des bâchettes de micro-fibres extrêmement fines, difficilement fusibles (vers 1500 °C) et ont l'avantage d'être inattaquables par les ciments. Elles possèdent un excellent tenue au feu, une bonne résistance à la traction et un module d'élasticité élevé. Elles sont aussi plus résistantes aux 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 [26].

III.1.3. Propriétés des fibres

III.1.3.1. 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 [25].

III.1.3.2. 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 III.1) 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 » [25].

Tableau III.1: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*

III.1.3.3.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 [25].

III.1.3.4.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[25].

III.1.4.Caractéristiques physiques et mécaniques des fibres

Les principales caractéristiques physiques et mécaniques des fibres les plus utilisées sont présenté dans le (tableau III.2) suivant :[27].

Tableau III.2:Principales caractéristiques physicomécaniques des fibres les plus utilisées.

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*2600 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-	8	11-13	-	-

				850				
Amiante	0,02-20	5	2,5-3,4	3000	8-15	2-3	1	1500
Carbone	5-9	variable	1,7-2	2000-3000	250-400	0,5-1,5	-	400-1500
Sisal	10-50	1,5	1,5	-	130	3	-	-

III.1.5. 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) [28].

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.

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 [29].

Leur géométrie est très variable (Figure III.6). 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 [30].

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[31].

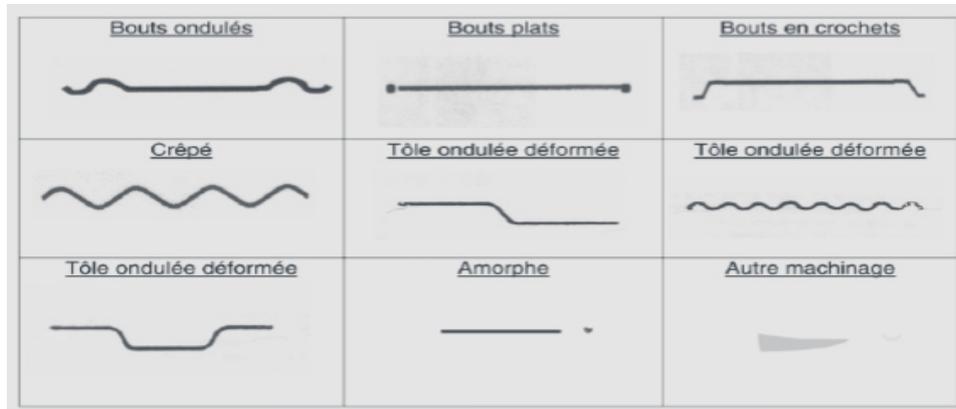


Figure III.6: Différentes formes géométriques de fibres métalliques.

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.

III.1.6. 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 III.7).

-La transformation du comportement fragile d'un matériau en un comportement ductile qui accroît la sécurité lors des états de chargement ultimes [32].

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 [32].

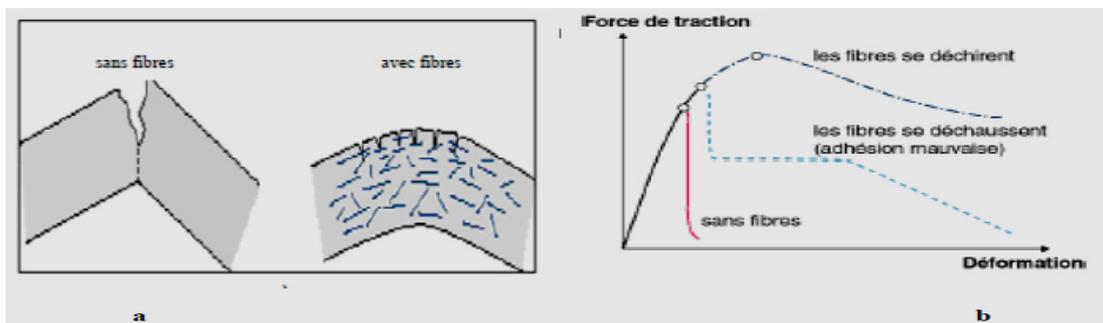


Figure III.7: Illustration de l'apport du renfort par des fibres.

Le principe de couturassions des fissures et limitation de leurs ouvertures est comme montré en (Figure III.9). 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 redressent graduellement avec l'augmentation du chargement au-delà de la charge de fissuration [33].

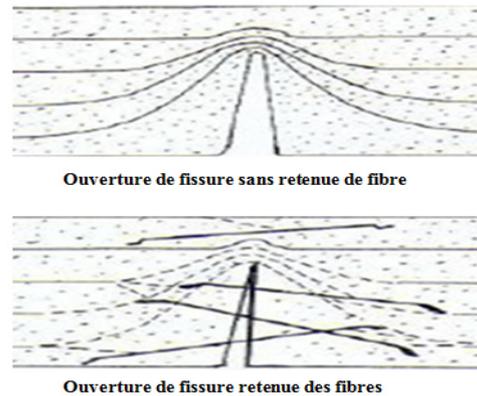


Figure III.8:Principe de couturassions d'une fissure.

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 III.10) illustre les différents facteurs influant sur le comportement d'un béton renforcé de fibres [32].



Figure III.9: Différents facteurs influant sur le comportement mécanique d'un béton renforcé de fibre.

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.

III.1.7. 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.

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 élançement 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[33].

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 étroitesse 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.

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 [34].

III.1.8. 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) [35].

III.1.9. Diverses applications

Les nombreuses innovations de la technologie des bétons renforcés de fibres ont permis d'étendre considérablement la gamme des applications (tableau III.3)[30].

Tableau III.3: Domaine d'application privilégiée par type de fibres.

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

III.2. Les déchets

III.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 [36].

III.2.2. Classifications des déchets

III.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...)[37].

III.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... [36].

III.2.2.3. Les déchets dangereux

Encore communément appelés Déchets Industriels Spéciaux (DIS), ils correspondent à des déchets nocifs, toxiques, corrosifs, inflammables [36].

III.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[36].

III.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[36].



Figure III.10 :Les déchets inertes.

III.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[36].

III.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[36].

III.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 [38].

III.2.4. Valorisation des déchets

III.2.4.1. 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.

III.2.4.2. 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 [38].

III.2.4.3. 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

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 [38].

III.2.5.les déchets plastiques

III.2.5.1.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) [39].

III.2.5.2.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 [40].

III.2.5.3.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. Inconvénientsdesplastiques

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 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[40].

III.2.5.4. 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 [40].

Chapitre IV : Matériaux et méthodes

Chapitre IV : Matériaux et méthodes

IV.1.Introduction

Dans cette partie, nous exposons les différentes étapes que nous avons suivies pour réaliser le travail expérimental. Les mélanges des mortiers ont été effectués selon les normes et les essais mécaniques sur mortier ont été réalisés selon les normes. Pour cela, le plan de travail que nous avons élaboré est partagé en trois étapes :

1^{er} étape : Analyse physico-chimiques et mécanique des constituants des mortiers.

2^{eme} étape : Formulation et composition des mortiers.

3^{eme} étape : Essai mécanique sur les mortiers.

IV.2. Les matériaux utilisés

Les matériaux utilisés pour la confection des mortiers sont :

- Ciment.
- Sable.
- Fibre.
- Adjuvant.
- Pouzzolane.
- Eau.

IV.2.1. Le ciment

Le ciment utilisé de type Portland composé CEM II/A de la classe 42,5 provenant de la cimenterie de Sour El Ghozlane, le ciment CEM II/A 42,5 est conforme à la norme NA 442 éditions 2000.

IV.2.1.1. Composition chimique

Le tableau IV-1 présente la composition chimique du ciment CEM II/A 42,5.

Tableau IV.1. Composition chimique ciment CEM II/A 42,5.

Elément	%
Cao	61.79
SiO2	17.46
Al2O3	4.41
Fe2O3	3.22
Mg O	2.02
SO3	2.12
K2O	0.73
Na2O	0.15

IV.2.1.2. Composition minéralogique

Le tableau IV-2 représente la composition minéralogique du ciment.

Tableau IV.2. Composition minéralogique de ciment CEM II/A 42.5.

Elément	%
Silicate tricalcique C3S	68.08
Silicate bi calcique C2S	12.75
Aluminates tricalciques C3A	5.75
Alumino- ferrite titra –calcique C4AF	11.66

IV.2.1.3. Caractérisation mécanique

Le tableau IV-3 représente les caractéristiques mécaniques du ciment.

Tableau IV.3. Caractéristiques mécaniques du ciment CEM II/A 42.5.

Résistance (MPa)	Age	
	07 jours	28 jours
Compression	30	34
Flexion	4	4.29

IV.2.1.4. Caractéristiques physiques

Le tableau IV-4 représente les caractéristiques physiques du ciment.

Tableau IV.4. Caractéristiques physiques du ciment CEM II/A 42.5.

Désignations	Moyenne	Unités
Surface spécifique(SSB) (NA231)	3961	cm ² /g
Poids spécifique	3.2	g/cm ³
Consistance normale (NA 229)	26	%H ₂ O
Temps (NA 230)	Début de prise	150
	Fin de prise	252
Retrait à 28 jours	731	µm/m
Expansion à chaud	0.5	Mm
Refus sur tamis 45µ	20	%

IV.2.2. Le sable

On a utilisé un sable naturel (produit concassé calcaire) de granulométrie 0/3 de sidi issa la wilaya de Msila.

IV.2.3. La fibre

La fibre a été utilisée dans le cadre de cette étude, est une fibre récupérée (un déchet) par les feuillards en polyester (fibre plastique).

IV.2.3.1. La Masse volumique absolue des fibres 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.

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

$$\rho_s = (Mf / V2 - V1)$$

ρ_s : Masse volumique absolue ;

Mf : Masse des fibres ;

V1 : Volume de l'eau ;

V2 : Volume total (fibre + eau).

La masse volumique absolue = 1.71 g/cm³.

IV.2.3.2. Présentation de la fibre plastique

Fabriqué à partir de granulés en polyester en filière plate, il possède une meilleure résistance.

Les Caractéristiques de la fibre sont :

- Très résistant au chaux ;
- Stockage longue durée en extérieur ;
- Excellente conservation de la tension ;
- Souple, il offre des possibilités de tension très importantes et une parfaite répartition de la tension sur les angles de la charge ;
- Recyclable à 100% ;

IV.2.4. L'adjuvant

L'adjuvant utilisé est SIKA VISCOCRETE 665, conforme à la norme NF EN 934-2.

IV.2.4.1. Présentation

Le Sika Viscocrete 665 est un super plastifiant/haut réducteur d'eau polyvalent de nouvelle génération non chloré à base de copolymère acrylique, le Sika Viscocrete 665 est compatible avec tous les ciments même avec un taux C₃A faible.

IV.2.4.2. Caractéristiques générales

Le Sika Viscocrete 665 est un super plastifiant qui confèrent les propriétés suivantes :

- Longue rhéologie (>2h30).
- Evolution rapide des résistances à court et long terme.
- Réduction de la viscosité.
- Amélioration de la stabilité de béton frais et limitation de la ségrégation avec des granulats concassés.
- Pas de reprise de fluidité dans le temps.
- Qualité de parement.

IV.2.4.3. Données techniques

Le tableau IV-6 représente les données techniques de l'adjuvant Sika-v 665.

Tableau IV.5. Données techniques de l'adjuvant Sika-v 665.

Densité	1.085
PH	5
Teneur en Na ₂ O	≤1.0%
Extrait sec	33.0±1.1% (méthode halogène selon NF 085)
Teneur en ions Cl ⁻	≤ 0.1%

IV.2.5. Pouzzolane

La pouzzolane naturelle utilisée provient de la carrière de Beni-saf dans l'Oust de l'Algérie. Elle a été broyée dans un broyeur à boules au niveau de l'atelier de broyage de la F.S.I (boumerdes).

