



**Ministère de l'enseignement supérieur
et de la recherche scientifique**

Université Mohamed Boudiaf - M'sila

Faculté de technologie

Département de GENIE CIVIL

MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER

FILIERE : Génie Civil

SPECIALITE : MATERIAUX

THEME

**Etude du comportement d'un
mortier a base de sable mixte
(sable de dune et sable concassé)
armé de fibres synthétiques**

Dirigé par :

Mr. BEDDAR.M

Présenté par :

GUERBAS TOUFIK

Promotion: 2014/2015.

Remerciements

En préambule à ce mémoire, nous souhaitons adresser ici

Nos remerciements à :

Notre créateur (DIEU) pour nous avoir donné de la force à

Accomplir ce travail.

Je tiens remercier :

Monsieur BEDDAR MILOUD, Maître de conférences, pour l'honneur qu'il m'a fait d'encadrer ce travail, pour sa disponibilité, pour son écoute, pour ses grandes qualités pédagogiques ainsi que pour sa rigueur scientifique, pour l'aide très précieuse et l'intérêt constant qu'il a bien voulu montrer pour ce travail qu'il a guidé par de judicieux conseils, qui a bien su me communiquer pour mener au mieux cette étude

Tous les travailleurs de laboratoire de génie civil

Enfin, nous adressons nos sincères remerciements à tous Nos proches et amis qui nous ont toujours soutenues et Encouragées au cours de la réalisation de ce mémoire.

TOUFIK GUERBAS

Dédicaces

*Je dédie ce mémoire à toute ma famille GUERBAS et BOUKHALAT,
mon père, ma mère, mes frères Moussa et Oussama et ma sœur.*

*Je le dédie particulièrement à ma grand-mère Rebeh, ma tante Nasira,
et mon oncle Abdelhamid et Ahmed*

*Je le dédie aussi à tous mes oncles et tantes, cousins et cousines,
particulièrement Abderrahmane, Lahcen, Walid Bilel Messoud*

Mohamed Marame Hebba Issra Yamina

*Je ne saurai terminer sans citer mes amis, Toufik, Abdelhamid,
Azzedine, Farouk, Nacer, Ahmed et Saàd Mohamed Abbldeh*

Abdelkader

*Enfin je le dédie à tous mes amis que je n'ai pas cités et à tous ceux
qui me connaissent, en particulier les étudiants de pole universitaire de
m'sila.*

Table des matières

Liste des tableaux.....	II
Liste des figures.....	I
Introduction générale.....	1

Chapitre I : **Le ciment et leur fabrication**

I.1 - Introduction	3
I.2- Définition du ciment.....	3
I.3- Principe de fabrication des ciments courants.....	4
1.3.1- Etapes de fabrication du ciment.....	4
I.4- Les constituants du ciment	4
I.4.1-Le clinker.....	5
I.4.2- Le gypse CaSO_4.....	6
I.5- Classification des ciments courants	6
I.6- Propriété des ciments.....	7
I.6.1- Caractéristiques physiques.....	7
I.6.2-Caractéristiques chimiques.....	9
I.6.3- Caractéristiques mécaniques des ciments courants.....	10
I.7-L'hydratation du ciment.....	11
I.7.1-Introduction.....	11
I.7.2- Hydratation des composants du ciment portland.....	12
I.7. 3- Conclusion.....	13

Chapitre II : **Le mortier**

II.1- Introduction	14
II.2- Définition	14
II.2.1-Formulation de mortier	14
II.2.2- Classification de mortier.....	16
II.2.3- Propriétés de mortier	17
II .2.4- Application de mortier	17
II.3- conclusion.....	19

Chapitre III *Fibres et leur application*

III.1- Introduction.....	21
III.2-Les fibres	21
III.2.1-Définition.....	21
III.2.2 -Différentes nature de fibres	21
III.2.3- Rôle des fibres	25

III.3-Fibres de polypropylène	26
III.3.1-Structure moléculaire du polypropylène	28
III.3.2- Propriété des fibres synthétique	29
III.3.3- Domaine d'application	29
III .3.4- Caractéristiques général	29
III .3.5- Utilisation des fibres dans le béton	30
III.3.6- Mode d'emploi	31
III.3.7- Mortiers armés de fibre	31
III.4- Conclusion	31

Chapitre IV :

Méthodes d'essai et matériaux utilisés

IV.1- Introduction	33
IV.2-Caractéristiques des matériaux	33
IV.2.1- Le Sable	33
IV.2.2-Analyse granulométrique	33
IV.2.3- Module de finesse(Mf)	34
IV.2.4-Equivalent de sable (la norme NF P 18 -598)	36
IV.2.5-Masse volumique absolue	37
IV.2.6- La masse volumique apparente	38
IV.3- Résultat des essais sur le sable dune	39
IV.3.1- Composition chimique	40
IV.3.2- Caractéristiques physiques du sable de Boussaâda	40
IV.3.2.1- L'équivalent de sable	41
IV.3.2.2- La masse volumique absolue du sable : NF P18-555	42
IV.3.2.3- La masse volumique apparente du sable de dune	42
IV.4- Résultat des essais sur le sable concassé	42
IV.4.1- Caractéristiques physiques du sable concassé	42
IV.4.2.2- Caractéristiques physiques	45
III.4.2.3- résultats d'équivalent de sable	43
IV.4.2.4- La masse volumique absolue du sable : NF P18-555	44
IV.4.2.5- La masse volumique apparente du sable concassé	44
IV.5- ciment	45
IV.5.1-définition	45
IV.5.2- Domaine d'utilisation	45
IV.5.3- Caractéristiques chimiques	46
IV.5.4- Caractéristiques physiques	46
IV.6- Eau de gâchage	47
IV.7- Fibre polypropylène	49
IV.8- Formulation de mortier normal	49
IV.8.1- Optimisation	50
IV.9-Formulation de mortier fibré	51
IV.10-Essais sur mortier	51
IV.10.1-Essai au maniabilimètre B	51
IV.10.2- Essais de résistances mécaniques	54

IV.10.3- Résistance à traction par flexion.....	54
IV.10.4- Résistance à la compression	55
IV.10.5- Mesure du retrait et gonflement sur éprouvettes de mortier.....	56
IV.10.6- Mesure de la porosité.....	58
IV.11 –Conclusion.....	60

Chapitre V

Résultats et discussions

V.1- Introduction.....	61
V.2- Propriétés des mortiers à l'état frais	61
V.2.1- La consistance en fonction de L_f, M_f	61
V.2.2- La masse volumique de mortier.....	62
V.3- Propriétés des mortiers a l'état durci	64
V.3.1- Propriétés physique.....	64
V.3.1.1- La masse volumique de mortier.....	64
V.3.1.2- La porosité en fonction de fibre.....	67
V.3.2- Propriétés mécanique.....	69
V.3.2.1- Résistance à la compression.....	69
V.3.2.2- Résistance à la flexion.....	74
V.3.2.3- Le retrait à jeune âge.....	77
V.4- Conclusion.....	79

Liste des tableaux

Les tableaux		Page
Tableau (I.1)	Composition chimique et minéralogique du clinker	5
Tableau (I.2)	les différents types de ciment courants	6
Tableau (I.3)	caractéristique chimique de ciment courante	10
Tableau (I.4)	caractéristique mécanique des ciments courants	10
Tableau (I.5)	Résistances garanties des ciments courants	11
Tableau (I.6)	Les anhydres et les hydrates de ciment	12
Equation(III.3)	Synthèse du polypropylène	28
Tableau (IV.1)	Valeurs d'équivalent de sable indiquent la nature et qualité du sable.	37
Tableau (IV.2)	Composition chimique du sable de dune utilisé	40
Tableau (IV.3)	résultats d'analyse granulométrique du sable de dune	40
Tableau (IV.4)	résultats d'équivalent de sable du sable de dune	41
Tableau (IV.5)	masse volumique absolu du sable de dune	42
Tableau (IV.6)	masse volumique apparente a l'état l'ache	42
Tableau (IV.7)	masse volumique apparente a l'état compacter	42
Tableau (IV.8)	résultats d'analyse granulométrique du sable concassé	43
Tableau (IV.9)	résultats d'équivalent du sable concassé	44
Tableau (IV.10)	masse volumique absolu du sable concassé	44
Tableau (IV.11)	masse volumique apparente a l'état l'ache	44
Tableau (IV.12)	masse volumique apparente a l'état compacter	44
Tableau (IV.13)	Composition chimique des matières premières utilisées	46
Tableau (IV.14)	L'analyse chimique du ciment	46
Tableau (IV.15)	caractéristique physico-mécanique du ciment	47
Tableau (IV.16)	Analyse chimique et minéralogique de l'eau de gâchage utilisée	48
Tableau (IV.17)	formulation des mortiers en fonction de type de sable	50
Tableau (IV.18)	Evolution de la résistance à la Compression d'un mortier témoin	50
Tableau (IV.19)	Quantité de fibre utilisé	51
Tableau (IV.20)	Classe de consistance selon la durée d'écoulement	53
Tableau (V.1)	la maniabilité des mortiers en fonction de L_f	63
Tableau (V.2)	la masse volumique à l'état frais de mortier en fonction de L_f	65

Tableau (V.3)	Evolution de la masse volumique de mortier en fonction de la durée de conservation ($L_f = 6\text{mm}$)	66
Tableau (V.4)	Evolution de la masse volumique de mortier en fonction de la durée de conservation ($L_f = 12\text{mm}$)	67
Tableau (V.5)	Evolution de la masse volumique de mortier en fonction de la durée de conservation ($L_f = 6+12\text{mm}$)	68
Tableau (V.6)	Evolution de la porosité en fonction de la longueur de fibre.	69
Tableau (V.7)	Evolution de la résistance à la Compression du mortier étudié.	72
Tableau (V.8)	Evolution de la résistance à flexion du mortier en fonction de la longueur de fibre	76
Tableau (V.9)	Retrait du Mortier en fonction de la longueur des fibres	79

Liste des figures

Les figures		page
Figure (I.1)	Poudre de ciment courant	3
Figure (I.2)	Fabrication du ciment	4
Figure (I.3)	Microphotographie d'un clinker	5
Figure (II.1)	sable de dune	15
Figure (II.2)	sable de concassage	15
Figure (II.3)	Enduit de façade	18
Figure (II.4)	Enduit de sol	18
Figure (II.5)	Mortier de Maçonnerie	19
Figure (II.6)	Colle à carrelage	19
Figure (III.1)	fibre d'amiante	22
Figure (III.2)	Fibres de cellulose Exemple de Fibres de verre	23
Figure (III.3)	Exemple de Fibres de verre	24
Figure (III.4)	Géométrie des fibres métallique	25
Figure (III.5)	Rôle des fibres	25
Figure (III.6)	La transformation du comportement fragile d'un matériau	06
Figure (III.7)	Fibres polypropylène	28
Figure (III.8)	Exemple de fibres Macro-synthétiques	31
Figure (III.9)	Texture d'un béton fibre	31

Figure (IV.1)	Colonne de tamis	34
Figure (IV.2)	tamiseur électrique	34
Figure (IV.3)	courbe granulométrique des différents cas	35
Figure (IV.4)	Essai d'équivalent de sable	36
Figure (IV.5)	Essai de la détermination de la masse volumique absolue	38
Figure (IV.6)	Essai de détermination de la masse volumique apparente	39
Figure (IV.7)	la courbe granulométrique du sable de Boussaâda	41
Figure (IV.8)	la courbe granulométrique du sable concassé	43
Figure (IV.9)	ciment portland composé CPJ- CEM-II/B 32.5 R	45
Figure (IV.10)	Evolution de la résistance à la compression en fonction de type sable (dune, concassé)	50
Figure (IV.11)	Maniabilimètre B	52
Figure (IV.12)	Principe de fonctionnement du maniabilimètre B	52
Figure (IV.13)	Appareil de malaxage	52
Figure (IV.14)	Moule d'éprouvettes prismatiques (4x4x16) cm.	53
Figure (IV.15)	Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion	54
Figure (IV.16)	machine d'essais de résistance à la flexion	55
Figure (IV.17)	dispositif pour l'essai de résistance à la compression.	55
Figure (IV.18)	machine d'essais de résistance à la compression.	56
Figure (IV.19)	Principe de l'essai du retrait	57
Figure (IV.20)	Appareillage pour la mesure du retrait	58
Figure (IV.22)	Le dispositif expérimental de mesure de la porosité Boil test Equipment	59
Figure (V-1)	Variation de la maniabilité des bétons selon le taux de fibrage	64
Figure (V-2)	Evolution de la masse volumique à l'état frais de mortier en fonction de longueur de fibre.	65
Figure (V-3)	Evolution de la masse volumique à l'état durci de mortier en fonction de longueur 6mm de fibre	66
Figure (V-4)	Evolution de la masse volumique à l'état durci de mortier en fonction de longueur 12mm de fibre	67
Figure (V-5)	Evolution de la masse volumique à l'état durci de mortier en fonction du mélange des fibres	68
Figure (V-6)	Evolution de la porosité en fonction de l'âge des mortiers ($L_f=6\text{mm}$)	69
Figure (V-7)	Evolution de la porosité en fonction de l'âge des mortiers	70

	($L_f=6\text{mm}$)	
Figure (V-8)	Evolution de la porosité en fonction de l'âge des mortiers ($L_f=6\text{mm}+12\text{mm}$)	71
Figure (V-9)	courbes représentent l'influence du pourcentage des fibres sur la résistance à la compression avec une longueur de 6mm	72
Figure (V-10)	courbes représentent l'influence du pourcentage des fibres sur la résistance à la compression avec une longueur de 12mm.	73
Figure (V-11)	courbes représentent l'influence du pourcentage des fibres sur la résistance à la compression avec mélange des fibres	74
Figure (V-12)	courbes représentent l'influence des longueurs des fibres des différents dosages sur la résistance à la compression à 28 jours.	75
Figure (V-13)	courbes représentent l'influence du pourcentage des fibres sur la résistance à la flexion avec une longueur de 6mm	76
Figure (V-14)	courbes représentent l'influence du pourcentage des fibres sur la résistance à la flexion avec une longueur de 12mm	77
Figure (V-15)	courbes représentent l'influence du pourcentage des fibres sur la résistance à la flexion avec une mélange des fibres	78
Figure (V-16)	courbes représentent l'influence des longueurs des fibres des différents dosages sur la résistance à la flexion à 28 jours.	78
Figure (V-17)	Evolution du Retrait du mortier en fonction du taux de fibre ($L_f=6\text{mm}$)	80
Figure (V-18)	Evolution du Retrait du mortier en fonction du taux de fibre ($L_f=12\text{mm}$)	80
Figure (V-19)	Evolution du Retrait du mortier en fonction du taux de fibre ($L_f=6\text{mm}+12\text{mm}$)	81

ملخص:

إدخال الألياف المختلف في المواد الهشة مثل المونة الاسمنت أو الجبس من اجل تحسين المواصفات الميكانيكية كانت ومازالت محل العديد من الدراسات والأبحاث

الدراسة التوثيقية تمثل ملخص انطلاقا من الكتابات الحديثة تعريفا بمكونات المونة واستعمالاتها وفوائدها في ميدان البناء .

تأثير نسبة الألياف البوليبروبيلان وكذلك أطوالها على سلوكات المونة في الحالة الطرية والصلبة تمت دراستها وتحليلها .

النتائج المتحصل عليها تبين أن الميكانيزم الداخلي لهذه المواد المركبة والمشاكل المتعلقة بطريقة الوضع تأثر سلبيا على السلوك الميكانيكي للمونة لاسيما الضغط . إن الفائدة المتحصل عليها في الالياف تتمثل في تحسين المقاومة ضد الانعطاف والانكماش .

إن كمية الألياف التي تعطي أحسن سلوك من خلال النتائج تتراوح ما بين 0.5 إلى 1 بينما الطول بمقدار 12 ملم يمثل أحسن معامل لتحسين سلوك المونة في الانعطاف والانكماش.

كلمات المفتاح: المونة – ألياف البوليبروبيلان – الانعطاف – الانكماش – الضغط .

Résumé :

L'incorporation des fibres diverses dans les matériaux fragile du type de mortier, ciment ou plâtre on vue d'améliorer leurs performances mécanique, a fait de continue de faire l'objet de nombreuse recherche.

L'étude bibliographique présenté ici résume, au travers des écrits les plus récent, l'état des connaissances sur les composants de mortier ainsi que sont utilisé dans le domaine de construction.

L'effet de l'influence des dosages de fibre polypropylène ainsi que leurs longueurs sur le comportement du mortier à l'état frais et à l'état durci à été expérimentalement étudié et analysé. Les résultats obtenus montrent que le mécanisme interne particulier de ces matériaux composites, ainsi que sur les problèmes technologiques découlant de leur et élaboration et mise en ouvre influe négativement sur le comportement de mortier surtout à la compression. Le gain apporter par ces fibres s'apparut dans le cas de flexion et le retrait. Le dosage optimal de fibre, qui donné les meilleures performances d'après ce résultat, se varie entre 0.5 et 1% alors que la longueur 12mm représenté un bon paramètre pour améliorer le comportement de mortier à la flexion et le retrait.

Mots clé :

Mortier - fibre polypropylène - flexion - retrait - compression.

Abstract :

The addition of various fibers in fragile materials such as mortar, cement or plaster with a view to improving their mechanical performance has been and still is the object of numerous investigations.

The effect of the fibers on polypropylene content as well as their lengths on the behavior of mortar in the fresh and hardened state was experimentally studied and analyzed. The obtained results show that the mechanism intervenes individually for these composite materials, as well as on the technological problems ensuing from their elaboration and implementation influences negatively the behavior of mortar especially in the compression the gain brought by these fibers appeared in the case of flexion and the shrinkage. The optimal dosage of fibers which gives the best performance according to this result, varies between 0.5 and 1%, while the length of 12mm represents a good parameter to improve the behavior of mortar in the flexion and the shrinkage.

Key words: mortar – polypropylene – flexion – shrinkage – compression.

Introduction générale

Le béton et le mortier sont les matériaux les plus utilisés dans la construction, mais ils résistent mal à la traction et à la fissuration. Les conditions d'environnement chauds et secs, tel que la région aride de notre pays, dessèchent ces matériaux hydraulique ce qui induit à des retraites importants et des fissures dans les structures. Le renforcement des mortiers par fibres peut offrir des solutions techniques pour l'amélioration des performances mécaniques.

Le renforcement des mortiers par les fibres est relativement nouveau par rapport au béton. La caractérisation de ce nouveau matériau composite (mortier fibreux) nécessite alors, la multiplication des recherches et des essais ainsi que le développement de nouveaux procédés d'expérimentation.

Devant l'évolution des matériaux composites le mortier ne fait l'exception, les chercheurs et les producteurs des fibres ont pensé à l'incorporation des fibres comme matériaux de renfort dans les matrices cimentaires afin d'orienter l'utilisation des mortiers vers la réparation des vieilles structures routiers en béton et les structures civils qui sont dans un état lamentable.

Objectif :

L'objectif de ce travail consiste à apporter notre contribution à l'amélioration de la performance mécanique d'un mortier constitué de sable mixte (dune, concassé) et armé de fibre polypropylène.

Ainsi, le présent travail s'intéresse, donc à l'étude de l'addition de fibre polypropylène a un mortier de sable mixte et voir leurs influences sur le comportement du mortier à l'état frais et à l'état durci.

Structuration du mémoire :

Le premier chapitre :

Est consacré à l'élément principal du mortier qui est le ciment et aux ajouts minéraux, les étapes de fabrication, les constituants, l'hydratation du ciment ainsi que la classification, les intérêts d'utilisation des ajouts dans le domaine de génie civil sont présentés dans ce chapitre.

Le deuxième chapitre :

Est consacré à la recherche bibliographique, en présentent les notions fondamentale des mortiers à savoir, la formulation, classification, les propriétés et l'application.

Le troisième chapitre :

Est consacré à la recherche bibliographique sur les fibres par exemple différent type des fibres, le rôle des fibres, les fibres polypropylène, les propriétés, domaine d'application.

Le quatrième chapitre :

Traite l'ensemble des matériaux utilisés dans l'élaboration des différents mortiers, les résultats des essais servant à leur identification ainsi que les différentes méthodes et techniques utilisées dans cette étude.

Cinquième chapitre :

Contient les résultats des essais mécaniques et l'influence de la variation du taux de fibres sur les propriétés du mortier frais et durci.

Et enfin une conclusion générale et quelques recommandations et perspectives.

Chapitre I

Le ciment et leur fabrication

I.1-Introduction :

Le ciment dit « ciment Portland » c'est le matériau du 20^e siècle, il n'a guère plus d'une centaine d'années. L'écossais " Aspdin " prit un brevet d'invention en 1824, sur la fabrication d'un liant à partir d'un mélange de chaux et d'argile qu'il appela "ciment Portland" à cause de l'aspect présenté par ce liant durci qui rappelait celui de la pierre calcaire de la Presqu'île de Portland. C'est le premier ciment, père d'une longue lignée.

Ainsi, le XX^e siècle a ouvert la voie aux ciments artificiels qui prendront progressivement le pas sur les chaux. L'accélération sera plus manifeste à l'issue de la deuxième guerre mondiale lorsque le secteur du bâtiment produit essentiellement des logements neufs bâtis à partir d'éléments préfabriqués et, n'utilisant plus les chaux.

C'est l'époque charnière où la chaux est en passe d'abandon, où son ancienneté est une marque d'archaïsme alors que les ciments améliorent les performances des liants. [1]

I.2-Définition du ciment :

Le ciment est un produit moulu du refroidissement du clinker qui contient un mélange de silicates et d'aluminates de calcium porté à 1450-1550 C°, température de fusion.

Le ciment usuel est aussi appelé liant hydraulique, car il a la propriété de s'hydrater et durcir en présence d'eau, et par ce que cette hydratation transforme la pâte liante, qui a une consistance de départ plus ou moins fluide, en un solide pratiquement insoluble dans l'eau. Ce durci ciment est dû à l'hydratation de certains composés minéraux, notamment des silicates et des aluminates de calcium.



Figure (I.1) : Poudre de ciment courant

I.3-Principe de fabrication des ciments courants :

Le principe de la fabrication du ciment est le suivant: calcaires et argiles sont extraits des carrières, puis concassés, homogénéisés, portés à haute température (1450 °C) dans un four. Le produit obtenu après refroidissement rapide (la trempe) est le clinker.

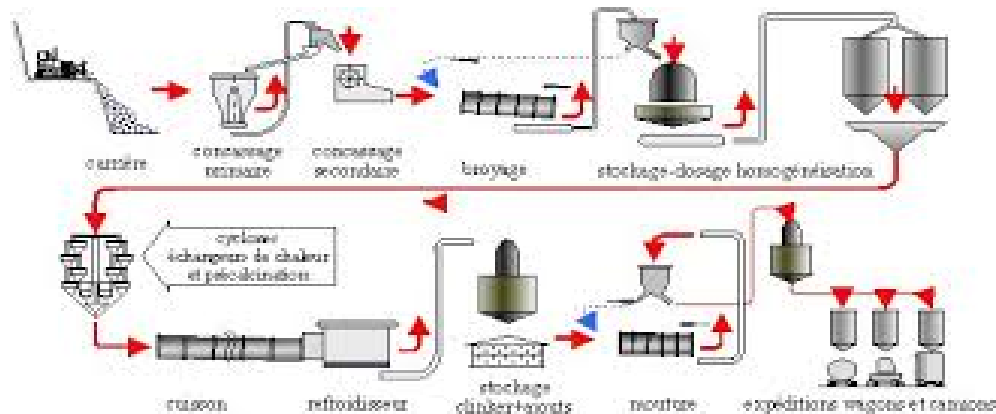


Figure (I.2) : Fabrication du ciment

1.3.1- Etapes de fabrication du ciment

- L'extraction et la préparation des matières premières
- Le séchage et le broyage
- La cuisson
- Le broyage du clinker
- Les expéditions

I.4-Les Constituants du ciment:

I.4.1-Clinker

C'est un produit obtenu par cuisson jusqu'à fusion partielle (clinkirisation) du Mélange calcaire + argile, dosé et homogénéisé et comprenant principalement de la chaux (CaO) de la silice (SiO_2) et de l'alumine (Al_2O_3).

Le mélange est en général constitué à l'aide de produits naturels de carrière (calcaire, argile, marne..). C'est le clinker qui, par broyage, en présence d'un peu de sulfate de chaux (gypse) jouant le rôle de régulateur, donne des Portland. [1]

Chapitre I : Le ciment et leur fabrication

Les éléments simples (CaO , SiO_2 , Al_2O_3 et Fe_2O_3) se combinent pour donner les constituants minéraux suivants (Figure (I.2)).

- Silicate tricalcique (C_3S) : $3\text{CaO}.\text{SiO}_2$ (Alite).
- Silicate bicalcique (C_2S) : $2\text{CaO}.\text{SiO}_2$ (Belite).
- Aluminate tricalcique (C_3A) : $3\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3$.
- Ferroaluminate calcique (C_4AF): $4\text{CaO} .\text{Al}_2\text{O}_3 .\text{Fe}_2\text{O}_3$ (Célite).

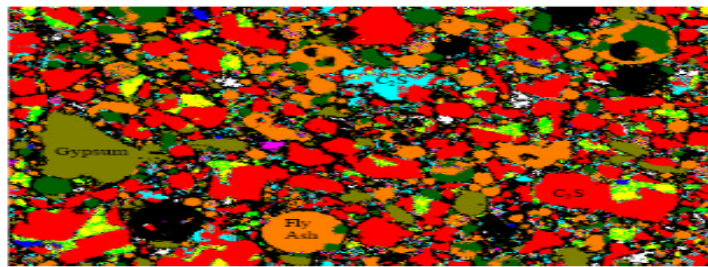


Figure (I.3) : Microphotographie d'un clinker

Les compositions chimiques et minéralogiques du clinker sont comprises dans les limites données par Le tableau (I.1) ci –dessous :

Le Tableau (I.1): Composition chimique et minéralogique du clinker [2].

Composants Minéralogiques	Teneur limites (%)	moyenne(%)
C3S	70 -60	60
C2S	00-30	15
C3A	02-15	08
C4AF	00-15	08
Oxydes	-	-
CaO	60-69	65
SiO2	18-24	21
AL2O3	04-08	06
Fe2O3	01-08	03
MgO	< 05	02
K2O, Na2O3	< 02	01
SO3	< 03	01

I.4.2-Le gypse(CaSO_4) :

L'addition de gypse au clinker a pour but de régulariser la prise du ciment, notamment de ceux qui contiennent des proportions importantes d'aluminate tricalcique. Grâce à ce gypse, la prise du ciment, c'est-à-dire le début de son durcissement, s'effectue au plus tôt une demi-heure après le début de l'hydratation. Sans gypse, la prise serait irrégulière et pourrait intervenir trop rapidement.

I.5 -Classification des ciments courants :

Selon que des constituants, autres que le gypse, sont ou non ajoutés au clinker lors des opérations de fabrication, on obtient les différents types de ciments définis par la norme NF EN 197 1. Le tableau (I.2) ci-dessous donne la liste des différents types des ciments courants normalisés avec indication, pour chacun d'eux, de leur désignation propre et des pourcentages respectifs de constituants qu'ils comportent.