IV.2.5.1. Caractéristiques chimiques de pouzzolane

Tableau IV.6. la composition chimique de pouzzolane de Beni-saf.

Composition chimique	Teneurs %
SiO ₂	44
Al ₂ O ₃	14.85
Fe ₂ O ₃	10.83
CaO	11.08
MgO	4.22
PAF	12.80

IV.2.5.2. Caractéristiques physiques de pouzzolane

Tableau IV.7. Caractéristique physique de pouzzolane de Beni-saf.

Caractéristiques	Résultats	Unités
Masse volumique apparente	1.02	g/cm ³
Masse volumique absolue	1.39	g/cm ³
Surface spécifique BLAINE de poudre SSB	9703	cm ² /g
Coefficient d'absorption	2.7	%

IV.2.6. L'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 (LCTP-Bouira).

IV.3. Les essais sur les matériaux

Les essais ils ont fait au niveau de laboratoire central des travaux publics (LCTP-Bouira).

IV.3.1. Les essais réalisés sur le ciment

IV.3.1.1. La consistance normalisée

Pour déterminer la consistance on utilise l'appareil Vicat manuel (montré aux figure 1), la sonde doit être en métal et avoir la forme d'un cylindre droit d'une longueur effective d'au moins 45mm et d'un diamètre de 10 m.

La masse totale des parties mobiles doit être de 300g, leur mouvement doit être exactement vertical et sans frottement appréciable et leur axe doit coïncider avec celui de la sonde.

Le moule Vicat destiné à contenir la pâte pendant l'essai doit être en caoutchouc dur, en plastique ou en laiton, il doit être de forme cylindrique ou de préférence tronconique, d'une profondeur de 40mm et d'un diamètre intérieur de 75mm, le moule doit être suffisamment rigide et il doit être pourvu d'une plaque de base plus grande que le moule, d'une épaisseur de 2.5mm au mois, constituée d'un matériau imperméable résistant à l'attaque par la pâte de ciment , par exemple du verre plan.

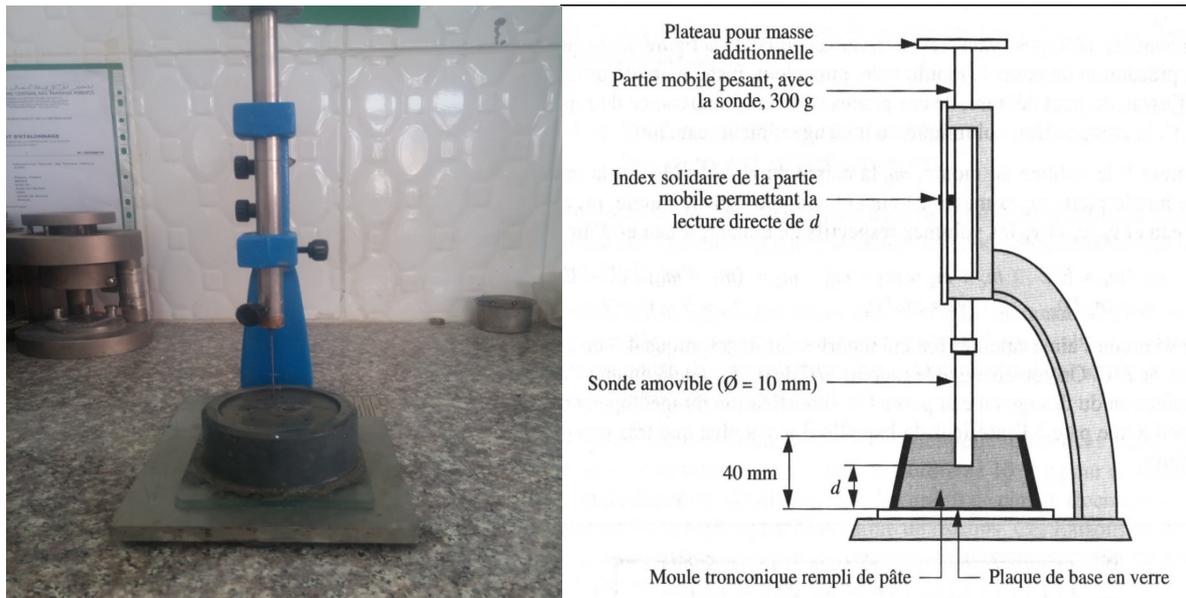


Figure IV.1 . Appareil Vicat.

IV.3.1.1.1. Mode opératoire

L'essai de consistance normale est réalisé suivant la norme NF EN 196-3.

- **Malaxage de la pâte de ciment**

Au moyen de la balance peser 500g de ciment et une certaine quantité d'eau, par exemple 125g. Lorsque l'eau est mesurée en volume à l'aide de la burette ou du cylindre gradué, elle doit être introduite avec une précision de ± 1 ml, malaxer chaque gâchée de pâte de ciment mécaniquement au moyen de malaxeur.

Le chronométrage des différentes étapes du malaxage s'inscrit entre les moments de la mise en marche de l'arrêt de malaxeur et il doit être respecté à ± 2 S.

- **Remplissage du moule**

Verser la pâte immédiatement dans le moule légèrement huilé, préalablement placé sur la plaque de base légèrement huilée également et remplir le moule à refus sans tassement ni vibration excessive, éliminer les vides dans la pâte en tapotant doucement le moule, légèrement trop rempli, avec la paume de la main, avec une règle plate enlever l'excès de pâte par un léger mouvement de scie de manière à laisser la pâte remplir totalement le moule et à obtenir une surface supérieure lisse.

- **Détermination de la consistance**

Régler l'appareil de Vicat équipé de la sonde, fixée avant le début de l'essai en abaissant la sonde jusqu'au contact avec la plaque de base et en calant l'indicateur ou l'échelle à zéro, relever la sonde en position d'attente, aussitôt après avoir arasé la pâte ; placer le moule et la

plaque de base dans l'appareil de Vicat, en le centrant sous la sonde, abaisser doucement la sonde jusqu'à ce qu'elle soit en contact avec la pâte.

Marquer une pause de 1S à 2S dans cette position, pour éviter de donner une vitesse initiale ou une accélération forcée aux parties mobiles, puis lâcher rapidement les parties mobiles et laisser la sonde pénétrer verticalement au centre de la pâte ; la libération ou 30 S après la libération de la sonde selon que l'une ou l'autre de ces deux limites de temps est atteinte en premier.

Enregistrer la valeur lue sur l'échelle qui indique la distance entre la face inférieure de la sonde et la plaque de base, ainsi que la teneur en eau de la pâte, exprimée en pourcentage en masse de ciment, nettoyer la sonde immédiatement après chaque pénétration.

Refaire l'essai avec des pâtes contenant des quantités d'eau différentes, jusqu'à ce que l'une d'elle produise une distance de $(6 \pm 2 \text{ mm})$ entre la sonde et la plaque de base, enregistrer la teneur en eau de cette pâte, exprimée à 0,5% près, comme la quantité d'eau nécessaire pour l'obtenir la consistance normalisée.

IV.3.1.2. Le temps de prise

On utilise l'appareil Vicat, on retire la sonde et la remplace par l'aiguille, celle-ci doit être en acier et doit avoir la forme d'un cylindre droit d'une longueur effective d'au moins 45 mm et d'un diamètre de $(1.13 \pm 0.05 \text{ mm})$.

IV.3.1.2.1. Mode opératoire

Remplir le moule Vicat de la pâte de consistance normalisée, placer le moule rempli et la plaque de base le conteneur, ajouter de l'eau de manière que la surface de la pâte soit recouverte de 5 mm d'eau au minimum, et entreposer dans l'enceinte à température contrôlée à (20°C) .

- **Détermination du temps de début de prise**

- Après un temps approprié, placer le moule, la plaque de base et le conteneur sous l'aiguille de l'appareil Vicat.
- Lâcher l'aiguille sur la pâte.
- 30 S après avoir lâché l'aiguille noter la distance entre l'extrémité de l'aiguille et la plaque de base plane.
- Recommencer l'opération sur la même éprouvette.
- Renouveler la mesure de la distance toutes 15 minutes jusqu'à l'obtention de $d = (6 \pm 3) \text{ mm}$.
- Noter le temps de début de prise (à partir du temps zéro).

- **Détermination du temps fin de prise**

- Les mêmes étapes de début de prise, mi adapter un accessoire annulaire sur l'aiguille, on renouveler la mesure de la distance toutes 30 minutes jusqu'à l'obtention $d = 0.5\text{mm}$.
- Noter le temps de fin de prise (à partir du temps zéro).

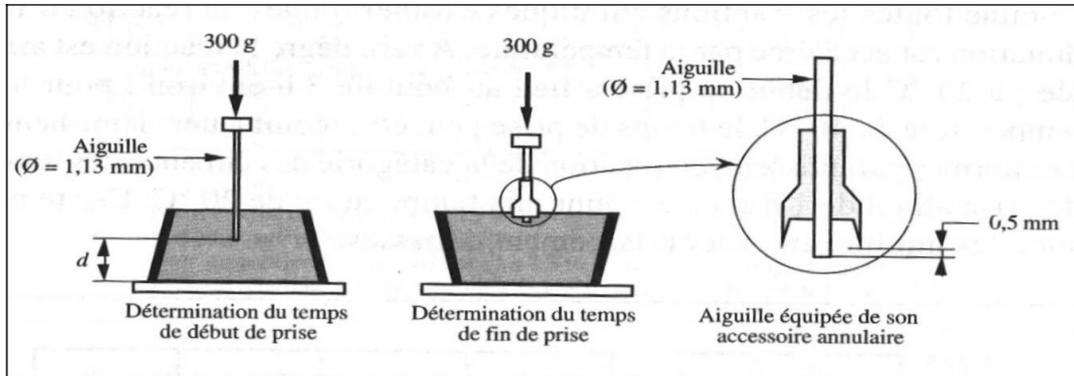


Figure IV.2 . Détermination du temps de prise.

IV.3.1.3. La classe de résistance

Pour déterminer la classe de résistance du ciment, il faut élaborer un mortier, ce dernier sera soumis à des essais de flexion 3 points et la compression pour déterminer sa résistance mécanique suivant la norme NF EN 196-1.

IV.3.1.3.1. Mode opératoire

- **Détermination de la composition du mortier**

- Peser au moyen d'une balance les quantités suivantes :

Ciment : 450 g.

Sable normalisé : 1350g.

Eau : 225 g.

- Introduire l'eau et le ciment dans le malaxeur en évitant toute perte de matériaux.
- Mettre le malaxeur en marche à petite vitesse, et enregistrer le temps de démarrage, après 30s de malaxage introduire régulièrement tout le sable pendant les 30s suivante, passer le malaxeur sur sa grande vitesse et continuer le malaxage pendant 30s.

- **Préparation et conservation des éprouvettes**

- Fixer le moule bien et la hausse sur la table à choc, et introduire le mortier dans chaque compartiment du moule en deux couches.
- serrer chaque couche de mortier par 60 chocs de l'appareil à choc, en veillant à assurer un sur plus de la deuxième couche.
- Retirer doucement le moule de la table à choc et ôter la hausse, enlever l'excès de mortier à l'aide de la règle métallique.

-Effectuer le démoulage en prenant soin de ne pas détériorer les éprouvettes, entre 20h et 24h après le moulage, identifier convenablement les éprouvettes.

-Mettre les éprouvettes identifiées dans un milieu humide (eau a 20°C), jusqu'à l'âge d'essai.



Figure IV.3 . Milieu de conservation (eau). **Figure IV.4 .** Table de choc.