Tableau (I.2):les différents types de ciment courants [3].

désignations	Types de ciments	Teneur en clinker	Teneur en% de l'un de constituants suivant : laitier-pouzzolanes-cendres-calcaires schistes-fumées de silice	Teneur en constituants secondaires (filler)
C P A- CEM I	Ciment portland	95 à 100%		0 à 5%
C P J-CEM II/A C P J-CEM II/B	Ciment portland Composé	80 à 94% 65 à 79%	-de 6 à 20% de l'un quelconque des constituants, sauf dans les cas où le constituant est des fumées de silice auquel cas la proportion est limitée à 10% -de 21 à 35% avec les mêmes restrictions que ci-dessus	0 à 5% 0 à 5%
CHF-CEM III/A CHF-CEM III/B	Ciment de haut fourneau	35 à 64% 20 à 34%	-35 à 65% de laitier de haut-fourneau	0 à 5%

CLK-CEMIII/C		5à19%	-66à80% de laitier de haut-fourneau -81 à95% de laitier de haut-fourneau	0 à5% 0à5%
CPZ-CEMIV/A CPZ-CEMIV/B	ciment pouzzolanique	65 à90% 45à64%	-10à35%de pouzzolanes, cendres siliceuses ou fumées de silice, ces dernières étant limitées à10%. -36à55%comme ci-dessus	0à5% 0à5%
CLC-CEM V/A CLC-CEM V/B	Ciment au laitier et aux cendres	40à64% 20à39%	-18à30% de laitier de haut-fourneau et 18 à30% de cendres siliceuses ou de pouzzolanes. -31 à50%de chacun des 2 constituants comme ci-dessus	0à5% 0à5%

I.6- Propriétés des ciments :

I.6.1-Caractéristique physiques:

I.6.1.1-Comportement physico –chimique de la pâte :

Le ciment est essentiellement constitué de :

- Silicate tricalcique : C3S
- Silicate bicalcique : C2S
- Aluminate tricalcique- : C3A
- Aluminoferrite tétracalcique: C4AF

Une fois la poudre de ciment mélangée à l'eau, les réactions d'hydratation se développent, il se produit alors une cristallisation qui aboutit à un nouveau système de constituants hydratés stables avec formation de cristaux en aiguilles plus ou moins enchevêtrées produisant la prise.

Cette réaction chimique accompagne d'un dégagement de chaleur plus ou moins Important selon les ciments et la rapidité de prise.

I.6.1.2-Prise :

La prise du ciment c'est-à-dire le passage de la pâte de ciment (ciment + eau) d'une consistance fluide à un état solide est une phase essentielle dans la fabrication du béton ou mortier puisqu'elle donne sa cohésion au matériau. La norme spécifie, suivant les ciments, un temps de prise minimal de :

1h30 pour les ciments des classes 32,5 et 32,5R.

1h pour les ciments des classes 42,5-42,5R-52,5-52,5R.

D'une façon générale les temps de prise sont supérieurs à ces valeurs minimales,

L'ordre de grandeur étant de 2h 30 à 3h30 pour la grande majorité des ciments, ces valeurs s'entendant pour une température ambiante de 20°C.

I.6.1.3-Durcissement :

Une fois la prise amorcée, le phénomène d'hydratation se poursuit, c'est la période de durcissement rapide qui se poursuit pendant des mois voire des années au cours desquelles les résistances mécaniques continuent de croître. Lorsqu'on désire un durcissement rapide, on choisit des ciments de classe élevée et de préférence de classe « R » c'est-à-dire ayant la caractéristique complémentaire. « Rapide ».il est également possible d'utiliser du ciment alumineux fondu CA, qui après quelques jours a atteint la quasi-totalité de sa résistances [3].

I.6.1.4-Chaleur d'hydratation :

La dissolution des différents constituants est exothermique et, selon leurs pourcentages relatifs, le dégagement de chaleur est donc plus ou moins important, c'est le cas par exemple des ciments riches en C3A que l'on intérêt à les temps chaud. Suivant les ciments, cette chaleur est comprise à 12 heures, approximativement, entre 65 j/g par exemple pour certains CHF-CEM III/B et 300 j/g pour certains CPA-CEM I.

I .6.1.5-Finesse de mouture :

La finesse de mouture, également appelée finesse Blaine, exprimée en cm^2/g , représente la surface spécifique ou surface développée d'une masse de 1kg de ciment. Elle est, d'une façon générale, comprise entre 3000 et 3500 cm^2/g , certains ciments prompts naturels « CNP » ont un Blaine supérieure à 4500 cm^2/g [3].

Plus la finesse est grande, plus les résistances sont précoces et élevées, mais par contre, plus les risques de retrait et par conséquent de fissuration ainsi que d'éventement du Ciment sont accrus.

I.6.1.6-Retrait :

Lorsque l'élément du béton ou mortier se trouvera dans une atmosphère ayant une humidité relative inférieure à celle d'équilibre de l'élément, les dimensions de ce dernier diminuent ; c'est le retrait. On mesure le retrait sur des éprouvettes prismatiques de mortier de 16 cm de longueur et d'une section droite de 4×4cm, conservées dans l'air à une température de 20°C et une hygrométrie de 50% [3]. La norme impose les valeurs limites, à 28 jours, de :

- 800µm/m pour les ciments portland CPA-CEM I ET CPJ-CEMII de classe 32,5R.
- 1000µm/m pour des types de ciment identique mais des classes 32,5R-42,5 et

42,5R. Les principaux paramètres agissant sur le retrait sont :

- la nature du ciment ;
- la finesse de mouture ;
- le dosage en ciment, dans le béton ;
- le dosage en eau ;
- la propreté et nature des granulats ;

I.6.1.7-Gonflement

Si l'élément se trouve dans une atmosphère à humidité relative supérieure à celle d'équilibre de l'élément, les dimensions de ce dernier augmentent ; c'est le gonflement. Ce qui entraîne l'apparition des tensions internes.

I.6.2 - Caractéristiques chimiques du ciment :

➤ Ciments courants :

D'une façon générale, les ciments doivent satisfaire au respect d'un certain nombre d'exigences, résumées dans le tableau (I.3) .ci-après, quant à leur composition chimique.

Tableau (I.3) : caractéristique chimique de ciment courante [3]

Propriété	Type de ciment	Classe de résistance	Valeur maximale en% de la masse
Résidu insoluble	CPA-CEM I CHF-CEM III CLK-CEM III	toutes classes	≤ 5
Perte au feu	CPA-CEM I CHF-CEM III CLK-CEM III	toutes classes	≤ 5
Oxyde de magnésium	CPA-CEM I	toutes classes	≤ 5
Sulfates SO₃ limite supérieure	CPA-CEM I et CPJ-CEM II (A et B)	32,5 32,5 R 42,5	$\leq 3,5$
	CPZ – CEM IV et CLC – CEM V CHF-CEM III	42,5 52,5 52,5 R toutes classes	≤ 4 ≤ 4
Chlorures	tous types de ciment (CHFCEM III/A et B et les CLKCEM III/C)	52.5 R toutes les autres classes	$\leq 0,05$ $\leq 0,10$

I.6.3 - caractéristiques mécaniques des ciments courants :

Les ciments courants sont classés en fonction de leurs résistances mécaniques à la compression exprimées en MPa à 28 jours, la norme spécifiant une limite inférieure et une limite supérieure dont les valeurs sont les suivantes:

Tableau (I.4): caractéristique mécanique des ciments courants [3].

Classe de ciments	Résistance à 2 jours (MPa)	Résistance minimale à 28 jour(MPa)	Résistance maximale à 28 jours(MPa)
32,5		$\geq 32,5$	$\leq 52,5$
32,5R	$\geq 13,5$	$\geq 32,5$	$\leq 52,5$
42 ,5	$\geq 12,5$	$\geq 42,5$	$\leq 62,5$
42,5R	≥ 20	$\geq 42,5$	$\leq 62,5$
52,5	≥ 20	$\geq 52,5$	-
52,5R	≥ 30	$\geq 52,5$	-

Classes « R », rapides, présentent aux jeunes âges des caractéristiques mécaniques plus élevées et leur intérêt particulièrement dans certaines circonstances telles que bétonnage trouvant par temps froid, décoffrage rapide, préfabrication.

Il y a lieu de distinguer les valeurs spécifiées pour chaque classe de ciment par la norme (tableau précédent), la probabilité étant statistiquement de 95 % pour les résistances minimales et de 90 % pour les résistances maximales, et les valeurs garanties que le fabricant doit respecter à 100 % et qui sont indiquées dans le tableau (1.5) ci-dessous :

Tableau (I.5) : résistances garanties des ciments courants [3]

Classe des ciments	Résistances garanties à 2jours(MPa)	Résistances garanties à 7jours(MPa)	Résistances garanties à 28jours(MPa)
32,5		17,5	30
32,5R	12	-	30
42,5	10	-	40
42,5R	18	-	40
52,5	18	-	50
52,5R	28	-	50

I.7.L'hydratation du ciment :

I.7.1-Introduction:

L'hydratation du ciment fait intervenir les réactions de ses constituants avec L'eau de gâchage.

Les anhydres du ciment vont réagir avec l'eau du gâchage pour former des hydrates. Ces anhydres se sont principaux minéraux de clinker purs cités auparavant.

Les anhydres et les hydrates cités dans ce paragraphe sont résumés dans le tableau (1.6) ci-dessous :

Tableau (I.6): Les anhydres et les hydrates de ciment [4].

Notation	Formule Chimique en oxyde	dénomination
C3S	$(\text{CaO})_3\text{-SiO}_2$	Silicate tricalcique
C2S	$(\text{CaO})_2\text{-SiO}_2$	Silicate bicalcique
C3A	$(\text{CaO})_3\text{-Al}_2\text{O}_3$	Aluminate tricalcique
C4AF	$(\text{CaO})_4\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3$	Aluminoferrite tétracalcique
CH	$\text{Ca}(\text{OH})_2$	Portlandite
C-S-H	$(\text{CaO})_x\text{-SiO}_2\text{-(H}_2\text{O)}_y$	Silicate de calcium hydraté
C3A. (C\squareS)3. H32	$(\text{CaO})_6\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-(SO}_3)_3\text{-(H}_2\text{O)}_{32}$	Ettringite ou “Aft”
C3A. (C\squareS) .H12	$(\text{CaO})_6\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-(SO}_3)_-\text{-(H}_2\text{O)}_{12}$	Monosulfoaluminate de calcium hydrate ou “Afm”
C2AH8	$(\text{CaO})_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-(H}_2\text{O)}_8$	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.7.2 -Hydratation des composants du ciment portland :

I.7.2.1- Hydratation des silicates :

Au contact de l'eau, les silicates tricalciques (C3S) et les silicates bicalciques (C2S) se dissolvent sous forme d'ions Ca^{2+} , OH^- et $\text{H}_2\text{SiO}_4^{2-}$. Qui interagissent entre eux et forment des silicates de calcium hydratés (C-S-H) et de la portlandite ($\text{Ca}(\text{OH})_2$). Ces réactions sont exothermiques et peuvent servir de catalyseur à la réaction d'hydratation. Dans le cas du C2S, la cinétique d'hydratation est plus lente et la quantité de Portlandite formée est plus faible [5]. À titre indicatif, les équations des réactions d'hydratation des silicates peuvent s'écrire :

Pour le C3S: $2\text{C}_3\text{S} + 6\text{H} = \text{C}_3\text{S}_2\text{H}_3 + 3\text{CH}$.

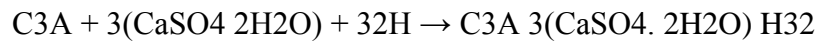
Pour le C2S: $2\text{C}_2\text{S} + 4\text{H} = \text{C}_3\text{S}_2\text{H}_3 + \text{CH}$.

I.7.2.2- Hydratation des aluminates :

L'aluminate tricalcique est le composé du ciment le plus réactif avec l'eau. C'est parce que l'hydratation des aluminates est très rapide que les cimentiers ajoutent du sulfate sous forme de gypse au clinker pour contrôler ces réactions [5].

I.7.2.3- Hydratation de l'aluminate tricalcique C3A :

La réaction est donnée par:



I.7.2.4- Hydratation de L'aluminoferrite tétracalcique C4AF :

Le C4AF réagit avec le gypse avec un mode semblable que celui de C3A, mais dans ce cas, la réaction est beaucoup plus lente.

I.7. 3 - Conclusion:

La réaction d'hydratation du ciment combine les réactions d'hydratation des principaux composants du clinker et, éventuellement, celles de ses composants secondaires. Cependant, les réactions sont plus complexes du fait des interactions chimiques et thermiques qui se produisent au cours du processus d'hydratation et du fait des impuretés présentes dans la solution solide qui influencent beaucoup l'hydratation de chaque phase.



Chapitre II

Le mortier

II.1- Introduction :

Dans la technologie classique du mortier (et de l'avis de nombreux maçons), cette combinaison de propriétés ne pouvait être obtenue qu'avec un sable fin, en ajoutant de préférence une certaine quantité de sable argileux (sable jaune gras). Le sable grossier était considéré comme inacceptable en raison de sa rugosité et de son ressuage excessif. L'usage d'un liant gras rétenteur d'eau, comme la chaux, devait résoudre en partie le problème du sable grossier. La résistance et la durabilité des mortiers étaient de ce fait complètement négligées.

Dans le temps, pour protéger le mortier moins résistant, les joints étaient réalisés avec un mortier de jointoiement dur riche en ciment, dont la durabilité est accrue, mais le retrait également. Les joints durs ne pouvaient toutefois pas empêcher la pénétration d'eau via les briques. La détérioration du mortier de pose par le gel ne pouvait pas être évitée et les joints étaient expulsés.

II.2- Définition

Le mortier

Le mortier est un mélange de sable, d'eau et de liant (ciment ou chaux) qui durcit comme de la pierre. [6]

II.2.1-Formulation de mortier (NF –P 15-403[32]) :

Le mortier doit être composé en masse, d'une partie de ciment, de trois parties de sable et d'une demi partie d'eau, Le mortier normal est un mortier qui sert à définir certaines caractéristiques d'un ciment et notamment sa résistance. Ce mortier est réalisé conformément à la norme décrit le sable utilisé pour les essais ainsi que le malaxeur. Dans notre cas en a utilisé pour notre mortier pour (1 litre) :

- ✓ 1350g d'un sable.
- ✓ 450g d'un ciment portland composés.
- ✓ 225g d'eau.
- ✓ $E/C = 0.5$.

❖ Sable :

Le sable forme le squelette inerte du mortier durci. Il doit présenter une bonne répartition granulométrique et être propre, c'est-à-dire ne contenir ni matériau organique ni particules argileuses. Bien que le maçon choisisse traditionnellement un sable fin, il est également possible de confectionner du mortier correctement ouvrable avec du sable moyen à gros ($D_{max} = 2 \text{ mm}$). Un tel mortier exigera moins de liant et donnera néanmoins de bons résultats sur le plan de la résistance mécanique. De plus, il aura un retrait limité. La présence d'une quantité réduite de matériaux fins ou d'adjuvants est nécessaire pour se prémunir contre le ressuage de l'eau de gâchage. Le sable fin, et surtout le sable argileux (sable jaune gras), exige un dosage trop élevé en eau -et donc en liant également, ce qui augmente la sensibilité au retrait. Les particules argileuses absorbent beaucoup d'eau et la structure du mortier durci peut, de ce fait, être sensible au gel. [7]



Figure (II.1) : sable de dune



Figure (II.1) : sable de concassage

❖ Ciment :

En Algérie, on utilise généralement, pour la fabrication du mortier, du ciment ordinaire qui satisfait à la norme NBN EN 197-1, à savoir essentiellement le ciment

Portland (CEM I), le ciment Portland composé (CEM II) et le ciment de haut fourneau (CEM III). A priori, on peut réaliser un bon mortier avec tous les types de ciment. La température ambiante et la durée d'utilisation souhaitée peuvent entraîner une légère préférence pour un ciment précis. Un mortier à base de CEM I présente une résistance initiale plus élevée et exige donc une mise en œuvre plus rapide. De ce fait, il convient mieux par temps froid. Avec le CEM III, le mortier est ouvrable plus longtemps, par temps chaud également, à condition toutefois que l'eau de gâchage ne s'évapore pas prématurément. Dans les mortiers industriels, le choix du

ciment s'inscrit dans la formulation du mortier, permettant d'atteindre les performances visées. Des types de ciment spéciaux comme le ciment à résistance élevée aux sulfates (HSR) et le ciment à faible teneur en alcalis (LA) peuvent être nécessaires dans certains cas. [7]

❖ Eau

Dans le cas des liants hydrauliques, la fonction de l'eau de gâchage est double :

- Une (petite) partie de l'eau est destinée à hydrater le liant; en d'autres termes, elle est liée chimiquement;
- Le reste de l'eau n'a qu'une utilité temporaire, à savoir améliorer l'ouvrabilité, et

S'évapore ensuite. Plus cet excédent d'eau est grand, plus le mortier sera poreux, et donc plus sa résistance mécanique et sa résistance aux matières agressives et au gel seront faibles. Dans les mortiers modernes, la contribution de l'eau à l'ouvrabilité est donc remplacée par l'utilisation contrôlée d'adjuvants. [8]

II.2.2- Classification de mortier :

Selon les performances souhaitées, on utilise des formulations variées, notamment en ce qui concerne les liants. [9]

> Les mortiers de ciment :

Les mortiers de ciment, très résistants, prennent et durcissent rapidement. De plus un dosage en ciment suffisant les rend pratiquement imperméables. Les dosages courants sont de l'ordre de 300 à 400 kg de ciment pour 1 m³ de sable.

> Les mortiers de chaux :

Les mortiers de chaux sont gras et onctueux. Ils durcissent plus lentement que les mortiers de ciment, surtout lorsque la chaux est calcique.

> Les mortiers bâtards :

Le mélange de ciment et de chaux permet d'obtenir conjointement les qualités de ces deux liants. Généralement, on utilise la chaux et le ciment par parties égales ; mais on mettra une quantité plus ou moins grande de l'un ou de l'autre suivant l'usage et la qualité recherchée.

Plus grande plasticité = plus de chaux

Plus grande résistance= plus de ciment

>Mortier réfractaire :

Fabriqué avec du ciment fondu. Il résiste aux températures élevées pour les cheminées et barbecues. [9]

>Mortier rapide :

Fabriqué avec du ciment prompt, il est rapide et résistant pour les scellements.

II .2.3 Propriétés de mortier :

Les propriétés des mortiers varient surtout en fonction de la nature et de la proportion

De liant. On distingue généralement :

- Le mortier maigre : dosé à 300-350 kg de liant par mètre cube de sable
- Le mortier moyen : dosé à 400-450 kg de liant par mètre cube de sable
- Le mortier gras : dosé à 550-600 kg de liant par mètre cube de sable
- Le mortier très gras : dosé à 800-900 kg de liant par mètre cube de sable

II.2.4- Application de mortier :

Dans la maçonnerie en fondation ou en élévation, on emploi normalement le mortier moyen de chaud hydraulique, de liant à maçonner ou de ciment à maçonner ou le mortier maigre de ciment portland ou de ciment de fer.

- Pour les maçonneries peu chargées, on pourra utiliser le mortier maigre de chaud de liant ou de ciment à maçonner ; en revanche, pour les maçonneries frottées chargées, le mortier moyen de ciment portland sera recommandé. Le mortier moyen de ciment de laitier ou de haut fourneau pourra être utilisé. En fondation, il y a sera même recommandé en présence d'eaux nocives, mais il ne devra pas être employé en élévation.
- Pour le jointoiment on utilisera un mortier gras du même liant qui a servi à hourder la maçonnerie.
- Pour les enduits aériens et crépis, le mortier moyen est recommandé, car il protégera mieux que le mortier maigre et il sera moins susceptible de décollement, fissuration et faïençage que le mortier gras. On utilise principalement le mortier de chaud hydraulique et de mortier portland

Chapitre II : Le mortier

- Pour les enduits mouillés ou enterrés, n'importe quel mortier moyen convient
- Pour les enduits étanches, le mortier devra être gras on peut utiliser le ciment de laitier ou de haut fourneau, mais on emploie surtout le portland ou le ciment de fer. Pour les chapes ordinaires, on utilisera le même mortier que pour les enduits aériens, mais pour les chapes de dallages, soumises à une usure rapide, et pour les chapes étanches, il faudra un mortier gras de ciment de fer ou portland.
- Pour les enduits et chapes étanches, soumis à la forte sous-pression le mortier très gras de ciment de laitier ou de haut fourneau pourra être utilisé en fondation. [9]

Dans le mortier pour injection, on utilise habituellement un mortier très gras de ciment portland



Figure (II.1) : Enduit de façade

Figure (II.1) : Enduit de sol [9]



Figure (II.1) : Mortier de Maçonnerie

Figure (II.1) : Colle à carrelage [9]

Figure 1 : Applications des mortiers [9]

II.3- Conclusion :

Dans toute construction, il est indispensable de réunir entre eux les différents éléments (blocs de béton, briques, éléments en béton préfabriqué, etc.) au moyen d'un mortier de ciment ou d'autre liant qui a pour but de :

- Solidariser les éléments entre eux ;
- Assurer la stabilité de l'ouvrage ;
- Comblent les interstices entre les blocs de construction.

Le mortier est obtenu par le mélange d'un liant (chaud ou ciment) de sable, d'eau et éventuellement d'additions. Des compositions multiples de mortier peuvent être obtenues en jouant sur les différents paramètres : liant (type de dosage), adjuvant et ajouts, dosage en eau.



Chapitre II : Le mortier

En ce qui concerne le liant, tous les ciment et les chaux sont utilisables ; leur choix et le dosage sont fonction de l'ouvrage à réaliser et de son environnement.

La durée de malaxage doit être optimum, afin d'obtenir un mélange homogène et régulier les mortiers peuvent être :

- ❖ Préparés sur le chantier en dosant et en mélangeant les différents constituants y compris les adjuvants.
- ❖ Préparés sur le chantier à partir de mortiers industriels secs prédosés et avant l'utilisation, il suffit d'ajouter la quantité d'eau nécessaire.
- ❖ Livrés par une centrale : ce sont des mortiers prêts à l'emploi.

Les mortiers industriels se sont beaucoup développés ces dernières années ; permettant d'éviter le stockage et mélange des constituants sur des chantiers.



Chapitre III

Fibres synthétique et leur application

III.1- Introduction :

Il existe plusieurs types de fibres qui différencient par leur nature, leur diamètre, leur longueur (microfibre ou macro fibre) leur forme et leur état de surface. Par leurs caractéristiques différentes les unes des autres, les fibres sont réparties selon la nature d'obtention en fibres naturelles et en fibres artificielles ou synthétiques.

Le choix des fibres dépend de l'usage recherché (pièces minces ou massives renforcement de pâte pure, de mortier ou de béton, réparation de structure), de leur propriété (résistance et module élevé, bonne adhérence) de leur disponibilité et de leur prix.

III.2-Les fibres :

III.2.1-Définition

Les fibres sont les éléments du matériau composite qui apportent généralement les propriétés mécaniques intéressantes. Elles sont des filaments plus ou moins de grande longueur . Les fibres présentent des caractéristiques, tant géométriques que mécaniques, différentes selon leur nature. Chacune a une influence particulière sur les lois de comportement mécanique du béton, ce qui se traduit par des applications adaptées et spécifiques.

III.2.2-Différent type des fibres :

Il existe plusieurs types de fibres qui se différencient par leur nature, leur diamètre, leur longueur (macro ou micro fibres), leur forme et leur état de surface. Par leurs caractéristiques, différentes les unes des autres, Le choix des fibres dépend de l'usage recherché (pièces minces ou massives, renforcement de pâte pure, de mortier ou de béton, réparation des structures), de leurs propriétés (résistance et module élevés, bonne adhérence) .

Les différentes fibres actuellement disponibles peuvent être classé selon leur origine en :

➤ Fibres naturelles :

- Végétales : coton, celluloses, sisal, lin.
- Minérales : amiante.
- Animales : poil, soie, laine.

➤ fibres synthétiques :

- minérales : verre, métalliques, carbone.
- Organiques : polypropylène, polyamide, acrylique, nylon [10].

a) fibre d'amiante :

Ces fibres sont considérées comme les renforcements les plus anciens des matrices cimentaires et aussi pour la confection de tissus résistants aux feux.

Elles sont en fait des bûchettes de micro-fibres extrêmement fines, difficilement fusibles (vers 1500°C) et ont l'avantage d'être inattaquable par les ciments. Elles Possèdent une excellente tenue au feu. Une bonne résistance a la traction et un module d'élasticité élevé. Elles sont aussi plus résistantes aux agressions chimiques et aux micros organisme, 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, tuyaux d'égout, plaque de toitures plates et ondulées, revêtements de mur [10].



Figure (III.1) : fibre d'amiante

b) Les fibres de fonte :

Elles se présentent sous forme de rubans souples, amorphe, coupés en longueurs de 15 à 40 mm leur largeur étant comprise entre 0.5 et 3 mm pour des épaisseurs de 50 à 40 microns, l'épaisseur moyenne étant de 30 microns.

Elles sont utilisées en mortier, en béton classique et en béton projeté.

En mortier, de consistance humide. Le E/C étant faible (voisin de 0.3%) et mis en place par vibration, elles sont surtout utilisées en préfabrication de pièces minces.

En béton leur utilisation se retrouve en préfabrication de pièces épaisses ainsi que dans les différents domaines d'emploi des fibres en aciers, tel que dallages, silos... tunnels, d'égouts, de

Chapitre III : Fibres synthétique et leur application

talus en zones humides, qu'elles sont utilisées, leur propriété de n'être pas corrodables constituent un ouvrages.

Différents essais ont montré que la résistance a la flexion du béton armé de fibre est indépendante de la longueur des fibres incorporées, par contre la résistance à la compression est légèrement augmentée par l'emploi de fibres courtes en raison d'une meilleure homogénéité du composite.

Leur dosage dans les bétons est compris général entre 20 et 50 kg/m³, un dosage à 30 kg donnant dans la plupart des cas de bon résultat. En mortier, avec un dosage de 1.7% de volume soit environ 130 kg/m³, il a été constaté augmentation de la résistance à la flexion dans un rapport de 4 à 1 par rapport à un témoin de même composition sans fibres [11].

c) fibres de cellulose :

Les fibres de cellulose sont obtenues a partir du bois par différents processus chimiques et mécaniques. Elles étaient utilisé pendant des années comme un additif au ciment d'amiante et non pas comme un renfort. Aujourd'hui, elles sont utilisée principalement pour renforcer la matrice organique et aussi la matrice cimentaire destinées à la fabrication des plaque minces, des pipes, et des d'autres d'éléments. Leurs propriétés physiques sont changeables selon les modes de fabrication de ce type de fibres. Les diamètres de ces fibre varient de 1 a 4 mm, Tandis que leurs longueur comprises entre 10 a 15 mm, alors que l'élancement peut être dans les environs de 100. Leurs résistances en traction varient entre 10 et 30 MPa. Elles sont très efficaces dans l'amélioration de la résistance mécanique d'un composites. Cette amélioration est réalisée essentiellement par le freinage des fissures [12].