Détermination des résistances mécanique

- Les essais de la mesure des résistances mécaniques se feront aux différents âges (7jour et 28jour).
- Retirer les éprouvettes destinées à l'essai à un âge particulier, et cela 15min avant l'essai.
- Placer le prisme dans le dispositif de flexion sur la face latérale, et appliquer la charge verticalement sur la face latérale opposée du prisme une vitesse jusqu'à la rupture.
- Placer chacun des demis prismes et le center latéralement par rapport aux plateaux de dispositif de compression de la machine, augmenter la charge à une vitesse pendant toute la durée d'application de la charge jusqu'à la rupture.



Figure IV.5. Appareille de compression et flexion.

IV.3.2. Les essais sur le sable

IV.3.2.1. L'analyse granulométrique par tamisage

L'analyse granulométrique sert à déterminer la grosseur et le pourcentage en poids de différentes formes de granulats, et la classe granulaire d'un granulat, faire l'analyse en suivant la norme NF 933-1.

IV.3.2.1.1. Mode opératoire

- **Préparation de l'échantillon**

- Prenant une quantité de sable en son état humide naturel ($M'1$).
- Séché le sable à l'étuve pendant 24h à une température de 100° ($M1$).
- Lavé le sable après le séchage dans le tamis 0.2mm et on va le séché ($M2$).

Comme ça on détermine la teneur en eau W .

$$W = \frac{M'1 - M1}{M'1}$$

- **L'analyse**

- On choisit une série de tamis d'ouvertures décroissantes de haut vers le bas tel que le tamis supérieur de cette colonne laisse passer les plus grosse particule
- On a utilisé des tamis d'ouverture : (6.3 mm - 5 mm - 2.5mm - 1.25mm - 0.630 mm - 0.315mm - 0.16mm - 0.08mm - 0.063mm).
- L'échantillon pour l'essai est versé sur le tamis supérieur
- Mettre la colonne complète (tamis + fond plein + couvercle) sur la tamiseuse.
- Lancer le tamisage.
- On pesé les refus cumulés pour le tamis considéré : le refus étant égal à la quantité de grains recueilli sur celui-ci plus le refus recueilli les tamis de dimension supérieure.

Après l'analyse granulométrique on calcule le module de finesse MF, qui nous de juger la qualité du sable, il est donné par la relation suivant :

$$MF = \frac{\sum \% \text{refus cumulés}}{100}$$

-Pour : $1.8 < MF < 2.2$, sables fins.

$2.2 < MF < 2.8$, sable normale.

$2.8 < MF < 3.2$, sable gros.

IV.3.2.1.2. L'équivalent de sable

La propreté des sables est déduite à partir de l'essai dit l'équivalent de sable (ES), cet essai permet de mesurer la propreté de matériaux fins, il rend compte de façon globale de la quantité d'éléments fins contenus dans le matériau sans aucune distinction de nature, faire l'essai avec la norme NF EN 933-8+A1.

- **Mode opératoire**

- **Préparation de l'échantillon**

L'essai doit être réalisé sur traction 0/2 dans une salle à une température (23±3) C°.

- Prenant une quantité de sable en son état humide naturel (M0).
- Séché le sable à l'étuve pendant 24h à une température de 100°.
- Pour calculer la teneur en eau (W).
 - Prendre une quantité de sable (M1) après lavé le sable dans le tamis 0.063mm après on va le sécher dans l'étuve pendant 24h, la nouvelle masse de sable si (M2).

Ça pour calculer la teneur en fines (f).

$$f = 100 - \frac{M2 * (100 + W)}{M1}$$

-La masse de chaque éprouvette est égale :

$$\text{Si } f \leq 10\% : M_T = \frac{120 * (100 + W)}{100}$$

$$\text{Si } f \geq 10\% : M_T = M3 + M4$$

$$\text{Avec : } M3 = \frac{1200}{f} * \left(1 + \frac{W}{100}\right) \quad \text{et} \quad M4 = 120 - \frac{1200}{f}$$

- **Réalisation de l'essai**

- Remplir les 2 éprouvettes de solution lavante jusqu'au 1er repère, ensuite verser la quantité de sable tarée.
- Eliminer les bulles d'air en frappant chaque éprouvette contre la paume de la main et laisser reposer 10 minutes.
- Boucher les éprouvettes et les agiter d'un mouvement rectiligne, horizontal, à l'aide d'une machine à secouer (90 allers et retours en 30 secondes).
- Laver et remplir les éprouvettes avec le tube laveur en rinçant le bouchon, lavant les parois intérieures de toutes les éprouvettes et laver la masse du sable en y faisant remonter et descendre lentement le tube ainsi les fines remontent en surface.
- On ferme le robinet lorsque la solution atteint le 2eme trait (supérieur) et on sort le tube laveur, on laisse reposer 20 minutes en évitant toute vibration.



Figure IV.6. Essai d'équivalent de sable.

- Mesurer la hauteur **h1** au niveau supérieur du flocculat.
- Descendre lentement le piston dans l'éprouvette jusqu'à ce qu'il repose sur le sédiment, l'immobiliser, mesurer **h2**.
- L'équivalent de sable est la moyenne de $100 \cdot \frac{h2}{h1}$ pour les deux éprouvettes.
- Avec :

ES < 60 : Sable argileux.

$60 \leq ES \leq 70$: Sable légèrement argileux.

$70 \leq ES \leq 80$: Sable propre à faible pourcentage de fines argileux.

ES > 80 : Sable très propre.

IV.3.2.1.3. L'essai au bleu de méthylène

L'essai au bleu de méthylène sert à déterminer la nature minéralogique des particules argileuses et leur influence sur le comportement global du sable, l'essai a été réalisé selon la norme NF EN 933-9.

- **Mode opératoire**

- **Conduite de l'essai**

- Prendre 30g de sable sec passé au tamis 0,2mm.
- Mettre la prise d'essai à tremper dans un bécher avec 500cm³ d'eau.
- A l'aide du l'agitateur (700tr/min) disperser la suspension pendant 5min.
- A l'aide du dispositif de dosage, introduire 5cm³ de bleu de méthylène et agiter pendant 1min.



Figure IV.7. Appareil de bleu de méthylène.

➤ **Le test de la tache**

Avec une baguette déposer une goutte de la suspension sur le papier filtre.

-Test négatif : on dira le test est négatif si la tache déposée sur le papier filtre est sans auréole dans ce cas ajouter 5cm³ de bleu laisser agiter pendant 1min et refaire l'essai de la tache, cette opération sera répétée tant que le test de la tache restera négatif.

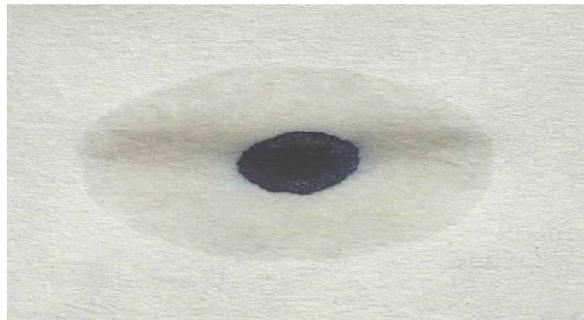


Figure IV.8. Test négatif.

-Test positif : on dira que le test est positif si la tache déposée sur le papier filtre forme une auréole, dans ce cas procéder 5 tests successifs de la tache, si les 5 tests s'avèrent positifs l'essai est terminé.

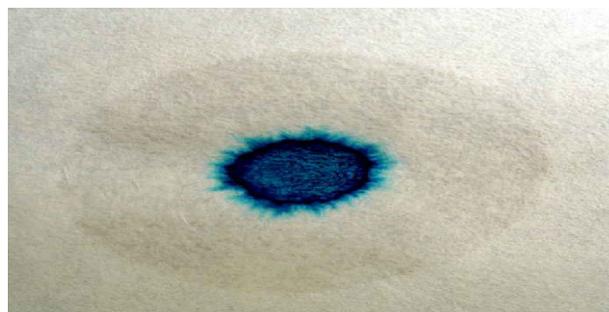


Figure IV.9. Test positif.

IV.4. Préparation des mortiers

Afin de cerner notre étude, concernant l'effet d'ajouts des fibres plastiques sur les propriétés physicomécaniques des mortiers, nous avons préparé des éprouvettes ($4 \times 4 \times 16$) cm³ à base d'un mortier normal sans fibres, comme témoins, et des éprouvettes avec des renforts (fibres plastiques longues [L=160mm , l=2mm , E=0.5mm] et fibres plastique courtes [L=20mm , l=2mm , E=0.5mm]), en faisant varier les pourcentages des fibres : (1% ; 2% ; 3% ; 4% ; 5%) , l'incorporation des fibres s'effectue en fraction volumique par rapport au mélange total.

L: longueur, l: largeur, E: Epaisseur.

Les mortiers sont préparés selon les modalités de la norme NF P15-403.

IV.4.1. Le mortier normal (témoin)

Pour préparer un mortier normal on pèse les constituants suivants :

IV.4.1.1. Les matériaux utilisés

- Sable 1350g.
- Ciment 450g.
- Eau de gâchage 225g (le rapport E/C= 0,5).
- Pouzzolane13, 5g (3% de la quantité de ciment).
- L'adjuvant 1,125g (0,5% de la quantité d'eau).

IV.4.1.2. Malaxage de mortier

On introduit le ciment et le pouzzolane et l'eau dans la cuve de malaxeur, on met le malaxeur en marche à vitesse lente, après 30s, on introduit le sable + l'adjuvant , et avec un malaxage pendant 2 min, on arrête le malaxeur pour racler le mortier rapidement et le placer au milieu du cuve, puis on redémarre le malaxeur à une vitesse rapide jusqu'à terminer les (04) min de malaxage.



Figure IV.10. Malaxeur.



Figure IV.11. Les matériaux.

IV.4.2. Mortier fibré

On a utilisé deux fibres plastique (fibre plastique longue de L=160mm et fibre plastique courte de L=20mm), à des différents pourcentages (1%, 2%, 3%, 4%, 5%), pour préparer le mortier on pèse les constituants suivants :



Figure IV.12. Fibre plastique courte.



Figure IV.13. Fibre plastique longue.

IV.4.2.1. Les matériaux utilisés

Tableau IV.8: Dosage et pesée des constituants.

N° de la Série	% des fibres plastique	Fibres plastique (g)	Ciment (g)	Sable (g)	Eau (g)	Pouzzolane (g)
MF1	1	4.37	450	1350	225	13.5
MF2	2	8.74	450	1350	225	13.5
MF3	3	13.11	450	1350	225	13.5
MF4	4	17.48	450	1350	225	13.5
MF5	5	21.85	450	1350	225	13.5

-MF : mortier fibré.

IV.4.2.1.1. Malaxage du mortier fibré

Les mêmes étapes de malaxage le mortier témoin.

IV.4.2.1.2. Préparation des éprouvettes

- On utilise des moules prismatiques de dimension $4 \times 4 \times 16$ cm.

-On doit nettoyer les éprouvettes à l'aide d'une brosse métallique puis on les étale avec l'huile pour faciliter le démoulage.

- On verse le mortier dans les moules prismatiques.
- On remplit la moitié du moule qui doit être placé sur la table à choc, avec un nombre de coups égal à 60coup/min.
- Retirer le moule après la vibration, puis on met les fibres au milieu du moule.
- Après avoir placé les fibres au milieu nous continuons à remplir de nouveau jusqu'au débordement, araser l'excès puis remettre sur la table à choc pour compléter l'homogénéisation.
- Nous effectuons ce processus avec les deux fibres et à chaque fois avec un pourcentage différent.



Figure IV.12. Confection des mortiers dans les moules.

IV.5. Démoulage et Conservation des éprouvettes prismatiques

- Le démoulage est exécuté après 24 heures de sa mise en moule, les éprouvettes de mortier, marqués et placés jusqu'au moment de démoulage, le démoulage doit être effectué avec précaution.
- Après le démoulage des éprouvettes, elles seront conservées dans l'eau à 20 °C ; et en attendant le moment de chaque essai mécanique (flexion et compression à 14 et 28 jours).



Figure IV.15. Démoulage et conservation des mortiers.

IV.6. Les essais mécaniques réalisés sur les mortiers

Les essais mécaniques ont été réalisés après 14 jours et après 28 jours pour les trois mortiers (mortier témoin et mortier fibré avec fibre longue et avec fibre courte).

IV.6.1. La résistance à la flexion 3 points

L'éprouvette utilisée dans l'essai de flexion est une éprouvette prismatique $4 \times 4 \times 16$ cm en mortier, la rupture est effectuée sous charge concentrée dans une machine munie d'un dispositif à trois rouleaux, l'essai de flexion trois points est réalisé conformément à la norme NF P18-433.

Le dispositif de flexion comporte deux appuis à rouleau de 10 mm de diamètre, distant de 100 mm, sur lesquels repose l'éprouvette prismatique suivant une face latérale de moulage, et un troisième rouleau de même diamètre, équidistant des deux premiers, et transmettant la charge F , les valeurs obtenues correspondent à la moyenne de trois essais.

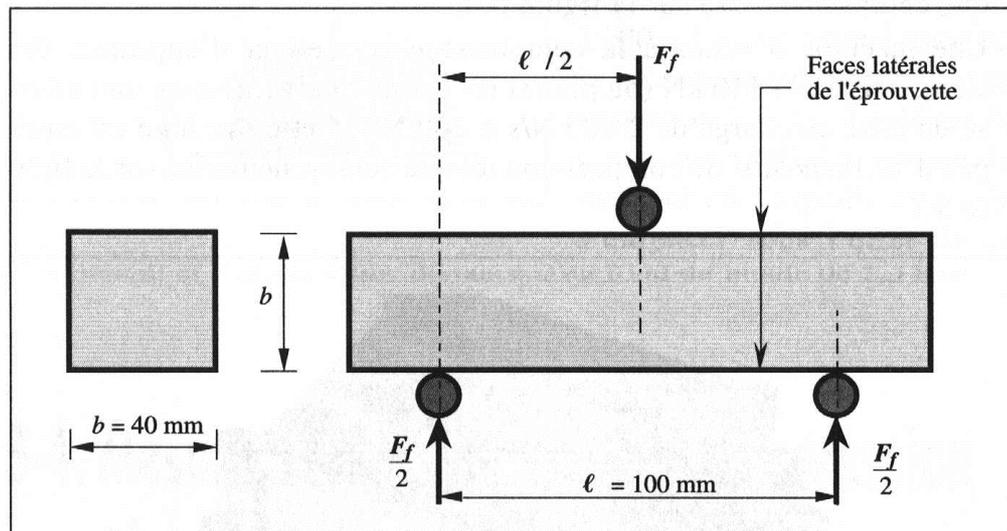


Figure IV.16. Essai de flexion.

Calcul de la résistance à la flexion :

$$R_f = \frac{1.5 * F * l}{b^3}$$

Avec : R_f : la résistance à la flexion en Mpa.

F : la charge appliquée au milieu du prisme à la rupture en N.

l : la distance entre les appuis en mm.

b : côté de la section carrée du prisme en mm.

IV.4.2. La résistance à la compression

L'essai a pour but de déterminer la contrainte de rupture par compression sur les demi-prismes obtenus par l'essai de traction par flexion. La valeur retenue pour chacune des épreuves est la moyenne arithmétique des valeurs obtenues, l'essai de compression est réalisé conformément à la norme NF P18-406.

Chaque demi-prisme est essayé en compression sur ses faces de moulage, sous une section de 40×40 mm, entre deux plaques de métal dur d'au moins 10mm d'épaisseur, de $40 \pm$ de largeur, de longueur supérieur à 40mm, ces plaques sont en acier dur, le demi-prisme est placé entre elles de manière que son extrémité intacte dépasse d'environ 1 cm.

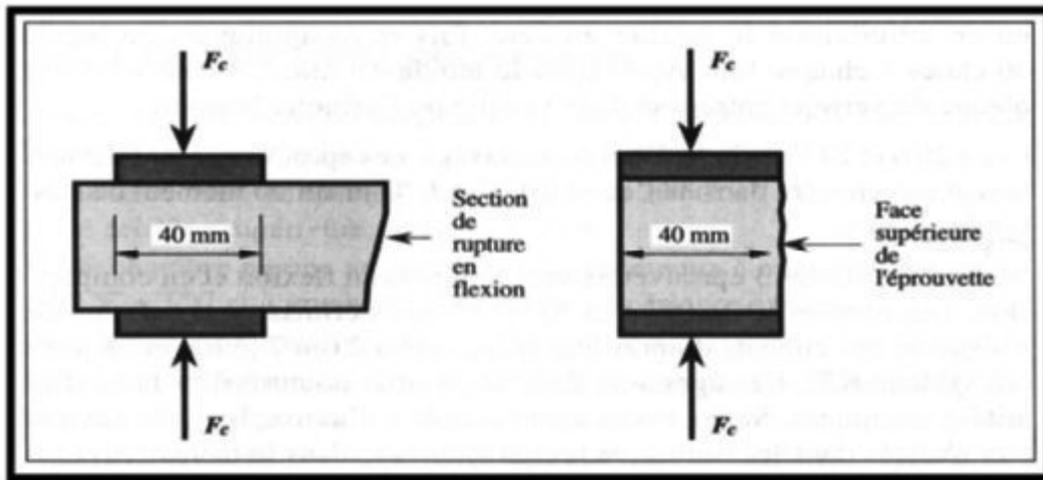


Figure IV.17. Essai de compression.

Calcul de la résistance à la compression :

$$R_c = \frac{F_c}{b^2}$$

Avec : R_c : la résistance à la compression en Mpa.

F_c : la charge maximale à la rupture en N.

b : côté de la section carrée du prisme en mm.

Chapitre V : Résultats et discussions

Chapitre V : Résultats et discussions

V.1. Introduction

Ce chapitre est consacré en premier lieu à l'interprétation des résultats des essais d'identification et de caractérisation des matériaux utilisés pour la confection des trois types de mélanges de mortiers objet de notre étude expérimentale.

En suite, nous allons aborder l'ensemble des modifications physico-mécaniques que les mortiers.

En dernier, nous exposons la comparaison dans le comportement des trois types de mortiers et l'interprétation des résultats obtenus.

V.2. Résultats des essais sur ciment

V.2.1. Consistance normalisée

Le tableau V.1 représente les résultats de la consistance normale du ciment.

Tableau V.1. Détermination de la consistance normalisée.

Réf	Ciment (g)	Eau (g)	Rapport E/C	Distance (mm)
1	500	125	0.250	18
2	500	145	0.290	00
3	500	132	0.264	06

V.2.1.1. Interprétation des résultats

On constate que pour le rapport E/C de 0,25, la pénétration de l'aiguille est de (40-18) 22mm, ce qui représente une pâte ferme, par contre la pénétration pour le rapport E/C de 0,29 a été totale ce qui induit une pâte du mortier très fluide. En conséquent, le choix du rapport E/C de 0,264 nous a conduit à avoir une pénétration de (40-6) 34mm tel qu'il est recommandé dans la norme NF EN 196-3.

V.2.2. Le temps de prise du ciment

Le tableau V.2 représente les résultats de temps de prise du ciment CEM II/A 42,5 en mesurant la pénétration dans la pate du ciment de l'aiguille chaque 15 minutes conformément à la norme NF EN 196-3.

Tableau V.2. Détermination du temps de début de prise.

Réf	Heure de lecture (intervalle 15min)	Distance (mm)
T0	10h00min	Exigence (6±3) mm
1	10 h15min	00
2	10h30min	00
3	10h45min	00
4	11h00min	00
5	11h15min	00
6	11h30min	00
7	11h45min	00
8	12h00min	00
9	12h15min	1
10	12h30min	4

Le tableau V.3 représente les résultats de temps de fin prise du ciment CEM II/A 42,5 en mesurant la pénétration dans la pate du ciment de l'aiguille chaque 30 minutes conformément à la norme NF EN 196-3.

Tableau V.3. Détermination du temps de fin de prise.

Réf	Heure de lecture (intervalle 30min)	Distance (mm)
T0	12h30min	Exigence (0.5mm)
1	13h00min	29
2	13h30min	11
3	14h00min	4
4	14h30min	0.5

V.2.2.1. Interprétation des résultats

-Le temps de début de prise= 2h30min

-Le temps de fin de prise= 4h30min

D'après ces résultats obtenus, le ciment utilisé pour la confection des mortiers est jugé conforme aux recommandations de la classe du ciment utilisé qui est le CEM II 42,5.

V.2.3. La classe de résistance

Le tableau V-4 représente les caractéristiques mécaniques du mortier de ciment confectionné avec un sable normalisé conformément à la norme NF P15-403.

Tableau V.4 . Les résistances mécaniques de ciment.

Résistance (Mpa)	7 Jour	28 Jour
Flexion	7.625	8.510
Compression	29 .680	44.677

V.2.2.1. Interprétation des résultats

D'après les résultats du tableau V.4 la résistance à la compression après 28 jours est de 44,67 MPa, elle est conforme à la classe du ciment utilisé qui est le CEM II 42,5.

V.3.Résultats des essais sur sable

V.3.1. L'analyse granulométrique

-Masse humide M'1= 1600 g.

-Masse sèche M1=1596.4 g.

-Teneur en eau W=0.22% $W = \frac{1600 - 1596.4}{1600} = 0.22\%$

-Masse sèche après lavage M2=1429.5 g.

-Masse sèche des fines retirées par lavage M1-M2= 166.9 g.

Le tableau V.5 représente l'analyse granulométrique du sable utilisé pour la confection des trois types de mortiers conformément à la norme NF P18-560.

Tableau V.5. Analyse granulométrique par tamisage du sable 0/3.

Ouverture des tamis (mm)	Masse de refus cumulés Rn (g)	%Refus cumulés (Rn/M1*100)	%Cumulés de tamisât 100-(Rn/M1*100)
6.3	00	00	00
5	00	00	100
2.5	257.3	16.11	83.89
1.25	680.2	42.60	57.40
0.630	979.7	61.36	38.64
0.315	115.6	72.38	27.62
0.16	1300.3	81.45	18.55
0.08	1417.3	88.78	11.22
0.063	1426.6	89.36	10.64

V.3.1.1. La courbe granulométrique

La figure V.1 représente la courbe granulométrique suivant les résultats de passants du tamisage conformément à la norme NFP18.560.