Figure (III.2) : Fibres de cellulose

d) Fibres de verre :

Ces fibres sont fabriquées à partir de verre fondu qui passe dans une filière, chauffée par effet joule, qui comporte 50 à 800 trous d'un diamètre de l'ordre de 10 à 100 μm . Elles sont disponibles dans le commerce sous forme de bobines (découpage à la demande) ou sous forme de monceaux prédécoupés de 3, 6, 12 et 50 mm de long ; ils sont regroupés en trois types : la fibre de verre classique (silice, soude, chaux), la fibre de verre au zirconium et la fibre de verre au borosilicate.

Ces fibres sont généralement caractérisées par les propriétés suivantes :

- Bonne adhérence avec la matrice.
- Disponibilité sous toutes les formes (coupées, continues).
- Bonne résistance à l'humidité et à la corrosion.
- Conductivité thermique relativement faible [11].



Figure (III.3) : Exemple de Fibres de verre

e) Fibres métalliques :

Les fibres métalliques sont fabriquées selon plusieurs techniques qui peuvent être mécaniques, par laminage, par filage de métal coulé, par solidification d'un jet liquide sortant d'un four ou électrochimique par dépôt sur un fil support notamment [12]. Ce type de fibres, qui regroupe les fibres d'acier et les fibres de fonte amorphe, a été et reste encore l'objet de recherches très importantes dans le monde. On se limite aux fibres d'acier qui sont sans doute les plus utilisées dans le domaine du génie civil. En effet, les propriétés mécaniques du béton renforcé par ces fibres sont influencées par la résistance d'adhésion interfaciale entre fibre et matrice. Les

Chapitre III : Fibres synthétique et leur application

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 conduit aux nombreuses variétés de fibres qui se différencient les unes des autres par leur diamètre, leur section (ronde, carrée, rectangulaire), leur longueur et leurs modes 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 le plus souvent des fibres tréfilées comportant généralement des fils de 1 mm de diamètre. Les différentes fibres existantes se différencient les unes des autres par le type d'ancrage actif dans la matrice du béton. Il existe des fibres fabriquées avec un encrage dit déformable, par exemple des fibres à crochets telles que celles commercialisées par la société Bekaert sous la marque « Dramix » ou des fibres ondulées telles que celles commercialisées par la société Trefil Arbed. Cette société fabrique également une fibre commercialisée sous la marque « Twin-set » qui possède un cône indéformable à chacune de ses extrémités. Ce type d'ancrage est beaucoup plus rigide que l'ancrage obtenu par des crochets ou des ondulations [13].

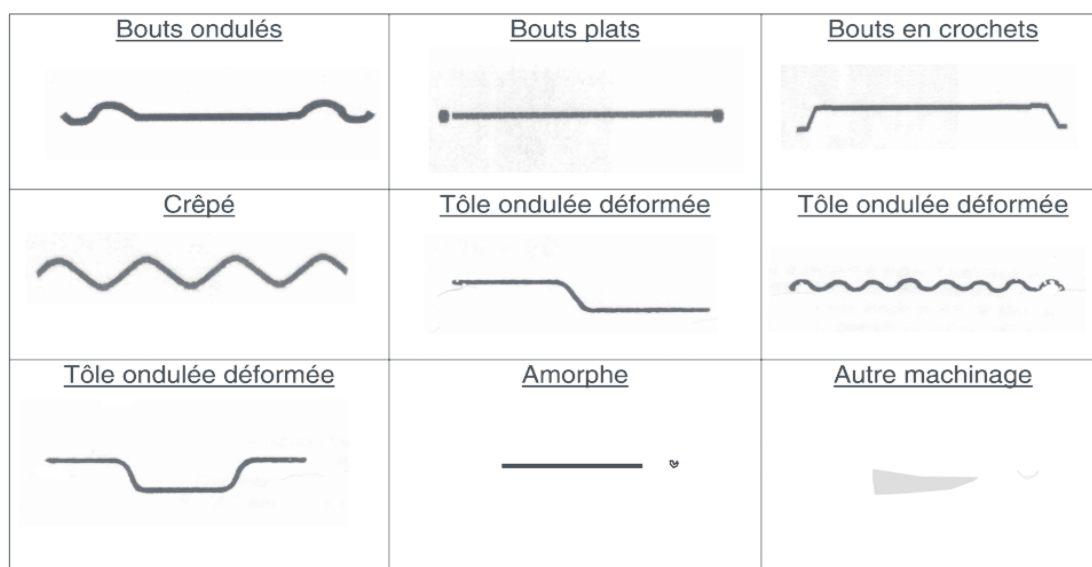


Figure (III.4) : Géométrie des fibres métallique.

III.2.3-Rôle des fibres :

A l'origine, on a essayé par l'adjonction de fibres dans le béton d'augmenter ses caractéristiques mécaniques comme la résistance à la compression ou la résistance a la flexion, mais le résultat obtenu était limite .

Il a été constaté que le rôle principal des fibres dans un matériau cimentaire peut être apprécié sous deux volets :

Chapitre III : Fibres synthétique et leur application

- Le contrôle de la propagation d'une fissure dans un matériau en état de service en réduisant l'ouverture des fissures .**Figure (III.5)**
- La transformation du comportement fragile d'un matériau en un comportement ductile qui accroît la sécurité lors des états de chargement ultimes [1].**Figure (III.6)**

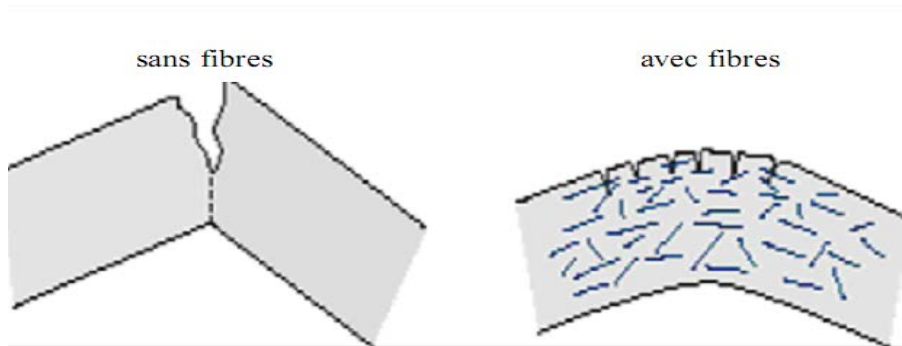


Figure (III.5) : Rôle des fibres

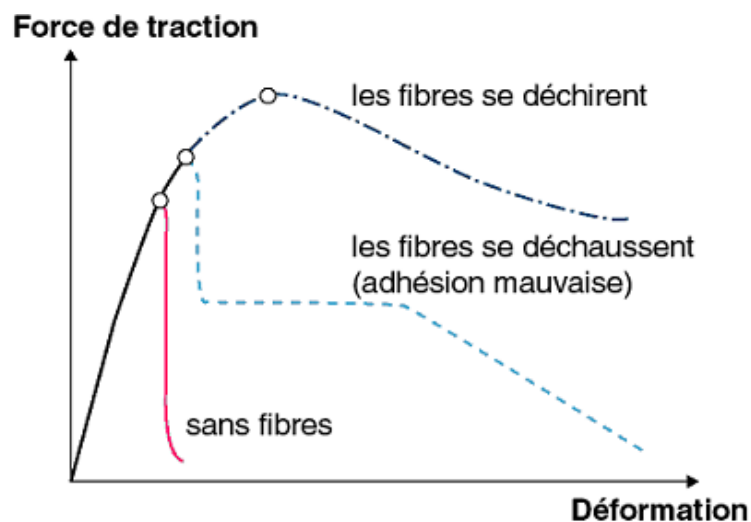


Figure (III.6) : La transformation du comportement fragile d'un matériau

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.

III.3-Fibres de polypropylène :

Le polypropylène est un polymère cristallisable de la famille des polyoléfinés. Il est fabriqué depuis 1954 pour l'industrie textile. L'ajout de fibres de polypropylène au mortier et au béton remonte à 1960 mais ce n'est qu'à partir de 1967 qu'apparaissent des réalisations intéressantes notamment en Grande Bretagne. Ces fibres obtenues par extrusion du polypropylène, se présentent en faisceaux ou sous forme de filament individuel. Lorsqu'elles sont utilisées sous forme de faisceaux, elles se séparent lors du malaxage. Elles se répartissent de façon multidirectionnelle dans le béton. En longueur nominale de 25 à 75 mm, la fibre de polypropylène est l'adjuvant idéal dans les mélanges en béton pour diminuer le retrait plastique, les fissurations et les lézards et augmenter les propriétés de la surface du béton. Les fibres polypropylène améliorent la maniabilité et la cohésion du béton (en particulier dans le cas de béton projeté). Elles sont particulièrement souples et insensibles chimiquement mais peu résistantes au feu (température de fusion comprise entre 140 à 170 °C), bonne résistance à la traction qui peut atteindre 800 MPa. La fabrication du béton avec des fibres de polypropylène ne soulève pas de difficulté particulière. La répartition des fibres est facile et ne nécessite pas de précautions spécifiques lors du malaxage. Le grand avantage des bétons de fibres de polypropylène est leur bonne résistance à la fissuration due au « premier retrait », ainsi que leur résistance aux chocs. De ces propriétés découlent les applications privilégiées des bétons de fibres de polypropylène:

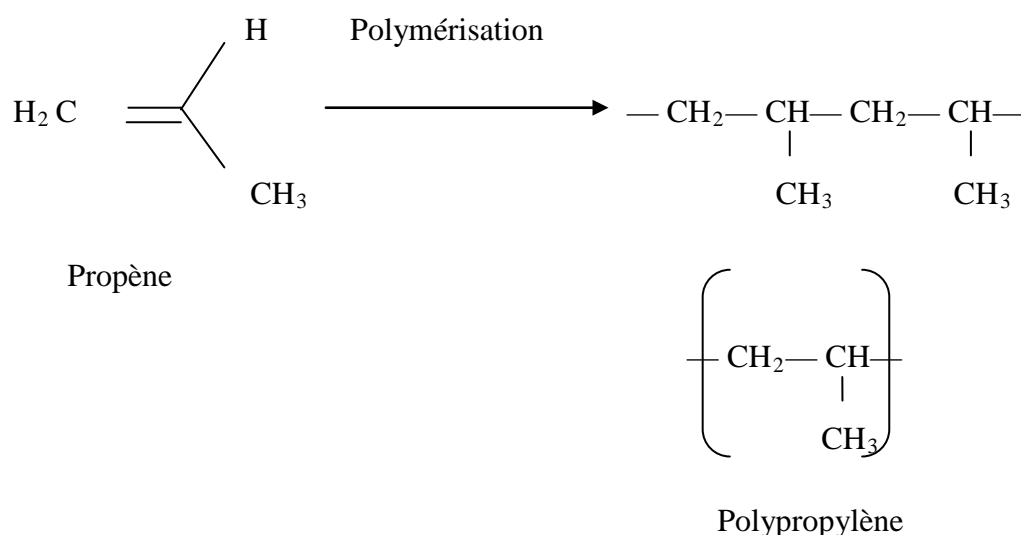
- dallages et aménagements urbains ;
- produits préfabriqués (parements) ;
- mortiers projetés ;
- enduits ;
- sculptures.

Chapitre III : Fibres synthétique et leur application

Les propriétés des fibres polypropylène sont intéressantes pour les pièces à démoulage immédiat (meilleur comportement du béton frais) et les éléments préfabriqués (meilleure résistance mécanique au jeune âge). Elles améliorent l'aspect et la précision des angles, des tranches ou des arêtes des pièces moulées. Elles permettent de réaliser des parements esthétiques, avec des motifs très précis, et sont utilisées aussi pour la formulation des bétons projetés ou des mortiers de réparation. [11]

III.3.1-Structure moléculaire du polypropylène :

Le polypropylène (PP) est une polyoléfine linéaire obtenue par polymérisation du propène via une catalyse stéréospécifique. Ce type de catalyse autorise la synthèse de polypropylène isotactique qui présente les propriétés requises à un usage structural.



Equation III.3: Synthèse du polypropylène



Figure (III.7) : Fibres polypropylène

III.3.2- Propriété des fibres polypropylène :

Les fibres dans le béton ou mortier créent un réseau fibré de haute densité, qui :

- Améliorent la cohésion a l'état frais.
- Réduisent les fissurations de retrait et le <cracking>.
- Résistent au milieu alcalin.
- Augmentent les résistances a l'abrasion et au choc pouvant atteindre des valeurs 100 fois supérieures a celle témoin

III.3.3- Domaine d'application :

- Micro fibre béton et mortier projeter ou manuels.
- Application en épaisseur pour mortier en ciment ou en plâtre en une seule passe .
- Hangars de stockage.
- Atelier mécanique.
- Revêtement extérieurs.
- Parking.

III .3.4- Caractéristiques général : [14]

- Etat physiquefibre
- Couleurblanc
- Densité (20°C).....0.8 a 1.00 g/cm³
- Point de fusion150°C
- Module de young3 KN/mm²
- Allongement a la rupture.....50%
- Section de la fibre30 microns
- Dimension.....6/12/18mm

III .3.5- Utilisation des fibres dans le béton :

Les fibres de différentes compositions incorporées au béton ont pour effet d'augmenter la résistance résiduelle du béton. Dans certains cas, l'utilisation de fibres permet de renforcer la structure. En général, les fibres permettent une meilleure répartition des contraintes mécaniques.

➤ Amélioration des caractéristiques mécaniques

L'utilisation de fibres augmente la ductilité du béton, c'est-à-dire ses caractéristiques en postfissuration. De plus, l'utilisation de fibres peut apporter une amélioration en flexion, en tension, en torsion et en cisaillement ainsi qu'à la résistance aux impacts et à la fatigue. Un béton fibré continue donc à supporter des charges après la formation de fissures.

L'augmentation de la capacité en flexion est obtenue grâce à l'augmentation de la résistance résiduelle par l'utilisation des fibres. Cette propriété est aussi fonction de la nature, de la quantité et de l'efficacité des fibres utilisées. Il est important de se rappeler que la distribution uniforme des fibres dans le mélange est la condition 7essentielle pour obtenir une amélioration des caractéristiques mécaniques du béton fibré.

Il faut combiner tout apport de fibres dans le béton à des techniques d'insertion des fibres permettant d'éviter la formation « d'oursins ». La section 5-2 de ce document décrit la séquence d'introduction des fibres dans le béton.

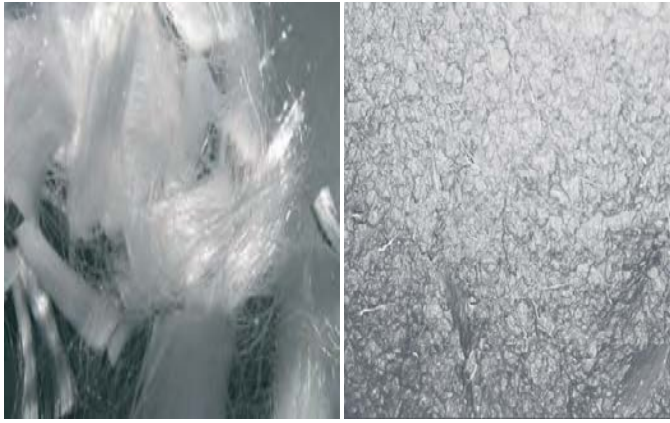
➤ Contrôle de la fissuration de retrait

Selon l'efficacité du type de fibres utilisé, il est possible de mieux contrôler et de diminuer le phénomène de fissuration et d'augmenter les propriétés mécaniques en Postfissuration. Pour optimiser le contrôle de la fissuration, les fibres doivent être distribuées de manière homogène dans le béton tout en ayant un dosage adéquat (figure 2-1). L'utilisation de fibres aide donc à diminuer la fissuration causée par le Retrait plastique.

Pour le béton durci, le retrait de séchage reste présent, mais les fissures sont mieux

Contrôlées. Les fissures sont donc plus minces, moins longues et mieux distribuées

sur la surface totale de l'ouvrage. Elles peuvent même s'avérer invisibles à l'œil nu [14].



**Figure (III.8) : Exemple de fibres
Macro-synthétiques**

**Figure (III.9) : Texture d'un béton
fibre**

III.3.6- Mode d'emploi

- 1- Mélanger les agrégats, l'eau et le ciment.
- 2- Ajouter graduellement les fibres dans la bétonnière, toujours en mouvement pour obtenir une dispersion plus uniforme continuer de mélanger pour au moins 5 minutes après l'ajout des fibres.
- 3- Pour le mortier de granulométrie inférieure à 10mm, il est préférable d'ajouter la quantité de fibres par dispersion manuelle. [15]

III.3.7- Mortiers armés de fibre polypropylène :

Le dosage est compris entre 50 et 100 grammes sur le poids total du mortier sec (Pour mortier spéciaux) et 200 à 500 grammes pour les plâtres projetés. En générale le dosage varie entre 900 et 1000 g par mètre cube. [14]

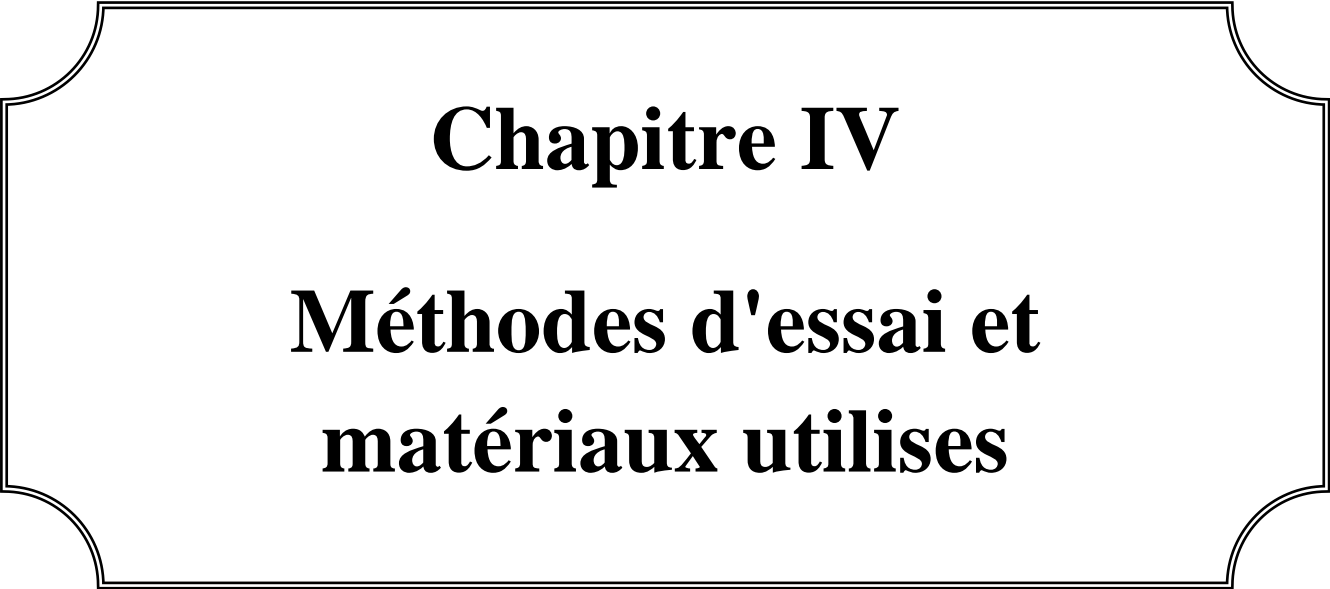
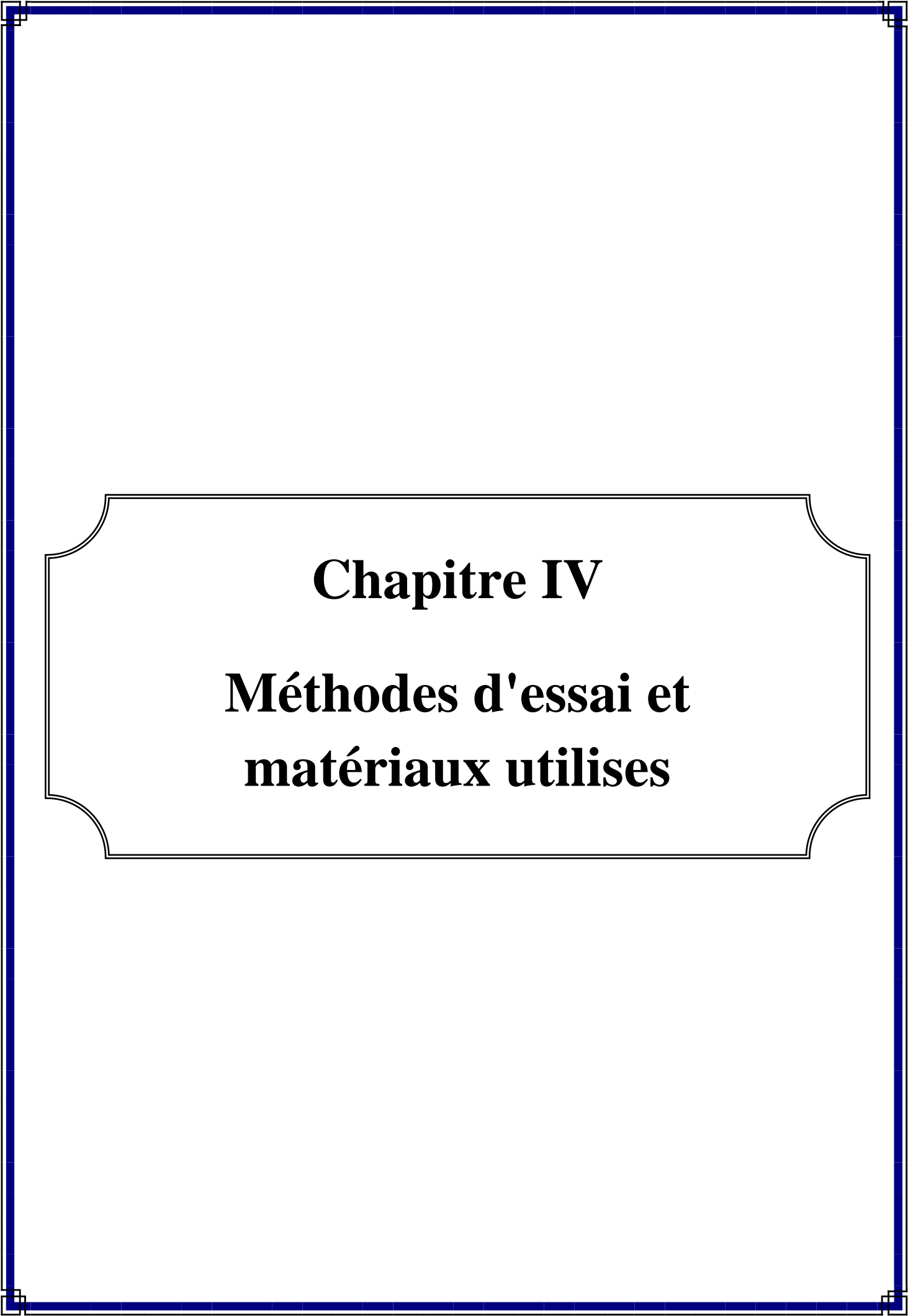
III.4- Conclusion :

Dans ce chapitre, nous nous sommes intéressés à la description du matériau béton de fibres. À l'issue de cette étude bibliographique on peut conclure que :

- Le rôle des fibres dans la matrice cimentaire sur les différentes phases de comportement du matériau est fonction de différents paramètres.
- Les fibres limitent les phénomènes de propagation rapide et instable de la rupture du béton. Elles modifient les cheminements des fissures dans les structures.

- La nature des fibres détermine l'absorption d'eau des fibres qui influe directement sur la maniabilité du composite.

la forme et la quantité des fibres semblent être les facteurs les plus importants qui gouvernent le retrait.



Chapitre IV

Méthodes d'essai et matériaux utilisés

IV.1- Introduction :

Dans ce chapitre nous avons défini l'importance des essais appliqués sur le sable de dune, sable concassé, ciment, et le mortier dans toutes les étapes, pour connaître l'effet des fibres synthétique sur les propriétés mécaniques des mortiers confectionnés à base de ciment portland (C.P.J CEMII/B 32,5N).

Des essais physiques, chimiques, et mécaniques ont été effectués au sein des laboratoires suivants :

-Laboratoire de génie civil de Msila

-Laboratoire de société Lafarge

IV.2-Caractéristiques des matériaux :

La caractérisation des matériaux de construction nécessite .connaissance de la nature de ses composants .Par ailleurs, la détermination des dosages optimaux, ainsi que l'illustration des certains interprétation ne pourraient être possible que si les différents constituant sont bien caractérisés.

IV.2.1-Le sable :

Le sable est le constituant du squelette granulaire qui a le plus d'impact sur le mortier [15]. Il joue un rôle primordial en réduisant les variations volumiques, les chaleurs Dégagées et le prix de revient des bétons. Il doit être propre et ne pas contenir d'éléments nocifs.

IV.2.2-Analyse granulométrique:

On peut définir l'analyse granulométrique par tamisage c'est un ensemble des opérations aboutissant à la séparation selon leur grosseur des éléments constituant échantillon, en employant des tamis à maille carrée afin d'obtenir une représentation de la répartition de la masse des particules à l'état sec en fonction de leur dimension.

a-But de l'essai :

La granulométrie ou analyse granulométrique s'intéresse à la détermination de la dimension des grains et la granularité concerne la distribution dimensionnelle des grains d'un granulat.

L'analyse granulométrique a trois buts :

- Déterminer les dimensions des grains.
- Déterminer les proportions de grains de même dimension (% pondéral).
- En déduire le Module de finesse (M_f).

b-Principe de l'essai :

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

c- Matériel nécessaire :

Des tamis dont les ouvertures carrées, de dimension normalisée, sont réalisés soit à partir d'un maillage métallique. Pour un travail d'essai aux résultats reproductibles, il est conseillé d'utiliser une machine à tamiser électrique qui comprime un mouvement vibratoire horizontal, ainsi que des secousses verticales, à la colonne de tamis. (Figure (II.2)). La dimension nominale de tamis se suit dans une progression géométrique de raison.

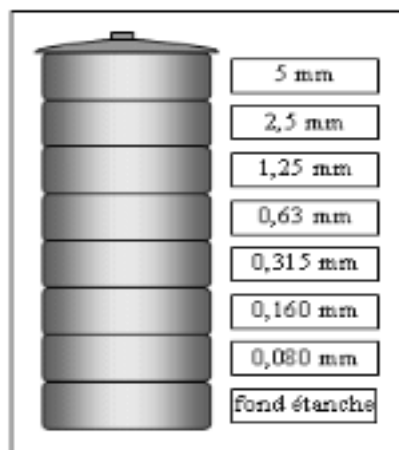


Figure (IV.1):Colonne de tamis.