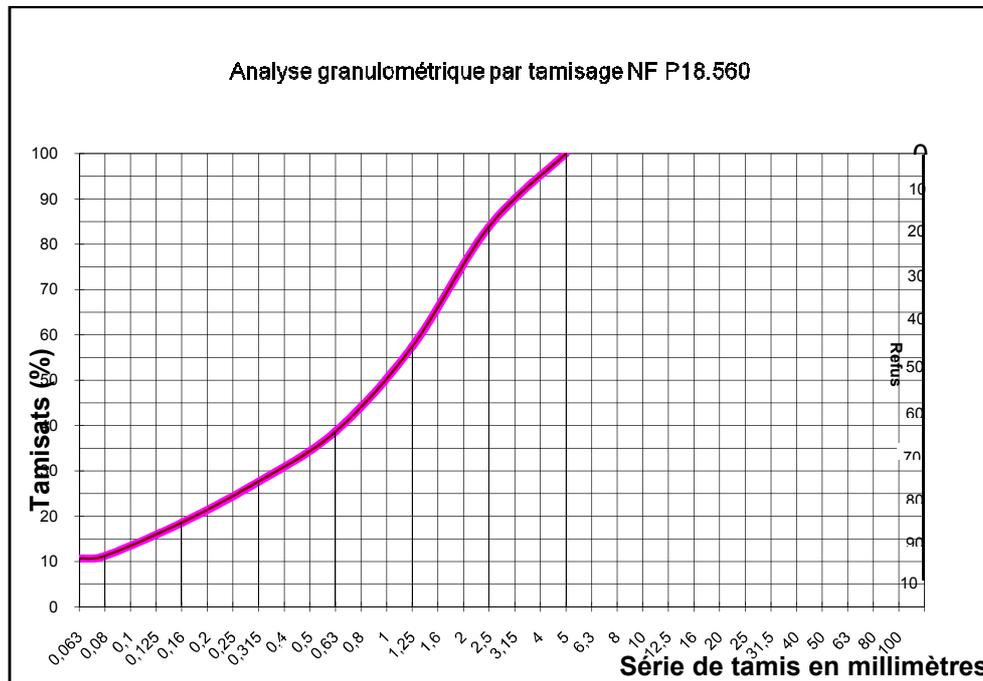


Figure V.1. La courbe granulométrique du sable 0/3mm.

V.3.1.2. Le module de finesse

Le module de finesse du sable 0/3mm est déterminé suivant l'équation suivante :

$$MF = \frac{16.11 + 42.60 + 61.36 + 72.38 + 81.45}{100} = 2.73$$

V.3.1.3. Interprétation des résultats

D'après la figure V-1 on remarque la courbe granulométrique du sable 0/3mm est une courbe continue, c'est il y a la présence de toutes les dimensions des grains entre 0 et 3mm, le module de finesse de sable est de 2,73 ce que signifie nous somme en présence d'un sable normale qui ne nécessite pas une correction.

V.3.2. L'équivalent de sable

- La masse initial $M_0 = 200$ g.
- Sous-échantillon I (SE10) = 500 g.
- Prise d'essai pour $W = 500$ g / 498.6 g.
- La teneur en eau (W) = 0.28%.
- $M_1 = 500$ g. / $M_2 = 444.6$ g.

-La teneur en fine (f)=11.07%.

$$f = 100 - \frac{444.6 \cdot (100 + 0.0028)}{500} = 11.07\%$$

-M3=108.41g. / M4=11.59g.

-M_T=120g.

Tableau V.6. Résultat d'équivalent de sable.

Calcul et expression	Première éprouvette	Deuxième éprouvette
Masse de l'éprouvette M _T (g)	120	120
Hauteur h1 (cm)	11.2	11.5
Hauteur h2 (cm)	(43-34.9)=8.1	(43-34.5)=8.5
h2/h1*100	72.32	73.91
ES	73.11	

V.3.2.1. Interprétation des résultats

D'après les résultats du tableau V.6 on constate que l'équivalent de sable est de 74,33 donc le sable utilisé dans le cadre de cette étude est un sable propre.

V.3.3.L'essai au bleu de méthylène

La VBS s'exprime en gramme de bleu pour 100g de matériau.

Pour les matériaux dont D_{Max} est inférieur à 5mm : **VBS = (B/ m₀)x100.**

B : Masse du bleu introduite (solution à 10g/l)= Vx0,01= **0,1.**

m₀ : masse sèche de la prise d'essai : **30g.**

Donc : **VBS = (0,1/30) x100 = 0,33.**



Figure V.2. Test à la tache du bleu de méthylène.

V.3.3.1. Interprétation des résultats

D'après les résultats obtenu du test à la tache, on constate que la VBS est de 0,33 donc le sable utilisé dans le cadre de cette étude est un sable propre qui ne contient pas d'argile.

V.4. La résistance mécanique

Le tableau V.7 représente les résultats de la résistance mécanique en flexion et en compression du mortier témoin et mortier fibré avec fibre longue à 14 jours.

Tableau V.7. Résistance mécanique des mortiers à 14 jours.

Mortier	Flexion (Mpa)	Compression (Mpa)
MT	7.434	46.696
MF 1%	6.248	47.822
MF 2%	6.582	49.725
MF 3%	6.838	51.167
MF 4%	7.342	51.372
MF 5%	8.064	52.267

MT : mortier témoin

MF : mortier fibré

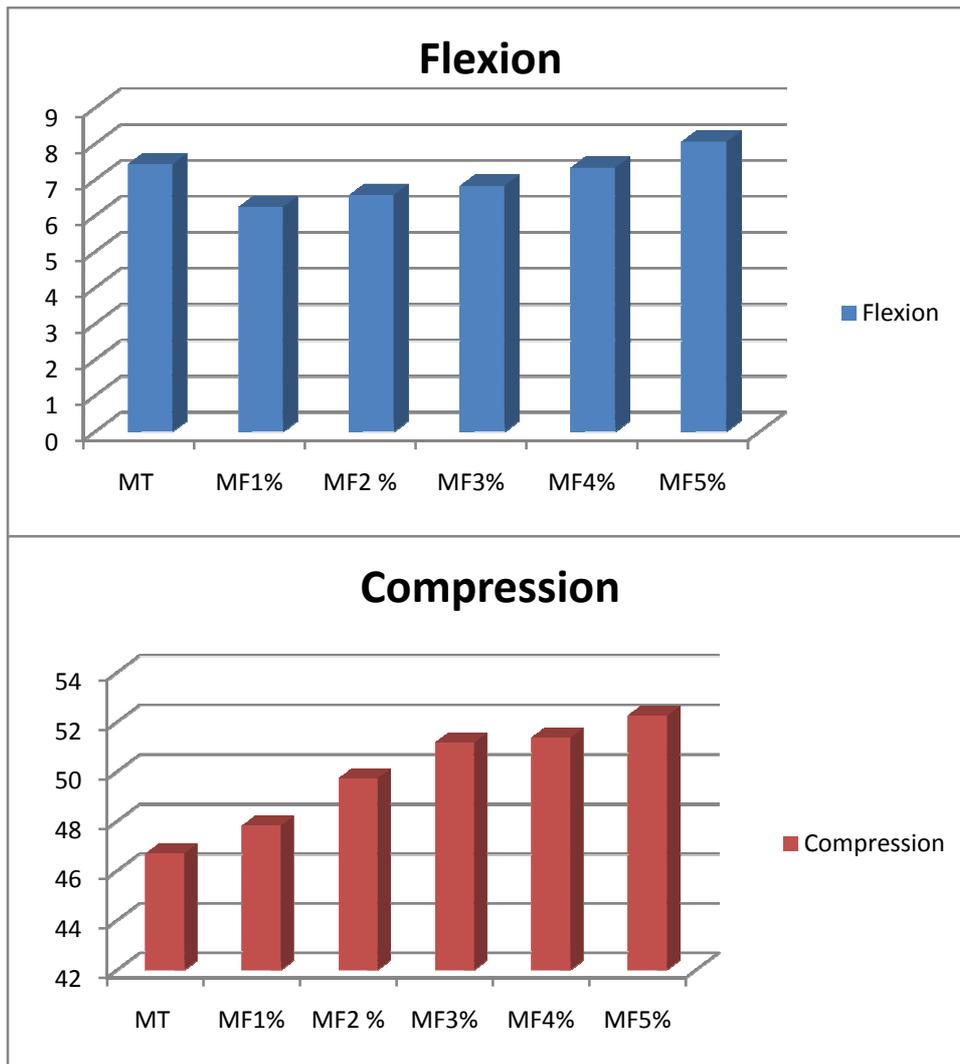


Figure V.3. Resistance mécanique (Flexion et compression) du mortier fibré (avec fibre longue) à 14jours.

Le tableau V.8 représente les résultats de la résistance mécanique en flexion et en compression du mortier témoin et mortier fibré avec fibre courte à 14 jours.

Tableau V.8. Résistance mécanique des mortiers à 14jours.

Mortier	Flexion (Mpa)	Compression (Mpa)
MT	7.434	46.696
MF 1%	6.277	46.249
MF 2%	6.355	48.797
MF 3%	6.369	51.432
MF 4%	6.624	52.644
MF 5%	6.667	53.364

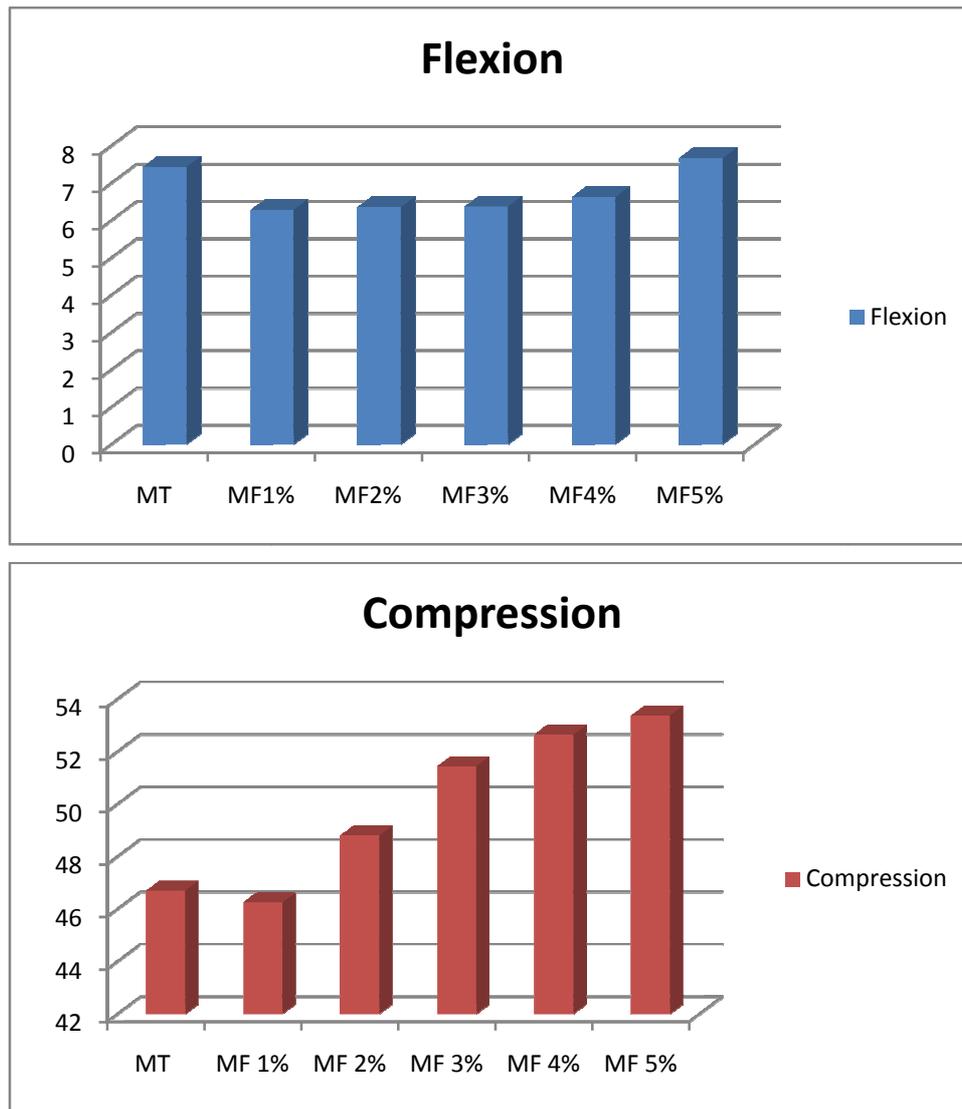


Figure V.4. Résistance mécanique (Flexion et compression) du mortier fibré (avec fibre courte) à 14 jours.