Figure (IV.2):tamiseur électrique

IV.2.3- Module de finesse(M_f) :

Est une caractéristique importante surtout en ce qui concerne les sables. Un bon sable à béton doit avoir un module de finesse M_f compris entre 2,2 et 2,8 ; au-dessous, le sable a une majorité d'éléments fins et très fins, ce qui nécessite une augmentation

Chapitre IV : Méthodes d'essai et matériaux utilisés

du dosage en eau ; au-dessus, le sable manque de fines et le béton perd en ouvrabilité

- **Norme Française [NFP 18-540] :**

Le module de finesse est égal au 1/100e de la somme des refus cumulés exprimée en pourcentages sur les tamis de la série suivante : 0,16 - 0,315 - 0,63 - 1,25 - 2,5 - 5 mm.

$$M_f = \frac{1}{100} \sum \text{refus cumulé en \% des tamis } \{0,08 - 0,125 - 0,315 - 0,63 - 1,25 - 2,5 - 5\}$$

- **Norme Européenne [EN 12620] :**

$$M_f = \frac{1}{100} \sum \text{refus cumulé en \% des tamis } \{0,125 - 0,25 - 0,50 - 1 - 2 - 4\}$$

- **Lorsque MF est comprise entre :**

- **1,8 < M_f < 2,2** : le sable est à majorité de grains fins,
- **2,2 < M_f < 2,8** : le sable est à utiliser si l'on recherche une ouvrabilité satisfaisante et une bonne résistance avec des risques de ségrégation limités.
- **2,8 < M_f < 3,2** : le sable est à utiliser si l'on recherche des résistances élevées au détriment de l'ouvrabilité et avec des risques de ségrégation.
- **M_f > 3,2** : le sable est à rejeter. [15]

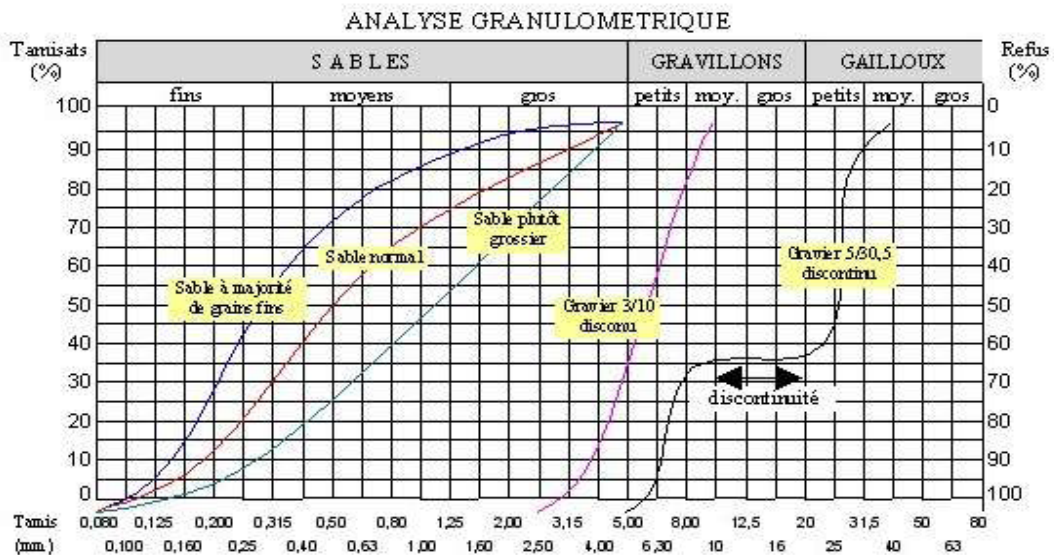


Figure (IV.3): courbe granulométrique des différents cas. [15]

IV.2.4-Equivalent de sable (la norme NF P 18 -598) [16]:

Il est défini par la norme NFP 18-598 ; cet essai d'équivalent de sable, permettant de mesurer la propreté d'un sable, est effectué sur la fraction d'un granulat passant au tamis à mailles carrées de 5mm. Il rend compte globalement de la quantité et de la qualité des éléments fin, en exprimant un rapport conventionnel volumétrique entre les éléments sableux qui sédimentent et les éléments fin qui flocculent

a-But de l'essai :

Cet essai utilisé de manière courante pour évaluer la propreté des sables entrant dans la composition des bétons. L'essai consiste à séparer les particules fines contenues dans le sol des éléments sableux plus grossiers .une procédure normalisé permet de détermination un coefficient d'équivalent de sable qui quantifie la propreté de celui-ci.

b-Principe de l'essai :

L'essai est effectué sur la fraction 0/5 mm du matériau à étudier .Le tamisage se fait par voie humide afin de ne pas perdre d'élément fins.

On lave l'échantillon, selon un processus normalisé, et on laisse reposer le tout .Au bout de 20minutes, on mesure les éléments suivants :

-**Hauteur h1** : sable propre +élément fins,

-**Hauteur h2** : sable propre seulement.

On en déduit l'équivalent de sable qui, par convention, est :

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

Selon que la hauteur h2 est mesurée visuellement ou à l'aide d'un piston, on détermine **Esv** (équivalent de sable visuel) ou **Esp** (équivalent de sable au piston).

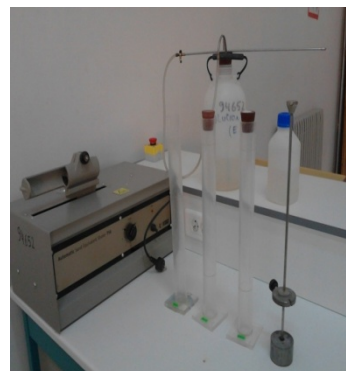
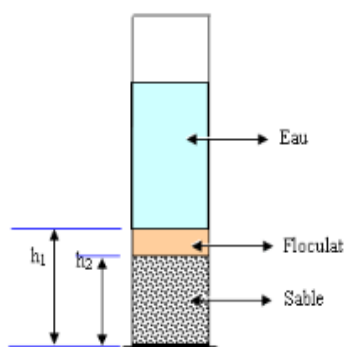


Figure (IV.4): Essai d'équivalent de sable

Tableau (IV.1): les valeurs d'équivalent de sable indiquent la nature et qualité du sable. [17]

ES à vue	ES au piston	Nature et qualité du sable
$ES < 65\%$	$ES < 60\%$	Sable argileux : risque de retrait ou de gonflement. Sable à rejeter pour des bétons de qualité ou vérification plus précise de la nature des fines par un essai au bleu de Méthylène
$5\% \leq ES < 75\%$	$60\% \leq ES < 70\%$	Sable légèrement argileux de propreté admissible pour les bétons de qualité courante quand le retrait n'a pas de conséquence notable sur la qualité du béton
$75\% \leq ES < 85\%$	$70\% \leq ES < 80\%$	Sable propre à faible proportion de fines argileuses convenant parfaitement pour les bétons de haute qualité
$ES \geq 85\%$	$70\% \leq ES < 80\%$	Sable très propre. L'absence presque totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra compenser par une augmentation du dosage en eau.

IV.2.5-Masse volumique absolue

La masse volumique absolue ρ_s est la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat, sans tenir compte des vides pouvant exister dans ou entre les grains. Il ne faut pas confondre ρ_s avec la masse volumique ρ qui la masse de matériau par unité de volume, celui-ci intégrant à la fois les grains et les vides. Les masses volumiques s'expriment en t/m³, en kg/dm³, ou en g/cm³.

a-But de l'essai :

Cet essai a pour but de permettre de connaître la masse d'une fraction granulaire lorsque par exemple on élabore une compression de béton. Ce paramètre permet, en particulier, de déterminer la masse ou le volume des différentes classes granulaire malaxées pour l'obtention d'un béton dont les caractéristiques sont imposées.

b-Conduite de l'essai :

Méthode de l'éprouvette graduée :

Cette méthode est très simple et très rapide. Toute fois sa précision est faible.

1. Remplir une éprouvette graduée avec un volume V_1 d'eau.
2. Peser un échantillon sec M de granulats (300 g) et l'introduire dans l'éprouvette en prenant soin d'éliminer toutes les bulles d'air.
3. Lire le nouveau volume V_2 .

• La masse volumique absolue est : $\rho_{absolu} = M_{mat} / V_{absolu} = m_{mat} / V_{réel} - V_{pores}$

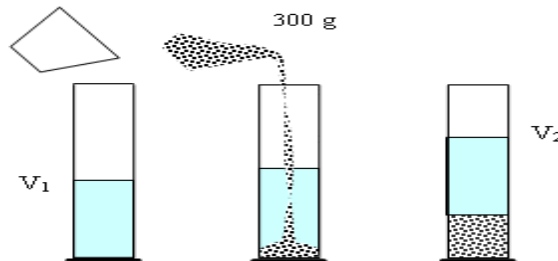


Figure (IV.5): Essai de la détermination de la masse volumique absolue. [18]

IV.2.6- La masse volumique apparente :

Il ya deux :

a - A l'état lâche :

La masse volumique apparente a l'état lâche (poreux) et la masse du matériau par unité de volume V comprise le volume des vides existant entre les grains elle représente donc la masse de l'unité de volume apparente du corps et des vides qu'elle contient.

Mode opératoire :

-On remplir l'entonnoir avec du sable sec.

-On pèse le récipient vide de capacité de 1 litre, soit M_1 ce poids.

-En place le récipient sous l'entonnoir a une distance de 10 a 15 cm remplit avec du sable.

-Une fois le récipient rempli, On nivelle la surface du sable et on pèse le tout. Soit M_2 ce poids

La masse volumique apparente du sable est :
$$= \frac{M_{mat}}{V_{app}} = \frac{M_2 - M_1}{V_r} \dots \dots \dots (II. 4)$$

L'essai est refait 3 fois

b - A l'état compact :

La masse volumique a l'état compact et la masse du matériau par unité de volume après compactage y compris les vides restants entre les grains, Elle est souvent supérieur a la masse volumique a l'état l'ache. Même procédure que celle a l'état lâche après remplissage du récipient (après tassement)

On soumet ce dernier a 30 secousses manuelles. On complète le remplissage du récipient

après le tassement du sable puis on nivelle ce dernier et l'on pèse. soit M_2 le poids de

L'ensemble (sable+récipient)

La masse a l'état compact est donné par la formule suivants :

$$\rho_{app} = \frac{M_2 - M_1}{V_r}$$

M_1 : masse de récipient.

M_2 : masse de récipient + sable.

V_r : volume de récipient.

L'essai est répété 3 fois pour un volume de 1 litre et la moyenne de ces essais donne la valeur de la masse volumique apparente.



Figure (IV.6) : Essai de détermination de la masse volumique apparente.

IV.3-Résultat des essais sur le sable dune :

Chapitre IV : Méthodes d'essai et matériaux utilisés

Les tableaux et le courbe suivants représentent les résultats des différents essais sur le sable.

Le sable utilisé dans cette étude provient des abords de l'oued Maïter Cet oued est situé entre les collines de Boussaâda, entre lesquelles souffle un vent provenant du sud chargé de grains fins. Ce sable est d'origine éolienne, c'est un sable de dune, du moins ses grains fins.

Le sable de dune de Boussaâda, siliceux, ses grains roulés de formes arrondies et de Surfaces lisses, est caractérisé par sa finesse, sa granulométrie et son diamètre maximal qui n'excède pas 3,0 mm.

IV.3.1. Composition chimique

Tableau (IV.2) : Composition chimique du sable de dune utilisé [18].

Eléments	Teneurs (%)
Silice (SiO ₂)	94,00
Alumine (Al ₂ O ₃)	0.88
Oxyde ferrique (Fe ₂ O ₃)	0.37
Oxyde de magnésium (MgO)	0.11
Oxyde de calcium (CaO)	2.96
Perte au feu (P.A.F)	1.50

IV.3.2. Caractéristiques physiques du sable de Boussaâda

Les tableaux et le courbe suivants représentent les résultats des différents essais sur le sable.

On a obtient la masse de sable selon la relation suivante : $(0,2 D_{\max})$.

Tableau (IV.3):résultats d'analyse granulométrique du sable de dune

Tamis (mm)	Tare (g)	Tare + refus (g)	Refus partielle(g)	refus	cumulés	Tamisas cumulés (%)
5	662.7	663.1	1	1	0.06	99.4
2.5	602.7	759.9	157.2	158.2	10.54	89.46
1.25	507.7	582.1	74.4	232.6	15.50	84.5
0.63	499.8	559	59.2	291.8	19.45	80.55
0.315	469.5	797.2	327.7	619.5	41.3	58.7
0.125	434.1	1267.3	833.2	1452.7	96.84	3.16
0.08	267.9	303.3	35.4	1488.1	99.20	0.8
fond	451.7	457.1	6	1494.1	99.60	0.4

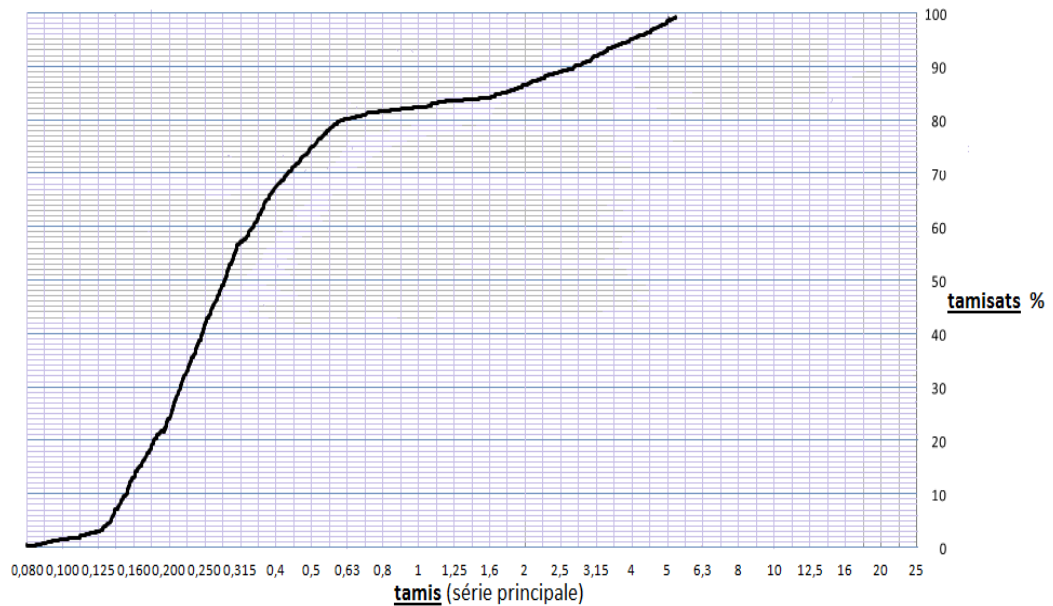


Figure (IV.7) : la courbe granulométrique du sable de Boussaâda

-Caractéristiques physiques

Le module de finesse calculé est: $M_f = 1.83$

$1.8 < 1.83 < 2.2$: Sable a majorité de grains fins

IV.3.2.1- L'équivalent de sable :

M=120g

Tableau (IV.4):résultats d'équivalent de sable du sable de dune

Essai	h 1 (cm)	h 2 (cm)	ESV (%)	ESV moy (%)	H'2 (cm)	ESP (cm)	ESP moy (%)
1	11	9.2	83.63	82.42	8.5	77.27	78.17
2	10.9	8.9	81.65		8.5	77.98	
3	11.1	9.1	81.98		8.8	79.27	

75%<ESV <85 % : Sable propre à faible proportion de fines argileuses convenant

Parfaitement pour les bétons de haute qualité

IV.3.2.2- La masse volumique absolu du sable : NF P18-555

Tableau (IV.5): masse volumique absolu du sable de dune

N° d'essai	M ₁ (g)	V ₁ (ml)	V ₂ (ml)	ρ (g/ml)	ρ_{moy} (g/ml)
1	300	100	215	2.60	2.61
2	300	100	215	2.60	
3	300	100	214	2.63	

IV.3.2.3- La masse volumique apparente du sable de dune :

Tableau (IV.6): masse volumique apparente à l'état l'ache

N° d'essai	M ₁ (g)	M ₂ (g)	ρ (g/ml)	ρ_{moy} (g/ml)
1	284.4	1923.5	1.639	1.633
2	284.4	1919.1	1.634	
3	284.4	1929.4	1.645	

Tableau (IV.7): masse volumique apparente a l'état compacter

N° d'essai	M1(g)	M2(g)	ρ (g/ml)	ρ_{moy} (g/ml)
1	284.3	2396.5	2.112	1.815
2	284.3	2109	1.824	
3	284.3	2091.8	1.807	

IV.4-Résultat des essais sur le sable concassé :

Les tableaux et le courbe suivants représentent les résultats des différents essais sur le sable.

Le sable utilisé dans cette étude qui provient de la carrière exploité par SARL MDJEZ située sur la route BBA-M'sila.

IV.4.1- Caractéristiques du sable concassé

IV.4.1.1- résultats d'analyse granulométrique du sable

Chapitre IV : Méthodes d'essai et matériaux utilisés

Tableau (IV.8): résultats d'analyse granulométrique du sable concassé

Tamis (mm)	Tare (g)	Tare + refus (g)	Refus partielle(g)	Refus (g)	Cumulés (g)	Tamises cumulés (%)
5	624.3	624.3	0	0	0.06	99.94
2.5	602.7	798	195.3	195.3	13.02	86.98
1.25	507.9	1094.3	586.4	781.7	52.11	47.89
0.63	500.4	822.7	322.3	1104	73.6	26.4
0.315	470.4	700.07	229.67	1333.67	88.91	11.09
0.125	505.8	506.4	506.4	1334.27	88.95	11.05
0.08	264	417.7	153.7	1487.97	99.19	0.81
Fend	454.3	464.2	9.9	1497.87	99.85	0.15

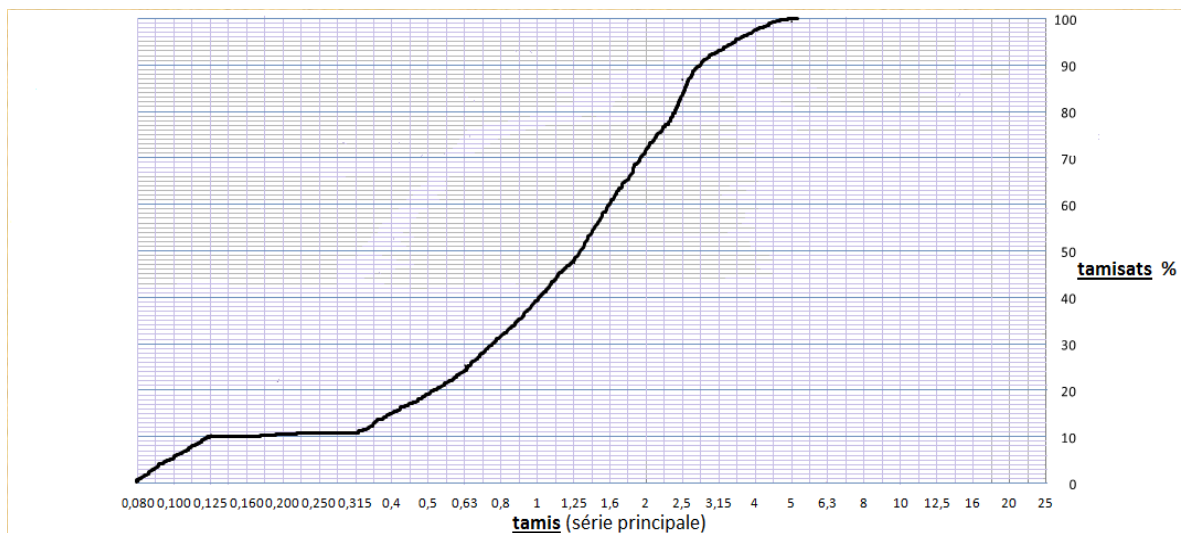


Figure (IV.8) : la courbe granulométrique du sable concassé

Caractéristiques physiques du sable concassé

IV.4.2.2- Caractéristiques physiques

Le module de finesse calculé est: $M_f=3.16$

$2.8 < 3.16 < 3.2$: le sable est un peu grossier. Il donnera des bétons résistants mais moins maniables

III.4.2.3- résultats d'équivalent de sable : $m=120g$

Chapitre IV : Méthodes d'essai et matériaux utilisés

Tableau (IV.9): résultats d'équivalent du sable concassé

Essai	h 1 (cm)	h 2 (cm)	ESV (%)	ESV moy (%)	H'2 (cm)	ESP (cm)	ESP (%)
1	11.1	9.9	89.18	88.68	9.2	82.88	84.02
2	10.5	9.5	90.47		9.1	86.66	
3	10.3	8.9	86.40		8.5	82.52	

ES \geq 85% : Sable très propre. L'absence presque totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra compenser par une augmentation du dosage en eau.

IV.4.2.4- La masse volumique absolu du sable : NF P18-555

Tableau (IV.10): masse volumique absolu du sable concassé

N° d'essai	M ₁ (g)	V ₁ (ml)	V ₂ (ml)	ρ (g/ml)	ρ_{moy} (g/ml)
1	300	100	215	2.608	2.616
2	300	100	215	2.608	
3	300	100	214	2.631	

IV.4.2.5- La masse volumique apparente du sable concassé

Tableau (IV.11): masse volumique apparente a l'état l'ache

N° d'essai	M ₁ (g)	M ₂ (g)	ρ (g/ml)	ρ_{moy} (g/ml)
1	284.4	2072,1	1.787	1.783
2	284.4	2069,7	1.785	
3	284.4	2080,5	1.796	

Tableau (IV.12): masse volumique apparente a l'état compacter

N° d'essai	M ₁ (g)	M ₂ (g)	ρ (g/ml)	ρ_{moy} (g/ml)
1	284.3	1922,1	1.637	1.656
2	284.3	1965,5	1.681	
3	284.3	1945,4	1.661	

IV.5- ciment :

Le ciment utilisé dans notre projet dit CHAMIL est un ciment portland composé

CPJ- CEM-II/B 32.5 R selon la norme NA442, provenant de la cimenterie « **Hammam Dalaa, m'sila (ACC).**

IV.5.1-Définition :



Figure (IV.9) : ciment portland composé CPJ- CEM-II/B 32.5 R

CHAMIL Est un ciment gris, résultat de la mouture du clinker obtenu par cuisson jusqu'à la fusion partielle (clinkerisation) d'un mélange convenablement dosé et homogénéisé de calcaire et d'argile.

Ce ciment est constitué d'oxydes minéraux dont les principaux sont la chaux (CAO) à fonction basique et la silice (SiO_2) à caractère acide. On trouve également l'alumine (Al_2O_3) et le fer (Fe_2O_3). Il sont rendus aptes à réagir entre eux et avec l'eau par traitement thermique à des températures comprises entre 1300 et 1500°C. En présence d'eau a lieu la réaction d'hydratation consistant en la formation d'un réseau résistant (propriété hydraulique) constitué principalement de micro-cristaux de silicates de calcium hydratés.

CHAMIL présente des performances mécaniques et des caractéristiques physico-chimiques conformes à la norme NA 442 et la norme EN 1976-1.

IV.5.2-Domaine d'utilisation :

CHAMIL est utilisé pour tous les travaux courants qui ne présentent pas un besoin spécifique en béton exposé à des conditions sévères comme l'attaque des sulfates du sol ou de l'eau et qui n'exigent pas de hautes résistances mécaniques.

Chapitre IV : Méthodes d'essai et matériaux utilisés

Les principales applications de ce ciment sont :

- Béton structurel
- Fabrication des éléments préfabriqués (parpaings, buses, caniveaux.....etc.
- Fabrication des carreaux de dalle
- Travaux de finition.

IV.5.3- Caractéristiques chimiques :

Tableau (IV.13).Composition chimique des matières premières utilisées

Analyses Chimiques Clinker							
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O
21,03	4,92	3,76	65,95	1,90	0,82	0,68	0,09

C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	Total
58,42	16,25	6,70	11,43	99,16

Tableau (IV.14): L'analyse chimique du ciment

Analyses Chimiques										
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CAO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	Cl	LOI	Total
16,34	4,22	2,78	58,02	1,91	2,83	0,58	0,11	0,016	12,25	99,07

IV.5.4- Caractéristiques physiques :

Le tableau suivant résume certaines Caractéristiques physiques de ciment utilisé :

Chapitre IV : Méthodes d'essai et matériaux utilisés

Tableau (IV.15): caractéristique physico-mécanique du ciment.

Blaine		4650 cm ² /g
Refus 45μ		11.1
Refus 90μ		1.1
%H ₂ O		29.0%
Début de prise		180min
Fin de prise		255min
Exp		0.9
Résistance à la flexion (MPa)	2j	3.7
	7j	5.2
	28j	6.4
Résistance à la compression (MPa)	2j	17.8
	7j	29.5
	28j	37.1

IV.6- Eau de gâchage

L'eau de gâchage utilisé pour la confection du béton et le mortier doit être pure que possible, elle ne doit pas contenir une quantité excessive de vase, de matières organiques, acides, sels, matières sucrées, etc.....

L'eau de gâchage utilisée dans notre étude est une eau potable (eau de robinet) fournie au

Laboratoire de génie civil à université de m'sila. L'analyse chimique a été effectué au laboratoire de L'EPIDEMIA de m'sila.

Tableau (IV.16) : Analyse chimique et minéralogique de l'eau de gâchage utilisée.

Chapitre IV : Méthodes d'essai et matériaux utilisés

Paramètres organoleptiques	Unité		Norme AF P 18 303
Couleurs	Unit	Claire	
Odeur	Dilut	Bonne	
Gout	Dilut	bon	

Paramètres physico-chimiques	Unité		
ph		7.94	>4
Potentiel redox Eh	MV	-60.6	
Conductivité à 20°C	S /cm	1926	
Turbidité	NTU	2.05	
Oxygène dissous	Mg/l	5.47	
Salinité	%	09	
CO2 libre	Mg/l	9.26	
Co2 total	Mg/l	223.96	

Paramètres de pollution			
AmmoniumNH4+	Mg/l	00	
Nitrates No3	Mg/l	8.6	<500

Déminéralisation			
Calcium ca ⁺⁺	Mg/l	200	<2000
Magnésium Mg	Mg/l	37.2	<2000
Chlorures CL	Mg/l	265	<2000
sulfatesSO4	Mg/l	760.48	<2000
Bicarbonate HCO3	Mg/l	244	
Carbonates CO3	Mg/l	00	
Dureté total (TH)	F°	80.5	
Dureté permanente	F°	60.5	

IV.7- Fibres :

Les fibres utilisées sont des fibres polypropylène, haute ténacité pour le renforcement des bétons et mortiers.

IV.7.1- Propriété :

Les fibres polypropylène sont à base de polypropylène. Incorporées dans les bétons, elles forment un réseau multidirectionnel apportant les avantages suivants :

- Améliore la thixotropie des mélanges.
- Améliore les résistances en flexion.
- Diminution des fissurations de retrait.
- Amélioration de la compacité et de la cohésion.
- Réduction de la perméabilité.
- Imputrescibilité.

IV.7.2- Domaine d'application : [19]

- Dallages.
- Parkings.
- Pistes.
- Bétons projetés.
- Préfabrication.

IV.7.3- Caractéristiques : [20]

- Longueur : 6mm, 12mm, 6+12 mm (mélange)
- Diamètre : 28 microns
- Densité : 0.91
- Module d'élasticité : 3500 à 3900 MPa
- Résistance à la traction : 320 à 400 MPa

IV.8-Formulation de mortier

Le mortier normal est un mortier qui sert à définir certaines caractéristiques d'un ciment et notamment sa résistance. Ce mortier est réalisé conformément à la norme décrit le sable utilisé pour les essais ainsi que le malaxeur.