Le tableau V.9 représente les résultats de la résistance mécanique en flexion et en compression du mortier témoin et mortier fibré avec fibre longue à 28 jours.

Tableau V.9. Résistance mécanique des mortiers à 28 jours.

Mortier	Flexion (Mpa)	Compression (Mpa)
MT	7.857	50.887
MF 1%	6.766	52.294
MF 2%	7.139	53.674
MF 3%	7.664	54.981
MF 4%	7.719	56.975
MF 5%	9.354	57.000

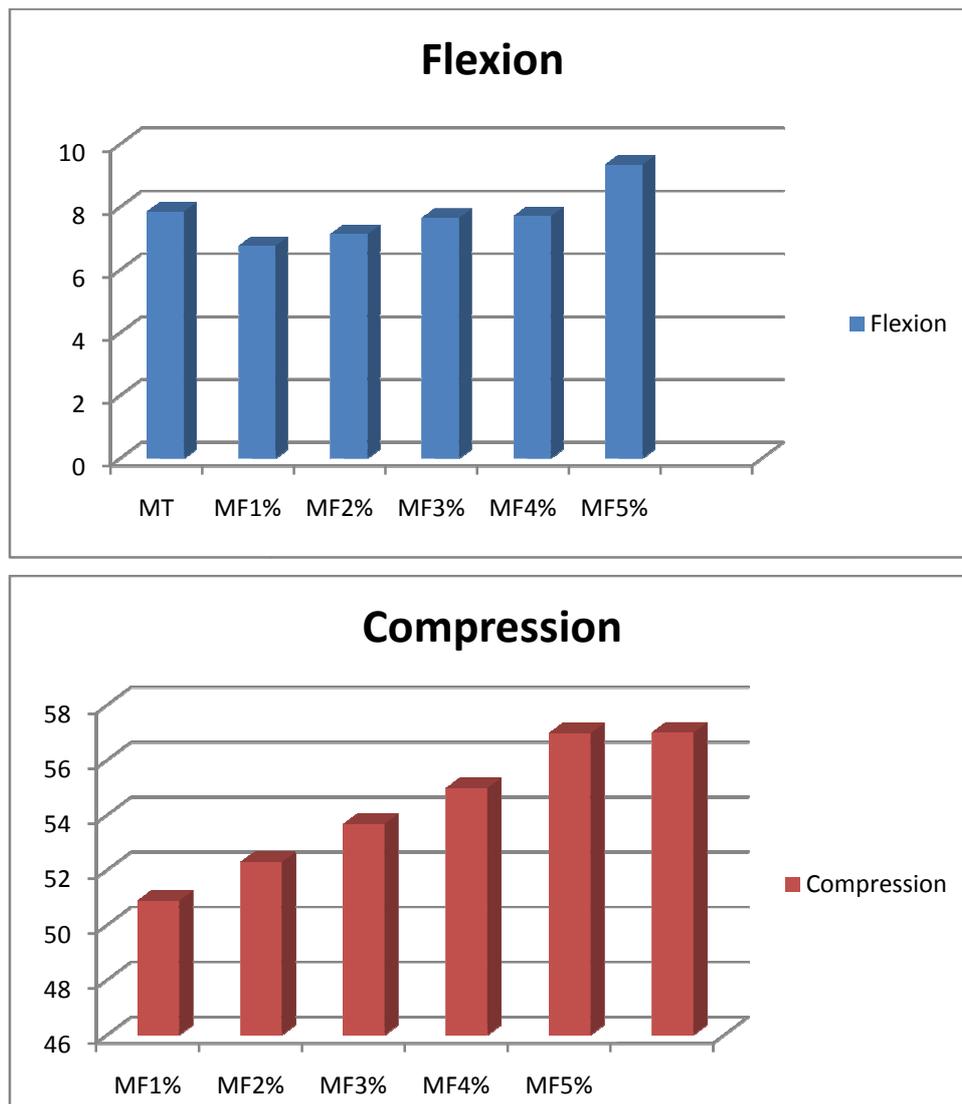


Figure V.5. Resistance mécanique (Flexion et compression) du mortier fibré (avec fibre longue) à 28jours.

Le tableau V.10.représente les résultats de la résistance mécanique en flexion et en compression du mortier témoin et mortier fibré avec fibre courte à 28 jours.

Tableau V.10. Résistance mécanique des mortiers à 28jours.

Mortier	Flexion (Mpa)	Compression (Mpa)
MT	7.857	50.887
MF 1%	6.532	51.320
MF 2%	6.867	51.365
MF 3%	7.027	51.271
MF 4%	7.226	54.874
MF 5%	7.700	55.443

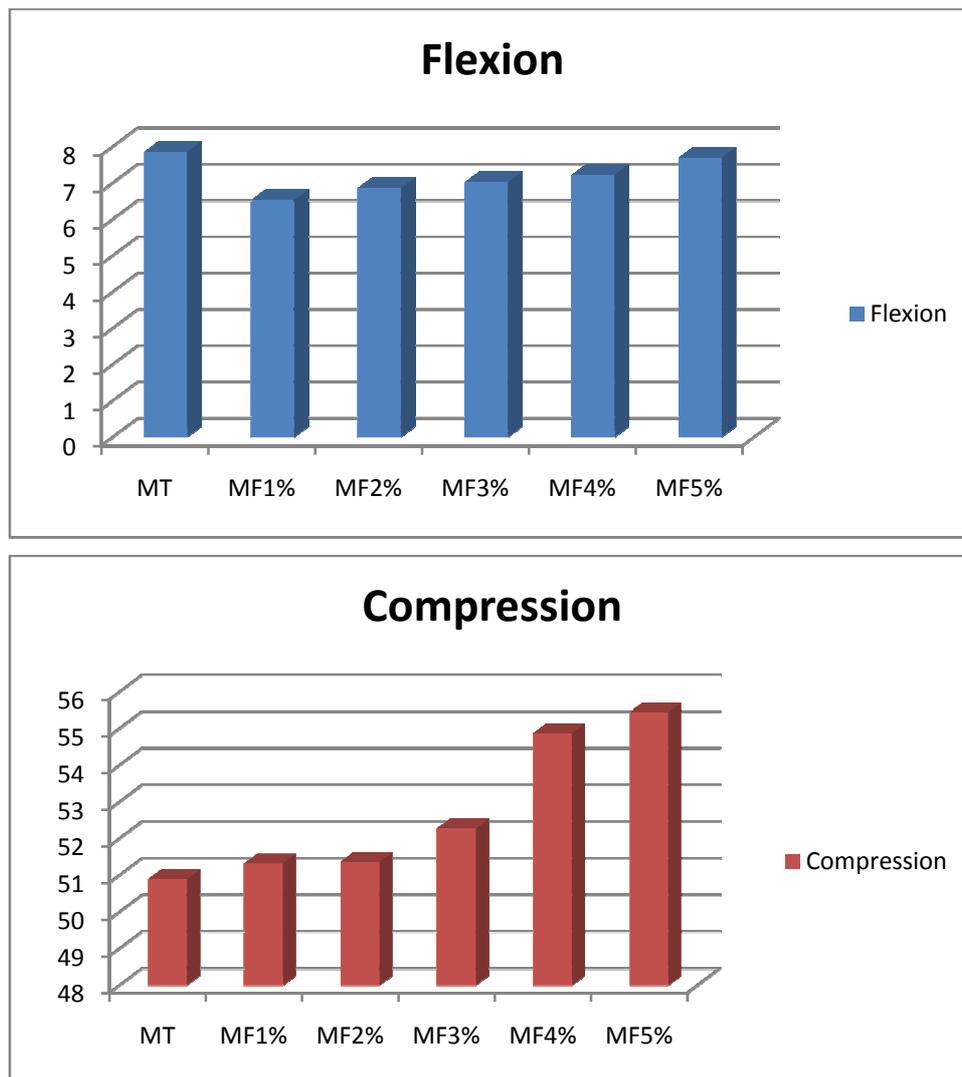


Figure V.6. Resistance mécanique (Flexion et compression) du mortier fibré (avec fibre courte) à 28jours.

V.4.3.1. Interprétation des résultats

- Augmentation de la résistance mécanique (flexion et compression) en fonction de l'augmentation du pourcentage des fibres.
- Le mortier témoin donner une meilleure résistance à la flexion para pour les mortiers fibrés jusqu'à 4% de dosage des fibres.
- La résistance mécanique à la compression des mortiers fibrée est toujours supérieure à la résistance de mortier témoin à 14 et 28jours.
- La meilleure variante est obtenue pour le dosage en fibre de 5%.

V.5.Comparaison du comportement des mortiers

V.5.1.Comparaison de la résistance à la flexion

Les Figures V.7 et V.8 représente la comparaison de la résistance à la flexion entre les deux mortiers fibrés suivant les différents pourcentages.

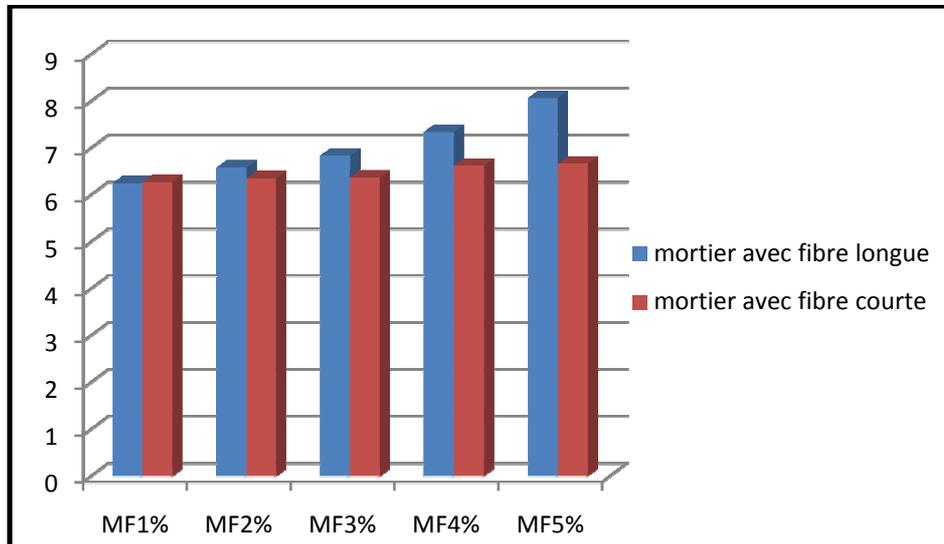


Figure V.7. Comparaison de la résistance mécanique (Flexion) entre les deux mortiers fibrés (avec fibre longue et avec fibre courte) à 14jours.

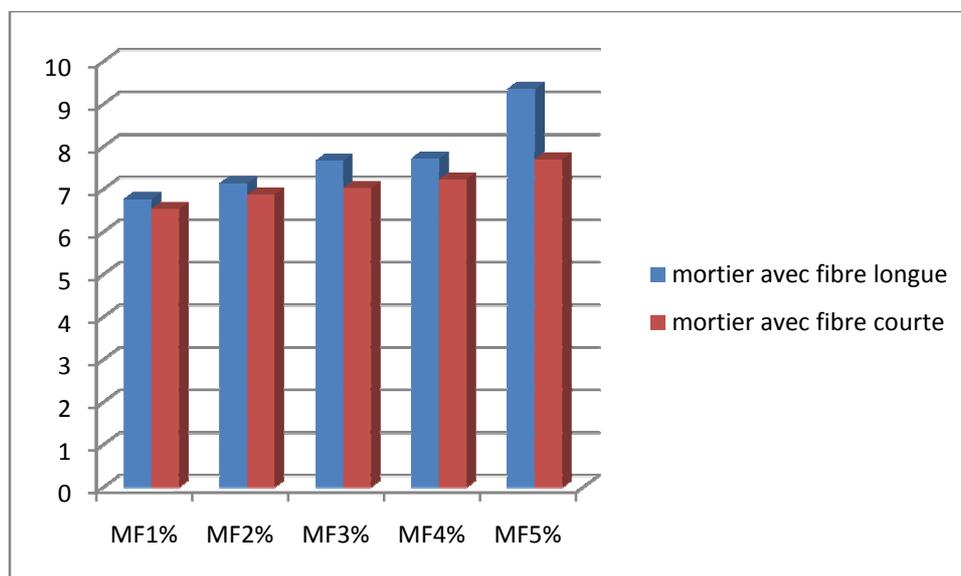


Figure V.8. Comparaison de la résistance mécanique (Flexion) entre les deux mortiers fibrés (avec fibre longue et avec fibre courte) à 28jours.