Dans notre cas en a utilisé pour le mortier:

- 1350g sable mixte (sable de dune +sable concassé).

Chapitre IV : Méthodes d'essai et matériaux utilisés

- 450g ciment.
- 247.5g d'eau.
- $\frac{E}{C}=0.55$ (pour une consistance acceptable).

IV.8.1- Optimisation :

Tableau (IV.17) : formulation des mortiers en fonction de type de sable

Mortier	Ciment	Sable de dune	Sable concassé	Eau
Mortier1	450g	1350g	0	247.5g
Mortier2	450g	675g	675g	247.5g
Mortier3	450g	450g	900g	247.5g
Mortier4	450g	900g	450g	247.5g
Mortier5	450g	713.07g	636.93g	247.5g

Résultats d'une optimisation :

Tableau (IV.18) : Evolution de la résistance d'un mortier témoin

Type de mortier	La Résistance (MPa)					
	7jours		14jours		28jours	
	R _F	R _c	R _F	R _c	R _f	R _c
Mortier1	4.38	18.46	4.85	18.84	5.45	19.77
Mortier2	4.82	21.55	6.28	26.95	6.30	26.27
Mortier3	5.5	22.21	5.97	26.90	7	29.02
Mortier4	5.18	20.82	5.90	21.23	6.5	25.44
Mortier5	5.25	19.97	5.85	21.43	6.08	25.81

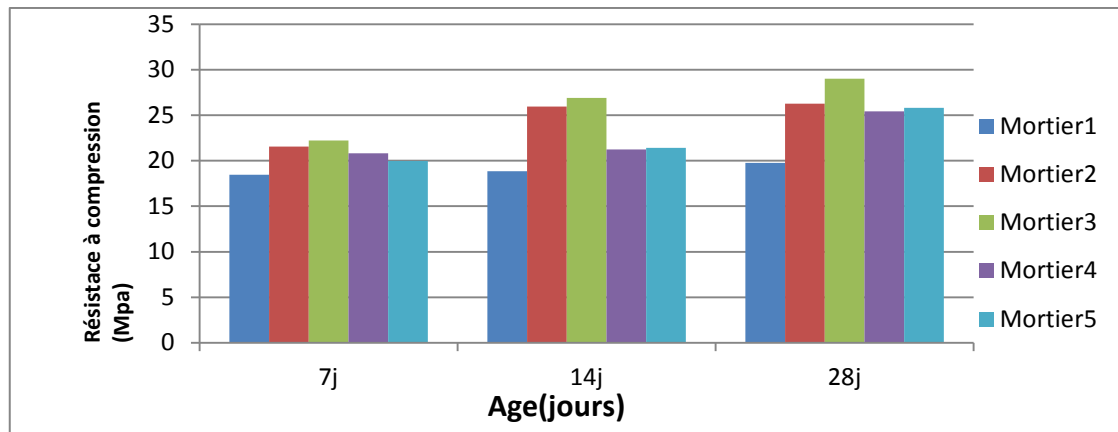


Figure (IV.10) : Evolution de la résistance à la compression en fonction de type sable

(Dune, concassé)

Le mortier confectionné avec un sable mixte donne une bonne performance avec un dosage de sable concassé égale à deux fois le dosage de sable de dune.

IV.9- Formulation de mortier fibré:

L'approche théorique de SABLOCRETE ajustée expérimentalement est utilisée pour la formulation des mélanges des bétons de sable cette recherche. Le tableau 4 rassemble la composition de ces mélanges.

A. Quantité de fibre :

Volume d'un moule est $(4*4*16)*3 = 768 \text{ cm}^3$

Donc :

pour 0.5% de fibre polypropylène :

$$\left. \begin{array}{l} 100\% \rightarrow 768 \text{ cm}^3 \\ 0.5\% \rightarrow X \end{array} \right\} \longrightarrow X = 3.45\text{g}$$

Donc la quantité de fibre pour les différents pourcentages est :

Tableau (IV.19) : Quantité de fibre utilisé

Pourcentage de fibre (%)	0.5 %	1 %	1.5 %	2 %
Quantité de fibre (g)	3.45	6.91	10.36	13.82

IV.10-ESSAIS SUR MORTIER

IV.10.1-Essai au maniabilimètre B (NF P 18-452 et 15- 437)[21] :

La maniabilité du mortier frais est déterminée à l'aide d'appareil de maniabilimètre B, il consiste en un boîtier parallélépipédique métallique à des dimensions connues, posé sur des supports en caoutchouc, équipé d'un vibreur et muni d'une cloison amovible.

a-But de l'essai :

C'est une mesure qui est utile pour apprécier l'efficacité d'un adjuvant plastifiant, on super plastifiant, sur la fluidité d'un mortier ou sur la réduction d'eau qu'il permet de réaliser à consistance égale. Il convient donc de définir un mode opératoire susceptible d'apprécier cette consistance.

b-Principe de l'essai :

Chapitre IV : Méthodes d'essai et matériaux utilisés

Dans ces essais la consistance est caractérisé par le temps que met le mortier pour s'écouler sous l'effet d'une vibration.



Figure (IV.11) : Maniabilimètre B

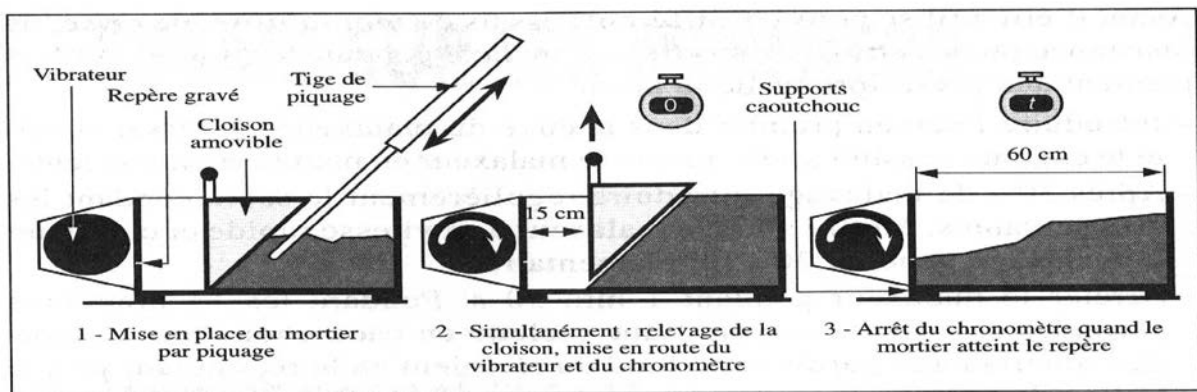


Figure (IV.12) : Principe de fonctionnement du maniabilimètre B [22].

c -Équipement utilisé :

L'appareil utilisé est appelé “ **maniabilimètre B** ” et schématisé sur la figure. Il consiste en un boîtier parallélépipédique métallique (60cm×30cm×30cm), posé sur des supports en caoutchouc, équipé d'un vibrateur et muni d'une cloison amovible.

Un malaxeur normalisées également requis pour la réalisation du mortier.



Figure (IV.13): Appareil de malaxage

Chapitre IV : Méthodes d'essai et matériaux utilisés

Le temps t mis par le mortier pour s'écouler caractérise sa consistance. Ce temps sera d'autant plus court que le mortier sera plus fluide ou plus maniable, d'où le nom de l'appareil. Comme illustré au tableau (IV.20).

: Classe de consistance selon la durée d'écoulement [23].

Tableau (IV.25) : Classe de consistance selon la durée d'écoulement

Classe de consistance	Durée (s)
Ferme	$t \geq 40$
Plastique	$20 < t \leq 30$
Très plastique	$10 < t \leq 20$
Fluide	$t \leq 10$

➤ Préparation des éprouvettes : [24]

Les éprouvettes sont de forme prismatique de section carré (4 x 4 x 16) cm, et . Elles doivent être moulées le plus vite possible après la confection du mortier. Le moule métallique à trois alvéoles et sa hausse étant fermement fixés à la table à choc, on introduit la première des deux couches de mortier. La couche est étalée uniformément en utilisant la grande spatule puis serrée par 60 chocs. La deuxième couche est alors introduite, nivelée avec la petite spatule et serrée à nouveau par 60 chocs. Le moule est enlevé de la table à choc, et après avoir retiré la hausse, on enlève l'excédent de mortier par arasage. La surface des éprouvettes est ensuite lissée.

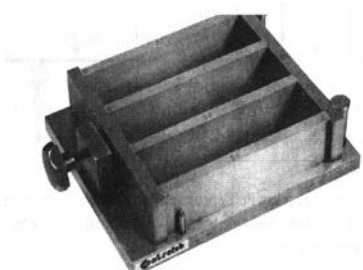


Figure (IV.14) : Moule d'éprouvettes prismatiques (4x4x16) cm.

➤ Conservation des éprouvettes :

IV.10.2-Essais de résistances mécaniques

Pour la détermination de la résistance à la flexion, on utilise la méthode de la charge concentrée à mi portée au moyen du dispositif de flexion normalisé. Les demi-prismes obtenus dans l'essai de flexion doivent être essayés en compression sur les faces latérales de moulage sous une section de 4cm x 4cm.

IV.10.3-Résistance à la traction par flexion (EN 196-1) [24]

Placer le prisme dans le dispositif de flexion avec une face latérale de moulage sur les rouleaux d'appui et son axe longitudinal perpendiculaire à ceux-ci. Appliquer la charge verticalement par le rouleau de chargement sur la face latérale opposée du prisme et l'augmenter de $50 \text{ N/s} \pm 10 \text{ N/s}$, jusqu'à rupture. Conserver les demi-prismes humides jusqu'au moment des essais en compression. La résistance en flexion R_f (en N/mm^2) est calculée au moyen de la formule :

$$R_f = \frac{1,5Pl}{b^3} \dots\dots\dots (\text{II. 5})$$

R_f : est la résistance en flexion, en newtons par millimètre carré ou en MPa.

b : est le côté de la section carrée du prisme, en millimètres.

F_f : est la charge appliquée au milieu du prisme à la rupture, en newtons

l : est la distance entre les appuis, en millimètres.

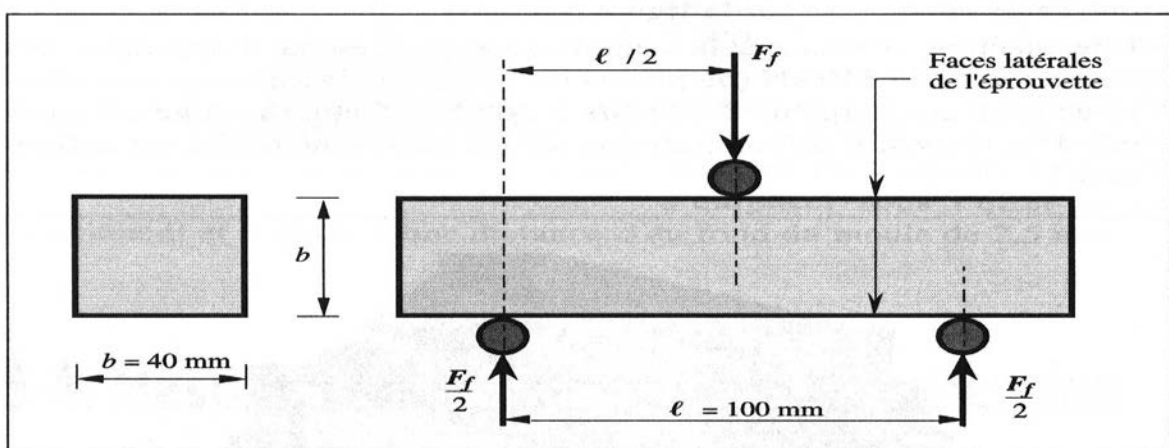


Figure (IV.15): Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion.

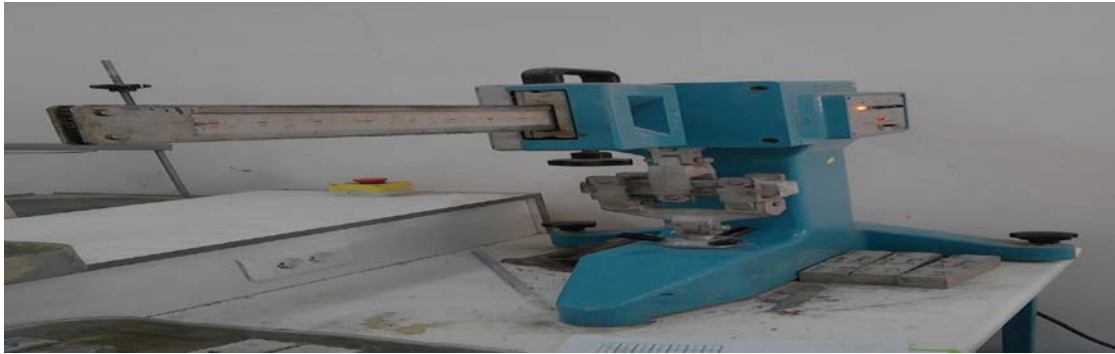


Figure (IV.16) : machine d'essais de résistance à la flexion

IV.10.4-Résistance à la compression (NF EN 196-1 § 9.2) [24]

Centrer chaque demi-prisme latéralement par rapport aux plateaux de la machine à ± 0.5 mm près et longitudinalement de façon que le bout du prisme soit en porte-à-faux par rapport aux plateaux d'environ 10 mm.

Augmenter la charge avec une vitesse providence durant toute l'application de la charge jusqu'à la rupture (compenser la décroissance de vitesse de la charge à l'approche de la rupture).

La résistance en compression R_c (en N/mm²) est calculée au moyen de la formule :

$$R_f = \frac{F_c}{b^2} \dots\dots\dots (\text{II. 6})$$

R_c : Résistance à la compression en (MPa).

F_c : Charge de rupture en (N).

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

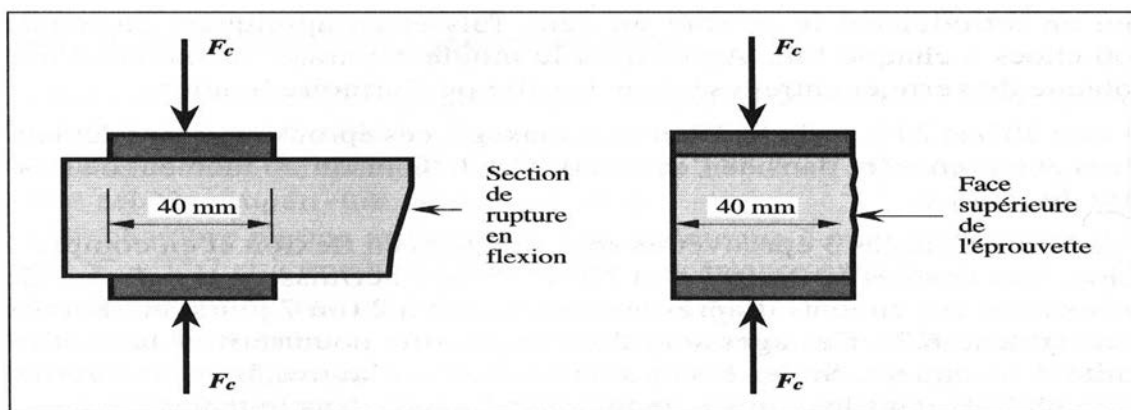


Figure (IV.17): dispositif pour l'essai de résistance à la compression.

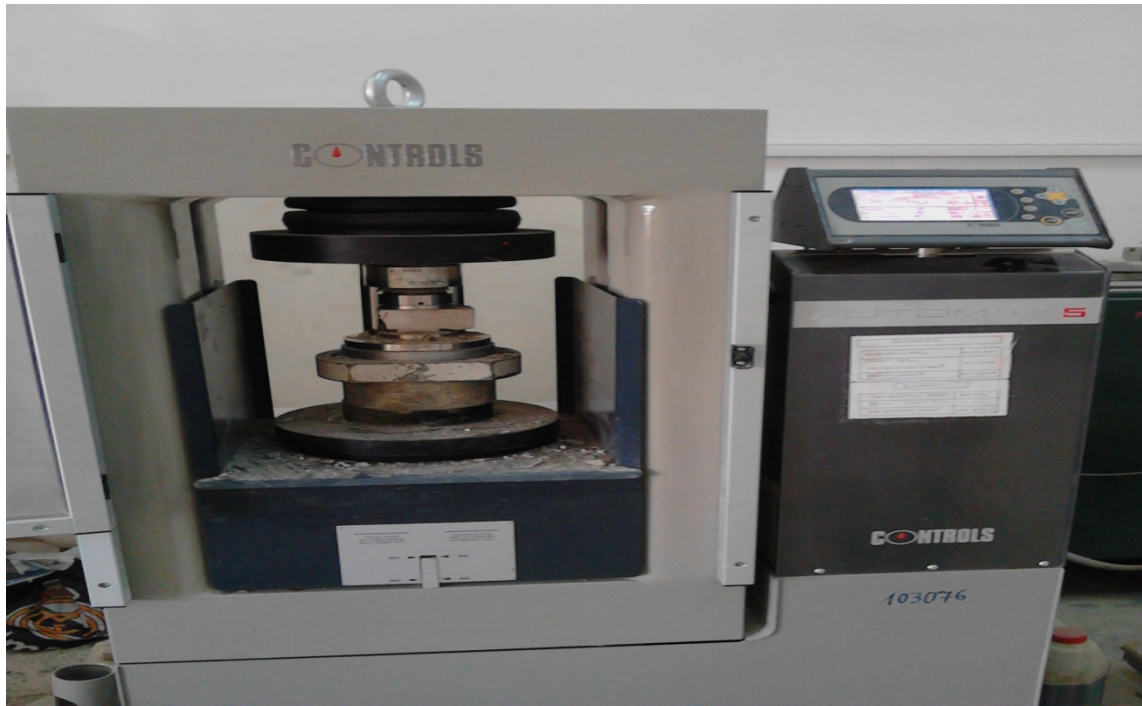


Figure (IV.18) : machine d'essais de résistance à la compression.

IV.10.5-Mesure du retrait et gonflement sur éprouvettes de mortier (NF P 15-433) :

➤ Objectif de l'essai

Il s'agit d'évaluer le retrait, ou le gonflement, que provoque le ciment étudié sur des éprouvettes de mortier normal.

➤ Principe de l'essai

On compare, à différents temps t , la variation de longueur d'une éprouvette $4 \times 4 \times 16$ cm, par rapport à sa longueur à un temps t_0 pris pour origine.

➤ Equipement nécessaire

Il est décrit dans la norme NF P 15-433.

- Une salle maintenue à une température de $20\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ et à une humidité relative supérieure ou égale à $50\% \pm 5\%$.
- Eventuellement deux bains d'eau dont la température est maintenue à $20\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$ et $5\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$. Un malaxeur normalisé (figure II.7)
- Des moules équipés de plots de retrait en laiton. Les plots sont vissés au moule au moment de la mise en place du mortier puis désolidarisés du moule avant le démoulage. Après durcissement, les éprouvettes $4 \times 4 \times 16$ sont donc munies à leurs deux extrémités de plots comme indiqué sur la (figure II.9).

- Un déformètre tel que celui montré sur la photo. II.11. Équipé d'un comparateur permettant de réaliser Des mesures avec une exactitude inférieure ou Égale à 0,005 mm. Une tige de 160 mm de Longueur doit permettre de régler le zéro du déformètre Cette tige en Invar de façon à ce que Les variations de température qu'elle peut connaître Au cours de la manipulation n'entraînent pas de Modification appréciable de sa longueur.
- Mesure des variations dimensionnelles de prismes 4*4*16 en fonction du temps :

$$\Delta L/L (\mu m)$$

- ❖ retrait : éprouvettes conservées à l'air (20°C, Hr=50%)
- ❖ gonflement : éprouvettes conservées dans l'eau (20°C)

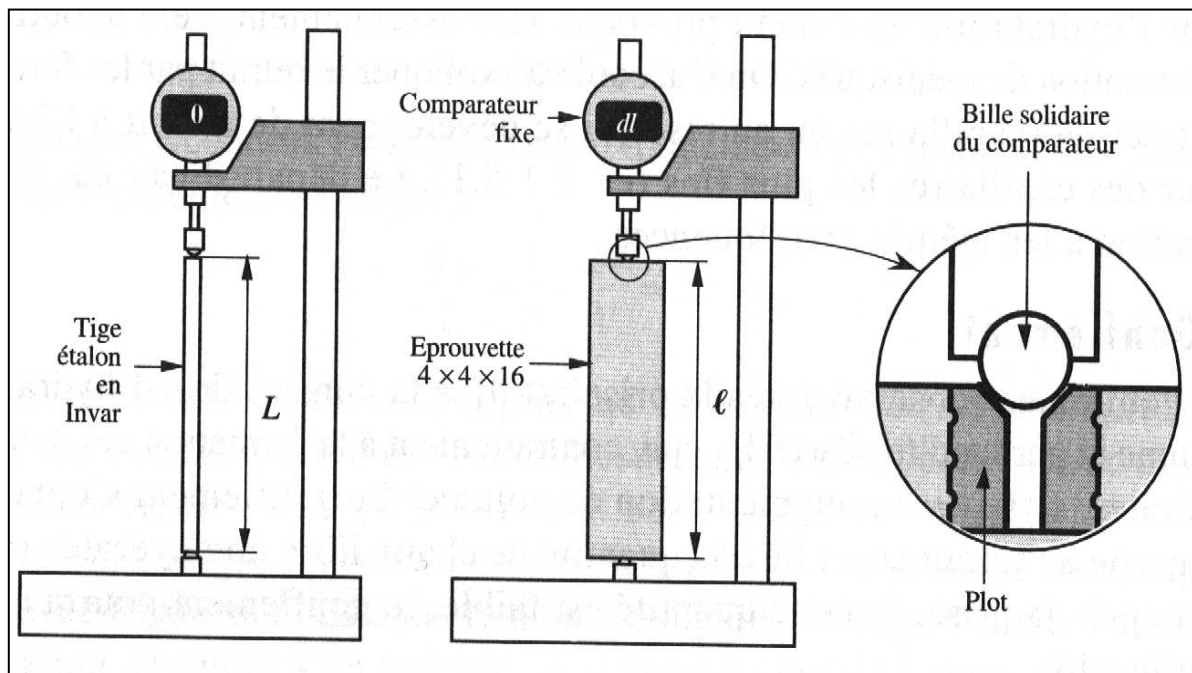


Figure (IV.19) : Principe de l'essai du retrait. [20]

➤ Conduite de l'essai

Au moment de la mesure, le comparateur est mis au zéro sur la tige étalon en Invar de longueur $L = 160$ mm. Soit $dl(t)$ la valeur lue sur le comparateur au temps t ; l'éprouvette a une longueur au temps considéré:

$$l = L + dl(t)$$

Soit $l(t_0)$ la longueur de l'éprouvette au temps t_0 choisi d'origine. En général, cette origine est prise au moment du démoulage, 24 h après la confection des éprouvettes. La variation de longueur au temps t sera:

$$\Delta l(t) = l(t) - l(t_0) = dl(t) - dl(t_0)$$

Chapitre IV : Méthodes d'essai et matériaux utilisés

La variation relative de longueur est généralement désignée par ε et a pour expression

$$\varepsilon(t) = \frac{\Delta l(t)}{L} = \frac{dl(t) - dl(t_0)}{L}$$

$\Delta l(t)$ est obtenu en faisant la moyenne sur les 3 éprouvettes issues du même moule. Lorsque les éprouvettes sont conservées dans l'air, $\Delta l(t)$ est généralement négatif et l'on parle alors de retrait de l'éprouvette. Lorsque l'éprouvette est conservée dans l'eau, $\Delta l(t)$ peut être positif: il y a alors gonflement.

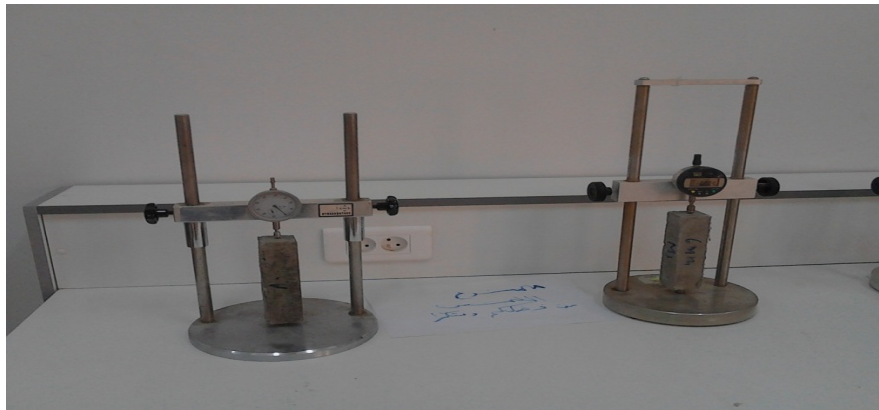


Figure (IV.20) : Appareillage pour la mesure du retrait.

IV.10.6-Mesure de la porosité :

Il existe plusieurs méthodes (norme) d'évaluation de la porosité du mortier. Parmi ces méthodes, la norme ASTM C642 (standard test method for specific gravity, absorption, and Voids in hardened concrete).

Le but de cette méthode est de déterminer le pourcentage de volume des pores contenus dans les éprouvettes de mortier, afin de la structure interne du mortier sur l'interconnexion des pores.

a) Procédure d'essai :

La méthode utilisée est celle de la norme ASTM C642, son avantage réside dans sa simplicité et le peu de moyen nécessaire à son utilisation.

L'essai de la porosité est réalisé sur des éprouvettes de dimension : $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$, en

Appliquant les étapes suivantes :

Chapitre IV : Méthodes d'essai et matériaux utilisés

- ❖ Séchage à l'étuve à 105°C de l'échantillon, pendant au moins 24 Heurs, jusqu'à obtention d'une masse constante, afin de faire évaporer toute la quantité d'eau évaporable. Cette masse est notée « A ».
- ❖ Immersion de l'échantillon dans l'eau pendant 24 heures.
- ❖ Chauffage jusqu'à ébullition pendant 5 heures (figure !!!!), puis passage de l'échantillon à l'air (soit « c » se poids) puis passage à l'eau (pesée hydrostatique, voir la figure !!!!!) (soit « D » ce poids).



Figure (IV.21): Le dispositif expérimental de mesure de la porosité

Boil test equipment

b) Calcul la porosité :

La porosité est calculée par la formule (loi d'ASTM.C642)

$$V_p = \frac{C-A}{C-D} * 100$$

Avec :

V_p : volume des vides (%).

A : poids de l'échantillon après étuvage (g).

C : poids à l'air après immersion et ébullition (g).

D : poids à l'eau après immersion et ébullition.

IV.11 -Conclusion :

Les essais physiques, les analyses chimiques et les analyses minéralogiques effectués dans les différents laboratoires donnent une idée générale sur les caractéristiques principales des matériaux servant à la formulation des mortiers qui seront étudiés au chapitre suivant.

La connaissance de ces caractéristiques nous aide d'une façon significative à commenter les résultats des essais expérimentaux.