V.5.1.1.Interprétation des résultats

- Une meilleure résistance à la flexion du mortier fibré avec la fibre plastique longue. Cette meilleure résistance s'explique par le rôle positif des fibres longues, à 7jours et à 28jours.

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

V.5.2.Comparaison de la résistance à la compression

Les Figure V.9 et V.10 représente la comparaison de la résistance à la compression entre les deux mortiers fibrés suivant les différents pourcentages.

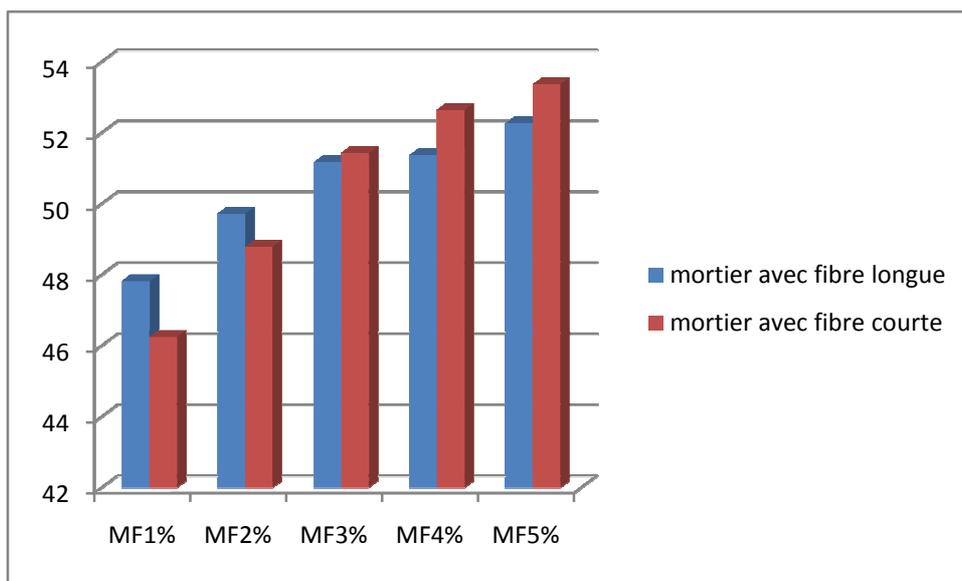


Figure V.9. Comparaison de la résistance mécanique (Compression) entre les deux mortiers fibrés (avec fibre longue et avec fibre courte) à 14jours.

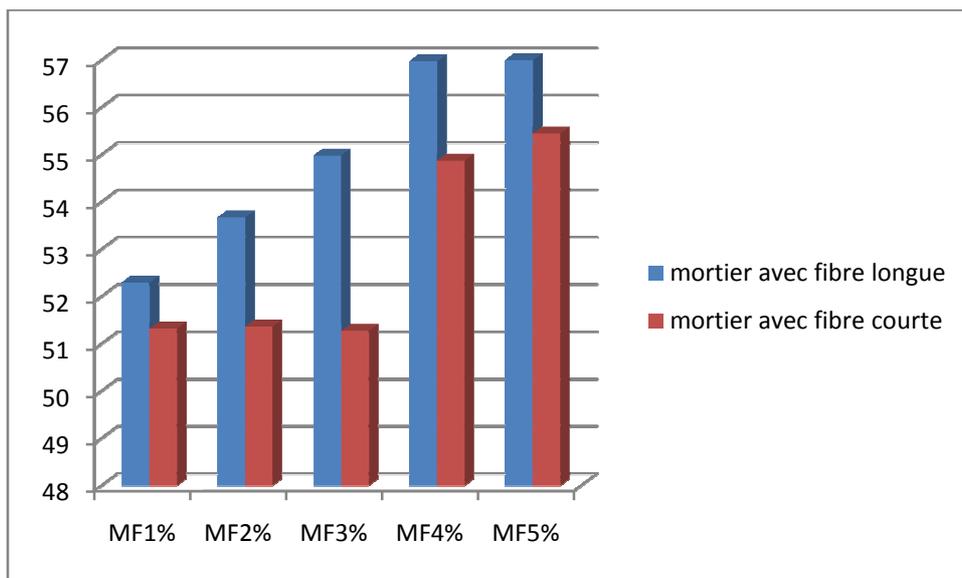


Figure V.10. Comparaison de la résistance mécanique (Compression) entre les deux mortiers fibrés (avec fibre longue et avec fibre courte) à 28jours.

V.5.2.1. Interprétation des résultats

- La résistance à la compression diminue avec l'augmentation du dosage de fibre plastique longue à 14 jours.
- Une meilleure résistance à la compression du mortier fibré avec fibre courte à 14 jours à partir de 3% de dosage des fibres.
- Le mortier fibré avec fibre courte à dosage de 5% est plus résistant à la compression à 14 jours.
- Le mortier fibré avec fibre longue à dosage de 5% est plus résistant à la compression à 28 jours.
- Une meilleure résistance à la compression du mortier fibré avec fibre longue comparativement au mortier fibré avec fibre courte à 28 jours.

Conclusion générale

Conclusion générale

Les objectifs principaux de notre travail étaient, d'évaluer l'influence d'utilisation des fibres de nature plastique sur les propriétés et le comportement physico-mécanique des mortiers.

Ces derniers contenant des fibres plastiques longue et courte à différents teneurs ont été confectionnés et conservés dans des conditions bien définies à une température ambiante, les pourcentages des fibres étaient de 1% et 2%, 3%, 4% et 5%, avec un rapport E/C de 0,5, les propriétés physiques telles que la masse volumique des éprouvettes, les propriétés mécaniques, notamment la résistance à la compression et à la flexion, ont été étudiés.

D'après les résultats obtenus de ce travail les conclusions suivantes peuvent être tirées :

- L'introduction des fibres plastiques améliore la légèreté des mortiers, vue la masse volumique de cette fibre ($\rho_s = 1,71 \text{ g/cm}^3$).
- Les résistances en flexion des mortiers fibrés ont été améliorées d'une manière notable, notamment avec l'âge, après introduction des deux types de fibres plastique (fibre longue et fibre courte) aux taux de 1% jusqu'à 5%, les éprouvettes en mortier avec les fibres plastique longue de 5% avec une valeur maximal de 9.354MPa, et pour la valeur maximale de flexion des mortiers avec fibre plastique courte est de 7.700MPa.
- Les résistances en compression des mortiers fibrés ont été aussi améliorées, en fonction de l'âge après introduction des deux types de fibres plastiques (fibre longue et fibre courte) aux taux de 1% jusqu'à 5%, par comparaison aux éprouvettes de mortier témoin, (une augmentation des résistances mécaniques en compression à 7 jours, dans le cas des mortiers renforcés avec des fibres plastiques courtes à 1% et 2%), et à 28 jours la résistances mécaniques en compression améliorées, dans le cas des mortiers renforcés avec des fibres plastiques longue à 1% jusqu'à 5%.
- L'introduction des fibres plastiques (déchets), s'avère une solution pour la prise en charge des déchets plastiques dans le secteur de la construction.
 1. Les fibres plastiques améliorent, d'une façon très significatives la résistance à la flexion du mortier ;
 2. La nature de la fibre affecte d'une manière significative les résistances à la flexion des éprouvettes de mortier.

Références

- [1] J. P. LATTEUR.« Les ciments belges composition et classification suivant la normeNBN». Guide abrégé d'application. Febelcem, 1996.
- [2] DAVISON. J. I.« Mortier pour maçonnerie ». Conseil national de recherche.Canada,1975.
- [3] **Cerilh 1964**, « Influence des accélérateurs et des retardateurs sur certains propriétés des ciments », **P. T N°170**.
- [4] CHERATI YACINE, NAFA ZAHREDINNE, «éléments de matériaux de construction t essais, université de GUELMA».
- [5] Dreux. G. « Nouveau guide du béton ». Eyrolles, Paris 1979.
- [6] D, Panaitescu, Miroe, Z.Vuluga, D.Donescu, M.Dan, Serban, D.Florea ''Effect of interaction in Natural fiber polymer composites, '' Revue Romaine de Chimie, 52(4), 409–414, 2007.
- [7] **GEORGE DREUX, JEAN FESTA**, «nouveau guide de béton» 7ième édition.
- [8] Bruno Courtois, Dominique Lafon, Jean-oierre Moineau avec Graziella Dornier, «le poit des connaissances sur les ciments», 1ère édition de l'institut nationale de recherche et sécurité, paris 2002.
- [9] Steven H. Kosmatka, Beatrix Kerkhoff, William C. Panarese Normand F . MacLeod et Richard J. McGrath «Dosage et controle des mélanges de béton » 7ème édition canadiene 2004.
- [10] Furlan, Vinicio; Bissegger, Paul, "Ancient mortars - history and approach to scientific examination" **Date of Publication:** 1975
- [11] H.F.W. Taylor, "Cement chemistry", 2nd edition, University of Aberdeen, 2007
- [12] **R.DUPAIN, R.LANCHON, J-C.SAINT-ARROMAN** «Granulat, sols, ciment et béton» **Edition CASTEILLA-PARIS-2004**.
- [13] GROUPEMENT BELGE DU BETON (G.B.B.) cour de technologie du béton Namur2006.
- [14] **Chafi Nardjes**, université de Constantine thèse de magister Mars 2015(matrice cimentaire renforcée de fibre).
- [15] SYLVER.P «science des matériaux», université pierre et marie curie **2005 ,2006**.
- [16] **GCI712** « Durabilité ET réparation du béton », département Génie civil, Université de Sherbrooke-Canada, Avril **2009**.
- [17] **Mr. BERRAIH MIMOUN** « Etude des mortiers contenant de la pouzzolane naturelle et des déchets de verre » **mémoire pour l'obtention du diplôme de magister en Génie Civil, option géomatériaux (ENSET Oran 2009/2010)**
- [18] PDF réalisé par Zile-Marie Durosier Richard Bonneville.

- [19] **Georges Dreux**, Jean Festa, Nouveau guide du béton et de ses constituants, **Paris, Edition Eyrolles, 2009.**
- [20] **DAVID PLANEL.**«Les effets couples de la précipitation d'espèces secondaires sur le comportement mécanique et la dégradation chimique des bétons».Thèse de doctorat. Université de Marne-La-Vallée.2002
- [21] **AITCIN, PIERRE-CLAUDE.**«Does Concrete Shrink or Does it Swell» ,*Concrete International*, American ConcreteInstitute, Farmington Hills, Michigan. December 1999.
- [22] **GEORGE DREUX, JEAN FESTA**, «nouveau guide de béton» 7ième édition.
- [23] BoukniBariza.tenue au Feu des Bétons Autoplaçants, Mémoire de Magister Université Mentouri Constantine, Décembre 2007.
- [24] Youcef Fritih.Apport d'un renfort de Fibres sur le comportement d'éléments en Béton autoplaçant armé Thèse de Doctorat de L'université de Toulouse ,08 Juillet 2009.
- [25] Guide de bonnes pratiques pour l'utilisation des fibres dans le béton.pp :18,19,20.janvier 2005.
- [26] NassahDalila.Influence de la quantité de fibres naturelles (alfa) etcommerciales (polypropylène) sur les propriétés physicomécaniquesdes mortiers fibrés.
- [27] M.Bentalha.«Influence de l'introduction de Fibres Métalliques sur le Comportement Différé d'une Matrice Cimentaire. Caractérisation – Comportement
- [28] Guillaume Camps.Etude des interactions chemo-mécaniques pour la simulation du cycle de vie d'un Elément de Stockage en Béton, Thèse Doctorat de l'université de Toulouse soutenue le 10 Septembre 2008.
- [29] Rossi .P, Harrouche, N, Lemaou .F.«Comportement Mécanique des Bétons de Fibres Métalliques utilisés dans les Structures en Béton Armé et en Béton précontrainte». Annales de l'itbtp, Série Matériaux 73, n°479 bis, pp. 166-183, Décembre 1989.
- [30] Chanvillard G.Analyse Expérimentale et modélisation Micromécanique du comportement des Fibres d'acier tréfilées, ancrées dans une Matrice Cimentaire. Études et Recherches des LPC, Série Ouvrages d'art, OA12. (1993).
- [31] Rossi .P.Les Bétons de Fibres Métalliques, Ponts et Chaussées, Paris, 309p. (1998).].
- [32] YoucefFritih.Apport d'un renfort de Fibres sur le comportement d'éléments en Béton autoplaçant armé Thèse de Doctorat de L'université de Toulouse ,08 Juillet 2009.
- [33] Chemrouk, M .Tahenni, T et Boulekbeche.B.«Béton renforcé en Fibres : un Matériau aux avantages multiples». 1ère Conférence Internationale sur les Energies, Matériaux et Environnement Cieme'09 Centre Universitaire de Khemis Miliana, 22 et23 Novembre 2009.

- [34] Melle : BEN BOUDJEMAA KAHINA.Mémoire de master génie civil, Influence des fibres métalliques (issues de l'unité BCR) sur le comportement mécanique et physico-chimique des mortiers pp.21-22,2013
- [35] Abdou K.« Effet des fibres métalliques sur la caractérisation et les variations dimensionnelles et pondérales des matrices cimentaires renforcés de fibres ». Séminaire International Rabat –Maroc / 23-25 Novembre 2011.
- [36] Loi n° 75-633 du 15 juillet 1975 relative à l'élimination des déchets et à la récupération des matériaux.
- [37] Décret n° 2002-540 du 18 avril 2002 relatif à la classification des déchets, à la détermination de leur caractère dangereux ou non.
- [38] Mlle SAADANI Sabrina. « Comportement des bétons a base de granulats recyclés ». Thèse de magister, Université deMentouri-Constantine.2007.
- [39] Mohamed Touhami. GOUASMI.Effets d'agrégats légers a base de Poly-téréphtalate d'Éthylène sur les propriétés des mortiers, Université d'Oran 23 Mai 2013 p (18-19).
- [40] SAADANI Sabrina .Comportement des bétons à base de granulats recyclés, Université MentouriConstantine 2010, p (7-8).

ANNEXE

Fiche technique de l'adjuvant SIKA VISCOCRETE 665:

Construction

Notice produit
Edition Août 2016
Numéro 1.23
Version n° 108.2016
SIKA® VISCOCRETE® 665

SIKA® VISCOCRETE® 665

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

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

Présentation	Le Sika Viscocrete 665 est un superplastifiant/haut réducteur d'eau polyvalent de nouvelle génération non chloré à base de copolymère acrylique. Le Sika Viscocrete 665 est compatible avec tous les ciments même avec un taux C3A faible.
Domaines d'application	Le Sika Viscocrete 665 permet la fabrication : <ul style="list-style-type: none">■ de bétons plastiques à autoplacants transportés sur de longues distances et pompés.■ de bétons à longs maintiens de rhéologie (>2h30), sans reprise de fluidité dans le temps.
Caractères généraux	Le Sika Viscocrete 665 est un superplastifiant qui confère aux bétons les propriétés suivantes : <ul style="list-style-type: none">■ Longue rhéologie (>2h30)■ Evolution rapide des résistances à court et à long terme■ Réduction de la viscosité■ Amélioration de la stabilité du béton frais et limitation de la ségrégation avec des granulats concassés■ Pas de reprise de fluidité dans le temps■ Qualité de parement
Agréments, essais de laboratoire	PV CNERIB : DTEM : 396/2016.
Caractéristiques	
Aspect	Liquide marron
Conditionnement	<ul style="list-style-type: none">■ Fût de 200 Kg■ Conteneur perdu de 1000 Kg■ Vrac
Stockage	A l'abri du gel. En cas de gel accidentel, le produit retrouve ses qualités d'origine une fois dégelé lentement et réhomogénéisé.
Conservation	12 mois dans son emballage d'origine intact



Données techniques	
densité	1,085 ± 0,015
pH	5 ± 1,0
Teneur en Na ₂ O Eq.	≤ 1,0%
Extrait sec	33,0 ± 1,1% (méthode halogène selon NF 085)
Teneur en ions Cl ⁻	≤ 0,1%
Conditions d'application	
Dosage	Plage de dosage : 0,4 à 2% du poids du liant ou du ciment selon la fluidité et les performances recherchées.
Mise en œuvre	Le Sika Viscocrete 665 est ajouté, soit en même temps que l'eau de gâchage, soit en différé dans le béton préalablement mouillé avec une fraction de l'eau de gâchage.
Précautions d'emploi	En cas de contact avec la peau, laver abondamment à l'eau. Consulter la fiche de données de sécurité accessible sur Internet.
Mentions légales	Produit réservé à un usage strictement professionnel Nos produits bénéficient d'une assurance de responsabilité civile. «Les informations sur la présente notice, et en particulier les recommandations relatives à l'application et à l'utilisation finale des produits SIKA, sont fournies en toute bonne foi et se fondent sur la connaissance et l'expérience que la Société SIKA a acquises à ce jour de ses produits lorsqu'ils ont été convenablement stockés, manipulés et appliqués dans des conditions normales. En pratique, les différences entre matériaux, substrats et conditions spécifiques sur site sont telles que ces informations ou toute recommandation écrite ou conseil donné n'impliquent aucune garantie de qualité marchande autre que la garantie légale contre les vices cachés. Nos agences sont à votre disposition pour toute précision complémentaire. Notre responsabilité ne saurait d'aucune manière être engagée dans l'hypothèse d'une application non conforme à nos renseignements. Les droits de propriété détenus par des tiers doivent impérativement être respectés. Toutes les commandes sont acceptées sous réserve de nos Conditions de Vente et de Livraison en vigueur. Les utilisateurs doivent impérativement consulter la version la plus récente de la notice correspondant au produit concerné, qui leur sera remise sur demande.»



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

Tel.: 213 (0) 21 50 21 84
213 (0) 21 50 18 92 à 95
Fax: 213 (0) 21 50 22 08



Feuillard PET Polyester

MACHINE-MANUEL

Résistance du métal, souplesse du plastique

DOMAINES D'UTILISATION

- Charges lourdes
- Charges compactes
- Charges rigides

CONDITIONNEMENT



Palette de 48 bobines
(en vrac ou en carton)



Excellente conservation de la tension, même sur des charges légèrement rétractables.



Souple, il offre des possibilités de tension très importantes et une parfaite répartition de la tension sur les angles de la charge.



Très résistant aux chocs, à l'humidité et aux UV.



Recyclable à 100 %.



Stockage longue durée en extérieur.



Polyester grainé (PET)

Fabriqué à partir de granulés en polyester extrudés en filière plate, il possède une meilleure résistance que le feuillard en polypropylène et peut, pour certaines applications, remplacer les feuillards en acier.

Feuillard PET Polyester

MACHINE-MANUEL

Résistance du métal, souplesse du plastique

PRODUITS ASSOCIÉS



Cercleuse semi-automatique verticale à aiguille TP202MV



Appareil de cerclage sur batterie



Tendeur-sertisseur



Chape pour cerclage



Dévidoir pour feuillard PET

Données techniques

Référence	Largeur (mm)	Épaisseur (mm)	Ø mandrin (mm)	Résistance (kg)	Application	Couleur
CPE6012A	12.5	0.60	406	290	Machine	Vert
CPE6012D	12.5	0.60	406	270	Manuel	Vert
CPE6016A	15.5	0.60	406	400	Machine	Vert
CPE6016D	15.5	0.60	406	380	Manuel	Vert
CPE7012A	12.5	0.70	406	354	Machine	Vert
CPE7012D	12.5	0.70	406	300	Manuel	Vert
CPE7016A	15.5	0.70	406	439	Machine	Vert
CPE7016D	15.5	0.70	406	400	Manuel	Vert
CPE9016A	15.5	0.85	406	500	Machine	Vert
CPE9016D	15.5	0.80	406	480	Manuel	Vert
CPE9019A	19	1.00	406	690	Machine/Manuel	Vert

Applications





المجمع الصناعي لإسمنت الجزائر

GRUPE INDUSTRIEL DES CIMENTS D'ALGERIE
SOCIETE DES CIMENTS DE SOUR EL GHOZLANE
« S.C.S.E.G. »

S.P.A. au capital social de : 1.900.000.000 D.A : رأس مالها الاجتماعي : 1.900.000.000 د.ج



N° Identification Fiscale : 099 810 028 210 584 - N° Article d'imposition : 10 38 52 58 011 - N° Registre de Commerce : 10/00-0282105898

Produit Commercialisé :
Ciment CEM II /A-M (P-L) 42.5 N

Fiche technique

Période D'expédition :
Avril -Mai 2019 -

Conformément à la norme NA 442 édition 2013

Caractéristique physico-mécaniques				Composition chimique			
Désignations	Unités	Exigence	Moyenne	Composé	Exigence	Moyenne (%)	
Poids spécifique	Gr/cm ³		3.09	SiO ₂		20.06	
Surface spécifique Blaine	Cm ² /gr		4000	Al ₂ O ₃		3.99	
Consistance normale	% H ₂ O		26.11	Fe ₂ O ₃		3.04	
Temps de prise	Début	Min.	≥ 60	151	CaO	61.57	
	Fin	Min.		322			
Expansion à chaud	mm	≤ 10	2.79	MgO		1.62	
Chaleur d'hydratation à (41h)	(j/g)	270	238.8	K ₂ O		0.54	
Refus sur tamis 45 µm	%		15.58	Na ₂ O		0.26	
Résistance à la flexion	02 jours	Mpa		4.56	SO ₃	≤ 3.50	2.06
	07 jours	Mpa		6.12	Cl ⁻	≤ 0.10	< 0.01
	28 jours	Mpa		6.92	P.A.F à 1000 ° C		7.16
Résistance à la compression	02 jours	Mpa	≥ 10.00	19.94	CaO _{libre}		1.56
	07 jours	Mpa		34.92			
	28 jours	Mpa	Li ≥ 42.5 Ls ≤ 62.5	43.53	---	---	---

Observation : c'est un ciment portland composé, dont les caractéristiques physico-mécaniques et chimiques satisfont aux exigences du ciment CEM II / A-M (P-L) 42.5N Selon la norme NA 442/2013.

Société des Ciments Sour El Ghozlane
Siège : Col de Becouche BP 61, Sour El Ghozlane
(W) de Bouira, 10004 Algérie
E-Mail : bodg-scseg@scseg.dz

Le chef de Département