Chapitre V

Résultats et discussions

V.1- Introduction :

Le mortier de fibre polypropylène est un matériau composite qui est constitué de deux matériaux différents à savoir le mortier et les fibres.

Les qualités fondamentales du mortier de fibres sont largement marqués par plusieurs facteurs tel que : la composition du mortier classique, le dosage, et les dimensions des fibres, le malaxage, la maniabilité, la mise en place, la vibration, les dimensions de l'échantillon ainsi que le mode et la vitesse de chargement.

Dans ce chapitre, seront exposés les résultats obtenus à partir des essais réalisés sur le mortier sans et avec fibres.

Les résultats obtenus montrent l'influence de à savoir la longueur et la dosage des fibres.

On a utilisé les abréviations suivantes :

- ❖ Mortier de référence (témoin) → combinaisons : M_T (0%FS)
- ❖ Mortier avec 0.5% Fibre polypropylène → combinaisons : $M_{FS} 0.5$
- ❖ Mortier avec 1% Fibre polypropylène → combinaisons : $M_{FS} 1$
- ❖ Mortier avec 1.5% Fibre polypropylène → combinaisons : $M_{FS} 1.5$
- ❖ Mortier avec 2% Fibre polypropylène → combinaisons : $M_{FS} 2$

Ces résultats portent sur les résistances mécaniques (compression et flexion) aux échéances - 7-14-et 28 jours.

V.2- Propriétés des mortiers a l'état frais :

V.2.1- La consistance en fonction de L_f , M_f :

V.2.1.1- Maniabilités :

Les caractéristiques des mortiers frais sont présentées au tableau suivant :

Tableau (V.1) : la maniabilité des mortiers en fonction de L_f :

Nomination	La Maniabilités (sec)			
	E/C	$L_f = 6\text{mm}$	$L_f = 12\text{mm}$	$L_f = 6, 12 \text{ mm}$
M_T (0%FS)	0.55	26.55	21.74 sec	28.76 sec
$M_{FS} 0.5$	0.55	37.44	31.63 sec	49.40 sec
$M_{FS} 1$	0.55	1.12 min	1.30 min	1.50 min
$M_{FS} 1.5$	0.55	>2 min	>2 min	>2 min
$M_{FS} 2$	0.55	>2 min	>2 min	>2 min

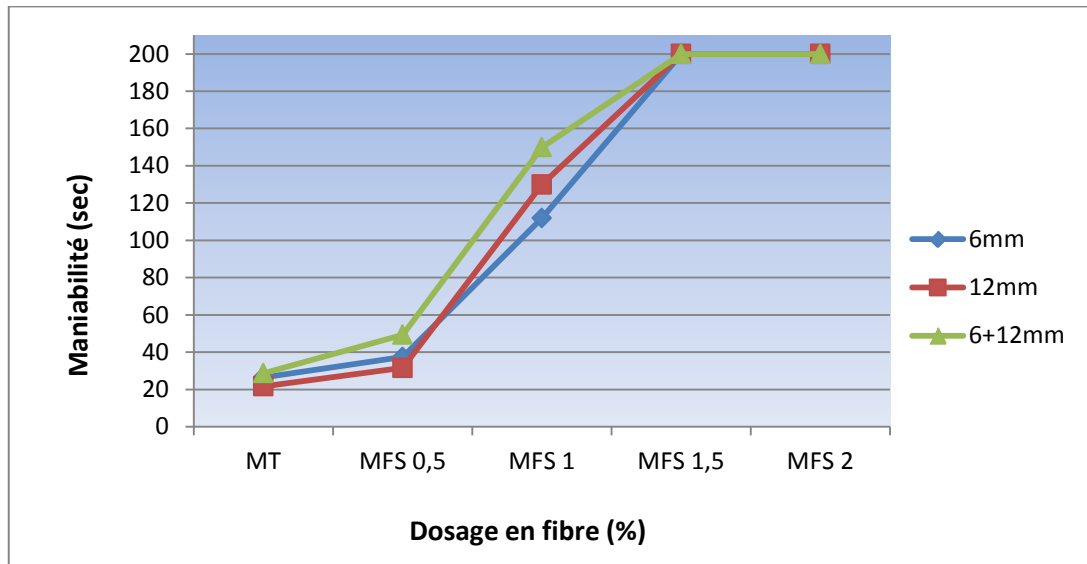


Figure (V-1): Variation de la maniabilité des mortiers selon le taux de fibrage

➤ Effets de la longueur et dosage en fibre sur les propriétés des bétons frais :

La maniabilité du mortier frais :

Pour évaluer la rhéologie du mortier fibreux il faut déterminer le temps d'écoulement des mélanges fibré, c'est-à-dire de définir la maniabilité du mortier. Pour le cas des mortiers, il n'existe en fait aucun appareil normalisé ou universellement reconnu pour réaliser ce type d'essai. Dans notre cas nous avons utilisé un modèle de maniabilité semblable au maniabilimètre L.C.P.C mais de dimension inférieure pouvant contenir juste 768cm^3 de volume de mortier. Cet appareil est mené d'un vibreur. L'essai mesure le temps d'écoulement à été mené conformément à la norme NF P18-452 (norme utilisée pour le cas du béton).

La figure montre que l'introduction de fibre de polypropylène augmente le temps d'écoulement en fonction des dosages de fibre mais au-delà de 1.5% le mortier devient plus sec et le temps d'écoulement dépasse 2min. Pour justifier cette augmentation, on peut dire que la présence des fibres qui jouent le rôle des gros granulats, nécessitent une quantité d'eau pour le mouillage ce qui diminue l'eau nécessaire pour lubrifier les constituants minéraux du mortier.

III.2.2- La masse volumique de mortier

- La masse volumique de mortier à l'état frais :

Chapitre V : Résultats et Discussions

Tableau (V.2) : la masse volumique à l'état frais de mortier en fonction de L_f :

Dosage de fibre %	Longueur de fibre		
	$L_f = 6\text{mm}$	$L_f = 12\text{mm}$	$L_f = 6+12\text{ mm}$
	La masse volumique (g/cm^3)	La masse volumique (g/cm^3)	La masse volumique (g/cm^3)
M_T (0%FS)	2.47	2.16	2.34
M_{FS} 0.5	2.51	2.54	2.30
M_{FS} 1	2.31	2.74	2.41
M_{FS} 1.5	2.46	2.54	2.46
M_{FS} 2	2.36	2.48	2.38

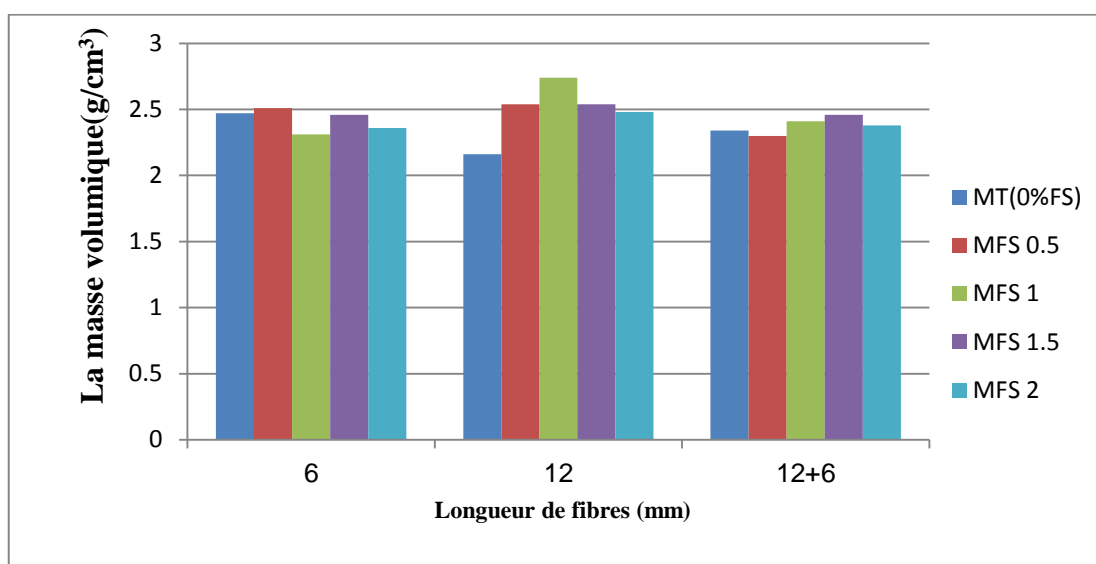


Figure (V-2): Evolution de la masse volumique à l'état frais de mortier en fonction de longueur de fibre.

➤ Effet de la longueur et dosage de fibre sur la masse volumique à l'état frais

La figure (V-2) présente la masse volumique en fonction de la longueur de fibre

La figure montre que l'introduction de fibre ne modifie pas de façon significative la masse volumique des mortiers ceci peut être expliqué par la légèreté des fibres et le dosage qui ne

Chapitre V : Résultats et Discussions

dépasse pas 2%. On note ici que avec un dosage de 1% de fibre de longueur égale à 12mm, la masse dépasse celle de mortier témoin. La seule explication pour cela est :

Mortier avec 1% de fibre : la rhéologie et la mise en place est facile ce qui augmente la compacité du mortier est implicitement la masse volumique.

V.3- Propriétés des mortiers a l'état durci

V.3.1- Propriétés physique :

V.3.1.1- La masse volumique de mortier :

a) Longueur de fibre : 6mm

Tableau (V.3) : Evolution de la masse volumique de mortier en fonction de la durée de conservation ($L_f = 6\text{mm}$)

Dosage de fibre %	La masse volumique (g/cm^3)			
	1jour	7jours	14jours	28jours
M_T (0%FS)	2,325	2,360	2,346	2,385
M_{FS} 0.5	2,326	2,368	2,377	2,456
M_{FS} 1	2,274	2,313	2,455	2,396
M_{FS} 1.5	2,276	2,310	2,336	2,377
M_{FS} 2	2,300	2,330	2,407	2,401

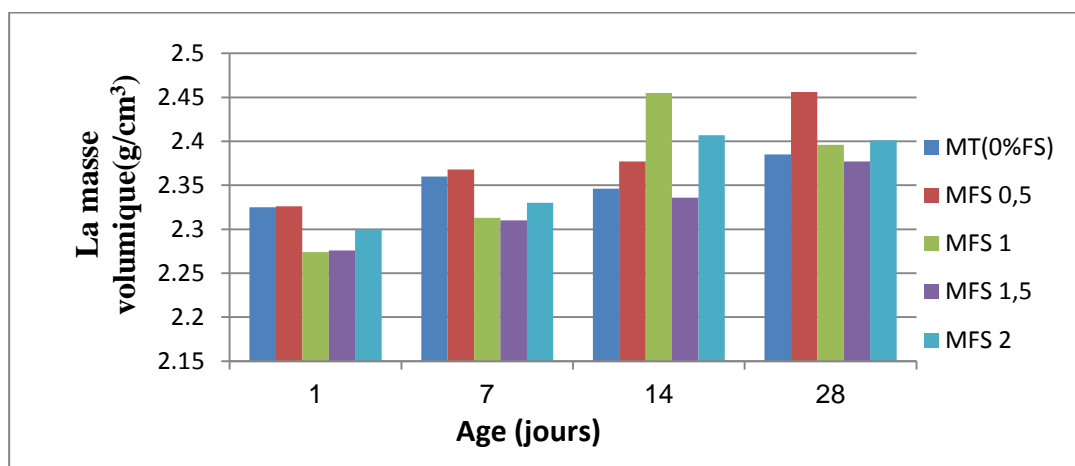


Figure (V-3): Evolution de la masse volumique à l'état durci de mortier en fonction de longueur 6mm de fibre.

Chapitre V : Résultats et Discussions

b) Longueur de fibre : 12mm

Tableau (V.4) : Evolution de la masse volumique de mortier en fonction de la durée de conservation ($L_f = 12\text{mm}$)

Dosage de fibre %	La masse volumique (g/cm^3)			
	1jour	7jours	14jours	28jours
M_T (0%FS)	2,300	2,330	2,341	2,536
M_{FS} 0.5	2,253	2,282	2,312	2,392
M_{FS} 1	2,305	2,334	2,379	2,431
M_{FS} 1.5	2,305	2,341	2,361	2,477
M_{FS} 2	2,501	2,390	2,315	2,428

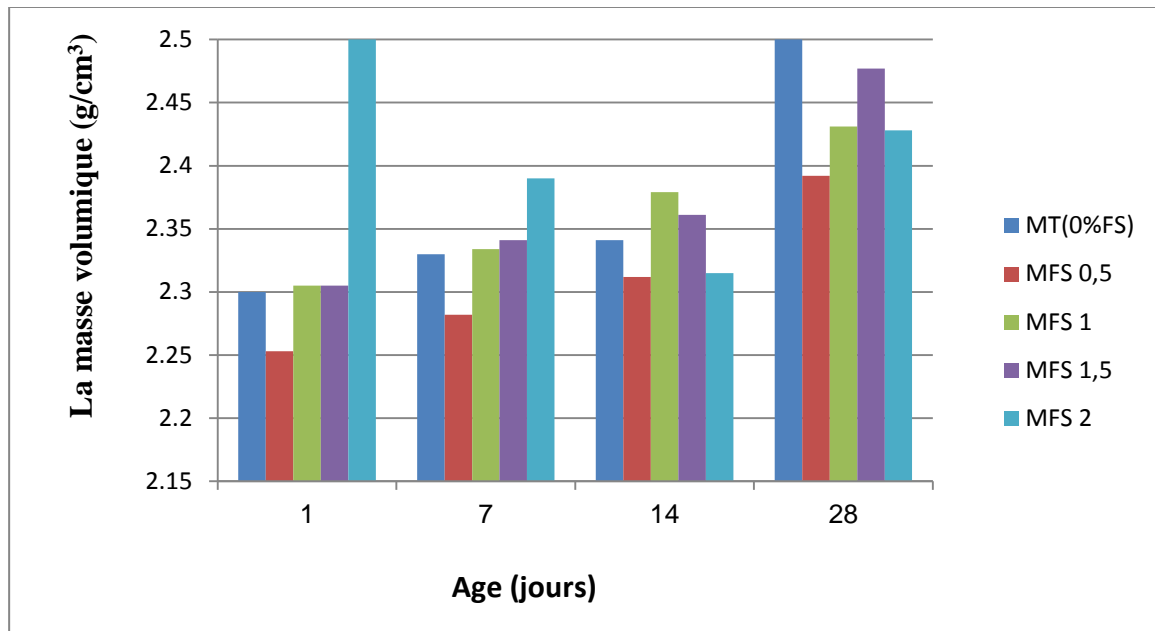


Figure (V-4): Evolution de la masse volumique à l'état durci de mortier en fonction de longueur 12mm de fibre.

c) Mélange de fibre : 6+12mm

Chapitre V : Résultats et Discussions

Tableau (V.5) : Evolution de la masse volumique de mortier en fonction de la durée de conservation
($L_f = 6+12\text{mm}$)

Dosage de fibre %	La masse volumique (g/cm^3)			
	1jour	7jours	14jours	28jours
M_T (0%FS)	2,264	2,310	2,184	2,353
M_{FS} 0.5	2,244	2,295	2,260	2,364
M_{FS} 1	2,323	2,378	2,375	2,357
M_{FS} 1.5	2,330	2,391	2,403	2,422
M_{FS} 2	2,275	2,328	2,319	2,406

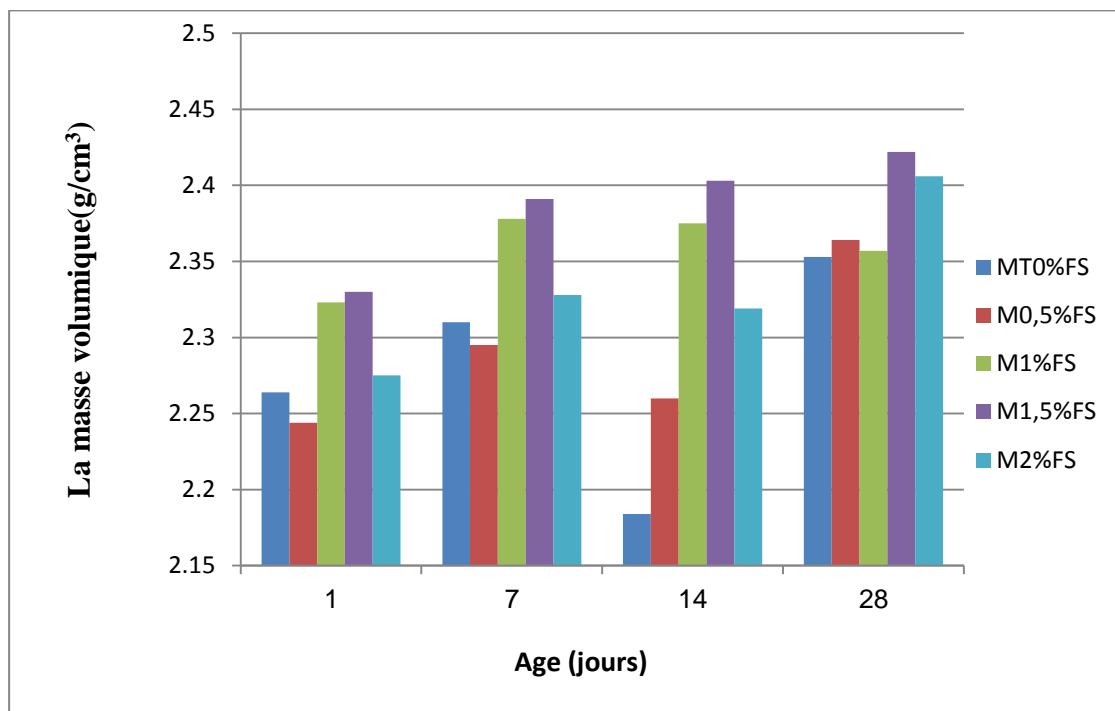


Figure (V-5): Evolution de la masse volumique à l'état durci de mortier en fonction du mélange des fibres

On remarque une augmentation de la masse volumique dans tous les périodes de (1 à 28jours) pour toutes les dosages et les longueurs des fibres 6mm et 12mm.

Pour le mortier avec mélange de fibre on remarque une diminution de la masse volumique dans la période de 7 à 14 jours et On remarque aussi que pour toutes les compositions, la masse volumique est relativement plus grande que celle du mortier témoin à cause de l'effet physique de la fibre qui rend la matrice plus dense.

Chapitre V : Résultats et Discussions

V.3.1.2-La porosité en fonction de fibre

Tableau (V.6) : Evolution de la porosité en fonction de la longueur de fibre.

Dosage de fibre %	La porosité (%)								
	Longueur de fibre 6mm			Longueur de fibre 12mm			Mélange de fibre 6+12mm		
	7jours	14jours	28jours	7jours	14jours	28jours	7jours	14jours	28jours
M_T (0%FS)	16.72	10.26	12.89	16.72	9.17	11.85	16.72	9.55	11.72
M_{FS} 0.5	15.23	11.00	12.91	16.48	9.54	14.26	16.94	9.50	12.44
M_{FS} 1	18.46	10.94	14.02	17.11	9.18	14.90	15.33	9.85	14.68
M_{FS} 1.5	15.31	10.98	14.52	16.60	10.95	12.47	15.10	9.71	11.76
M_{FS} 2	15.43	11.89	12.81	16.34	10.66	11.74	13.35	9.17	11.05

➤ Effet de la longueur de 6mm :

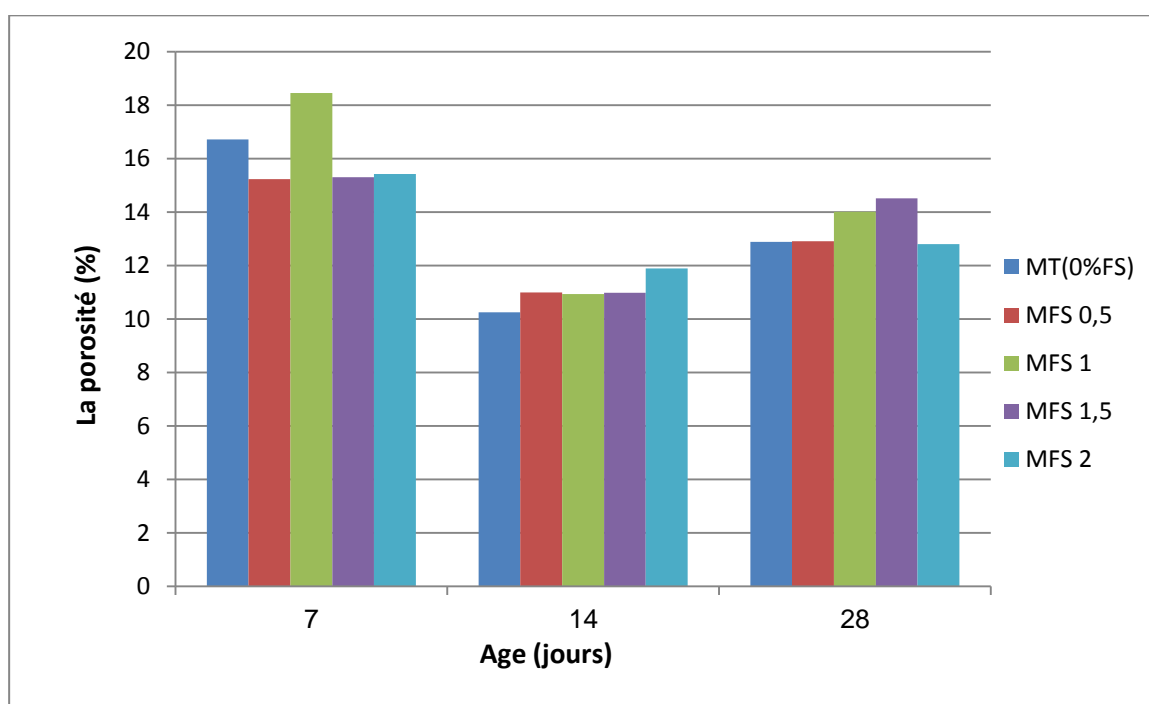


Figure (V.6): Evolution de la porosité en fonction de l'âge des mortiers ($L_f=6mm$)

La figure (V.6) présente l'effet des taux des fibres polypropylène sur la résistance à la flexion des mortiers aux différents âges : 7, 14 et 28j.

On remarque une augmentation de la porosité pendant les premiers 7 jours, en particulier dans un mortier avec taux de fibre de 1%. On constate que l'introduction des fibres n'importe aucune diminution de la porosité. Et il en conclure que les fibres polypropylène de longueur 6mm ne jouent aucun rôle dans la réduction de volume des vides(%).

➤ **Effet de la longueur de 12mm :**

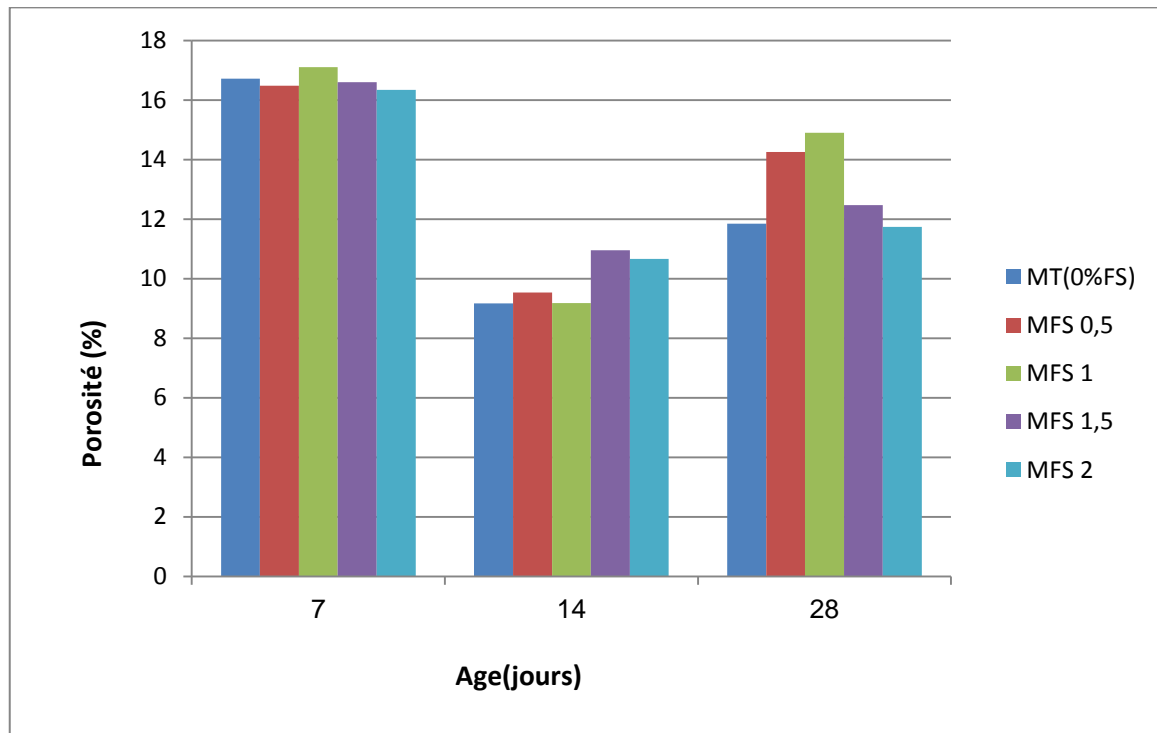


Figure (V.7): Evolution de la porosité en fonction de l'âge des mortiers ($L_f=6\text{mm}$)

Pour la longueur de fibre de 12 mm. Le volume des vides du mortier est grand pendant les premiers jours en particulier dans les taux 0% et 1%.

A 14 jours on obtient une diminution de volume des vides avec tous les dosages

Après 28 jours on obtient : une augmentation de la porosité avec un mortier de dosage 1% de fibre.

Donc : il est clair que la longueur $L_f = 12\text{mm}$ présente une meilleur performance à 7 jours avec des dosages 1, 1.5, 2 % de fibres.

➤ **Effet de la Mélange de fibre : 6 et 12mm (50%/50%)**

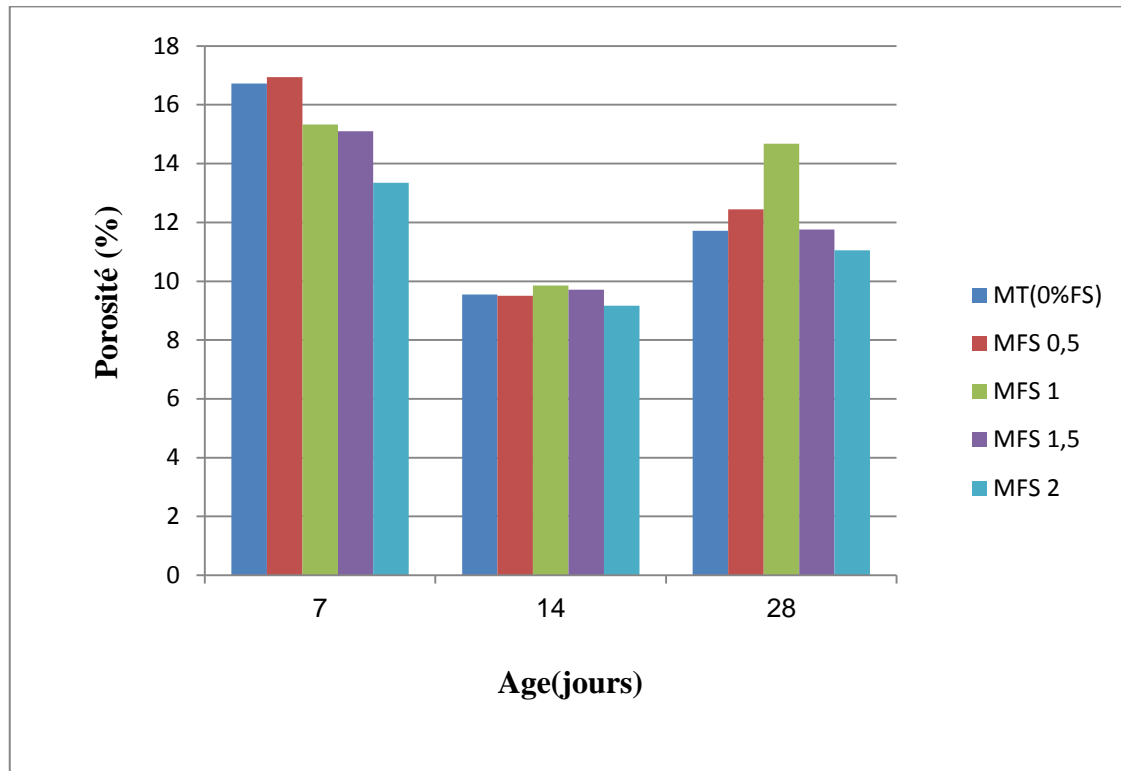


Figure (V.8): Evolution de la porosité en fonction de l'âge des mortiers ($L_f=6+12\text{mm}$)

La figure (V.8) présente l'effet du la mélange des fibres sur la porosité des mortiers contenant le taux 0.5%,1% ,1.5%,2% de fibre aux différents âges : 7, 14 et 28 jours.

D'après cette figure ; on remarque une augmentation de la porosité du mortier du taux 0% et 0.5% à 7jours par rapport au mortier avec des taux 1, 1.5, 2%, et on remarque aussi une diminution de la porosité à 14 jours avec une augmentation à 28 jours.

En conséquence, nous disons que la porosité liée à la quantité d'eau et les composants de mortier.

V.3.2- Propriétés mécanique

Résultats de l'essai mécaniques :

V.3.2.2- Résistance à la compression

Tableau (V.7): Evolution de la résistance à la Compression du mortier étudié.

Dosage de fibre %	Résistance à la Compression (MPa)								
	Longueur de fibre 6mm			Longueur de fibre 12mm			Mélange de fibre 6+12mm		
	7jours	14jours	28jours	7jours	14jours	28jours	7jours	14jours	28jours
M_T (0%FS)	24.39	27.78	29.21	24.31	27.37	28.61	25.18	26.90	29.64
M_{FS} 0.5	22.76	26.29	25.76	21.38	25.66	28.20	24.11	26.71	30.02
M_{FS} 1	23.76	25.90	27.34	21.00	25.23	24.17	22.64	26.82	30.69
M_{FS} 1.5	19.12	24.07	24.35	21.54	23.33	28.94	22.34	23.45	28.66
M_{FS} 2	18.27	23.09	23.95	22.45	26.09	28.41	19.19	22.35	25.75

➤ **Effet de la longueur de 6mm :**

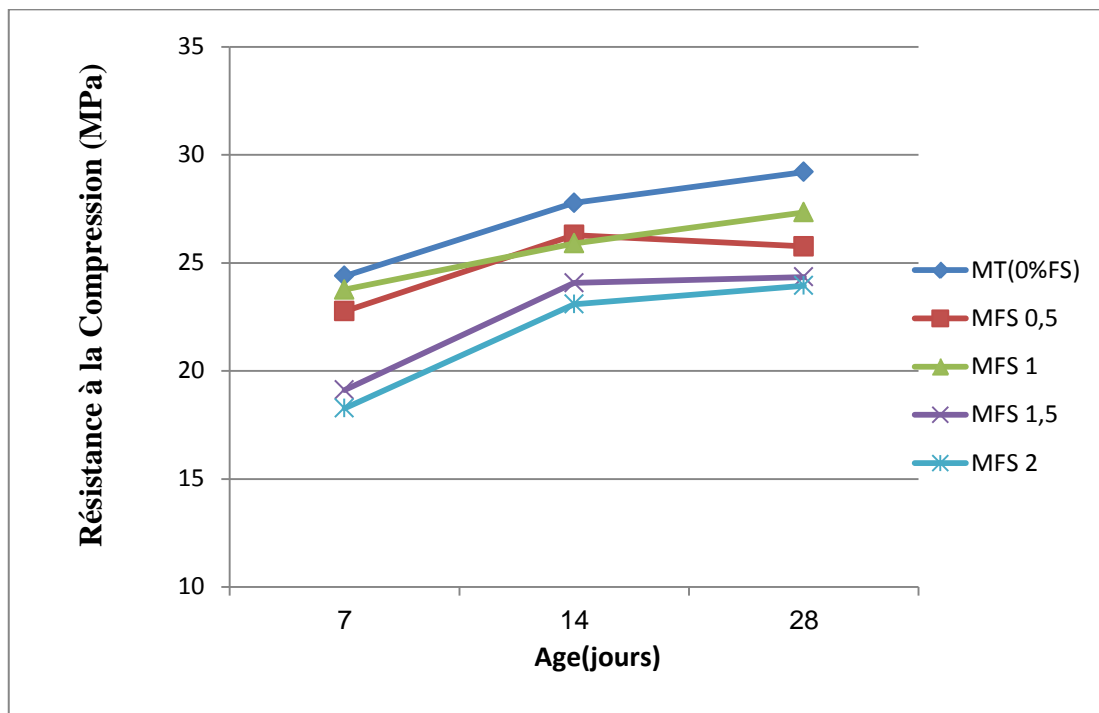


Figure (V.9): courbes représentent l'influence du pourcentage des fibres sur la résistance à la compression avec une longueur de 6mm.

La Figure (V.9) montre que l'influence du dosage en fibres de polypropylène sur la résistance en compression. D'après ces résultats, on remarque l'effet négatif de l'introduction des fibres au mortier. La résistance des mortiers armés de fibres diminue légèrement. La différence des niveaux de la résistance à 28 jours par rapport au mortier témoin est de l'ordre de 1.87 MPa (à 1% de fibres) à 5.26MPa à (2% de fibres) qui représente une diminution de 6.4% (de celle de 1% de fibre) à 18% avec (2% de fibre). Cela s'explique par le fait que le taux élevé (>1%) en fibres dans le mélange à l'état frais, forme des boucles de fibres dans la structure de mortier ce qui représente des points faibles lors des essais de compression.

Notre résultat obtenus sont presque identique à celles d'autres chercheurs [23], [24] et [25] qui arrivent à confirmer que les fibres de polypropylène n'importe pas d'amélioration sensible en compression.

➤ **Effet de la longueur de 12mm :**

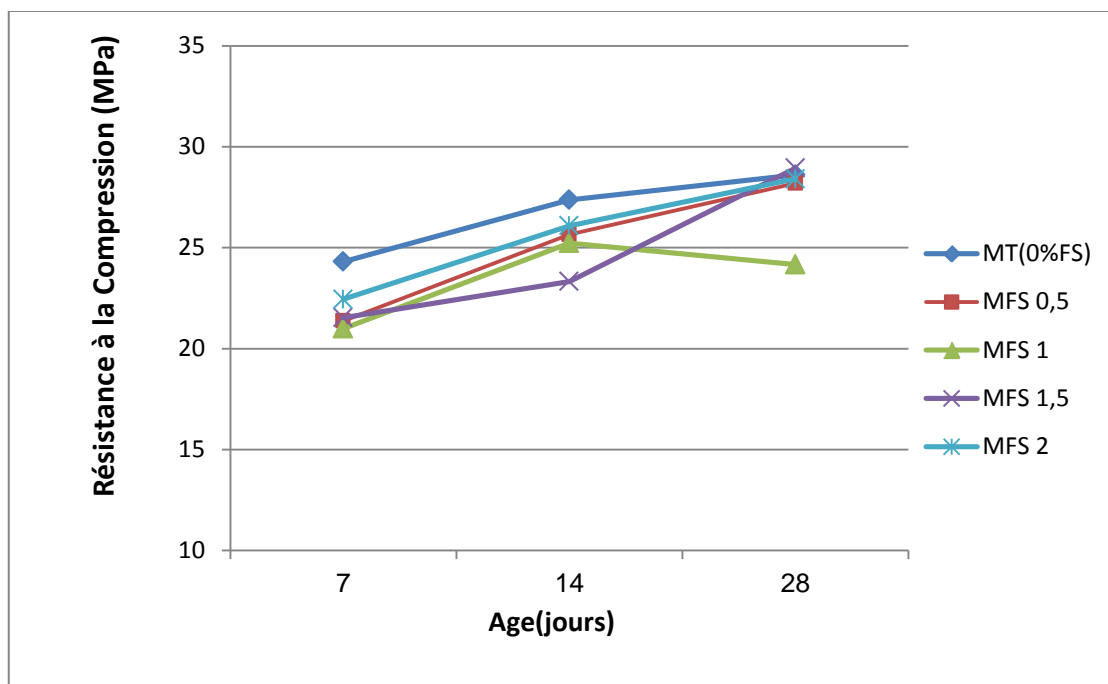


Figure (V.10): courbes représentent l'influence du pourcentage des fibres sur la résistance à la compression avec une longueur de 12mm.

On remarque que cette résistance est inférieure avec des taux (0.5%,1%,1.5%,2%) par rapport au mortier témoin aux l'âge 7, 14 ,28 jours successivement.

D'après les résultats, on ne constate que l'introduction des fibres dans le mortier n'importe aucune amélioration dans la résistance à la compression de mortier. Cette constatations est généralisée pour les trois dosages 0.5, 1.5 et 2%) alors pour un dosage de 1% une diminution de 15.5% a été constatations par rapport au mortier témoin.

➤ Effet de la Mélange de fibre : 6 + 12mm (50%/50%)

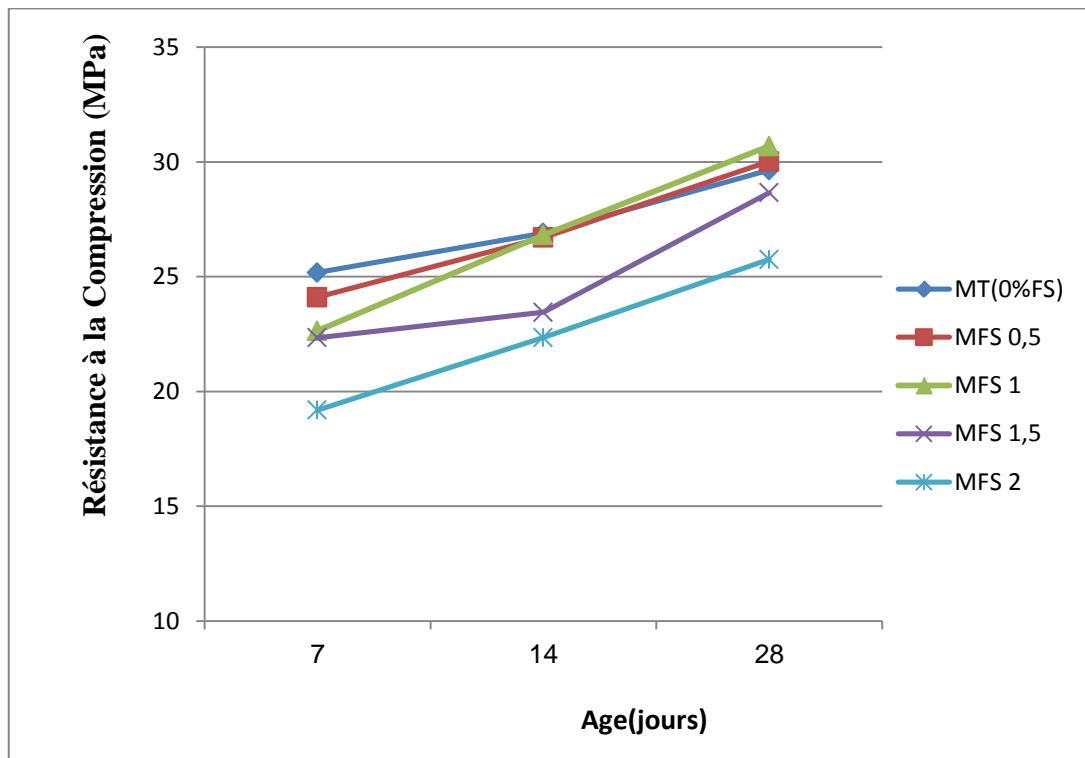


Figure (V.11): courbes représentent l'influence du pourcentage des fibres sur la résistance à la compression avec une mélange de fibre

Les résultats obtenus en mélangeant deux longueurs de fibres ($L_f=6\text{mm}$ et $L_f=12\text{mm}$) dans le mortier sont regroupés et présentés par la figure (V.11).

D'après cette figure, on constate que :

- 1- La résistance évolue avec le temps avec tous les dosages en fibres.
- 2- Les dosages qui donnent une meilleure performance sont ceux de 0.5, 1 et 1.5%.
- 3- Avec un dosage de 2%, la résistance présente une diminution.

Pour expliquer cela, il faut dire que la difficulté de malaxage avec un taux élevé de fibre influence négativement sur le comportement mécanique à l'état durci, ce qui traduit cette diminution de la compression.

➤ Effet de la longueur des fibres sur la résistance à la compression à 28 jours

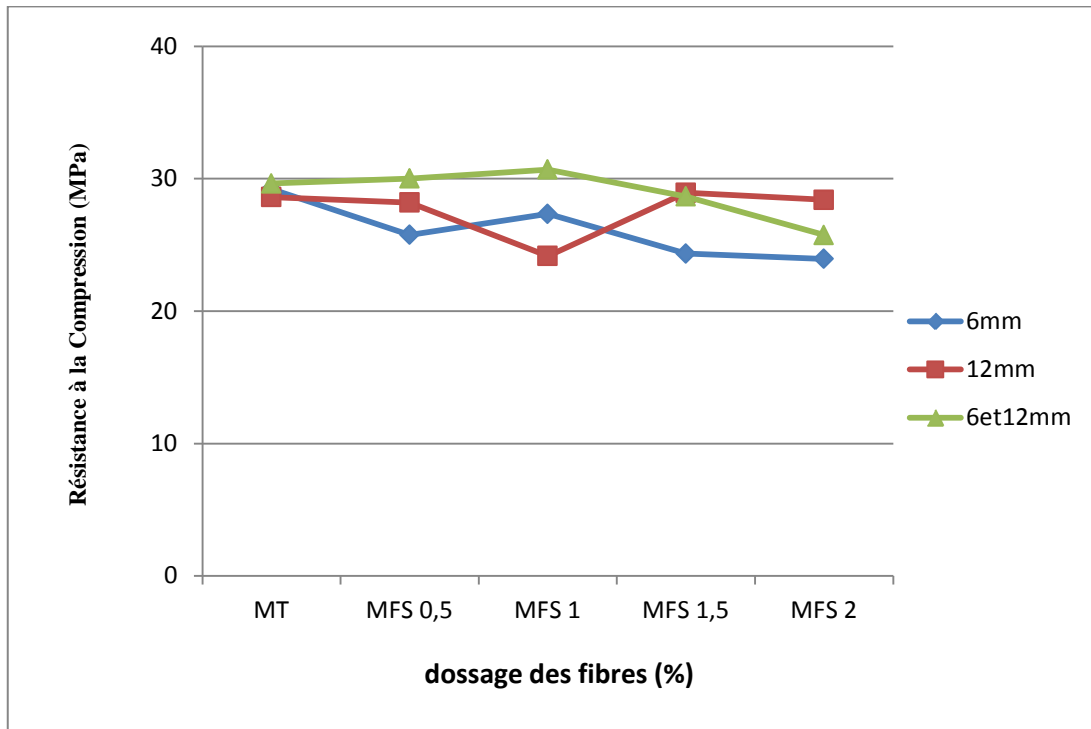


Figure (V.12): courbes représentent l'influence des longueurs des fibres des différents dosages sur la résistance à la compression à 28 jours.

La figure (V.12) représente l'influence des longueurs des fibres (6, 12mm et 6 et 12 mm) sur le comportement mécanique (résistance à la compression).

Il est clair que le mélange des deux longueurs $L_f=6\text{mm}$ et $L_f=12\text{mm}$ (50% chacun) présente une meilleur performance avec des dosages de 0.5, 1 et 1.5%, alors que au delà de 1.5%, la résistance commence à diminuer, ce qui veut dire que le problème de malaxage reste toujours un paramètre essentiel dans la détermination finale du la résistance.

Chapitre V : Résultats et Discussions

V.3.2.1- Résistance à la flexion

Tableau (V.8) : Evolution de la résistance à flexion du mortier en fonction de la longueur de fibre

Dosage de fibre %	Résistance à la traction par flexion (MPa)								
	Longueur de fibre 6mm			Longueur de fibre 12mm			Mélange de fibre 6+12mm		
	7jours	14jours	28jours	7jours	14jours	28jours	7jours	14jours	28jours
M_T (0%FS)	5.55	5.83	7.20	5.60	6.65	7.29	5.72	5.85	5.10
M_{FS} 0.5	5.75	6.20	7.35	5.5	5.90	7.42	5.86	6.34	5.80
M_{FS} 1	5.40	6.63	6.20	5.75	6.24	6.75	5.88	6.89	6.30
M_{FS} 1.5	4.85	5.20	5.95	5.35	6.85	7.66	6.47	6.07	6.05
M_{FS} 2	5	6.65	6.10	6.05	6.35	7.58	5.58	6.21	6.44

➤ Effet de la longueur de 6mm :

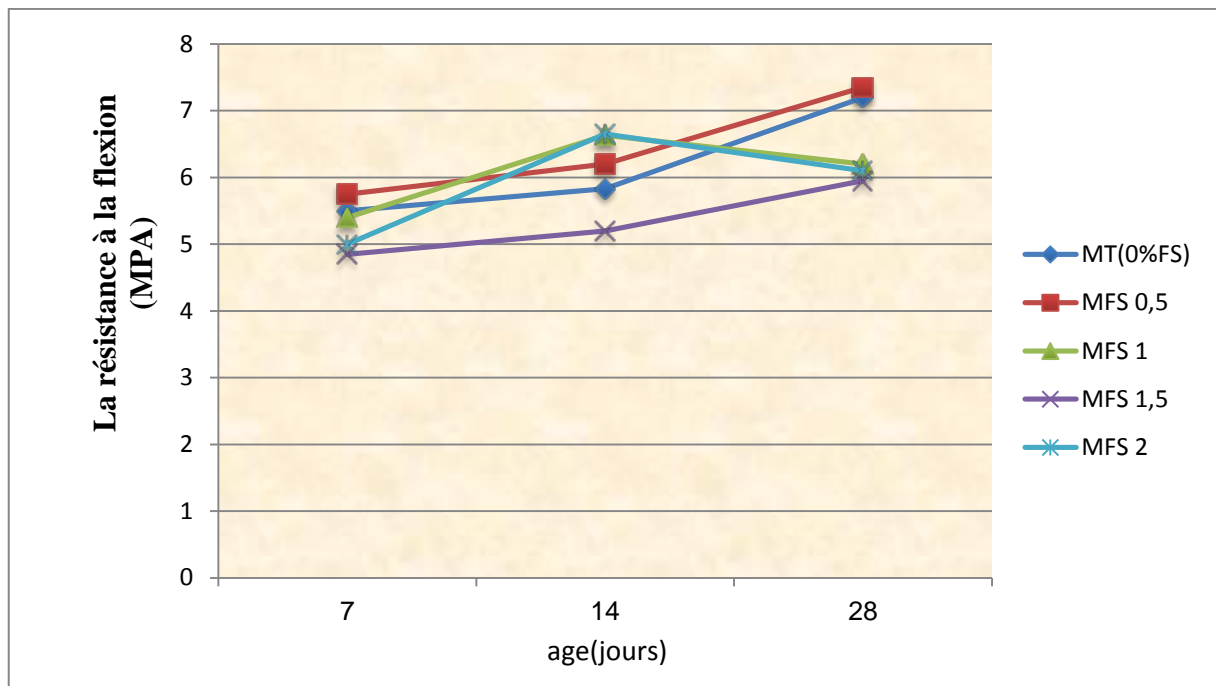


Figure (V.13): courbes représentent l'influence du pourcentage des fibres sur la résistance à la flexion avec une longueur de 6mm

La figure (V.13) présente l'effet de taux de la fibre polypropylène de longueur 6mm sur la résistance à la flexion par rapport le mortier témoin

D'après cette figure ; on remarque une augmentation de la résistance à la flexion dans le mortier fibreux par rapport au mortier témoin avec le temps. Cette résistance est inférieure avec les taux de (1.5% et 2%) par rapport aux taux de 0.5% et 1%

En conclusion, nous disons que les fibres de longueurs 6 mm jouent un grand rôle dans l'amélioration de la résistance à la flexion avec des faibles dosages qui ne dépassent pas le 0.5%. Pour expliquer ceci, on peut dire qu'avec un taux élevé de fibres, le malaxage devient difficile et le mortier devient sec ce qui traduit par un effet négative sur le comportement à la flexion.

➤ Effet de la longueur de 12mm :

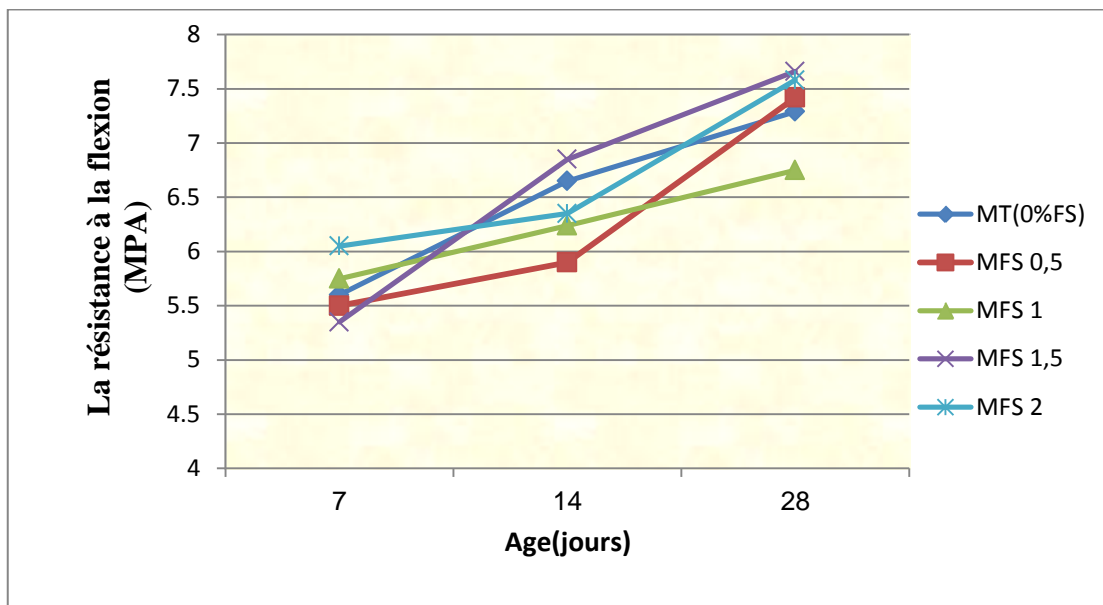


Figure (V.14): courbes représentent l'influence du pourcentage des fibres sur la résistance à la flexion avec une longueur de 12mm

La Figure (V.14) présente l'effet de la fibre polypropylène de longueur 12mm sur la résistance à la flexion des mortiers contenant des taux (0.5%, 1%, 1.5%, 2%) aux différents âges : 7, 14, 28j.

D'après cette figure ; on observe une augmentation de la résistance à la flexion avec le temps.

Cette résistance augmente avec l'augmentation des taux des fibres. Ceci veut dire que la longueur des fibres est un facteur important dans l'amélioration de la résistance à la flexion.

➤ Effet de la Mélange de fibre : 6mm et 12mm (50%/50%)

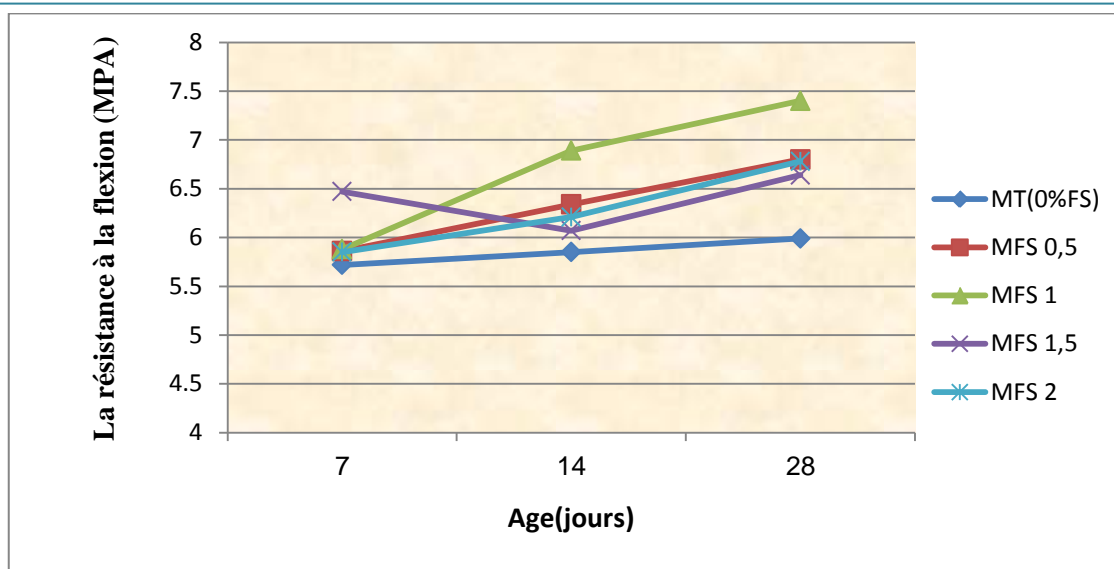


Figure (V.15): courbes représentent l'influence du pourcentage des fibres sur la résistance à la flexion avec une mélange de fibre

La figure (V.15) présente l'effet du mélange de fibre polypropylène sur la résistance à la flexion des mortiers contenant des taux (0.5%, 1%, 1.5%, 2%) aux différents âges : 7, 14, 28j.

D'après la courbe, on peut dire que le mélange de fibres à contribuer à améliorer la résistance à la flexion de mortier, en particulier dans les concentrations de 0,5% et 1%.

➤ Effet de la longueur des fibres sur la résistance à la flexion à 28 jours

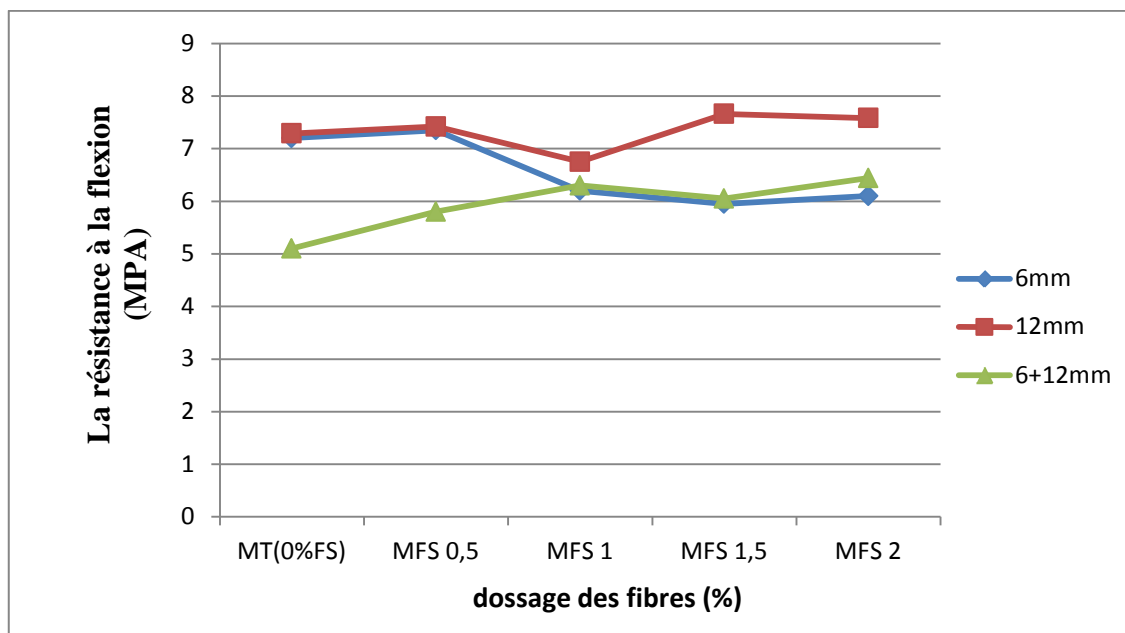


Figure (V.16): courbes représentent l'influence des longueurs des fibres des différents dosages sur la résistance à la flexion à 28 jours.

Chapitre V : Résultats et Discussions

La figure (V.16) montre l'influence des longueurs des fibres utilisées sur la résistance à la flexion à 28 jours.

Les meilleurs résultats obtenus en flexion sont ceux avec une longueur de 12mm et avec des taux de fibres de 0.5% et 1.5%. D'après ces résultats, on peut conclure que la formulation performante des mortiers fibreux est celle confectionné avec des fibres d'une longueur de 12mm.

V.3.2.3- Le retrait à jeune âge

Effet du pourcentage de fibre Sur Le Retrait :

La variation du retrait du mortier fibré en fonction de l'introduction des fibres est représentée dans le Tableau suivants :

Tableau (V.9) : Retrait du Mortier en fonction du la longueur des fibres

Dosage de fibre %	Longueur de fibre 6mm			Longueur de fibre 12mm			Mélange de fibre 6+12mm		
	M _T (0%FS)	M _{FS} 0.5	M _{FS} 1	M _T (0%FS)	M _{FS} 0.5	M _{FS} 1	M _T (0%FS)	M _{FS} 0.5	M _{FS} 1
Retrait à 1 Jours (µm/m)	197.75	164.8	160,08	43,75	37,5	39,7	212.5	156.25	173.9
Retrait à 2 Jours (µm/m)	232.08	191.67	177.2	225	206.25	219.85	318.75	262.50	244.38
Retrait à 3 Jours (µm/m)	247.97	239.11	223.45	281,25	287,5	248,72	412.5	379.47	408.9
Retrait à 5 Jours (µm/m)	290.42	248.3	258.9	356.44	331.25	329.5	468.1	403.89	455.2
Retrait à 07 Jours (µm/m)	319.15	295.45	277.74	656.25	593.75	536.47	517.9	466.8	487.6

➤ Effet de la longueur de 6mm :

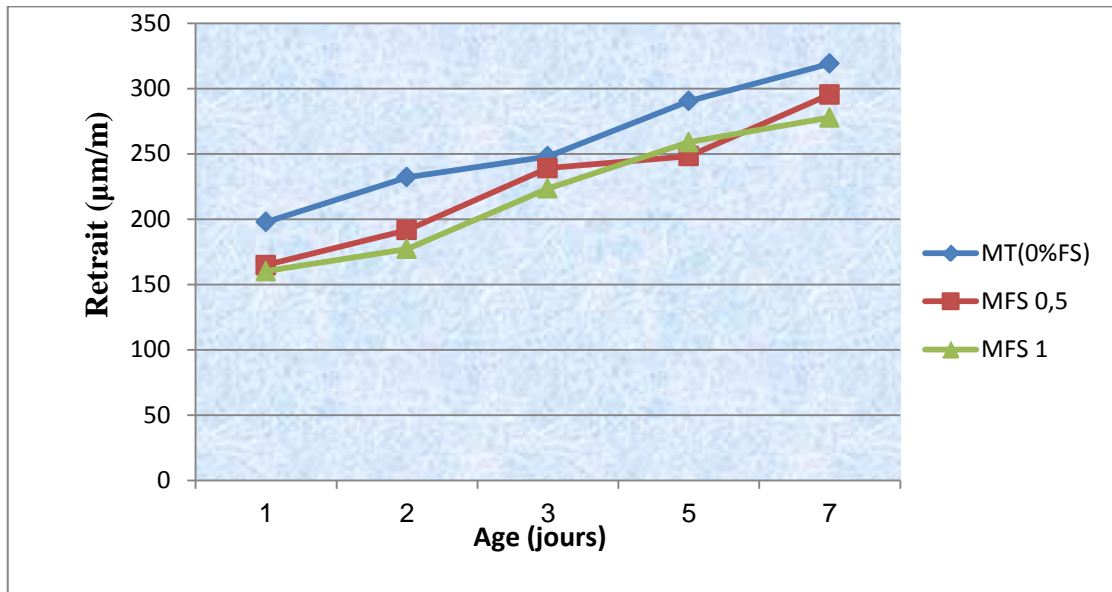


Figure (V.17) : Evolution du Retrait du mortier en fonction du taux de fibre.

Les remarques principales observées sont :

La courbe montre l'effet de fibre Synthétique sur le retrait aux différents âges (1, 2, 3, 5, 7 jours)

-On remarque une augmentation de retrait dans le mortier témoin par rapport au mortier de fibre.

-Augmentation du retrait avec la variation des pourcentages des fibres polypropylène 0.5 et 1%.

Effet de la longueur de 12mm :

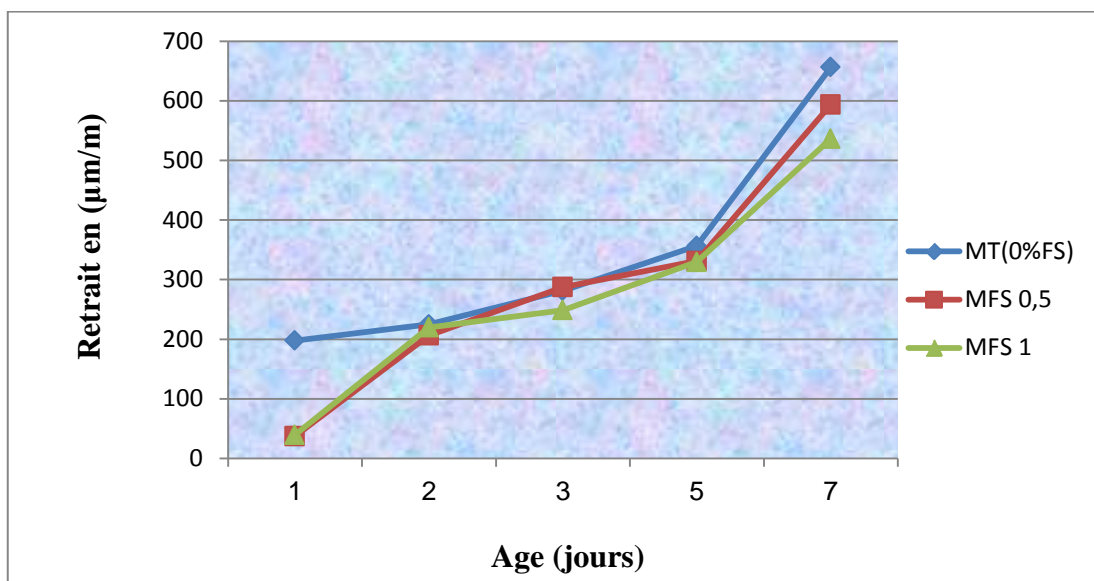


Figure (V.18): Evolution du Retrait du mortier en fonction du taux de fibre.

Chapitre V : Résultats et Discussions

Les principales remarques relatives au retrait observées pour les différents dosages étudiés :

- Le Retrait augmente avec l'âge du mortier,
- Les Retraits de mortier témoin supérieur à ceux du mortier avec fibre de polypropylène.
- Les fibres synthétiques jouent un rôle important dans la réduction de retrait à jeune âge.

➤ Effet du mélange des fibres :

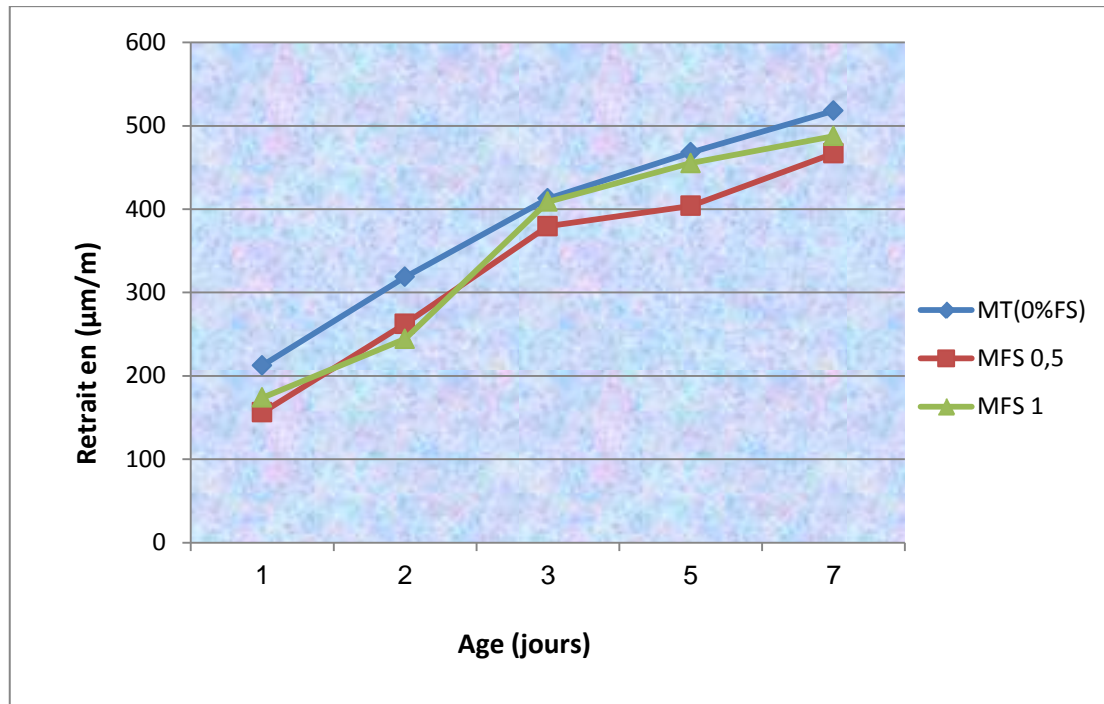


Figure (V.19): Evolution du Retrait du mortier en fonction du taux de fibre.

La figure (V.19) présente l'effet du mélange de fibre sur le retrait des mortiers contenant le taux 0%, 0.5%, 1%.

- On remarque une augmentation de retrait dans le mortier témoin par rapport au mortier de fibre
- Le mélange de fibres joue un rôle très important dans la réduction de retrait à jeune âge.

III.4-Conclusion:

Cette étude a mis en évidence le rôle et l'influence du taux de fibrage sur les caractéristiques des mortiers. L'incorporation des fibres dans les bétons est bénéfique pour l'amélioration de la ductilité de ces matériaux. Les résultats obtenus montrent que cette incorporation n'affecte pas les caractéristiques des bétons frais. L'étude montre que les résistances mécaniques sont influencées par la nature des granulats.

L'incorporation des fibres de polypropylène dans la composition des bétons de sable n'influe pas sur la résistance à la compression et la porosité. Le renforcement du béton de sable avec un taux de 1% de fibre améliore la résistance à la traction par flexion et réduit le retrait à jeune âge.

Conclusion générale

Le mortier de sable mixte devient un matériau le plus utilisé après le béton. Il a un certain nombre de contrées, un gros intérêt à la vie de la valorisation des ressources naturelles et artificielle disponible. Mais souvent leurs caractéristiques mécaniques obligent les utilisateurs d'être peur à cause de la présence énorme des fissures et la rapidité de sa dégradation. Pour améliorer ces caractéristiques il est envisagé de la renforcer par des fibres.

Cette étude met en évidence le rôle et l'influence du dosage et longueur des fibres de polypropylène sur les caractéristiques mécaniques de mortier durci tout en conservent une rhéologie à l'état frais nécessaire à leur mise en place.

Les conclusions tirées de cette étude est :

- 1) Le mortier confectionné avec un sable mixte donne une bonne performance avec un dosage de sable concassé égale à deux fois le dosage de sable de dune.
- 2) D'après les résultats obtenus, on déduit que la présence des fibres ne modifie pas la porosité de mortier. Le mortier avec fibres est plus poreux que le mortier témoin. Cette constatation montre bien que la porosité augmente par l'augmentation du taux de fibres d'une part et de la longueur de fibres d'autre part.
- 3) D'après les résultats obtenus lors des essais de compression, on constate que l'incorporation des fibres de polypropylène dans la composition des mortiers n'influe pas d'une façon remarquable sur la résistance à la compression. Cette dernière est diminuée légèrement avec un palier de 2 à 3 MPa par rapport au mortier témoin avec longueur de fibre de 6mm, 12 mm.
- 4) L'incorporation des fibres dans mortier augmente légèrement la résistance de la flexion en fonction des dosages de fibre et la longueur.
- 5) D'après les résultats obtenus avec les différents pourcentages et les différentes longueurs, on constate que la meilleure résistance de la flexion avec la longueur de 6 mm est obtenu avec un dosage de 0.5 %. Avec la longueur de 12 mm la bonne performance en flexion est obtenue avec un dosage de 0.5% et 1.5%, tandis que avec le dosage des deux longueurs, la bonne résistance est obtenue avec un dosage de 1%.

Conclusion générale et perspective

6) La longueur de 12mm avec un dosage varie entre 0.5 et 1.5%, donne le meilleur résultat de résistance à la flexion.

7) En général, avec l'incorporation des fibres et avec un taux élevé, le malaxage devient difficile et le mortier devient sec ce qui traduit par un effet négative sur le comportement mécanique de mortier armé de fibres de polypropylène.

-Les fibres polypropylène offrent un intérêt économique certain. Elles ont généralement vocation à limiter le retrait et la fissuration au jeune âge.

Perspectives

Il est possible de combiner l'addition des adjuvants de type supe plastifiant dans un composite cimentaire pour éviter l'absorption d'eau par les fibres.

Références bibliographiques

- [1]. **M. Venuat** – La pratique des ciments, mortiers et bétons – Tome 1 : « Caractéristiques des liants et des bétons, mise en œuvre des coulis et mortiers » - édition 2 – Collection Moniteur. – 277p-1989.
- [2]. **J. Baron, J.P. Ollivier et J.C. Weiss**, « Les bétons, bases et données pour leur formulation », Edition Eyrolles, Troisième tirage, 1999, P 3-12.
- [3]. **G. Dreux** "Nouveau guide du béton " Edition, Eyrolles- Paris- 1998, P 29-41
- [4]. **A.TAGNIT et P-C NKINAMUBANZIB** .Les ajouts cimentaires et le développement durable. Département de génie civil, Université de Sherbrooke.
- [5]. **R. CHAID**. Formulation, caractérisation et durabilité des BHP aux ajouts Cimentaires locaux. Thèse de doctorat d'état en génie civil ENP décembre 2006.
- [6] - **Afridi, M. U. K., Y. Ohama, M. Z. Iqbal, and K. Demura**. [1995] Water retention and adhesion of powdered and aqueous polymer-modified mortars. *Cement and Concrete Composites* 17(2): 113–118.
- [7]. **Lentz. J.** (1976).manuel pratique de la maçonnerie et de béton armé. BORDAS, Paris.
- [8].**Nullens. A.** (2002). *Prescription d'un mortier et performances spécifiées - Aspects d'exécution, d'une maçonnerie* Fédération de l'Industrie Cimentike Belge.
- [10].**Nourrdine ARABI**. « Contribution à l'étude du comportement mécanique du composite ciment-verre et durabilité des fibre de verre ». Thèse de doctorat UBM Annaba 2006.
- [11].**De Guillebon.B et J.M** « Métalic Glass Ribbons, a new fibre for concrete reinforcement ». Third Int syn on developements in fibre reinforced cement and concrete (FRC 86 sheffield). 1986.5p
- [12].**Burgan.D § B. de guillebon**. « Béton projeté renforcé de fibre de fonte » :Application et réhabilitation d'un collecteur d'assainissement à Nancy .technique sciences méthodes Janvier 1987.
- [13].**KHENFER mohamed** « Caractérisation structurelle et rhéologique des ciments et plâtres renforcés de fibre de cellulose » thèse de doctorat. Université de Bordeaux.

[14]. **DREUX Georges et FESTA jean** « nouveau guide du béton et ses constituants » Editions Eyrolles, paris 1995.

[15]. **J. Baron et J.P. Olivier** " les bétons : bases et données pour leur formulations

"Edition , Eyrolles- Paris - 1999.

[16]. **Prof .J.P.Delisle, F.Alou**, «Matériaux de construction1»,Lausanne,Octobre1978

[17]. **NF P 18 – 598** « Granulats : Equivalent de sable » AFNOR – Paris – 1997.

[18]. **BOUGLADA Mohamed Salah** « Effet de l'activation du ciment avec ajout minéral par la chaux fine sur le comportement mécanique du mortier » MEMOIRE de Magister. Université de m'sila.2007/2008

[19]. [http:// www.teknachem.com](http://www.teknachem.com). **FICHE TECHNIQUE, FIBERTEK PP**

Version Mars 2010

[20]. [http:// www.granitex-dz.com](http://www.granitex-dz.com). **Fibre en polypropylène NOTICE TECHNIQUE.**

[21]. **NF P 15 – 403** «Sable normal et mortier normal » AFNOR – Paris – 1996.

[22]. **NF P18-452 et NF P18-437** «Maniabilité (ouvrabilité) » AFNOR – Paris – 1996.

[23].**Cours en ligne matériaux de construction** sommaire [http // www.la](http://www.la)

[refer.org /matériaux/sommaire](http://refer.org/mat%C3%A9riaux/sommaire)

[24]. **BELHOCINE AIDA , NAGOUDI NADJAT** « Etude expérimentale d'un mortier avec ajouts minéraux ». Mémoire de master, Université KASDI Merbah – Ouargla 2013/2014.

[25]. **Dadar j.**1975. Contribution à l'étude du comportement mécanique des bétons renforcé de fibre de polypropylène. In fibre reinforced cement and concrete, RILEM, symposium, Edited by A.NEVILLE,lancaster , construction press, pp227-235, communication 5.2

[26].**Suhandi, S.L, Horiguchi T**, 2006 Effet of short fibers on residual permeability and mechanical properties of hybrid fiber reinforced high strength after heat exposition , cement and concrete research , vol.36,pp.1672-1678.

[27].**Hager, I, 2004.** Comportement à haute température des bétons à haute performance-évaluation des principales propriétés mécaniques, Thèse de doctorat, école nationale des ponts et chaussées et école polytechnique de Croatie, novembre, 183p.

Annexe A

FICHE TECHNIQUE

Réf : DC/FT CM. v04

CHAMIL est un ciment gris, résultat de la mouture du clinker obtenu par cuisson jusqu'à la fusion partielle (clinkérisation) d'un mélange convenablement dosé et homogénéisé de calcaire et d'argile.

Ce ciment est constitué d'oxydes minéraux dont les principaux sont la chaux (CaO) à fonction basique et la silice (SiO_2) à caractère acide. On trouve également l'alumine (Al_2O_3) et le fer (Fe_2O_3). Ils sont rendus aptes à réagir entre eux et avec l'eau par traitement thermique à des températures comprises entre 1300 et 1500°C. En présence d'eau a lieu la réaction d'hydratation consistant en la formation d'un réseau résistant (propriété hydraulique) constitué principalement de micro-cristaux de silicates de calcium hydratés.

CHAMIL présente des performances mécaniques et des caractéristiques physico-chimiques conformes à la norme NA 442 et la norme EN 197-1.

Domaine d'utilisation :

CHAMIL est utilisé pour tous les travaux courants qui ne présentent pas un besoin spécifique en bétons exposés à des conditions sévères comme l'attaque des sulfates du sol ou de l'eau et qui n'exigent pas de hautes résistances mécaniques.

Les principales applications de ce ciment sont :

- Béton structural
- Fabrication des éléments préfabriqués (parpaings, buses, caniveaux,...ect)
- Fabrication des carreaux de dalle
- Travaux de finition.

CHAMIL

CPJ- CEM-II/B 32,5 R NA 442



Algerian Cement Company (SPA)

Hammam Dalaa, M'sila (ACC)
Tél : +213 35 50 78 20
Fax : +213 35 55 70 30

Direction générale

33, Rue des Pins, Hydra, Alger
Tél : +213 (0) 21 48 16 65
Fax : +213 (0) 21 48 16 71

Ciment Blanc Algérien (SPA)

Usine Oggaz (CIBA)
BP 67, 29350, Mascara
Tél. / Fax : +213 (0) 45 84 88 98



Annexe B

FICHE TECHNIQUE

Version Mars 2010



FIBERTEK PP

FIBRE DE POLYPROPYLENE

DESCRIPTION

FIBERTEK PP est une fibre de polypropylène multi files, à dispersion facile et homogène.

CARACTERISTIQUE

Etat physique :fibres
Couleur :blanc
Densité :0,8 à 1,00 g/cm³
Dimension :6 mm

PROPRIETES ET EFFETS

- Améliore la thixotropie des mélanges
- Réduit la fissuration
- Réduit le retrait
- Améliore les résistances en flexion
- Améliore la thixotropie du mortier ou béton

DOMAINES D'APPLICATION

- Micro béton et mortier projetés ou manuels
- Application en épaisseur pour mortier en ciment ou en plâtre en une seule passe.
- Chapes légères
- Mortier auto nivelant
- Plates formes

MODE D'EMPLOI

- 1) Mélanger les agrégats, l'eau et le ciment.
- 2) Ajouter graduellement les fibres dans la bétonnière, toujours en mouvement pour obtenir une dispersion plus uniforme. Continuer de mélanger pour au moins 5 minutes, après l'ajout des fibres.
- 3) Ajouter un super plastifiant de notre gamme sans arrêter le malaxage jusqu'à l'obtention d'une pâte homogène.

DOSAGE

Le dosage est compris entre 50 à 100 grammes sur le poids total des mortiers secs (pour mortiers spéciaux) et 200 à 500 grammes pour les plâtres projetés.

En général le dosage varie entre 900 à 1000g par mètre cube.

CONDITIONNEMENT ET STOCKAGE

Stockage en lieu sec et protégé.

Cartons de 27 kg (30 sachets de 0,9kg)

N.B. : les fibres de 6 mm de longueur ont la particularité, à égale poids de n'importe quelles autres fibres, d'être trois fois supérieures en nombre. Avoir donc un nombre triple de fibres, dans une épaisseur réduite de mortier de ciment, permet une résistance supérieure et une remarquable élasticité du mélange.

PRECAUTIONS D'EMPLOI

Se référer à la fiche de données de sécurité.



TEKNACHEM ALGERIE SARL

B.P. 11 M Zone Industrielle

Sidi Bel Abbès - 22000

Tel : 048.55.64.63 - Fax : 048.55.64.62

Site : www.teknachem.com

E-mail : info@teknachem.com

Les informations contenues dans la présente fiche technique, bien que représentant le stade le plus avancé de la connaissance, ne dispense pas l'utilisateur de procéder à des tests préliminaires dans les propres conditions d'emploi. Par conséquent la TEKNACHEM ALGERIE SARL décline toutes responsabilités pour l'emploi inapproprié du produit.

Annexe C

NOTICE TECHNIQUE

2 1 0 1

GRANIFIBRES

Fibres en polypropylène

DESCRIPTION

GRANIFIBRES sont des fibres en polypropylène qui, ajoutées au béton et au mortier, réduisent les fissurations et le faïençage. Les chapes réalisées avec l'addition du **GRANIFIBRES** présentent de meilleures résistances à l'abrasion et aux chocs.

DOMAINES D'APPLICATION

- Hangars de stockage
- Ateliers mécaniques
- Revêtements extérieurs
- Aires de circulation
- Parkings...

PROPRIÉTÉS

Les fibres dans le béton ou mortier créent un réseau fibré de haute densité, qui :

- Améliorent la cohésion à l'état frais
- Réduisent les fissurations de retrait et le «cracking»
- Résistent aux milieux alcalins
- Augmentent les résistances à l'abrasion et aux chocs, pouvant atteindre des valeurs 100 fois supérieures à celle du témoin

CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES

- Longueur de la fibre.....12 mm
- Densité.....0.9
- Point de fusion.....150°C
- Module de Young.....3kN / mm²
- Allongement à la rupture.....50%
- Section de la fibre.....30 microns

MODE D'EMPLOI

La quantité de **GRANIFIBRES** est ajoutée directement dans le malaxeur avec les composants du béton .secs (sans eau).

Si **GRANIFIBRES** est utilisé en dose, prolonger le malaxage de 5 min. afin de faire dissoudre le sachet.

Pour les mortiers de granulométrie inférieure à 10 mm, il est préférable d'ajouter la quantité de fibres par dispersion manuelle.

CONSOMMATION :

Un sachet de 600 grammes par mètre cube de béton. Deux sachets de 600 grammes par mètre cube de mortier.

CONDITIONNEMENT ET STOCKAGE

Cartons de 30 doses de 600 g en papier soluble et en sachet non soluble de 600 g pour mortier

A stocker à l'abri de l'humidité.

Durée de conservation :

3 ans dans son emballage d'origine.

PRÉCAUTIONS D'EMPLOI

Manipulation non dangereuse.

Se référer à la Fiche de Données de Sécurité disponible sur : www.granitex.dz

Les renseignements donnés dans cette notice sont basés sur notre connaissance et notre expérience à ce jour. Il est recommandé de procéder à des essais de convenance pour déterminer la fourchette d'utilisation tenant compte des conditions réelles de chantier.



Granitex

Zone Industrielle Oued Smar – BP85 Oued Smar – 16270 Alger

Tél : (213) 021 51 66 81 & 82

Fax : (213) 021 51 64 22 & 021 51 65 23

www.granitex-dz.com - E-mail: granitex@granitex-dz.com